

발 간 등 록 번 호

11-1192000-000184-14

# 항만 및 어항 설계기준·해설

(설계코드 KDS 64 00 00)

[상 권]

2017



해양수산부





## 설계코드 목록(상권)

순번	코드번호	제목
1	KDS 64 05 00	총론
2	KDS 64 10 10	설계조건
3	KDS 64 10 20	재료
4	KDS 64 10 30	방식
5	KDS 64 11 00	지반
6	KDS 64 14 20	프리캐스트 콘크리트 부재
7	KDS 64 17 00	내진
8	KDS 64 31 10	항만전기설비
9	KDS 64 40 10	수역시설
10	KDS 64 40 20	준설
11	KDS 64 40 30	매립
12	KDS 64 45 10	외곽시설 설계일반
13	KDS 64 45 20	방파제
14	KDS 64 45 30	기타형식 방파제
15	KDS 64 45 40	호안
16	KDS 64 45 50	갑문시설

## 설계코드 목록(하권)

순번	코드번호	제목
1	KDS 64 50 00	연안보전시설
2	KDS 64 55 10	계류시설 설계일반
3	KDS 64 55 20	고정식 계류시설
4	KDS 64 55 30	부유식 계류시설
5	KDS 64 55 40	기타형식 계류시설
6	KDS 64 55 50	계류부대시설
7	KDS 64 60 10	컨테이너부두
8	KDS 64 60 20	페리부두
9	KDS 64 65 00	어항
10	KDS 64 70 00	마리나
11	KDS 64 75 00	초대형석유탱커
12	KDS 64 80 00	해저파이프라인
13	KDS 64 85 00	해상저유시설
14	KDS 64 90 10	임항교통시설
15	KDS 64 90 30	항로표지시설
16	KDS 64 90 40	부대기타시설



KDS 64 05 00 : 2017

# 총론

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	• 항만설계기준 제정 • 설계조건, 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록	제정 (1971.12)
항만설계기준	• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만 재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	2
1.4 용어의 정의 .....	6
1.5 기호의 정의 .....	7
1.6 시설물의 구성 .....	7
2. 조사 및 계획 .....	10
3. 재료 .....	10
4. 설계 .....	11
4.1 항만시설의 설계 .....	11
4.2 항만시설의 시공계획 .....	12
4.3 항만시설의 유지관리 .....	15
4.4 환경, 안전 등 대책 .....	18



## KDS 64 05 00 총론

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 항만시설, 어항시설, 연안보전시설(이하 항만관련 시설이라 한다.)의 조사, 계획, 설계에 필요한 기술적 기준을 정한 것으로서 항만관련 시설에 관계되는 건설기술과 방법을 체계화하고 새로운 기술의 보급과 향상에 기여하는 것을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

- (1) 이 기준은 항만법 제29조 항만시설의 기준과 해양수산부령 제1호(2013.3.24) 항만시설의 기술기준에 관한 규칙 및 어촌·어항법에서 규정하는 시설, 연안관리법에 의한 연안정비사업으로 설치되는 항만관련 시설물 등에 대하여 적용한다.
- (2) 이 기준은 건설기술 진흥법, 항만법, 어촌·어항법, 연안관리법 등에서 규정하는 각 시설물별로 설계자가 설계업무를 보다 체계적이고 효과적으로 수행하도록 하고 품질·강도·안전·성능 등을 유지하기 위한 설계조건의 한계(최저한계)를 규정하는 기준으로써 대상시설물의 설계업무를 수행하는데 법령을 제외한 기준 중 최우선되는 기준이다.
- (3) 항만법 제29조와 동법 시행령 제25조에 의한 항만시설, 어촌·어항법 제2조 제5호에 의한 어항시설, 연안관리법 제24조와 제25조 및 동법 시행령 제13조와 제14조에 의하여 해일(海溢), 파랑(波浪), 지반의 침하 등으로부터 연안을 보전하고 훼손된 연안을 정비, 개선하거나 친수공간을 조성하는 등의 연안정비사업 대상시설, 마리나항만의 조성 및 관리 등에 관한 법률 제2조 제2호 및 동법 시행령 제2조 제2호에 따른 마리나 항만시설 등은 해당시설의 목적과 항만시설의 기술기준에 적합하도록 설계, 건설, 개량 또는 유지해야 한다.

#### [해설]

- (1) 이 설계기준은 항만 및 연안역에 설치하는 항만관련 시설이나 구조물 건설공사를 시행하기 위한 계획수립이나 설계를 수행하는 과정에서 필요한 최소한의 필수 사항을 기준으로 정한 것이며 해설 및 참고는 이 기준을 이용자들이 보다 명확하게 이해하고 계획 또는 설계할 수 있도록 기준에 부가하여 필요한 부분을 보완, 보충하여 충분하게 설명한 것이다.

- (2) 항만시설에 필요한 성능이란 해당시설이 보유해야 할 최저한도의 성능을 말한다.
- (3) 연안보전시설은 국토의 보전 및 해륙간 천이역(遷移域, Transition region)인 연안의 완충기능과 그 이용의 다양성, 회복탄력성 등을 종합적으로 만족해야 하므로 설계는 성능규정을 기본으로 제시하였으며 시설의 목적, 기능, 성능과 성능검토는 최신의 기술 수준에 기초하는 것으로 한다.
- (4) 연안정비사업은 연안환경을 보존하고 연안의 지속가능한 이용과 개발을 도모하여 연안을 쾌적하고 풍요로운 삶의 터전으로 조성하는 것을 목적으로 한다.
- (5) 연안보존시설은 대부분 연안을 이용하기 위해 개발하거나 보존하기 위해 월파, 월류 혹은 해안침식의 방지 및 저감 목적으로 설치되며 이에는 방파제, 호안, 방호벽, 돌제, 소파제, 이안제, 잠제·인공리프, 파력 흡수를 위한 사빈(양빈) 그리고 방조제 내수면 매립호안과 해안도로 방호를 위한 호안 등이 포함된다.

## 1.3 참고기준

### 1.3.1 관련법규

개항질서법  
 건설기술진흥법  
 건설산업기본법  
 건축법  
 고압가스 안전관리법  
 공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률  
 공유수면 관리 및 매립에 관한 법률  
 교통안전법  
 교통약자의 이동편의 증진법  
 국제항해선박 및 항만시설의 보안에 관한 법률  
 국토의 계획 및 이용에 관한 법률  
 농어촌 정비법  
 도로법  
 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙  
 마리나항만의 조성 및 관리 등에 관한 법률  
 산업표준화법  
 석유 및 석유대체연료 사업법  
 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률  
 소방기본법



소방시설공사업법  
 수도법  
 수상레저안전법  
 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률  
 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법  
 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법  
 신항만건설 촉진법  
 액화석유가스의 안전관리 및 사업법  
 어선법  
 어촌·어항법  
 에너지법  
 연안관리법  
 위험물 안전관리법  
 자연재해대책법  
 자연환경보전법  
 재난 및 안전관리 기본법  
 전기공사업법  
 전기사업법  
 전력기술관리법  
 정보통신공사업법  
 주차장법  
 지진·화산재해대책법  
 철도건설법  
 총포·도검·화약류 등의 안전관리에 관한 법률  
 폐기물관리법  
 하수도법  
 하천법  
 항로표지법  
 항만법  
 해사안전법  
 해양환경관리법  
 화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률

### 1.3.2 관련기준

KDS 10 00 00	공통설계기준
KDS 11 00 00	지반설계기준
KDS 14 00 00	구조설계기준
KDS 17 00 00	내진설계기준
KDS 21 00 00	가시설설계기준
KDS 24 00 00	교량설계기준
KDS 27 00 00	터널설계기준
KDS 31 00 00	설비설계기준
KDS 34 00 00	조경설계기준
KDS 41 00 00	건축설계기준
KDS 44 00 00	도로설계기준
KDS 47 00 00	철도설계기준
KDS 51 00 00	하천설계기준
KDS 54 00 00	댐설계기준
KDS 57 00 00	상수도설계기준
KDS 61 00 00	하수도설계기준
KDS 64 10 00	설계일반사항
KDS 64 11 00	지반
KDS 64 14 00	구조
KDS 64 17 00	내진
KDS 64 31 00	설비시설
KDS 64 40 00	수역시설 및 준설·매립
KDS 64 45 00	외곽시설
KDS 64 50 00	연안보전시설
KDS 64 55 00	계류시설
KDS 64 60 00	전문부두
KDS 64 65 00	어항
KDS 64 70 00	마리나
KDS 64 75 00	초대형석유탱커
KDS 64 80 00	해저파이프라인
KDS 64 85 00	해상저유시설
KDS 64 90 00	부대시설

#### [해설]

단위계는 SI단위계로 통일하였으며 다음 참고 표 (1.3-1)와 같이 SI단위의 환산표를 참고한다.

## [참 고]

- (1) 현재 국제적으로 토목 및 건축구조물에 관한 성능 검토 시 구조물의 파괴모드를 추출해 확률론에 기초한 시설물의 안전성을 정량적으로 평가하는 방법을 도입하고 있는 추세이다. 따라서 국제규격인 ISO2394(구조물의 신뢰성에 관한 일반원칙)에 따라 항만시설에 대한 신뢰성 설계법 도입과 세계화 추세에 따른 우리 기준의 국제화를 도모하기 위하여 항만 및 어항 설계기준·해설(2014년 개정판)에 첨부한 부록편은 본 설계기준·해설에도 유효하게 적용되며 이 부록에는 해외 항만설계기준 및 설계사례(부록1편), 항만구조물의 신뢰성 설계법(부록2편), 케이슨부재의 한계상태설계법(부록3편) 등이 별도로 소개되어 있으며 이 부록(별첨 CD 참조)은 설계기준과 같은 법적 지위를 갖지 않는다.
- (2) SI단위의 환산율표는 다음과 같다.

참고 표 (1.3-1) SI단위의 환산율표(換算率表)

번호	량	계량단위		SI 단위		환산율
1	길이	미크론	$\mu$	미터	m	$1\mu = 1\mu\text{m}$
2	질량	중량킬로그램 미터당평방초	$\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$	킬로그램	kg	$1\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m} = 9.80665\text{kg}$
3	가속도	갈	gal	평방초당미터	$\text{m}/\text{s}^2$	$1\text{gal} = 0.01\text{m}/\text{s}^2$
4	힘	중량킬로그램	kgf	뉴턴	N	$1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$
5		다인	dyn	뉴턴	N	$1\text{dyn} = 10^{-5}\text{N}$
6	힘의 모멘트	중량킬로그램미터	$\text{kgf} \cdot \text{m}$	뉴턴미터	$\text{N} \cdot \text{m}$	$1\text{kgf} \cdot \text{m} = 9.80665\text{N} \cdot \text{m}$
7	압력	평방센티미터당 중량킬로그램	$\text{kgf}/\text{cm}^2$	파스칼 평방미터당 뉴턴	Pa $\text{N}/\text{m}^2$	$1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 9.80665 \times 10^4\text{Pa}$ $= 9.80665 \times 10^{-2}\text{MPa}$ $1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 9.80665 \times 10^{-2}\text{N}/\text{mm}^2$
8			mHg	파스칼	Pa	$1\text{mHg} = 133.322\text{kPa}$
9	응력	평방센티미터당 중량킬로그램	$\text{kgf}/\text{cm}^2$	파스칼 평방미터당 뉴턴	Pa $\text{N}/\text{m}^2$	$1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 9.80665 \times 10^4\text{Pa}$ $= 9.80665 \times 10^{-2}\text{MPa}$ $1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 9.80665 \times 10^{-2}\text{N}/\text{mm}^2$
10	에너지	중량킬로그램미터	$\text{kgf} \cdot \text{m}$	줄	J	$1\text{kgf} \cdot \text{m} = 9.80665\text{J}$
11		엘그	erg	줄	J	$1\text{erg} = 100\text{nJ}$
12	공률	마력	PS(미터법) HP(영국)	와트	W	$1\text{PS} = 735.499\text{W}$ $1\text{HP} = 746.101\text{W}$
13	열량	칼로리	cal	줄 와트 초	J $\text{W} \cdot \text{s}$	$1\text{cal} = 4.18605\text{J}$ $1\text{cal} = 4.18605\text{W} \cdot \text{s}$
14	열전도율	시간, 미터, 온도당 칼로리	$\text{cal}/(\text{h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	미터, 온도당 와트	$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	$1\text{cal}/(\text{h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}) = 0.001163\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$
15	열전도계수	시간, 평방미터, 온도당 칼로리	$\text{cal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	평방미터, 온도당 와트	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$1\text{cal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) = 0.001163\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
16	비열용량	킬로그램, 온도당 칼로리	$\text{cal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	킬로그램, 온도당 줄	$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	$1\text{cal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) = 4.18605\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
17	음압 레벨	혼	-	데시벨	dB	$1\text{혼} = 1\text{dB}$

### 1.3.3 관련표준

한국산업표준(KS)

## 1.4 용어의 정의

- 계류시설 : 선박이 접안해서 화물을 적하하고 승객이 승강(乘降)을 하는 접안설비를 말한다.
- 마리나시설 : 마리나선박의 정박시설 또는 계류장 등 마리나선박의 출입 및 보관, 사람의 승선과 하선 등을 위한 기반시설과 이를 이용하는 자에게 편의를 제공하기 위한 서비스시설 및 주거시설을 말한다.
- 수역시설 : 항만구역 및 임항구역 내 선박의 안전한 항행과 정박, 원활한 조선과 하역을 목적으로 하는 시설을 말한다.
- 어항시설 : 어선이 안전하게 출입·정박하고 어획물의 양륙, 선수품의 공급 및 기상악화 시 어선이 안전 대피할 수 있는 천연 또는 인공의 어업활동의 근거지로서 어항구역 및 어항구역 밖에 있는 관리청이 수립한 어항시설계획에 포함된 시설을 말한다.
- 연안보전시설 : 특정한 목적으로 이용, 개발하거나 보존하기 위해 연안에 설치되는 시설물을 말하며 연안보전시설과 연안이용·개발시설로 구분할 수 있다.
- 외곽시설 : 항내 정온 확보 및 수심 유지, 해안파괴 방지, 폭풍해일에 의한 항내 수위상승 억제, 지진해일에 의한 항내 침입과 감쇄, 항만시설 및 배후지를 파랑으로부터 방호하기 위한 목적으로 설치하는 항만시설물을 말한다.
- 임항교통시설 : 도로·교량·철도·궤도·운하 등의 항만교통시설을 말한다.
- 초대형석유탱커시설 : 중량톤수 10만 톤급 이상의 석유탱커가 이용하는 항만시설을 말한다.
- 하역시설 : 화물을 적재 및 하차하기 위한 시설을 말한다.
- 항로표지 : 항행보조시설로서 등광·형상·색채·음향·전파 등을 수단으로 항(港)·만(灣)·해협(海峽), 그 밖의 대한민국의 내수·영해 및 배타적 경제수역을 항행하는 선박에게 지표가 되는 등대·등표·입표·부표·안개신호·전파표지·특수신호표지 등을 말한다.
- 항만시설 : 선박의 출입, 사람의 승·하선, 화물의 하역·보관 및 처리, 해양친수활동 등을 위한 시설과 화물의 조립·가공·포장·제조 등 부가가치 창출을 위한 시설이 갖추어진 곳을 말한다.

- 항만친수시설 : 항만구역안의 국민의 건강, 휴양 및 정서생활의 향상에 기여하기 위하여 설치된 낚시터, 유람선 및 모터보트 등의 수용을 위한 해양레저용 시설, 해양박물관, 해양공원 등의 시설을 말한다.
- 항행보조시설 : 해상교통량이 폭주하는 해역 또는 항행상 위험성이 있는 해역에 해상교통의 지리적 특수성과 연안교통의 혼잡성을 예방하기 위하여 설치하는 시설을 말한다.
- 해상저유시설 : 저장선 및 부대설비가 일체로 된 석유를 저장하는 형태의 보관 시설을 말한다.
- 해저파이프라인 : 해면 하에 부설되는 파이프라인(Pipeline) 전부를 말한다.

### [해설]

이 기준에서 사용하는 용어는 항만법과 동법 시행령 그리고 어촌·어항법과 동법 시행령, 마리나항만의 조성 및 관리 등에 관한 법률과 동법 시행령, 연안관리법과 동법 시행령, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법과 동법 시행령 등에서 사용하는 용어의 정의에 따르는 것으로 한다.

## 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 1.6 시설물의 구성

항만관련 시설은 수역시설, 외곽시설, 연안보전시설, 계류시설, 어항시설, 마리나시설, 초대형석유탱커시설, 해저파이프라인, 해상저유시설, 항만 및 어항 설비시설, 기타 부대 시설 등을 총칭한다.

### [해설]

항만법 및 어촌·어항법에서 규정하는 항만시설은 다음과 같다.

#### 【항만법(港灣法)】(제2조 제5호)

##### (1) 기본시설(基本施設)

- ① 수역시설(水域施設) : 항로·정박지·소형선 정박지·선회장 등

- ② 외곽시설(外廓施設) : 방과제·방사제·과제제·방조제·도류제·갑문·호안 등
- ③ 임항교통시설(臨港交通施設) : 도로·교량·철도·궤도(軌道)·운하(運河) 등
- ④ 계류시설(繫留施設) : 안벽·소형선 부두·잔교·부잔교·돌핀·선착장·램프 등

(2) 기능시설(機能施設)

- ① 항행보조시설(航行補助施設) : 항로표지·신호·조명·항무통신시설 등
- ② 하역시설(荷役施設) : 고정식 또는 이동식하역장비·화물이송시설·배관시설 등
- ③ 여객이용시설(旅客利用施設) : 대합실·여객승강용시설·소하물취급소 등
- ④ 화물의 유통 및 판매시설 : 창고·야적장·컨테이너장치장 및 컨테이너 조작장·사일로·저유시설·화물터미널 등
- ⑤ 선박보급시설(船舶補給施設) : 선박을 위한 연료공급시설과 급수시설, 얼음의 생산 및 공급시설 등
- ⑥ 항만의 관제·정보통신·홍보·보안에 관련된 시설
- ⑦ 항만시설용 부지(港灣施設用 敷地)
- ⑧ 어촌·어항법 제2조 제5호 나목의 기능시설  
(제21조 제3호에 따른 어항구(漁港區)에 있는 것으로 한정한다.)
- ⑨ 어촌·어항법 제2조 제5호 다목의 어항편익시설  
(제21조 제3호에 따른 어항구(漁港區)에 있는 것으로 한정한다.)
- ⑩ 공해방지시설 : 방음벽(防音壁), 방진망(防塵網), 수림대(樹林帶) 등

(3) 지원시설

- ① 배후유통시설 : 보관창고, 집배송장(集配送場), 복합 화물터미널, 정비고(整備庫) 등
- ② 선박기자재, 선용품(船用品) 등의 보관·판매·전시 등을 하기 위한 시설
- ③ 화물의 조립·가공·포장·제조 등을 위한 시설
- ④ 공공서비스의 제공·시설관리 등을 위한 항만관련 업무용 시설
- ⑤ 후생복지 및 편의제공시설 : 항만시설을 사용하는 자, 여객 등 항만을 이용하는 자 및 항만에서 일하는 자를 위한 휴게소·숙박시설·진료소·위락시설·연수장·주차장·차량통관장 등
- ⑥ 연구시설 : 항만관련 산업의 기술개발, 벤처산업지원 등
- ⑦ 저탄소 항만의 건설을 위한 시설 : 신·재생에너지 관련시설, 자원순환시설 및 기후변화 대응 방재시설 등
- ⑧ 항만운송사업 등 항만 관련 사업을 경영하는 자의 업무용 시설
- ⑨ 항만 관련 회의 및 장비 전시 등을 위한 시설
- ⑩ 여객운송사업자의 업무용 시설 및 여객의 편의제공시설 등을 수용하기 위한 종합여객시설
- ⑪ 항만종사자 및 여객 등을 위한 상업용 시설, 체육시설
- ⑫ 항만에 입항·출항하는 선박의 수리를 위한 수리조선(修理造船) 시설 및 장비
- ⑬ 항만공사 시에 발생하는 준설토(浚渫土) 투기(投棄)를 위한 시설
- ⑭ 항만 운영 및 관리 등을 위한 해양관측시설

## (4) 항만친수시설(港灣親水施設)

- ① 낚시터·유람선·낚시어선·모터보트·요트, 윈드서핑용 선박 등을 수용 할 수 있는 해양 레저용시설
  - ② 해양문화·교육시설 : 해양박물관·어촌민속관·해양유적지·공연장·학습장·갯벌 체험장 등
  - ③ 해양공원시설 : 해양전망대·산책로·해안녹지·조경시설 등
  - ④ 인공해변·인공습지 등 준설토를 재활용하여 조성한 인공시설
- (5) 지원시설 및 항만친수시설과 일반 업무시설·판매시설·주거시설 및 숙박시설·정보처리 시설·근린생활시설·의료시설·교육연구시설·문화시설·복지시설·운동시설·관광휴게시설 및 위락시설 등이 모여 있는 항만배후단지

## 【어촌·어항법(漁村·漁港法)】(제2조 제5호)

## (1) 기본시설(基本施設)

- ① 외곽시설(外廓施設) : 방파제·방사제·파제제·방조제·도류제·수문·갑문·호안·둑·돌제·흉벽(胸壁) 등
- ② 계류시설(繫留施設) : 안벽·소형선 부두·계선부표·계선말뚝·잔교·부잔교·선착장·선양장 등
- ③ 수역시설(水域施設) : 항로·정박지·선회장 등

## (2) 기능시설(機能施設)

- ① 수송시설(輸送施設) : 철도·도로·다리·주차장·헬리포트 등
- ② 항행보조시설(航行補助施設) : 항로표지, 신호·조명시설 등
- ③ 어선·어구(漁具)보전시설 : 어선건조장·수리장, 어구건조장, 어구제작장·수리장, 선양 시설, 야적장, 기자재 창고 등
- ④ 보급시설(補給施設) : 급수·급방·급유시설, 전기수용설비·선수품보급장 등
- ⑤ 수산물 유통·판매·보관시설 : 수산물시장·수산물 위판장·수산물직매장·수산물집하장·활어 일시 보관시설 등
- ⑥ 수산물 유통·판매·보관시설에 바닷물을 끌어오거나 내보내기 위한 시설
- ⑦ 수산물 처리·가공시설 : 하역기계, 제빙·냉동·냉장시설, 수산물 가공공장 등
- ⑧ 어업용통신시설(漁業用通信施設) : 육상무선전신·전화시설, 어업 기상신호시설 등
- ⑨ 해양수산관련 공공시설 : 어항관리시설·해양관측시설·관계법령에 따른 선박출입항 신고기관 등
- ⑩ 어항정화시설(漁港淨化施設) : 환경오염방지를 위한 오·폐수처리시설, 도수 시설, 폐유·폐선처리시설 등
- ⑪ 수산자원 육성(育成)시설 : 수산종자생산시설, 수산종자 배양장 등

## (3) 어항편익시설

- ① 복지시설(福祉施設) : 진료시설·복지회관·체육시설 등
- ② 문화시설(文化施設) : 전시관·도서관·학습관·공연장 등
- ③ 어항의 환경정비(環境整備)를 위한 시설 : 광장·조경시설 등
- ④ 유람선·낚시어선·모터보트·요트·윈드서핑 등의 수용을 위한 레저용 기반시설

## 총론

- ⑤ 관광객 이용시설 : 지역특산물 판매장, 생선 횃집 등
  - ⑥ 휴게시설(休憩施設) : 숙박시설·목욕시설·오락시설 등
  - ⑦ 그 밖에 여객선·생활필수품운반선·도선 등 선박의 계류시설과 대합실 등 주민을 위한 편의시설
- (4) 위의 각 시설을 조성하기 위한 부지와 수역

## 2. 조사 및 계획

내용 없음

## 3. 재료

내용 없음



## 4. 설계

### 4.1 항만시설의 설계

- (1) 항만시설은 자연상황, 이용상황과 기타 해당시설이 처해진 제반조건을 감안하여 해당시설의 요구성능을 만족하고 시공 시에 해당시설의 구조적 안정이 확보되도록 설계되어야 한다.
- (2) 항만시설의 설계에 있어서는 해당시설의 구조 건고성이 충분히 확보될 수 있도록 설계공용기간을 설정하여야 한다.
- (3) 설계공용기간의 설정에 있어서는 해당시설의 목적, 이용상황 등을 적절히 고려하여 설정하여야 한다.
- (4) 항만시설물의 계획, 설계 및 공사를 할 때 기본이 되는 기준면을 공사용기준면이라 하며 기본수준면으로 한다.

#### [해설]

- (1) 설계공용기간의 설정에 있어서는 해설 표 (4.1-1) ISO 2394(1998)의 설계공용기간의 개념분류를 참고할 수 있다. 한편 항만시설의 표준적인 설계공용기간은 표 안의 등급 3에 기초하여 설정할 수 있다.

해설 표 (4.1-1) 설계공용기간의 개념 분류, ISO 2394(1998)

등급	설계공용기간(년)	구조물 예
1	1-5	가설구조물
2	25	교환구조요소(교대 대들보, 베어링 등)
3	50	건물과 기타 공공 구조물
4	100 또는 그 이상	기념적인 건물, 특별 또는 중요구조물, 대규모 교량

- (2) 기본수준면(基本水準面)은 평균해면(M.S.L)으로부터 주요 4분조( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ )의 반조차(半潮差)를 합한 수면 아래의 수위를 말한다.

여기서,  $M_2$  : 주태음반일주조(主太陰半日周潮)

$S_2$  : 주태양반일주조(主太陽半日周潮)

$K_1$  : 일월합성일주조(日月合成日周潮)

$O_1$  : 주태음일주조(主太陰日周潮)

예시 :  $D.L = A_o - (H_m + H_s + H_o + H') = (\pm)0.00m$  (Approx. L.L.W)

여기서, D.L : 기본수준면(기준면 : Datum Level)

$A_o$  : 연평균 해면

$H_m, H_s, H_o, H' = 4$ 개분조의 반조차

(3) 기본수준면(基本水準面)의 설정

- ① 기본수준면을 설정할 때에는 다음 사항에 주의하여야 한다.  
지정항의 구역내(區域內)에서 공사용기준면은 반드시 기본수준면을 사용한다.
- ② 지정항의 구역외(區域外)에서는 지형(地形), 해상(海象) 등을 고려하여 가장 가까운 지점의 기본수준점표(基本水準点標) T.B.M(Tidal Bench Mark) 또는 지정항만에서 사용하고 있는 기존수준면을 이용한다.
- ③ T.B.M이나 기존수준면을 이용할 수 없는 도서지역(島嶼地域)이나 오지에서는 1개월 이상의 조위관측(검조)을 실시한 후 평균해면을 구하고, 이를 조화분석으로 4분조의 반조차를 구하여 4분조의 반조차를 합한 수면 아래의 수위(D.L)를 계산하여 기준면을 구한다. 연평균해면(年平均海面)은 해당지점의 1년 이상의 검조기록에서 계산하여야 한다.
- ④ 제반여건상 조위관측(검조)을 1개월 이상 시행하지 못하는 경우는 인근지역의 조위를 보간법으로 산정하여 적용할 수 있다.

(4) 국제적 해도 기준면(國際的 海圖 基準面)

국제수로기구(國際水路機構, IHO : International Hydrographic Organization)는 국제적 해도 기준면으로 천문최저저조위(天文最低低潮位, LAT : Lowest Astronomical Tide)를 채택할 것을 결의하고 1997년 6월 각국에 권고되었으며, LAT는 평균적인 기상상황과 일반적으로 생각되는 천문상황을 토대로 일어날 수 있는 상황을 추정하여 가장 얇은 조위면으로 정의하고 실무적으로는 최저 1년 이상의 관측에서 얻어진 조화정수(調和定數)를 사용하며 최저 19년 이상의 조위(潮位)를 계산하고 이들의 최저값으로 하기로 되어 있다. 우리나라의 기준면은 전항에서 언급한 종래의 방법(약최저저조위(略最低低潮位))으로 하고 국립해양조사원 발행 조석표에서 해도의 기본수준면과 일치한다.

## 4.2 항만시설의 시공계획

- (1) 항만시설은 건설기술 진흥법 및 동법 시행령, 항만법 및 동법 시행령 등과 항만 및 어항공사 표준시방서 등의 기준에 적합하고 안전하게 시공하기 위해 사전에 시공계획을 수립하여야 한다.
- (2) 공사의 진행 또는 현장 여건의 변화로 인해 필요할 경우 시공계획을 변경할 수 있다.
- (3) 항만시설 시공방법에는 해당시설의 준공 시까지 필요한 공사의 순서 및 단계별 공사내용, 해당시설의 시공에 사용하는 주요 작업 선박 내지는 시공장비의 종류 및 규격, 그 외 해당시설의 시공에 필요한 내용 등을 기술하여야 한다.
- (4) 시공을 원활히 하기 위해 공사용 선박에 의한 해상작업을 감안한 실시상황관리, 공정관리 등을 하여야 한다.
- (5) 항만시설을 건설하려는 자는 항만공사의 안전에 관한 관계법령 등에 기초하여 사고 및 방재대책을 수립하여야 한다.
- (6) 항만시설을 건설하는 자는 시공 시에 해당시설의 구조 안정이 손상되지 않도록 하는 조치로서 필요에 따라 가설공사계획을 수립하도록 하여야 한다.

**[해설]**

- (1) 시공계획은 다음 사항에 대해 규정하는 것을 표준으로 한다.
- ① 해당시설의 시공방법
  - ② 해당시설의 시공관리방법
  - ③ 해당시설의 안전관리방법
  - ④ 그 외 해당시설을 정확하고 원활하며 안전하게 시공하기 위해 필요한 사항
- (2) 시공계획 수립 시 시공현장에서의 리스크, 현장 여건 및 안전에 대한 필요한 대책을 검토하여 정확하고 원활하며 안전한 시공이 이루어 질 수 있도록 하여야 한다.
- (3) 특수한 시공조건 하에서의 공사 및 특수한 선박 및 장비를 이용하는 작업은 계획단계에서 충분히 시공성과 안전성을 확인할 필요가 있다. 한편 항만공사 중 발생할 수 있는 제약이나 리스크에 대한 대책방안 등에 대해서는 해설 표(4.2-1)를 참조할 수 있다.

**해설 표 (4.2-1) 공사의 제약·리스크 및 대책방안**

제약·리스크	대책방안
1)기뢰·폭탄 등의 위험물	자기탐사(잠수탐사)→위험물의 제거→확인탐사 등
2)해저케이블 등의 매설물	매설물의 정보 입수→현지 확인 방호물 배치, 보호공 설치 등
3)송전선·교량 등의 횡단 공작물	공작물의 정보 입수→현지 확인 방호물 배치 등
4)선박 폭주 해역	방호물 배치, 표식 설치 등

- (4) 시공계획서는 이상기후, 해상, 지반조건 등이 계획시점 시와 상이한 경우에 공법, 공정 및 시공장비 등을 변경할 수 있도록 작성하여야 한다.
- (5) 해상작업 시 조석의 영향, 수중작업의 난이도, 기상 및 해상조건에 따라서 시공장비의 제약이 있으므로 주의해야 한다. 특히 작업선박과 시공장비는 사용가능일수와 소요 공기에 따라서 공법이 결정되므로 대상지역의 자연조건, 해상 및 수중작업 등이 공정에 미치는 영향을 충분히 고려한 시공방법을 결정하여야 한다.
- (6) 시공순서도는 현장조건 및 시공조건 등에 적합하게 작성되어야 한다.
- (7) 항만구조물은 그 대부분이 해상에 있기 때문에 항상 파랑이 작용하는 현장에서 작업이 이루어지는 것을 바탕으로 한 공정관리가 필요하다. 또한 공사 중 소음, 진동, 대기오염, 수질오탁 등이 발생할 우려가 있는 경우에는 주변 환경에 미치는 영향의 관리를 할 필요가 있다.
- (8) 항만공사의 시공관리방법에 대해서는 해당시설의 시공에 있어 정확하고 안전하게 시공하기 위해 필요하며 세부적인 시행방법은 항만 및 어항공사 표준시방서, 토목공사일반 표준시방서, 콘크리트 표준시방서, 도로공사 표준시방서, 강구조공사 표준시방서, 가설공사 표준시방서 등을 참고할 수 있다.

## 총론

- (9) 기상 및 해상조건의 영향을 받기 쉬운 항만공사의 현장에서는 관계법령의 준수만으로는 충분치 않기 때문에 전문기술적인 고려사항을 준수할 필요가 있다.
- (10) 공사 중에 태풍 등의 이상현상에 영향을 받는 것은 충분히 예상되므로 재해로 인한 손상을 최소한으로 억제하기 위한 방재체제를 확립할 필요가 있다.
- (11) 공사 중에 작업구역의 표시 및 관계자에 대한 주지 등 필요한 안전대책을 강구할 필요가 있다. 또한 작업용 선박 등이 타선박의 항행이 빈번한 구역을 항행 또는 예항하는 경우 사고 방지를 위한 안전대책을 수립하여야 한다.
- (12) 항만시설의 시공기간은 일반적으로 길어 완성 전에 필요한 안전기능을 충족하지 못한 상태에서 상당한 하중의 작용을 받는 경우가 많으므로 안정이 손상되지 않는 조치를 확실히 강구할 필요가 있다.
- (13) 가설공사에 의한 시설 안정성 확보 방안으로 항만공사에서의 외곽시설의 계속공사 시 일시적으로 소파블록 또는 피복블록 설치 등에 의한 제체 파손 방지 및 케이슨 전도 방지, 케이슨 하부의 기초마운드의 수중이탈 방지 등이 있다.

### 4.3 항만시설의 유지관리

- (1) 항만시설의 기능을 보전하고 시설물 이용자의 편의와 안전을 높이기 위하여 시설물을 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상복구하며 경과 시간에 따라 요구되는 시설물의 개량(改良)·보수·보강에 필요한 유지관리계획을 수립 하여야 한다.
- (2) 항만시설에 대한 점검·진단계획 수립 시에는 구조물 상태와 변화, 연쇄작용 등을 충분히 고려하여 효율적이고 효과적으로 점검·진단이 가능하도록 항목 및 방법을 선정하여야 한다.
- (3) 항만시설물의 관리주체는 소관시설물에 대하여 시설물의 안전관리에 관한 특별법 및 동법시행령에 따라 정기적으로 정기점검, 정밀점검 및 정밀안전진단 등을 실시할 수 있도록 하여야 한다.
- (4) 점검·진단결과에 근거한 종합평가 결과에서 보수·보강공사 등이 필요한 것으로 평가된 시설물에 대해서는 유지보수방법 및 실시시기 등에 대해 미리 계획하여야 한다.
- (5) 위험방지대책은 상호 연관성을 가지며 일체적으로 운용되는 항만시설 및 해당시설, 주변시설의 안전확보에 관한 전문지식 및 기술 또는 기능을 가진 자의 지도하에 실시할 수 있도록 하여야 한다.
- (6) 비관리청 항만시설의 유지관리에 대해서는 시설물의 안전관리에 관한 특별법 및 동법 시행령에 규정한 유지관리계획에 기초하여 해당시설에 대한 유지관리를 할 수 있도록 하여야 한다.
- (7) 항만기능이 쇠퇴하고 시설물이 노후하여 제 기능발휘가 곤란한 항만시설은 항만의 개발, 이용 또는 보전에 지장을 주지 않도록 필요에 따라 해당시설의 철거, 개량 또는 유지 등을 시행하여 해당시설의 안전성 확보가 될 수 있도록 하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 유지관리를 하기 위한 안전점검, 보수·보강 등 여러 가지의 데이터는 일정양식에 따라 기록, 보관하고 계통적으로 정리된 유지관리정보는 해당시설의 건전도(健全度)에 대한 적절한 평가·유지와 보수를 하기위한 기초적인 정보는 물론 전체적인 시설의 열화(劣化) 대책을 세우고 시설의 생애주기비용(LCC : Life Cycle Cost) 저감을 검토할 때 유용하게 사용할 수 있다.
- (2) 상시 열악한 해양환경에 노출되어 있는 항만·어항 및 기타 해양구조물 등은 경년(經年) 변화와 해양 자연환경의 변화에 따른 노후화가 필연적으로 수반되게 된다.  
따라서 장기적으로 항만 및 어항의 성능을 유지·발전시키기 위해서는 이들에 대한 지속적인 유지관리가 수행되어야 한다.
- (3) 구조물의 설계에서는 장래의 유지관리내용을 충분히 고려하여 구조형식과 사용재료를 선정하고 세부설계에 반영하도록 할 필요가 있다.

- (4) 상세한 유지관리는 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침(국토교통부), 항만시설물 안전점검지침(해양수산부), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단) 등 관련 자료를 참조한다.
- (5) 항만시설물에 대한 안전점검 및 정밀안전진단의 기본적인 수행과 대상 1·2종 시설물의 범위는 아래와 같다.
  - ① 안전점검 항목  
관리주체는 시설물의 기능과 안전을 유지하기 위하여 안전점검 및 정밀안전진단지침에 따라 소관 시설물에 대하여 기본자료 조사 및 분석, 현장조사 및 시험, 상태평가, 안전성 평가, 종합평가 등의 안전점검을 실시하여야 한다.
  - ② 안전점검 대상시설물
    - 가. 1종 시설물
      - (가) 갑문시설
      - (나) 연장 1,000미터 이상인 방파제
      - (다) 20만 톤급 이상 선박의 하역시설로서 원유부이(Buoy)식 계류시설 및 그 부대시설인 해저 송유관시설
      - (라) 5만 톤급 이상의 말뚝구조의 계류시설
    - 나. 2종 시설물
      - (가) 1종 시설물에 해당하지 않는 방파제로서 연장 500미터 이상의 방파제
      - (나) 연장 500미터 이상의 파제제
      - (다) 방파제 기능을 하는 연장 500미터 이상의 호안
      - (라) 1만 톤급 이상의 계류시설로서 1종 시설물에 해당하지 아니하는 계류시설
      - (마) 1종 시설물에 해당하지 않는 말뚝구조의 계류시설로서 1만 톤급 이상의 말뚝구조의 계류시설
      - (바) 1만 톤급 이상의 중력식 계류시설
- (6) 시설물의 안전 및 유지관리계획 수립 시 안전점검 및 정밀안전진단 실시계획을 포함하여야 한다.
- (7) 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단에 대한 세부절차, 방법 등에 관해서는 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침, 항만시설물 안전점검지침, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 등을 따른다.
- (8) 보수·보강은 발생한 손상(균열 등)이 어느 정도까지 허용되는가의 판단에 의하여야 하며 이를 위해 관련 기준(표준시방서 등) 및 지침(항만시설물 안전점검지침, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 등) 등을 참조한다.
- (9) 시설물 전체에서의 우선순위 결정은 각 부재가 갖는 중요도와 발생한 결함의 심각성 등을 종합 검토하여 결정한다.
- (10) 항만시설로는 외곽시설, 계류시설 등의 구조물뿐 아니라 하역시설, 여객승강용시설 등의 기계설비도 포함되기 때문에 항만시설의 유지에 있어서는 해당시설의 특성을 충분히 가미한 운용이 적절히 실시될 필요가 있다.

- (11) 해당시설의 위험방지대책으로서는 적어도 평상시에 해당시설의 운용 전·후의 점검, 검사, 이상 시에 해당시설을 안전한 상태로 유지하기 위해 필요한 조치 등의 구체적인 내용을 명확히 해 둘 필요가 있다.
- (12) 해당시설의 설치자와 해당시설의 유지관리를 하는 관리자가 다른 경우에는 유지관리 계획을 규정함에 있어 관리를 위탁하는 항만관리자의 의견을 적절히 반영해야 한다.
- (13) 노후하거나 유희(遊休) 상태에 있는 항만시설과 그 주변지역을 효과적으로 개발하고 지속가능한 이용을 위하여 항만재개발(Redvelopment), 항만기능재배치(Rearrangement), 항만개조(Renewal), 항만유지보수(Repair) 등 4가지 개선방안 중 최적방안을 선정 후 해당 항만시설에 대한 리모델링을 시행하여 화물처리능력을 향상시키거나 환경친화적 항만 개념을 도입하여 기존시설에 친수시설을 보완·설치하여 항만주변 환경을 개선시킬 필요가 있다.

## 4.4 환경, 안전 등 대책

- (1) 항만시설의 설계, 시공 및 유지 등에 있어서는 자연환경, 이용상황을 감안한 환경 보전, 경관, 보안 등이 반영되어야 한다.
- (2) 항만시설 설치 시에는 노약자, 장애인, 기타 신체기능상의 제한을 받는 자의 안전을 고려한 시설계획이 반영되어야 한다.

### [해설]

- (1) 항만시설의 건설, 개량 및 유지에 있어서는 자연환경에 대한 영향을 최소화함과 동시에 양호한 자연경관을 창출해 내는데 유의할 필요가 있다. 또한 항만에서는 조석, 파랑 등의 작용으로 항만의 자연환경변화 및 생물생식환경의 지배요인이 되므로 항만시설의 건설, 개량 및 유지에 있어서는 해당시설의 건설 등에 따른 이들 작용의 변화가 공간적, 시간적으로 광범위하게 전파되는 것을 적절히 고려할 필요가 있다.
- (2) 지역의 양호한 경관 형성을 위하여 개별시설의 외곽만을 대상으로 하는 것이 아니라 해당시설이 존재하는 공간이 지닌 경관적인 위치를 파악하여 그 경관적인 가치를 보전, 활용, 향상시키는 것이 바람직하다.
- (3) 항만시설의 건설, 개량 또는 유지에 있어서는 건설 부산물의 적절한 처리 및 재생 자원의 활용 등을 통해 자원의 순환적인 이용에 대한 배려가 필요하다.
- (4) 항만 보안에 대해서는 시설의 특성에 맞게 감시기능의 확보나 감시 사각지역이 없도록 구조 등을 배려하여 보안 확보대책을 강구하여야 한다.  
한편 국제항해선박 및 항만시설의 보안에 관한 법률로 규정하는 중요 국제부두시설에 대해서는 동법에 기초한 부두보안설비에 관한 기술적 기준도 만족하여야 한다.
- (5) 여객선을 위해 제공되는 계류시설, 해변, 녹지 등 다수의 관광객 등이 이용하는 시설에 대해서는 노약자, 장애인 등을 포함한 모든 이들이 안전하고 원활하게 선박의 승강이나 친수기능시설의 이용이 가능하도록 배려하는 것이 요구된다. 한편 항만친수시설 조성 및 안전시설을 설치하는 경우에는 항만친수시설 조성 및 관리지침, 항만시설물 안전시설 설계지침 등 관련기준에 적합하여야 한다.

### [참고문헌]

日本港灣協會(2007), 港灣の施設の技術上の基準・同解説



집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전문무
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사·연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	사무
	재류포대개수 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전문무
	계류시설	이욱한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문맞기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전문무
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케앤이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총 괄	주 재 욱	(주)평화엔지니어링	고 문
	파랑및파력	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	조 석	강 석 구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이 윤 한	(주)도화엔지니어링	부 회 장
	지 반	임 중 철	부 산 대 학 교	교 수
	콘 크 리 트	김 우	전 남 대 학 교	교 수
	방식·도장	라 윤 강	(주)한국국토안전연구원	원 장
	외 괄 시 설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	표사·연안보전시설	김 효 섭	국 민 대 학 교	교 수
	표사·연안보전시설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	재료·계류시설	이 진 용	(주)세광종합기술단	사 장
	재료·계류시설	정 대 연	(주)대영엔지니어링	대 표 이 사
	부 두 포 장	정 진 훈	인 하 대 학 교	교 수
	내 진	박 두 희	한 양 대 학 교	교 수
	전문및기타부두	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	어 항	이 상 기	(주)건 일	부 사 장
	마 리 나	지 삼 업	부 경 대 학 교	교 수
	항로표지시설	이 승 재	대 기 해 양 (주)	상 임 고 문
	항만하역시설	함 성 진	(사)인천항시설관리센터	소 장
	항만전기설비	김 세 동	두 원 공 과 대 학 교	교 수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	쿨크리트로 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전문

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 05 00 : 2017

## 총론

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 10 10 : 2017

# 설계조건

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만설계기준 제정</li> <li>• 설계조건, 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록</li> </ul>	제정 (1971.12)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정</li> </ul>	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정</li> </ul>	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정</li> </ul>	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계품속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정</li> </ul>	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정</li> </ul>	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	2
1.5 기호의 정의 .....	2
1.6 설계고려항목 .....	3
2. 조사 및 계획 .....	7
3. 재료 .....	7
4. 설계 .....	8
4.1 선박 .....	8
4.2 바람과 풍압력 .....	32
4.3 파랑 및 파력 .....	40
4.4 조석 .....	185
4.5 흐름 및 흐름의 힘 .....	242
4.6 하구 수리 .....	249
4.7 표사 .....	254
4.8 상재하중 .....	280
4.9 마찰계수 .....	293
부 록 .....	295





## KDS 64 10 10 설계조건

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 항만 및 어항시설의 설계에서 고려하여야 하는 설계조건의 산정에 필요한 사항을 정함을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

이 기준은 항만 및 어항시설 설계 시 고려하여야 하는 설계조건을 산정하는데 적용한다. 항만 및 어항시설의 설계조건은 시설의 성격 및 시설물에 주어진 상황에 따라 다음의 설계여건을 고려하여 선정하고, 자연조건, 이용 상황, 시공조건, 부재의 특성, 시설에 대한 사회적 요청, 자연환경에의 영향 등을 고려하여 시설이 안전하게 될 수 있도록 정한다.

- (1) 대상선박의 제원
- (2) 선박으로 인해 발생하는 외력
- (3) 바람과 풍압 등
- (4) 파랑과 파력
- (5) 조석과 이상조위(異常潮位)
- (6) 흐름과 흐름의 힘
- (7) 부체에 작용하는 외력과 동요
- (8) 하구수리 및 표사
- (9) 자중(自重) 및 재하하중
- (10) 마찰계수
- (11) 기타 필요한 설계조건

#### 1.3 참고기준

##### 1.3.1 관련법규

공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률

## 설계조건

### 1.3.2 관련기준

KDS 24 12 20 교량설계하중(일반설계법)  
KDS 41 10 15 건축구조기준 설계하중

### 1.3.3 관련표준

내용 없음

## 1.4 용어의 정의

- 기왕고극조위(既往高極潮位, Observed highest high water level) : 기존에 관측된 가장 높은 조위를 말한다.
- 배수톤수(Displacement tonnage) : 떠 있는 선체가 정지 상태에서 배제하는 물의 중량을 톤 단위로 나타낸 수를 말한다.
- 부유사(浮遊砂, Suspended load) : 유수(流水) 또는 파랑에 의하여 저면으로부터 수중에서 이동되는 토사(土砂)를 말한다.
- 소류사(掃流砂, Bed load) : 유수(流水)에 의해 운반되는 퇴적물 중에서 바닥을 따라 구르거나 약간 튀면서 이동하는 퇴적물을 말한다.
- 재화중량톤수(Dead weight tonnage) : 적재한 화물의 최대중량을 톤 단위로 나타낸 수를 말한다.
- 조위 편차 : 조위 실측치와 예보치의 차이를 말한다.
- 총톤수(Gross tonnage) : 선박의 총톤수 측정에 관한 법률에서 규정된 선박의 밀폐구획의 용적톤수. 주로 국제항해에 종사하는 선박에 대하여 그 크기를 나타내기 위한 지표로 사용되는 국제총톤수가 있다.

## 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 1.6 설계고려항목

항만 및 어항시설의 설계 시에는 이 기준의 1.2 적용범위에서 제시한 설계조건 외에 다음의 항목을 고려한다.

- (1) 시설의 기능
- (2) 시설의 중요도
- (3) 내용연수(耐用年數)
- (4) 발생확률
- (5) 자연조건
- (6) 재 료
- (7) 설계법(안전율 등)
- (8) 시공방법(施工方法)
- (9) 시공정밀도
- (10) 공 기
- (11) 건설비

### [해설]

설계조건은 시설의 안전성, 기능의 확보, 경제성 등에 중요하게 영향을 미치므로 신중하게 처리하여야 하며, 여기서 열거하는 설계조건은 항만시설에 영향도가 큰 항목을 열거한 것이다. 설계조건은 일반적으로 조사 및 시험의 결과를 근거로 하여 정하는 것으로 이들을 설정하려면 사전에 충분한 조사와 시험을 시행할 필요가 있고, 조사 및 시험 방법과 그 결과를 충분히 이해할 필요가 있다. 또한 가설구조물에 대하여는 사용기간을 고려하여 설계조건을 결정하게 된다.

### [참고]

이 기준의 1.6 설계고려항목에서 제시한 항목을 고려할 때는 다음의 내용을 참고한다.

#### (1) 시설의 기능

시설의 기능은 한가지로 국한되지 않기 때문에 각각의 기능이 충분히 발휘될 수 있도록 배려할 필요가 있다. 예를 들면 방파제는 파도를 막는 기능만이 아니고 폭풍해일이나 지진해일의 세력을 감쇄하는 기능을 갖는다.

#### (2) 시설의 중요도

시설의 안정성 및 경제성을 고려하여 설계를 하려면 시설의 중요도를 고려할 필요가 있다. 중요도가 설계상에서 미치는 영향을 살펴보면 설계조건이 되는 자연조건, 설계진도, 내용연수, 하중, 안전율 등이 있다.

## 설계조건

또한 중요도의 판정에 있어서는 다음 사항을 고려할 필요가 있다.

- ① 시설의 파손이 인명, 재산에 미치는 영향
- ② 시설의 파손이 사회, 경제에 미치는 영향
- ③ 시설의 파손이 다른 시설에 미치는 영향
- ④ 시설의 대체성

### (3) 내용연수(耐用年數)

내용연수는 시설의 설계에서 구조나 재료를 결정할 때 고려함과 동시에 현존 시설의 개량 필요성 및 개량 정도를 결정하는데 고려하는 경우가 있다. 내용연수에는 다음의 기능적인 것, 경제적인 것, 사회계획적인 것과 물리적인 것이 있다. 내용연수의 설정에서는 이들에 대하여 검토를 하고 결정하여야 한다. 설계에 있어서 위의 내용으로부터 내용연수를 결정하는 경우, 그 내용연수에 적합한 구조, 재료를 선정할 필요가 있다. 이들로부터 결정이 되지 않는 경우에는 물리적으로 결정하는 내용연수를 결정한다.

#### ① 기능적인 내용연수

선박의 대형화에 의한 박지의 수심이 부족한 것과 같이 시설의 기능에 불합리점이 생기고 그 시설을 사용할 수 없는 연수

#### ② 경제적인 내용연수

무엇인가 개량을 하지 않으면 신형식과 다른 시설과의 경제적인 경쟁에서 불리한 상태의 연수

#### ③ 사회계획적 내용연수

신규 계획보다 당초 목적한 기능이 불필요하거나 또는 별도의 기능을 요청할 때까지의 연수

#### ④ 물리적인 내용연수

구조물을 구성하는 재료가 부식, 풍화 등의 작용을 받아 필요한 재료의 강도를 유지할 수 없는 연수

### (4) 발생확률

내용연수에 밀접한 관계가 있는 항목에는 발생확률이 있다. 이 발생확률( $E_1$ )은 다음 식으로 구할 수 있고 발생확률의 계산(計算) 결과표는 참고 표 (1.6-1)를 참조한다.

$$E_1 = 1 - (1 - 1/\overline{T_1})^{L_1} \quad \text{참고 식 (1.6-1)}$$

여기서,  $L_1$  : 내용연수,  $\overline{T_1}$  : 재현기간

발생확률(發生確率)이 갖는 의미에 대하여 생각해 보면, 예를 들어 연간 최대파(最大波)를 쓴 수많은 종이를 상자(箱子)속에 넣고 그 중 내용연수  $L_1$ 에 해당하는 매수(枚數)만큼 종이를 무작위(無作為)로 뽑고 그 종이 중 재현기간  $T_1$ 에 대한 파고보다 큰 파고가 있으면 「있음」이라 하고, 없으면 「없음」이라 하여 표시(表示)한다. N번 실시한 중에서 P번 「있음」이 있으면 내용연수  $L_1$ 에 대한 재현기간(再現期間)  $T_1$ 의 파고의 발생확률(發生確率)은  $P/N$ 이 된다. N을 크게 하면 이것이 참고 표 (1-1)에 표시한 어느 값에

접근한다. 예를 들면 내용연수(耐用年數) 30년의 구조물을 생각하고 내용연수와 같은 재현기간의 파고를 사용하여 설계하면 이 파고이상의 파고가 내용연수 30년의 사이에 1회 이상 내습(來襲)하는 확률은 참고 표 (1.6-1)에서  $L_1 = 30$ ,  $\overline{T}_1 = 30$ 이라 할 때의 교점(交點)의 값으로 0.638임을 알 수 있다.

바꾸어 말하면 큰 파고가 내습하는 확률은 내습하지 않는 확률보다 크다. 이에 대처하기 위해서는 재현기간을 60년 아니면 80년으로 하고 발생확률을 낮출 것을 생각하게 된다. 발생확률(發生確率)은 재현기간을 60년으로 하면 0.396, 80년으로 하면 0.314가 된다. 그러나 재현기간(再現期間)을 어느 정도로 설정하느냐, 마지막으로 발생확률을 어느 정도까지 내리느냐는 구조물의 중요성, 경비 등의 많은 요소를 고려하여 결정할 필요가 있다. 또한 확률적으로 기술을 하면 설계파고(設計波高)보다 큰 파고가 내습할 때 구조물이 반드시 재해(災害)를 입지는 않는다. 즉, 발생확률(發生確率)은 구조물의 파괴확률(破壞確率)을 나타내는 것만은 아니라는 것에도 주의할 필요가 있다.

참고 표 (1.6-1) 내용연수(耐用年數)( $L_1$ )과 재현기간(再現期間)( $\overline{T}_1$ )에 대한 발생확률(發生確率)( $E_1$ )

$L_1 \backslash \overline{T}_1$	5	10	15	20	25	30	40	50	60
1	0.200	0.100	0.067	0.050	0.040	0.033	0.025	0.020	0.017
2	0.360	0.190	0.129	0.098	0.078	0.066	0.049	0.040	0.033
3	0.488	0.271	0.187	0.143	0.115	0.097	0.073	0.059	0.049
4	0.590	0.344	0.241	0.185	0.151	0.127	0.096	0.078	0.065
5	0.672	0.410	0.292	0.226	0.185	0.156	0.119	0.096	0.081
6	0.738	0.469	0.339	0.265	0.217	0.184	0.141	0.114	0.096
7	0.790	0.522	0.383	0.302	0.249	0.211	0.162	0.132	0.111
8	0.832	0.570	0.424	0.337	0.279	0.238	0.183	0.149	0.126
9	0.866	0.613	0.463	0.370	0.307	0.263	0.204	0.166	0.140
10	0.893	0.651	0.498	0.401	0.335	0.288	0.224	0.183	0.155
12	0.931	0.718	0.563	0.460	0.387	0.334	0.262	0.215	0.183
14	0.956	0.771	0.619	0.512	0.435	0.378	0.298	0.246	0.210
16	0.972	0.815	0.668	0.560	0.480	0.419	0.333	0.276	0.236
18	0.982	0.850	0.711	0.603	0.520	0.457	0.366	0.305	0.261
20	0.988	0.878	0.748	0.642	0.558	0.492	0.397	0.332	0.285
25	0.996	0.928	0.822	0.723	0.640	0.572	0.469	0.397	0.343
30	0.999	0.958	0.874	0.785	0.706	0.638	0.532	0.455	0.396
35	0.999	0.975	0.911	0.834	0.760	0.695	0.588	0.507	0.445
40	0.999	0.985	0.937	0.871	0.805	0.742	0.637	0.554	0.489
45	0.999	0.991	0.955	0.901	0.841	0.782	0.680	0.597	0.531
50	0.999	0.995	0.968	0.923	0.870	0.816	0.718	0.636	0.568

## 설계조건

참고 표 (1.6-1) 내용연수(耐用年數)( $L_1$ )과 재현기간(再現期間)( $\overline{T}_1$ )에 대한 발생확률(發生確率)( $E_1$ ) (계속)

$L_1 \backslash \overline{T}_1$	80	100	120	160	200	250	300	400	500
1	0.012	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002
2	0.025	0.020	0.017	0.012	0.010	0.008	0.007	0.005	0.004
3	0.037	0.030	0.025	0.019	0.015	0.012	0.010	0.007	0.006
4	0.049	0.039	0.033	0.025	0.020	0.016	0.013	0.010	0.008
5	0.061	0.049	0.041	0.031	0.025	0.020	0.017	0.012	0.010
6	0.073	0.059	0.049	0.037	0.030	0.024	0.020	0.015	0.012
7	0.084	0.068	0.057	0.043	0.034	0.028	0.023	0.017	0.014
8	0.096	0.077	0.065	0.049	0.039	0.032	0.026	0.020	0.016
9	0.107	0.086	0.073	0.055	0.044	0.035	0.030	0.022	0.018
10	0.118	0.096	0.080	0.061	0.049	0.039	0.033	0.025	0.020
12	0.140	0.114	0.096	0.072	0.058	0.047	0.039	0.030	0.024
14	0.161	0.131	0.111	0.084	0.068	0.055	0.046	0.034	0.028
16	0.182	0.149	0.125	0.095	0.077	0.062	0.052	0.039	0.032
18	0.203	0.165	0.140	0.107	0.086	0.070	0.058	0.044	0.035
20	0.222	0.182	0.154	0.118	0.095	0.077	0.065	0.049	0.039
25	0.270	0.222	0.189	0.145	0.118	0.095	0.080	0.061	0.049
30	0.314	0.260	0.222	0.171	0.140	0.113	0.095	0.072	0.058
35	0.356	0.297	0.254	0.197	0.161	0.131	0.110	0.084	0.068
40	0.395	0.331	0.284	0.222	0.182	0.148	0.125	0.095	0.077
45	0.432	0.364	0.314	0.246	0.202	0.165	0.140	0.107	0.086
50	0.467	0.395	0.342	0.269	0.222	0.182	0.154	0.118	0.095

### (5) 자연조건

자연조건으로는 시설구조의 결정에 직접 영향이 미치는 파고, 지진, 지형, 지반 등의 조건뿐만 아니라 수질, 저질, 생물, 대기 등의 조건 외에 지구온난화에 수반하는 해수면 상승도 고려대상이 된다.

### (6) 재 료

재료는 작용하는 물리적 외력, 열화외력, 사용연수, 형상, 시공성, 경제성, 환경, 경관에 미치는 영향을 고려하여 산정(算定)할 필요가 있다. 또 품질을 보장하는 것도 중요하다. 근래에 와서 중전의 재료에 스테인리스, 티탄, 새로운 고무 등의 신재료나 슬래그, 석탄회, 준설토사 등의 재생자원재료가 사용되고 있다.

### (7) 설계법(안전율 등)

설계법은 구조물의 안전성을 판단하는 방식으로 분류하면 안전율을 사용하는 방법과 확률론에 근거한 지표를 사용하는 방법으로 대별된다. 안전율은 안전성을 정량적으로

표현하는 지표가 아니고 제 요소의 불확실성을 보충하기 위하여 경제적으로 정해진 성격을 갖는 것이다. 안전율은 표준적인 조건의 시점에서 경제적으로 충분히 안전하다고 생각되는 값을 나타낸 것이다. 조건(條件)에 따라서는 이들의 값을 내려도 좋으나 이런 경우 충분한 자료에 근거하여 신중한 판단을 하여 결정할 필요가 있다. 하중과 구조물의 내력(耐力)에 대한 확률분포(確率分布)를 가정할 수 있는 경우에는 안전율을 사용하지 않는 신뢰성설계법 등을 사용할 수 있다. 종래의 안전율을 사용하는 설계법과는 다르고 신뢰성설계법에서는 구조물 파괴의 가능성을 정량적으로 파악하고 그것을 일정한 허용 값 이하로 마무리하는 것이 가능하다. 신뢰성설계법 등에서는 안전계수나 안정성 지표 등을 사용하여 설계한다. 한계상태설계법은 형식적으로는 신뢰성설계법의 한 형식으로 분류할 수 있다.

(8) 시공방법(施工方法)

합리적(合理的)인 설계를 하려면 시공방법(施工方法)을 충분히 고려할 필요가 있다.

(9) 시공정밀도

실제 시공 정밀도에 대응한 설계를 할 필요가 있다. 시공 정밀도에 대해서는 항만 및 어항공사 표준시방서 등을 참고한다.

(10) 공 기

공기가 결정된 경우 그 공기 내에 준공이 되도록 시공방법과 같이 설계에서도 공기에 대한 고려를 할 필요가 있다.

(11) 건설비 등

건설비 중에는 초기투자비용과 유지관리비용이 있고 이들의 전체를 고려하여 검토하여야 한다. 투자효과의 조기 발현에 대하여도 배려할 필요가 있고, 안정성 확보를 전제로 하여 시설의 정비수준에 따라 시설의 공유를 고려한 설계방법도 있다.

여기서의 초기투자비용은 보상비가 포함된 것이다. 설계를 할 때 건설비가 구조형식, 시공방법 등에 따라 변화하므로 이 점을 충분히 고려하여 설계할 필요가 있다.

## 2. 조사 및 계획

내용 없음

## 3. 재료

내용 없음

## 4. 설계

### 4.1 선박

#### 4.1.1 대상선박의 주요치수

- (1) 선박은 항만 및 어항시설의 배치, 규모, 형식 등을 결정하는 기본적인 고려 대상이므로 대상선박의 결정은 신중히 이루어져야 한다.
- (2) 대상선박의 주요치수는 다음의 방법으로부터 설정하여야 한다.
  - ① 대상선박이 특정한 경우에 대하여는 특정선박의 주요치수
  - ② 대상선박이 특정하지 않은 경우에 대하여는 통계자료 등에 의하여 정하여진 주요치수

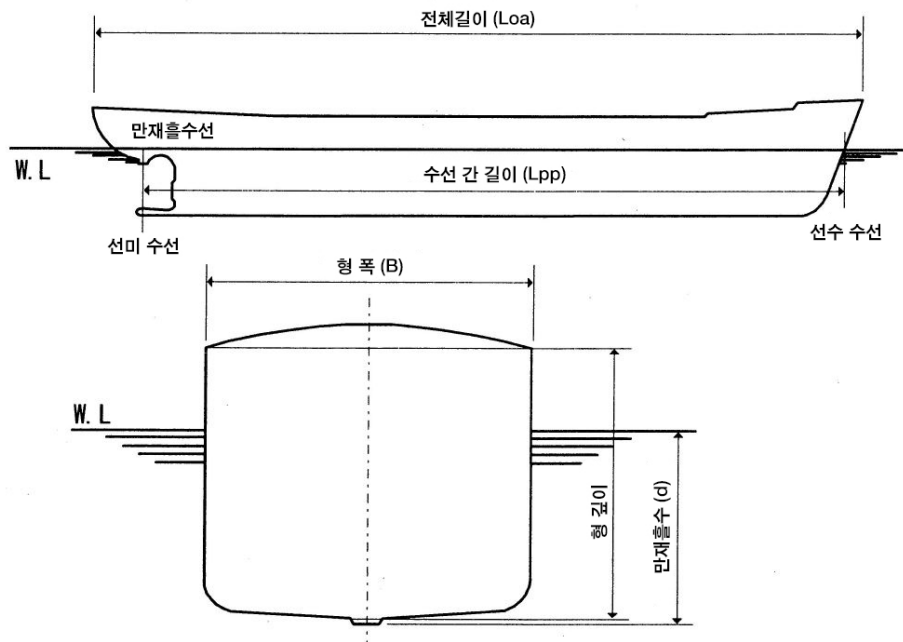


그림 (4.1-1) 선박의 주요치수

#### [참 고]

- (1) 대상선박이란 항만시설에 사용하는 것으로 예정되는 선박 중 그의 톤수가 최대인 것을 규정하고 있다. 따라서 대상선박이 특정한 경우에는 그의 주요치수를 사용한다.
- (2) 공공항만시설과 같이 대상선박을 사전에 특정할 수 없을 경우에는 참고 표 (4.1-1)를 참고하여 대상선박의 주요치수를 정할 수 있다. 참고 표 (4.1-1)는 각 선종을 통용하는 톤수(총톤수 또는 재하중량톤수)를 대표로 나타낸다.



- (3) 참고 표 (4.1-1)는 각기 단계적인 톤수에 있어 대상선박을 특정할 수 없는 경우 선박의 주요치수를 나타내지만 이것은 통계적인 해석 등으로 얻어진 값이고, 주로 각기의 톤수에 대한 커버율 75%의 값이다. 따라서 동일톤수일지라도 참고 표 (4.1-1)의 값을 넘는 주요치수를 갖는 선박이 존재함과 동시에 그 반대로 대상선박으로 설정한 톤수이상에서도 참고 표 (4.1-1)에 근거하여 설정한 주요치수보다 작은 주요치수를 갖는 선박이 있다.
- (4) 참고 표 (4.1-1)를 구하기 위하여 사용한 데이터는 LMIU shipping data(2004.1), 일본국토기술정책종합연구소자료(2006.06) 및 일본선박명세서(2004)이다. 또 참고 표 (4.1-1)에 있는 주요치수를 그림 (4.1-1)에 나타낸다.
- (5) 페리의 주요치수는 항해거리 300km 이상의 장거리 페리와 항해거리 300km 미만의 중단거리에서는 다른 특성이 있기 때문에 장거리 페리와 중단거리 페리 별도로 표시한다.
- (6) 선박의 마스트높이는 동일종류, 동일톤수의 선박에 있어도 약간 차이가 있기 때문에 항로를 횡단하는 교량 등의 설계에서는 대상선박의 마스트높이에 대한 분석을 하여야 한다.
- (7) 대상선박이 소형화물선이고 대상선박을 사전 특정할 수 없는 경우에는 참고 표 (4.1-2)를 참고로 하여 주요치수를 설정할 수 있다. 역시 참고 표 (4.1-2)의 값도 참고 표 (4.1-1)와 같은 방법으로 구한 값이지만 소형선의 경우 주요치수의 분산이 크기 때문에 사용상 특히 주의가 필요하다.
- (8) 대상선박에 상관관계를 적용할 수 있도록 재화중량톤수(DWT)를 대표 지표로 한 선종에 대해서는 총톤수(GT)와의 관계식을 아래에 제시한다.  
즉 이 식은 각 선종에 대한 참고 표 (4.1-1)의 톤수의 범위 내에서 적용가능하다.

화물선	$GT = 0.529DWT$
컨테이너선	$GT = 0.882DWT$
유조선	$GT = 0.535DWT$
RO/RO선	$GT = 1.780DWT$
자동차전용선	$GT = 2.721DWT$
LPG선	$GT = 0.845DWT$
LNG선	$GT = 1.370DWT$
여객선	$GT = 8.939DWT$
중거리 페리	$GT = 2.146DWT$
장거리 페리	$GT = 2.352DWT$

여기서, GT : 총톤수  
DWT : 재화중량톤수

## 설계조건

참고 표 (4.1-1) 대상선박의 일반적 주요치수

### (1) 화물선

톤 수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)
(DWT)	(m)	(m)	(m)	(m)
1,000	67	61	10.7	3.8
2,000	82	75	13.1	4.8
3,000	92	85	14.7	5.5
5,000	107	99	17.0	6.4
10,000	132	123	20.7	8.1
12,000	139	130	21.8	8.6
18,000	156	147	24.4	9.8
20,000	177	-	27.1	9.9
30,000	182	171	28.3	10.5
40,000	198	187	30.7	11.5
50,000	216	-	31.5	12.4
55,000	217	206	32.3	12.8
70,000	233	222	32.3	13.8
90,000	251	239	38.7	15.0
100,000	256	-	39.3	15.1
120,000	274	261	42.0	16.5
150,000	292	279	44.7	17.7

### (2) 컨테이너선

톤 수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)
(DWT)	(m)	(m)	(m)	(m)
10,000	139	129	22.0	7.7
20,000	177	165	27.1	9.9
30,000	203	191	30.6	11.2
40,000	241	226	32.3	12.1
50,000	274	258	32.3	12.7
60,000	294	279	35.9	13.4
100,000	350	335	42.8	14.7
150,000	366	-	49.0	16.0
200,000	400	-	59.0	16.5
250,000	450	-	70.0	18.0

### (3) 유조선

톤 수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)
(DWT)	(m)	(m)	(m)	(m)
1,000	63	57	11.0	4.0
2,000	77	72	13.2	4.9
3,000	86	82	14.7	5.5
5,000	100	97	16.7	6.4
10,000	139	131	20.6	7.6
15,000	154	146	23.4	8.6
20,000	166	157	25.6	9.3
30,000	184	175	29.1	10.4
50,000	209	199	34.3	12.0
70,000	228	217	38.1	12.9
90,000	243	232	41.3	14.2
100,000	250	238	42.7	14.8
150,000	277	265	48.6	17.2
300,000	334	321	59.4	22.4

## 참고 표 (4.1-1) 대상선박의 일반적 주요치수 (계속)

## (4) 롤온-롤오프(RO/RO)선

톤 수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)
(GT)	(m)	(m)	(m)	(m)
3,000	120	110	18.9	5.8
5,000	140	130	21.4	6.5
10,000	172	162	25.3	7.7
20,000	189	174	28.0	8.7
40,000	194	174	32.3	9.7
60,000	208	189	32.3	9.7

## (5) 자동차전용(PCC)선

톤 수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)
(GT)	(m)	(m)	(m)	(m)
3,000	112	103	18.2	5.5
5,000	130	119	20.6	6.2
12,000	135	123	21.8	6.8
20,000	158	150	24.4	7.9
30,000	179	175	26.7	8.8
40,000	185	175	31.9	9.3
60,000	203	194	32.3	10.4

## (6) LPG선

톤 수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)
(GT)	(m)	(m)	(m)	(m)
3,000	98	92	16.1	6.3
5,000	116	109	18.6	7.3
10,000	144	136	22.7	8.9
20,000	179	170	27.7	10.8
30,000	204	193	31.1	12.1
40,000	223	212	33.8	13.1
50,000	240	228	36.0	14.0

## (7) LNG선

톤 수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)
(GT)	(m)	(m)	(m)	(m)
20,000	174	164	27.8	8.4
30,000	199	188	31.4	9.2
50,000	235	223	36.7	10.4
80,000	274	260	42.4	11.5
100,000	294	281	45.4	12.1

## 설계조건

참고 표 (4.1-1) 대상선박의 일반적 주요치수 (계속)

### (8) 여객선

톤 수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)
(GT)	(m)	(m)	(m)	(m)
3,000	97	88	16.5	4.3
5,000	115	104	18.6	5.0
10,000	146	131	21.8	6.4
20,000	186	165	25.7	7.8
30,000	214	189	28.2	7.8
50,000	255	224	32.3	7.8
70,000	286	250	32.3	8.1
100,000	324	281	32.3	8.1

### (9) 페리선

#### ① 중단거리 페리(항해거리 300km 미만)

톤 수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)
(GT)	(m)	(m)	(m)	(m)
400	56	47	11.6	2.8
700	70	60	13.2	3.2
1,000	80	71	14.4	3.5
3,000	124	116	18.6	4.6
7,000	141	130	22.7	5.7
10,000	166	155	24.6	6.2
13,000	194	179	26.2	6.7

#### ② 장거리 페리(항해거리 300km 이상)

톤 수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)
(GT)	(m)	(m)	(m)	(m)
6,000	147	135	22.0	6.3
10,000	172	159	25.1	6.3
15,000	197	183	28.2	6.9
20,000	197	183	28.2	6.9

참고 표 (4.1-2) 대상선박을 특정할 수 없는 경우 소형화물선의 주요치수

재화중량톤수 (DWT)	전장(L)	형폭(B)	만재홀수 (d)
500톤	53m	9.4m	3.3m
700톤	58m	9.5m	3.3m

참고 표 (4.1-3) 어선의 표준선형

선종	톤수 (GT)	표 준 선 형 (m)						선석의 치수	
		길 이 (m)	폭 (m)	선 심 (m)	전 장 (m)	전 폭 (m)	만재 홀수 (m)	선석 길이 (m)	선석 수심 (m)
일 반 어 선	1	5.5	1.7	0.7	7.2	2.0	0.6	10	1.0
	3	7.3	2.2	1.0	9.3	2.5	0.8	15	1.5
	5	9.6	2.9	1.1	12.1	3.3	0.9	15	1.5
	8	12.1	3.5	1.2	15.7	4.0	1.0	20	1.5
	10	14.1	3.9	1.4	17.8	4.5	1.1	25	1.5
	13	15.2	4.1	1.5	19.2	4.7	1.3	25	2.0
	15	16.3	4.3	1.6	20.5	4.9	1.3	25	2.0
	20	17.5	4.5	1.8	22.1	5.1	1.5	30	2.0
	30	20.6	4.8	2.0	25.1	5.4	1.7	30	2.5
	50	23.0	5.2	2.4	27.8	5.9	2.1	35	3.0
	60	26.9	5.6	2.6	32.5	6.3	2.5	40	3.0
	70	27.0	6.2	2.8	32.7	7.0	2.6	40	3.5
	100	29.3	6.3	3.1	35.5	7.1	2.7	45	3.5
	120	31.6	6.5	3.2	37.3	7.3	3.1	45	4.0
	200	35.9	7.0	4.2	41.5	7.9	3.2	50	5.0
	300	45.0	8.3	5.1	50.4	8.7	4.2	60	6.0
	350	46.9	8.7	5.4	52.5	9.1	4.3	65	6.0
	420	48.9	8.8	5.5	54.8	9.2	4.3	70	6.0
	500	51.5	9.1	5.7	57.7	9.6	4.3	70	6.5
양 식 어 선	1	5.7	1.8	0.6	7.4	2.0	0.6	10	1.0
	3	6.9	2.2	0.9	8.8	2.5	0.7	15	1.0
	5	10.1	3.6	1.0	12.7	4.2	0.8	15	1.5
	8	11.8	4.3	1.1	15.3	4.9	0.8	20	1.5
	10	13.9	4.4	1.3	17.5	5.0	1.0	25	1.5
	13	15.4	4.5	1.4	19.4	5.2	1.3	25	1.5
	15	16.1	4.6	1.5	20.2	5.3	1.3	25	2.0
	20	17.5	4.7	1.7	22.1	5.3	1.5	30	2.0
	30	20.0	4.8	2.08	24.4	5.4	1.8	30	2.5

주) 어선의 표준선형 및 선석치수는 이용어선 현황을 조사하여 이용어선이 안전하고 원활하게 이용할 수 있도록 정하여야 하며, 특정의 대상어선이 없을 경우에는 참고 표 (4.1-3)을 참조하여 정한다.

참고 표 (4.1-4) 100,000DWT를 초과하는 컨테이너선의 주요 제원(예)

톤수	전장 (L <sub>oa</sub> )	수선간장 (L <sub>pp</sub> )	형폭 (B)	만재홀수 (d)	적재가능 컨테이너 개수
(DWT)	(m)	(m)	(m)	(m)	TEU(개)
100,870	324.0	324.0	42.0	13.0	8,000
101,570	334.1	319.0	42.8	14.5	8,204
101,612	334.0	319.0	42.8	14.5	8,100
104,696	346.0	331.5	42.8	14.5	6,600
104,700	346.0	331.5	42.8	14.5	6,600
104,750	346.0	331.5	42.8	14.5	7,226
109,000	352.0	336.4	42.8	14.5	10,150
110,000	336.7	321.0	42.8	15.0	9,200
115,700	366.9	351.1	42.8	15.0	7,929
156,907	397.6	376.0	56.0	16.5	11,000

자료 : LMIU shipping data(2006.8)

## 설계조건

### (10) 선박의 마스트 높이

선박의 마스트 높이는 참고 표 (4.1-5)를 표준으로 한다.

참고 표 (4.1-5) 선박의 마스트 높이

선형(총톤수)	수면에서의 마스트높이(공선시)	적 요
50톤이하	7~8	부선은 제외
50~500tf	7~18	
500~1,000tf	15~26	
1,000~5,000tf	20~35	
5,000~10,000tf	30~45	
10,000이상	30~50	
대형여객선	50~65	대형유조선포함

주: 1) 선박의 마스트 높이는 선박의 종류에 따라서 차가 크므로 항로를 횡단하는 교량이 있는 경우에는 그 항만을 출입하는 선박 중 최대 마스트 높이를 조사하여 정해야 한다. 만일 항로를 횡단하는 고압선이 있는 경우에는 충분한 여유를 둔다.  
2) 마스트높이가 특히 높은 선박의 예는 참고 표 (4.1-6)과 같다.

참고 표 (4.1-6) 마스트 높이의 실례

선 종	선 명	톤수 (톤)	선저로부터 마스트높이 (m)	만재홀수 (m)	경홀수 (m)	공선시 수면에서 높이(m)
여객선	Queen Mary	81,237	72.3	11.6	9.3	63
	Cambernia	45,000	64.0	9.7	7.0	57
	Carornia	34,183	67.3	9.4	7.1	60
	Arcadia	26,665	56.9	9.1	7.0	50
	Iberia	29,614	56.9	9.1	6.8	50
	Orsova	28,790	51.2	9.4	6.8	44
	Orcades	28,396	57.6	9.1	7.0	51
화물선	Himalaya	27,955	56.7	9.1	7.0	50
	Oronsay	27,632	56.9	9.4	6.8	50
	Cheesan	24,261	59.4	8.8	6.6	50
	Neradamaru	10,193	40.5	9.4	2.5	38
유조선	Toryomarue	96,193	57.0	16.0	4.7	52
군 함	Ranger	33,000	74.1	9.7		65
	Shangri La	60,000	67.2	10.8		57
범 선	Nipponmaru	2,300	54.0	6.0		48
	Kaiomaru	2,300	54.0	6.0		48
작업선	2,000t해상크레인		직립시 95.3 경사시 76.3		2.7	92.6 73.6
	3,000t해상크레인		직립시 85.8 경사시 43.8		3.6	82.2 40.2

주) 수면에서의 마스트 높이는 트림(Trim), 진동 등에 의해서 다소 변동한다.

## 4.1.2 선박에 의하여 발생하는 외력

### 4.1.2.1 일반사항

- (1) 접안 시나 계류 시 선박에 의한 계류시설에 작용하는 외력은 대상선박의 제원, 접안방법 및 접안속도, 계류시설의 구조, 계류방법, 계류시스템의 성질, 바람, 파도, 조류 등의 영향을 고려하여 정한다.
- (2) 접안 시나 계류 시 선박으로 인한 계류시설에 작용하는 하중으로는 선박의 접안 시 발생하는 하중과 계류선박의 동요에 의하여 발생하는 하중이 있다.

#### [해설]

- (1) 일반적으로 계류시설의 설계에서는 접안 시 선박의 접안력, 계류 시에는 선박에 작용하는 파력, 풍압력 및 조류에 의한 유압력을 받아 동요하는 선박으로 인해 계류시설에 작용하는 충격력 및 견인력을 고려한다.  
특히, 외해에서 발생한 장주기파가 직접 내습하는 항만의 계류시설이나 시버스 등의 외해부나 항 입구부에 시설된 계류시설 또는 항내에서 대피하는 선박이 이용하는 계류시설 등에서는 선박에 작용하는 파력의 영향이 크므로 그의 영향을 충분히 고려하여야 한다.
- (2) 선박으로 인해 계류시설에 작용하는 접안력은 선박의 접안에너지에 근거하여 방충공의 변위복원력 특성을 사용하여 계산한다.
- (3) 계류 중 선박의 동요에 의하여 생기는 견인력이나 충격력은 선박에 작용하는 파력, 풍압력, 조류에 의한 유압력, 계류시스템의 특성 등을 근거로 하여 동요계산을 한다.

#### [참고]

- (1) 계류시설의 기본설계에 있어서 선박하중이 지배적인 요소가 되는 경우는 일반적으로 적다.  
그러나 대형탱커나 대형광석선이 계류하는 시버스, 설계진도가 적은 경우의 잔교나 항 내 대피용 계류시설 등의 설계에서는 선박하중이 지배적인 요소가 되므로 선박하중에 대해서 충분히 유의하여야 한다.
- (2) 일반적으로 방충공의 설계에는 선박의 접안력과 계류선박의 동요에 의한 충격력, 또 계선주의 설계에서는 선박에 작용하는 풍압력이 지배적인 요인이 된다.  
접안력이나 계류선박의 동요에 의한 충격력은 대상선박의 선형, 접안속도, 접안방법, 파의 제원, 방충공의 변위복원력 특성 등의 영향이 크며, 또한 풍압력은 대상선박의 선형 등의 영향이 크기 때문에 설계에 있어서는 대상선박의 제 조건, 파의 제원, 계류시설의 구조나 계류시스템의 특성 등을 충분히 조사하여 적용하여야 한다.

## 설계조건

### 4.1.2.2 선박의 접안 시 발생하는 외력

#### (1) 접안에너지

선박의 접안에너지는 운동역학적 방법에 의해서 계산하여야 하며 다음 식에 의하여 계산한다.

$$E_f = \left( \frac{M_s V^2}{2} \right) C_e C_m C_s C_c \quad \text{식 (4.1-1)}$$

여기서,  $E_f$  : 선박의 접안에너지(kN·m)

$M_s$  : 선박의 질량(t)

$V$  : 선박의 접안속도(m/s)

$C_e$  : 편심계수

$C_m$  : 가상질량 계수

$C_s$  : 유연성계수(표준은 1.0)

$C_c$  : 선석의 형상계수(표준은 1.0)

#### [해설]

선박의 접안 에너지를 구하는 방법은 운동역학적 방법 외에 통계적 방법, 수리모형실험에 의한 방법, 유체역학적 모델 등이 있으나 이들에 대해서는 설계에 필요한 데이터가 부족하거나 계산을 위한 여러 가지 정수가 충분히 밝혀지지 않았기 때문에 운동역학적인 방법을 일반적으로 사용한다.

#### [참고]

(1) 선박의 운동에너지  $E_s$ (단위 : kN·m)는 선박이 횡접안으로 이동한다고 보면  $(M_s V^2)/2$ 과 같다.

선박이 돌핀, 방충재가 부착된 안벽 또는 방충판 등에 접안하는 경우, 방충재에 의하여 흡수되는 에너지를 고려한 값, 즉 선박의 접안에너지  $E_f = f \times E_s$ 가 된다.

여기서,  $E_f = C_e \times C_m \times C_s \times C_c$ 이다.

(2) 선박의 재화중량톤수(DWT), 또는 총톤수(GT)와 만재시의 배수량(DT)과의 관계식으로 다음 식을 사용하여도 좋다.

화물선 DT = 1.174DWT

컨테이너선 DT = 1.385DWT

탱 커 DT = 1.235DWT

롤온·롤오프선 DT = 1.022GT

자동차전용선 DT = 0.751GT



LPG선	DT = 1.400GT
LNG선	DT = 1.118GT
여객선	DT = 0.573GT
페리선(장거리)	DT = 1.240GT
페리선(중단거리)	DT = 1.279GT

여기서, DT : 선박의 만재 시 배수톤(t)  
 GT : 선박의 총톤수(GT)  
 DWT : 선박의 재화중량톤수(DWT)

### (3) 선박의 유연성계수( $C_g$ )

선박의 유연성계수는 선박의 접안에너지에 대한 선박외판의 변형에 의해서 흡수되는 접안에너지의 비율이며 일반적으로 선박외판의 변형에 의해서 흡수되는 에너지는 적으므로  $C_g$  값은 1.0을 취한다.

### (4) 선석의 형상계수( $C_c$ )

선석의 형상계수는 선박 접안 시 선박과 계류시설과의 사이에 있는 수괴(水塊)가 압축되는 완충작용이 방충재에 의해서 흡수되는 에너지를 감소시키는 효과를 고려하여야 하나 이 현상은 접안각도, 선박외판의 형상, 언더 킬 클리어런스(Under keel clearance) 및 접안속도 등에 관계되는 것으로 아직 해명되지 않는 부분이 많다.  $C_c$  값은 1.0을 표준으로 하고 있다.

### (2) 접안속도

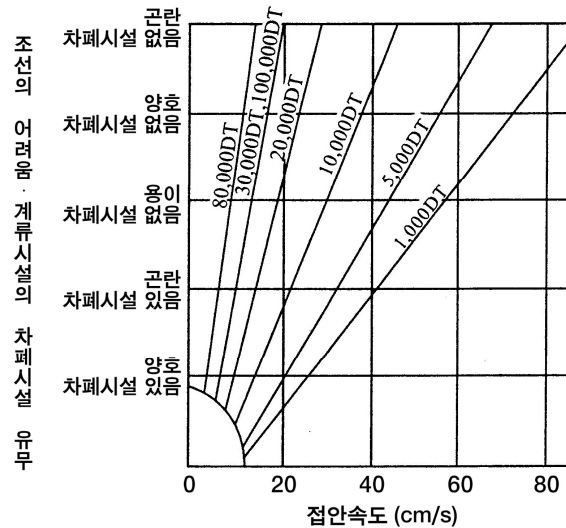
선박의 접안속도는 대상선박의 선형, 재화상태, 계류시설의 위치 및 구조, 기상 및 해상상황, 예인선의 유무, 크기 등을 고려하고 실측값 또는 기왕의 접안속도 실측 자료에 근거하여 정하여야 한다.

## [참고]

- (1) 대형화물선과 초대형유조선(Tanker)의 접안상황을 보면, 계류시설에서 약간 떨어진 위치에 계류시설과 평행이 되도록 일단 정지한 후 수 척의 예인선으로 천천히 밀면서 접안하며, 이때에도 접안돌핀(시설)에 설치된 속도계(Docking sonar system)를 보면서 계류하기 때문에 10~15cm/s 정도의 속도를 유지하도록 하며, 바람이 계류시설 방향 즉 접안방향으로 강하게 부는 경우, 예인선으로 역방향으로 당기면서 접안하기도 한다.
- (2) 페리, 컨테이너선(주로 RO/RO선) 등의 특수선, 혹은 소형화물선 등은 예인선을 사용하지 않고 자력으로 접안하거나 선수 또는 선미에 램프(Ramp)가 있는 경우, 접안시설 기준선에 평행으로 이동하는 등 이들의 접안방법에 따른 실측값을 근거하여 접안속도를 결정해야 한다.

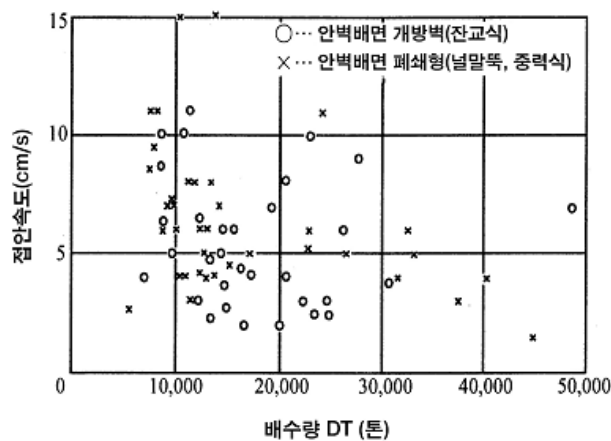
## 설계조건

- (3) 참고 그림 (4.1-1)은 경험적인 데이터에 의한 조선조건과 선박의 접안속도와의 관계를 표시한 것이며, 계류시설이 외해에 있을 때나 소형선에 대해서는 보다 큰 접안속도를 사용해야 함을 나타낸 것이다.

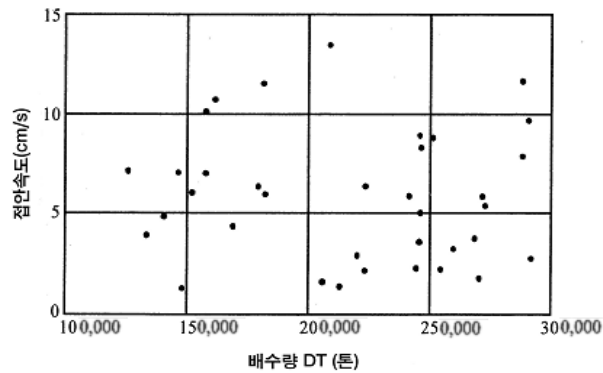


참고 그림 (4.1-1) 조선조건 및 선형과 접안속도와의 관계

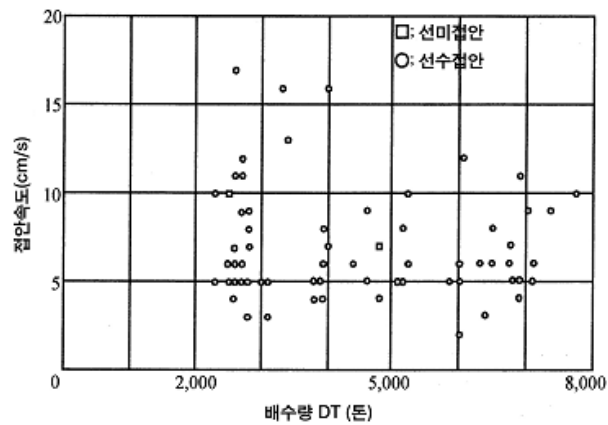
- (4) 접안속도에 관한 조사결과에 의하면 일반화물선에서는 거의가 10cm/s 이하이며, 10cm/s를 넘는 것은 없다[참고 그림 (4.1-2) 참조]. 대형탱커의 접안속도도 10cm/s를 넘는 것이 별로 없으며, 자력으로 접안하는 페리는 10cm/s 이하가 대부분의 경우지만, 15cm/s를 넘는 경우도 있으므로 페리부두 설계 시 충분한 주의가 필요하다.
- 또한, 상기의 조사결과에 의하면 선박의 재화상태가 접안속도에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 만재상태에서 여유수심이 적으면 접안속도가 적고 반대로 경화상태로 여유수심이 많으면 접안속도가 큰 경향이 있다.



참고 그림 (4.1-2) 일반화물선의 접안속도와 배수량



참고 그림 (4.1-3) 대형탱커의 접안속도와 배수량



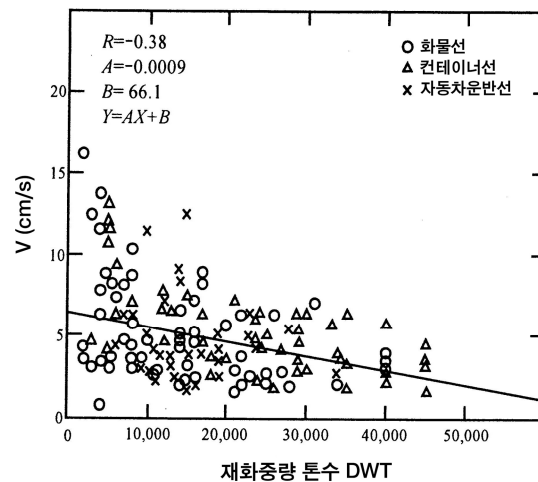
참고 그림 (4.1-4) 페리의 선측방향 접안속도와 배수량

화물선, 컨테이너선, 자동차 운반선 등 접안속도의 평균값은 조사통계에 의하면 참고 표 (4.1-7)과 같다. 또 참고 그림 (4.1-5)는 재화중량톤수와 접안속도의 관계를 나타낸 것이다. 이 조사통계에서도 선형이 클수록 접안속도가 적은 경향으로 나타난다. 또한 관측된 접안속도의 최댓값은 10,000DWT 미만에서는 거의 15cm/s, 10,000DWT 이상은 거의 10cm/s 이다.

참고 표 (4.1-7) 선박의 재화중량톤수와 접안속도의 평균값

재화중량톤수 (DWT)	접안속도(cm/s)			
	화물선	컨테이너선	자동차운반선	전선박
1,000급	8.1	—	—	8.1
5,000급	6.7	7.8	—	7.2
10,000급	5.0	7.2	4.6	5.3
15,000급	4.5	4.9	4.7	4.6
30,000급	3.9	4.1	4.4	4.1
50,000급	3.5	3.4	—	3.4
전 선박	5.2	5.0	4.6	5.0

## 설계조건



참고 그림 (4.1-5) 재화중량톤수와 접안속도의 관계

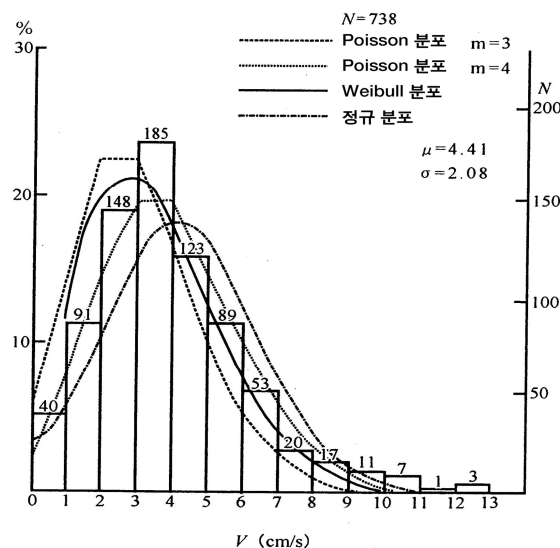
- (5) 200,000DWT급의 대형탱커용 돌핀에서 접안속도 실측기록을 보면 접안속도의 빈도분포 [참고 그림 (4.1-6) 참조]에서 접안속도 실측값의 최대는 13cm/s이다. 이는 미초과확률(누적발생확률)로 99.6%에 해당된다. 같은 방법으로 평균값  $\mu$ 는 4.4cm/s, 표준편차  $\sigma$ 는 2.08cm/s이다. 이로부터 와이불(Weibull) 분포에 준한 확률밀도  $f(V)$ 를 구하면 다음 식과 같다.

$$f(V) = \frac{V}{0.8} \exp(-V^{1.25})$$

참고 식 (4.1-1)

여기서,  $V$  : 접안속도(cm/s)

또 접안속도의 1/1000 기댓값을 구하면 14.5cm/s가 된다. 접안속도를 실측한 돌핀(또는 해양구조물(Sea berth))의 설계접안속도는 15~20cm/s이다.



참고 그림 (4.1-6) 접안속도의 빈도분포

- (6) 소형화물선이나 어선 등의 소형 선박은 접안 시에 예인선을 사용하지 않고 자력으로 접안하기 때문에 대형선에 비하여 일반적으로 접안속도가 크고, 경우에 따라서는 30cm/s 이상이 되기도 하므로 주의를 요한다. 이 때문에 특히 소형선박의 접안속도는 실측값 등을 근거로 하여 신중하게 결정하여야 한다.
- (7) 위와 같이 신중한 접안방법을 강구하지 않는 경우나 흐름이 작용하는 선석에서 중소형 선박 등의 접안에 대해서는 표류속도를 고려하고 실측자료 등에 근거하여 접안속도를 정할 결정하여야 한다.
- (8) 어선 등이 사용할 가능성이 있는 계류시설의 설계에서는 어항에서의 설계기준 및 실적에 근거하여 설계한다.

### (3) 편심계수

편심계수는 다음 식으로 계산하는 것을 기준으로 한다.

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{\ell}{r}\right)^2} \quad \text{식 (4.1-2)}$$

여기서,  $\ell$  : 선박의 접촉면으로부터 계류시설의 기준선에 평행하게 측정한 당해선박의 중심까지 거리(m)

$r$  : 선박의 중심을 통하는 연직축 둘레의 회전반경(m)

## [참 고]

- (1) 접안조선중의 선박은 선석기준선과는 평행하지 않고 선박은 계류시설(방충재)과 접촉한 후 회전(Yawing)을 시작하고 롤링을 한다. 그 결과 운동에너지의 일부가 소모된다. 그러나 롤링(Rolling)에 의한 에너지의 소모는 회전(Yawing)에 비해 적으므로 무시되며 식 (4.1-2)는 회전(Yawing)에 의한 에너지 소모를 고려하고 있다.
- (2)  $r/L_{pp}$ 는 선박의 블록계수  $C_b$ 와의 관계로 참고 그림 (4.1-7)에서 구할 수 있고, 근사적으로는 다음 식을 사용하여도 좋다.

$$r = (0.19C_b + 0.11)L_{pp} \quad \text{참고 식 (4.1-2)}$$

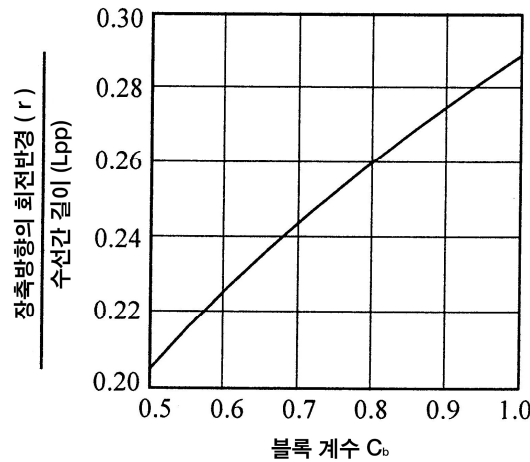
여기서,  $r$  : 전반경(또는 환동반경)으로 선박의 수직 축주변의 관성모멘트  $I_z$ 와의 사이에서

$$I_z = M_s \cdot r^2 \text{의 관계}$$

$L_{pp}$  : 수선간 길이(m)

$C_b$  : 블록계수,  $C_b = \nabla / (L_{pp} B d)$

( $\nabla$  : 선박의 배수부피(m<sup>3</sup>),  $B$  : 형폭(m),  $d$  : 흘수(m))



참고 그림 4.1-7 장축방향의 회전반경과 블록계수와의 관계(Myer. 1969)

- (3) 선박이 P점에서 접안시설의 방충재  $F_1$ 와  $F_2$ 에 접촉할 때 계류시설에 평행하게 측정한 접촉점에서 선박의 중심까지의 거리  $\ell$  은 다음 2가지 식으로 구할 수 있다.

$$L_1 = \{0.5\alpha + e(1-k)\} L_{pp} \cos\theta \quad \text{참고 식 (4.1-3)}$$

$$L_2 = \{0.5\alpha - ek\} L_{pp} \cos\theta \quad \text{참고 식 (4.1-4)}$$

여기서,  $L_1$  : 선박이 방충재  $F_1$ 에 접촉할 때의 계류시설에 평행하게 측정한 접촉점에서 선박의 중심까지의 거리

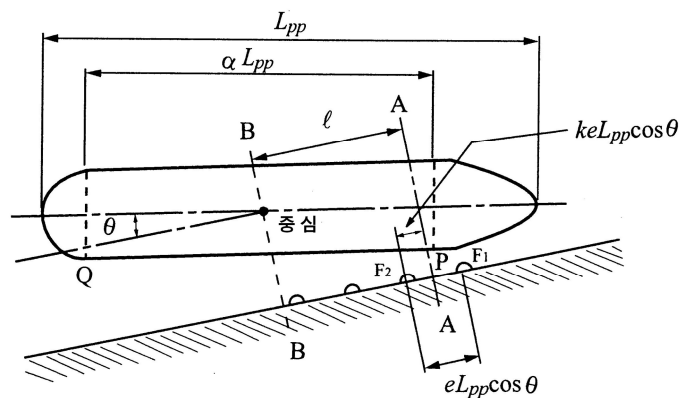
$L_2$  : 선박이 방충재  $F_2$ 에 접촉할 때의 계류시설에 평행하게 측정한 접촉점에서 선박의 중심까지의 거리

$\theta$  : 접안각도(설계조건에 주어진 값으로 통상  $0 \sim 10^\circ$ 정도가 많다)

$e$  : 배의 장축방향에서 관측한 방충재 간격과 수선간 길이의 비

$\alpha$  : 방충재와 접촉점 높이에서 선박측면의 평행현의 길이와 수선간 길이의 비 (일반적으로  $1/2 \sim 1/3$ 이다)

$k$  : 방충재  $F_1$ 와  $F_2$ 의 사이에서 선박과 접안시설이 가장 가까운 점을 표시하는 계수,  $0 < k < 1$ 로서 일반적으로  $k=0.5$  정도이다.



참고 그림 (4.1-8) 선박의 접안상황

## (4) 가상질량계수

가상질량계수는 다음 식으로 계산하는 것을 기준으로 한다.

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2C_b} \times \frac{d}{B} \quad \text{식 (4.1-3)}$$

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{pp} B d}$$

여기서,  $C_b$  : 블록계수

$\nabla$  : 선박의 배수부피( $\text{m}^3$ )

$L_{pp}$  : 수선간 길이(m)

$B$  : 형폭(m)

$d$  : 만재흘수(m)

## [참 고]

- (1) 선박의 접안 시에는 선박의 질량( $M_s$ )과 선박주변 수괴의 질량( $M_w$ )이 동시에 감소된다. 따라서 수괴의 질량에 의한 관성력이 선박에 추가된다. 이로 인한 가상질량 계수는 다음 식으로 구한다.

$$C_m = \frac{M_s + M_w}{M_s} \quad \text{참고 식 (4.1-5)}$$

여기서,  $C_m$  : 가상질량계수

$M_s$  : 선박의 질량(선박의 배수량/중력가속도)

$M_w$  : 선박주변의 수괴질량(부가질량) (t)

- (2) 수선간 길이( $L_{pp}$ ), 형폭( $B$ ), 만재흘수( $d$ )는 대상선박의 치수를 사용하지만 표준선형으로 사용할 경우 표준선형표를 사용할 수 있다. 표준선형에 대한 수선간 길이( $L_{pp}$ )는 참고 표 (4.1-1)을 참고할 수 있다.

#### 4.1.2.3 계류 중 선박의 동요에 의하여 발생하는 외력

(1) 계류선박의 동요

계류선박의 동요에 의하여 발생하는 외력은 선박에 작용하는 파력, 풍압력, 물의 흐름에 의한 유압력 등을 설정하고 동요계산을 한다.

**[해설]**

- (1) 외해나 항입구 부근에 시설된 계류시설, 장주기파의 침입이 예상되는 항만의 계류 시설에 계류된 선박 또는 악천후 시에 계류하는 선박에 대하여는 파도와 바람, 흐름 등에 의한 하중의 작용을 받아 선박이 동요하게 된다. 계류선박의 동요에 의한 운동 에너지가 접안에너지를 초과하는 경우가 있기 때문에 계선주 또는 방충재의 설계 시 계류선박의 동요에 의한 전인력 또는 충격력을 고려하여야 한다.
- (2) 계류선박의 동요에 의하여 발생하는 외력은 선박에 작용하는 파력, 풍압력, 흐름에 의한 유압력, 계류시스템의 특성을 근거로 동요계산을 하고 있다.

**[참고]**

- (1) 계류선박의 동요는 하중의 불규칙성, 계류시스템의 변위복원력 특성의 비선형성을 고려하여 수치모형실험 등에 의하여 구한다.
- (2) 대형탱커와 같이 블록계수가 0.7~0.8인 선박에서는 선체를 타원주체로 보고 근사적으로 파력을 구할 수 있다.
- (3) 작업선과 같이 상자형 단면형상일 때에는 선체를 구형단면 부체 또는 직사각 부체로 보고 파력을 구할 수 있다.

(2) 선박에 작용하는 파력

계류선박에 작용하는 파력은 선형이나 파의 제원을 고려하여 계산한다.

**[해설]**

계류선박에 작용하는 파력은 스트립법, 특이점분포법(特異點分布法), 경계요소법(境界要素法), 유한요소법(有限要素法) 등을 사용하는데 선박에서는 스트립법을 가장 많이 사용한다.

**[참고]**

(1) 스트립법에 의한 파력

① 선체에 작용하는 규칙적인 파력

선체에 작용하는 파력은 프루드 크릴로프의 힘(Froude-kriloff force)과 선체에 의한 회절파력의 힘(Diffraction force)의 합으로 된다.



## ② 프루드 크릴로프의 힘

선체를 통과하는 파에 의한 힘으로 입사파의 힘과 접안시설에 의한 반사파에 의한 힘의 합으로 된다.

## ③ 반사파의 힘

선박에 의한 반사파의 힘은 입사파가 선체에 의해 분산될 때의 압력의 변화로 인해 발생하는 힘으로 이 압력의 변화를 상대적으로 선체를 운동하게 하여 라디에이션의 유체력(Radiation force), 정지유체 속을 선박이 어느 정도의 속도로 운동할 때의 조파저항력(造波抵抗力)으로 바꾸어 추정할 수 있다. 이때의 선박의 속도는 선체단면과 입사파의 물입자와의 상대속도가 같다고 가정하고 이 속도를 등가상대속도(等價相對速度)라 부른다.

## ④ 선체 전체에 작용하는 힘

선체단면에 작용하는 프루드 크릴로프의 힘과 반사파의 힘을 선박의 장축방향에 따라  $x = -L_{PP}/2$  부터  $x = L_{PP}/2$ 까지 적분하여 선체전체에 파력을 구할 수 있다.

## (2) 회절파이론에 의한 파력

선박이 블록계수  $C_b$  : 0.7~0.8정도이고 배후에 반사구조물이 없고 선박의 동요가 작다고 보아질 때에는 선박을 타원주체로 가정하고 회절파 이론을 근거로 한 식에 의한 파력을 계산할 수 있다.

## 4.1.2.4 선박에 작용하는 풍하중

계류선박에 작용하는 풍하중은 풍속의 시간적 변동성, 선체의 단면 형상에 따라 풍항력계수의 특성을 고려하여 계산한다.

## [참고]

- (1) 선박에 작용하는 풍하중은  $x, y$ 방향의 풍항력계수  $C_x, C_y$ 와 선박중심축 회전의 풍압모멘트계수  $C_M$ 을 써서 다음 식으로 구한다.

참고 식 (4.1-6)

$$\left. \begin{aligned} R_x &= \frac{1}{2} \rho_a U^2 A_r C_x \\ R_y &= \frac{1}{2} \rho_a U^2 A_L C_y \\ R_M &= \frac{1}{2} \rho_a U^2 A_L L_{pp} C_M \end{aligned} \right\}$$

여기서,  $C_x$  : x방향(선체정면방향)의 풍항력 계수  
 $C_y$  : y방향(선체측면방향)의 풍항력 계수  
 $C_M$  : 미드십선회의 풍압모멘트 계수  
 $R_x$  : 풍하중 합력의 x방향성분(kN)  
 $R_y$  : 풍하중 합력의 y방향성분(kN)  
 $R_M$  : 풍하중 합력의 선박중심축 회전 모멘트(kN.m)  
 $\rho_a$  : 공기의 밀도,  
 $\rho_a = 1.23 \times 10^{-3} (\text{t/m}^3)$   
 $U$  : 풍속(m/s)  
 $A_r$  : 수면상 선체 정면 투영면적( $\text{m}^2$ )  
 $A_L$  : 수면상 선체 측면 투영면적( $\text{m}^2$ )  
 $L_{pp}$  : 수선간 길이(m)

- (2) 풍압계수  $C_x, C_y, C_M$ 은 특정선박에 대한 풍동실험(風洞實驗)이나 수조에서의 실험에서 구하여야 한다. 이와 같은 실험은 시간, 비용 등이 들기 때문에 기왕의 풍동실험이나 수조에서의 실험결과를 근거하여 풍항력계수의 계산식을 사용하여 구할 수 있다.
- (3) 풍속( $U$ )는 최대풍속(10분간 평균 풍속)을 사용한다.
- (4) 수면상의 선체 정면 투영면적과 수면상 선체 측면 투영면적은 대상선박의 치수를 사용하여야 한다. 표준선형에 대해서는 회귀식을 참고로 사용하여 구할 수 있다.
- (5) 풍속은 시간이나 공간적으로 변동하므로 계류 선박의 동요 해석에서는 풍속은 변동풍(變動風)으로 하고 시간적인 변동풍속의 스펙트럼은 더번포트(Davenport)나 히노(日野)가 제시한 다음의 주파수 스펙트럼은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} fS_u(f) &= 4K_r U_{10}^2 \frac{X^2}{(1+X^2)^{4/3}} \\ X &= 1200f/U_{10} \\ S_u(f) &= 2.856 \frac{K_r U_{10}^2}{\beta} \left\{ 1 + \left( \frac{f}{\beta} \right)^2 \right\}^{-5/6} \\ \beta &= 1.169 \times 10^{-3} \left( \frac{U_{10}^\alpha}{\sqrt{K_r}} \right) \left( \frac{z}{10} \right)^{2m\alpha-1} \end{aligned} \right\} \quad \text{참고 식 (4.1-7)}$$

여기서,  $S_u(f)$  : 주파수 스펙트럼( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$U_{10}$  : 기준 높이 10m에서의 평균풍속( $\text{m/s}$ )

$K_r$  : 기준 높이의 풍속으로 정의한 표면 마찰계수로 해상에서는  $K_r = 0.003$ 이 적당하다.

$\alpha$  : 풍속의 수직분포를 지켜야 할 법칙으로 표시한 때의 지켜야 할 지수 ( $U \propto (z/10)^\alpha$ )

$z$  : 지표면 또는 수면상의 높이( $\text{m}$ )

$m$  : 대기의 안정도에 관한 수정계수, 폭풍우에 대하여  $m = 2$ 이다.

#### 4.1.2.5 선박에 작용하는 조류에 의한 유체압력

선박에 작용하는 흐름에 의한 유체압력은 선수방향에서 흐름에 의한 유체압력과 선측 방향에서 흐름에 의한 유체압력을 산정하여 정한다.

#### [참 고]

##### (1) 선수 방향에서 흐름에 의한 유체압력

선수 방향에서 흐름과 선박 사이에서 발생하는 유체압력은 다음 식으로 계산된다.

$$R_f = 0.0014SV^2 \quad \text{참고 식 (4.1-8)}$$

여기서,  $R_f$  : 유체압력(kN)

$S$  : 침수면적(m<sup>2</sup>)

$V$  : 유속(m/s)

##### (2) 선측 방향에서 흐름에 의한 유체압력

선측 방향에서 흐름에 의한 유체압력은 다음 식으로 계산된다.

$$R = 0.5\rho_o CV^2B \quad \text{참고 식 (4.1-9)}$$

여기서,  $R$  : 유체압력(kN)

$\rho_o$  : 해수의 밀도(t/m<sup>3</sup>), (표준값 :  $\rho_o = 1.03\text{t/m}^3$ )

$C$  : 유압계수

$V$  : 유속(m/s)

$B$  : 홀수선 밑의 선체 측면 투영면적(m<sup>2</sup>)

##### (3) 조류에 의한 유체압력은 마찰저항과 압력저항으로 나누어진다.

선수 방향에서 흐름에 대한 저항은 대부분 마찰저항이다. 측면에서 흐름에 대해서는 대부분이 압력저항으로 생각할 수 있다. 그러나 양자를 엄밀하게 구분하기란 어렵다. 다음 식은 프루드(R. E. Froude)식에  $\rho_w = 1.03$ ,  $t = 15^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = 0.14$ 를 대입한 것을 간략화한 것이다.

$$R_f = \rho_w g \lambda \{1 + 0.0043(15 - t)\} SV^{1.825} \quad \text{참고 식 (4.1-10)}$$

여기서,  $R_f$  : 유체압력(N)

$\rho_w$  : 해수의 비중, (표준값 :  $\rho_w = 1.03$ )

$g$  : 중력 가속도(m/s<sup>2</sup>)

$t$  : 온도(°C)

$S$  : 침수면적(m<sup>2</sup>)

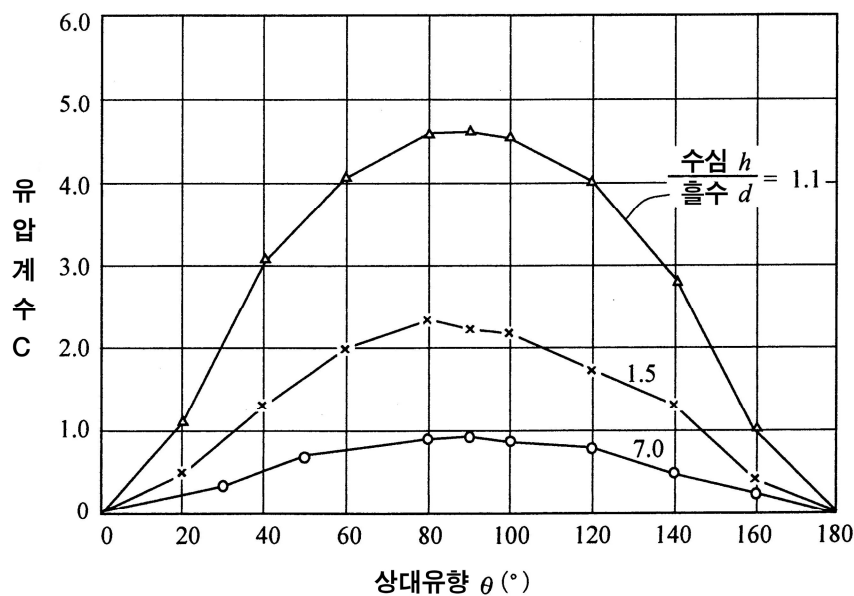
$V$  : 유속(m/s)

$\lambda$  : 계수

선박의 전장(全長) 30m일 경우  $\lambda$  : 0.14741

선박의 전장(全長) 250m일 경우  $\lambda$  : 0.13783

- (4) 유압계수  $C$ 는 선박의 흐름의 상대유향  $\theta$ 에 따라 변화하지만 참고 그림 (4.2-9)에서 구한 값을 참고로 할 수 있다.
- (5) 침수면적  $S$ , 흘수면 하의 선체 측면 투영면적  $B$ 는 통계 해석에서 구해진 회귀식에 의한 값을 사용하여도 된다.



참고 그림 (4.1-9) 유압계수  $C$

#### 4.1.2.6 계류시스템의 특성

계류시스템의 동요 계산 시에는 계류라인이나 방충재 등의 계류시스템의 변위복원력 특성을 모델(Model)화 한다.

#### [해설]

계류라인이나 방충재 등의 변위 복원력 특성은 일반적으로 비선형 특성이 있다. 또한 방충재의 변위 복원력 특성에 대해서는 히스테리시스를 갖는 경우도 있으므로 이를 모델화하여 동요계산을 하여야 한다.

## 설계조건

### 4.1.2.7 계선주에 작용하는 힘

- (1) 계선주에 작용하는 선박의 견인력은 표 (4.1-1)의 값을 기준으로 한다.  
 직주에 있어서는 아래 표의 값을 규정한 선박의 견인력이 수평방향으로 작용하고,  
 그 반(1/2)의 견인력이 수직방향으로 동시에 작용하는 것을 기준으로 한다.  
 곡주에서는 아래 표의 값을 규정한 선박의 견인력이 모든 방향에 작용하는 것을  
 기준으로 하고 있다.

표 (4.1-1) 선박의 견인력

선박의 총톤수 (GT,톤)		직주에 작용하는 견인력 (kN, {t})	곡주에 작용하는 견인력 (kN, {t})
200톤 이상	500톤이하	150 {15}	150 {15}
500 " "	1,000 " "	250 {25}	250 {25}
1,000 " "	2,000 " "	350 {35}	250 {25}
2,000 " "	3,000 " "	350 {35}	350 {35}
3,000 " "	5,000 " "	500 {50}	350 {35}
5,000 " "	10,000 " "	700 {70}	500 {50}
10,000 " "	20,000 " "	1,000 {100}	700 {70}
20,000 " "	50,000 " "	1,500 {150}	1,000 {100}
50,000 " "	100,000 " "	2,000 {200}	1,000 {100}
100,000 " "	150,000 " "	2,000 {200}	1,500 {150}
150,000 " "	200,000 " "	2,500 {250}	1,500 {150}
200,000 " "	250,000 " "	2,500 {250}	2,000 {200}

- (2) 어선의 견인력은 표 (4.1-2)를 참조한다.

표 (4.1-2) 어선의 견인력

(단위 : kN)

어선 총톤 수	견인력(계선주 1기당)
10 ton 미만	10
10 ton 이상 ~ 150 ton 미만	30
50 ton 이상 ~ 1100 ton 미만	50
100 ton 이상 ~ 1200 ton 미만	70
200 ton 이상 ~ 1500 ton 미만	150
500 ton 이상 ~ 11,000 ton 미만	250

주 : 약천후 시의 계선주(환) 1기에 작용하는 견인력은 어선의 계류 척수 등을 고려하여 정한다.

### [해설]

직주는 폭풍 시에 선박을 계류하기 위한 선석 양단 부근의 계류시설 또는 그 부근의  
 기준선으로부터 떨어지게 설치하는 계선주이다. 또 곡주는 평상시에 선박을 계류 또는  
 이접안하기 위한 계류시설로 기준선 가까이에 설치하는 계선주이다.

## [참 고]

- (1) 계선주에 작용하는 견인력은 계류라인의 절단하중, 계류시설이 설치되는 지점의 기상·해상조건, 선박의 제원 등을 근거로 하여 필요에 따라 접안 중의 선박에 의한 힘, 계류 중의 선박의 풍압력, 동요에 의한 힘을 고려하여 계산하여야 한다.
- (2) 선박의 총톤수가 5,000톤을 넘는 경우 선석이 일정한 계류시설의 중간부에 스프링라인을 걸기위한 계선주에서 계류라인이 2줄 이상 필요치 않을 경우에는 곡주에 작용하는 견인력은 표 (4.1-1)에 표시된 값의 반으로 한다.
- (3) 표 (4.1-1)의 총톤수가 200톤이하 또는 100,000톤을 넘는 선박의 견인력이나 악천후 시에도 선박을 계류하는 계류시설 및 외해 등 기상·해상조건에 영향을 받는 수역에 설치하는 계류시설에 작용하는 견인력은 기상·해상조건, 계류시설의 구조, 기왕의 견인력 실측자료 등을 감안하여 정한다.
- (4) 직주에 작용하는 견인력은 직주가 안벽 기준선에서 선박 폭만큼 후방에 또는 브레스트라인(Breast line)이 선축과 45°의 방향으로 당겨지는 것으로 하고, 25~30m/s의 풍속에도 경화(輕貨)상태의 선박이 안전하게 계류할 수 있도록 선박에 작용하는 풍압력으로 구하는 것이다. 견인력은 계류라인 1~2줄의 절단강도에 상당한다. 또한 1,000GT 이하의 소형선에 대해서는 35m/s의 풍속을 견딜 수 있는 견인력으로 되어 있다.  
곡주에 작용하는 견인력은 선수미(船首尾)가 선축과 25°이상의 방향에서 당기는 것으로 하고 경화 시에 대해서도 곡주가 15m/s의 풍속까지 계류할 수 있도록 선박에 작용하는 풍압력에서 구한 것이다. 이는 5,000GT 이하의 선박에 대한 계류라인의 1줄의 절단강도, 5,000GT를 넘는 경우에는 계류라인 2줄의 절단강도에 상당한다.  
선석이 정해진 선석의 중간부에 설치하는 스프링라인용 곡주에 대한 견인력은 계류라인 1줄의 절단강도에 상당한다. 다만, 합성섬유삭에 관한 규정은 나일론삭, 비니론삭 B종은 사용실적이 적고 내마모성이 작은 이유로 소요의 안전율을 크게 잡고 있어 소요지름이 크고 절단하중도 크다. 따라서 나일론삭이나 비니론삭 B종을 사용하는 경우에는 상기 참고 (3)항의 규정은 적용되지 않는다. 이상과 같이 견인력의 산정은 풍압력 외에 선축방향에 2노트, 선축 직각방향에 0.6노트의 유속이 고려되어 있다.
- (5) 200GT 이하 소형선의 견인력은 선박의 종류, 접안상황, 계류시설의 구조 등을 고려하여 결정하여야 한다. 즉 실제의 설계에서는 200GT 이하의 경우 직주에 작용하는 견인력은 150kN, 곡주에 작용하는 견인력은 50kN을 표준으로 하고 있다.
- (6) 페리, 컨테이너선, 여객선 등의 견인력 산정은 바람의 수압면적(受壓面積)이 크기 때문에 상기 표 (4.1-1)을 사용할 때 주의를 요한다.

## 4.2 바람과 풍압력

### 4.2.1 바람과 풍압력의 일반사항

항만시설의 계획 및 설계에 있어서는 기상의 요소인 바람, 기압, 안개, 강우, 강설, 기온 등을 고려하여야 하며 이들 요소가 항만에 미치는 영향은 다음과 같다.

- (1) 기압과 기압분포는 바람 또는 폭풍해일 발생의 지배적 요인이 된다.
- (2) 바람은 파도 및 고조 발생의 요인이 되고 항구의 위치, 방향, 방파제의 방향 등의 결정에 영향을 준다. 또 항만시설 및 계류 중의 선박에 풍압이 작용하며, 하역 시나 기타 항만에서의 여러 가지 작업을 저해하는 요인으로 작용한다.
- (3) 강우는 항만내의 배수시설 용량 결정에 주요인이 될 뿐 아니라 하역작업 등 여러 가지 작업의 저해요인이 된다.
- (4) 안개는 선박의 항행 및 입출항에 지장을 주어 항만의 이용도를 저해시키는 요인이 된다.
- (5) 적설은 항만시설의 적재하중에 영향을 미친다.
- (6) 기온은 구조부재의 응력분포에 영향을 미치며 온도응력을 발생시킬 수 있다.

#### [참 고]

- (1) 태풍에 의한 고조나 파랑발생의 계산은 태풍권내의 기압 실측값에 따라 후지다(藤田)의 식 또는 마이어스(Myers)식의 정수를 결정하고 기압분포를 가정하는 수가 많다.

$$p = p_{\infty} - \frac{\Delta p}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_o}\right)^2}} \quad (\text{후지다식}) \quad \text{참고 식 (4.2-1)}$$

$$p = p_c + \Delta \exp\left(-\frac{r_o}{r}\right) \quad (\text{마이어스식}) \quad \text{참고 식 (4.2-2)}$$

여기서,  $p$  : 태풍 중심에서부터의 거리  $r$ 점의 기압(hPa{mb})

$r$  : 태풍 중심에서부터의 거리(km)

$p_c$  : 태풍 중심의 기압(hPa{mb})

$r_o$  : 태풍 중심에서부터 대략 최대 풍속 점까지의 거리(km)

$\Delta p$  : 태풍 중심에서 기압의 깊이(hPa{mb}),  $\Delta p = p_{\infty} - p_c$

$p_{\infty}$  :  $r \rightarrow \infty$ 의 기압(hPa{mb}),  $p_{\infty} = p_c + \Delta p$  일반적으로 태풍의 규모는 시간적으로 변동하므로  $r_o$ ,  $\Delta p$ 는 시간의 함수로서 구하지 않으면 안 된다.

- (2) 강우는 일반적으로 단기간에 강우량이 집중하는 뇌우(雷雨)와 태풍으로 대표되는 계속시간이 긴 강우로 나누어진다. 배수시설의 설계는 순간적인 유출량이 큰 경우와



유출시간이 긴 경우에 대한 강우강도를 결정하여야 한다. 뇌우 등 강우강도가 문제가 되는 하수도계획 등에는 샤먼식이나 탈보트식(Talbot)이 사용된다.

$$R = \frac{a}{t^n} \quad (\text{샤먼식}) \quad \text{참고 식 (4.2-3)}$$

$$R = \frac{a}{t+b} \quad (\text{탈보트식}) \quad \text{참고 식 (4.2-4)}$$

여기서,  $R$  : 강우 강도(mm/h)  
 $t$  : 강우 지속시간(min)  
 $a, b, n$  : 정수(하수도시설기준 참조)

최대 강우량과 강우기간과의 관계는  $P = aT^n$ 으로 나타낼 수 있다.

최근에는 강우의 종류나 지형을 고려한 실험식이 제안되어 있다. 통상 관측되고 있는 1시간 강우량에서 1시간 이하의 스케일로 강우강도를 구하는 식이다.

$$R = 7.7 R_o T^{0.5} \quad \text{참고 식 (4.2-5)}$$

여기서,  $R_o$  : 1시간 측정된 강우강도(mm/h)  
 $N$ 년 확률로 60분 우량이 있을 때에는 이를 사용한다.  
 $T$  : 구하고자 하는 1시간 이하의 시간스케일(min)  
 $R$  : 구하고자 하는 시간스케일의 강우강도(mm/h)

태풍과 같이 전체우량이 많을 때나 산에서 육역으로 강우유출이 문제가 되는 경우는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$P = 83 D^{0.33} \quad \text{참고 식 (4.2-6)}$$

여기서,  $P$  : 최대강우량(mm)  
 $D$  : 강우시간(h)

- (3) 부정정 구조물의 설계에서는 온도변화가 발생하는 온도응력의 영향을 고려하여야 한다. 일반적으로는 구조물에 일정한 온도의 승강이 있다고 보고 온도의 승강은 연평균 기온과 월평균기온의 최고와 최저의 차에서 구하고 있으나 일반적으로  $(\pm)15^{\circ}\text{C}$ 가 적당하다. 다만, 연간의 기온차가 큰 지점에서는 이에 대하여 고려하여야 한다. 또한 부분적으로 온도가 다른 구조물은 그 영향을 고려하여야 한다.

## 4.2.2 바람

파고 등의 추정에 사용하는 바람이나 항만시설에 외력으로 작용하는 바람은 다음 방법으로 결정하는 것을 표준으로 한다.

- (1) 파고의 추정이나 고조의 추정에 쓰이는 풍속, 풍향은 바람의 실측값 또는 경도풍 등의 계산 값에 높이 등의 필요한 보정을 하여 계산한다.
- (2) 항만시설에 작용하는 풍속은 당해시설 및 구조물의 특성 등에 따라 최소 20년 이상 기간의 통계자료를 근거로 하여 결정한다.

### [참 고]

#### (1) 경도풍

- ① 경도풍의 풍속은 기압경도, 등압선의 곡률반경, 위도, 공기밀도의 함수로서 다음 식으로 계산한다.

$$V_g = r\omega \sin\theta \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{\partial p / \partial r}{\rho_a r \omega^2 \sin^2 \theta}} \right) \quad \text{참고 식 (4.2-7)}$$

여기서,  $V_g$  : 경도풍속(m/s), 고기압성의 경우 식 참고 (4.2-7)은 (-)가 되므로 절대값을 취한다.

$\frac{\partial p}{\partial r}$  : 기압경도(저기압성은 (+), 고기압성은 (-)로 한다.) (kg/m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)

$r$  : 등기압선의 곡률반경(m)

$\omega$  : 지구자전의 각속도(角速度 : 1/s),

$$\omega = 7.27 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$$

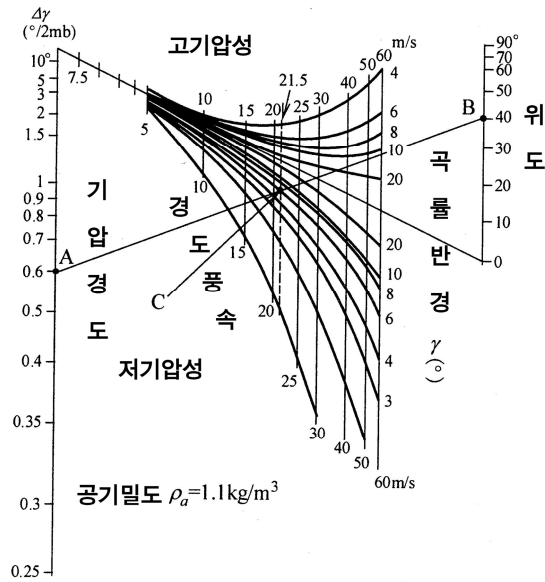
$\theta$  : 위도(°)

$\rho_a$  : 공기의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

위도 1°상당에 해당하는 거리는 약 1.11×10<sup>5</sup>m, 기압 1hPa는 100kg/m/s<sup>2</sup> 임

- ② 곡률반경이 무한대(등압선이 직선이 됨)인 경우 경도풍을 특히 지형풍(地衡風)이라 부르며, 그 풍속은  $V = (\partial p / \partial r) / (2\rho_a \omega \sin\theta)$ 가 된다.
- ③ 경도풍의 산정은 참고 그림 (4.2-1)의 경도풍산정 노모그래프(Nomograph)를 이용하면 편리하다. 이는  $\rho_a = 1.1\text{kg/cm}^3$ 을 가정한 것이다.

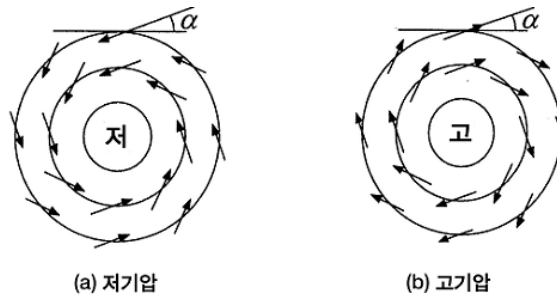
사용 예를 설명하면, 위도 40°지점의 2h $\rho_a$  등압선 간격(기압경도)이 위도로서 0.6° 등압선 곡률반경이 6°의 경우(저기압성으로 한다)는 A점과 B점을 직선으로 연결하여 곡률반경  $r=6^\circ$ 의 곡선과 교차되는 C를 구하고 세로선의 눈금을 읽으면 경도풍속은 약 21.5m/s를 구할 수 있다.



참고 그림 (4.2-1) 경도풍산정 노모그래프(Nomograph)

- (2) 실제 해상에서의 풍속은 일반적으로 경도풍의 계산식보다 값이 적다. 또 경도풍의 풍향은 이론적으로는 등압선에 평행하지만 실제로는 참고 그림 (4.2-2)와 같이 등압선에 대한 어느 각도  $\alpha$  방향(Cross isobar angle)으로 분다.

지구의 북반구에서는 저기압의 중심을 향하여 왼쪽방향으로 불고, 고기압의 중심에서는 오른쪽방향으로 분다.



참고 그림 (4.2-2) 저기압 및 고기압에서의 바람 부는 방향(북반구)

경도풍과 해상풍의 관계는 위도에 따라 다르며 평균적으로 참고 표 (4.2-1)과 같다.

참고 표 (4.2-1) 경도풍과 해상풍의 관계(위도별)

위도	10°	20°	30°	40°	50°
각도 $\alpha$	24°	20°	18°	17°	15°
풍속비 $V_s/V_g$	0.51	0.60	0.64	0.67	0.70

주 :  $V_s$  : 해상풍속(m/s),  $V_g$  : 경도풍속(m/s)  
 $\alpha$  : 해상풍의 풍향과 등압선이 이루는 각도

## 설계조건

그러나 위 표는 하나의 표준이고 해상풍의 추정에 있어서는 연안의 실측값이나 기상도에 기입된 해상 선박에서의 통보된 값을 참고하여 보정을 행한 후 해상풍을 추정하여야 한다.

- (3) 항만시설에 작용하는 바람의 설계풍속의 선정은 장기간(20년 이상)의 실측값에 따라 풍속의 출현확률분포를 추정한 후, 소요 재출현기간에 대응하는 풍속을 채택한다.

바람의 제원은 풍향 및 풍속으로 하며 풍향은 16방위, 풍속은 10분간 풍속으로 표시하는 것을 표준으로 한다.

기상청 관측 자료는 약 35년간의 최대 10분 평균풍속에서 이중지수분포를 가정하고 5, 10, 20, 50, 100, 200년의 재현기대풍속을 추정하고 있다. 따라서 대상지점에 인접한 관측소의 지형조건이 다른 경우는 최저 1년간 관측하고 지형관계를 비교 검토하여 관측성과를 이용하는 것이 적절하다.

- (4) 폭풍해일 및 파고의 추정에 사용하는 풍속은 해면상 10m에서의 값을 기준으로 하고 있다.

또 기상청의 관측된 풍속은 지상 10m정도의 값이다. 따라서 관측 값을 이용하여 해상풍을 추정하는 경우 대상으로 하는 구조물의 높이가 관측기준 높이와 떨어져 차이가 있는 경우 풍속에 대한 높이의 보정을 하여야 한다. 풍속의 수직분포는 일반적으로 대수측(對數側)으로 표시되지만 현행의 각종 구조물 설계계산에서는 간단하게 지수측(指數側)을 적용한다.

$$U_h = U_o \left( \frac{h}{h_o} \right)^n \quad \text{참고 식 (4.2-8)}$$

여기서,  $U_h$  : 높이  $h$ 에서의 풍속(m/s)

$U_o$  : 높이  $h_o$ 에서의 풍속(m/s)

지수는 지표부근의 조도, 대기의 안정도의 상태에 따라 변화하지만 구조물의 강도계산에서는  $n=1/10 \sim 1/4$ 을 사용하고, 해상에서는 일반적으로  $n \geq 1/7$ 을 사용하는 경우가 많다.

풍속의 통계자료는 10분간 평균 풍속을 대상으로 하는 경우가 많으나, 구조물에 따라 이보다 더 짧은 평균시간의 평균풍속 또는 최대 순간풍속이 대상이 될 수도 있고, 이 경우에는 당해지역에서의 평균시간과 최대풍속의 관계, 돌풍률 등의 특성을 파악하여야 한다.

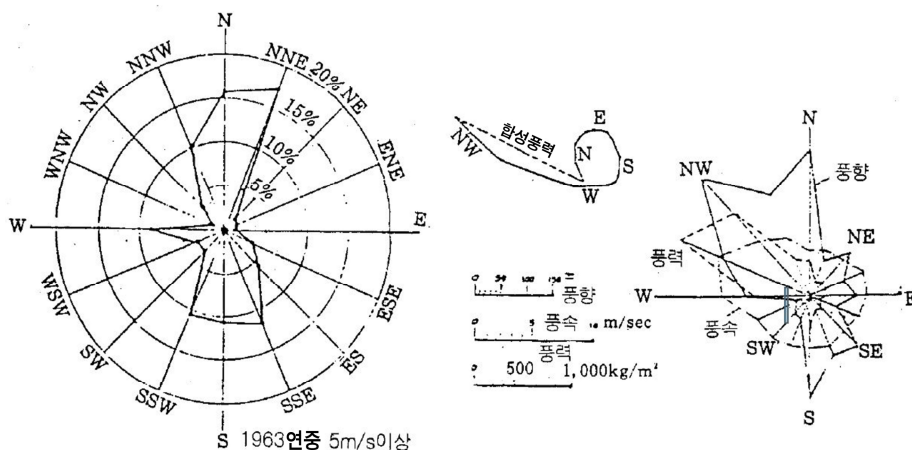
- (5) 풍속과 풍향

- ① 항만시설물의 계획에 사용되는 풍속과 풍향을 실측값에서 추정한다.
- ② 구조물 또는 선박에 사용하는 바람의 자료는 30년 이상의 기간에 걸쳐서 실측한 자료에서 구한다.
- ③ 설계심해파를 태풍에서 계산할 때에는 계산식에서 추정한다.
- ④ 풍향은 참고 그림 (4.2-3)과 같이 16방위로 표시한다.

- ⑤ 풍향은 방파제와 같은 외곽시설의 설치 위치와 방향을 정할 때 파향과 거의 같기 때문에 중요한 요소가 된다. 항구의 방향과 위치는 특히 최다풍향을 고려하여 결정하여야 한다.
- ⑥ 풍향은 풍향도를 표시하고 풍향도에는 전년풍향도(全年風向圖), 각월 풍향도, 계절 풍향도 등이 있다. 전년풍향도는 매일 6회 관측한 기록을 그 풍속에 관계없이(1m/s 이상만) 방향별로 회수를 분류하여 다음과 같은 표를 만들고 풍향도를 그린다.  
이 표에서 각 방향에 대한 1년간의 총 회수를 구한다.  
이와 같은 수년간의 기록을 평균하여 각 방향에 대한 1년간 회수의 평균값을 구할 수 있다. 이 평균값을 적당한 축척으로 표시하여 각 방향별로 그리면 참고 그림 (4.2-4)와 같은 전년풍향도가 된다.
- ⑦ 풍향도에서 가장 많이 불어오는 방향을 알 수 있으며, 이와 같은 방향의 바람을 항풍(Prevailing wind)이라 한다.

참고 표 (4.2-2) 항풍(Prevailing wind)

월 별 풍 향	1월	2월	3월	-----12월
N	35	30	25	-----12월
NNE	31	34	25	-----12월
NE	25	31	31	-----12월
ENE	202	19	35	-----12월



참고 그림 (4.2-3) 풍향표시도 참고 그림 (4.2-4) 풍향도

- ⑧ 풍속은 시시각각으로 변하므로 일정시간 내의 평균값을 택한다. 풍속은 일반적으로 10분간의 풍속을 평균한 값이다.  
풍속도의 작성법은 풍향도 작성법과 같으며, 풍속대신 풍향을 쓴다.

## 설계조건

### 4.2.3 풍압력

풍압력은 시설의 형태, 설치장소의 상황 등을 고려하여 정하여야 한다.  
그리고 헛간 및 창고, 하역기계 및 교량 또는 고가도로 등에 작용하는 풍압력은 다음에 의하여야 한다.

- (1) 부두의 헛간 및 창고에 작용하는 풍압력은 KDS 41 10 15 건축구조기준 설계하중을 적용하여 산정한다.
- (2) 교량, 고가도로 또는 이에 유사한 구조물 등에 작용하는 풍압력은 KDS 24 12 20 교량설계하중(일반설계법)의 풍하중에 의하여 산출한다.
- (3) 하역기계에 작용하는 풍압력은 KCS 64 70 10을 적용하고 작업상태, 휴지상태 및 지역적 특성을 고려하여 반영하여야 한다.

#### [참고]

하역기계에 작용하는 풍하중은 다음과 같이 계산하는 것을 규정하고 있다.

- (1) 풍하중 값은 다음의 식으로 계산한다.

$$F = \gamma \cdot A \cdot q \cdot C_f \quad \text{참고 식 (4.2-9)}$$

여기서,  $F$  : 풍하중(N)  
 $\gamma$  : 설계적용 하중계수  
 $A$  : 바람을 받는 투영면적(m<sup>2</sup>)  
 $q$  : 속도압(m<sup>2</sup>)  
 $C_f$  : 풍력계수

- (2) 풍하중 계산과 관련하여 풍속 및 속도압의 기준은 다음의 구분에 따라 적용한다.

- ① 작업상태에 해당하는 경우에는 지면상 20m에서 초속 20m의 순간풍속을 고려하여 속도압을  $q = 130 \sqrt[4]{h}$  (N/m<sup>2</sup>) 이상으로 적용한다.
- ② 휴지상태에 해당하는 경우의 속도압은 대상지역별 풍속기준에 따라 다음 표로부터 계산된 값 이상을 사용한다.

참고 표 (4.2-3) 지역별 풍속 및 속도압

대상지역	풍속(m/s)	속도압(N/m <sup>2</sup> )
서해안(인천 ~ 군산)	55	$880 \sqrt[4]{H}$
남해안, 동해안, 제주도	60	$1050 \sqrt[4]{H}$
목 포	70	$1430 \sqrt[4]{H}$
울릉도	75	$1640 \sqrt[4]{H}$

상기의 적용풍속은 지면상 20m에서의 최대순간풍속(2~3초 거스트)을 기준으로 하며, 속도압 산정에서는 지면상 20m 이하는 동일하게 적용한다.

③ 대상 부재별 풍하중 하중계수

가. 타이다운로드 : 1.5

나. 스토이지핀 : 1.5

다. 일반구조부재 : 1.0

- (3) 풍력계수는 크레인이 바람을 받는 면에 대하여 풍동시험(Wind tunnel test)으로 얻은 값, 또는 검증된 국제표준(International code)에 제시된 값으로 한다.

[참고문헌]

日本港灣協會(2007), 港灣の施設の技術上の基準・同解説

## 4.3 파랑 및 파력

### 4.3.1 설계일반

- (1) 항만구조물의 설계 및 항내정온도 분석을 위한 파랑은 실측값 또는 풍속에서 추산한 심해파 및 평상시 파랑 자료를 통계처리한 후 해안지형에 의한 변형을 고려한 값을 사용한다.
- (2) 설계파 산정 및 항내정온도 검토 시 파랑의 불규칙성을 고려한다.

#### [해설]

- (1) 우리나라 해안에 내습하는 설계파랑은 주로 태풍과 동계 계절풍에 의한 파랑이다.  
현재까지 우리나라의 파랑 실측기간은 길지 않으나, 바람자료는 관측기간이 상대적으로 길기 때문에 일반적으로 바람자료로부터 추산한다.
- (2) 최근에는 태풍 또는 저기압에 의한 바람은 기압 분포에서 비교적 정확하게 계산할 수 있고, 그 결과를 가지고 파랑수치모형을 사용하여 계산된 불규칙파의 파고와 주기를 사용한다.
- (3) 파랑의 통계처리는 이상시(異常時) 파랑과 평상시(平常時) 파랑으로 구분하여 이에 적합한 분석방법을 사용한다. 이상시 파랑은 태풍, 폭풍 등에 의해 발생하는 고파랑의 장기간 자료의 극치통계분석을 통해 구하며, 평상시 파랑은 1년 이상의 연속된 파랑 자료를 통계 처리하여 구한 파랑조건을 사용한다. 이상시 파랑은 구조물의 설계파 산정과 이상시 항내정온도 검토에 이용되고, 평상시 파랑은 항내정온도 분석 및 항만 가동일수 또는 작업일수 산정에 이용된다.
- (4) 파랑 변형은 외해로부터 내습하는 파랑이 파랑 자료를 필요로 하는 천해지점에 도달할 때까지의 변형으로서 천수변형, 굴절변형, 회절변형, 반사 및 쇄파 등에 의한 변형이다.

#### 4.3.1.1 규칙파

파랑의 파장, 주기 및 파고 등은 일반적으로 미소진폭파이론에 의하여 산정하나, 파고가 큰 천해역에서는 파랑의 유한진폭 효과를 고려하여 산정하여야 한다. 그러나 불규칙파군을 각 성분파의 중첩으로 나타내는 경우에 성분파의 기본성질은 미소진폭 파이론에 의해 계산할 수 있다.

#### [해설]

진행파의 파형은 파고  $H$ , 주기  $T$  및 수심  $h$ 에 따라 변한다. 파랑 이론은 미소진폭파(微小振幅波) 이론과 유한진폭파(有限振幅波) 이론으로 대별되며, 유한진폭파는 파봉(波峯)이 뾰족하고 파곡(波谷)은 평평한 형태를 보인다. 파고, 파장 및 수심으로부터 두 개의 무차



원변수를 만들 수 있다. 즉, 파장에 대한 파고의 비인 파형경사(波形傾斜)  $H/L$ , 파장에 대한 수심의 비인 상대수심  $h/L$ , 그리고 이 변수들로부터 구성되는 또 다른 무차원변수  $HL^2/h^3$ 인 어셀(Ursell)수의 상대적인 크기에 따라 적합한 파랑 이론을 사용한다.

## [참 고]

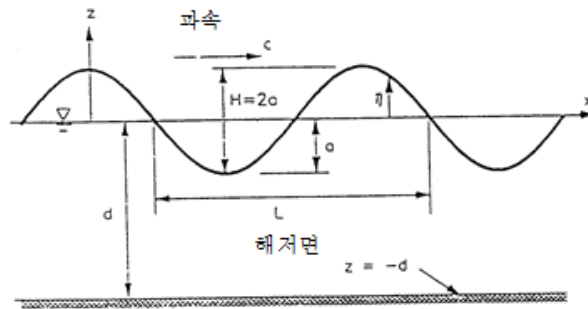
### (1) 미소진폭파 이론

파랑의 선형적인 특성은 미소진폭파 이론으로 나타내어지며, 필요에 따라 고차의 근사 식인 유한진폭파 이론에 의해 보다 정밀한 파랑 특성을 계산할 수 있다. 미소진폭파 이론에 따른 파랑운동은 속도포텐셜( $\phi$ )로 표시된다. 파랑의 운동방정식은 라플라스(Laplace)식( $\nabla^2\phi=0$ )이며, 적합한 경계조건을 부여하고  $H \ll L$  및  $H \ll h$ 의 전제조건 하에 풀면 다음과 같은 파랑 특성을 얻게 된다.

#### ① 수면변위(m)

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad \text{참고 식 (4.3-1)}$$

여기서,  $\eta$ 는 기준면인 정수면으로부터의 수면변위로서 파의 형태를 나타내고,  $x$ 축은 파의 진행방향으로 취한 거리,  $z$ 축은 정수면에서 연직상향으로 취한 거리,  $t$ 는 시간,  $T$ 는 주기(s),  $L$ 은 파장(m), 그리고  $H$ 는 파고(m)이다[참고 그림 (4.3-1)].



참고 그림 (4.3-1) 규칙파의 정의

#### ② 파 장(m)

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} (= CT) \quad \text{참고 식 (4.3-2)}$$

여기서,  $g$ 는 중력가속도( $m/s^2$ ),  $h$ 는 수심(m)이다. 참고 식 (4.3-2)를 파랑분산식이라 하며, 각주파수( $\sigma=2\pi/T$ )와 파수( $k=2\pi/L$ )를 사용하면 참고 식 (4.3-3)이 된다.

## 설계조건

$$\sigma^2 = g k \tanh kh \quad \text{참고 식 (4.3-3)}$$

참고 식 (4.3-2) 또는 참고 식 (4.3-3)은 파장 또는 파수에 대한 비선형식이므로 반복법으로 계산하며, 이 결과의 일부가 참고 표 (4.3-1)에 제시되어 있다.

### ③ 파 속(m/s)

$$C = \sqrt{\frac{gL \tanh \frac{2\pi h}{L}}{2\pi}} \quad (= \frac{L}{T}) \quad \text{참고 식 (4.3-4)}$$

### ④ 수립자(水粒子)의 속도(m/s)

$$\begin{cases} u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \\ w = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \end{cases} \quad \text{참고 식 (4.3-5)}$$

여기서,  $u$ 는 수평수립자(水平水粒子) 속도(m/s),  $w$ 는 연직수립자(鉛直水粒子) 속도(m/s)이다.

### ⑤ 수립자의 가속도(m/s<sup>2</sup>)

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\sinh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \end{cases} \quad \text{참고 식 (4.3-6)}$$

가속도는 참고 식 (4.3-6) 이외의 추가 항들이 존재하나 참고 식 (4.3-7) 미소진폭파에서는 이들이 작기 때문에 무시한다.

$$\begin{cases} a_x = \frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} \simeq \frac{\partial u}{\partial t} \\ a_z = \frac{dw}{dt} = \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \simeq \frac{\partial w}{\partial t} \end{cases} \quad \text{참고 식 (4.3-7)}$$

⑥ 파력( $t/m^2$ )

$$p = w_o \frac{H}{2} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) - w_o z \quad \text{참고 식 (4.3-8)}$$

여기서,  $w_o$ 는 해수(海水)의 단위체적중량이며, 참고 식 (4.3-8)의 우변 첫 항은 동수압(動水壓), 둘째 항은 정수압(靜水壓)이다. 동수압은 파랑에 의한 수립자의 운동에 의한 압력 변동 부분을 의미한다.

⑦ 해면의 단위면적당 파의 평균에너지( $t.m/m^2$ )

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{8} w_o H^2 \quad \text{참고 식 (4.3-9)}$$

여기서,  $E_k = E_p$ 이며( $E_k$  = 운동에너지,  $E_p$  = 위치에너지), 한 파장내의 모든 점에서의 평균에너지(E)는 일정하다. 단 마찰에 의한 손실은 무시한다.

## ⑧ 단위시간에 단위폭당 파의 진행방향으로 전달되는 평균에너지(Joule/s)

$$E_F = E C_G = E C n \quad \text{참고 식 (4.3-10)}$$

여기서,  $C_G$ 는 파의 군속도(群速度)(m/s)이며,  $C_G = C n$ 이다.

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\frac{4\pi h}{L}}{\sinh \frac{4\pi h}{L}} \right) \quad \text{참고 식 (4.3-11)}$$

위의 식들은 미소진폭파의 식이며, 실제 파랑은 이 식들과 다소 다르다. 그러나 파랑의 굴절, 수중압력 등을 취급할 때는 이들의 식을 이용할 때가 많으며, 특히 중복파는 미소진폭파를 합성함으로써 얻을 수 있다.

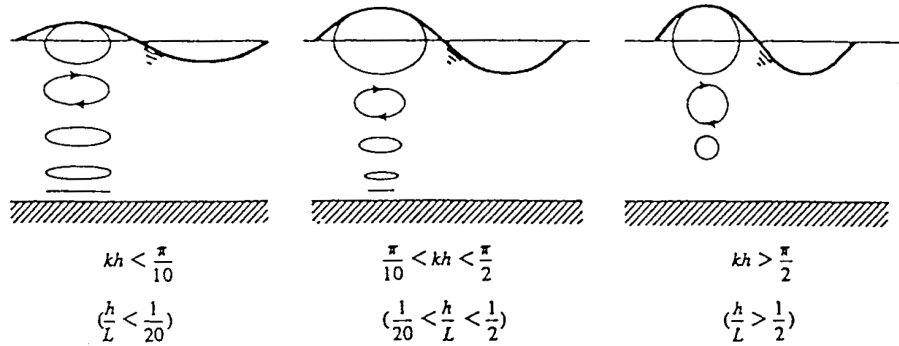
## (2) 심해파 및 장파의 특성

## ① 심해파

$\frac{h}{L} > \frac{1}{2}$  인 해역에서는 수심이 깊어 파랑의 수립자 운동이 해저면까지 이르지 못해

수립자의 운동이 해저면에 의해 변형되지 않게 된다[참고 그림 (4.3-2)].

## 설계조건



참고 그림 (4.3-2) 진행파의 상대수심별 수립자운동

이 해역에 존재하는 파랑을 심해파라 하며, 파장에 비해서 수심이 아주 깊은 경우 ( $h/L \rightarrow \infty$ )라고 가정하여 파속 및 파장을 다음과 같이 구한다. 즉,  $\tanh 2\pi h/L = 1$  이므로 다음과 같다.

$$\begin{cases} L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 1.56 T^2 \text{ (m)} \\ C_o = \frac{gT}{2\pi} = 1.56 T \text{ (m/s)} \end{cases}$$

참고 식 (4.3-12)

$$C_G = 0.78 T \text{ (m/s)} = 2.81 T \text{ (km/hr)}$$

아래첨자 o는 심해파를 나타내는 것이며, 파속 및 파장은 모두 수심에는 관계없이 주기에만 관계된다.

### ② 파장 또는 천해파

$\frac{h}{L} < \frac{1}{20}$  인 수역에서는 파장이 수심에 비해서 매우 길며, 여기서의 파를 장파 또는

천해파라 한다[참고 그림 (4.3-2)].

천해파의 특성은  $h/L$  값이 매우 작아  $\tanh 2\pi h/L = 2\pi h/L$  이므로 다음과 같다.

$$\begin{cases} L = T\sqrt{gh} \text{ (m)} \\ C = C_G = \sqrt{gh} \text{ (m/s)} \end{cases}$$

참고 식 (4.3-13)

### ③ $\frac{1}{2} < \frac{h}{L} < \frac{1}{20}$ 의 경우에는 천이역(遷移域)으로 파장과 파속이 복잡하게 변하며, 참고

식 (4.3-2)와 참고 식 (4.3-4)를 각각 사용하여 구한다.

### ④ 수심 $h$ , 파장 $L$ , 파속 및 주기의 관계는 참고 표 (4.3-1)에 제시되었다.

참고 표 (4.3-1) 수심, 주기, 파장 및 파속의 표 (계속)

수심 (m)	주기 (s)	3.0		4.0		5.0		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0	
		파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)
0.5		6.40	2.13	8.67	2.17	10.92	2.18	13.16	2.19	15.40	2.20	17.62	2.20	19.85	2.21	22.07	2.21
1.0		8.69	2.90	12.00	3.00	15.24	3.05	18.44	3.07	21.62	3.09	24.79	3.10	27.96	3.11	31.11	3.11
1.5		10.22	3.41	14.38	3.59	18.41	3.68	22.37	3.73	26.30	3.76	30.21	3.78	34.09	3.79	37.97	3.80
2.0		11.31	3.77	16.23	4.06	20.95	4.19	25.58	4.26	30.16	4.31	34.69	4.34	39.20	4.36	43.70	4.37
2.5		12.10	4.03	17.72	4.43	23.09	4.62	28.32	4.72	33.48	4.78	38.58	4.82	43.65	4.85	48.69	4.87
3.0		12.68	4.23	18.96	4.74	24.93	4.99	30.72	5.12	36.41	5.20	42.03	5.25	47.61	5.29	53.16	5.32
3.5		13.10	4.37	20.00	5.00	26.53	5.31	32.86	5.48	39.05	5.58	45.15	5.64	51.20	5.69	57.22	5.72
4.0		13.41	4.47	20.86	5.22	27.95	5.59	34.77	5.80	41.44	5.92	48.01	6.00	54.51	6.06	60.96	6.10
4.5		13.62	4.54	21.59	5.40	29.20	5.84	36.51	6.08	43.63	6.23	50.64	6.33	57.56	6.40	64.43	6.44
5.0		13.76	4.59	22.20	5.55	30.31	6.06	38.09	6.35	45.66	6.52	53.08	6.64	60.41	6.71	67.68	6.77
6.0		13.93	4.64	23.13	5.78	32.19	6.44	40.87	6.81	49.27	7.04	57.50	7.19	65.61	7.29	73.62	7.36
7.0		14.00	4.67	23.78	5.94	33.69	6.74	43.22	7.20	52.42	7.49	61.41	7.68	70.24	7.80	78.96	7.90
8.0		14.05	4.68	24.21	6.05	34.89	6.98	45.22	7.54	55.19	7.88	64.90	8.11	74.43	8.27	83.82	8.38
9.0		14.05	4.68	24.49	6.12	35.84	7.17	46.94	7.82	57.65	8.24	68.05	8.51	78.24	8.69	88.27	8.83
10.0		14.05	4.68	24.68	6.17	36.59	7.32	48.41	8.07	59.82	8.55	70.90	8.86	81.73	9.08	92.37	9.24
11.0		14.05	4.68	24.79	6.20	37.18	7.44	49.66	8.28	61.76	8.82	73.49	9.19	84.94	9.44	96.18	9.62
12.0		14.05	4.68	24.87	6.22	37.64	7.53	50.73	8.46	63.49	9.07	75.85	9.48	87.90	9.77	99.73	9.97
13.0		14.05	4.68	24.98	6.25	37.99	7.60	51.65	8.61	65.03	9.29	78.01	9.75	90.65	10.07	103.04	10.30
14.0		14.05	4.68	24.98	6.25	38.25	7.65	52.42	8.74	66.40	9.49	79.98	10.00	93.20	10.36	106.14	10.61
15.0		14.05	4.68	24.98	6.25	38.46	7.69	53.07	8.85	67.63	9.66	81.79	10.22	95.57	10.62	109.05	10.90
16.0		14.05	4.68	24.98	6.25	38.61	7.72	53.62	8.94	68.72	9.82	83.45	10.43	97.78	10.86	111.78	11.18
17.0		14.05	4.68	24.98	6.25	38.72	7.74	54.08	9.01	69.69	9.96	84.96	10.62	99.84	11.09	114.36	11.44
18.0		14.05	4.68	24.98	6.25	38.80	7.76	54.47	9.08	70.55	10.08	86.35	10.79	101.75	11.31	116.79	11.68
19.0		14.05	4.68	24.98	6.25	38.87	7.77	54.79	9.13	71.31	10.19	87.63	10.95	103.54	11.50	119.08	11.91
20.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	55.05	9.17	71.98	10.28	88.79	11.10	105.21	11.69	121.24	12.12
22.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	55.44	9.24	73.10	10.44	90.83	11.35	108.22	12.02	125.21	12.52
24.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	55.71	9.28	73.96	10.57	92.53	11.57	110.85	12.32	128.75	12.88
26.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	55.88	9.31	74.61	10.66	93.94	11.74	113.13	12.57	131.93	13.19
28.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.00	9.33	75.10	10.73	95.10	11.89	115.10	12.79	134.76	13.48
30.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	75.47	10.78	96.05	12.01	116.82	12.98	137.29	13.73
35.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.04	10.86	97.73	12.22	120.13	13.35	142.50	14.25
40.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.50	10.93	98.70	12.34	122.37	13.60	146.37	14.64
50.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.50	10.93	99.92	12.49	124.83	13.87	151.30	15.13
60.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.50	10.93	99.92	12.49	125.84	13.98	153.83	15.38
70.0		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.50	10.93	99.92	12.49	126.47	14.05	155.06	15.51
심해 파		14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.50	10.93	99.92	12.49	126.47	14.05	156.13	15.61

## 설계조건

참고 표 (4.3-1) 수심, 주기, 파장 및 파속의 표 (계속)

수심 (m)	주기 (s)	11.0		12.0		13.0		14.0		15.0		16.0		18.0		20.0	
		파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)
1.0		34.26	3.11	37.41	3.12	40.56	3.12	43.70	3.12	46.84	3.12	49.98	3.12	56.26	3.13	62.54	3.13
2.0		48.18	4.38	52.66	4.39	57.13	4.39	61.59	4.40	66.05	4.40	70.50	4.41	79.40	4.41	88.29	4.41
3.0		58.68	5.33	64.19	5.35	69.68	5.36	75.17	5.37	80.65	5.38	86.12	5.38	97.04	5.39	107.95	5.40
4.0		67.38	6.13	73.77	6.15	80.14	6.16	86.50	6.18	92.84	6.19	99.18	6.20	111.82	6.21	124.44	6.22
5.0		74.90	6.81	82.08	6.84	89.24	6.86	96.37	6.88	103.49	6.90	110.59	6.91	124.76	6.93	138.90	6.94
6.0		81.58	7.42	89.49	7.46	97.36	7.49	105.20	7.51	113.02	7.53	120.82	7.55	136.38	7.58	151.90	7.59
7.0		87.61	7.96	96.19	8.02	104.73	8.06	113.23	8.09	121.70	8.11	130.15	8.13	147.00	8.17	163.79	8.19
8.0		93.11	8.46	102.33	8.53	111.50	8.58	120.62	8.62	129.71	8.65	138.77	8.67	156.82	8.71	174.80	8.74
9.0		98.18	8.93	108.01	9.00	117.78	9.06	127.49	9.11	137.15	9.14	146.79	9.17	165.98	9.22	185.09	9.25
10.0		102.89	9.35	113.30	9.44	123.63	9.51	133.91	9.56	144.13	9.61	154.31	9.64	174.58	9.70	194.76	9.74
12.0		111.38	10.13	122.89	10.24	134.31	10.33	145.64	10.40	156.91	10.46	168.13	10.51	190.44	10.58	212.62	10.63
14.0		118.86	10.81	131.42	10.95	143.85	11.07	156.18	11.16	168.43	11.23	180.61	11.29	204.82	11.38	228.87	11.44
16.0		125.54	11.41	139.09	11.59	152.48	11.73	165.76	11.84	178.93	11.93	192.02	12.00	218.02	12.11	243.83	12.19
18.0		131.53	11.96	146.03	12.17	160.35	12.33	174.53	12.47	188.59	12.57	202.55	12.66	230.25	12.79	257.72	12.89
20.0		136.93	12.45	152.36	12.70	167.57	12.89	182.62	13.04	197.53	13.17	212.33	13.27	241.66	13.43	270.72	13.54
22.0		141.83	12.89	158.15	13.18	174.23	13.40	190.12	13.58	205.85	13.72	221.45	13.84	252.35	14.02	282.95	14.15
24.0		146.27	13.30	163.47	13.62	180.39	13.88	197.10	14.08	213.62	14.24	230.00	14.38	262.42	14.58	294.49	14.72
26.0		150.32	13.67	168.36	14.03	186.11	14.32	203.61	14.54	220.91	14.73	238.05	14.88	271.94	15.11	305.44	15.27
28.0		154.01	14.00	172.87	14.41	191.42	14.72	209.70	14.98	227.76	15.18	245.64	15.35	280.96	15.61	315.85	15.79
30.0		157.37	14.31	177.04	14.75	196.37	15.11	215.41	15.39	234.21	15.61	252.81	15.80	289.54	16.09	325.78	16.29
35.0		164.52	14.96	186.14	15.51	207.36	15.95	228.24	16.30	248.83	16.59	269.17	16.82	309.26	17.18	348.76	17.44
40.0		170.19	15.47	193.62	16.14	216.65	16.67	239.28	17.09	261.58	17.44	283.59	17.72	326.91	18.16	369.50	18.47
45.0		174.65	15.88	199.78	16.65	224.52	17.27	248.84	17.77	272.78	18.19	296.40	18.52	342.81	19.04	388.37	19.42
50.0		178.13	16.19	204.83	17.07	231.18	17.78	257.12	18.37	282.65	18.84	307.81	19.24	357.22	19.85	405.64	20.28
55.0		180.83	16.44	208.95	17.41	236.82	18.22	264.29	18.88	291.35	19.42	318.02	19.88	370.33	20.57	421.53	21.08
60.0		182.89	16.63	212.29	17.69	241.57	18.58	270.51	19.32	299.04	19.94	327.16	20.45	382.29	21.24	436.20	21.81
70.0		185.64	16.88	217.14	18.09	248.90	19.15	280.52	20.04	311.81	20.79	342.70	21.42	403.24	22.40	462.36	23.12
80.0		187.17	17.02	220.20	18.35	253.97	19.54	287.93	20.57	321.72	21.45	355.17	22.20	420.85	23.38	484.95	24.25
90.0		188.00	17.09	222.08	18.51	257.42	19.80	293.33	20.95	329.34	21.96	365.15	22.82	435.66	24.20	504.53	25.23
100.0		188.92	17.17	223.22	18.60	259.72	19.98	297.22	21.23	335.14	22.34	373.08	23.32	448.10	24.89	521.54	26.08
120.0		188.92	17.17	224.83	18.74	262.19	20.17	301.90	21.56	342.77	22.85	384.22	24.01	467.26	25.96	549.18	27.46
140.0		188.92	17.17	224.83	18.74	263.86	20.30	304.14	21.72	346.91	23.13	390.92	24.43	480.51	26.70	569.98	28.50
160.0		188.92	17.17	224.83	18.74	263.86	20.30	306.02	21.86	349.09	23.27	394.82	24.68	489.49	27.19	585.49	29.27
180.0		188.92	17.17	224.83	18.74	263.86	20.30	306.02	21.86	351.29	23.42	397.02	24.81	495.45	27.52	596.91	29.85
200.0		188.92	17.17	224.83	18.74	263.86	20.30	306.02	21.86	351.29	23.42	399.70	24.98	499.31	27.74	605.19	30.26
심해파		188.92	17.17	224.83	18.74	263.86	20.30	306.02	21.86	351.29	23.42	399.70	24.98	505.86	28.10	624.52	31.23

참고 표 (4.3-1) 수심, 주기, 파장 및 파속의 표 (계속)

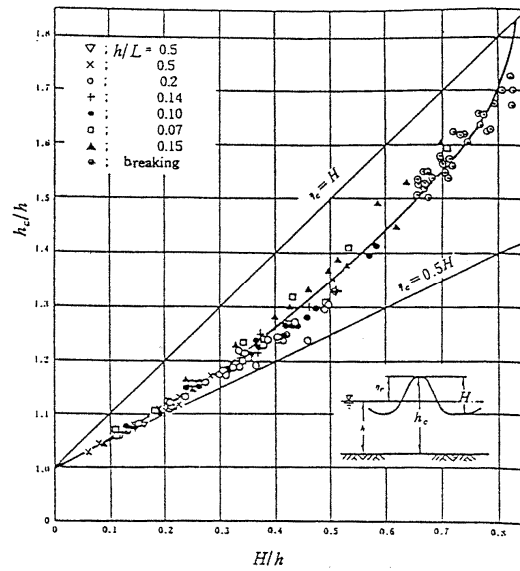
수심 (m)	주기 (s)	2.2		2.4		2.6		2.8		3.0		3.2		3.5		4.0	
		파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)
0.1		2.15	0.98	2.35	0.98	2.55	0.98	2.75	0.98	2.95	0.98	3.15	0.98	3.45	0.99	3.95	0.99
0.2		3.00	1.36	3.28	1.37	3.57	1.37	3.85	1.38	4.14	1.38	4.42	1.38	4.85	1.39	5.56	1.39
0.3		3.62	1.64	3.97	1.66	4.33	1.66	4.68	1.67	5.03	1.68	5.38	1.68	5.91	1.69	6.78	1.69
0.4		4.12	1.87	4.53	1.89	4.95	1.90	5.36	1.91	5.77	1.92	6.17	1.93	6.78	1.94	7.79	1.95
0.5		4.53	2.06	5.00	2.09	5.47	2.10	5.94	2.12	6.40	2.13	6.85	2.14	7.54	2.15	8.67	2.17
0.6		4.89	2.22	5.41	2.26	5.93	2.28	6.44	2.30	6.95	2.32	7.46	2.33	8.21	2.35	9.46	2.36
0.7		5.20	2.37	5.77	2.41	6.34	2.44	6.90	2.46	7.45	2.48	8.00	2.50	8.82	2.52	10.17	2.54
0.8		5.48	2.49	6.09	2.54	6.70	2.58	7.30	2.61	7.90	2.63	8.49	2.65	9.37	2.68	10.83	2.71
0.9		5.72	2.60	6.38	2.66	7.03	2.70	7.68	2.74	8.31	2.77	8.95	2.80	9.89	2.82	11.44	2.86
1.0		5.93	2.70	6.64	2.77	7.33	2.82	8.02	2.86	8.69	2.90	9.36	2.93	10.36	2.96	12.00	3.00
1.1		6.12	2.78	6.87	2.86	7.61	2.93	8.33	2.97	9.04	3.01	9.75	3.05	10.80	3.09	12.53	3.13
1.2		6.29	2.86	7.08	2.95	7.85	3.02	8.62	3.08	9.37	3.12	10.11	3.16	11.22	3.20	13.03	3.26
1.3		6.45	2.93	7.27	3.03	8.08	3.11	8.88	3.17	9.67	3.22	10.45	3.27	11.61	3.32	13.50	3.38
1.4		6.58	2.99	7.45	3.10	8.29	3.19	9.13	3.26	9.95	3.32	10.77	3.36	11.97	3.42	13.95	3.49
1.5		6.70	3.05	7.60	3.17	8.49	3.26	9.36	3.34	10.22	3.41	11.06	3.46	12.32	3.52	14.38	3.59
1.6		6.81	3.09	7.74	3.23	8.67	3.33	9.57	3.42	10.46	3.49	11.34	3.54	12.65	3.61	14.78	3.69
1.7		6.90	3.14	7.87	3.28	8.83	3.40	9.77	3.49	10.69	3.56	11.61	3.63	12.96	3.70	15.17	3.79
1.8		6.99	3.18	7.99	3.33	8.98	3.45	9.95	3.55	10.91	3.64	11.86	3.70	13.25	3.79	15.53	3.88
1.9		7.06	3.21	8.10	3.37	9.12	3.51	10.12	3.62	11.11	3.70	12.09	3.78	13.53	3.87	15.89	3.97
2.0		7.13	3.24	8.19	3.41	9.25	3.56	10.28	3.67	11.31	3.77	12.31	3.85	13.80	3.94	16.23	4.06
심해파		7.56	3.43	8.99	3.75	10.55	4.06	12.24	4.37	14.05	4.68	15.99	5.00	19.13	5.46	24.98	6.25

## (3) 유한진폭과 이론

파고가 큰 일반적인 천해파에 대해서는 미소진폭과 식의 정도가 높지 않으므로 필요에 따라 유한진폭과 이론식을 사용한다.

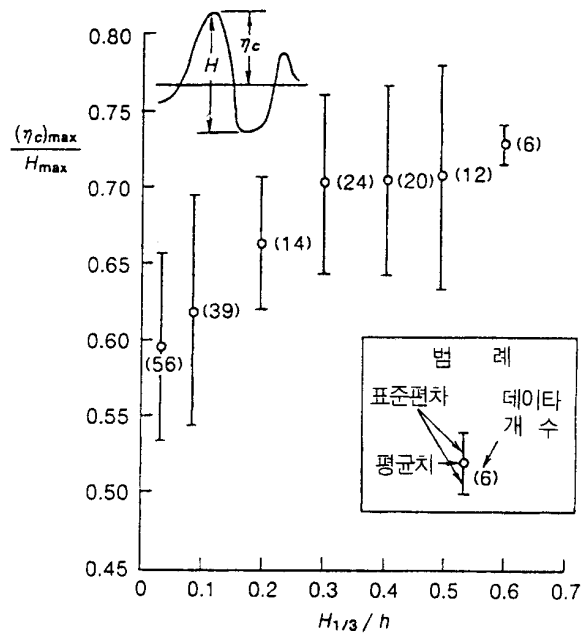
미소진폭과 이론식을 사용하여 계산할 때 오차는 파형경사  $H/L$  및 상대수심  $h/L$ 에 의하여 변한다. 특히 해상구조물과 잔교식 구조물 등의 설계 시에는 미소진폭과 식은 상당한 오차를 유발하여 부적절하므로 유한진폭과 식을 사용하여야 한다. 유한진폭과 식도 파형경사 및 상대수심에 따라 여러 가지 이론이 있어 적합한 이론을 사용해야 하나, 수치모형인 푸리에급수 파랑이론(Fourier series wave theory)은 상대수심의 전체 범위에 걸쳐 한계파고까지 파랑특성을 계산할 수 있다(참고 ACES Technical Ref., 1992). 파의 유한진폭 효과의 하나는 파고에 대한 파봉고의 비가 변하며, 파고가 커지는 만큼 비도 증대된다. 참고 그림 (4.3-3)은 수심 100~150cm의 수치모형실험의 자료로부터 진행파의 파봉고 변화를 나타낸 것이다[Goda(合田), 1974].

## 설계조건



참고 그림 (4.3-3) 수심에 따른 파고와 파봉고의 관계

참고 그림 (4.3-4)는 현지의 파형기록에 의거 작성된 것으로서 각 관측기록의 최고 파봉고( $\eta_c$ )<sub>max</sub>와 최대 파고  $H_{\max}$ 에 대한 비를  $H_{1/3}/h$ 의 관계로 나타낸 것이다.



참고 그림 (4.3-4) 최고 파봉고( $\eta_c$ )<sub>max</sub>와 최대파고  $H_{\max}$ 의 비와  $H_{1/3}/h$ 의 관계

실제 파봉고는 수리모형실험의 값보다 약간 크며,  $H_{1/3}/h < 0.5$ 의 영역에서는 현장관측에서 구한 참고 그림 (4.3-4)를 이용하는 것이 바람직하다.



## 4.3.1.2 불규칙파의 통계적인 특성

- (1) 불규칙한 심해파 파군의 파고분포로는 레일레이(Rayleigh) 분포를 사용한다.
- (2) 레일레이 분포 이론은 파의 에너지가 특정 주파수 영역에 매우 좁게 분포한다고 가정하여 제안된 것으로 주파수대가 넓으면 적용성의 문제가 있지만 근사적으로 적용할 수 있다.

## [참 고]

## (1) 레일레이 분포

$$p(H/\bar{H}) = \frac{\pi}{2} \frac{H}{\bar{H}} \exp \left[ -\frac{\pi}{4} \left( \frac{H}{\bar{H}} \right)^2 \right] \quad \text{참고 식 (4.3-14)}$$

여기서,  $\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i$ 이며, N은 측정기간의 파랑 개수이고,  $H$ 는 개별 파고이다.

[참고 그림 (4.3-5)]

최대파고  $H_{\max}$ , 유의파고  $H_{1/3}$ , 1/10 최대파고  $H_{1/10}$  및 평균파고  $\bar{H}$  사이에는 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$H_{1/10} = 1.27 H_{1/3}$$

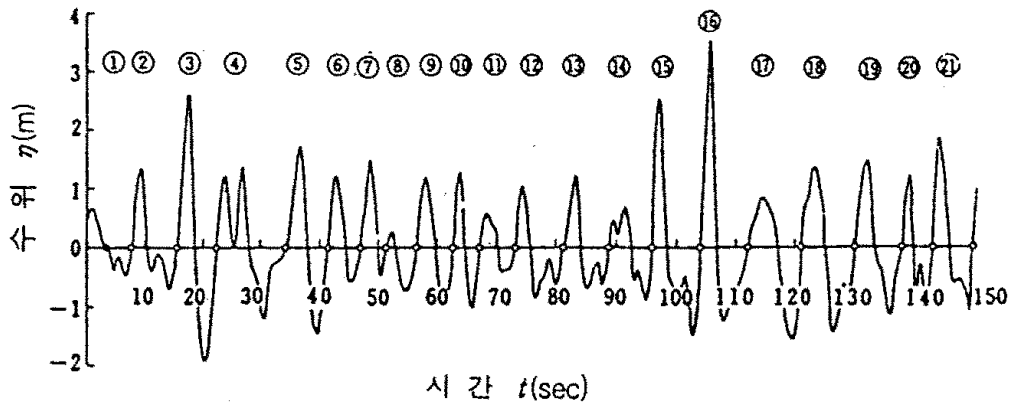
$$H_{1/3} = 1.60 \bar{H}$$

$$H_{\max} = (1.6 \sim 2.0) H_{1/3} \quad \text{참고 식 (4.3-15)}$$

## (2) 불규칙파의 파고 및 주기

- ① 실제 파형은 매우 불규칙하며, 한 점에서 측정한 파고기록은 참고 그림 (4.3-5)와 같은 형태를 보인다. 기록된 파형의 평균면을 기준선으로 정하고 개개의 파형이 파곡에서 파봉으로 상향 진행할 때 기준선과 만나는 점들로부터 개별 파의 주기와 개수를 결정하는 방법이 영점상향교차(零點上向交叉, Zero up-crossing)법이다.
- 반면에 영점하향교차(零點下向交叉, Zero down-crossing)법은 파형이 기준선을 하향으로 통과하는 점들을 하나의 파랑 시작점과 끝점으로 정하며, 통계학적으로는 두 방법은 같은 방법으로 취급한다.

## 설계조건



참고 그림 (4.3-5) 파랑관측기록의 영점상향교차법의 예

- ② 상기 ①항의 방법에서 파형이 기준선을 통과하지 않고 불규칙하게 움직이는 경우에는 동일한 파랑으로 간주한다. 인접한 영점이 교차하는 사이를 하나의 파랑으로 정의하여 영점상향교차법을 사용한 참고 그림 (4.3-5)에서는 관측기간 중에 총 21개의 파랑으로 구성되며, 개개 파랑의 파고는 파형의 최고점과 최저점의 수위차가 된다. 개별 파랑의 파고와 주기를 순차적으로 정리한 결과가 참고 표 (4.3-2)이다.

참고 표 (4.3-2) 참고 그림 (4.3-5)로부터 구한 개별 파랑의 파고와 주기

파 번 호	파 고 H(m)	주 기 T(s)	파고 순위
1	0.54	4.2	21
2	2.05	8.0	12
3	4.52	6.9	2
4	2.58	11.9	8
5	3.20	7.3	4
6	1.87	5.4	17
7	1.90	4.4	16
8	1.00	5.2	20
9	2.05	6.3	13
10	2.37	4.3	10
11	1.03	6.1	19
12	1.95	8.0	15
13	1.97	7.6	14
14	1.62	7.0	18
15	4.08	8.2	3
16	4.89	8.0	1
17	2.43	9.0	9
18	2.83	9.2	7
19	2.94	7.9	6
20	2.23	5.3	11
21	2.98	6.9	5

## (3) 대표파고 및 주기

한 지점에서 파랑을 일정시간 동안(예 : 20분간) 연속 관측한 관측기록을 참고 표 (4.3-2)와 같은 방법으로 정리하여 관측기간을 대표하는 각종 파랑을 다음과 같이 정의한다.

- ① 최대파( $H_{\max}$ ,  $T_{\max}$ ) : 파군 중 최대의 파고를 의미하며, 그 파의 주기를  $T_{\max}$ 로 나타낸다.

참고 표 (4.3-2)에서는 16번의 파랑이 최대파이며,  $H_{\max} = 4.89$  m,  $T_{\max} = 8$ 초이다.

- ② 1/10 최대파고( $H_{1/10}$ ,  $T_{H_{1/10}}$ ) : 파고가 큰 것으로부터 전체 파랑 개수의 1/10에 해당하는 파고와 주기의 평균값을 각각 말한다.

- ③ 유의파( $H_{1/3}$ ,  $T_{H_{1/3}}$ ) : 파고가 큰 것으로부터 전체 파랑 개수의 1/3까지의 파고를 평균한 파고이다. 참고 표 (4.3-2)에서는 16번, 3번, 15번, 5번, 21번, 19번, 18번이 대상이 되며, 이를 평균한 파고  $H_{1/3} = 3.6$  m,  $T_{H_{1/3}} = 7.8$ 초가 된다.

- ④ 평균파고( $\bar{H}$ ,  $\bar{T}$ ) : 파고의 평균값을 말한다.

- (4) 유의파는 불규칙한 파군의 하나의 통계적 지표로서 가상적인 파이다. 유의파는 파랑의 주파수 스펙트럼(Frequency spectrum)에 있어서 에너지가 가장 큰 주파수에 대체적으로 해당하는 파고이며, 특별히 구분하지 않는 경우에 파랑은 유의파를 지칭한다.

- (5) 다수의 관측기록으로부터 파고를 평균파고로 나누어 무차원화한 것에 대한 파고의 도수 분포를 만들고 이 분포의 면적을 1로 정한 상대도수분포(相對度數分布)는 레일레이(Rayleigh) 분포로 가정하여 구한 것과 비교하면 큰 차가 없다. 단, 쇄파대 내에서는 파고 분포를 레일레이 분포로 적용할 수가 없다.

- (6) 일반적으로 바람 자료에서 파고 또는 주기를 추산할 때는 유의파를 산출하게 된다.  $H_{1/10}$ ,  $\bar{H}$ ,  $H_{\max}$  등의 자료가 필요할 때는 참고 식 (4.3-15)를 이용하여  $H_{1/3}$ 에서 구할 수 있다. 파수(波數)에 따른  $H_{\max}$ 와  $H_{1/3}$ 과의 관계를 통계분석을 통해 제시된 자료로부터  $H_{\max}$ 의 최다값(最多値, Mode), 평균값(平均値) 및 위험값(危險値) 등을 구할 수 있다[Goda(合田), 1973].

- (7) 주기의 분포는 파고의 분포와 달리 일반형이 존재하지 않으나 최대파, 1/10 최대파, 유의파 및 평균파의 주기 사이에는 근사적으로 참고 식 (4.3-16)의 관계가 있다.

$$T_{\max} \div T_{H_{1/10}} \div T_{H_{1/3}} \div (1.1 \sim 1.3) \bar{T} \quad \text{참고 식 (4.3-16)}$$

## 4.3.1.3 불규칙파의 스펙트럼

파랑의 추산 또는 항만구조물을 설계할 때는 파랑의 스펙트럼형상에 대해서 고려하고 해당 해역에 적합한 스펙트럼 분포형을 사용한다.

## [해설]

불규칙파의 파형을 무수한 주파수 및 파향의 성분파가 중첩된 것이라 가정하여 성분파의 에너지 분포를 주파수와 파향에 대해 표시한 것이 파랑 스펙트럼(Wave spectrum)이다. 여기서 전자를 주파수 스펙트럼, 후자를 파향스펙트럼이라 한다.

## [참고]

(1) 파랑 스펙트럼의 일반형은 다음 식과 같다[Goda(合田) 등, 1975]

$$S(f, \theta) = S(f) \cdot G(f, \theta) \quad \text{참고 식 (4.3-17)}$$

여기서,  $f$ 는 주파수,  $\theta$ 는 파랑의 주방향에서의 편각(偏角)이며,  $S(f, \theta)$ 는 파랑에너지의 주파수 및 방향에 대한 분포를 나타내는 함수이며 방향 스펙트럼(Directional spectrum)이다.  $S(f)$ 는 주파수 성분에 대한 파랑의 에너지 분포를 나타내는 함수로서 주파수 스펙트럼(Frequency spectrum)이며,  $G(f, \theta)$ 는 파랑에너지의 방향성분을 나타내는 함수로 방향함수이다. Bretschneider의 제안식을 Mitsuyasu(光易)가 계수를 수정한 식은 다음과 같다.

$$S(f) = 0.205 H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp[-0.75 (T_{1/3} f)^{-4}] \quad \text{참고 식 (4.3-18)}$$

$$G(f, \theta) = Go \cos^{2s} \left( \frac{\theta}{2} \right) \quad \text{참고 식 (4.3-19)}$$

참고 식 (4.3-19)의 비례상수  $Go$ 는  $\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} G(f, \theta) d\theta = 1$  에서 구한다.

여기서,  $\theta_{\max}$ ,  $\theta_{\min}$ 은 각각 주방향으로부터의 최대 및 최소 편각이다. 참고 식 (4.3-19)의  $S$ 는 파랑의 방향집중도를 나타내는 함수이며, 다음 식과 같다.

$$f > f_m \text{ 일 때, } S = S_{\max} \left( \frac{f}{f_m} \right)^{-2.5} \quad \text{참고 식 (4.3-20)}$$

$$f \leq f_m \text{ 일 때, } S = S_{\max} \left( \frac{f}{f_m} \right)^5 \quad \text{참고 식 (4.3-21)}$$

여기서,  $f_m$ 은 스펙트럼의 첨두(尖頭) 주파수이며, 유의파의 주기  $T_{H_{1/3}}$ 을 이용하여 환산하면 다음과 같다.

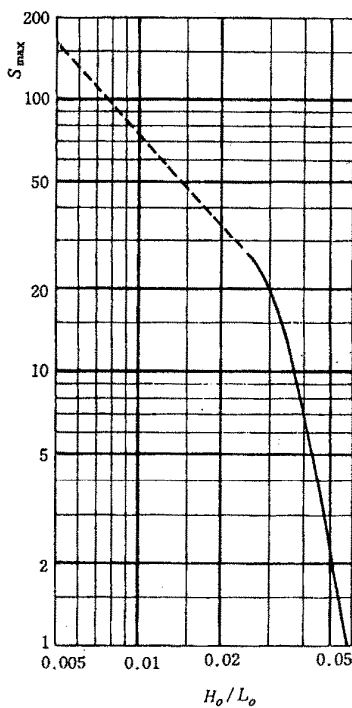
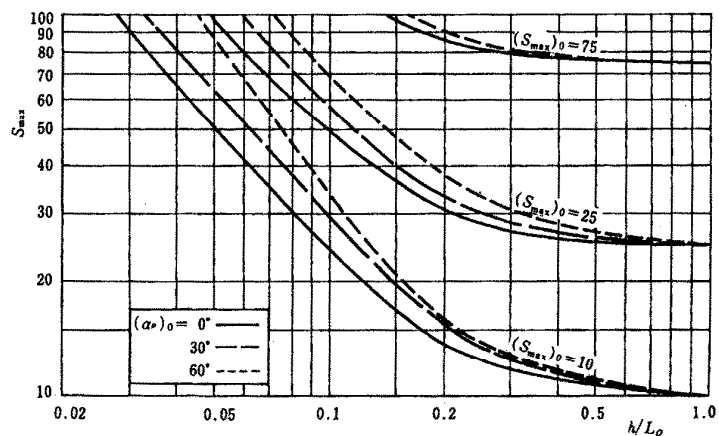
$$f_m = 1 / (1.05 T_{H_{1/3}})$$

참고 식 (4.3-22)

- (2) 파랑의 방향집중도를 나타내는 계수인 참고 식 (4.3-20)과 참고 식 (4.3-21)의  $S_{\max}$ 는 풍파에 대해서는 10을 표준으로 하고, 너울(Swell)에 대해서는 파랑의 감쇠상태 등을 고려하여 20 이상으로 한다(즉, 풍파의 경우  $S_{\max}=10$ , 감쇠거리가 짧은 파랑의 경우  $S_{\max}=25$ , 감쇠거리가 긴 파랑의 경우  $S_{\max}=75$ ).

참고 그림 (4.3-6)은 현지 파랑관측 결과와 실험 자료로부터 평균적인  $S_{\max}$ 와 파형경사의 관계를 표시한 것으로  $S_{\max}$ 는 파형경사에 의해 변화하며, 충분한 관측 자료를 확보하지 못한 경우에는 참고 그림 (4.3-6)을 이용하여 추정할 수 있다 [Goda(合田), 1990].

- (3) 참고 식 (4.3-19)의 방향함수의 모양은 굴절에 의해서 변하므로 불규칙과 변형계산 시 굴절후의 파랑을 사용할 때는 방향함수의 변화를 고려하는 것이 중요하다. 해안선이 직선으로 길고 지형이 단순하며 등수심선이 해안선과 평행하다고 간주할 수 있는 경우에 참고 그림 (4.3-7)을 이용하여  $S_{\max}$ 값의 변화를 추정할 수 있다. 그림 중  $(\alpha_p)_0$ 은 심해파의 주 방향각이며, 등심선에 대한 수직방향으로부터의 편각을 의미한다.

참고 그림 (4.3-6) 파형경사에 대한  $S_{\max}$ 의 추정도참고 그림 (4.3-7) 굴절에 의한  $S_{\max}$ 의 변화

## 설계조건

- (4) 불규칙파의 스펙트럼이 주어진 경우는 유의파고( $H_{1/3}$  또는  $H_s$ )를 다음 식에서 계산할 수 있다.

$$H_{1/3} = 3.8 \left[ \int_0^\infty \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} S(f, \theta) df d\theta \right]^{1/2} \left( = \frac{3.8}{4.0} H_s \right) \quad \text{참고 식 (4.3-23)}$$

여기서,  $H_s = 4.0 \sqrt{m_o}$ ,  $m_n = \int_o^\infty f^n S(f) df$  이다.

### 4.3.2 파랑의 발생, 전파, 감쇠

#### 4.3.2.1 심해설계파 산정법

항만시설의 구조안정 검토에 사용되는 심해파의 설정을 위한 파랑자료의 통계기간은 항만시설의 기능 및 구조특성 등을 감안하여 설정하여야 한다.

#### [해설]

심해파의 제원은 구조물에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 주방향마다 설정하며, 심해파 산정기준은 다음과 같다.

- (1) 실측 자료로서는 10년 이상의 자료가 바람직하나 실측 자료가 없는 경우에는 30년 이상의 기상자료를 이용하여 추산값을 구하고, 이를 실측값과 보정하여 사용한다.
- (2) 기상자료에서 구한 추산값을 실측자료로 보정할 경우, 실측자료는 태풍 또는 계절풍 등에 의해 큰 파가 발생한 자료를 포함하여야 한다.
- (3) 현지 실측자료가 전혀 없는 경우 또는 매우 한정된 조건의 경우에는 자연조건이 유사한 인접지역의 실측자료를 참고로 하여 구할 수 있다.
- (4) 기상자료에 의한 추산기간(推算期間) 이외에도 특이한 기록이 있는 경우에 이를 고려한다.
- (5) 실측자료를 이용해서 심해파를 추정할 경우 실측파고는 파의 굴절이나 천수변형 등의 영향을 받고 있기 때문에 파의 굴절계수 및 천수계수 등을 제외하여 심해파로 환산한다. 이 때 파향의 변화를 고려하여야 한다.
- (6) 실측값의 유의파고가 실측지점 수심의 0.5배 이상일 때에는 쇄파의 영향을 고려하여야 한다.
- (7) 설계심해파는 재현기간과 구조물의 내용연수에 입각한 발생확률(Encounter probability)에서 구하는 것이 바람직하나, 발생확률을 어떻게 취하는가는 구조물의 기능, 중요도, 투자효과 등을 고려하여 결정하여야 한다. 여기서, 발생확률이란 가정한 재현기간의 파고보다 큰 파고가 내용연수(耐用年數)의 기간 내에 적어도 한번 발생할 확률이다.
- (8) 설계심해파를 결정하는 경우, 설계대상물에 인접한 기존 구조물의 외력 또는 재해에 관한 기존 자료를 참고할 필요가 있다.
- (9) 심해파의 제원은 16방위마다 설정하는 것이 바람직하나, 파고도 작고 명백하게 구조물에의 영향이 작다고 예상되는 파향은 제외할 수 있다. 여기서, 파향은 불규칙파의 성분파 중 에너지가 가장 큰 파의 방향을 의미하며 이를 주파향이라 한다.

#### 4.3.2.2 설계파의 제원을 구하는 절차

구조물 설계파는 심해파 등을 적용하여 파의 굴절, 회절, 천수변형 및 쇄파 등에 의한 전파 변형을 고려하고, 구조물 또는 배후시설에 가장 불리하게 작용하는 파를 사용하여야 한다.

#### [참 고]

- (1) 결정된 심해설계파를 이용하여 굴절, 회절, 천수변형, 쇄파 등의 파랑변형 효과를 고려해서 설계 대상지점의 설계파 제원을 결정한다.
- (2) 대상지점에서의 특수요건, 예를 들어 반사파 또는 오목부에 의한 파고 증대 등의 영향이 있는 경우, 그리고 유속이 강한 해역은 이에 의해 파랑의 발달 및 전파 변형에 상당한 영향을 줄 수 있으므로 이러한 영향을 고려한다.
- (3) 이상에서 구한 파에 대해서 파력, 월파 및 기타 구조물에 대한 파의 작용을 계산한다.
- (4) 파의 작용에 관한 여러 가지 요건에 따라서는 조위가 낮을 때에 파력이 커지는 경우가 있으므로 여러 가지 조위에 대해서도 검토한다.
- (5) 위의 계산을 설계 심해파의 각 방향에 대해서 실시하고 파의 작용이 최대가 되는 것, 또는 구조물 및 배후시설에 가장 불리하게 작용하는 것을 설계파로 결정한다.

#### 4.3.2.3 파의 추산(推算)

##### (1) 설계일반

파를 발생·발달시키는 장소를 풍역이라 하며, 파를 발생시키기 위한 제원으로는 풍속, 풍향, 취송거리, 취송시간 등이 있다. 풍역이 설정되면 해당 풍역조건에 가장 적합한 추산법을 사용하여 파의 발달·감쇠를 계산한다.

#### [해 설]

파의 추산은 다음 2가지 단계로 나누어 실시한다.

- (1) 풍역의 설정
- (2) 파의 발달·감쇠(減衰)의 계산

#### [참 고]

- (1) 풍역은 다음 순서로 설정한다.
  - ① 지상일기도·기상자료의 수집
  - ② 추산 케이스의 결정



- ③ 지상일기도에서의 경도풍의 계산
  - ④ 경험공식이나 실측자료로부터의 해상풍의 추정
  - ⑤ 풍역도의 작성
- (2) 지상일기도는 3, 9, 15, 21시의 6시간 간격의 일기도를 사용한다. 그 중 9, 21시의 일기도는 기상청 발행의 아시아 일기도를 사용한다. 3, 15시의 일기도는 기입된 기상 요소의 시간적 변화의 연속성(예를 들면 태풍이나 온대성 저기압의 진행경로)을 전술한 아시아 일기도로 확인한 후에 사용한다.
- (2) 발생역(發生域)에서의 파의 추산

파랑 발생역에서의 파의 추산은 파랑 스펙트럼법 또는 유의파법 등을 이용한다.

### [해설]

- (1) 추산결과의 타당성 및 그 정도에 대해서는 관측값과 비교하여 검토할 필요가 있다.
- (2) 스펙트럼법은 에너지 평형방정식에 기초한 스펙트럼의 발달·감쇠를 추적 계산하는 방법을 총칭하며, 이 방법은 컴퓨터를 사용하여 대규모의 계산을 수행할 필요가 있다. 그리고 파의 발달·감쇠의 이론식 및 경험식에는 개선의 여지가 남아 있으나 너울을 포함한 파의 스펙트럼의 발달·변형의 상황을 파악할 수 있는 점 등은 유의파법에서 볼 수 없는 특징이다.
- (3) 유의파법은 처음으로 유의파의 개념을 제안하고 이 유의파의 추산법을 제시한 스페르드립, 멩크(Sverdrup, Munk) 및 이를 수정 개량한 Bretschneider에 의한 S-M-B법, 또한 이를 보다 일반적인 풍역에 적용 가능하게 확장한 Wilson법, 천해에서의 파의 추정법인 Bretschneider법과 이를 수치계산화한 방법을 총칭한다.
- (4) 파의 스펙트럼을 추정하는 방법으로는 피어슨(Pierson)·노이만(Neumann)·제임스(James)에 의한 P-N-J법을 비롯하여 왈든(Walden)법, 다비셔(Darbyshire)법 등이 있으나 이들의 방법도 추산 순서는 상기 유의파법과 큰 차가 없고, 또 추산 결과는 유의파로 표시하는 경우가 많다. 여기서는 유의파법과 특별히 구별하지 않고 유의파법에 준하는 것으로 취급한다.

### [참고]

#### (1) 스펙트럼법

##### ① 일 반

스펙트럼법은 주파수·방향별의 스펙트럼의 각 성분이 어떤 평형상태까지 독립으로 발달하는 것으로 하여 조립(組立)한 스펙트럼법(참고문헌 91, 94~96)과 파의 스펙트럼의 발달·감쇠는 어떤 소수의 파라메타로 기술할 수 있다는 식견에 의거한 파라메타법(참고문헌 99~101)으로 분류된다. 전자는 스펙트럼 성분파에 바람으로부터의 에너지 유입과 성분파 간의 약한 비선형 상호작용에 의해 파랑의 발달이 기술된다는

입장을 취하고 있다. 한편, 후자는 파랑의 발달을 강한 비선형 효과의 종합적인 결과로 이루어지는 것으로 보아 파랑장에 일종의 상사 발달기구를 상정하고 그 발달, 변형과정에 관한 법칙성을 파라메타를 사용하여 수식화하여 계산하는 것이다.

스펙트럼법의 추산 정도에 대하여는 반드시 충분한 검토가 이루어졌다고 말할 수는 없으나, 파랑 추산의 정도는 해상풍의 추정 정도에 크게 의존되므로 현재로서는 유의 파법과 같은 정도로 생각해도 좋다. 그러나 같은 파랑 추산 모델을 사용하여도 계산 격자, 경계조건, 경험정수 등의 차이로 인하여 결과는 10~20% 정도 차가 나는 경우도 있으므로 주의가 필요하다. 따라서 관측값과 대조하여 추산 결과의 타당성 및 그 정도에 대하여 검토하여 볼 필요가 있다. 특히, 현상의 스펙트럼법은 파랑 발달의 극한으로서 평형 스펙트럼형을 주는 방법을 사용하고 있으며, 이 가정된 평형 스펙트럼의 정도(精度) 그 자체가 결과를 크게 좌우한다고 생각된다. 주파수 스펙트럼 또는 방향 스펙트럼에 대하여 정도를 검토하는 쪽이 좋다. 이것은 유의파고가 방향 스펙트럼의 적분값의 평방근에 비례하므로 다소 스펙트럼의 형상 자체에 차(差)가 있어도 유의 파고에는 크게 차가 나타나지 않는 계산이 되고 있기 때문에 스펙트럼 형상으로 평가한 쪽이 엄격한 것이 되고 있다고 생각되기 때문이다.

유의파법에 비해 스펙트럼법은 다음과 같은 이점이 있다.

- 가. 풍속, 풍향의 변동에 대한 물리적 특성을 명확하게 고려한다.
- 나. 파의 발달과정에서는 유의파의 주기가 시간과 더불어 변화하는데 풍역이 파의 전파속도(傳群速度)와 같은 속도로 파의 전파방향으로 이동하는 경우에 있어서도 타당한 추산 결과가 얻어진다.
- 다. 풍역조건에 의해서 풍파와 너울이 혼재하는 경우에도 풍파의 발달과정의 계산과 너울에 관한 감쇠과정의 계산을 분리하여 계산하지 않고 동일 모델로 양자를 포함하여 연산을 할 수가 있다.

따라서 유의파법에 대한 추산 결과에 의문이 있는 경우에는 스펙트럼법으로 재검토하는 것이 좋다. 또한, 스펙트럼법은 심해파를 중심으로 연구, 개발되어 있고 천해역에 관한 것으로는 코린즈(Collins, 1972), 카바레리(Cavaleri)와 리조리(Rizzoli, 1981), 골딩(Golding, 1983) 및 야마구찌(山口, 1986) 등에 의한 소수의 예 밖에 없다.

## ② 상세(詳細)

스펙트럼 모델에서 기본이 되는 것은 참고 식 (4.3-24)에서 표시하는 에너지 평형방정식이다.

$$\frac{\partial}{\partial t} E(f, \theta, t, x) = -C_G(f) \cdot \nabla E(f, \theta, t, x) + a(f, U) E(f, \theta, t, x) + F_3 + F_4 + F_5 \quad \text{참고 식 (4.3-24)}$$

여기서,  $E(f, \theta, t, x)$  : 이차원(二次元)의 파(波)의 에너지 밀도(密度)

$a(f, U)$  : 필립스(Phillips, 1957)의 공명이론(共鳴理論)에 있어서 선형 증폭계수(線形 增幅係數)

$\beta(f, U)$	: 마일즈(Miles, 1959)의 Shear 불안정이론(不安定 理論)에 있어서 지수형 증폭계수(指數型 增幅係數)
$F_3$	: 쇄파에 의한 에너지의 소모
$F_4$	: 파가 전파될 때의 내부마찰 등에 의하여 잃어버리는 에너지
$F_5$	: 성분파간의 비선형 상호작용에 의한 에너지의 교환
$f, \theta$	: 성분파의 주파수 및 진행각
$t$	: 시간
$x$	: 위치 벡터
$C_G(f)$	: 군속도(群速度) 벡터
$U$	: 풍속

이후, 수식을 기술하는데 번잡을 피하기 위하여 파의 에너지 밀도를 시각과 위치의 변수  $t$  및  $x$ 를 생략하여  $E(f, \theta)$ 로 표시한다. 그리고 파의 에너지 밀도  $E(f, \theta)$ 를 전방향( $-\pi < \theta < \pi$ 의 범위)에 대하여 적분한 것을  $E(f)$ 로 표시한다.

참고 식 (4.3-24)의 표시는 하셀만(Hasselmann, 1968)에 의한 것으로 좌변은 파의 에너지 밀도의 시간적 발전을 표시하고, 우변의 제1항은 성분파가 군속도로 전파하는데 따라 에너지의 유출·유입을 표시하고, 제2항, 제3항은 바람으로부터 에너지의 공급을 표현하고 있다. 실제의 계산을 위해서는 우변 제2항 이하를 정식화할 필요가 있다. 증폭계수  $a$ ,  $\beta$ 는 각각 필립스(Phillips, 1957)와 마일즈(Miles, 1959)에 의하여 이론적으로 주어졌지만 정밀한 관측결과에 따라 관측값이 이론값보다 큰 값이 되는 것을 알고 있으므로 수치계산에서는 관측값에 의거하여  $a$ 와  $\beta$ 를 사용하고 있다. 그러나 조합한 관측값의 차이 등에 의하여 파랑추산 모델마다 다른 표현식을 쓰는 경우도 있다. 그리고 쇄파에 의한 에너지 손실은 주파수 스펙트럼의 한계값을 설정하는 것에 의하여 평가하는 계산법을 채용하고 있으나 이것도 계산 모델에 따라 다른 것을 채용되고 있다. 그리고 내부마찰·비선형 간섭·역풍에 의한 감쇠 등에 관하여도 동일하게 계산 모델에 따라 틀리는 경우가 있다. 따라서 기본식은 동일하지만 실제의 계산에 쓰이는 수식 및 여러 정수는 계산모델마다 다르므로 주의하여야 한다.

### ③ 스펙트럼법의 분류

파랑의 스펙트럼에 의거한 파랑예측의 역사는 파랑의 스펙트럼의 관측과 해석 기술의 진보와 더불어 발전하였다. 현재까지 제안되어 있는 방법은 일반적으로 비선형 상호작용 항의 취급방법의 차이에 따라 DP(Decoupled propagation) 모델, CH(Coupled hybrid) 모델 및 CD(Coupled discrete) 모델의 세 가지로 분류되어 있다. DP 모델에서는 에너지 원천함수는 바람에서 파의 에너지 수송의 항과 에너지 소산(消散)의 항으로 구성되어 비선형 상호작용에 의한 성분파 간의 에너지 수송의 항은 형식적으로는 고려되지 않았다. 그러므로 방향스펙트럼의 각 주파수·방향마다의 파랑 성분은 서로 독립으로 전파하므로 DP 모델이라 부르고 있다. 이와 같이 DP 모델은 편의적인 모델화가 되어 있는 것이지만 계산시간이 적고 파고에 관하여는 실용상 허용할 수 있는 정밀도를 가지고 있는 점으로부터 간편하게 쓰이는 파랑추산 모델로서 현재에도 다방면으로 쓰이고 있다.

CH 모델에서는 풍파의 스펙트럼이 상사형(相似形)을 유지하면서 발달한다는 관측 사실에서 풍파 성분을 몇 개의 파라메타에 의하여 표현하면서 너울 성분에 대하여는 DP 모델과 마찬가지로 독립으로 전파하는 것으로 하여 취급한다.

파라메타로 표현된 풍파스펙트럼과 DP 모델로서 취급하는 너울의 스펙트럼을 결합시킨 모델이므로 CH 모델이라 부르고 있다. CH 모델은 풍파 스펙트럼의 경험값을 재치 있게 삽입한 파랑 모델로서 비선형 에너지 수송의 항은 간접적으로 고려되어 있으나 풍파와 너울의 분리는 기계적으로 취급되어 있고, 풍파 성분과 너울 성분의 시간적·공간적인 분포가 불연속으로 되는 결점이 있다고 지적되고 있다.

CD 모델에서는 비선형 에너지 수송항(輸送項)을 몇 개의 모양으로 직접적으로 고려한 점이 DP 모델이나 CH 모델과 크게 다르다. 비선형 에너지 수송식의 엄밀한 계산 방법을 실용적인 파랑 모델에 포함시키기가 곤란하므로 실제로는 비선형 에너지 수송 항의 엄밀계산 결과를 파라메타화하여 도입하도록 연구하고 있다. 그러나 역으로 CD 모델의 결점은 이 비선형 에너지 수송항의 파라메타화에 있다.

즉, 실제의 파랑 스펙트럼은 표준적인 스펙트럼과는 다르고 두 방향에서 내습하는 성분파가 겹치는 쌍봉형(雙峰形)의 스펙트럼 등 복잡한 스펙트럼 현상을 나타내는 경우가 많다.

이와 같이 복잡한 스펙트럼에 대한 비선형 에너지 수송항을 표준적인 스펙트럼의 비선형 에너지 수송을 파라메타화한 결과로 표현하는 것은 한계가 있고 때에 따라서는 비현실적이고 불안정한 스펙트럼이 계산되어 버리는 결점이 있다.

CD 모델의 이와 같은 결점을 해소하는 목적으로 Hasselmann(1985)은 비선형 에너지 수송항의 보다 직접적인 근사방법을 제안하고 이 근사계산방법을 도입한 WAM 모델을 개발하였다. 이 WAM모델은 분류상 CD 모델로 분류되지만 기왕의 CD 모델에 비하여 비선형 에너지 수송항의 계산 방법의 자유도(自由度)가 높고 형식적으로는 표준적인 스펙트럼 형상의 제약을 벗어나고 있다는 점에서 새로운 세대의 모델이며, 제3세대의 파랑추산 모델이라 부르고 있다.

여기에 대응하여 1960년대부터 1970년대의 초기에 걸쳐 개발된 DP 모델을 제1세대 모델, 1970년대부터 1980년대에 걸쳐서 개발된 CH 모델 및 CD 모델을 제2세대의 파랑추산 모델이라 분류하는 것도 있다.

이상과 같이 현재까지 제안된 파랑추산 모델에는 많은 종류가 있고 1970년대부터 현재에 걸쳐 보다 정밀한 파랑모델이 발전되어 왔다.

그러나 파랑추산의 정밀도는 파랑모델뿐만 아니라 일기도의 정도와 바람의 추산정도 등 많은 요소에 의존하는 점에서 파랑관측 자료에 의한 추산정도의 검증은 반드시 필요하다.

따라서 파랑추산을 실시하는 경우에는 소수의 예 일지라도 현지에서의 관측 자료와 비교하여 채용한 파랑추산법의 신뢰도를 확인함과 동시에 이 추산법에 의한 추산 결과가 특유한 편차가 있는 경우에는 적정하게 보정하는 것이 필요하다.

## (2) 유의파법

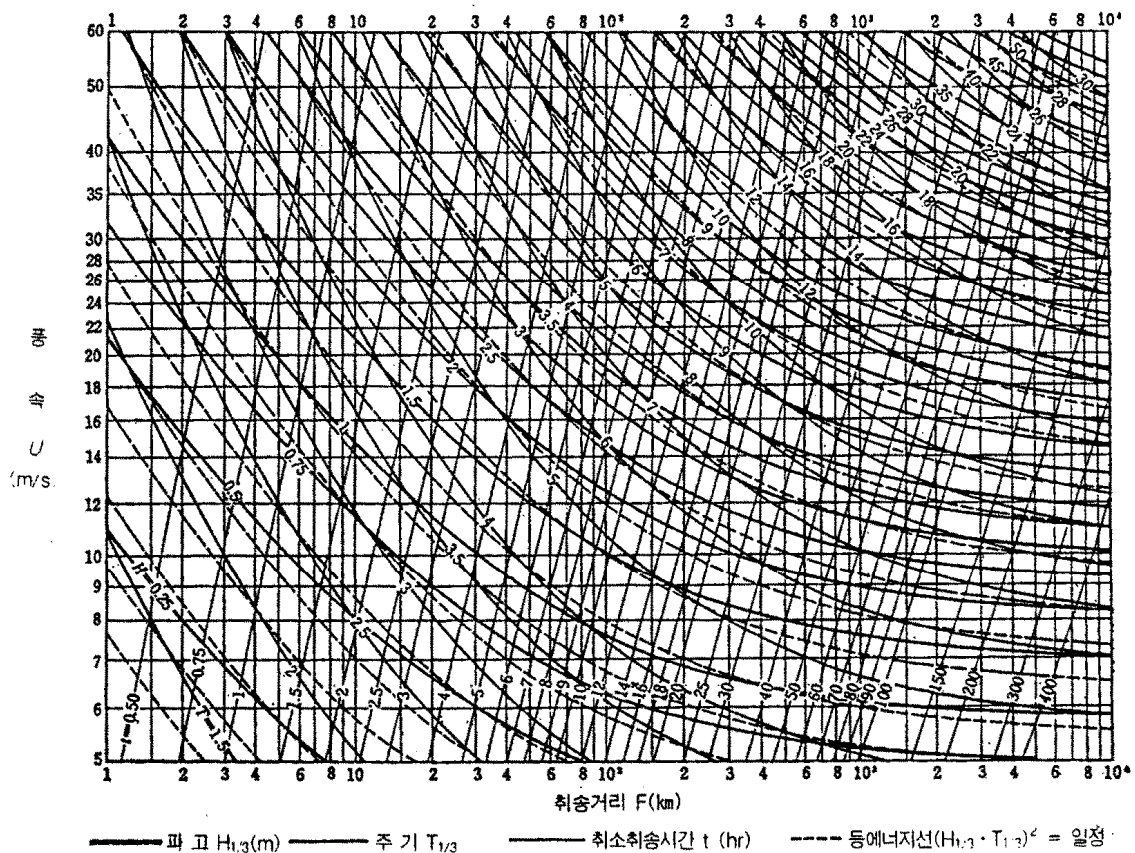
## ① S-M-B법

S-M-B법은 풍역이 이동하지 않는 경우에 적용하는 것으로서 풍역 내의 풍속, 취송시간, 취송거리에서 참고 그림 (4.3-8)을 사용하여 심해에서의 유의파의 파고, 주기를 추정한다. 풍속, 취송시간에서 얻어지는 파고, 주기에서 적은 쪽을 추산값으로 한다. 참고 그림 (4.3-8)은 윌슨(Wilson) 참고 식 (4.3-25), 참고 식 (4.3-26)으로부터 계산한 값을 도시한 것이다.

$$\frac{gH_{1/3}}{U^2} = 0.30 \left[ 1 - \frac{1}{\left\{ 1 + 0.004 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right\}^2} \right] \quad \text{참고 식 (4.3-25)}$$

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi U} = 1.37 \left[ 1 - \frac{1}{\left\{ 1 + 0.008 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right\}^{2.5}} \right] \quad \text{참고 식 (4.3-26)}$$

여기서,  $H_{1/3}$ 는 유의파고(m),  $T_{1/3}$ 는 유의파의 주기(sec),  $U$ 는 해상 10m에서의 풍속(m/sec),  $F$ 는 취송거리(吹送距離, m),  $g$ 는 중력가속도(9.81 m/s<sup>2</sup>) 이다.



참고 그림 (4.3-8) S-M-B법에 의한 파랑예보 곡선

## 설계조건

### ② 윌슨(Wilson)법

윌슨(Wilson)법은 S-M-B법을 확장하여 태풍과 같은 이동성의 풍역에 적용될 수 있도록 계량한 것으로 참고 그림 (4.3-9)의  $H_{1/3} - t - F - TH_{1/3}$  그림을 사용하여  $F - t$  면에서 파의 진행을 추적하고  $H_{1/3} - F$ 면,  $TH_{1/3} - t$ 면에서 유의파의 파고, 주기의 발달을 추적한다. 참고 그림 (4.3-9)는 참고 식 (4.3-25), 참고 식 (4.3-26)에서 구한 것이다.

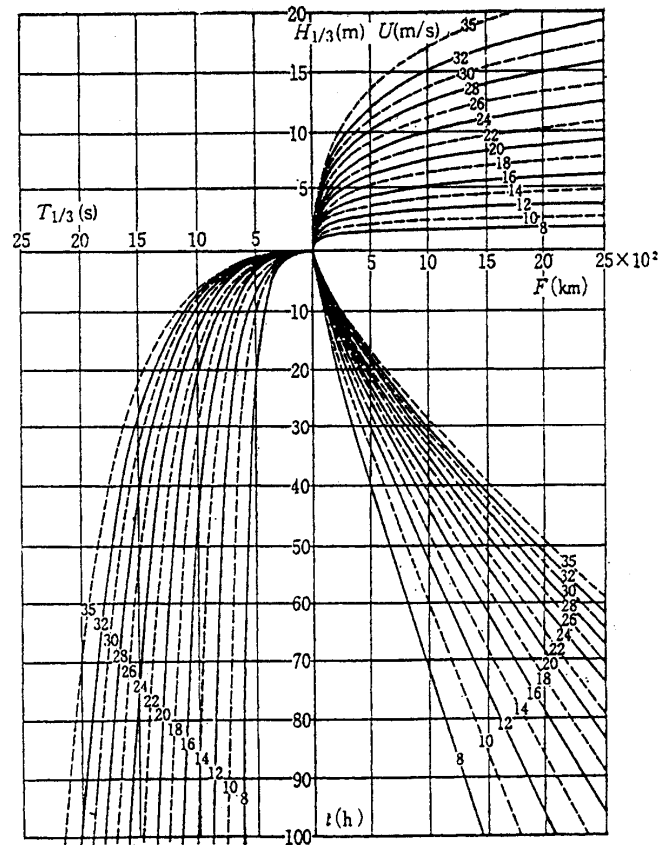
### ③ 천해에서의 추산

파의 발달에 대한 수심의 영향(해저마찰에 의한 에너지의 손실)을 고려한 방법으로는 사카모토(坂本)-이지마(井島)법 등[사카모토(坂本) 등, 1960 ; 이지마(井島)법, 1968 ; 이지마(井島)법 등, 1967]이 있다. 유의파의 주기는 유의파의 파고와 참고 식 (4.3-27)의 관계에서 성립되는 것을 경험적으로 말할 수 있다. 단, 이 식은 풍역내(風域内)의 파에 대한 것이다.

$$T_{H_{1/3}} = 3.86 \sqrt{H_{1/3}}$$

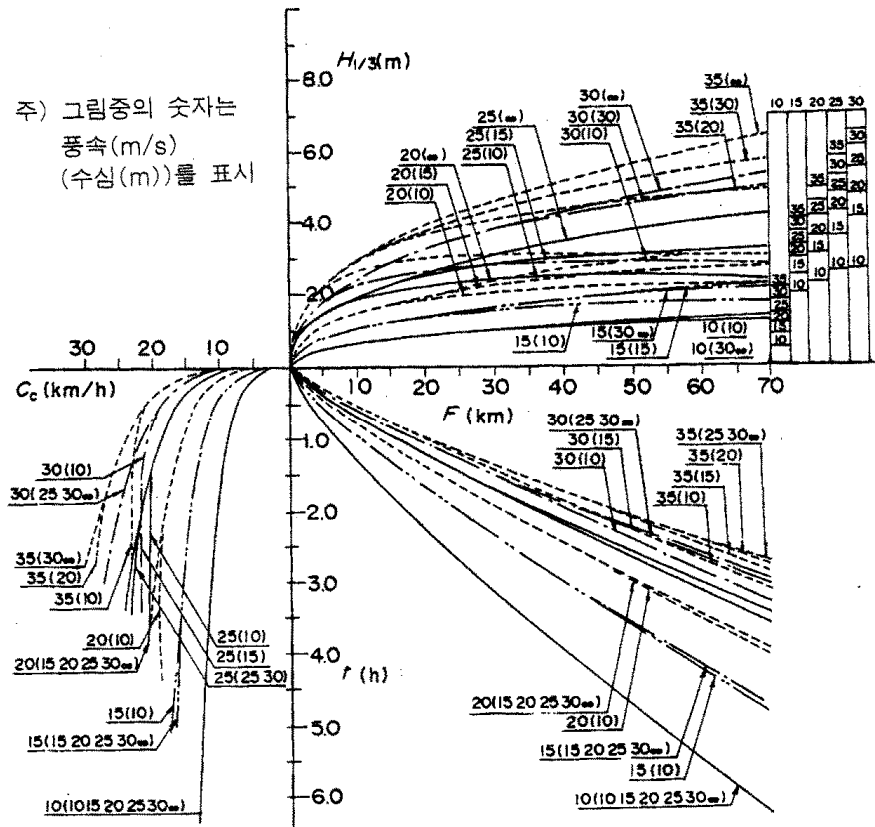
참고 식 (4.3-27)

여기서,  $H_{1/3}$  : 유의파고(m)  
 $TH_{1/3}$  : 유의파주기(s)



참고 그림 (4.3-9)  $H_{1/3} - t - F - TH_{1/3}$  도 (윌슨(Wilson)식에 의함)

사카모토(坂本)-이지마(井島)법은 심해에서의 Wilson법의 고려방법을 천해의 경우로 도입하여 참고 그림 (4.3-10)과 같은  $H_{1/3} - t - F - CG$ 도를 작성하여 변동 풍역내에서의 천해파의 추산을 할 수 있도록 한 것이다.



참고 그림 (4.3-10) 천해파의  $H_{1/3} - t - F - CG$ 도 [사카모토(坂本)-이지마(井島)법]

#### ④ 유의파법의 수치계산법

변동풍역에 대한 Wilson법 및 사카모토(坂本)-이지마(井島)법은 어느 것이나 도식해법에 의하여 파의 추산을 하는 것이지만 이것을 컴퓨터를 사용하여 해석하도록 한 것이 유의파법에 있어서의 수치계산법이다. 도식해법의 경우에는 선풍역(線風域)을 설정하지만 수치계산법의 경우에는 평면적인 풍역의 시간 변화를 입력으로 사용하고 파의 주방향이 그 장소의 풍향에 따라서 변화하는 것으로 하여 취급하는 점이 다르다. 적용 범위는 원리적으로 도식해법과 동일하다.

#### ⑤ 유의파법의 여러 가지 방법의 적용에 대하여

파의 추산에 쓰이는 유의파법의 선택은 대상지점이 외해에 면하는 연안에 있는가 혹은 소해만(小海灣) 또는 내만(內灣)의 연안에 있는가에 따라서 다르다.

외해의 경우에는 취송거리 및 취송시간이 길고 S-M-B법이 가정하고 있는 일정 풍역의 근사가 곤란하므로 Wilson법 또는 수치계산법을 사용한다. 동해의 연안은 비교적

## 설계조건

해저경사가 급하므로 천해파로서의 추산은 필요치 않다. 도식해법과 수치계산법은 어느 것을 이용해도 좋다. 그리고 풍역의 변동이 적은 경우에는 참고 그림 (4.3-8) 중에 표시한 등에너지선을 이용하는 것에 의하여 S-M-B법을 적용할 수 있다.

그러나 외해에 면한 연안에서 태풍이나 저기압에 의한 파의 추산인 경우에는 풍역의 설정에 주관이 들어가기 쉽고, 또 추산 정도가 저하되기 쉬우므로 S-M-B법을 사용하지 않는 것이 바람직하다. 대상지점이 소해만이나 내만인 경우에는 일반적으로 천해파로서의 추산이 필요하다.

추산하고자 하는 파가 천해파로 되느냐 안 되느냐를 조사하기 위해서는 참고 그림 (4.3-8)을 사용하여 심해파로서의 제원을 구하고 발생파의 파장과 대상지점의 수심과의 관계에서 판단하면 된다.

수역이 협소하고 수심이 비교적 깊은 경우와 같이 근사적으로 심해파로 볼 수 있는 경우에는 S-M-B법을 사용해도 좋다. 천해파로서의 추산을 하고자 할 경우에는 사가모토(坂本)-이지마(井島)법 또는 수치계산법에 의한다.

### (3) 너울(Swell)의 추산

너울의 추산은 Bretschneider법의 적용을 표준으로 하며 해당 해역의 특성에 맞는 보다 적합한 추산법이 있는 경우에는 이를 적용할 수 있다.

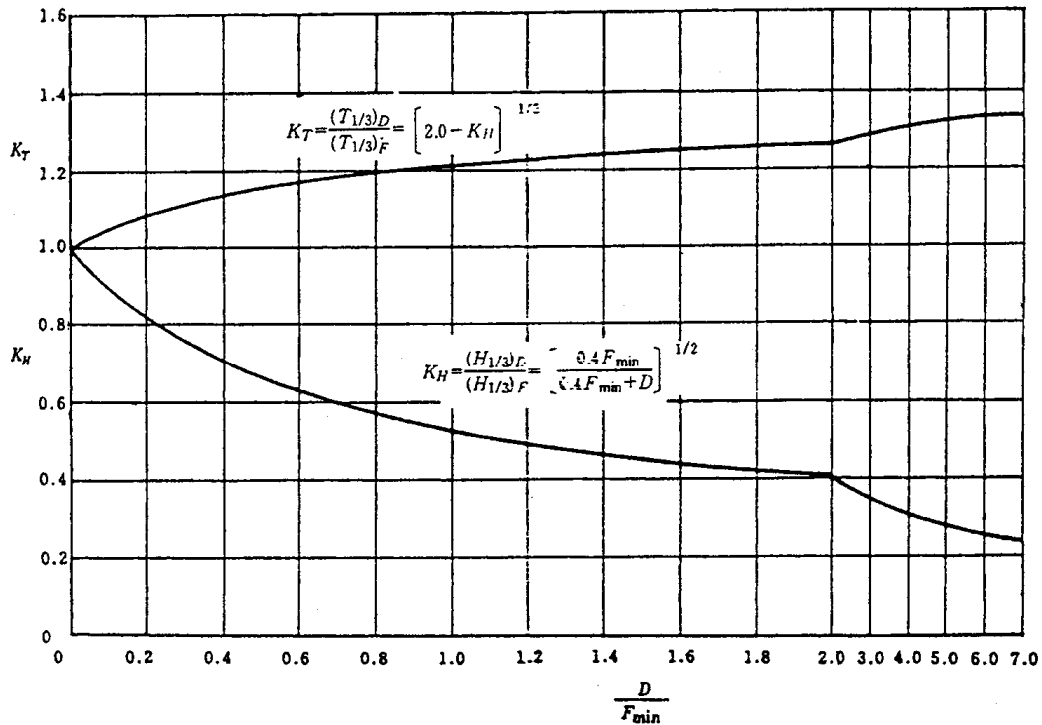
## [해설]

- (1) 파랑이 풍역에서 벗어나 너울로 진행하게 되면 바람으로부터 에너지의 공급이 없으므로 파고는 점차적으로 감소된다. 파고 감소의 원인은 방향 분산과 속도 분산에 의한 파 에너지의 밀도 저하에 의한 것이다.
- (2) 너울의 추산법에는 Bretschneider법(1968), P-N-J법(1955) 및 파랑 스펙트럼법 등이 있다. 파랑 스펙트럼법은 앞에서 언급한 바와 같이 수치계산에 의한 것으로 발생역에서 풍파와 너울을 구별하지 않고 여러 주파수에 대해 동시에 계산을 한다. 결과는 이 두 가지를 합성해서 유의파 제원으로 제시한다. 파랑 발생역에서 파의 추산에 유의파법을 사용한 경우에는 너울을 추산할 필요가 있으며, 이 경우에는 비교적 간단하며 사용하기 쉬운 Bretschneider법을 표준으로 하였다.

## [참고]

이 방법은 Bretschneider에 의해서 제안된 방법이며, 참고 그림 (4.3-11)에서 너울을 추산한다.





참고 그림 (4.3-11) 너울의 산정도(算定圖)

그림에서  $F_{\min}$ 은 최소 취송거리,  $D$ 는 감쇠거리,  $H_F$ ,  $T_F$ 는 풍역 종단(終端)에서의 유의파의 파고와 주기,  $H_D$ ,  $T_D$ 는 너울의 추산 지점에서의 유의파의 파고와 주기이다.

최소 취송거리  $F_{\min}$ 은 S-M-B법에 있어서 추산값이 풍속과 취송거리에 의해서 결정되는 경우는 실제의 취송거리를 사용하고, 풍속과 취송시간에 의해서 결정되는 경우는 이에 대응되는 취송거리를 사용한다. 감쇠거리  $D$ 까지 진행하는데 필요한 시간  $t$ 는 다음 식과 같다.

$$t = \frac{D}{C_{GD}} = \frac{4\pi D}{gT_D} \quad \text{참고 식 (4.3-28)}$$

여기서,  $C_{GD}$ 는  $T_D$ 에 대응하는 군속도이다.

너울에 대해서는 신뢰할 수 있는 관측 자료가 충분히 확보되어있지 않기 때문에 발생역에서의 파에 대한 경우보다도 추산 정도는 낮다. 따라서 실측값과 비교 검토하여 사용한다.

### 4.3.3 설계파랑의 통계분석

파랑자료는 장기간의 실측자료 또는 기상자료에 의해 추산한 값을 실측값으로 보정한 자료를 기초로 하여 상시 파랑과 이상시의 파랑으로 구분하여 파랑 특성을 통계 분석한다. 설계파랑은 이상시 파랑자료에 대해 적합한 통계처리방법으로 발생확률을 추정하고, 재현기간에 상응하는 파랑으로 결정한다.

#### [해설]

- (1) 항내정온도 및 작업일수 검토 등에 이용되는 상시 파랑의 특성을 분석하기 위해서는 파랑자료를 월별, 계절별 및 연별로 정리하여 파향별 파고, 주기의 상관도수 분포표를 이용한다.
- (2) 확률파고 추정에는 연속적인 파랑 관측기록값이 있으면 기준파고 등을 계산할 수 있으나 파고의 출현은 독립적이 아니기 때문에 파랑의 기준파고는 극치(極值)의 시계열 분포(時系列 分布)에서 구하는 방법과 매년의 최대파고를 사용하는 방법이 있다. 일반적으로 장기간의 매년 최대파고를 극치통계자료로 이용하여 확률파고를 분석한다.
- (3) 재현기간은 상정한 값을 상회하는 파랑이 나타난 평균적인 연수이다. 예를 들면, 6m 이상의 파고의 파가 평균하여 M년에 1회 비율로 나타난다면 이 파랑의 재현기간은 M년이다.
- (4) 파랑의 극치통계(極值統計)자료를 이용하여 검블(Gumbel) 분포, 와이불(Weibull) 분포 등의 방법으로 발생확률을 추정하고 재현기간에 상응하는 확률파고(설계파고)를 결정한다.
- (5) 확률파고에 대응하는 주기에 대해서는 확률파고의 추정 자료인 극대파의 자료에 대해 파고와 주기의 관계로부터 상관관계를 기초로 하여 적정하게 결정한다.

#### [참고]

확률파고 추정방법을 이용하여 임의 재현기간에 대한 파고를 추정하기 위한 통계 자료의 특성, 후보 분포함수의 선정, 자료와의 관계식 도출, 분포함수의 적합성을 측정하는 통계 지표 등에 대한 참고자료로서는 Goda(合田, 1988) 또는 ACES technical reference(1992) 등이 있고, 여기에는 관련사항이 잘 기술되어 있으며 프로그램도 이용이 가능하다.

한편, 항만구조물의 설계파를 구하기 위한 설계 심해파는 한국해양연구원(2005.12)이 제시한 결과를 참고할 수 있으며, 실제로 적용할 때는 대상 항만의 위치, 항입구가 열린 방향, 항만 주변의 해저지형 등 현장특성을 고려하여 적용할 수 있다.

#### 4.3.4 파랑의 변형

항만시설 설계 시의 파랑은 굴절, 회절, 반사, 천수 및 쇄파 변형 등과 같은 전파변형을 고려하여 산정하여야 한다.

##### [해설]

파랑변형은 수심과 흐름의 변화 및 구조물 등에 의해 발생된다. 수심이 파장의 1/2 이하인 수역에서는 파랑은 해저의 영향을 받아 파속은 느려지고 파장이 짧아지며 파고도 변한다. 따라서 수심이 파장의 1/2 이상인 해역을 심해역이라 하고, 이보다 얕은 해역을 천해역이라 한다.

##### [참고]

불규칙파에 대한 심해역과 천해역의 구분은 심해파의 유의파 주기로부터 구한 파장과 이에 대한 수심으로 해역을 구분한다. 천해역에서는 굴절, 회절, 천수 변형 및 쇄파 등의 영향을 받아서 스펙트럼 형태와 파고분포가 심해파의 상태와 다른 점을 고려해야 한다.

##### 4.3.4.1 천수변형

파랑이 천해역을 진행할 때에는 수심변화에 따른 굴절, 회절 변형뿐만 아니라 천수변형도 고려하여야 한다. 수심이 얕은 지역에서의 천수계수 산정 시에는 파랑의 비선형성을 고려하여야 한다.

##### [참고]

- (1) 심해파가 등심선에 직각 방향으로 해안을 향해서 진행할 때 수심 변화에 따른 미소진폭파의 파랑 변형은 다음 식으로 계산한다.

$$L/L_o = C/C_o = \tanh(2\pi h/L) \quad \text{참고 식 (4.3-29)}$$

$$H/H_o = \sqrt{\frac{1}{2n} \frac{C_o}{C}} = K_s \quad \text{참고 식 (4.3-30)}$$

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\frac{4\pi h}{L}}{\sinh \frac{4\pi h}{L}} \right) \quad \text{참고 식 (4.3-31)}$$

$$L_o = 1.56 T^2, \quad C_o = 1.56 T \quad \text{참고 식 (4.3-32)}$$

## 설계조건

여기서,  $L_o, C_o, H_o$  : 심해파의~파장(m), 파속(m/s) 및 파고(m)

$L, C, H$  : 수심  $h$ 지점에서의~파장(m), 파속(m/s) 및 파고(m)

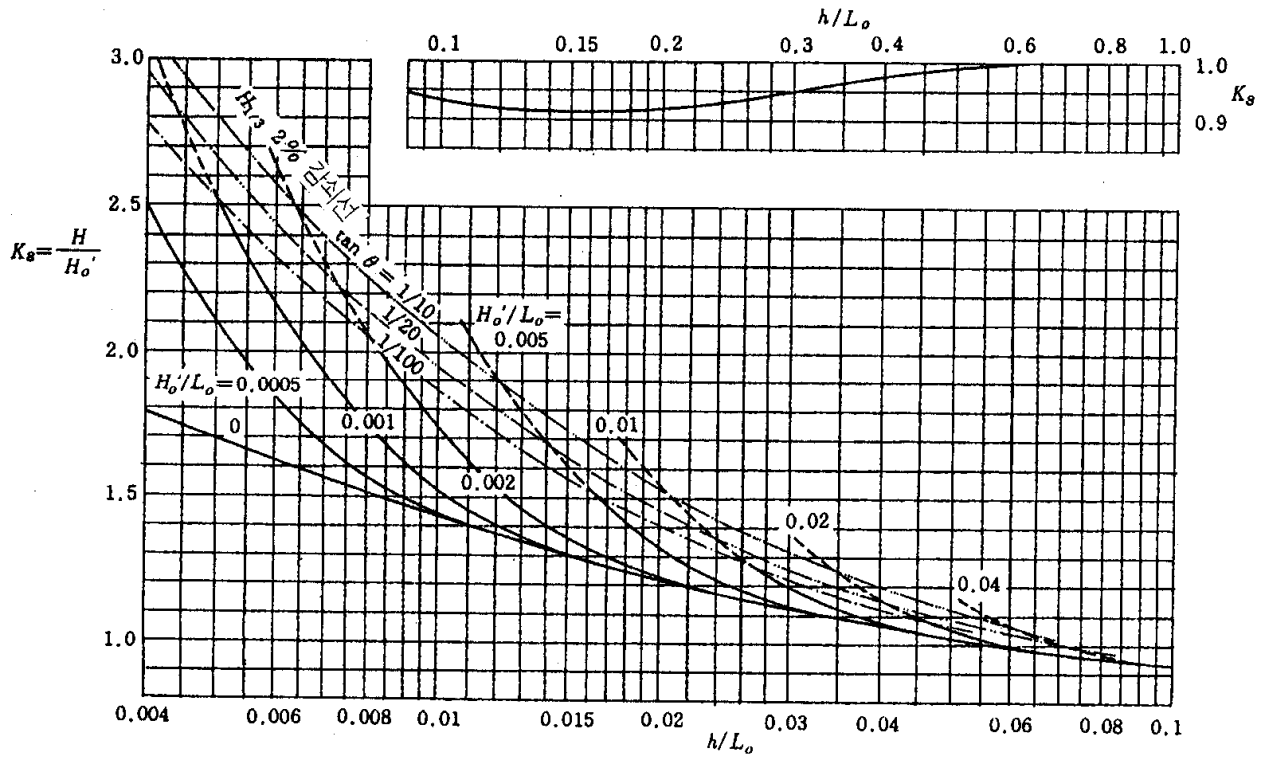
$T$  : 주기(s)

$K_s$  : 천수계수

두 지점을 통과하는 단위폭당 에너지 수송량은 마찰 등과 같은 손실을 고려한 에너지 보존식으로부터 천수계수가 계산된다.

수심이 변하면 파속과 군속도는 일정하게 변하지 않고 파랑 분산식에 의해 복잡한 변화를 보인다.

에너지 손실이 없는 경우 참고 그림 (4.3-12)의 상단에 나타낸 바와 같이 천수계수  $K_s$ 는 심해에서 1의 값으로부터 점차 감소하여  $h/L_o=0.157$ 에서 0.913의 최소값을 보인 후 다시 증가하나 쇄파로 인해 파고는 해안 부근에서 다시 작아진다.



참고 그림 (4.3-12) 천수계수 산정도

- (2) 참고 그림 (4.3-12)는 슈토(首勝, 1974)의 비선형 장파이론에 근거한 것으로 심해에서 천해에 도달하는 파랑의 천수 변형을 추정할 수 있다. 여기서  $K_s$ 는 천수계수,  $H_o'$ 는 환산심해파고이며, 천수변형만을 고려하는 경우 환산심해파고와 심해파고는 동일하다.
- (3) 불규칙파가 천해역에 들어가면 불규칙파 중의 각 성분파의 파속은 어느 것이든 장파의 속도에 수렴하여 주파수에 따른 파속의 차이가 거의 없기 때문에 파군(波群)의 형태는 거의 변하지 않고 진행한다.

이와 같은 경우에 쇄파 이전의 파랑만을 대상으로 한정하면 불규칙한 파군중의 개개 파에 대하여 비선형 변형이론이 적용될 수 있다.

따라서 규칙파에 대한 비선형 파랑의 변형식은 불규칙파에도 적용될 수 있다.

- (4) Bretschneider나 Pierson, Moskowitz의 스펙트럼을 갖는 불규칙한 파랑의 각 성분파가 미소진폭파와 동일한 천수변형을 한다고 가정하여 계산한 불규칙파의 천수계수는 미소진폭 규칙파의 천수계수와  $h/L_0 > 0.05$ 의 영역에서는 약 5% 정도의 차이가 발생한다. 따라서 장파 영역 외에는 불규칙파의 천수계수로 미소진폭 규칙파의 천수계수를 근사적으로 사용할 수 있다.
- (5) 상기 (3)과 (4)항에서 쇄파 이전의 천해역에서 불규칙파의 천수계수는 장파 영역 내 외의 여하에 관계없이 유의파로 대표된 참고 그림 (4.3-12)를 이용하여 구할 수 있다.
- (6) 참고 그림 (4.3-12)의 일점쇄선은 쇄파로 인해 유의파가 98%로 감쇠된 지점을 나타낸다. 이 선보다 위의 영역에서는 쇄파에 의한 파고감쇠가 커서 천수변형만으로는 파고변화를 추정할 수 없다.

#### 4.3.4.2 굴절변형

파랑이 천해역을 진행할 때에는 평면적인 수심변화에 따른 파속의 변화로 인해 굴절 현상이 발생하므로 굴절에 의한 파향 및 파고 변화를 고려하여야 한다.

#### [참 고]

##### (1) 규칙파의 굴절 계산

##### ① 굴절현상과 굴절계수

수심이  $h_1$ 에서  $h_2$ 로 변하는 경계선에서 파가 사각으로 입사할 때는 수심변화에 따라 파속이 변하므로 파가 경계면에서 굴절되고 이에 의해 파향선의 간격이 변한다.

파향선의 폭의 변화가 급격하지 않으면 파의 에너지는 파향선을 가로질러 유출되지 않는다고 가정할 수가 있으며, 마찰 등에 의한 에너지 감쇠를 무시하면 에너지 수송량이 보존된다. 수심  $h_1$ 에 대한 군속도를  $C_{G1}$ ,  $h_2$ 에 대한 군속도를  $C_{G2}$ 라 하고 수심  $h_1$ 에서의 파봉선의 폭  $b_1$ 이  $h_2$ 에서는  $b_2$ 로 변하면, 이 사이의 에너지가 일정하므로 파고  $H_1$ 과  $H_2$ 는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} \sqrt{\frac{C_{G1}}{C_{G2}}} = K_r \cdot K_s \quad \text{참고 식 (4.3-33)}$$

여기서,  $K_s$ 는 참고 식 (4.3-30)에 의해 표시된 천수계수이고,  $K_r$ 은 굴절계수이다. 굴절계수는 파봉선의 폭의 변화로 표시되며, 파봉선의 폭은 파수( $k$ )의 비회전성으로부터 구하게 된다.

## 설계조건

$$\frac{\partial k \sin \alpha}{\partial x} - \frac{\partial k \cos \alpha}{\partial y} = 0$$

참고 식 (4.3-34)

파봉선의 폭을 구하기 위해  $y$ 축을 등심선 방향,  $x$ 축을 파랑 진행방향으로 정한 참고 그림 (4.3-13)에서와 같이 등심선이 평행한 경우에는  $y$ 방향의 변화율이 없으므로 참고 식 (4.3-34)로부터 스넬(Snell) 법칙이 얻어진다.

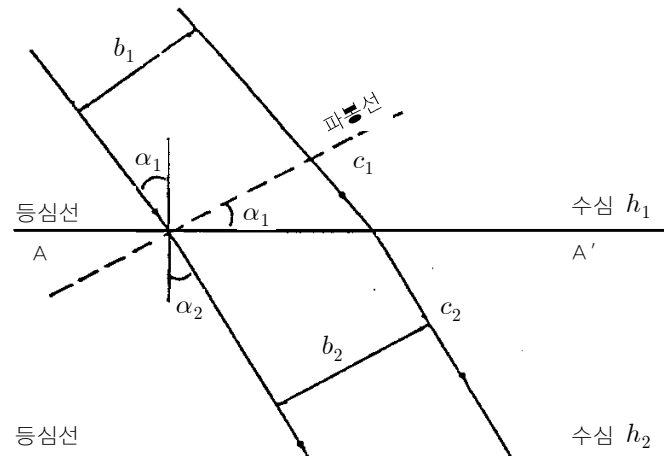
$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{L_1}{L_2}$$

참고 식 (4.3-35)

또한 두 파향선 사이의  $y$ 방향 거리는 같으므로

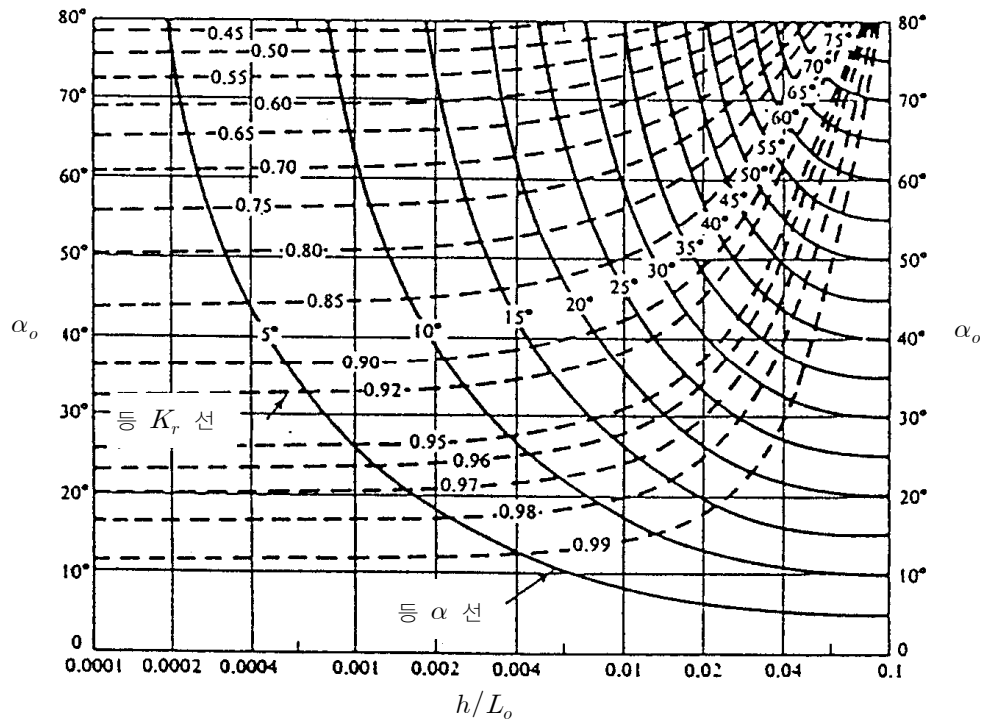
$$K_r = \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2}}$$

참고 식 (4.3-36)



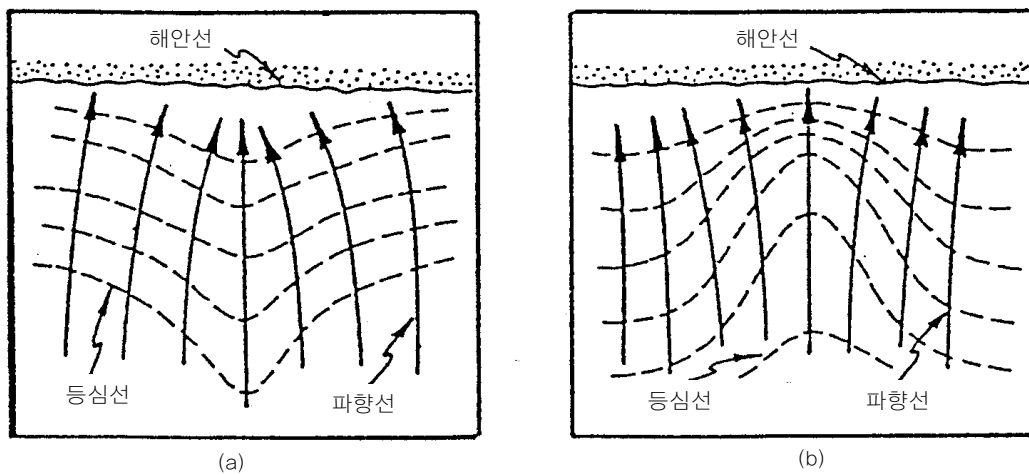
참고 그림 (4.3-13) 평행한 등심선에서 파랑굴절(Snell 법칙)

수심의 평면적인 변화가 있는 지역에서는 참고 식 (4.3-34)로부터 파향선의 각을 구해 굴절계수를 계산한다[참고 그림 (4.3-14) 참조].

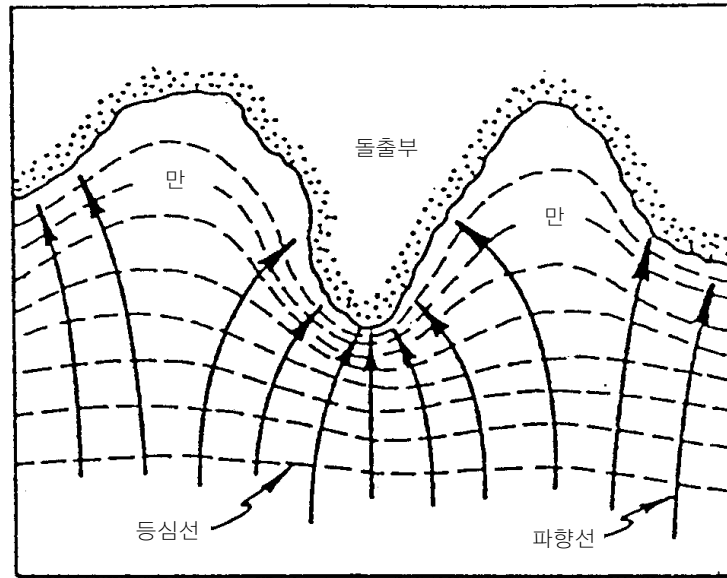


참고 그림 (4.3-14) 직선 평행해안에서의 굴절계수

- ② 참고 그림 (4.3-15)에서와 같이 해저계곡에서는 파향선이 발산하여 파고가 작아지나 돌출부에서는 집중되어 파향선 간격이 좁아져 파고가 커지게 된다.



참고 그림 (4.3-15)(a) 불규칙한 등심선의 해역에서의 굴절 변형(직선 해안)



참고 그림 (4.3-15)(b) 불규칙한 등심선의 해역에서의 굴절변형(굴곡 해안)

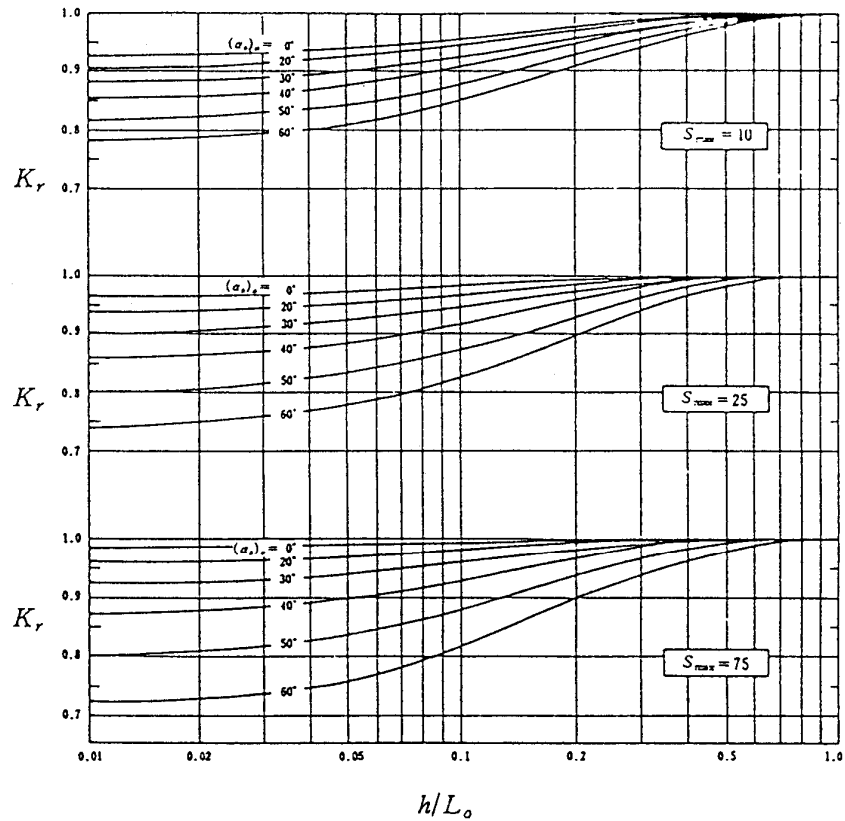
(2) 규칙파 굴절 계산의 적용범위

- ① 규칙파에 의한 계산이 적용될 수 있는 것은 너울 및 지진해일과 같이 방향 분산이 작고 주파수대가 좁은 파랑이다. 풍파와 같이 방향 분산이 크고 주파수대가 넓은 파에 대해서는 불규칙파에 의한 굴절 계산을 해야 한다.
- ② 천퇴(淺堆)와 같은 지형 뒤편에서는 파향선이 좁아져 때로는 교차하는 경우가 생긴다. 참고 식 (4.3-33)과 참고 (4.3-36)에서 파향선의 폭이 영(0)이 되면 파고가 무한대로 커져 굴절 계산을 할 수 없게 된다. 실제로는 파향선을 가로질러 파에너지가 이동되는 회절현상이 더 강해져 파고는 낮아지게 된다.
- ③ 해안선에 평행한 직선 등심선을 갖는 해안에서는 규칙파의 계산 결과를 이용할 수 있다.

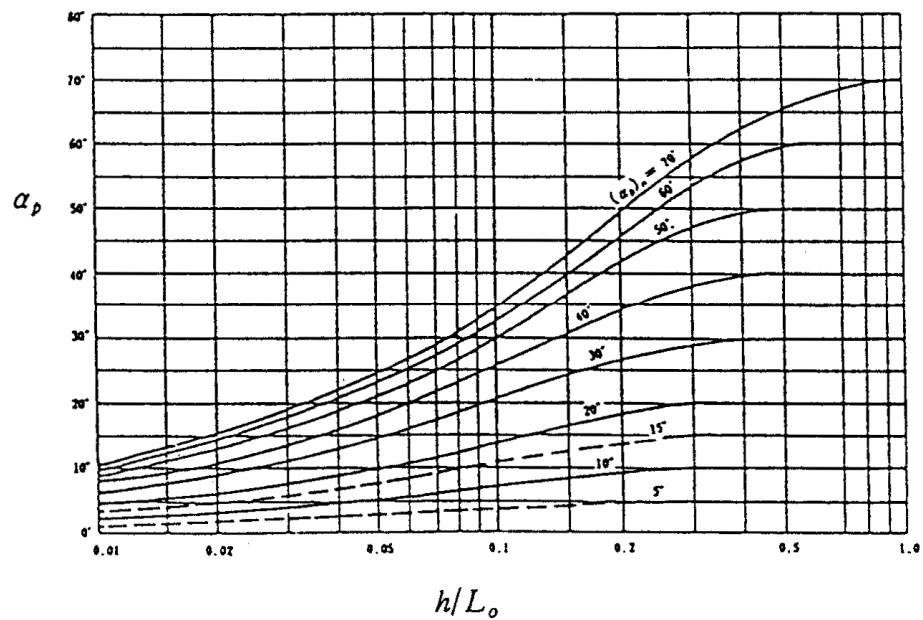
(3) 불규칙파에 의한 굴절 계산

- ① 불규칙파에 대한 굴절 계산으로는 파의 방향 스펙트럼을 적절한 개수의 성분파로 분할하여 각 성분파에 대해 환경사방정식을 풀어서 불규칙파의 굴절계수를 구하는 성분파법(예: Chae and Jeong, 1992)과 파의 에너지 평형방정식을 차별화하여 직접 계산하는 방법(다카야마(高山) 등, 1981)이 있다.
- ② 심해파가 섬이나 갑(岬) 등에 의해 굴절된 파인 경우에는 파의 스펙트럼을 표준형으로 가정한다면 일반적으로 차이가 생기기 때문에 회절 후의 스펙트럼을 사용하여 굴절 계산을 하여야만 한다.
- ③ 참고 그림 (4.3-16)과 참고 그림 (4.3-17)은 등심선이 해안에 평행한 지역에서 계산된 불규칙파 굴절계수  $K_r$ 과 입사각  $\alpha_p$ 를 나타낸다[Goda(合田), 1975]. 그림에서  $(\alpha_p)_0$ 는 심해파의 주 파향각이며, 등심선에 대하여 수직 방향으로부터의 편각을 나타낸다. 또한,  $S_{\max}$ 는 파의 방향 집중도를 나타낸 계수의 최댓값이다.





참고 그림 (4.3-16) 직선 평행등심선 해안의 불규칙 파랑의 굴절계수

참고 그림 (4.3-17) 직선 평행등심선 해안에서 굴절에 의한 불규칙파의 주파향  $\alpha_p$ 의 변화도

- ④ 수심이 심해파고의 1/2 이하인 지점에서는 파랑으로서의 성질보다 쇄파에 의한 흐름으로서의 성질이 우세하므로 위의 굴절계산법을 적용할 수 없다.

#### 4.3.4.3 회절변형

방파제, 섬 등과 같은 구조물(지장물)에 의해 회절파의 영향을 크게 받을 것으로 예상되는 영역 내의 파고는 회절도, 회절계산 또는 수리모형실험으로 산정하여야 한다.

##### [참 고]

- (1) 방파제의 선단부 뒤편에도 파랑에 의한 수면의 진동이 발생된다. 이는 파랑 에너지가 큰 쪽에서 작은 쪽(방파제로 인한 차폐구역)으로 이동되는 회절현상에 의해 나타난다. 회절은 항내 파고를 산정하는 경우에 가장 중요한 현상이며, 회절계산시 파랑의 불규칙성을 고려해야 한다. 항내 수심이 일정하다고 가정하면 반 무한방파제나 단일개구부를 갖는 직선배치방파제에 대해서는 불규칙파의 회절도가 요구된다. 회절에 의해 변화하는 파고의 비율을 회절계수  $K_d$ 라 하며, 회절계수  $K_d$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

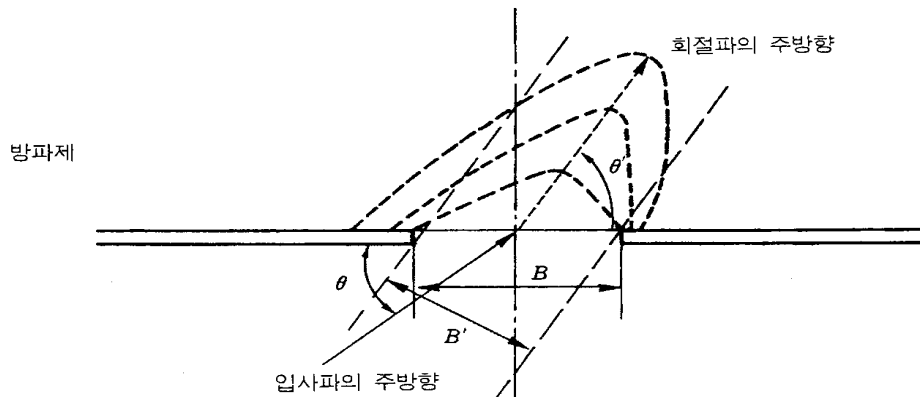
$$K_d = H_d / H_i$$

여기서,  $H_i$  : 항외측 입사파고

$H_d$  : 회절변화 후 항내측 파고

회절도 및 회절계산법은 항내 측 수심이 일정하다고 가정하고 있다. 따라서 항내의 수심변화가 큰 경우에는 오차가 크게 발생하기 때문에 수리모형실험이나 굴절을 동시에 고려할 수 있는 수치계산법으로 항내 파고를 검토하는 것이 바람직하다.

- (2) 반무한제(半無限堤)에 의한 불규칙파의 회절도는 부록 그림 (4-1)~그림 (4-7)과 같으며, 그림 중에서 실선은 등파고비선(等波高比線), 점선은 등주기비선(等周期比線)이다.  $s_{\max} = 10$ 은 풍파,  $s_{\max} = 25$ 는 감쇠 초기의 너울,  $s_{\max} = 75$ 는 너울성의 파랑에 해당된다. 단, 천해역에서는 굴절에 의한  $s_{\max}$ 의 변화[참고 그림 (4.3-16) 참조]를 고려한다. 회절파고(回折波高)와 입사파고(入射波高)와의 비가 회절계수( $K_d$ )이다.  $\theta$ 는 파랑의 주 방향을 나타내며, 좌표는 유의파의 파장으로 무차원화되어 있다. 이 그림은 방파제의 뒤편에서 반사되는 방향의 입사파는 무시되어 있으며, 방파제의 반사계수는 1로 완전 반사의 경우이다.



참고 그림 (4.3-18) 가상 개구폭  $B'$ 와 회절파의 축선(軸線) 각도  $\theta'$

- (3) 부록 그림 (4-8)~그림 (4-11)은 개구부를 갖는 방파제에 대한 회절과로서 파랑의 주 방향은 방파제에 대하여 수직이며, 좌표는 개구부에 의해 무차원화된 값이고, 이 그림에서 오른쪽 반은 회절계수, 왼쪽 반은 주기의 비를 나타낸 것이다.
- (4) 개구 방파제에 파랑이 사각(斜角)으로 입사할 때의 회절도는 수치계산으로 구하는 것이 바람직하나 이런 방법으로 할 수 없을 때는 아래와 같이 근사적인 방법으로 구하여도 좋다.
- 사각 입사의 경우, 개구 방파제에 의한 회절파의 축선 방향  $\theta'$ [참고 그림 (4.3-18) 참조]는 입사각  $\theta$ 와 약간 차이가 있다. 이 편각을 표시한 것이 부록 그림 (4-12) (a)~(c) 및 그림 (4-13) (a)~(c)이다. 개구폭비 및 파랑의 입사방향에 대한 회절파의 축선 방향은 참고 표 (4.3-3) (a)~(c)를 이용하여 구한다.

**참고 표 (4.3-3) 불규칙파 입사 시 회절파의 진행 축선각도( $\theta'$ )**

[( )내는 입사각에 대한 편각]

(a)  $S_{\max} = 10$

B/L	방파제와 파향이 이루는 각 $\theta$			
	15°	30°	45°	60°
1.0	53° (38° )	58° (28° )	65° (20° )	71° (11° )
2.0	46° (31° )	53° (23° )	62° (17° )	70° (10° )
4.0	41° (26° )	49° (19° )	60° (15° )	70° (10° )

(b)  $S_{\max} = 25$

B/L	방파제와 파향이 이루는 각 $\theta$			
	15°	30°	45°	60°
1.0	49° (34° )	52° (22° )	61° (16° )	70° (10° )
2.0	41° (26° )	47° (17° )	57° (12° )	67° (7° )
4.0	36° (21° )	42° (12° )	54° (9° )	65° (5° )

(c)  $S_{\max} = 75$

B/L	방파제와 파향이 이루는 각 $\theta$			
	15°	30°	45°	60°
1.0	41° (26° )	45° (15° )	55° (10° )	66° (6° )
2.0	36° (21° )	41° (11° )	52° (7° )	64° (4° )
4.0	30° (15° )	36° (6° )	49° (4° )	62° (2° )

## 설계조건

참고 표 (4.3-3)에서 회절파의 축선 방향을 구하여  $\theta'$ 에 대한 가상 개구폭비  $B'/L$ 은 참고 식 (4.3-37)로 구한다[참고 그림 (4.3-18) 참조].

$$B'/L = (B/L)\sin\theta'$$

참고 식 (4.3-37)

직각 방향에서의 입사파에 의한 회절도[부록 그림 (4-8~4-11)]로부터 가상 개구폭비와 같은 개구비의 회절도를 선택하여 이 회절도의 입사방향과 참고 표 (4.3-3)에서 구한 회절파의 축선 방향이 일치되도록 회전시켜 보면 비스듬한 입사파의 회절도가 된다. 이 근사법에 의한 오차는 방파제 개구부 부근에서 가장 크고 회절계수의 값으로는 0.1 정도이다.

- (5) 개구폭비  $B/L$ 에 해당하는 동일한 회절도가 없을 때는 이에 가까운 값의 회절도를 쓰든가 혹은 그 값에 가까운 2개의 회절도로부터 내삽하여 정한다.
- (6) 파랑의 회절에서는 주기의 변화보다 파향 변화의 효과가 크므로 파장에 비하여 큰 섬 등에 의한 회절에 있어서는 파 에너지의 방향분산만을 고려한 방향분산법으로 계산해도 좋다.
- (7) 파랑의 차폐 구역에서 수심이 크게 변화할 때는 적절한 방법으로 파랑의 굴절도 동시에 고려하여야 한다.
- (8) 회절된 불규칙파의 유의파 주기는 회절 전과 다르므로 주의해야 한다.
- (9) 회절 후의 파랑이 안벽 등에 의해서 반사될 때는 반향 회절도법이나 기타 적절한 방법으로 반사의 효과를 계산해야 한다.
- (10) 규칙파의 회절도를 부록 그림 (4-15) (a)~(h)와 부록 그림 (4-16) (a)~(h)로 나타내었다. 부록 그림 (4-15)는 반무한제에 의한 회절도이며, 부록 그림 (4-16)은 개구방파제에 의한 회절도이다. 파형경사가 작은 너울( $H_o'/L_o \leq 0.005$  정도)에 의한 회절은 이들 규칙파의 회절도를 써서 산정하여도 좋다.  
또한, 규칙파에 의한 정온도 실험으로 사전에 항내의 파고 분산을 추정할 경우에도 규칙파의 회절도를 사용한다.

### (11) 수리모형실험에 의한 검토

다방향 불규칙파 조파기의 발달로 인하여 방향 분산성을 갖는 파를 평면수조 내에서 재현할 수 있으므로 회절 실험을 비교적 간단히 실시할 수 있다. 유효조파영역 내에 항만 모형의 개구부를 설치하고 관측은 항내의 여러 지점에서 동시에 실시한다. 회절계수는 항입구에 적어도 2개 지점에서 관측한 유의파고의 평균값으로 항내관측 유의파고를 나눈 값이다.

- (12) 파고가 매우 큰 폭풍 시에는 항입구로 쇄파가 침입하는 경우가 있으며 이때에도 앞에서 언급한 회절도를 이용하여 항내 파고를 산정하면 좋다. 단, 쇄파가 발생하는 경우에는 파 에너지의 방향 집중도가 크게 되기 때문에 방향집중도 계수  $S_{\max}$ 의 값이 75 이상인 회절도나 규칙파의 회절도를 이용한다.



#### 4.3.4.5 환산심해파고(換算深海波高)

환산심해파고는 굴절, 회절 등에 의한 파고 변화의 영향을 설계계산 및 수리모형실험에서 쉽게 다루기 위한 가상적인 파고이며, 쇄파, 파의 쳐올림, 월파 등의 현상을 심해파와 관련하기 위해 도입한 것이다.

##### [해설]

- (1) 환산심해파고의 파고 및 주기는 다음 식으로 산정한다.

$$H_o' = K_d K_r (H_{1/3})_o, \quad T_{H_{1/3}} = (T_{H_{1/3}})_o \quad \text{해설 식 (4.3-1)}$$

여기서,  $H_o'$  : 환산심해파고(유의파)  
 $(H_{1/3})_o = H_o$  : 심해파고(유의파)  
 $K_d$  : 회절계수  
 $K_r$  : 굴절계수  
 $(T_{H_{1/3}})_o$  : 심해파의 유의파 주기

- (2) 쇄파, 파의 쳐올림, 월파 등과 같은 현상은 주로 수리모형실험에 의해 분석되며, 기존의 결과들은 2차원 수로에서 이루어진 것들이 많으므로 이를 활용하기 위한 방안으로 환산심해파고가 고안된 것이다.
- (3) 회절과 굴절 등을 고려할 수 있는 3차원 수조에서는 이 개념이 필요하지 않으나 3차원 실험은 과도한 비용과 시간이 소요되는 단점이 있어 환산심해파고를 계속 사용하고 있다.
- (4) 해저경사가 완만하고 파랑이 상당한 거리를 진행하면 해저마찰로 인한 파고 감쇠를 무시할 수 없으며, 이런 경우 감쇄율  $K_f$ 를 해설 식 (4.3-1)에 곱해 환산심해파고를 계산한다.
- (5) 실제 지형에서는 굴절·회절 계수가 장소에 따라 다르기 때문에 환산심해파고 계산은 장소에 따라 변하는 점에 주의한다.

#### 4.3.4.6 반 사

- (1) 설계일반

항만시설물 설계 시 인근 구조물에 의한 반사파의 영향과 해당 시설물이 인근 지역에 미치는 반사파의 영향에 대하여 검토하여야 한다.

##### [해설]

방파제에서 반사된 파가 항로를 소란하게 하거나, 인근 안벽에서 다중 반사된 파가 항내를 교란시키기도 한다. 항만시설에 의한 반사파가 선박의 항행 및 하역에 큰 영향을 미치는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

## [참 고]

반사파에 의해 여러 파군이 존재할 경우의 파고는 참고 식 (4.3-38)로 산정할 수 있다.

$$H_s = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + \cdots + H_n^2} \quad \text{참고 식 (4.3-38)}$$

여기서,  $H_s$ 는 파군 전체의 유의파고,  $H_1, H_2, \dots, H_n$ 는 각 파군의 유의파고이다.

단, 파향에 따라 파랑의 작용이 다를 경우에는 각 파군의 파향의 차이를 고려한다.

- (1) 구조물의 수직선과 입사파와의 사잇각(입사각)이  $45^\circ$ 보다 작은 경우 입사각과 같은 반사각을 가지는 반사파가 형성되나 입사각이  $45^\circ$ 보다 크고  $70^\circ$ 보다 작은 경우에는 반사각은 입사각보다 크게 될 뿐만 아니라 마하스텝(Mach-stem)이라는 새로운 파형이 구조물에 인접한 곳에 형성되며, Mach-stem의 진폭은 입사파의 진폭보다 크다. 입사각이  $70^\circ$ 보다 큰 경우에는 Mach-stem만이 존재하며, 구조물로부터 직각 방향으로 형성되는 Mach-stem의 폭은 입사파랑 진행방향으로 점차 증가하고 진폭도 커지게 되므로(Chen, 1961) 돌제 등의 마루높이 결정에 이를 고려한다.
- (2) 반사파와 반사파 또는 입사파와 반사파가 중첩된 경우의 파고는 다음과 같이 구한다. 규칙파는 파형의 단순한 중첩에 의해 구하며, 이는 위상의 상황에 따라 심한 기복을 나타낸다. 그러나 불규칙파에서는 많은 성분파를 포함하고 있기 때문에 이 기복은 평활화되어 반사파의 파고는 각 파군의 에너지가 중첩된 것으로서 참고 식 (4.3-38)로 계산할 수 있다. 이와 같은 방법은 반사면에서 0.7파장 이상 떨어진 지점에서 적용할 수 있다.

## (2) 반사율의 산정

항반사율은 현장관측에 의해 산정하는 것이 바람직하지만, 관측이 어려운 경우 또는 시공전의 경우에는 수리모형실험 결과를 참조하여 산정한다. 반사율 산정 실험 시의 파랑은 불규칙파를 사용하여야 한다.

## [참 고]

반사율은 반사계수  $K_R$ 로 나타내며, 반사파고  $H_R$ 에 대한 입사파고  $H_I$ 의 비로 정의한다. 반사율은 구조물의 형태, 재질과 같은 구조물 특성과 파형경사, 상대수심과 같은 파랑의 특성에 따라 정해진다. 참고 표 (4.3-4)를 참고하여 반사율의 개략값을 산정할 수 있다.

## 설계조건

참고 표 (4.3-4) 반사율의 개략값(Seelig and Ahrens, 1981)

구 조 형 식	반 사 율
직립벽(마루가 정수면 위)	0.7~1.0
직립벽(마루가 정수면 아래)	0.5~0.7
사석사면(1:2~3 경사)	0.3~0.6
이형소파 블록사면	0.3~0.5
직립소파 구조물	0.3~0.6
자연해빈	0.05~0.2

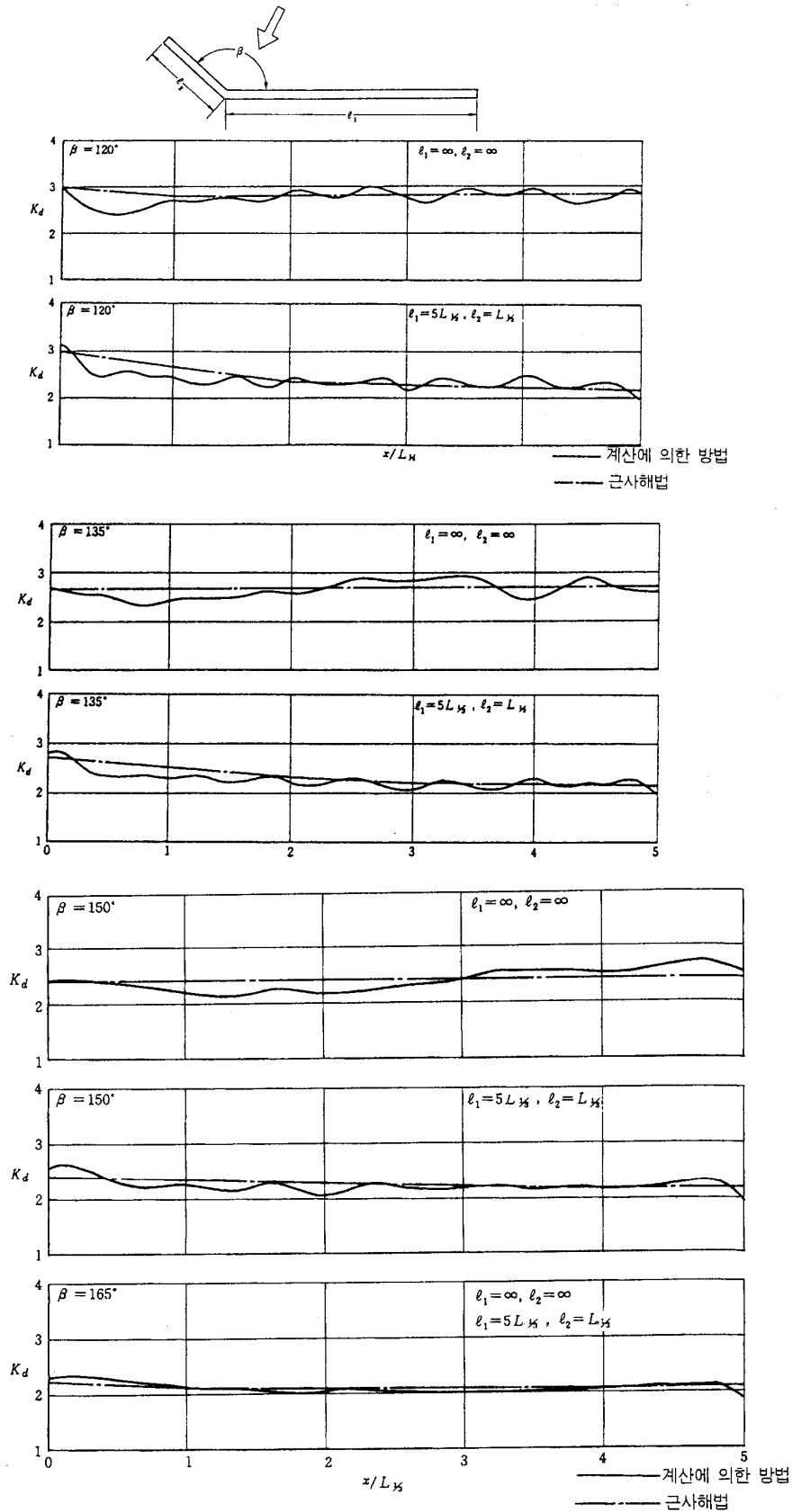
### (3) 오목부, 방파제 두부(頭部) 부근 및 도제(島堤) 주변에서의 파랑변형

구조물의 오목부, 방파제 두부 부근 및 도제 주변에서는 일반적인 중복파보다 큰 파고가 발생하므로 파고 증대에 대해 검토하여야 한다. 파고 증대 검토 시 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

## [참 고]

- (1) 규칙파로 오목부나 방파제 두부 부근의 파고 분포를 계산하면 매우 기복이 심한 파고 분포를 얻게 된다. 그러나 파랑의 불규칙성을 고려하여 계산하면 오목점에서 1파장 미만의 범위를 제외하면, 파고 분포는 평활화되어 파고가 작아진다. 이 때문에 규칙파에 의해 계산된 파고는 과대하다.
- (2) 불규칙파에 의한 오목부 부근의 파고 분포를 참고 그림 (4.3-20)에 나타내었다. 이 그림은 수치계산에 의하여 각 주파향에 대하여 구한 파고의 최댓값 분포 모양을 나타낸 것으로서 파랑은 방파제에 의해 완전히 반사된다고 가정한 것이다. 그림에서  $K_d$ 는 주방파제 전면의 파고와 입사파고와의 비를 나타낸다. 계산에 쓰인 불규칙파는  $s_{\max}=75$ 의 스펙트럼형으로 상당히 파향 집중도가 높은 파랑이다. 그림의 일점쇄선은 근사계산으로 구해진 각 점에서의 파고의 최댓값 분포이다.  
또한  $l_1$ 은 주방파제의 길이,  $l_2$ 는 부방파제의 길이,  $\beta$ 는 주방파제와 부방파제가 이루는 각도이다. 이 그림으로 오목부 부근의 파고 분포를 산정하여도 좋다.





참고 그림 (4.3-20) 오목부에서의 파고의 최댓값 분포

## 설계조건

- (3) 방파제의 반사율이 0.4 이하가 되도록 소파공을 설치하면 오목부에 의한 파고 증대는 거의 고려하지 않아도 된다. 다만, 이는 부방파제의 전장에 걸쳐 소파공을 설치한 경우이다. 부방파제가 긴 경우 부방파제에 의한 반사파의 영향이 오목점에서 떨어진 곳까지 도달하기 때문에 소파공을 방파제 연장상에 길게 설치하지 않는 한 그 효과는 크게 기대할 수 없다. 또한 주방파제가 부방파제에 미치는 효과도 같다고 할 수 있다.
- (4) 반무한 방파제, 개구 방파제 및 도제의 두부 부근(두부에서 1파장 미만의 범위)에는 파랑의 회절에 의해 일반적인 중복파의 파고보다도 더 큰 파랑이 발생한다. 또한 방파제 후면의 파고 분포도 제체를 따라 진동하기 때문에 항내·외의 수위차에 따라서는 큰 파력이 미치게 되는 것에 주의해야 한다[이토(伊藤)와 다니모토(谷本), 1971]. 특히, 도제의 경우 도제의 길이와 파장의 비 또는 파향에 따라서 최대의 파력을 발생하는 위치가 크게 이동하는 것에 주의를 요한다.

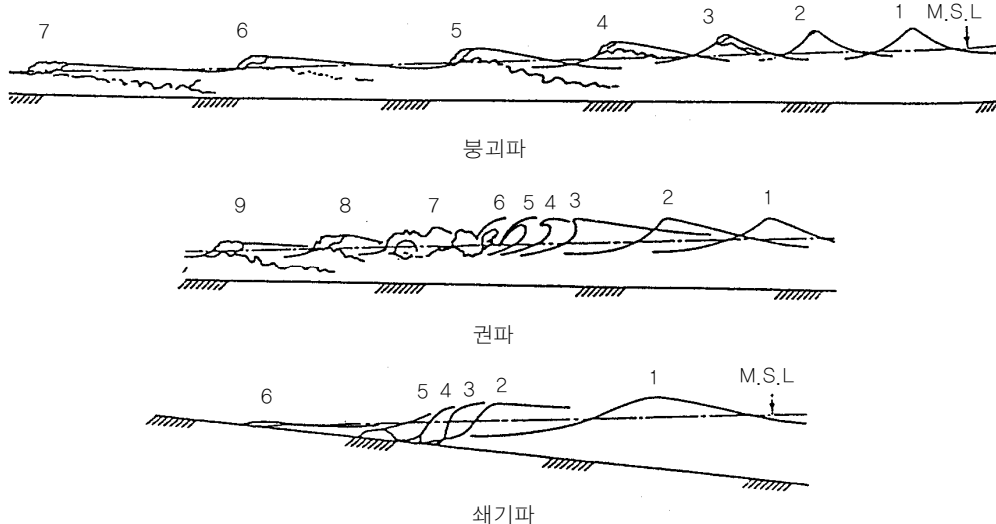
### 4.3.5 쇄 파

#### 4.3.5.1 쇄파일반

항만구조물이 쇄파지점 부근에 있는 경우에는 쇄파의 영향을 고려하여야 한다.

#### [참 고]

(1) 쇄파 형식은 다음과 같은 세 가지가 있으며 형태는 참고 그림 (4.3-21)과 같다.



참고 그림 (4.3-21) 쇄파 형태

#### ① 붕괴파(Spilling breakers)

파형이 진행함에 따라 비대칭이 되고, 파봉 부분의 일부에 하얀 거품이 생기며 점차 적으로 깨져 그것이 차차 파의 전면에서 무너져가는 형태의 쇄파로 천해인 해안뿐만 아니라 심해역에서도 발생한다.

#### ② 권파(Plunging breakers)

해안 부근의 수심이 얇은 곳에 파랑이 도달하면 해저 마찰 때문에 수립자의 속도가 해저보다 표면에서 크게 되어 파봉이 앞으로 덮어씌워져 파랑 전체가 앞으로 일시에 넘어지는 형태의 쇄파이다.

#### ③ 쇄기파(Surging breakers)

권파와 같이 일시에 파랑 전체가 깨지는 것이 아니고, 파랑의 하부쪽에서 부서지기 시작하여 파의 전면 대부분이 깨어져 해안선에서 공기를 혼합시키면서 사면을 타고 올라간다.

- (2) 쇄파 형식은 입사파의 파형경사  $H_o/L_o$ 와 해저경사의 영향을 받게 된다. 일반적으로 파형경사가 큰 경우는 붕괴파가 되고, 해저경사가 큰 경우는 쇄기파가 발생한다.
- (3) 쇄파 형식은 해안선 변형에 밀접한 관계가 있는 동시에 구조물에 작용하는 파력에도 관계가 있다. 경사가 완만한 해안에서는 여러 번의 쇄파가 발생하며, 가장 먼 외해 쪽에서부터 해안 가장 가까운 곳까지 쇄파가 일어나는 지역을 쇄파대라 한다.

## 설계조건

- (4) 방파제에 강력한 파력을 미치는 쇄파는 주로 권파이며, 많은 파력 공식들은 이 쇄파에 대한 식이다.
- (5) 구조물이 쇄파지점 내에 있는 경우는 쇄파후의 파랑이 구조물에 작용하는 것으로 하여 설계한다. 구조물이 쇄파지점보다 외해 쪽에 있는 경우는 굴절 또는 회절에 의해서 구한 파향 및 파고에 의해서 설계한다.

### 4.3.5.2 규칙파의 쇄파 한계파고(碎波 限界波高)

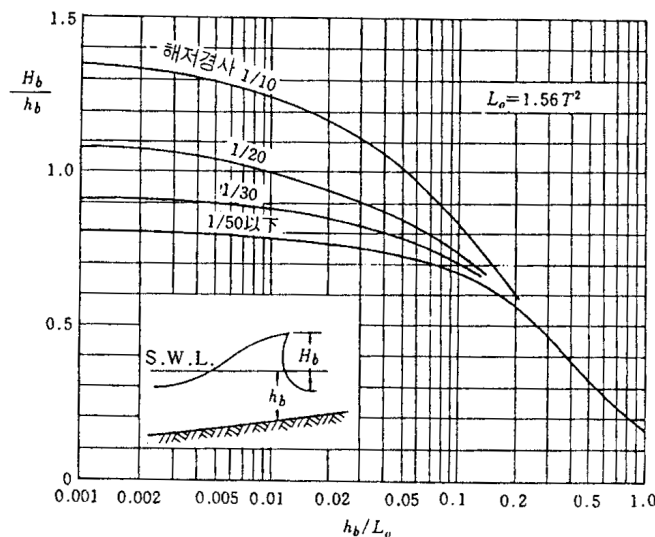
해저경사가 비교적 작은 경우에 규칙파의 쇄파 한계파고는 이론식 또는 수리모형실험 결과를 이용하여 산정하여야 한다.

#### [참 고]

- (1) 파랑이 해안으로 진입하면 천수변형에 의해 파고가 증가하고 한계파고에 이르면 쇄파가 발생된다. 쇄파로 인해 공기가 수중에 주입되고 와류가 형성되어 쇄파 전후의 파랑운동은 상당한 차이가 있다. 파가 부서지는 점을 쇄파점, 그 지점의 수심을 쇄파수심, 그리고 그 때의 파고를 쇄파고로 정의한다.
- (2) 참고 그림 (4.3-22)는 규칙파의 쇄파한계파고를 표시하며, 이 그림에 의해서 쇄파한계파고를 산정할 수 있다. 그림에서 곡선은 참고 식 (4.3-39)로 근사적으로 구할 수 있다.

$$\frac{H_b}{L_o} = 0.17 \left\{ 1 - \exp \left[ -1.5 \frac{\pi h}{L_o} (1 + 15 \tan^{4/3} \theta) \right] \right\} \quad \text{참고 식 (4.3-39)}$$

여기서,  $\tan \theta$ 는 해저경사이다.



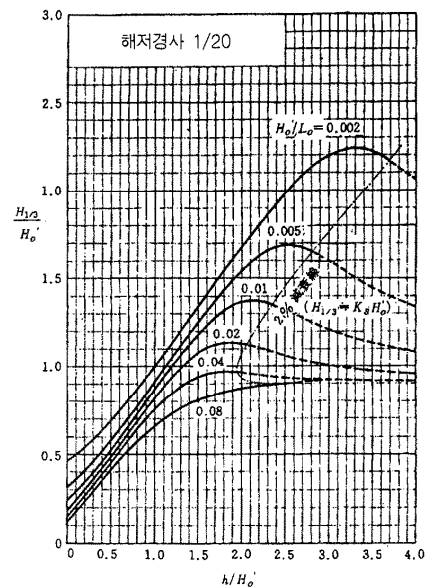
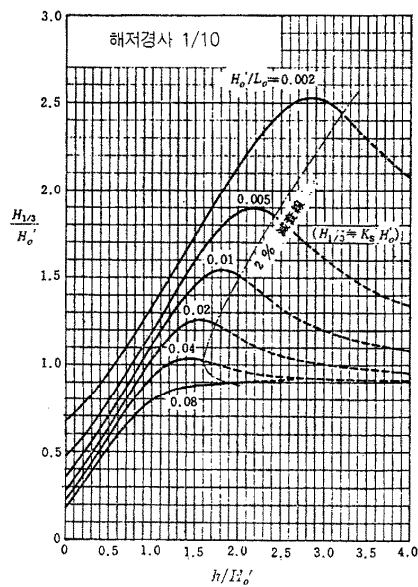
참고 그림 (4.3-22) 규칙파의 쇄파한계파고(Goda(合田), 1970)

## 4.3.5.3 쇄파에 의한 파고변화

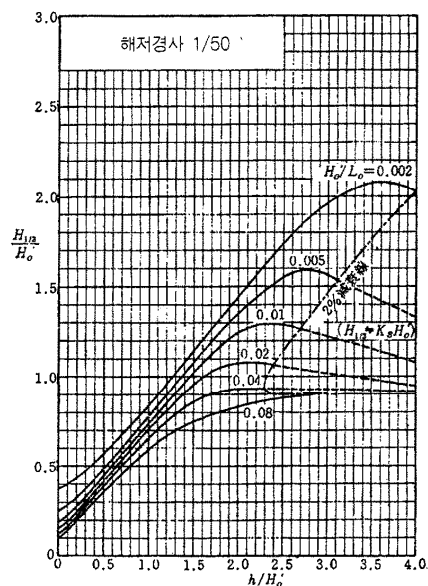
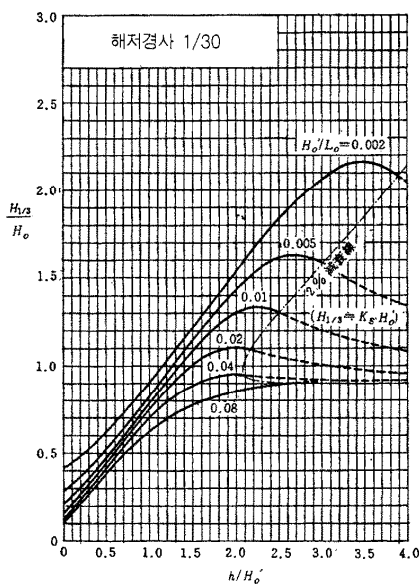
수심이 환산심해파 파고의 약 3배 이하의 영역에서는 쇄파에 의한 파고 변화를 고려하여야 한다. 쇄파에 의한 파고 변화 산정 시 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

## [참고]

- (1) 쇄파에 의한 파고 변화는 참고 그림 (4.3-23)(a~e) 또는 참고 그림 (4.3-24)(a~e)에 의해 구하며, 이 그림은 Goda(合田, 1975)의 쇄파 이론으로 계산한 불규칙파의 파고 변화를 나타낸 것이다.

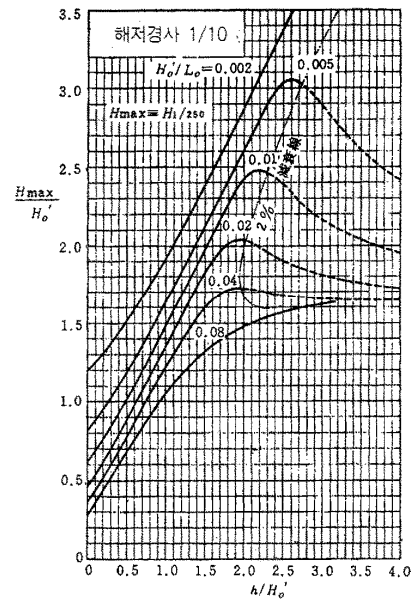
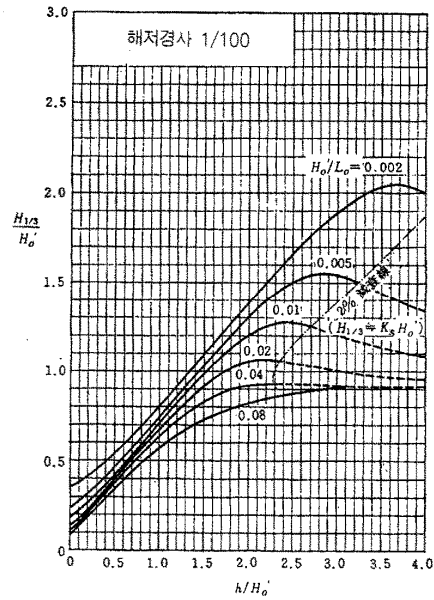


참고 그림 (4.3-23)(a) 쇄파대 내의 유의파고 산정도    참고 그림 (4.3-23)(b) 쇄파대 내의 유의파고 산정도

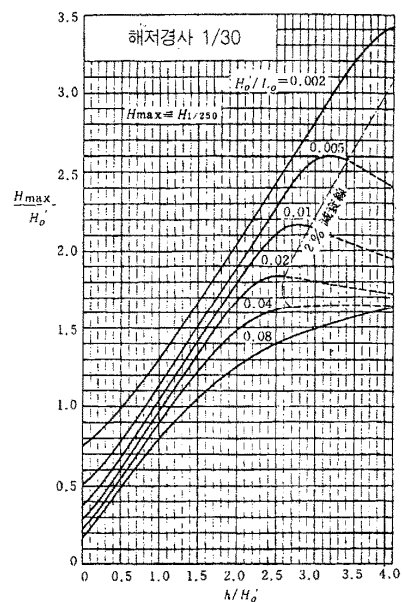
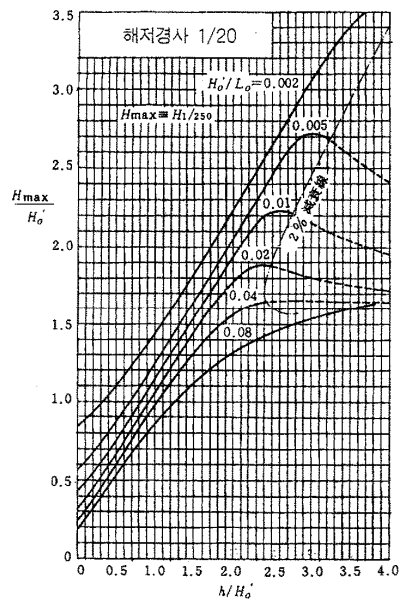


참고 그림 (4.3-23)(c) 쇄파대 내의 유의파고 산정도    참고 그림 (4.3-23)(d) 쇄파대 내의 유의파고 산정도

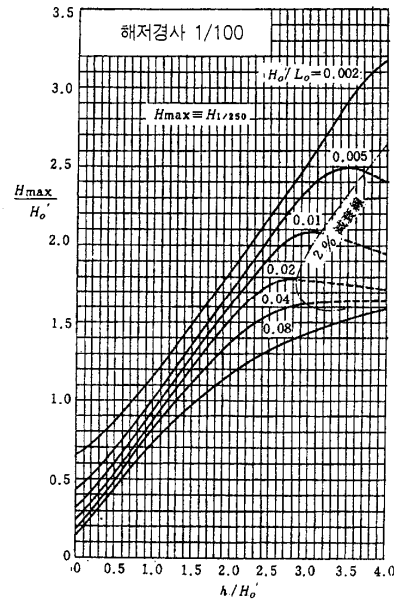
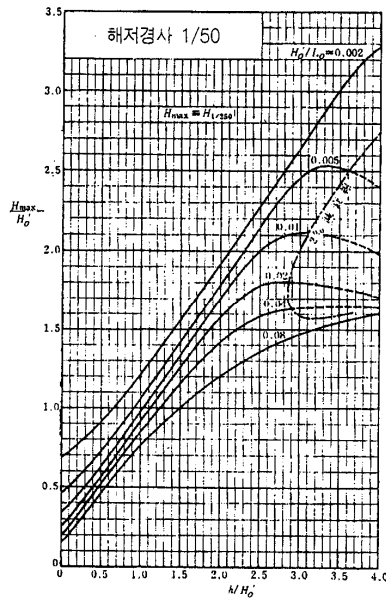
## 설계조건



참고 그림 (4.3-23)(e) 쇄파대 내의 유의파고 산정도      참고 그림 (4.3-24)(a) 쇄파대 내의 최대파고 산정도



참고 그림 (4.3-24)(b) 쇄파대 내의 최대파고 산정도      참고 그림 (4.3-24)(c) 쇄파대 내의 최대파고 산정도



참고 그림 (4.3-24)(d) 쇄파대 내의 최대파고 산정도      참고 그림 (4.3-24)(e) 쇄파대 내의 최대파고 산정도

- (2) 그림에서 일점쇄선의 우측 영역의 파고 변화는 천수변형의 천수계수를 사용하여 계산한다. 일점쇄선의 좌측 영역에서는 쇄파에 의한 파고 변화가 탁월하므로 이들의 그림을 이용하여 파고를 정한다.
- (3) 이 그림들을 사용하여 파고를 결정해야 하는 해저경사는 수심과 환산심해파 파고의 비  $h/H_o'$ 가 1.5~2.5인 범위에서의 평균 해저경사를 사용하는 것이 적당하다.
- (4) 쇄파에 따른 파고의 변화는 매우 복잡하여 실측자료는 상당한 범위에 걸쳐 나타난다. 그림에 도시된 것과 실제 파랑은  $H_{1/3}/H_o'$ 의 비에서 ( $\pm$ )0.1 정도 혹은 그 이상 차이가 날 때도 있으므로 이를 충분히 고려해야 한다.
- (5) 수심이 환산심해파 파고의 0.5배 이하의 해안 지역에서는 파랑에 의한 파력보다는 해수가 쇄파로 인해 경사면상을 오르내리는 흐름으로서의 에너지가 더 크다. 이를 감안하여 구조물에 작용하는 파력의 산정은 수심이 환산심해파 파고의 0.5배 정도 되는 지점의 파고를 사용하는 것이 바람직하다.
- (6) 쇄파이론 모델에 의한 파고 변화의 계산은 일반적으로 컴퓨터에 의한 연산을 필요로 하나 현상의 변동성이나 종합적인 정확도를 고려한다면 다음의 식을 사용하여 파고변화를 계산하여도 좋다.

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s H_o' & (h/L_o \geq 0.2) \\ \min(\beta_o H_o' + \beta_1 h), \beta_{\max} H_o', K_s H_o' \} & (h/L_o < 0.2) \end{cases} \quad \text{참고 식 (4.3-40)}$$

## 설계조건

$$\begin{aligned}\text{여기서, } \beta_o &= 0.028(H_o'/L_o)^{-0.38} \exp[20(\tan\theta)^{1.5}] \\ \beta_1 &= 0.52 \exp[4.2 \tan\theta] \\ \beta_{\max} &= \max\{0.92, 0.32(H_o'/L_o)^{-0.29} \exp[2.4 \tan\theta]\}\end{aligned}$$

천수계수  $K_s$ 는 참고 그림 (4.3-12)에서 구하며,  $\min\{\}$  및  $\max\{\}$ 는 각각  $\{\}$ 안의 최솟값과 최댓값을 나타내고,  $\tan\theta$ 는 해저경사를 나타낸다. 또한, 최대파  $H_{\max}$ 의 간편 식도 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{\max} = \begin{cases} 1.8K_s H_o' & (h/L_o \geq 0.2) \\ \min(\beta^* H_o' + \beta_1^* h), \beta_{\max}^* H_o', 1.8K_s H_o' \} & (h/L_o < 0.2) \end{cases} \quad \text{참고 식 (4.3-41)}$$

$$\begin{aligned}\text{여기서, } \beta_o^* &= 0.052(H_o'/L_o)^{-0.38} \exp[20(\tan\theta)^{1.5}] \\ \beta_1^* &= 0.63 \exp[3.8 \tan\theta] \\ \beta_{\max}^* &= \max\{1.65, 0.53(H_o'/L_o)^{-0.29} \exp[2.4 \tan\theta]\}\end{aligned}$$

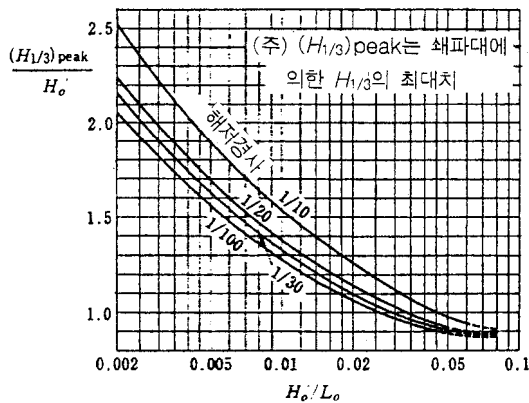


## 4.3.5.4 쇄파고와 쇄파수심

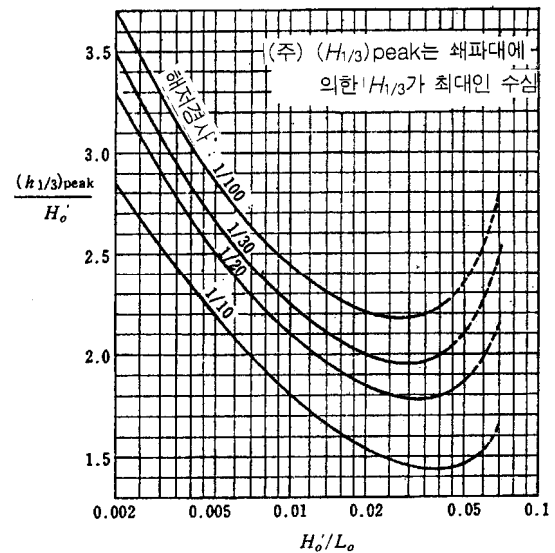
진행파의 쇄파고와 쇄파수심은 기존 연구성과 등을 활용하여 조건에 부합하는 적합한 방법으로 산정하며, 쇄파현상이 복잡한 경우에는 수리모형실험을 수행한다.

## [참 고]

- (1) 파군 중 개개의 파에 대한 쇄파점을 나타내기는 쉬워도 불규칙파군에 대한 쇄파점을 지정하기는 어렵다.  
그러나 때로는 불규칙파의 쇄파대 폭을 추정 또는 파군 전체에 대한 쇄파지표의 지정이 필요한 경우가 있다.
- (2) 쇄파대 내에서의 유의파고의 최대값 ( $H_{1/3}$ )<sub>peak</sub>를 쇄파고로 하면 쇄파지표 곡선은 참고 그림 (4.3-25)(a)로 나타낼 수 있다.  
또한, 유의파고가 최대로 되는 수심 ( $H_{1/3}$ )<sub>peak</sub>를 쇄파수심으로 하면 쇄파수심은 참고 그림 (4.3-25)(b)로부터 산정할 수 있다(Goda(合田), 1975).



(a)



(b)

참고 그림 (4.3-25) (a) 쇄파대 내에서 유의파고의 최대값 산정도

(b) 유의파고의 최대값이 출현하는 수심의 산정도

## 4.3.5.5 쇄파에 의한 평균수면 상승

쇄파에 의해 쇄파대 내에서 발생하는 평균수위의 상승이 현저할 경우에는 마루높이 산정 등과 같은 구조물 설계에 고려하여야 한다.

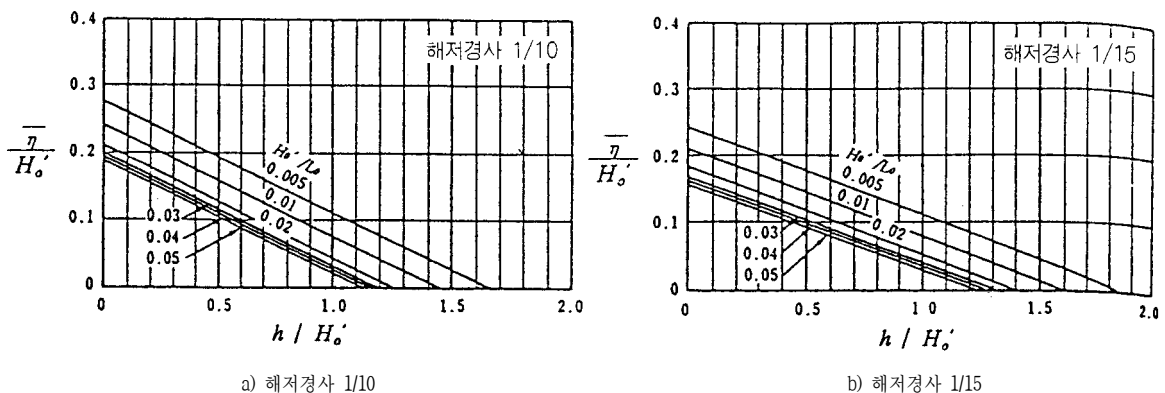
## [참 고]

- (1) 쇄파대 내에서 쇄파에 의해 평균수위가 현저하게 상승(Wave setup)하거나 진동하는 경우가 있다. 이와 같은 장소에서 방파제 및 물양장의 마루높이를 산정하는 경우 이를 고려해야 한다.
- (2) 해안에서의 평균수면 상승은 파랑전파시 에너지가 파랑과 함께 전파될 뿐만 아니라 해수도 파랑의 전파방향으로 움직이게 되어 이에 의한 운동량의 수송이 이루어진다. 운동량은 파랑에 의해 결정되는데 이를 잉여응력(Radiation stress)이라 하며, 파고가 작은 해안선 부근에서는 작아져 운동량은 장소에 따라 변하게 된다(Longuet-Higgins and Stewart, 1962). 운동량의 차이와 평균해수면 경사에 의한 정수압의 차가 균형을 이루게 되어 해안 쪽으로 평균수면이 상승한다.
- (3) 평균수면을  $\bar{\eta}$ 로 나타내면 평균수면의 식은 참고 식 (4.3-42)로 주어지며, 외해 쪽에서 해안 쪽으로 수치적분을 하여  $\bar{\eta}$ 를 계산한다.

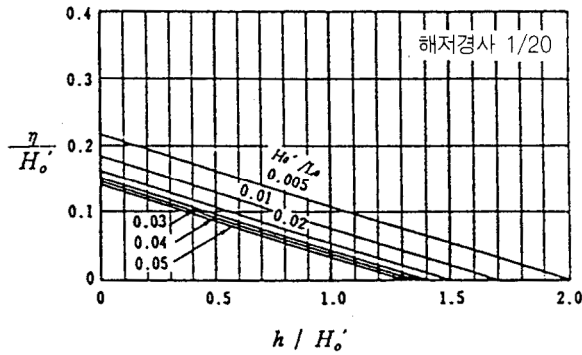
$$\frac{d\bar{\eta}}{dx} = -\frac{1}{\bar{\eta}+h} \frac{d}{dx} \left[ \frac{\bar{H}^2}{8} \left( \frac{1}{2} + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right) \right] \quad \text{참고 식 (4.3-42)}$$

여기서,  $\bar{H}^2$ 은 불규칙파군 중의 파고 자승의 평균값이다. 파고는 수면상승에 의해 변하기 때문에 파고와 수면변화를 동시에 관련시켜 계산한다.

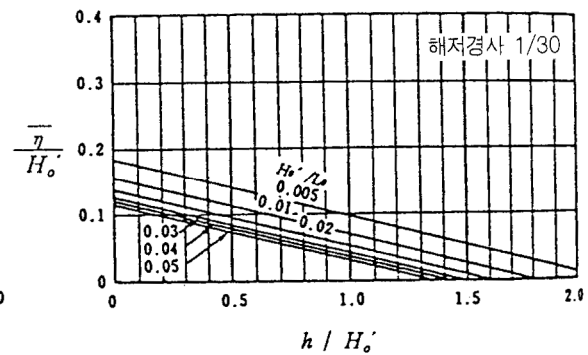
- (4) 참고 그림 (4.3-26)으로부터 평균수면 상승량은 해저경사가 급할수록, 또 파형경사가 작을수록 현저하게 나타난다.



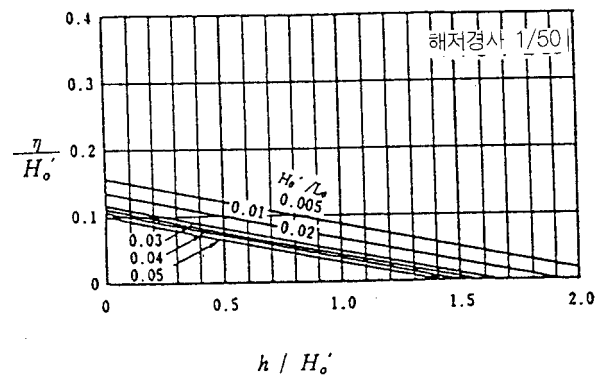
참고 그림 (4.3-26) 쇄파에 의한 수위상승 (계속)



c) 해저경사 1/20



d) 해저경사 1/30



e) 해저경사 1/50

## 참고 그림 (4.3-26) 쇄파에 의한 수위상승

- (5) 쇄파에 의한 수위상승 이외에도 파랑 간의 상호작용으로부터 생성되는 내습파의 주기의 수 배~수십 배에 해당하는 해면의 상·하 진동이 있으며, 이를 서프비트(Surf beat)라 한다. 서프비트의 진폭은 심해파 진폭의 30% 이상이 되는 경우가 있다. 쇄파대 내의 서프비트의 진폭은 참고 식 (4.3-43)으로 계산한다.

$$\zeta_{rms} = \frac{0.01H'_0}{\sqrt{\frac{H'_0}{L_0} \left(1 + \frac{h}{H'_0}\right)}}$$

참고 식 (4.3-43)

여기서,  $\zeta_{rms}$  는 서프비트 파형의 표준편차 값이다.

### 4.3.6 처오름 높이, 월파 및 전달파

#### 4.3.6.1 처오름 높이

파랑의 처오름 높이는 파랑 특성, 제체 형상, 설치 위치 및 해저지형 등을 고려하여 산정한다.

- (1) 제체 형상 및 해저형상이 복잡한 경우에 수리모형실험으로 산정하여야 한다. 단, 설계조건과 기존 연구성과(산정도표 또는 산정식)가 부합하는 제한된 조건에 대해서는 기존 연구성과를 이용하여 산정할 수 있다.
- (2) 월파량이 중요한 경우에는 월파량이 허용값 이하가 되도록 마루높이 및 호안형상 등을 결정하여야 한다.

#### [참 고]

- (1) 불투과성인 일정한 사면경사에서의 불규칙파 처오름 높이는 참고 식 (4.3-44)를 활용하여 산정할 수 있다(Mase, 1989).

$$\frac{R_x}{H_0} = A\xi^B, \quad \frac{1}{30} \leq \tan\beta \leq \frac{1}{5}, \quad 0.007 < \frac{H_0}{L_0} \quad \text{참고 식 (4.3-44)}$$

여기서,  $x$ ,  $A$  및  $B$ 는 처오름 높이의 통계값과 산정식계수( $A$  및  $B$ )를 나타내며, 참고 표 (4.3-5)에 제시되어 있다.

참고 표(4.3-5) 참고 식 (4.3-44)의 계수

$R_x$	$R_{\max}$	$R_{2\%}$	$R_{1/10}$	$R_{1/3}$	$\bar{R}$
$A$	2.32	1.86	1.70	1.38	0.88
$B$	0.77	0.71	0.71	0.70	0.69

여기서,  $R_{\max}$ 는 처오름 높이의 최대값,  $R_{2\%}$ 는 전체 처오름높이 중 상위 2%가 그것보다 높은 처오름 높이이다.  $R_{1/10}$ ,  $R_{1/3}$ ,  $\bar{R}$ 는 각각 불규칙파고를 통계해석하는 경우와 마찬가지로 방법으로 산출할 수 있는 처오름 높이의 1/10, 1/3 최대값 및 평균값이다.  $\xi$ 는 쇄파 유사성 매개변수로서  $\xi = \tan\beta / \sqrt{H_0/L_0}$ 이며,  $\tan\beta$ 는 해저경사이다.

1/3 최대 처오름높이에 대해서는 참고 식 (4.3-45)를 이용할 수 있다.

$$R_{1/3}/H_s = 0.25 + 1.1\xi \quad (0 < \xi \leq 2.2) \quad \text{참고 식 (4.3-45)}$$

$$R_{1/3}/H_s = 3.0 - 0.15\xi \quad (2.2 < \xi \leq 9.0)$$

$$R_{1/3}/H_s = 1.65 \quad (9.0 < \xi)$$

- (2) 피복석 사면의 처오름높이에 대해서는 참고 식 (4.3-46)을 이용할 수 있다(Coastal Engineering Manual, 2006).

$$R_x/H_{s,t} = A\xi_m \quad (1.0 < \xi_m \leq 1.5) \quad \text{참고 식 (4.3-46)(a)}$$

$$R_x/H_{s,t} = B\xi_m^C \quad (1.5 < \xi_m \leq (D/B)^{1/C}) \quad \text{참고 식 (4.3-46)(b)}$$

$$R_x/H_{s,t} = D \quad ((D/B)^{1/C} \leq \xi_m < 7.0) \quad \text{참고 식 (4.3-46)(c)}$$

여기서, 산정식의 계수는 참고 표 (4.3-6)에 제시되어 있다. 또한  $\xi_m = \tan\beta / \sqrt{2\pi H_{s,t} / (g T_{m,0}^2)}$ 이며,  $H_{s,t}$ 는 구조물 설치수심에서의 유의파고,  $T_{m,0}$ 는 평균주기이며,  $\tan\beta$ 는 제체의 사면경사이다. 참고 식 (4.3-46)(a)와 참고 식 (4.3-46)(b)는 투과성 및 불투과성 피복석 사면, 참고 식 (4.3-46)(c)는 투과성 피복석 사면의 처오름높이 산정에 이용할 수 있다. 참고 식 (4.3-46)은 제체의 사면경사( $\tan\beta$ )가 1:1.5~1:6의 실험결과로부터 얻어진 경험식이다. 그리고 참고 식 (4.3-46)은 레일레이(Reyleigh) 분포에 가까운 파고분포를 가지는 상대적으로 심해조건인 경우에 타당하다.

참고 표 (4.3-6) 참고 식 (4.3-46)의 계수

$R_x$	$R_{\max}$	$R_{2\%}$	$R_{1/20}$	$R_{1/10}$	$R_{1/3}$	$\bar{R}$
A	1.12	0.96	0.86	0.77	0.72	0.47
B	1.34	1.17	1.05	0.94	0.88	0.60
C	0.55	0.46	0.44	0.42	0.41	0.34
D	2.58	1.97	1.68	1.45	1.35	0.82

- (3) TTP 피복(2층 피복,  $\tan\beta=1/1.5$ , 1/2 조건) 투과성 경사식구조물의 경우, 직각입사 조건에서의 처오름 높이 산정은 참고 식 (4.3-47)을 이용할 수 있다(이종인 등, 2015(a,b)). 참고 식 (4.3-47)은 전면 해저경사가 1/50인 조건의 수리실험결과를 이용한 것이다.

$$R_x / H_{s,t} = \gamma_t A \xi_s^B \quad \text{참고 식 (4.3-47)}$$

참고 식 (4.3-47)에서  $H_{s,t}$ 는 구조물 선단부에서의 유의파고,  $\xi_s = \tan\beta / \sqrt{2\pi H_{s,t} / (g T_{s,0}^2)}$ ,  $T_{s,0}$ 는 유의주기이며,  $\gamma_t$ 는 피복층 두께에 따른 처오름 높이 저감계수로서 TTP가 2층 피복된 경우에는  $\gamma_t=1$ 이다. 참고 식 (4.3-47)의 계수 A, B와 적용범위는 사면경사에 따라 참고 표 (4.3-7) 및 참고 표 (4.3-8)에 제시되어 있다. 참고 표 (4.3-7) 및 참고 표 (4.3-8)에서  $d_t$ 는 구조물 선단부의 수심이며, 쇄파의 영향을 고려하기 위해 구조물 선단부에서의 수심과 유의파고의 비( $H_{s,t}/d_t$ )에 따라 계수 A, B가 제시되어 있다. 그리고 동일한  $H_{s,t}/d_t$  값일 경우에는 보다 높은 처오름 높이 산정결과를 적용하는 것이 바람직하다.

## 설계조건

참고 표 (4.3-7) 참고 식 (4.3-47)의 계수 ( $\tan\beta=1/1.5$  조건)

$R_x$	$H_{s,t}/d_t = 0.14 \sim 0.27$		$H_{s,t}/d_t = 0.27 \sim 0.36$		$H_{s,t}/d_t = 0.36 \sim 0.45$		$H_{s,t}/d_t = 0.45 \sim 0.56$	
	A	B	A	B	A	B	A	B
$R_{max}$	1.80	0.28	1.13	0.63	1.19	0.64	1.09	0.75
$R_{1\%}$	1.49	0.28	1.04	0.61	1.07	0.64	0.99	0.75
$R_{2\%}$	1.43	0.26	1.03	0.58	1.02	0.64	0.95	0.75
$R_{1/20}$	1.27	0.26	1.02	0.51	0.93	0.64	0.89	0.75
$R_{1/10}$	1.14	0.26	1.01	0.44	0.85	0.64	0.83	0.75
$R_{1/3}$	0.90	0.23	0.90	0.34	0.74	0.58	0.73	0.71
$\bar{R}$	0.51	0.18	0.50	0.28	0.46	0.45	0.52	0.51
적용범위	$2.5 \leq \xi_s \leq 8.0$		$2.5 \leq \xi_s \leq 8.0$		$2.5 \leq \xi_s \leq 7.0$		$2.5 \leq \xi_s \leq 6.5$	

참고 표 (4.3-8) 참고 식 (4.3-47)의 계수 ( $\tan\beta=1/2$  조건)

$R_x$	$H_{s,t}/d_t = 0.14 \sim 0.27$		$H_{s,t}/d_t = 0.27 \sim 0.36$		$H_{s,t}/d_t = 0.36 \sim 0.45$		$H_{s,t}/d_t = 0.45 \sim 0.56$	
	A	B	A	B	A	B	A	B
$R_{max}$	2.40	0.24	1.65	0.65	1.65	0.65	1.65	0.65
$R_{1\%}$	2.18	0.24	1.63	0.58	1.53	0.65	1.53	0.65
$R_{2\%}$	2.10	0.21	1.58	0.56	1.48	0.65	1.48	0.65
$R_{1/20}$	1.91	0.20	1.47	0.53	1.40	0.65	1.40	0.65
$R_{1/10}$	1.72	0.20	1.37	0.50	1.26	0.65	1.33	0.65
$R_{1/3}$	1.34	0.19	1.18	0.42	1.07	0.61	1.16	0.64
$\bar{R}$	0.92	0.09	0.90	0.22	0.83	0.40	0.94	0.45
적용범위	$2.0 \leq \xi_s \leq 6.0$		$2.0 \leq \xi_s \leq 6.0$		$2.0 \leq \xi_s \leq 5.5$		$2.0 \leq \xi_s \leq 5.0$	

(4) 기존 경사식구조물의 보강을 위해 기존 TTP 피복층 사면 위에 고중량의 TTP를 추가로 피복하는 경우에 피복층의 두께가 증가함으로 인해 처오름 높이는 약간 저감된다. 참고 식 (4.3-47)에서  $\gamma_t$ 는 TTP 피복층의 두께증가에 따른 처오름 높이 저감계수이다. 기존 2층 TTP 피복층 상부에 추가로 TTP를 2층 피복하게 되면 피복층의 두께가 약 2배 증가하게 된다. 이러한 경우에 처오름 높이의 저감은 평균적으로 약 5% 발생하며, 참고 식 (4.3-47)에서  $\gamma_t=0.95$ 를 대입하여 산정할 수 있다. 구조물 설계와 조건의 경우, 상대적으로 장주기에 해당되는 것이 일반적이기 때문에 피복층수 증대에 따른 처오름 높이의 저감은 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 본 처오름 높이 저감계수가 월파랑 저감율과 동일하지는 않다. 기존 피복층 상부에 추가로 피복을 하게 되면, 상치콘크리트 전면 피복층의 어깨폭이 증가하기 때문에 처오름 높이 저감율에 비해 월파랑은 더 큰 저감이 있을 것으로 예상된다.

- (5) TTP로 피복된 경사식구조물의 오목부 구간에서의 처오름 높이는 구조물이 직선인 경우에 비해 파랑의 반사, 중첩 등으로 인해 증폭될 수 있다.

따라서 오목부 구간에서의 처오름을 억제해야 하는 경우에는 참고 식 (4.3-48)과 같이 처오름 높이의 증폭을 고려하여 마루높이를 설정하는 것이 바람직하다(Lee 등, 2014).

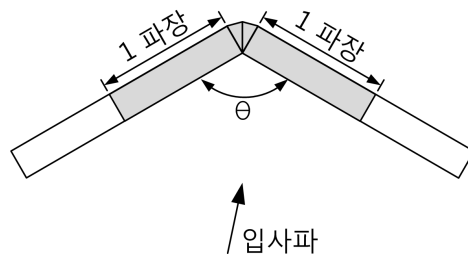
$$(R_{1/3})_{\text{오목부}} = 1.1(R_{1/3})_{\alpha=0^\circ} \quad (160^\circ < \theta < 180^\circ) \quad \text{참고 식 (4.3-48)(a)}$$

$$(R_{1/3})_{\text{오목부}} = 1.2(R_{1/3})_{\alpha=0^\circ} \quad (140^\circ < \theta \leq 160^\circ) \quad \text{참고 식 (4.3-48)(b)}$$

$$(R_{1/3})_{\text{오목부}} = 1.3(R_{1/3})_{\alpha=0^\circ} \quad (120^\circ \leq \theta \leq 140^\circ) \quad \text{참고 식 (4.3-48)(c)}$$

참고 식 (4.3-48)에서  $(R_{1/3})_{\alpha=0^\circ}$ 는 참고 식 (4.3-47)로부터 산정된 1/3 처오름 높이이고,  $\theta$ 는 오목부 구간의 각도로서  $\theta=180^\circ$ 는 구조물이 직선으로 배치된 것을 의미한다. 참고 식 (4.3-48)을 적용하는 오목부 구간 범위는 오목부 중심을 기준으로 좌·우 1 파장(구조물 선단부에서의 유의파장) 범위가 적절하다[참고 그림 (4.3-27) 참조].

단, 오목부 구간에서의 처오름높이를 저감시키기 위해 추가적인 대책을 수립할 경우에는 참고 식 (4.3-48)의 결과와 다를 수 있으므로 별도로 검토하는 것이 바람직하다.



참고 그림 (4.3-27) 오목부 구간 처오름높이 적용범위

허용유효파장을 대상으로 마루높이를 설정할 경우, 참고 식 (4.3-48)의 오목부구간 처오름 높이 증폭비가 유효파장 증폭비와 일치하지 않을 수 있지만, 수리모형실험을 통해 오목부 구간의 유효파장을 산정하지 않는 조건에서는 근사적으로 활용할 수 있다.

- (6) 복단면의 경우, 불규칙파에 대해선 충분한 연구가 이루어져있지 않지만, 규칙파에 대해서는 사비에르(Saville)의 가상경사법 및 나카무라에 의한 개량가상경사법을 이용하는 것이 가능하다. 복단면이란 해저형상 및 제체형상 및 배치가 참고 그림(4.3-28)과 같은 경우를 말한다.

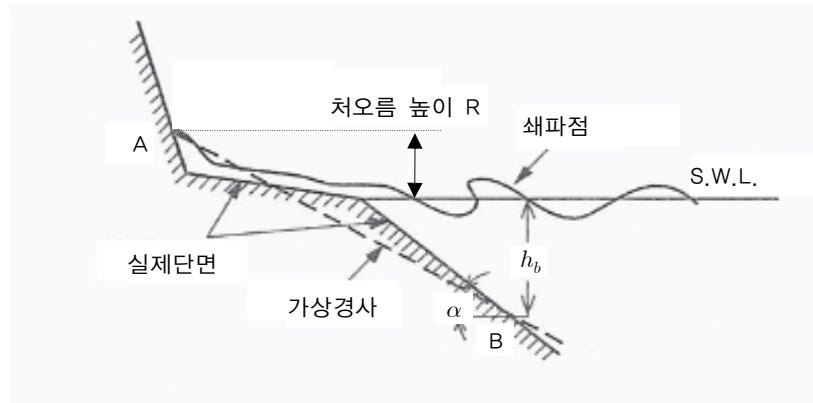
- ① 복단면으로 간주할 수 있는 경우의 제체에 대한 파랑의 처오름 높이는 다음과 같이 구한다.

가. 심해파의 특성에서 쇄파점 B를 구한다.

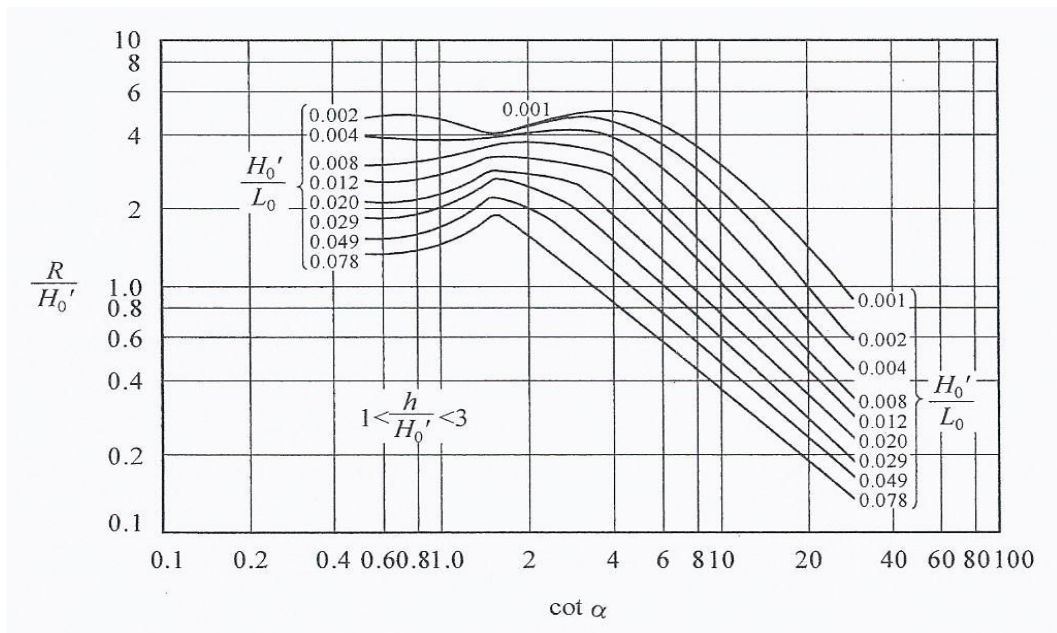
나. 다음으로 파랑의 처오름높이 R을 가정하여, 그 점 A와 쇄파점 B를 잇고, 이것을 가상경사  $\cot\alpha$ 로 한다.

## 설계조건

- 다. 참고 그림(4.3-29)를 이용하여 이 가상경사에 대한 파랑의 처오름 높이를 산정하고 처음으로 가정한 처오름높이와 비교한다. 양자가 일치하지 않을 때는 가정한 처오름 높이를, 즉 가상경사를 바꾸어 양자가 일치할 때 까지 반복한다.
- 라. 이러한 방법으로 얻은 값이 해당하는 복단면의 처오름 높이이다.



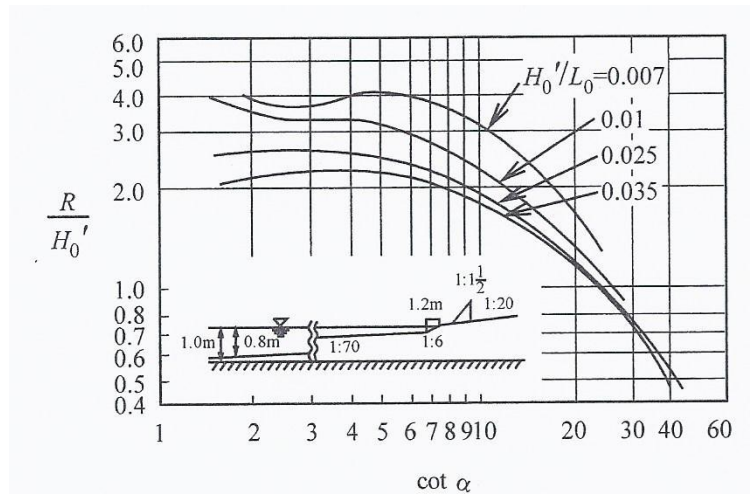
참고 그림 (4.3-28) 복단면과 가상경사



참고 그림 (4.3-29) 사면상의 처오름높이

- ② 이 방법으로 구한 결과와 실제 복합단면에 관한 실험결과를 비교하면, 일반적으로 10% 이내의 오차로 양자는 상당히 일치한다. 하지만 해저경사가 완만해지면 양자의 일치도는 나빠지기 때문에 이 방법은 해저경사가 1/30 보다 급한 경우에 적용한다.
- ③ 참고 그림 (4.3-30)은 해저경사 1/70으로 구한 실험결과로서 완만한 해저경사 복단면에 대한 파랑의 처오름높이를 추정하는데 참고할 수 있다.





참고 그림 (4.3-30) 쇄파점에서 육지의 제방쪽으로 내습하는 파랑의 처오름 높이

(7) 제체에 비스듬하게 파랑이 입사하는 경우

참고 그림 (4.3-31)은 입사파의 파봉선과 제체기준선이  $\beta$  각도를 이룰 때의 입사방향 계수  $K_\beta$  ( $\beta=0$ 에서 파랑이 직각으로 입사할 때의 처오름높이에 대한 각 각도에서의 처오름 높이 비)와 각도  $\beta$ 와의 관계를 나타낸 그림이며, 이것으로 파랑의 입사각이 처오름 높이에 미치는 영향을 추정하는 것이 가능하다.

(8) 소파공의 효과

제체전면을 소파블록으로 완전히 피복하면 파랑의 처오름높이를 상당히 감소시킬 수 있으며, 참고 그림 (4.3-32)는 그 일례를 나타낸 것이다.

하지만 소파공의 설치방법에 의해 그 효과는 현저히 변화하므로 일반적으로 모형실험으로 처오름 높이를 결정하는 것이 바람직하다.

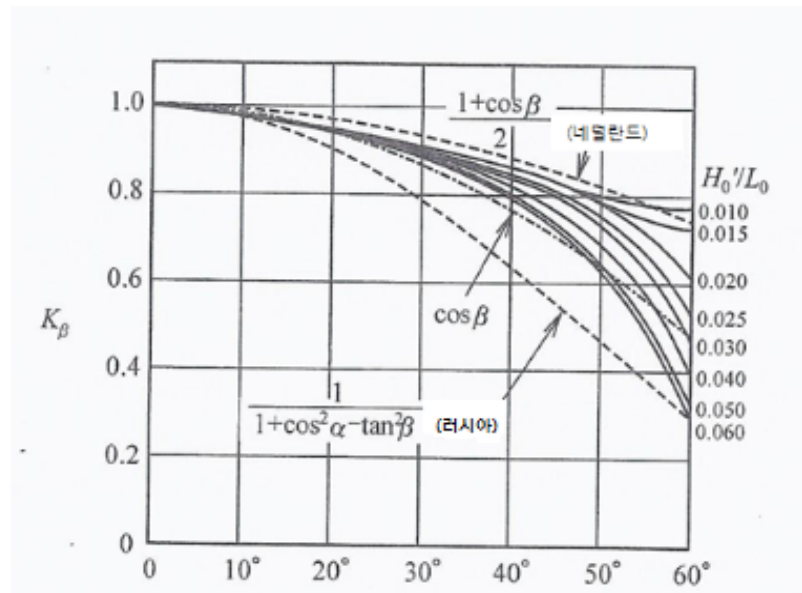
(9) 산정오차

파랑의 처오름 높이 산정을 위한 곡선은 상당한 편차를 나타내는 실험값의 평균값인 점을 고려해 둘 필요가 있다.

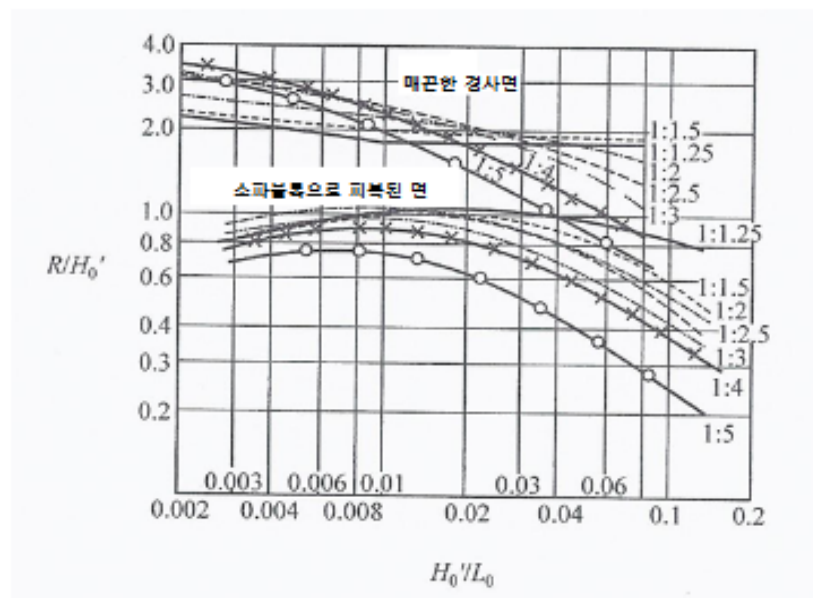
또한 유의파를 이용하여 제체 최상부높이의 성능조사를 실시하면, 실험값의 편차를 고려하지 않더라도 최상부높이를 넘는 파도의 빈도는 커지고, 현저할 때는 약 절반정도의 파도가 이 최상부높이를 넘을 수도 있다는 점을 명심해야 한다.

따라서 제체나 호안 등의 최상부높이는 처오름 높이만으로 결정되는 것이 아니라, 월파량에 대한 고려도 이루어지게 된다.

## 설계조건



참고 그림 (4.3-31) 파랑의 입사각과 처오름높이의 관계 (실선 : 일본건설성토목연구소 (실험값))



참고 그림 (4.3-32) 소파공에 의한 파랑의 처오름높이 감소

#### 4.3.6.2 월파량

- (1) 항만구조물을 설계할 때 월파량이 중요한 경우에는 수리모형실험으로 산정하여야 한다. 단, 설계조건과 기존 연구성과(산정도표 또는 산정식 등)가 부합하는 제한된 조건에 대해서는 기존 연구성과를 이용하여 산정할 수 있다.
- (2) 월파량 산정 시에는 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

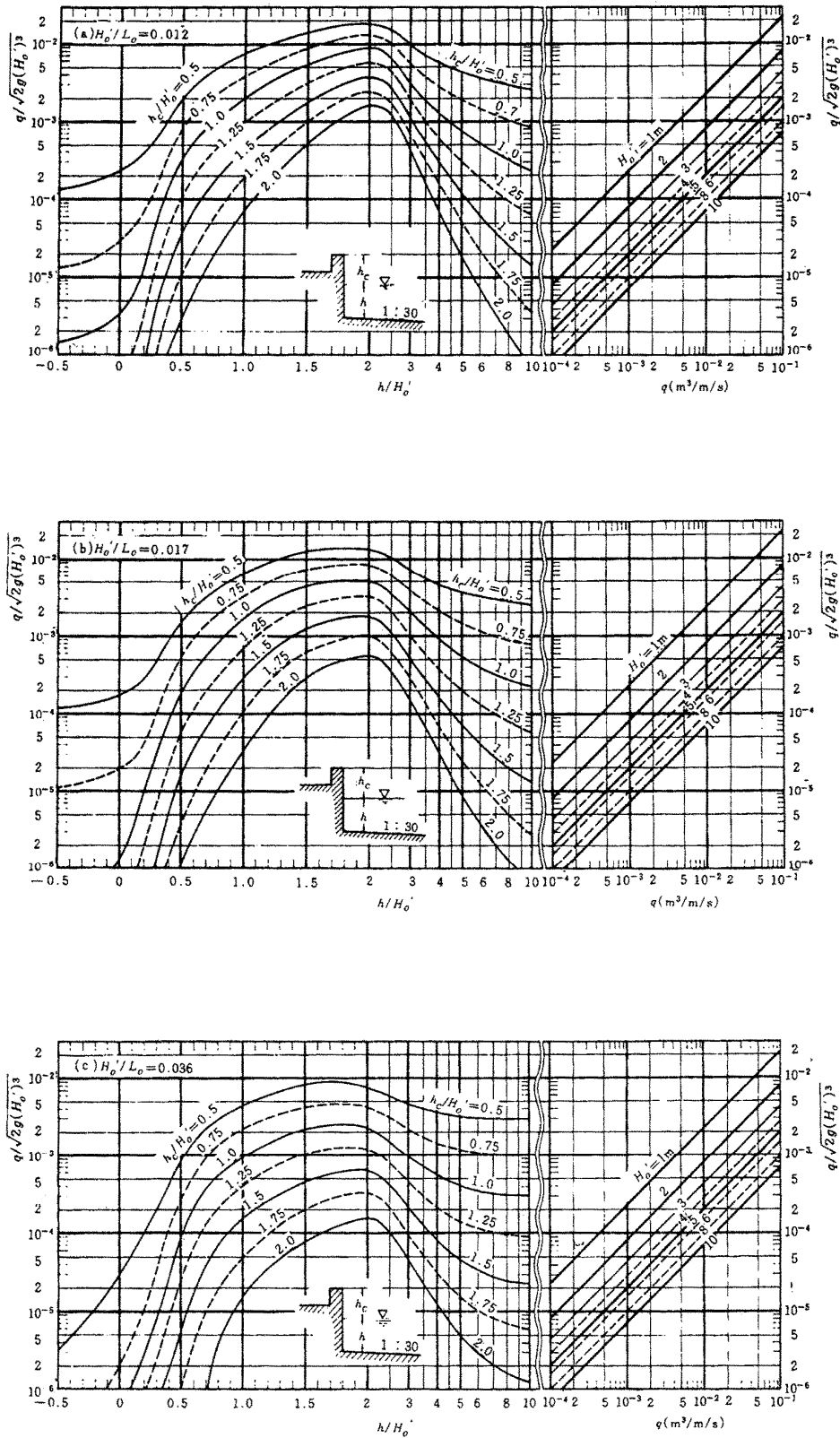
#### [해설]

월파량을 수리모형실험에서 추정할 경우에 실험파는 불규칙파를 사용하여야 하지만 불규칙파의 실험을 할 수 없는 경우는 규칙파의 실험에서 산정할 수 있으며, 이 경우 사용하는 주기는 유의파 주기로 한다. 월파량은 월파한 물의 단위폭당 부피이고, 월파유량은 단위 시간당 월파한 물의 단위폭당 부피이다.

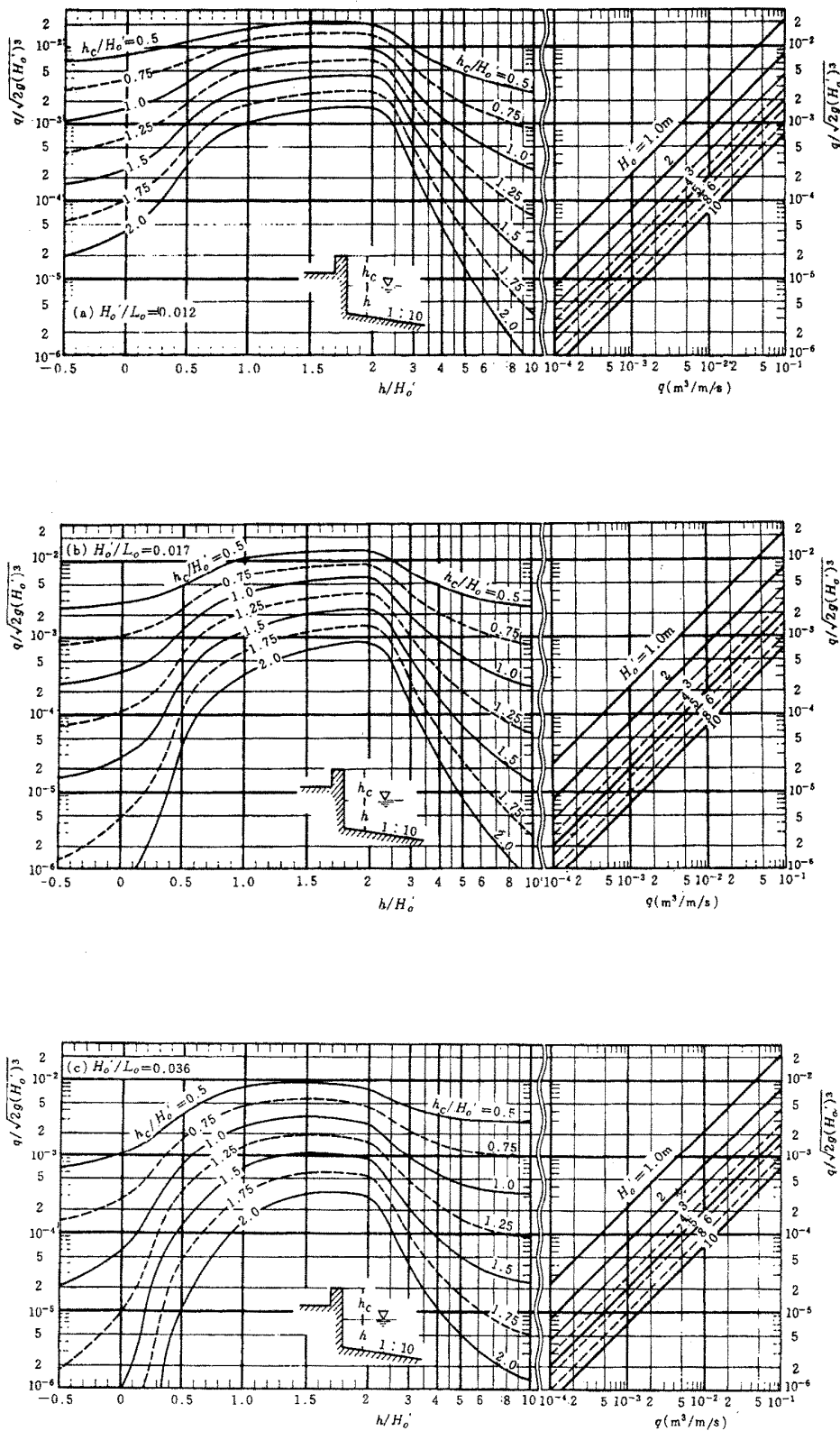
#### [참고]

- (1) 규칙파의 실험에서 월파량을 산정할 때는 먼저 월파 유량곡선(환산심해파 파고에 대한 월파유량의 관계)의 실험에 의해 작성된다. 월파 유량곡선을 구하면 각 파고의 출현율을 곱해서 월파량의 기댓값(이것을 기대월파유량이라 함)을 구하여 불규칙파에 대한 추정값으로 한다.
- (2) 단순한 형상의 직립 및 소파호안에 대하여는 불규칙파의 실험에 의해 작성한 참고 그림 (4.3-33)~참고 그림 (4.3-36)을 사용하여 월파량을 추정하여도 좋다[Goda(合田) 등, 1975].

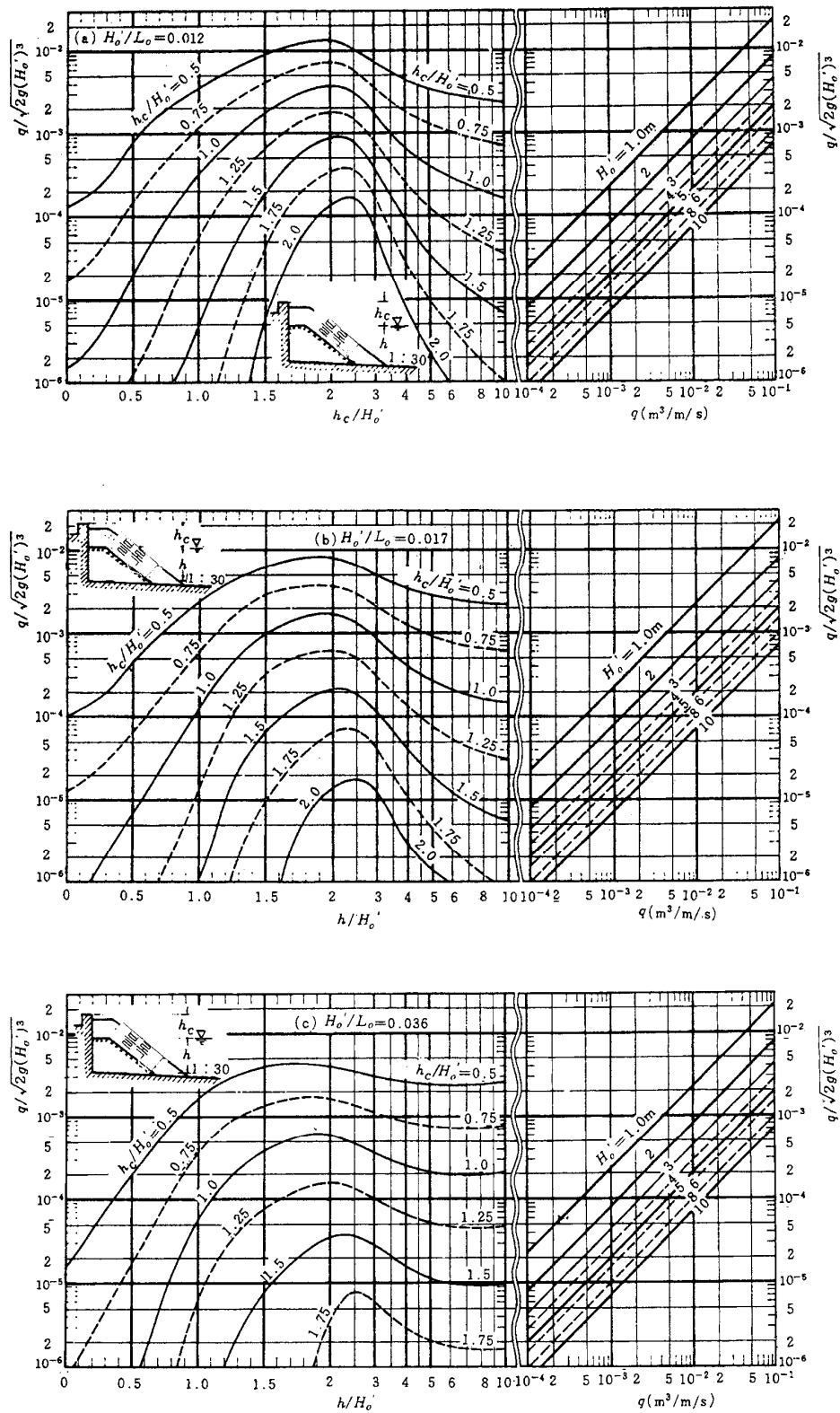
## 설계조건



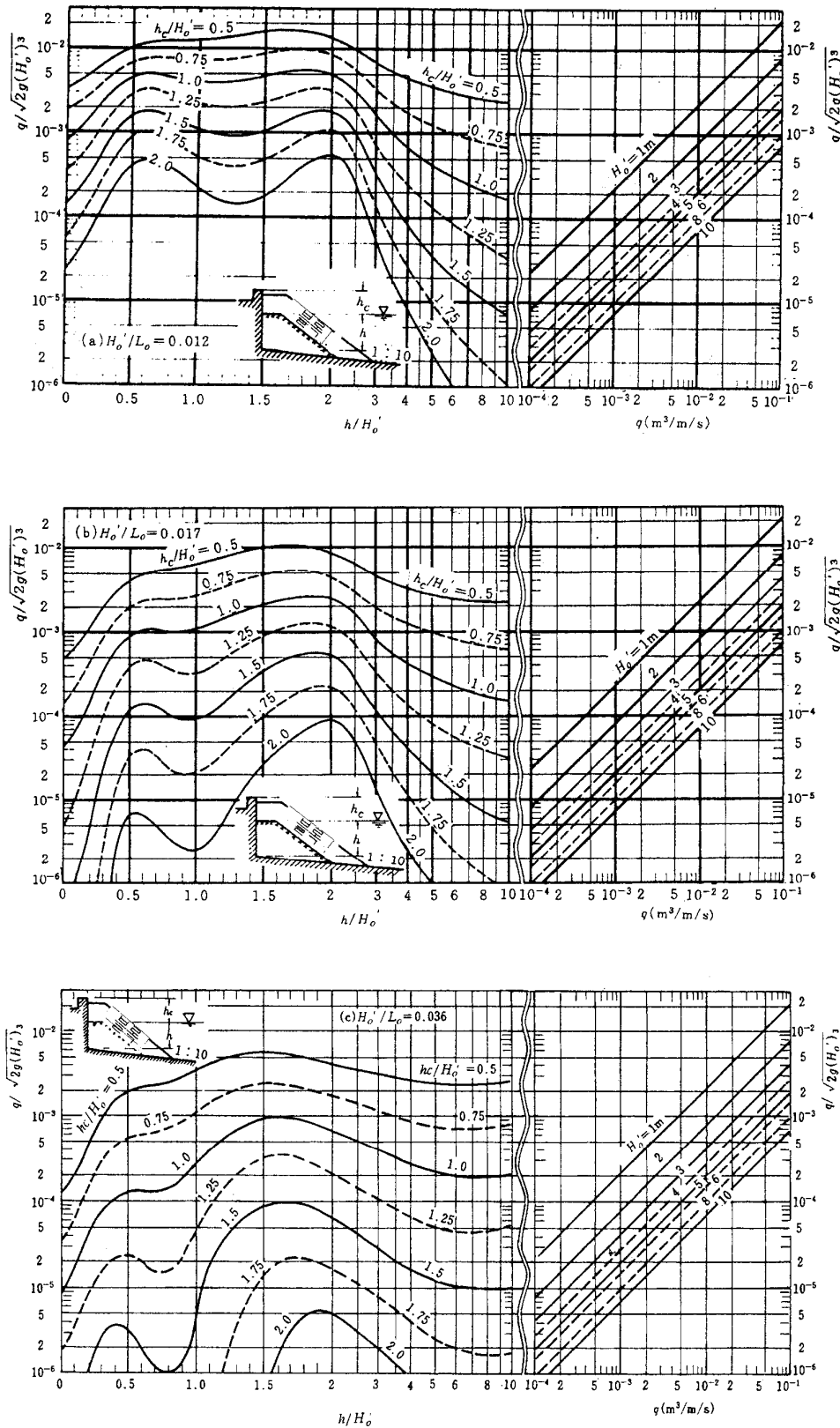
참고 그림 (4.3-33) 직립호안의 월파유량 산정도(해저경사 1:30)



참고 그림 (4.3-34) 직립호안의 월파유량 산정도(해저경사 1:10)



참고 그림 (4.3-35) 소파호안의 월파유량 산정도(해저경사 1:30)



참고 그림 (4.3-36) 소파호안의 월파유량 산정도(해저경사 1:10)

## 설계조건

- (3) 호안제방 배후지역의 이용 측면에서 본 허용 월파유량은 그 이용 상황, 중요도에 따라 다르지만 일반적인 기준으로는 참고 표 (4.3-9)가 있으며, 사람이나 차량이 통행하는 기준으로는 참고 표 (4.3-10)이 있다.

참고 표 (4.3-9) 배후지의 중요도를 고려한 허용월파량[후쿠다(福田) 등, 1973, 1973; 나가이(永井) 등, 1964]

요 건	월파량( $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ )
• 배후에 민가, 공공시설 밀집으로 월파, 물보라 등의 유입으로 중대한 재해가 예상되는 지역	0.01 정도
• 기타 중요한 지역	0.02 정도
• 기타 지역	0.02~0.06

참고 표 (4.3-10) 배후토지 이용상황에서 본 허용월파량[후쿠다(福田) 등, 1973]

이용방법	상태(호안 후면)	월파량( $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ )
보 행	위험 없음	$3 \times 10^{-5}$
자동차	고속통행 가능	$1 \times 10^{-6}$
	운전 가능	$2 \times 10^{-5}$
가 옥	위험 없음	$7 \times 10^{-5}$

참고 표 (4.3-11) 피해한계(被災限界)의 월파유량[Goda(合田), 1970]

종 별	피 복 공	월파유량( $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ )
호 안	배후포장 있음	0.2
	배후포장 없음	0.05
제 방	3면이 콘크리트	0.05
	마루 포장·뒷채움 미시공	0.02
	마루 포장 없음	0.005 이하

참고 그림 (4.3-33)~참고 그림 (4.3-36)에서  $H_{1/3}$ 는 구조물 전면의 유의파고,  $h_c$ 는 정수면에서 구조물 마루까지의 높이,  $q$ 는 단위시간, 단위길이당의 월파량( $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ )을 각각 나타낸다.

- (4) 실험에 의해서 월파량을 추정하는 경우에는 조위 변화를 고려하여 수위를 변화시키면서 추정한다.
- (5) 허용 월파량에 대해서는 호안의 구조, 호안 배후의 토지이용 상황, 배수시설의 능력 등에 따라 다르기 때문에 주어진 상황에 따라 적절히 결정한다.



## (6) 환산 최상부높이 계수

소파블록을 설치한 호안이나 중 슬리트(Slit)형 소파호안의 월파량을 설정하는 기준으로 환산 최상부높이 계수를 이용할 수 있다. 환산 최상부높이 계수는 동일파고와 해저 형상 조건으로 직립호안을 설치했을 경우를 가정하여, 동일 월파량이 되는 때의 대상 호안 높이와 직립호안 높이의 비교값이다. 환산 최상부높이 계수가 1보다 작은 경우는 직립호안에 비해 최상부높이가 낮은 호안이어도 동일 월파량이 되는 것을 나타나고 있어 그 호안형상이 월파량저감에 유효하다는 것을 의미한다. 대표적인 호안형상 환산 최상부높이 계수  $\beta$ 의 참고값은 다음과 같다.

블록을 설치한 소파호안 :  $\beta = 0.9 \sim 0.7$

중 슬리트(slit)형 호안 :  $\beta = 0.6$

파라핏(parapet) 후퇴형 호안 :  $\beta = 1.0 \sim 0.5$

계단호안 :  $\beta = 1.7 \sim 1.0$

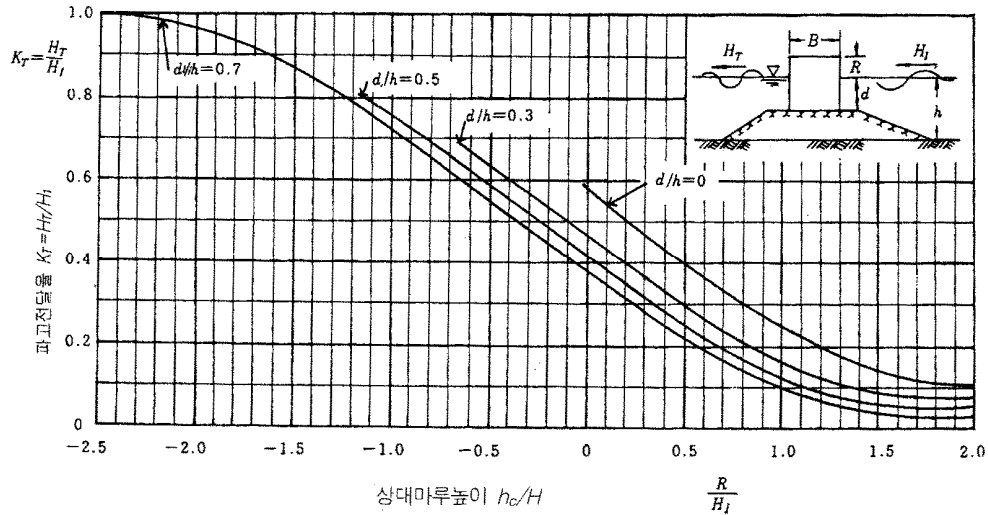
파도가 비스듬하게 입사하는 경우 :

$$\beta = \begin{cases} 1 - \sin^2 \theta & |\theta| \leq 30^\circ \\ 1 - \sin^2 30^\circ = 0.75 & |\theta| > 30^\circ \end{cases}$$

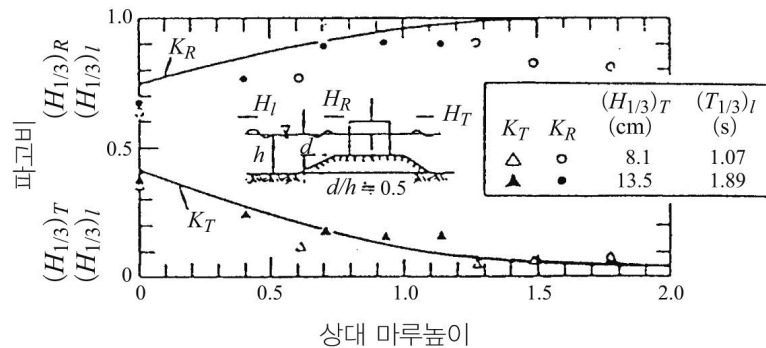
( $\theta$ 는 파도의 입사각으로서 호안에 직각 입사하는 경우를  $0^\circ$ 로 한다.)



- (2) 혼성 방파제를 월파한 파랑 및 제체 통과에 의한 항내로 유입된 전달파고의 산정은 참고 그림 (4.3-38)을 사용하여도 좋다.



(a) 규칙파에 의한 혼성방파제의 전달파고계수



(b) 불규칙파에 의한 혼성방파제의 전달파고계수와 반사계수

참고 그림 (4.3-38) 혼성방파제의 전달파고계수와 반사계수

- (3) 참고 그림 (4.3-38)(a)는 규칙파에 의한 실험에서 얻어진 것이나 불규칙파일 때[참고 그림 (4.3-38)(b) 참조]와도 거의 일치한다.
- (4) 전달파의 주기는 유입파 주기 또는 평균 주기에 대응하는 입사파 주기의 50~80%로 감소한다.
- (5) 소파블록 및 사석 등 피복 방파제에 대한 전달파고는 미육군공병단편람(Coastal Engineering Manual, 2006) 및 기타 실험 자료를 참조하여 수리모형실험에 의해 산정한다.

### 4.3.7 장주기파와 부진동

- (1) 항내의 장주기파 또는 부진동에 대해서는 가능한 한 현장관측을 실시하고, 그 결과를 이용하여 대응하여야 한다. 현장관측이 어려운 경우에는 수치해석 및 수리모형실험 등으로 해석할 수 있다.
- (2) 항만계획 시에는 부진동의 영향이 가능한 적게 되는 항만배치를 채택하여야 한다.

#### [해설]

항내 또는 외해의 관측점에서는 주기가 1분에서 수분인 장주기의 수위변동이 나타나는 일이 있는데 이를 장주기파라 부른다. 선박과 계류라인으로 구성되는 진동계의 고유진동주기와 장주기파의 주기가 거의 같을 때에는 파고가 작아도 공진현상에 의해 큰 전후이동(Surge)을 일으켜 항만가동율에 크게 영향을 준다. 관측에 의해 대략 유의값으로 파고 10~15cm 이상의 장주기파가 항내에서 빈번히 발생할 경우에는 부두의 배치, 안벽 형태의 변경 등과 같은 하드웨어적 대책, 또는 계류라인의 스프링 상수 조정 등과 같은 소프트웨어적인 대책을 검토한다. 우리나라의 경우, 포항신항 등에서 이러한 현상이 우세하게 나타나고 있음이 현장관측과 항만가동기록 자료에 제시되어 있다.

항내에 주기 수 분 이상의 현저한 수위변동이 나타나는 경우에는 부진동 현상이 발생하고 있다고 볼 수 있다. 부진동 현상은 외해의 기압 변화에 의해서 발생하는 미소한 교란이 항내 또는 만의 고유진동에 의해서 증폭되는 것이다. 부진동의 진폭이 현저하게 큰 경우에는 만 안쪽에서의 침수나 배수구의 역류 현상이 발생하거나 국소적으로는 빠른 유속이 발생하고 소형선의 계류라인이 절단되는 경우가 있다.

#### [참고]

- (1) 항내에서 관측되는 장주기파의 주된 발생 요인

파군 모양이 뚜렷한 파의 경우에는 Longuette-Higgins와 Stewart가 1962년에 제안한 잉여응력(Radiation stress)의 분포가 불균일하게 되기 때문에 장주기의 수위변동이 발생한다. 이 파는 파군에 수반되어 진행하기 때문에 구속파(拘束波)라 부른다. 이 파는 이론상 파군속도 CG로 진행하고 그 진폭은 파군을 구성하는 풍파의 파고의 제곱에 비례한다. 그리고 수심이 얕아지면 진폭이 크게 된다. 방파제나 갑(岬)에서 풍파의 회절이 발생하면 회절 파고가 작아지기 때문에 구속되는 장주기파도 작아진다. 그러나 그때까지 발생된 장주기의 수위변동이 갑자기 소멸되지 않고 외견상 구속받지 않는 장주기파로 변환되어 항내에 전파한다. 이를 자유진행장파라 부르고 전파속도는 장파의 파속으로서  $\sqrt{gh}$ 이다.

또, 파군 구조를 갖는 파가 쇄파되면 파고의 크기에 따라 쇄파점이 해안 또는 외해 쪽으로 이동하고 잉여응력의 경사에 시간변화가 생겨 쇄파대 내에서 자유진행장파가 발생한다[가토오(加藤) 등, 1991].

자유진행장파로서 항내에 침입한 장주기파는 안벽이나 해빈에서 반사되어 에너지의 일부가 다시 항외로 전파한다. 따라서 항외의 관측점에서 측정된 장주기파에는 구속파의 성분과 자유진행장파의 성분이 모두 포함되어 있다.

(2) 장주기파의 하역한계파고

안벽 전면의 장주기파는 공진에 의해 선박에 진폭이 수 m인 전후이동(Surge)을 발생시키는 경우가 있어 충분한 검토가 요구된다. 장주기파의 하역한계파고는 주기, 선박의 제원, 계류 상황, 재하조건 등에 따라 다르나 일부 항만의 경우 관측에 의하면 유의값으로 약 10cm~15cm이다(정원무 등, 1997).

(3) 장주기파의 전파 계산

장주기파의 항내 전파는 외해쪽에 입사경계를 설정하고 환경사방정식, 부시네스크(Boussinesque) 방정식 또는 선형장파에 의한 계산법 등을 이용하여 계산한다.

(4) 장주기파의 파향

장주기파가 전파하는 경우에는 연안에서의 반사파와 중복되는 경우가 많아 파향을 결정하기 어렵다. 그러나 주된 장주기파의 에너지는 단주기파(풍파)의 주파향과 일치한다고 생각해도 좋다.

(5) 부진동의 계산법

부진동의 계산법에 대해서는 이 기준의 4. 설계조건(4.2 조석)을 참조한다.

(6) 장주기파 또는 부진동에 대한 대책

장주기파가 현저한 수역에서는 항내로의 장주기파의 침입을 억제하도록 방파제 배치 계획을 세우는 것이 바람직하다. 이때 사석부의 재료입경이 클 경우에는 장주기파의 에너지가 거의 투과되므로 방파제 또는 사석부 구조에 대해 적절히 검토해야 한다.

선박의 전후이동(Surge)을 억제하기 위해서는 계류계의 고유주기를 침입 장주기파의 주기와 약간 다르게 한다. 이를 위해서는 계류라인의 부착 위치나 초기장력의 변경 또는 로프의 재질 개선이 바람직하나 적절한 수치계산에 의해서 그 효과를 사전에 검토하여 적절하게 대응해야 한다.

장주기파고의 분포는 항내에서 일정하지 않으므로 계획단계시 대상 부두에서 장주기파고가 한계값을 확실히 초과할 것으로 예상될 때 부두의 위치를 변경하는 것도 바람직하다.

(7) 장주기파와 부진동의 구별

일반적인 항만에서는 부진동의 주기가 수 분 이상으로 장주기파의 주기보다 길어서 진동 주기의 해석에서 구별할 수 있다. 단, 배가 모이는 곳이나 마리나 등에서는 부진동의 주기가 2~3분으로 짧게 되는 수가 있어 구분하기 어렵다. 그 경우는 외해측의 관측 결과나 주변 항만의 상황에서 적절히 판단한다.

### 4.3.8 항내파랑

#### 4.3.8.1 항내정온도와 항내수면교란의 요소

항내정온도 산정 시에는 항내수면을 교란시키는 항입구 침입파, 항내로의 전달파, 반사파, 장주기파, 부진동, 항내 발생파, 항주파 등과 같은 여러 요인을 고려하여야 한다.

#### [해설]

항내정온도 문제는 파랑, 바람, 선박 동요 또는 작업기기의 내풍성, 내파성 등의 물리적인 요소뿐 아니라 선박입출항의 난이, 악천후 시 피박(避泊), 해상작업의 한계조건 등의 판단 요인을 합하고, 또한 하역효율, 선박가동율, 정온도 향상을 위한 제반시설의 건설비 등의 경제적 요인과의 관계되는 극히 복잡한 과제이다.

#### 4.3.8.2 항내정온도의 산정

항내정온도는 항내수면을 교란시키는 각 요소들에 대해서 추정된 파랑 성분을 고려하여 산정한다.

#### [참고]

##### (1) 정온도 계산시의 유의점

정온도 계산을 실시하기 전에 다음과 같은 유의사항을 숙지한다.

- ① 항입구의 파고·주기빈도분포를 설정할 것
- ② 항로수심이 주변해역의 수심과 현저히 다른 경우, 항내에 여울이 존재하는 경우, 항입구에서 급격한 수심변화가 나타나는 경우의 항내 파고계산은 가능한 한 항내의 수심변화를 고려할 것
- ③ 항내 파고의 허용값은 주기영향을 도입할 것
- ④ 정온도 목표값은 장래 항만의 이용 상황을 고려할 것

##### (2) 정온도 산정

정온도는 하역한계파고 또는 정박한계파고를 넘지 않는 파고의 시간적 발생확률로 계산할 수 있다. 하역한계파고는 안벽이나 돌핀에 계류된 선박이 하역활동을 안전하게 실시할 수 있는 한계파고이며, 정박한계파고는 정박지에서의 묘박이나 계선부표 및 계류시설에서의 계류가 가능한 파고이다. 여기서, 하역한계파고를 넘지 않는 파고의 시간적 발생확률을 가동률이라 하고, 일반적으로 정온도는 가동률로 평가한다.

## ① 평상파에 대한 가동률 계산

가. 항외의 주기대별로 파향별 파고빈도표를 작성한다.

나. 계산대상인 항외측 파향과 계산파고를 설정한다.

항외 지점의 파향별 풍파빈도표에서 계산대상으로 하는 파향을 설정한다. 또한 항외지점에서 설정한 주기 · 파향의 조합마다 에너지 평형방정식 등을 이용하여 항입구 지점의 파향과 파고를 계산한다.

다. 항내 지점의 파고산정과 항내 파고빈도분포를 작성한다.

에너지 평형방정식 등으로 계산한 항외지점과 항입구 지점의 파고비와 항내 수심이 비교적 변화하지 않는 경우에는 항입구 지점과 항내 각 지점의 파고비를 구한다. 또한 나.항에서 구한 항외 주기대마다의 파향별 풍파빈도표의 파고계급 값(상단값)에 해당하는 항내·외의 파고비를 곱하여 대상시설 전면파고를 산출하고, 항내의 주기대마다 (항외의) 파향별 파고표를 작성한다. 또한 항내에서는 주로 회절과 반사변형 등에 유의하여 항내 파고를 구한다. 이 때 필요에 따라 전달파 및 투과파 검토도 실시한다. 그리고 항내 파고는 회절파, 반사파, 전달파 등을 각각 제공 한 것의 합의 평방근으로 추정할 수 있다. 항내파 주기는 전달파나 투과파의 영향이 비교적 적은 항만에서는 회절파 주기로 대표해도 좋다.

라. 평상파 성분에 대한 가동률을 계산한다.

가동률은 다음 절차로 계산할 수 있다.

(가) 하역한계파고를 설정한다. (각 계류시설마다 이용선박의 종류 및 적재화물 중량톤 그리고 파랑의 파향 및 주기 등을 설정한다)

(나) 대상시설 전면파고가 하역한계파고를 넘는 경우의 빈도를 누적한다.

(다) 하역한계파고를 초과하는 비율(%)을 구하고, 전주기(全周期) · 전파향(全波向)에 대해 합산한 후 100%에서 이것을 뺀 가동률을 구한다.

## ② 이상시 파랑에 대한 정온도

이상시의 파랑(예를 들어, 설계공용기간 50년인 시설에 대해서는 재현기간 50년의 확률파)에 대한 정온도는 일반적으로 이상시의 항내 파랑이 항만시설의 성능에 큰 영향을 끼치는 점을 고려하여 이상시 항내 파랑이 항만시설에 큰 피해를 끼치지 않도록 파고의 한계값을 설정하며, 항내 파고계산으로 산출된 파고가 이 한계값을 넘지 않는 것을 확인함으로써 평가할 수 있다.

## ③ 장주기파에 대한 하역가동률 계산

가. 하역한계파고를 설정한다.

장주기파성분에 대한 하역한계파고 설정은 대상으로 하는 선박종류나 하역방식을 고려하여 하역실태를 조사한 후 개별적으로 구하는 것이 바람직하며, 장주기파의 하역한계파고는 참고 표 (4.3-12)로 정의된다.

나. 항외의 파향별 장주기파빈도표를 작성한다.

현지관측에 의한 장주기파의 파향별 빈도표를 얻지 못한 경우, 항외측의 파향별 풍파빈도표를 이용하여 항외측의 파향별 장주기파 빈도표를 작성한다.

## 설계조건

다. 항내 장주기와 파고를 설정한다.

항외측 파향별 장주기와 빈도표에서 파향이나 장주기와 성분의 파고를 설정한다.

라. 항내지점의 파고산정과 항내 장주기와 파고빈도표를 작성한다.

마. 장주기와 성분에 대한 가동률 계산을 실시한다.

항내파고가 하역한계파고를 넘는 비율을 전 파향에 대해 집계한 후, 100%에서 이것을 뺀 가동률을 구한다.

참고 표 (4.3-12) 장주기와파의 하역한계파고

장주기와파의 유의파고 수준	대상 조건	하역한계파고 (m)
1	서징에 대해 하역허용 동요량이 비교적 큰 선박, 또는 서징의 고유주기가 1.5min 이하인 선박 (중급선박 : 1,000~5,000DWT)	0.20
2	서징에 대해 하역허용 동요량이 중간정도인 선박, 또는 서징의 고유주기가 1.5min 이하인 선박 (일반화물선 : 5,000~10,000DWT)	0.15
3	서징에 대해 하역허용 동요량이 작은 선박, 또는 서징의 고유주기가 2~3min 이하인 선박 (컨테이너선, 광석선 등 : 10,000~70,000DWT)	0.10

- (3) 부진동은 대체로 주기가 5분 이상으로 극단적으로 하역을 악화시키는 요인은 아니다. 그러나 그 진폭이 커지면 소형선박의 계류장해, 배수구의 역류, 안벽침수 등의 피해가 발생하므로 부진동특성을 가지지 않는 항만형상을 고려하는 것이 바람직하다. 부진동 추정에는 선형장파의 근사식이나 천수장파이론 등을 응용할 수 있다.



## 4.3.8.3 항주파

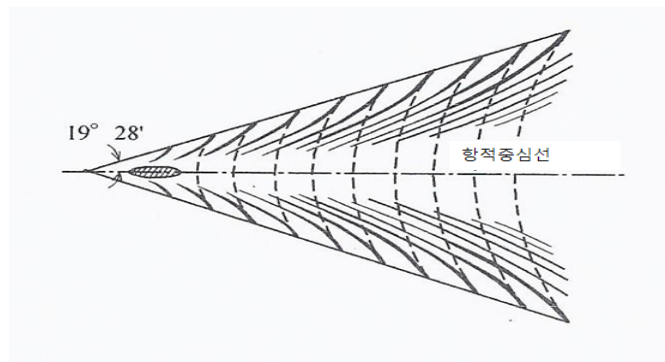
운하나 항로에서는 항행선박에 의한 항주파를 고려하여야 한다.

## [참 고]

- (1) 항주파는 선박이 항행할 때 발생하는 파도로 항적파라고도 하며, 선박이 클수록, 속도가 빠를수록 파고가 커진다. 항주파는 전파거리가 커지면 감쇠되므로 넓은 수역에서는 큰 문제가 되지 않지만, 항구 내, 폭이 좁은 수로 (항로) 등에서는 정박 중인 소형선박, 이동식부두 등의 흔들림을 발생시키는 경우가 있다. 또한 수로의 양쪽 호안에서의 월파, 세굴, 피복블록의 안정성 등에 영향을 미치는 경우도 있다.

## (2) 항주파 평면형상

항주파를 상공에서 바라보면, 참고 그림 (4.3-39)과 같이 배 앞머리의 약간 전방에서부터 八자 모양으로 넓어지는 파도와 배 후방에서 파봉이 배의 진행방향과 직각이 되는 파도의 2가지 계열로 구성되어 있으며, 전자는 종파(Divergent waves), 후자는 횡파(Transverse waves)로 불린다. 종파는 요곡선을 이루며, 그 간격은 안쪽으로 갈수록 좁아진다. 횡파는 거의 원호형이며 그 간격도 일정하다. 또한 항주파의 존재범위는 수심이 깊은 경우, 선수의 약간 전방을 기점으로 항적중심선( $\pm 19^{\circ} 28'$ )과 이 각도를 이루는 선 (이것을 커스프라인(Cuspline)이라 한다)의 안쪽으로 한정된다. 최외연인 종파와 횡파는 이 선의 약간 안쪽에서 교차하며, 그 지점에서 파고는 최대가 된다. 종파에 비해 횡파는 파형경사가 작아 항공사진으로는 식별되지 않는 경우가 많다.



참고 그림 (4.3-39) 항주파 평면도 (그림의 실선은 종파, 파선은 횡파를 나타냄)

## (3) 항주파의 파장 및 주기

항주파의 파장 및 주기는 종파와 횡파가 다르며, 후자쪽이 더 길다. 또한 종파의 파장 및 주기는 제1파가 최장이며, 점차 짧아진다.

- ① 횡파의 파장은 횡파파속이 배의 전진속도와 같다는 조건하에 참고 식 (4.3-52)의 수치해로 구할 수 있다.

## 설계조건

$$\frac{gL_t}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L_t} = V^2 \quad \text{참고 식 (4.3-52)}$$

여기서,  $V = \sqrt{gh}$

$L_t$  : 횡파파장 (m)

$h$  : 수심 (m)

$V$  : 배의 항행속도 (m/s)

단, 수심이 충분히 깊은 경우에는 참고 식 (4.3-53)로 계산한다.

$$L_0 = \frac{2\pi}{g} V^2 = 0.169 V_K^2 \quad \text{참고 식 (4.3-53)}$$

여기서,  $L_0$  : 수심이 충분히 깊은 곳에서의 횡파파장 (m)

$V_K$  : 배의 항행속도 (kt)  $V_K = 1.946 V$

- ② 횡파주기는 수심  $h$ 의 파장  $L_t$ 를 갖는 진행파 주기이며, 참고 식 (4.3-54)과 참고 식 (4.3-55)로 구한다.

$$T_t = \sqrt{\frac{2\pi}{g} L_t \coth \left( \frac{2\pi h}{L_t} \right)} = T_0 \coth \left( \frac{2\pi h}{L_t} \right) \quad \text{참고 식 (4.3-54)}$$

$$T_0 = \frac{2\pi}{g} V = 0.330 V_K \quad \text{참고 식 (4.3-55)}$$

여기서,  $T_t$  : 수심  $h$ 의 횡파주기 (s)

$T_0$  : 수심이 충분히 깊은 곳에서의 횡파주기 (s)

- ③ 종파의 파장 및 주기는 종파의 진행방향에 대한 배의 속도성분이 종파파장과 같다는 조건하에 참고 식 (4.3-56)과 참고 식 (4.3-57)로 구할 수 있다.

$$L_d = L_t \cos^2 \theta \quad \text{참고 식 (4.3-56)}$$

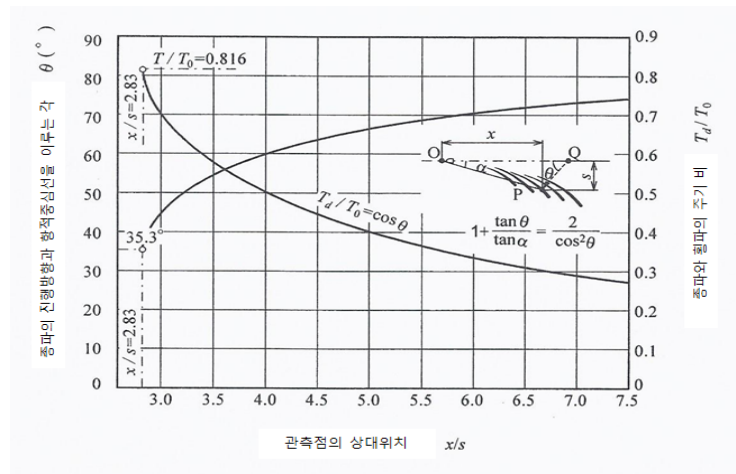
$$T_d = T_t \cos \theta \quad \text{참고 식 (4.3-57)}$$

여기서,  $L_d$  : 종파 진행방향으로 측정된 파장 (m)

$T_d$  : 종파주기 (s)

$\theta$  : 종파의 진행방향과 항적중심선이 이루는 각도 (°)

켈빈(Kelvin)의 조파이론에 의하면, 수심이 충분히 깊은 곳에서의 종파 진행각도  $\theta$ 는 대상지점과 배와의 상대위치 함수로서 참고 그림 (4.3-40)과 같이 구할 수 있다. 단, 실제 선박에서는  $\theta$ 의 최솟값이  $40^\circ$  정도인 경우가 많고, 또한 1개 종파상의 파고최대점을 주목해보면  $\theta \approx 50 \sim 55^\circ$ 가 된다. 또한 각도  $\theta$ 는 그림중의 삼도로도 알 수 있듯이 대상지점에 도달한 종파파원의 위치  $Q$ 를 나타내는 각도이다. 그리고  $\alpha$ 는 커스프라인과 항적중심선이 이루는 각도이다.



참고 그림 (4.3-40) 수심이 충분히 깊은 곳에서의 종파파고 및 주기

## (4) 항주파에 대한 천수효과

일반적인 물과 파도와 마찬가지로 항주파도 그 파장에 비해 수심이 얇아지면, 수심의 영향으로 그 성질이 변화한다. 항주파에 대한 천수효과를 무시할 수 있는 것은 참고 식 (4.3-58)에 나타내는 조건에 한한다.

$$V \leq 0.7 \sqrt{gh}$$

참고 식 (4.3-58)

참고 식 (4.3-58)에 의해 항주파가 심해파로 간주되는 한계수심을 시산하면 참고 표 (4.3-13)과 같다. 이 표에서 알 수 있듯이 일반선박이 만드는 파도는 거의 대부분이 심해파이다. 천수파가 되는 것은 고속페리 등이 비교적 얇은 수역을 항행하는 경우, 모터보트가 천수역을 항행하는 경우, 혹은 항주파가 천수역에 전파하는 경우이다. 또한 천수역에서 만들어지는 항주파의 파장 및 주기는 같은 항행속도에 대한 심해역의 항주파보다 길어진다.

참고 표 (4.3-13) 항주파가 심해파로 간주되는 조건

배의 높이 $V_k(kt)$	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	25.0	30.0
수심 $h(m) \geq$	1.4	3.1	5.5	8.6	12.4	16.9	22.0	34.4	49.6
형파주기 $T_0(s)$	1.7	2.5	3.3	4.1	5.0	5.8	6.6	8.3	9.9

## (5) 항주파의 파고

일본 해난방지협회 항주파연구위원회는 항주파의 파고추산식으로 참고 식 (4.3-59)을 제안하고 있다.

## 설계조건

$$H_0 = \left( \frac{L_s}{100} \right)^{1/3} \sqrt{\frac{E_{HPW}}{1620 L_s V_K}} \quad \text{참고 식 (4.3-59)}$$

여기서,  $H_0$  : 항주파의 특성파고 (m), 또는 배가 만적항해속력으로 달리고 있을 때 항적중심선에서 100m 거리에서 관측되는 최대파고

$L_s$  : 배의 길이 (m)

$V_K$  : 만적항해속력 (kt)

$E_{HPW}$  : 조파마력 (W)

조파마력  $E_{HPW}$  는 다음과 같이 산정된다.

$$E_{HPW} = E_{HP} - E_{HPF} \quad \text{참고 식 (4.3-60)}$$

$$E_{HP} = 0.6 S_{HPm} \quad \text{참고 식 (4.3-61)}$$

$$E_{HPF} = \frac{1}{2} \rho S V_0^3 C_F \quad \text{참고 식 (4.3-62)}$$

$$S = 2.5 \sqrt{\nabla L_s} \quad \text{참고 식 (4.3-63)}$$

$$C_F = 0.075 / \left( \log \frac{V_0 L_s}{\nu} - 2 \right)^2 \quad \text{참고 식 (4.3-64)}$$

여기서,  $S_{HPm}$  : 연속최대 축마력 (W)

$\rho_o$  : 해수밀도 ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\rho_o = 1,030 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

$V_o$  : 만재항행속도 (m/s),  $V_o = 0.514 V_K$

$C_F$  : 마찰저항계수

$\nu$  : 물의 동점성계수 ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $\nu \approx 1.2 \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$

$\nabla$  : 배의 만재배수량 ( $\text{m}^3$ )

참고 식 (4.3-64)는 조파저항에 의해 소비되는 마력이 항주파의 전파에너지와 같다고 간주하여 계수값을 선형시험 데이터 등에서 평균적으로 정한 것이다. 특성파고는 배의 특유한 값이지만, 중·대형선에선  $H_0 \approx 1.0 \sim 2.0\text{m}$ 이다. 또한 예선(曳船)이 전속력으로 항행하고 있을 때도 비교적 큰 파도를 발생시킨다. 관측점이 항적중심선에서  $S$ 만큼 떨어져있는 경우에는  $S^{-1/3}$ 으로 쇠퇴한다고 간주하고, 속력을 떨어뜨려 항행하고 있을 때의 파고는 속력의 3승에 비례하는 것으로 간주된다. 따라서 항주파의 최대파고  $H_{\max}$  는 아래와 같이 산정된다.

$$H_{\max} = H_0 \left( \frac{100}{S} \right)^{1/3} \left( \frac{V_k}{V_K} \right)^3 \quad \text{참고 식 (4.3-65)}$$

여기서,  $H_{\max}$  : 임의관측점의 항주파 최대파고 (m)

$S$  : 관측점에서 항적중심선까지의 거리 (m)

$V_k$  : 배의 실제 항행속도 (kt)

참고 식 (4.3-65)는  $S$ 가 상당히 작은 곳에서는 적용할 수 없지만, 배의 길이  $L_s$  또는 100m 중 작은 값까지는 거의 적용 가능하다. 항주파의 파고 상한 값은 최대파고의 종파 파형경사가  $H_{max}/L_t=0.14$ 의 쇄파한계에 도달한 경우이다. 한 개 종파상의 파고 최대점에서 파향과 항적중심선이 이루는 각을  $\theta=50^\circ$ 로 간주하면, 임의지점의 파고 상한 값은 참고 식 (4.3-66)으로 구할 수 있다. 단, 심해파의 조건을 만족시키는 것으로 한다.

$$H_{lim} = 0.010 V_k^2 \quad \text{참고 식 (4.3-66)}$$

여기서,  $H_{lim}$  : 쇄파조건으로 규정된 항주파의 파고 상한값 (m)

#### (6) 항주파의 전파

- ① 항주파 중 횡파는 배의 항행방향으로 진행하고, 배가 전침(항로변경) 혹은 정지했을 때에도 전파는 계속된다. 이 경우에는 참고 식 (4.3-54)로 주어진 주기를 갖는 규칙 파로서의 성질이 강하고, 굴절과 그 밖의 변형을 계속하면서 균속도로 진행하며, 이 예는 타케우치·나나자와(1961)에 의해 소개되고 있다. 단, 전파와 함께 파봉장이 넓어져 파고는 수심이 일정한 경우에도 진행거리의 1/2승에 역비례하여 감소한다.
- ② 종파의 전파방향은 파봉상의 각 점마다 다르다. 켈빈(Kelvin)의 조파이론에 의하면, 종파의 외연에서 항적중심선이 이루는 각이  $\theta=35.3^\circ$ 이고, 파봉을 따라 안쪽으로 이동함에 따라  $\theta$ 의 값이  $90^\circ$ 에 가까워진다. 그리고 특정 지점에서 차례차례 내습하는 종파는 제1파가  $\theta=35.3^\circ$  방향이고, 제2파 이후는  $\theta$ 의 값이 점차 증대한다. 이러한 종파 전파방향의 공간적 변화는 참고 그림 (4.3-40)으로 추정할 수 있다.
- ③ 종파의 전파속도는 파봉상의 각 지점주기  $T_d$  [참고 식 (4.3-57)]에 대응하는 균속도이다. 참고 그림 (4.3-40)에서 성분파가 파원인  $Q$ 지점에서  $P$ 지점까지 균속도로 전파하는 시간은 배가  $Q$ 점에서  $O$ 점까지 속력  $V$ 로 진행하는 시간과 같다. 그리고 각각의 파형은 파속(위상속도)으로 진행하기 때문에 종파의 최외연(最外緣)에서는 파도가 커스프라인 밖으로 나가면서 점차 소멸하는 것처럼 보인다.

#### (7) 고립파의 발생

천해역에서 선박이 항행하는 경우, 항행속도  $V_k$  (m/s)가  $\sqrt{gh}$ 에 가까워지면, 선박의 진행방법 전방에 고립파가 발생하는 경우가 있어 하구부근에서는 소형선박에 영향을 미칠 가능성이 있다.

### 4.3.9 구조물에 작용하는 파력(波力)

#### 4.3.9.1 설계일반

항만구조물에 작용하는 파력은 구조물의 형상, 해저지형, 수심 및 파랑 등의 특성을 고려하여 적합한 파력 산정식 또는 수리모형실험으로 산정하여야 하며, 파력 산정시 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 파랑의 특성, 구조물의 형상과 전면수심과의 상호관계에 의해 파력이 달라진다. 즉, 전면수심과 파고와의 관계에 따라서 쇄파 또는 중복파가 작용하게 된다.
- (2) 수리모형실험에서 파력 산정시 대상 구조물의 파괴성을 충분히 고려하여 적절한 측정법을 사용하고, 파랑의 불규칙성을 고려하는 것이 바람직하다. 특히, 규칙파 실험의 경우는 최대파에 대한 검토도 포함되어야 한다.

#### 4.3.9.2 직립벽에 작용하는 파력

##### 4.3.9.2.1 직립벽에 작용하는 파력의 설계

직립벽에 작용하는 파력은 파랑 조건 외에 조위, 수심, 해저지형, 구조물의 단면 형상, 평면 형상 등에 의해 변하므로 이러한 요건을 고려하여 산정하고, 수리모형 실험으로 확인하여야 한다. 특히, 급경사의 해저면상이나 높은 사석부상의 직립벽에는 매우 큰 충격쇄파력이 작용할 수 있기 때문에 충격쇄파력의 발생조건에 충분히 유의하여 파력을 산정하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 직립벽에 작용하는 파력의 주된 요인은 파랑의 제원과 조위, 수심, 해저 경사, 사석부 마루의 수심 및 폭, 사석부의 경사, 직립벽의 마루높이 및 전면수심 등이다. 이들 외에, 평면배치 모양에 굴곡부가 있을 때에는 무한직선제(無限直線堤)일 경우보다 큰 파력을 받을 경우가 있으므로 배치 형태의 영향을 고려하여야 한다. 또한 직립벽 전면이 소파블록으로 피복되었을 때에는 소파블록의 특성, 마루높이 및 폭이 요인이 된다.
- (2) 파력은 작용하는 파랑의 형태에 의해 중복파력, 쇄파력, 쇄파후의 파랑에 의한 파력으로 분류되지만 이는 연속적인 변화과정을 보인다. 중복파력은 수심에 비해 작은 파고의 파랑에 의해 생기고 파압의 시간적 변화는 완만하다. 파고의 증대와 함께 커다란 파력이 작용하며, 일반적으로 직립벽에서 약간 외해측에서 쇄파된 파가 충돌할 때 가장 커다란 파력이 생긴다. 따라서 매우 천해역을 제외하면 직립벽의 상당히 외해에서

쇄파되는 커다란 파고의 쇄파후의 파에 의한 파력보다도 직립벽 직전에서 쇄파하는 쇄파력이 더 크다. 특히, 급경사 해저면 상의 직립벽이나 완경사에 있어서도 높은 마운드 상에 있는 직립벽에 쇄파가 작용할 때에는 매우 큰 충격쇄파력이 발생하므로 주의를 요한다.

- (3) 직립제에는 전면수심과 파고의 관계에 따라서 중복파 또는 쇄파가 작용한다. 일반적인 기준으로는 전면수심  $h$ 와 파고  $H_{1/3}$ 에 따라 다음과 같이 파랑을 구별한다.

① 중복파 :  $\frac{h}{H_{1/3}} > 2$

② 쇄 파 :  $\frac{h}{H_{1/3}} < 2$

#### 4.3.9.2.2 직립벽에 작용하는 중복파 또는 쇄파의 파력

(1) 벽면에 파봉이 있을 때

- ① 직립벽에 작용하는 최대 파력 및 양압력은 Goda식(1973)을 이용하여 산정한다.
- ② Goda식은 급경사의 해저면상이나 높은 사석부상의 직립벽에 작용하는 충격 쇄파력을 과소평가할 수 있으므로 충격쇄파력의 발생이 예상되는 경우에는 수리모형실험으로 파력을 산정하여 구조물 설계에 적용하여야 한다.
- ③ 파력계산은 정수시를 기준으로 한다.

(2) 벽면에 파곡이 있을 때

벽면에 파곡이 있을 때 부(負)의 파력은 수리모형실험 또는 기존 산정식으로 산정하여야 한다.

#### [해설]

(1) 벽면에 파봉이 있을 때

직립벽에 작용하는 최대파력 및 양압력은 Goda(合田)식을 표준으로 한다. Goda식은 파압 실험 결과와 현지 방파제에 적용한 성과 등을 감안한 다음, 파향에 대해 수정한 것으로 중복파에서 쇄파까지의 파력을 연속적으로 계산할 수 있다[Goda(合田), 1973].

① 직립벽의 전면파압

정수면의 높이에서 최댓값  $p_1$ , 정수면상  $\eta^*$ 의 높이에서 영(零), 저면에서  $p_2$ 가 되는 직선 분포로서 직립벽 저면으로부터 마루까지의 파압을 고려한다[해설 그림 (4.3-1) 참조].

## 설계조건

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos\beta)\lambda_1 H_D \quad \text{해설 식 (4.3-2)}$$

$$p_1 = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta)(\alpha_1\lambda_1 + \alpha_2\lambda_2\cos^2\beta)\rho_o g H_D$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[ \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \min \left[ \frac{h_b - d}{3h_b} \left( \frac{H_D}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_D} \right]$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[ 1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right]$$

여기서,  $\eta^*$  : 정수면상에서 파압 강도가 영(零)이 되는 점까지의 높이(m)

$p_1$  : 정수면에서의 파압 강도(kN/m<sup>2</sup>)

$p_2$  : 해저면에서의 파압 강도(kN/m<sup>2</sup>)

$p_3$  : 직립벽 저면에서의 파압 강도(kN/m<sup>2</sup>)

$\rho_o$  : 해수의 밀도(t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 중력가속도(m/s<sup>2</sup>)

$\lambda_1, \lambda_2$  : 파압의 보정계수(표준 1.0)

$h$  : 직립벽 전면의 수심(m)

$h_b$  : 직립벽 전면에서 외해(심해측)로 유의파고의 5배만큼 떨어진 지점의 수심(m)

$h'$  : 직립벽 저면의 수심(m)

$d$  : 사석부의 근고공 또는 피복공의 마루 중에서 작은 수심(m)

$H_D$  : 설계계산에 쓰이는 파고(m)

$L$  : 수심  $h$ 에서의 설계계산에 쓰이는 파장(m)

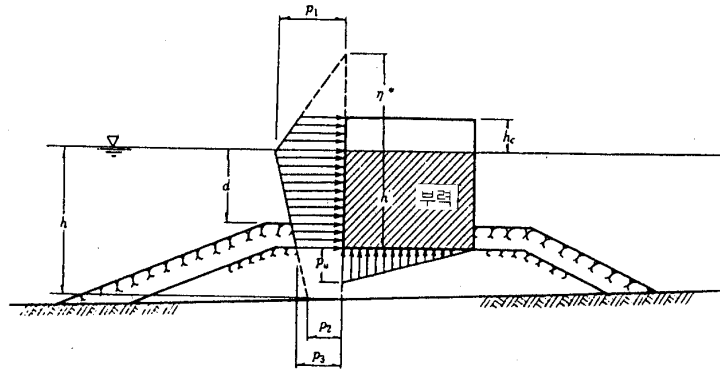
$\min(a, b)$  :  $a$  또는  $b$ 중 작은 값

$\beta$  : 파의 주방향에서 직립벽에 직각이 되는 방향으로 15°만큼 회전시킨 방향이

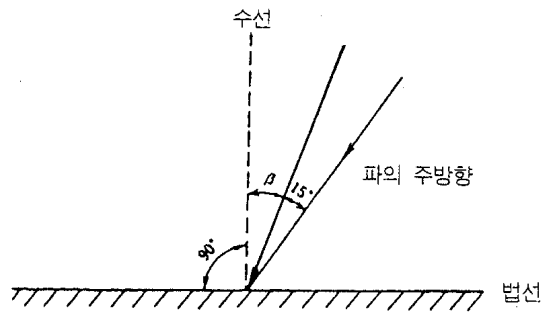
직립벽에 직각인 선과 이루는 각도(°)[해설 그림 (4.3-2) 참조]. 파의 주방향과

직립벽에 직각인 선이 이루는 각도가 15° 미만인 경우는  $\beta = 0^\circ$  를 사용함





해설 그림 (4.3-1) 직립제의 설계파압 분포

해설 그림 (4.3-2) 제체의 수직선과 입사각의 보정각( $\beta$ )

## ② 양압력

직립벽 저면에 작용하는 양압력은 외해측 끝부분에 해설 식 (4.3-3)의  $p_u$ (kN/m<sup>2</sup>), 내해측 끝부분에서 영(零)인 삼각형 분포로 한다[해설 그림 (4.3-1) 참조].

$$p_u = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta)\alpha_1\alpha_3\lambda_3\rho_0gH_D \quad \text{해설 식 (4.3-3)}$$

여기서,  $\lambda_3$ 은 양압력의 보정계수이며 일반적으로 1.0이다.

이 경우 부력은 정수중의 배수체적에 대해서만 고려한다.

## ③ 파력계산에 쓰이는 파고 및 파장

해설 식 (4.3-2)와 해설 식 (4.3-3)에 있어 설계계산에 쓰이는 파고  $H_D$  및 파장  $L$ 은 최대파의 파고 및 파장으로 한다. 최대파의 파장은 유의파 주기에 대응하는 파장으로 하고, 파고는 다음의 최대파고  $H_{\max}$ 를 사용한다.

가. 최대파고가 쇄파의 영향을 받지 않는 경우

$$H_D = H_{\max} = 1.8 H_{1/3}$$

여기서,  $H_{1/3}$ 은 직립벽 전면수심에서 진행파의 유의파고(m)

## 설계조건

나. 최대파고가 쇄파의 영향을 받는 경우

$H_D$  = 불규칙파의 쇄파 변형을 고려한  $H_{\max}$  [참고 그림 (4.3-24) 쇄파 참조]

단, 이때의 최대파고는 직립벽 전면에서  $5 H_{1/3}$ 만큼 외해측에 떨어진 지점에서의 수심  $h_b$ 에 대한 값을 쓴다.

### [참 고]

(1) 벽면에 파봉이 있을 때

① 최대파

Goda(合田)식은 개개의 파에 대한 파력을 나타내는 것이라고 말할 수 있으므로 일반 설계에서 대상으로 하는 파군 중에서 가장 큰 파력이 작용하는 최대파를 대상으로 한다. 불규칙파의 최대파  $H_{\max}$ 는 출현확률이 해역에 따라 일정치 않으므로 일반적으로 정할 수 없지만 현지 방파제에 대한 적용 결과 등으로 보아 파고는 쇄파 변형이 일어나지 않는 곳에서 유의파고의 1.8배, 파장은 유의파 주기에 해당하는 값을 사용한다. 단, 현지의 장기파랑 관측 자료가 있을 때에는 이 기준의 4. 설계, 4.3.1.2 불규칙파의 통계적인 특성을 충분히 검토하여 적용할 수 있다. 최대파의 쇄파에 의한 영향 여부와 파고는 참고 그림 (4.3-24)를 참조하여 결정한다.

② 보정계수( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ )

해설 식 (4.3-2)와 해설 식 (4.3-3)은 일반화된 Goda(合田)식으로 조건이 다른 벽에도 적용할 수 있도록 보정계수를 포함한다. 보정계수는 일반적인 직립벽의 경우 1.0이다. 그러나 소파블록으로 피복된 케이슨이나 직립소파 케이슨 등 여러 종류의 벽에 작용하는 파압의 경우는 더 적은 값으로서 이에 적절한 보정계수를 사용해야 한다.

③ Goda(合田)식의 특징과 적용한계

이 식의 가장 큰 특징은 중복파에서 쇄파까지의 파력을 주기의 영향을 포함해서 연속적으로 계산할 수 있는 점이다. 파라미터  $\alpha_1$ 은 주기(정확하게는  $h/L$ )의 영향을 나타내며 천해파에서 극한 값으로 1.1, 그리고 심해파에서 0.6이다. 그 밖에 주기의 영향은 최대파고 결정에도 영향을 주어 심해파고가 일정하더라도 주기가 길면 큰 최대파를 사용하게 된다. 따라서 설계조건 설정시 주기에 대해서도 신중을 기해야 한다.

또 한 가지의 특징은 사석부 높이와 해저 경사에 의한 파력의 변화를 파라미터  $\alpha_2$ 로 나타내고 있는 점이다. 해설 식 (4.3-2)에서 알 수 있듯이  $H_D$ 를 일정하게 하고 사석부의 높이를 해저면에서 서서히 높여 가면  $\alpha_2$ 값이 0에서 서서히 증가하여 극대 값인 1.1에 달하고 그 이상이면 감소하여  $d=0$ 에서 다시  $\alpha_2$ 는 0이 된다. 따라서  $\alpha_1$ 의 극한값 1.1과 합치면 정수면에서 파압강도는  $2.2\rho_o gH_D$ 가 된다.

한편, 해저 경사의 영향은  $\alpha_2$ 의 식에서  $h_D$ 가 직립벽에서 설계유의파고의 5배 거리만큼 외해 쪽으로 떨어진 지점의 수심이므로 급경사일수록 마운드가 높은 경우와 같은 효과로 나타난다. 또, 쇄파의 영향을 받는 영역에서는  $5H_{1/3}$ 만큼 떨어진 지점의

최대파고를 설계파고로 한 것은 직립벽에 최대 파력이 작용하는 파가 진행파로서 외해에서 쇄파된 것을 반영했다. 이외에도 쇄파의 영향을 받는 곳에서는 해저 경사가 급할수록 큰 파고가 된다. 이와 같이, 해저 경사가 파력에 미치는 영향은 상당히 크므로 설계조건 설정시 주의를 요한다.

이상과 같이, 본 계산식은 사석부의 높이나 해저 경사의 영향을 고려한 것이지만 높은 사석부나 급경사 해저면상의 직립벽에는 강한 쇄파력이 작용할 수 있으며, 이러한 조건에 대해 이 식을 사용하면 파력이 과소평가될 수 있으므로 주의를 요한다. 특히, 사석부가 높은 경우에는 해설 식 (4.3-2)의  $\alpha_2$  만이 아니고 이 기준의 4. 설계, 4.3.9.2 직립벽에 작용하는 파력, 4.3.9.2.3 충격쇄파력의 계수  $\alpha_1$  을 고려하여  $\alpha_1$  이  $\alpha_2$  보다 큰 경우에는  $\alpha_1$  의 값을 취한다.

문제점은 정선 부근과 같이 수심이 극히 낮은 수역에의 적용성 여부이다. 본 식은 어디까지나 직립벽의 외해측에서 쇄파하는 파가 최대의 파력을 작용하는 범위이다. 그 한계를 명확히 구분하기는 곤란하나 정선 부근에 있는 직립벽에 작용하는 파력에 대해서는 다른 계산식과 합해서 적절히 사용하는 것이 좋다.

#### ④ 파력 계산식의 파향 보정

파향이 파력에 미치는 영향에 대해서는 몇 개의 실험 결과가 있으나 명확하지 않은 점이 많다. 종래에는 중복파 작용에 대해서는 파향 보정을 고려하지 않고 쇄파작용에 대해서만  $\cos^2\beta$ 를 곱함으로써 파향의 영향을 고려하여 왔다. 그러나 쇄파에 대해서는 파향의 증가와 함께 파력이 감소하여  $\beta = 90^\circ$ 인 극한에서는 0이 되는 것에 대해 중복파의 경우 완전 반사된 파와의 중첩이 직각의 경우와 동일한 모양으로 유지되어 있다고 가정하는 것은 불합리하다. 예를 들면, 실제 방파제는 그 길이가 유한하기 때문에 비스듬히 입사하는 각도가 큰 경우에는 파고가 2배가 되는 곳은 제체 끝단에서 상당히 떨어져 있고, 극단적으로  $\beta = 90^\circ$ 인 경우에는 무한원점이 되므로 이 경우 직립벽에는 진행파의 파압이 작용한다고 보는 것이 타당하다. 또, 방파제의 길이가 무한히 길다고 보는 경우에도 제2차 근사의 유한진폭파 이론을 사용하면 비스듬히 입사하는 파에 의한 파압은 직각으로 입사하는 경우보다는 약간 감소하고 그 정도는 파형경사에 비례하는 것으로 알려져 있다[Goda(合田), 1967]. 이와 같은 점과 현지 방파제에 대해 적용한 결과를 감안해서 파향에 대한 보정은 해설 식 (4.3-2)의  $p_1$ 에 나타난 것과 같이 사석부의 효과를 나타내는  $\alpha_2$ 에 대해서  $\cos^2\beta$ 를 곱하고, 또 전체에  $0.5(1+\cos\beta)$ 를 곱했다.

#### ⑤ 주기가 다른 2종류의 파군이 중첩된 경우의 파력과 유의파 주기

주기가 다른 2종류의 파군이 중첩된 예로서는 만외에서의 침입파와 만내에서 발생된 파와의 중첩, 그리고 항구에서의 회절파와 월파에 의한 전달파의 중첩 등을 들 수 있다. 이 경우 스펙트럼은 쌍봉형(雙峰形, 스펙트럼 첨두가 2개인 형태)이며, 현지관측 예가 있다[다니모토(谷本) 등, 1986], 이 때 파력 계산에는 쌍봉형 스펙트럼을 이용하고, Goda(合田)식이 적용될 수 있음을 확인하였으며 파력 계산식에 쓸 수 있는 유의파 주기 계산법을 제안하였다. 주기가 중첩 전의 각각의 주파수 스펙트럼

이 Bretschneider-Mitsuyasu 형태일 경우 적절한 방법에 의해 중첩한 후 유의파 주기를 구한다.

⑥ 직립벽의 마루가 낮은 경우의 파력

Goda(合田)식을 방파제 등에 적용하는 경우 직립벽의 마루높이가 낮으면 파압의 작용범위의 감소에 의한 파력 저감보다도 중량 감소에 의한 저항력 감소가 크기 때문에 일반적으로는 벽체의 폭을 넓게 할 필요가 있다. 그러나 활동실험(滑動實驗) 결과 자료에 의하면 마루높이를 낮추는 정도에 따라서 안정성이 증가하는 경향이 있다. 이 때 파력 산정법으로서 저감계수  $\lambda_h$ 를 전면파압과 양압력에 곱해줌으로써 파력을 저감하는 방법이 제안되었다[나카다(中田) 등, 1984].

⑦ 직립벽의 마루가 높은 경우의 파력

직립벽의 마루가 일반적인 방파제의 경우보다 상당히 높은 경우에는 월파하지 않기 때문에 Goda(合田)식에 의한 파력보다 큰 파력이 작용하는 경우가 있다[미즈노(水野) 등, 1993].

⑧ 직립벽이 경사진 경우의 파력

직립벽이 조금 경사진 사다리꼴 모양의 케이슨 등일 경우 수평파력은 연직벽의 경우와 크게 다르지 않으나 경사면에 작용하는 파력의 연직성분의 고려나 양압력의 저감 등을 고려할 필요가 있다. 다니모토(谷本)와 기무라(木村)(1985)는 직립벽이 약간 경사진 경우의 파력에 대한 실험을 실시하고 파력 산정법을 제안한 바 있다.

⑨ 직립부 전면 사석부의 마루수평부분이 긴 경우

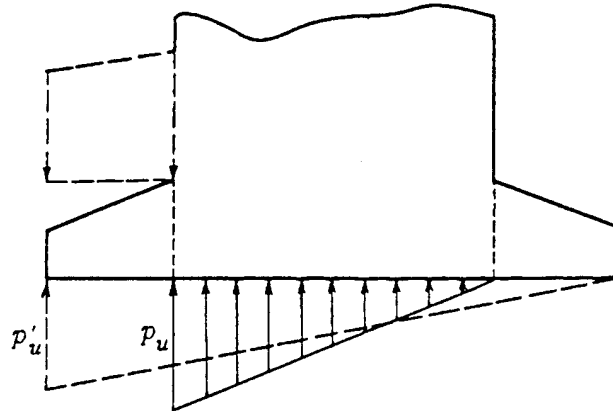
혼성제 직립부에 작용하는 파력은 사석부 높이뿐만 아니라 전면의 어깨 폭, 기준선의 경사에 의해서도 변한다. Goda(合田)식은 이미 언급한 바와 같이, 이 중에서 사석부 높이의 효과를 반영한 것이다. 따라서 이들이 통상의 것과 뚜렷하게 다른 경우에는 되도록 수리실험에 의해서 검토한다. 그러나 전면의 어깨폭이 충분히 긴 경우에는 그것을 해저지형의 일부로 생각할 수 있으므로 사석부 전면의 어깨폭이 이곳에서의 파장의 1/2보다 긴 경우에는 사석부 상단에서의 파고와 파장을 사용한다[나가이(永井) 등, 1965].

⑩ 일련의 원통들로 이루어진 방파제의 직립벽에 작용하는 파력

강관 방파제와 같이 원통열(圓筒列) 방파제의 직립벽에 작용하는 파력에 대해서는 평면 직립벽에 작용하는 파력과 큰 차이가 없다. 따라서 Goda(合田)식을 준용한다.

⑪ 확대기초(Footing)가 있을 때의 양압력

케이슨 등과 같은 확대기초가 있을 때는 파가 작용하는 쪽의 확대기초 상면에서 하향의 파력 또는 저면의 앞부분에서  $p'_u$ , 뒷부분에서는 영(零)의 양압력이 작용한다. 그러나 보통의 경우 그 합력은 확대기초가 없을 때의 양압력과 큰 차이가 없다. 이 때문에 참고 그림 (4.3-41)에 나타난 것과 같이 확대기초를 무시하고 직립벽 전면의 연장점에서 해설 식 (4.3-3)에 의한  $p_u$ , 후면의 연장점에서 영(零)의 삼각형 분포로서 양압력을 산정해도 좋다. 단, 확대기초가 상당히 긴 경우에는  $p'_u$ 의 변화 등을 고려하여 적절하게 양압력을 산정해야 한다.



참고 그림 (4.3-41) 케이슨 확대기초가 있는 경우의 양압력

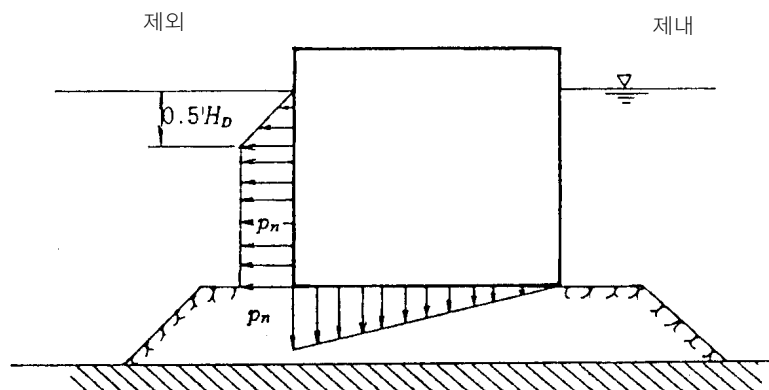
## ⑫ 기타의 산정식

본 Goda(合田) 파력 산정식은 중복파에서 쇄파까지의 파력을 그 적용한계에 의해 구별하지 않는 장점이 있으나 수심에 대한 파고비가 작고 명확하게 중복파의 파력이 작용한다고 생각되는 경우에는 정도 높은 중복파 이론식[히로이(廣井), 1919 ; 생플루(Sainflou), 1928]을 적용하여도 좋다.

단, 그 때 현지 파랑의 불규칙성을 충분히 고려할 필요가 있으며 최대파에 대한 검토도 필요하다.

## (2) 벽면에 파곡이 있을 때

벽면에 파곡이 있을 때의 벽 전면에서 부(負)의 파압은 참고 그림 (4.3-42)와 같이 정수면에서 영(零), 정수면하  $0.5H_D$ 에서  $p_n$ , [참고 식 (4.3-67) 참조] 그 이하 저면까지 일정한 직선 분포의 파압이 외해 측을 향해서 작용하는 것으로 한다.



참고 그림 (4.3-42) 부(負)의 설계파압 분포

## 설계조건

$$p_n = 0.5 \rho_o g H_D$$

참고 식 (4.3-67)

여기서,  $p_n$  : 균일파압 부분에 있어서 파압강도(kN/m<sup>2</sup>)

$H_D$  : 설계계산에 쓰이는 (최대)파고(m)

수심이 커서 명백히 중복파가 작용하는 경우에는 고차 근사의 유한진폭중복파 이론에 의한 결과를 사용하는 것이 좋다. 특히, 대수심 방파제에서는 파곡일 때의 부압력(負壓力)의 크기가 파봉이 있을 때의 정압력(正壓力)의 크기보다 크므로 벽체가 바다 쪽으로 미끄러지는 경우도 있다.

### 4.3.9.2.3 충격쇄파력

- (1) 충격쇄파력에 대한 일반적인 산정법을 제시하기가 어려우므로 충격쇄파력의 발생이 예상될 경우에는 수리모형실험을 수행하여 검토하여야 한다.
- (2) 단면형상, 구조형식 등은 가능한 한 충격쇄파력이 발생하지 않도록 설계하고 급경사 해저면상 등과 같이 충격쇄파력의 발생을 피할 수 없는 경우에는 소파공을 설치하여 파력을 완화시킨다.

### [해설]

벽면에 쇄파의 격어세운 파면(波面)이 충돌할 때 충격쇄파력이 발생한다.

충격쇄파력에 대한 수리모형실험에서 최대파압은 조건에 따라 파고에 해당되는 정수압( $1.0 \rho_o g H_D$ )의 수 배 내지 수십 배로 나타난다. 그러나 그 작용시간은 짧고 국소적이며 다소의 조건 변화에 따라서도 변동이 매우 크다. 또한, 충격 특성 때문에 구조물의 역학적 특성에 따라서 안정성이나 부재 응력에 미치는 효과도 다르다. 충격쇄파력에 대한 일반적인 산정법을 제시하기가 어려우므로 개개의 역학적 조건에 대한 수리모형실험에 의해서 파력을 검토한다(예를 들면, 활동실험, 부재 강도의 검토 등).

### [참고]

#### (1) 충격쇄파력의 발생조건

충격쇄파력의 발생조건에는 여러 가지 인자가 관여되어 일반적으로 규정하기는 어려우나 각종 실험 결과에서 구조물 기준선의 수직선과 파향과의 교차각  $\beta$ [해설 그림 (4.3-2) 참조]가  $20^\circ$  이내에 있고 또 다음과 같은 경우에 충격쇄파력이 생기기 쉽다.

##### ① 급경사 해저의 경우

해저 경사가  $1/30$ 보다 급하고 직립벽보다 약간 심해측에서 쇄파되는 파를 포함하며, 또한 환산심해파 파형경사가  $0.03$  정도 이하일 때 충격쇄파력이 생기기 쉽다.

## ② 사석부가 높은 경우

해저 경사가 완만할 때에도 파의 조건 외에 사석부의 마루높이, 전면 어깨폭, 사면 경사 등과 같은 사석부의 형상에 의해 충격쇄파력이 발생한다. 일반적으로 사석부가 비교적 높고 또 전면 어깨폭이 적당히 넓거나 사면 경사가 완만하여 사석부 경사면 또는 경사의 어깨 부근에서 수벽(水壁) 모양의 쇄파가 충돌할 때 충격쇄파력이 생긴다. 해저 경사가 1/50보다 완만하고 설치 수심에 대한 사석부 마루(피복공 포함) 상의 수심비(水深比)가 0.6보다 큰 경우에는 매우 큰 충격쇄파력은 발생하지 않는다고 생각해도 좋다.

## (2) 대책공법

직립벽에 매우 큰 충격쇄파력이 작용하는 경우, 전면에 소파블록으로 충분히 피복하면 파력을 아주 완화시킬 수 있다. 특히 사석부가 높은 경우에 소파블록으로 충분히 피복하면 충격 쇄파의 발생을 방지할 수 있다. 또 직립부는 적절한 소파 케이슨 또는 사면 케이슨 등의 이형(異型) 케이슨으로 하는 것에 의해서도 충격쇄파력의 작용을 피할 수 있는 경우가 있다. 또한 방파제의 기준선을 파향과 직각으로 하지 않는 것도 하나의 대책이다[다니모토(谷本) 등, 1981].

## (3) 모형실험에 의한 파력 검토

충격쇄파력이 작용하는 경우의 모형실험에 의한 파력을 검토하기 위해서는 충격력에 대한 구조물의 응답 특성을 분석하는 것이 필요하다. 직립벽 전체의 안정성 검토, 예를 들어 제체의 활동실험, 그리고 파라피트 등의 부재 강도에 대한 검토는 응력측정실험에 의한다.

## (4) 급경사 해저면상의 직립벽에 작용하는 충격쇄파력

## ① 파압이 최대가 되는 수심과 평균 파압강도

급경사 해저면 상의 직립벽에 작용하는 충격쇄파력에 대해서는 많은 연구가 수행되었다[Mitsuyasu(光易), 1962; 혼마(本間) 등, 1962]. 이들 중 Mitsuyasu(光易)(1962)는 경사가 1/50, 1/25, 1/15인 일정한 경사면 상의 여러 가지 수심에서 직립벽에 작용하는 규칙파의 쇄파력 실험을 광범위하게 수행하였다. 여기서 설치수심(設置水深)에 따른 전파력(全波力)의 변화를 조사하여 충격쇄파력이 가장 현저한 수심  $h_M$ 의 산정식 (4.3-68)을 얻었으며, 이는 심해파장에 대한 비로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{h_M}{H_o} = C_M \left( \frac{H_o}{L_o} \right)^{-1/4} \quad \text{참고 식 (4.3-68)}$$

여기서,  $C_M$  :  $0.59-3.2\tan\theta$

$H_o$  : 심해파고(m)

$L_o$  : 심해파장(m)

$\tan\theta$  : 일정한 경사면의 경사

## 설계조건

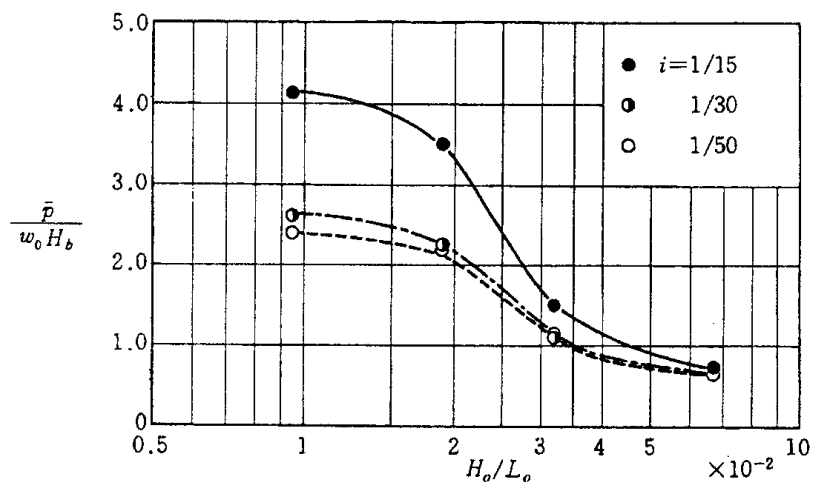
참고 그림 (4.3-43)은 Mitsuyasu(光易, 1962)의 실험 결과를 바탕으로 이러한 파력이 가장 엄격하게 되는 때의 전파력(全波力)을, 파력의 작용 범위를 해저에서 정수면상 쇄파한계파고  $H_b$ 의 0.75배까지로 하고 평균 파압강도  $\bar{p}$ 를 구하여  $\rho_w g H_b$ 로 나누어 무차원화하고 심해파형경사 ( $H_o/L_o$ )에 대해 사면 경사에 따라 나타낸 것이다.

여기서 개략적인 경향을 보면, 파형 경사가 작을수록 강한 충격쇄파력이 발생하지만, 사면경사가 완만해지면 최대 충격쇄파력의 강도가 감소한다.

- ② 충격쇄파력의 발생조건에 대하여 (1) ①의 급경사 해저인 경우 충격쇄파력의 발생 조건은 참고 그림 (4.3-43)에 기초하여 대략적으로 설정한다. 현지 불규칙파에 대한 경우 환산심해파형경사는 직립벽에서 외해쪽으로  $5H_{1/3}$ 만큼의 지점에서의 불규칙파의 쇄파변형을 고려해서 구한 최대파고  $H_{max}$ 에 대한 환산심해파고와 유의파 주기에 대한 심해파장의 비로 한다. 단, 이때의  $H_b$ 는  $H_{max}$ 로 한다. 또한, 설계파에 대해서 이와 같은 최대 충격쇄파력이 작용하는 수심을 피해 설치수심을 설정할 수 있다. 그러나 보다 해안쪽에 직립벽을 놓고 쇄파후의 파가 작용하도록 하는 경우에는 설계파보다 작은 파고의 파에 대한 검토도 필요하다.

- ③ 급경사 사면과 연결된 수평마루에 놓인 직립벽에 작용하는 충격쇄파력(여기에 대해서는 다카하시(高橋) 등(1983)의 연구가 있다)

경사가 1/10 또는 3/100의 사면에 이어지는 수평마루를 설치하고 여러 위치에서 직립벽에 작용하는 파압을 규칙파 실험을 통해 측정하였으며, 어느 파랑조건에 대해서 파력이 최대가 되는 직립벽의 위치 또는 그 때의 파력 산정법이 제안되었다.



참고 그림 (4.3-43) 최대 충격쇄파에 의한 평균파압강도(급경사 사면상의 직립벽)

### (5) 혼성제에 작용하는 충격쇄파력

#### ① 사석부 모양의 영향(충격쇄파력 계수)

사석부가 높고 충격쇄파력이 작용하는 경우에 대해 그 파력의 정도를 나타내는 계수로서 다카하시(高橋) 등(1992)은 활동실험 결과를 기초로 충격쇄파력 계수  $\alpha_I$ 를 다음과 같이 제안했다.



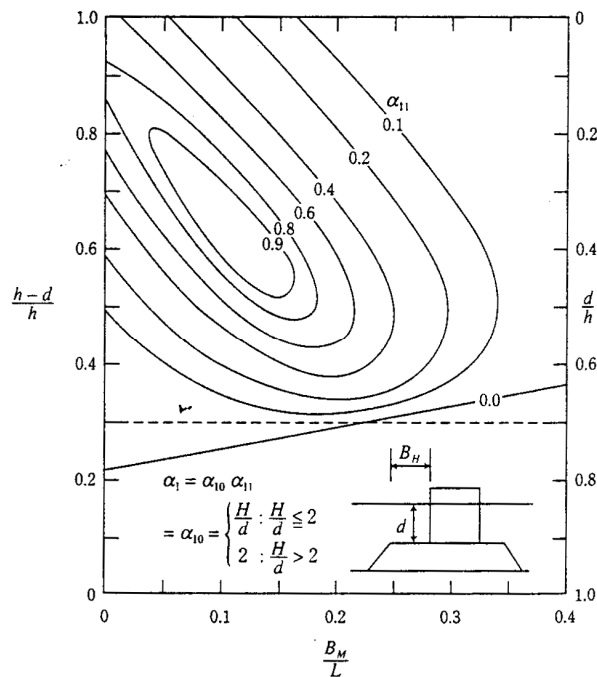
$$\alpha_I = \alpha_{I0} \alpha_{I1}$$

참고 식 (4.3-69)

$$\alpha_{I0} = \begin{cases} H/d & (H/d \leq 2) \\ 2 & (H/d > 2) \end{cases}$$

참고 식 (4.3-70)

여기서,  $H$ 는 설계파고(최대파고),  $d$ 는 사석부 마루의 수심,  $h$ 는 설치수심이며,  $\alpha_{I1}$ 은 참고 그림 (4.3-44)를 참조한다.



참고 그림 (4.3-44) 충격쇄파력 계수

참고 그림 (4.3-44)는 충격쇄파력 계수  $\alpha_{I1}$ 의 분포를 나타내며,  $d/h$ 가 0.4,  $B_M/L$ 이 0.12일 때  $\alpha_{I1}$ 이 최대이고 그 값은 1이다.  $\alpha_{I1}$ 의 범위는 0~2이며, 이 값이 클수록 충격쇄파력이 커진다. 기존의 Goda(合田)식을 사용하여 파력을 계산할 때에는 Goda(合田)식의  $\alpha_2$ 와 이  $\alpha_I$  중에서 큰 값을 사용한다. 단, 이  $\alpha_I$ 는  $H/h$ 가 0.6 이상인 경우의 활동실험 결과를 바탕으로 제안한 식으로 파고가 비교적 큰 경우 직립벽의 활동을 검토할 때에 사용될 수 있다.

## ② 직립벽 마루높이의 영향

마루높이가 높을수록 충격쇄파력 발생의 위험성이 높다. 이는 쇄파되어 반듯이 선 파면(波面)이 정수면보다 높은 위치에 있는 경우가 많고 여기에 직립벽이 있으면 파면의 충격에 의한 충격력이 발생하기 때문이다. 마루높이가 높을 때에는 사석부가 비교적 낮은 경우에도 충격쇄파력이 발생할 수도 있다(미즈노(水野) 등, 1993).

## 설계조건

### ③ 파향의 영향

다니모토(谷本) 등(1981)에 의한 활동실험 결과에서는 기준선직각 방향에 대한 파향 각  $\beta$ 가  $0^\circ$ 일 경우 매우 강한 충격쇄파력이 발생하지만,  $\beta=30^\circ, 45^\circ$ 일 때는 파력이 급격히 감소한다. 파향에 대해 방파제가 비스듬히 놓여 있을 경우에는 충격쇄파력이 발생하지 않거나 발생한다고 해도 활동에 의한 영향이 급감하고 실제로 무시할 수 있다. 따라서  $\beta=20^\circ$  이내인 경우에 한해서 충격쇄파력을 고려한다.

### ④ 충격쇄파력에 대한 직립부의 동적 응답과 활동

충격쇄파력이 작용하는 경우에는 국소적인 순간값으로서 파고에 해당되는 정수압의 수 배에서 수십 배에 달하는 파압이 기록되었다. 그러나 그 충격량의 변동은 크지 않고 강한 충격쇄파력의 작용시간은 짧다. 이러한 충격쇄파력의 활동에 대한 기여는 사석부, 지반의 변형을 고려한 동적 응답으로서 고려되어야 한다. 여러 수치실험 결과(Goda(合田), 1973; 다카하시(高橋) 등, 1993) 또는 활동실험 결과에서 판단할 때 극한적인 충격쇄파력이 사석부에 있는 직립부의 활동에 작용하는 것을 정적으로 등가한 평균파압강도는  $(2.5 \sim 3.0)\rho_0 g H$ 로 보는 것이 적당하다. 따라서 충격쇄파력 계수는 활동실험 결과를 이용하여 도출되었기 때문에 동적 응답 효과도 어느 정도 고려되었다.

#### 4.3.9.2.4 소파블록으로 피복된 직립벽에 작용하는 파력

- (1) 소파블록으로 피복된 직립벽에 작용하는 파력은 소파공의 마루높이, 폭, 소파블록의 특성 등에 의해 변하므로 수리모형실험 또는 적합한 산정법으로 산정하여야 한다.
- (2) 소파공의 마루높이가 설계해면보다 낮거나 인근에 있을 경우에는 파력이 크게 작용할 때가 많으므로 주의하여야 한다.

### [해설]

직립벽의 전면에 이형 콘크리트 블록 등을 소파공으로 설치하면 벽체에 작용하는 파력이 변한다. 파력의 감소 효과는 소파공의 구조에 따라 다르나 충분한 폭과 마루높이를 갖는 소파공으로 가능하다. 그러나 소파공의 마루높이가 설계해면보다 낮을 경우에는 파력이 크게 될 때가 많으므로 주의를 요한다.

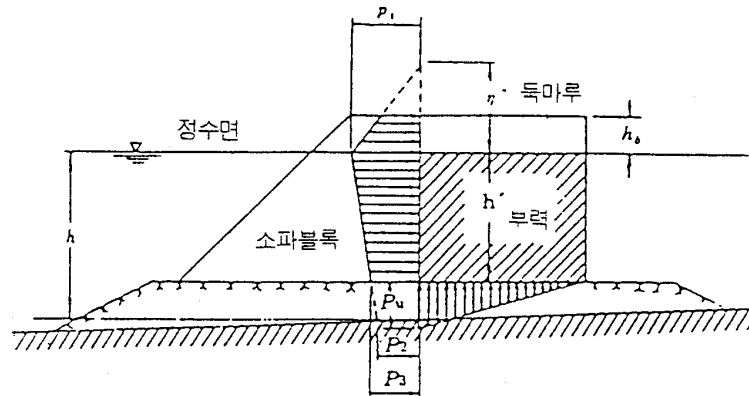
### [참고]

#### (1) 소파블록을 충분히 피복할 때의 파력 산정식

소파공의 마루높이가 직립벽의 마루와 같은 정도이고 파의 작용에 대해 소파블록의 안정이 충분히 확보될 때 직립벽에 작용하는 파력은 Goda(合田)식을 다음과 같이 준용하여 산정할 수 있다[다니모토(谷本) 등, 1976].

직립벽에 작용하는 중복과 또는 쇠파 파력의 표준식인 해설 식 (4.3-2)의  $\eta^*$ ,  $p_1$ , 또는 해설 식 (4.3-3)의  $p_u$  대신에 각각 참고 식 (4.3-71)의  $\eta^*$ , 참고 식 (4.3-72)의  $p_1$ , 참고 식 (4.3-73)의  $p_u$ 를 써서 파력을 산정한다.

이때, 쇠파압은 소파블록에 의해 현저히 저감되므로 쇠파압 저감계수  $\lambda_2 = 0$ , 그리고  $\lambda_1$ (중복파압 보정계수)과  $\lambda_3$ (양압력 보정계수)는 파고 H에 의존한다고 생각하여  $\lambda_3 = \lambda_1$ 으로 하고  $\lambda_1$ 을  $\lambda$ 로 하여 다음 식이 제안되었다[참고 그림 (4.3-45) 참조].



참고 그림 (4.3-45) 소파블록으로 피복된 경우의 설계파압 분포[Goda(合田)식]

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos\beta)\lambda H_D \quad \text{참고 식 (4.3-71)}$$

$$p_1 = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta)\lambda\alpha_1\rho_o g H_D \quad \text{참고 식 (4.3-72)}$$

$$p_u = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta)\lambda\alpha_1\alpha_3\rho_o g H_D \quad \text{참고 식 (4.3-73)}$$

여기서,  $\eta^*$  : 정수면 상에서 파압강도가 0이 되는 점까지의 높이(m)

$p_1$  : 소파블록으로 피복되는 경우 정수면에서의 파압 강도(kN/m<sup>2</sup>)

$p_u$  : 소파블록 케이슨 저면의 외해쪽 끝부분의 양압력 강도(kN/m<sup>2</sup>)

$\beta$  : 파의 주방향에서 직립벽에 직각이 되는 방향으로 15°만큼 회전시킨 방향이 직립벽에 직각인 선과 이루는 각도(°) [해설 그림 (4.3-2) 참조]

$$\lambda : \text{소파블록 피복에 의한 파압의 저감률} = \begin{cases} 1.0 & (H/h \leq 0.3) \\ 1.2 - 2(H/h)/3 & (0.3 < H/h \leq 0.6) \\ 0.8 & (H/h > 0.6) \end{cases}$$

$\alpha_1$  : 해설 식 (4.3-2)에 정의된 계수

$\alpha_3$  : 해설 식 (4.3-2)에 정의된 계수

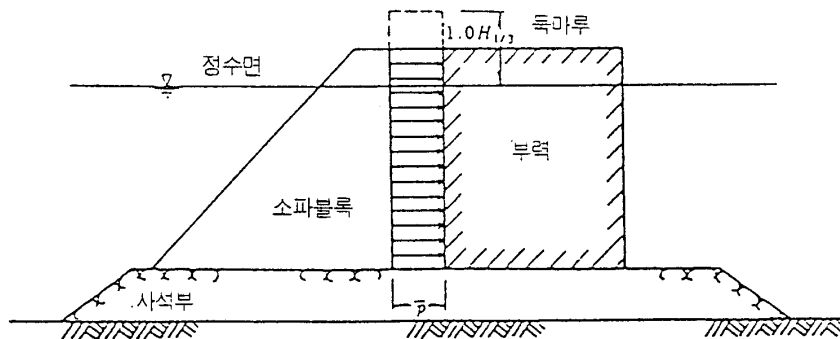
$H_D$  : 설계계산에 쓰이는 파고, 최대파고(m)

## 설계조건

파압의 저감율  $\lambda$ 는 피복의 정도나 파의 조건 등에 의해서 정해지나, 소파블록을 충분히 피복한 경우 직립벽의 안정성 등의 검토에 대해서는 일반적으로  $\lambda=0.8$ 을 쓴다. 단, 경사제 상부공과 같이 직립벽의 기면이 정수면 부근에 있는 경우에는 저감율이 주기에 의해 크게 변화되며 주기가 긴 경우  $\lambda=1.0$  정도를 사용한다.

### (2) 모리히라(森平, 1967)식

소파블록으로 충분히 피복되고, 유의파고가 쇄파의 영향에 의해서 작아지는 쇄파대내에 있는 경우 모리히라(森平)식을 이용할 수 있다. 참고 식 (4.3-74)에 의한 평균 파압강도가 직립벽 기부부터 정수면상  $1.0 H_{1/3}$  또는 직립벽 마루높이 가운데 낮은 편 높이까지 일정하게 작용하는 것으로 간주한다[참고 그림 (4.3-46) 참조].



참고 그림 (4.3-46) 소파블록으로 피복된 경우의 설계파압 분포[모리히라(森平, 1967)]

$$\bar{p} = 1.0 \rho_o g H_{1/3} \quad \text{참고 식 (4.3-74)}$$

여기서,  $\bar{p}$  : 소파블록을 피복했을 때의 직립벽에 작용하는 평균 파압강도(kN/m<sup>2</sup>)

$H_{1/3}$  : 설계유의파고(m)

양압력은 벽 전체에 대해서 부력이 작용하므로 그 중에 포함되는 것으로 생각한다. 단, 둑마루의 높이가  $1.0 H_{1/3}$ 보다 높을 경우는 양압력이 과대하게 산정된다. 사각 입사 시 참고 식 (4.3-74) 대신 참고 식 (4.3-75)를 써서 파력의 경감을 고려하나 파력의 작용 높이는 변하지 않는다고 가정한다.

$$\begin{cases} \bar{p} = 1.0 \rho_o g H_{1/3} \cos \beta, & 0 \leq \beta \leq 45^\circ \\ \bar{p} = 0.7 \rho_o g H_{1/3}, & \beta > 45^\circ \end{cases} \quad \text{참고 식 (4.3-75)}$$

여기서,  $\beta$  : 파의 주방향에서 직립벽에 직각이 되는 방향으로 15°만큼 회전시킨 방향이 직립벽에 직각인 선과 이루는 각도(°)

## (3) 소파블록으로 충분히 피복된 경사제 상부공에 작용하는 파력

경사제 상부공과 같이 바닥면이 정수면 부근에 있고, 또 소파블록으로 충분히 피복되어 있는 경우 파압의 저감을  $\lambda$ 에 대해서는 다니모토(谷本)와 고지마(小島, 1983)가 산정식을 제안하였다.

## (4) 소파블록 또는 사석으로 피복된 경사제 전체에 작용하는 파력

사석 경사 방파제의 경우는 이 기준의 4. 설계, 4.3.9.2 직립벽에 작용하는 파력, (4)의 파력식을 변형하여 적용할 수 있으나 파가 전체를 투과하고 또한 제체 전부가 사석으로 이루어져 파의 작용 방향성 등을 고려한  $\lambda$ ,  $\alpha$  값이 아직까지 제시되지 못하고 있다. 이에 대한 연구는 현재 시작 단계에 있다.

## (5) 파가 작용할 때의 블록 하중

소파블록으로 피복된 직립벽에는 파의 직접작용에 의한 파력과 블록이 기대어 있음으로 인한 하중이 작용한다. 이들에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다[예: 다카하시(高橋) 등, 1990].

① 파가 작용하지 않는 정수시의 블록 하중은 설치 직후에는 작으나 파의 작용에 따라서 증가하여 일정한 값에 가까워진다.

그 하중은 토압과 같은 모양의 분포로 생각할 수 있으나 그 크기는 작용한 파의 크기에 따라 다르다.

② 파가 작용할 때의 블록 하중은 통상적인 경우 무시할 수 있다.

이는 파의 작용에 의해서 직립벽이 미소하나마 변위되고 블록 하중이 감소하고 파고가 크면 거의 0이 되기 때문이다. 단, 파고가 작을 경우나 수심이 크고 정수시의 블록 하중이 클 때에는 무시할 수 없다.

## 4.3.9.2.5 구조물 반사파랑에 의한 파력

(1) 기준선에 굴곡이 있는 경우에는 입사파의 상호 간섭에 의한 파력의 증대를 고려하여 파력을 산정하여야 한다. 이러한 경우에 설계파고로는 진행파 파고에 기준선 형태의 영향에 의한 적합한 증대율을 곱한 파고를 사용하고, Goda(1973)의 파력산정식을 표준으로 하여 파력을 산정한다.

(2) 파고의 변동은 특히 파향에 대해서  $\Pi$  모양의 오목을 형성하는 배치일 경우에 현저하므로 파력 산정 시 이를 고려한다.

## [해설]

일반적으로 제체에 굴곡이 있는 경우에는 파의 반사 및 회절 효과 등에 의해서 기준선을 따른 파고분포가 동일하지 않다. 실제 피해 방파제의 활동 상황 대부분이 파상분포(波狀分布)를 나타내고 있으므로 이것을 사행재해(蛇行災害)라 부르고 그 원인의 하나로서 기준선에 따라 파고분포가 서로 달라 작용파력에 영향을 미친 것으로 설명된다[이토(伊藤)와 다니모토(谷本), 1971].

## 설계조건

### [참 고]

제체 굴곡의 영향을 고려한 파력 산정법의 충분한 성과를 얻기 위해서는 조건에 적합한 수리모형실험에 의한 검토가 바람직하나 파력의 증대는 제체의 굴곡에 의한 파고의 증대에 상당히 대응되므로 참고 식 (4.3-76)과 같이 설계계산에 적용하는 파고의 영향 정도를 할증하고 일반적인 산정식에 따라 파력을 산정할 수 있다.

$$H'_D = \min K_c H_D, K_{cb} H_b \quad \text{참고 식 (4.3-76)}$$

여기서,  $H'_D$  : 제체 굴곡의 영향을 고려한 파력의 산정에 쓰이는 파고(m)

$K_c$  : 제체 굴곡의 영향에 의한 파고 증대율( $K_c \geq 1.0$ )

$K_{cb}$  : 쇄파한계파고의 증대율의 한계값( $K_{cb} \approx 1.4$ )

$H_D$  : 제체 굴곡의 영향을 고려하지 않을 때의 파력 산정에 쓰이는 파고(m)

$H_b$  : 진행파로서의 유의파고의 5배 거리의 외해 지점에 있는 쇄파한계파고(m)

참고 식 (4.3-76)의 파고 증대율은 일반적으로 참고 식 (4.3-77)에 의하며, 파가 쇄파되지 않는 조건으로 구한 기준선을 따른 중복파고의 분포에 따라서 적절히 정한다.

$$K_c = H_s / H_I (1 + K_R) \quad \text{참고 식 (4.3-77)}$$

여기서,  $H_s$  : 벽면에서의 파고(m)

$H_I$  : 입사파고(m)

$K_R$  : 방파제의 반사율

이때 규칙파로 계산하면 제체선에 따른 파고 증대율이 현저하게 달라지며, 또한 입사파의 주기나 입사방향에 의해서도 현저한 영향을 받으므로 주기 또는 입사방향의 불규칙성을 고려해서 구하는 것이 합리적이다. 그러나 이와 같이 구한  $K_c$ 의 값은 기준선을 따라 변동하고,  $K_c < 1.0$ 이 되는 범위도 나타난다고 해서 설계에 쓰이는 파고를 이에 따라서 축소해서는 안 된다.

쇄파한계파고  $H_b$ 는 최대파고가 쇄파의 영향을 받는 영역에 직립벽이 있을 때는 쇄파 변형을 고려한 최대파고  $H_{\max}$  [참고 그림 (4.3-24) 참조]를 적용하고, 이것보다 외해쪽에 있을 때에는 규칙파에 의한 쇄파지수를 이용한다.

쇄파한계파고 증대율의 한계값  $K_{cb}$ 에 대하여는 충분한 자료가 없으나 기왕의 실험 결과로 보아 1.4 정도로 고려한다.

## 4.3.9.2.6 수심 급변부에서의 직립벽에 작용하는 파력

암초 등에 의해 수심이 급변하는 장소에 설치되는 직립벽에 작용하는 파력은 파의 현저한 변형을 고려하여 수리모형실험으로 파력을 산정하여야 한다.

## 4.3.9.2.7 쇄파선에서 육지쪽으로 상당한 거리에 있는 직립벽에 작용하는 파력

## (1) 정선(汀線)의 바다쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력

정선 부근의 수심이 얇은 장소에 설치되는 직립벽에 작용하는 파력은 서프비트(Surf beat) 등에 의한 수위변화 영향이나 불규칙파에 의한 복잡한 쇄파를 고려하여 수리모형실험으로 파력을 산정하여야 한다.

## (2) 정선(汀線)의 육지쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력

정선(汀線)의 육지 쪽에 직립벽이 설치되는 경우의 파력은 서프비트(Surf beat)에 의한 수위상승이나 파의 쳐올림 등을 고려하여 수리모형실험으로 산정하여야 한다.

## [해설]

## (1) 정선(汀線)의 바다쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력

특정한 파의 조건으로 일정사면 상에 설치된 직립벽의 설치수심에 따른 파력의 변화를 검토해보면, 일반적으로 진행파의 쇄파점에서 조금 안쪽에 직립벽이 있을 때 최대 파력이 되고 설치수심이 그 보다 얕을수록 파력은 감소한다. 이러한 경향에 의해 어느 정도의 수심을 유지할 때에는 직립벽에서 외해측으로 상당한 거리에 떨어진 지점에서 쇄파하는 큰 파가 쇄파한 후의 파력보다도 직립벽의 조금 외해쪽에서 쇄파되는 것보다 작은 파에 의한 파력이 크다고 생각된다.

파력계산에 이용되는 표준식인 해설 식 (4.3-2)와 해설 식 (4.3-3)은 직립벽의 조금 외해쪽에서 쇄파하는 파에 의한 파력을 계산하는 식이다. 그러나 정선 부근의 수심이 얇은 곳에서는 서프비트(Surf beat) 등에 의한 수위변화에 따라서 쇄파파고가 크게 변하고, 또 그 쇄파력은 해저 경사나 심해파의 파형경사, 혹은 파의 불규칙성에 의해서 크게 변하므로 표준식을 쓰는 것은 적절치 않다. 따라서 조건에 적합한 산정식 혹은 수리모형실험 결과를 이용해서 산정한다. 또한, 표사 현상에 의해서 수심 자체가 변하는 것, 혹은 폭풍해일 등의 영향이 클 경우 이를 고려한다.

## (2) 정선(汀線)의 육지쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력

정선(汀線)의 육지 쪽에 있는 직립벽에도 파력은 작용한다. 이 파력은 서프비트 등에 의한 수위상승이나 파의 쳐오름에 의해서 크게 변하므로 적절한 산정식 혹은 수리모형실험 결과를 이용해서 산정할 필요가 있다. 또 표사 현상에 의해서 정선 부근의 지형이 변하기 쉬운 곳, 혹은 폭풍해일 등의 영향을 크게 받는 경우 이들을 고려해야 한다.

[참 고]

- (1) 정선(汀線)의 바다쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력  
 몇 개의 파력식이 제안되고 있으나 조건에 따라 적절한 파력을 산정할 필요가 있다.  
 표준식을 수심이 환산심해파고의 0.5배 정도 이하의 지점에 적용하는 경우에는 계산에  
 쓰이는 파장, 파고 모두 환산심해파고의 0.5배 수심에서의 값으로 하는 것이 적당하다.
- (2) 정선(汀線)의 육지쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력  
 미육군공병단의 해안공학연구센터의 식(C.E.M., 2006), 또는 기타 수리모형실험 결과  
 등을 참고한다.

4.3.9.2.8 상부사면(上部斜面) 케이슨제에 작용하는 파력

상부사면 케이슨제에 작용하는 파력은 조건에 따라 다르므로 수리모형실험 또는  
 해당 조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.

[참 고]

- (1) 상부사면 케이슨제의 파력산정식  
 상부사면 케이슨제에 작용하는 파력은 조건에 맞는 모형실험결과에 의거하여 산정해야  
 한다. 단, 이것을 적용시키는 것이 곤란한 경우에는 다음 산정식을 사용할 수 있다  
 [참고 그림 (4.3-47) 참조].

$$F_X = F_{SH} + F_V = \lambda'_{SL} F_1 \sin^2 \alpha + \lambda_V F_2$$

$$F_Z = -F_{SV} + F_U = -\lambda'_{SL} F_1 \sin \alpha \cos \alpha + 0.5 p_u B$$

$$\lambda'_{SL} = \min [\max \{1.0, -23(H/L) \tan^{-2} \alpha + 0.46 \tan^{-2} \alpha + \sin^{-2} \alpha\}, \sin^{-2} \alpha]$$

$$\lambda_V = \min [1.0, \max \{1.1, 1.1 + 11 d_c / L\} - 5.0(H/L)]$$

여기서,  $F_X$  : 상부사면제에 작용하는 전 수평파력(全 水平波力) (kN/m)

$F_Z$  : 상부사면제에 작용하는 전 연직파력(全 鉛直波力) (kN/m)

$F_{SH}$  : 사면부에 작용하는 파력의 수평성분 (kN/m)

$F_{SV}$  : 사면부에 작용하는 파력의 연직성분 (위쪽을 향하는 것이 양(陽)임) (kN/m)

$F_V$  : 직립부에 작용하는 파력 (kN/m)

$F_U$  : 저면에 작용하는 양압력 (kN/m)

$F_1$  : Goda식으로 산정되는 직립벽에 작용하는 수평파력 중 사면부에 대응하는 부분 (kN/m)

$F_2$  : Goda식으로 산정되는 직립벽에 작용하는 수평파력 중 직립부에 대응하는 부분 (kN/m)

$\lambda'_{SL}$  : 사면부에 작용하는 파력의 보정계수

$\lambda_V$  : 직립부에 작용하는 파력의 보정계수

$\alpha$  : 사면부의 각도 (°)

$p_u$  : Goda식으로 계산되는 통상 케이슨의 전지(前趾) 양압력 (kN/m<sup>2</sup>)

$B$  : 상부사면제의 케이슨 폭 (m)



$H$  : 파고 (m)

$L$  : 파장 (m)

$d_c$  : 정수면에서 사면 하단까지의 높이 (정수면보다 위에 있는 경우를 양(陽)으로 함) (m)

$\lambda'_{SL}$ 은 다음과 같은 3가지 영역으로 정의된다.

(a)  $H/L$ 이 비교적 작을 때

$$\lambda'_{SL} = \sin \alpha, \quad \text{즉} \quad F_{SH} = F_1, \quad F_{SV} = F_1 \cdot \tan^{-1} \alpha$$

(b)  $H/L$ 이 클 때

$$\lambda'_{SL} = 1.0, \quad \text{즉} \quad F_{SH} = F_1 \cdot \sin^2 \alpha, \quad F_{SV} = F_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

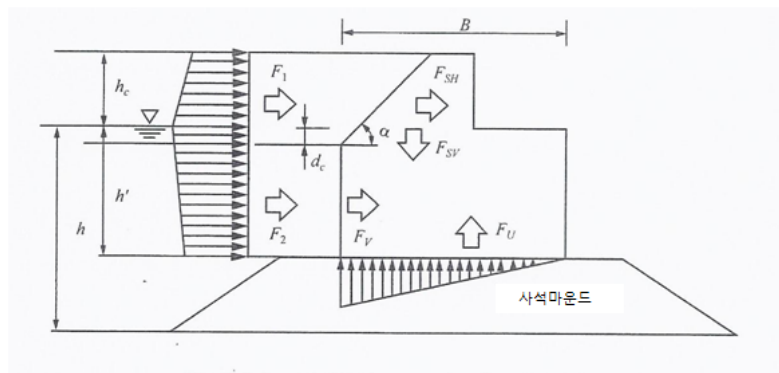
(c)  $H/L$ 이 (a)와 (b)의 중간일 때

$H/L$ 이 커짐에 따라,  $\lambda'_{SL}$ 은 감소한다.

그리고  $\lambda_V$ 에 대해서는  $H/L$ 이 비교적 작을 때는  $\lambda_V=1.0$  이고,  $H/L$ 이 커짐에 따라  $\lambda_V$ 는 감소한다. 단, 이 파력산정법은 외해에 면한 비교적 수심이 깊고 설계파주기가 긴 경우를 대상으로 한 것으로  $\lambda_V$  값은 0.75 정도를 하한선으로 해야 한다. 또한 이 산정법이 제안되기 이전에는 간편한 방법으로  $\lambda'_{SL}=\lambda_V=1.0$  으로 계산되었다. 이 경우,  $H/L$ 이 비교적 작을 때 이외에는 거의 안전값이 된다.

(2) 소파블록으로 피복된 상부사면 케이슨체에 작용하는 파력

소파블록피복 상부사면 케이슨체에 작용하는 파력에 관해서는 사토 등(1992)의 연구를 참조할 수 있다. 또한 사면부 하단이 수면하에 있는 반 수몰형의 경우, 카타야마 등(1998)이 파력산정식을 제안하고 있다.



참고 그림 (4.3-47) 상부사면 케이슨체에 작용하는 파력

## 설계조건

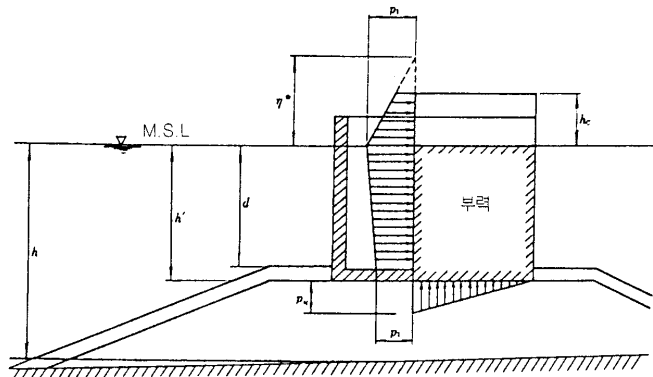
### 4.3.9.2.9 직립 소파케이슨에 작용하는 파력

직립 소파케이슨에 작용하는 파력은 소파부의 구조에 따라 다르므로 수리모형실험 또는 해당 조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.

## [참 고]

### (1) 유수실(遊水室)에 덮개판이 없을 때 안전성의 검토에 쓰이는 파력

직립 소파케이슨에 작용하는 파력은 소파부의 구조 조건에 따라서 다르므로 일반적으로 규정할 수는 없다. 그러나 안전성의 검토에 쓰이는 파력에 있어서는 다음과 같이 Goda식(1973)을 보정해서 사용해도 좋다[참고 그림 (4.3-48) 참조].



참고 그림 (4.3-48) 안전성의 검토에 쓰이는 파압 분포(유수실의 덮개판이 없는 경우)

소파부를 무시한 케이슨 본체에 파압이 작용하는 것으로 하고 해설 식 (4.3-2)의  $\eta^*$ 와  $p_1$ , 그리고 해설 식 (4.3-3)의  $p_u$  대신에 참고 식 (4.3-78)의  $\eta^*$ , 참고 식 (4.3-79)의  $p_1$ , 참고 식 (4.3-80)의  $p_u$ 를 각각 써서 파력을 산정한다.

이때의 부력은 소파부에 대해서는 전체, 케이슨 본체에 대해서는 정수시의 배수 체적에 대해서만 고려한다.

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos\beta)\lambda_1 H_D \quad \text{참고 식 (4.3-78)}$$

$$p_1 = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta)(\alpha_1 + \lambda_2 \alpha_2 \cos^2\beta)\lambda_1 \rho_o g H_D \quad \text{참고 식 (4.3-79)}$$

$$p_u = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta)(\lambda_1 \alpha_1 \alpha_3 \rho_o g H_D) \quad \text{참고 식 (4.3-80)}$$

여기서,  $\eta^*$  : 정수면상에서 파압 강도가 0이 되는 점까지의 높이(m)

$p_1$  : 정수면에서의 파압 강도(kN/m<sup>2</sup>)

$p_u$  : 소파부를 제외한 케이슨 본체부의 저면 전단에서의 양압력 강도(kN/m<sup>2</sup>)

$\beta$  : 파의 주방향에서 직립벽에 직각이 되는 방향으로  $15^\circ$ 만큼 회전시킨 방향이  
직립벽에 직각인 선과 이루는 각도( $^\circ$ )[해설 그림 (4.3-2) 참조]

$\lambda_1, \lambda_2$  : 직립 소파케이슨의 구조에 따른 파압의 보정계수

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  : 해설 식 (4.3-2)에 의한 계수

$\rho_o$  : 해수의 밀도( $\approx 1.03 \text{ kg.s}^2/\text{m}^4$ )

$g$  : 중력가속도( $\approx 9.8 \text{ m/s}^2$ )

$H_D$  : 설계계산에 쓰이는 파고, 최대파고(m)  $H_{\max}$

보정계수  $\lambda_1, \lambda_2$ 는 구조조건 등에 의해 적절히 정할 필요가 있다. 예를 들면, 곡면 슬릿 케이슨 외에 다공 케이슨, 중 슬릿 케이슨에서는 평균적으로  $\lambda_1 = 1.0, \lambda_2 = 0$ 으로 한다(다니모토(谷本) 등, 1980; 1981).

## (2) 유수실에 덮개판이 있는 경우의 안정성 검토에 쓰이는 파력

유수실 상부(上部)가 덮개판에 의해 막혀져 있는 경우는 파의 작용에 의해 상부에 공기층이 가두어지는 순간에 충격압이 발생하므로 특히 부재의 설계에 쓰이는 파력에는 이를 고려해야 한다. 이 충격압은 적당한 공기공을 설치함으로써 저감되는데 개구부가 너무 크면 파면이 직접 작용하게 되므로 파력이 오히려 크게 되는 수가 있으므로 주의가 필요하다.

### 4.3.9.2.10 경사제 또는 경사구조물의 체체에 작용하는 총파력

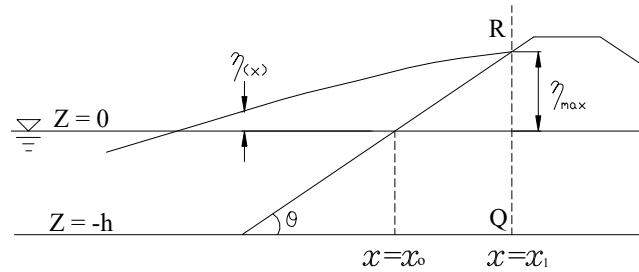
경사제 또는 경사면을 가지는 투과성 구조물의 체체에 작용하는 파력은 체체 전면의 유의파고가 동일하더라도 쇄파영역 또는 비쇄파영역, 체체 전면의 해저경사, 체체 사면의 경사, 체체 사면의 형상, 체체의 투과성, 월파 또는 비월파 등에 따라 다르므로 수리모형실험 또는 해당 조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.

## [참 고]

수리모형실험에서 경사면을 가지는 투과성 체체의 사면에서 측정한 파압을 사면에 따라 적분한 값은 체체 전체에 작용하는 파력을 하중측정기로 직접 측정한 값과 매우 근사하게 일치하므로[이달수 등 2003(a), 2003(b); Lee 등(2004)], 파력이 최대가 되는 순간의 사면파압분포를 예측할 수 있으면 체체에 작용하는 총파력을 산정할 수 있다. 참고 그림 (4.3-49) 및 참고 식 (4.3-81)은 경사제 사면의 단면형상이 단순한 경우에 체체에 작용하는 파력이 최대가 되는 순간의 사면파압분포를 수리모형실험의 결과와 매우 근사하게 예측하므로 총파력 산정에 이용될 수 있는 간략이론이다[이달수 등 2003(a), 2004(a), 2004(b)].

## 설계조건

### (1) 사면상의 수면파형 간략이론식



참고 그림 (4.3-49) 사면상의 부분 중첩파형(이달수 등, 2002; Goda(合田) 등, 2004)

참고 그림 (4.3-49)에서와 같이 사면에서 처오름이 도달하는 최고 위치에 반사계수가 경사제의 반사계수와 동일한 연직평면  $\overline{RQ}$ 가 존재한다고 가상하여 처오름이 최대가 되는 순간의 사면상의 수면파형을 참고 식 (4.3-81)과 같이 가상 연직평면의 전면에서 형성되는 규칙파의 부분 중첩파형으로 간략하게 표현한다.

$$\eta(x) = \frac{1}{2} H_{\max} \sqrt{1 + 2K_R \cos 2k(x - x_1) + K_R^2} \quad \text{참고 식 (4.3-81)}$$

여기서,  $\eta(x)$  : 정지수면으로부터의 수위(m)

$H_{\max}$  :  $1.8 H_{1/3}$  :  $H_{1/3} \leq h/2$

$H_{\max}$  :  $0.9h$  :  $H_{1/3} \geq h/2$

$H_{\max}$  : 경사제 전면에서의 최대 입사파고(m)

$h$  : 정지수면 하의 수심(m)

$H_{1/3}$  : 경사제 전면에서의 설계 유의파고(m)

$K_R$  : 설계 유의파 주기의 규칙파에 대한 제체의 반사계수

$k$  : 파수(  $\doteq 2\pi/L$  )

$L$  : 경사제 전면에서의 설계 유의파의 파장(m)

$x$  : 수평좌표축(m)

$x_1$  : 가상의 연직평면  $\overline{RQ}$ 의 위치(m)

$x_1$  값은 다음 참고 식 (4.3-82)로 결정한다.

$$x_1 = x_0 + \eta_{\max} \cot \theta \quad \text{참고 식 (4.3-82)}$$

$$\eta_{\max} = \frac{1}{2} (1 + K_R) H_{\max} \quad \text{참고 식 (4.3-83)}$$

여기서,  $\eta_{\max}$  : 경사제의 사면에서 간략이론식에 의한 처오름높이(m)

$x_0$  : 경사제의 사면과 정지수면이 만나는 점의  $X$ 축의 좌표(m)

$\theta$  : 경사제의 사면이 수평면과 이루는 각( $^\circ$ )

## (2) 처오름 최대 시 사면상의 파압분포

$$p(x, z) = \rho_0 g [\eta(x) - z] = \rho_0 g [\eta(x) - (x - x_0) \tan \theta] \quad : 0 \leq z \leq \eta_{\max} \quad \text{참고 식 (4.3-84)}$$

$$p(x, z) = \rho_0 g \eta(x) \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad : -h \leq z \leq 0 \quad \text{참고 식 (4.3-85)}$$

여기서,  $h$  : 경사제 전면에서의 수심(m)

$z$  : 연직좌표축(m)

$p$  : 경사제의 사면에 작용하는 파압강도(kN/m<sup>2</sup>)

$\rho_0$  : 해수의 밀도(t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 중력가속도(m/s<sup>2</sup>)

참고 식 (4.3-81)로 계산한 처오름 높이는 사면에서 실제 발생하는 처오름 높이보다 매우 작기 때문에 참고 식 (4.3-84) 및 참고 식 (4.3-85)는 총파력의 크기를 추산하는 과정의 파압식으로는 사용할 수 있으나 파력이 최대가 되는 순간이라 할지라도 정지 수면으로부터 상방향으로 이격이 큰 사면상의 임의의 위치에 작용하는 파압의 크기를 파악할 목적으로는 사용할 수 없다.

## (3) 총파력의 수평 및 연직분력

제체에 작용하는 총파력의 수평 및 연직분력은 각각 참고 식 (4.3-86) 및 참고 식 (4.3-87)로 계산한다.

$$F_H = \sin \theta \int_{-h}^{\eta_{\max}} p(x, z) ds = \int_{-h}^{\eta_{\max}} p(x, z) dz \quad \text{참고 식 (4.3-86)}$$

$$F_V = \cos \theta \int_{-h}^{\eta_{\max}} p(x, z) ds = \cot \theta \int_{-h}^{\eta_{\max}} p(x, z) dz \quad \text{참고 식 (4.3-87)}$$

여기서,  $F_H$  : 경사제의 길이 1m당 작용하는 총파력의 수평분력(kN/m)

$F_V$  : 경사제의 길이 1m당 작용하는 총파력의 연직하향분력(kN/m)

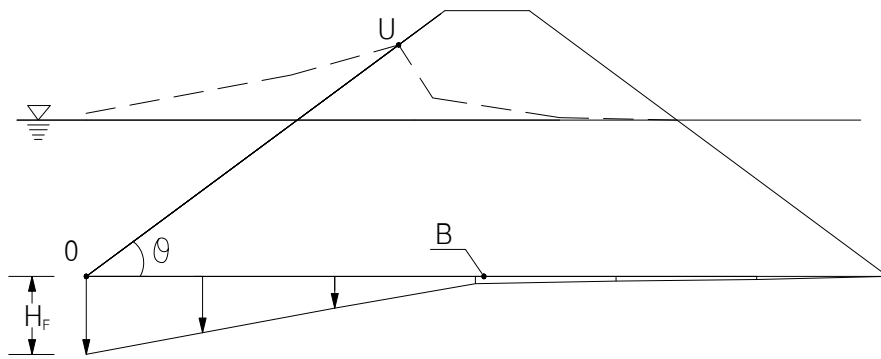
$ds$  : 경사제 사면의 미소 길이(m)

전달변형 및 비쇄파 영역을 대상으로 한 비월파 규칙과 조건에서 간략이론은 수리모형실험과 비교할 때에 적절한 반사계수값을 사용하면 총파력을 사면경사가 1:1.5인 경우에는 매우 근사하게 예측하며 사면경사가 1:2인 경우에는 실제보다 더 크게 예측한다. 쇄파영역에서는 유의파고에 대한 최대파고의 비가 비쇄파 영역에 비하여 작다는 사실에 착안할 때 쇄파영역에서도 참고 식 (4.3-81)에서 정의된  $H_{\max}$ 를 그대로 사용한다면 이 간략이론으로 예측된 총파력은 안전측의 결과가 될 것이다. 또한 이 간략이론은 비월파의 경우에 작성된 것이므로 월파의 경우에는 더 안전측의 결과를 낸다.

## 설계조건

### (4) 연직하향파력의 수평분포

파력으로 인한 제체 하부지반으로의 영향과 관련하여 제체 하부로 전달되는 반복하중의 크기를 알고자 할 경우 또는 연약지반을 개량할 때 제체로부터 하부로 전달되는 반복하중의 크기를 알고자 하는 경우에는 참고 그림 (4.3-50)에 보인 연직하향파력의 수평분포를 참고할 수 있다. 이 연직하향파력의 수평분포 형상은 제체의 저면에서 파에 의한 동하중을 직접 계측한 별도의 수리모형실험을 통해 파악한 연직하향파력의 분포형상을 모사한 결과이다. 이 때 연직하향파력 분포삼각형의 높이  $H_F$  및 밑변  $\overline{OB}$ 의 크기는 각각 참고 식 (4.3-88) 및 참고 식 (4.3-89)로 계산한다.



참고 그림 (4.3-50) 파력이 최대일 때 제체의 하부로 전달되는 연직하향파력의 수평분포

$$H_F = \frac{2F_V}{\overline{OB}} \quad \text{참고 식 (4.3-88)}$$

$$\overline{OB} \simeq \overline{OU} = \frac{h + n_{\max}}{\sin \theta} \quad \text{참고 식 (4.3-89)}$$

여기서,  $H_F$  : 경사제의 길이 1m당 지반에 전달되는 연직하향파력 분포삼각형의 높이(kN/m)

$F_V$  : 경사제의 길이 1m당 작용하는 총파력의 연직하향분력(kN/m)

$\overline{OB}$  : 제체의 하부로 전달되는 연직하향파력 분포삼각형 밑변의 길이(m)

$\overline{OU}$  : 경사제 사면의 하부로부터 간략이론 처오름 높이까지의 사면의 길이(m)

$n_{\max}$  : 경사제의 사면에서 간략이론식에 의한 처오름 높이(m)

### (5) 반사계수 $K_R$ 값의 추정

이 간략이론을 사용하려면 참고 식 (4.3-81)에 포함된 설계 유의파 주기의 규칙파에 대한 제체의 반사계수  $K_R$ 의 값이 필요하다.  $K_R$ 의 값은 수리모형실험에서 직접 구하거나 참고 식 (4.3-90)을 이용하여 등가의 반사계수  $K_R^*$ 의 값을 간접적으로 계산하여 사용한다.

$$K_R^* = \frac{2n_{\max}^*}{\alpha H_{\max}} - 1$$

참고 식 (4.3-90)

여기서,  $K_R^*$  : 등가의 반사계수

$n_{\max}^*$  : 주기가 설계 유의파 주기인 규칙파의 파고  $H_{\max}$ 에 의한 사면상의 실제  
처오름높이(m)로서 수리모형실험에서 측정하거나 이 기준 4.3 파랑 및 파력  
(4.3.6.1 처오름 높이)에서  $H_{\max}$ 에 대응하는 처오름 높이를 구하여 사용한다.

$H_{\max}$  : 경사제 전면에서의 최대 입사파고(m)

$\alpha$  : 처오름높이 보정계수(실제 처오름높이/참고 식 (4.3-83)의 간략이론 처오름  
높이)로서 참고 표 (4.3-14)에 제시된 값들을 사용한다.

참고 표 (4.3-14) 처오름높이 보정계수( $\alpha$ )

사면경사	1 : 1.5	1 : 2	비 고
$\alpha$	1.9	1.6	피복재 : 사석, 테트라포드

#### 4.3.9.3 수중부재에 작용하는 파력

수중부재에 작용하는 파력은 수리모형실험 또는 설계조건에 부합하는 적합한 산정식  
으로 산정하여야 한다.

#### [해설]

수중부재에 작용하는 파력은 수리모형실험 또는 다음 식에 의해 산정하는 것을 표준으로  
한다[모리슨(Morison, 1950)].

$$\vec{f}_n = C_D \frac{\rho_o}{2} D \vec{U}_n |\vec{U}_n| \Delta s + C_M \rho_o A \vec{\alpha}_n \Delta s$$

해설 식 (4.3-4)

여기서,  $\vec{f}_n$  : 부재의 축방향의 미소 길이  $\Delta s$ (m)에 작용하는 부재축과 수립자 운동방향  
(水粒子 運動方向)의 공통면에서 부재축에 직각방향의 힘(kN)

$\vec{U}_n, \vec{\alpha}_n$  : 부재축과 수립자 운동방향의 공통면에서 부재축 직각방향( $f_n$ 과 같은 방향)의  
수립자 속도 성분(m/s) 및 가속도 성분(m/s<sup>2</sup>)

$|\vec{U}_n|$  :  $\vec{U}_n$ 의 절대값(m/s)

$C_D$  : 항력계수

$C_M$  : 관성력계수

$D$  :  $\vec{f}_n$ 의 방향에서 본 부재축 직각방향의 부재 폭(m)

$A$  : 부재축에 수직한 부재 단면적(m<sup>2</sup>)

$\rho_o$  : 해수의 밀도(t/m<sup>3</sup>) (보통 1.03t/cm<sup>3</sup>)

## [참 고]

(1) 물체를 대표하는 길이( $D$ )

직주(直柱)의 예를 들면 직경과 입사파장  $L$  과의 비가 작으면 물체에 의한 파랑의 변형은 거의 무시할 수 있다. 통상  $D/L < 0.2$  인 경우 본 절에 기술된 것이 적용되며, 이보다 큰 물체는 입사파랑을 상당히 변형시키게 되므로 달리 취급한다.

## (2) 수중 부재에 작용하는 파력 산정식

수중 말뚝과 같이 그 직경이 파장에 비해 작아서 파의 진행을 거의 저지하지 않는 구조물에 작용하는 파력은 수립자 속도의 제곱에 비례하는 항력과 가속도에 비례하는 관성력의 합으로 구한다. 해설 식 (4.3-4)는 직주(直柱)에 대해서 모리슨 등(Morison et al., 1950)이 표시한 산정식을 임의 방향 부재의 미소 길이  $\Delta s$ 의 구간에 작용하는 파력으로 일반화하여 표현한 것이며, 우변의 제1항은 항력, 제2항은 관성력이다.

식 중에서 수립자의 속도 성분  $\overrightarrow{U_n}$ , 가속도 성분  $\overrightarrow{a_n}$ 은 시간과 위치에 따라 변하는 양이므로 그 변화에 주의해서 부재 또는 구조물에 가장 심하게 작용하는 파력의 분포를 검토한다.

## (3) 수립자의 속도 성분과 가속도 성분

해설 식 (4.3-4) 중의  $\overrightarrow{U_n}$ ,  $\overrightarrow{a_n}$ 은 구조물이 없다고 간주한 투명한 구조물의 중심축에서 수립자 운동의 부재축에 대한 직각방향 성분이다. 파력의 산정은 실험값과 이론값에 의해 되도록 정확하게 한다.

특히, 수립자의 속도 성분은 파력에 제곱으로 기여하기 때문에 파고가 큰 경우에는 미소진폭과 이론에 의한 근사값으로는 불충분하다. 또, 부재가 수면 상에 있는 경우에는 파력의 작용범위, 즉 파봉고에 대해서도 충분히 고려한다.

이들을 이론값으로 구할 때에는 유한진폭과 이론으로 하는 것이 바람직하다. 그러나 파력의 산정에 쓰이는 파고, 주기는 파의 불규칙성을 충분히 고려해서 부재 또는 구조물에서 가장 위험한 제원을 대상으로 하고, 주기는 유의파 주기를 사용한다.

## (4) 항력계수

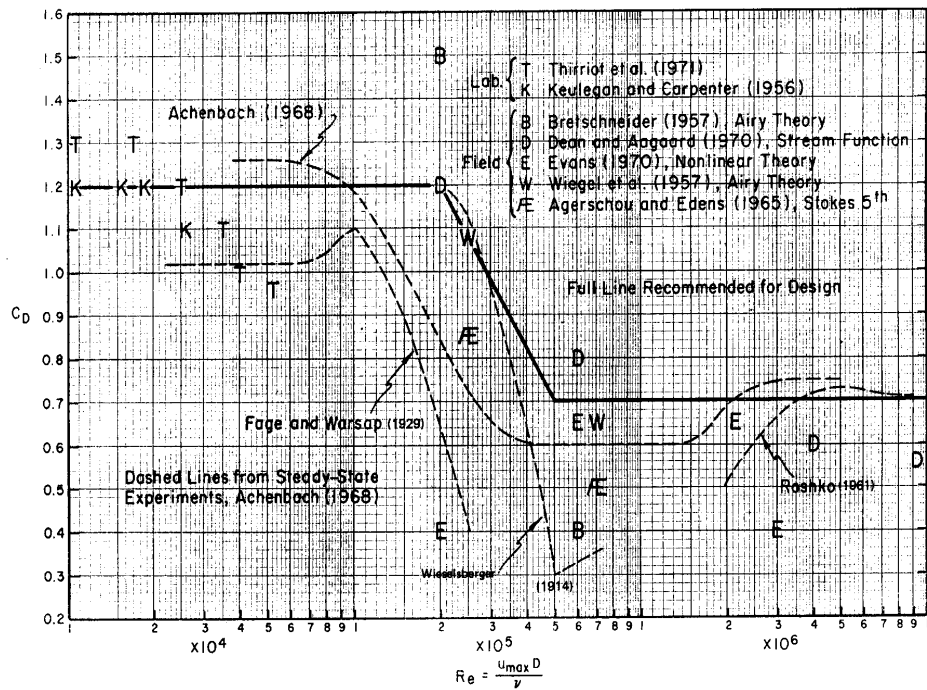
항력계수  $C_D$ 는 일반적으로 정상류(定常流)에서의 항력계수의 값을 이용해도 좋으나, 부재의 형상, 조도(粗度)( $K$ ), 레이놀즈수( $R_e$ ), 인접 부재와의 간격, 그리고 쿨리간-카펜터수(Keulegan-Carpenter,  $KC$ , 1958)에 의해서 변화하므로 이를 고려해서 결정하여야 한다. 쿨리간-카펜터수와 레이놀즈수에 대한 식은 참고 식 (4.3-91)로 정의된다.

$$\begin{cases} R_e = \frac{|\overrightarrow{U_n}| D}{\nu} \\ KC = \frac{|\overrightarrow{U_n}| T}{D} \end{cases} \quad \text{참고 식 (4.3-91)}$$

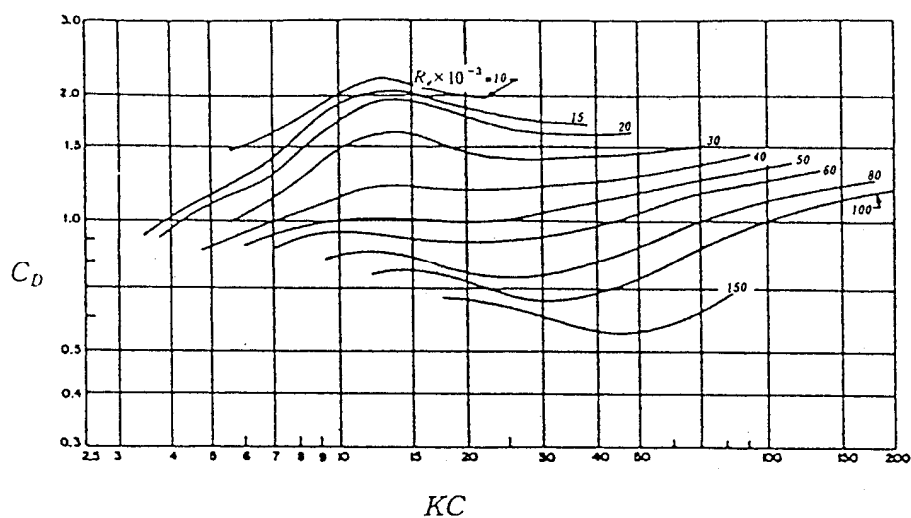
여기서,  $\nu$  : 물의 동점성계수 ( $1.25 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $20^\circ\text{C}$ 에서)  
 $T$  : 파의 주기(s)



항력계수는 미육군공병단편람(Shore Protection Manual, 1984)에 제시된 참고 그림 (4.3-51)로부터 정하거나 참고 그림 (4.3-52)로부터 구할 수 있다. 항력계수는 표면의 조도가 크면 증가되며 조도에 따른 항력계수는 참고 그림 (4.3-53)을 사용하여 정한다. 그러나 참고 그림 (4.3-52)와 참고 그림 (4.3-53)의 항력계수는 수리모형실험의 결과이므로 모형의 축척 효과를 감안하여 결정한다.



참고 그림 (4.3-51) 항력계수(shore protection manual, 1984)



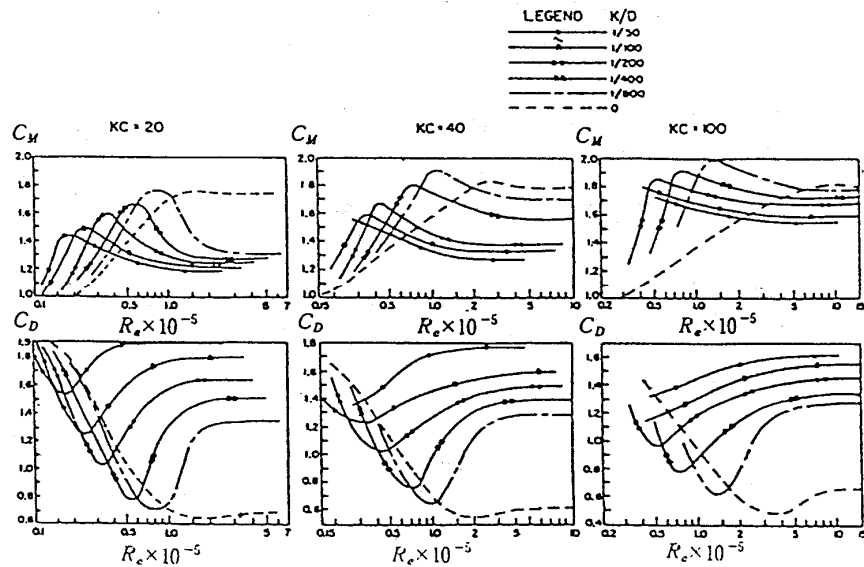
참고 그림 (4.3-52) 매끄러운 직주에 대한 항력계수(Sarpkaya, 1975)

## 설계조건

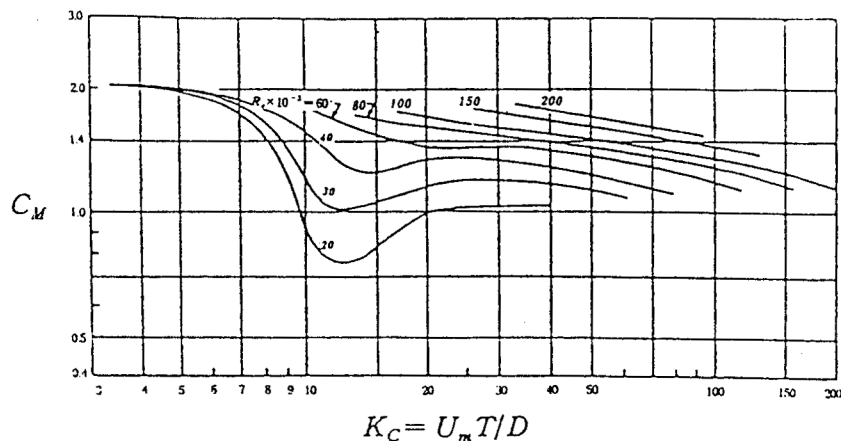
### (5) 관성력계수

관성력계수  $C_M$ 은 미소진폭과 이론에 의한 값을 써도 좋으나 부재의 형상 외에 레이놀즈수,  $KC$ 수, 조도( $K$ ), 인접부재와의 간격 등에 의해서 달라지므로 조건에 따라서 적절한 값을 결정해야 한다. 한 개의 원주 부재에 대해서는 미육군공병단편람(Shore Protection Manual, 1984)에 제시된 참고 식 (4.3-92)를 사용하거나, 참고 그림 (4.3-53) 또는 참고 그림 (4.3-54)을 사용하여 정한다.

$$C_M = \begin{cases} 2.0, & R_e < 2.5 \times 10^5 \\ 2.5 - \frac{R_e}{5 \times 10^5}, & 2.5 \times 10^5 < R_e < 5 \times 10^5 \\ 1.5, & R_e > 5 \times 10^5 \end{cases} \quad \text{참고 식 (4.3-92)}$$



참고 그림 (4.3-53) 항력 및 질량계수에 대한 조도 영향(Sarpkaya, 1976)



참고 그림 (4.3-54) 매끄러운 직주에 대한 질량계수(Sarpkaya, 1975)

## (6) 다수 부재로 구성된 구조물

직주, 사재(斜材) 및 수평재(水平材) 등으로 구성된 구조물 전체에 작용하는 파력은 각 부재에 작용하는 파력의 위상 차이를 고려해서 해설 식 (4.3-4)로 산정하고 이들 벡터의 합을 합성하여 구한다. 다수 부재로 구성된 구조물은 부재의 1개소가 파괴되면 전체가 파괴될 위험이 있으므로 특히 개개의 부재 및 구조물 전체에서 가장 심한 파력의 분포를 고려한다.

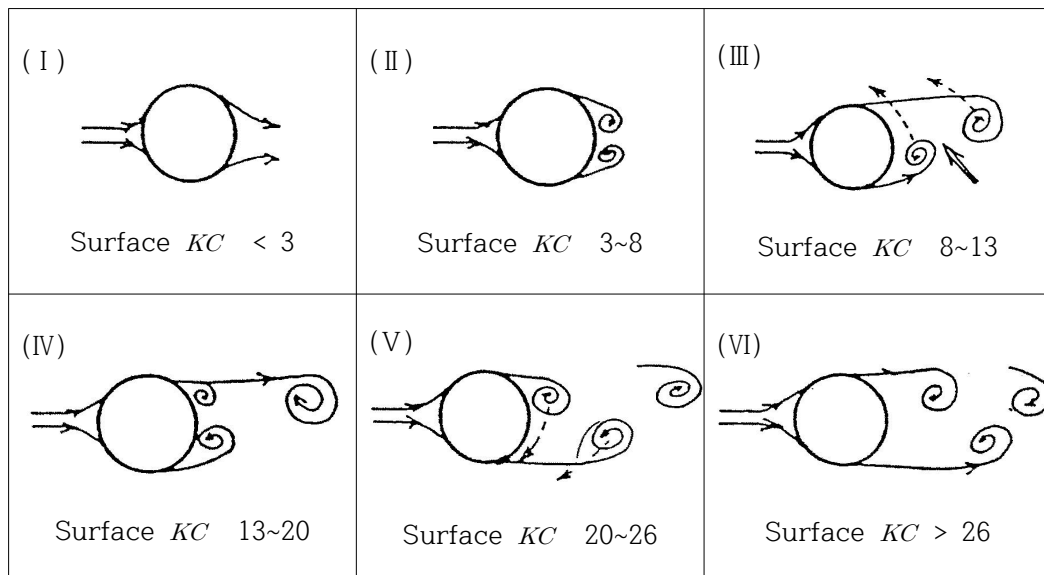
## (7) 쇄파가 작용할 때의 파력

급경사 해저면 상의 구조물에 쇄파가 작용할 때는 해설 식 (4.3-4)에서 주어지는 항력 및 관성력 외에 직립벽에 작용하는 충격쇄파압과 유사한 충격성의 파력이 작용할 때가 있다.

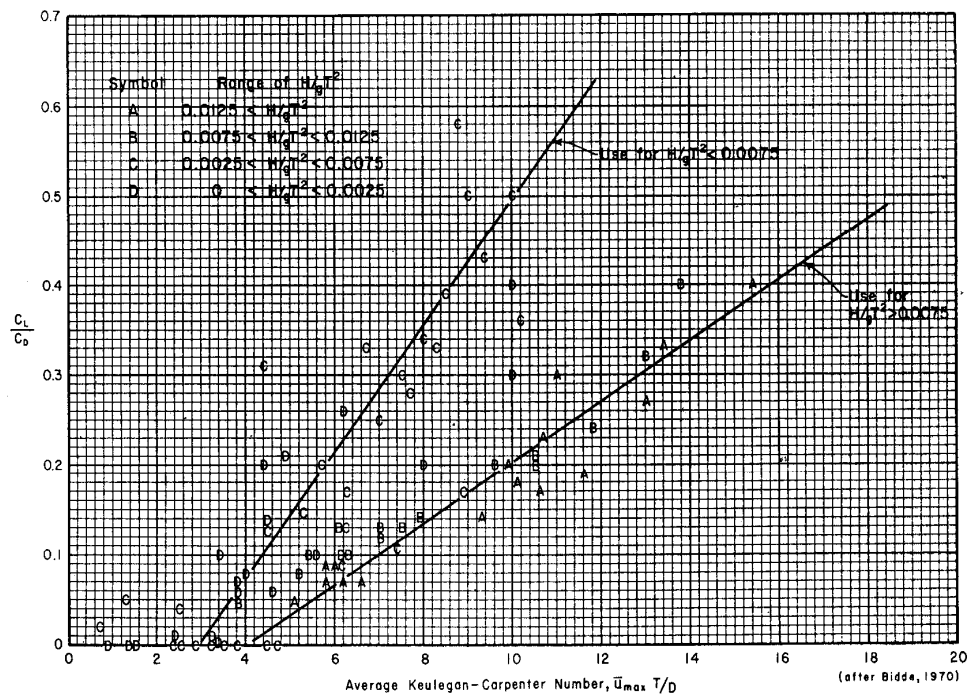
이와 같은 충격적인 외력에 대해서는 구조물의 응답 특성이 지배적인 영향 요소가 되기 때문에 파력 산정만이 아니고 파력에 의한 구조물 전체, 나아가서는 부재의 거동을 포함한 검토가 필요하다.

## (8) 양력

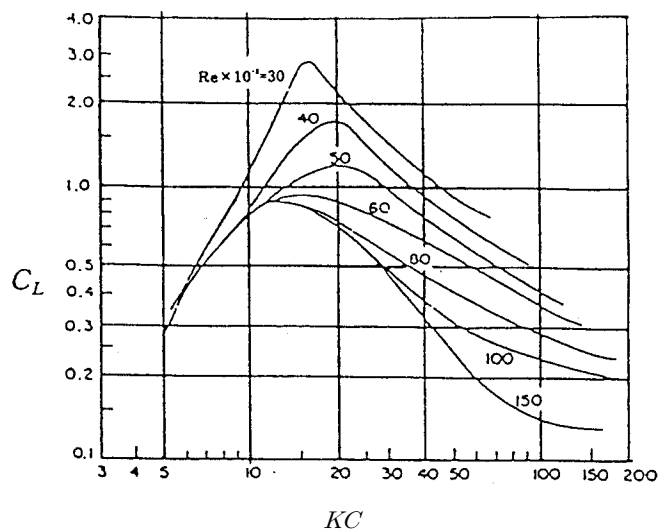
수중 부재에 작용하는 파력은 해설 식 (4.3-4)에 의한 항력과 관성력 외에 부재축과 수립자 운동 방향의 공통면에 수직한 방향으로 양력이 작용한다. 양력은 참고 그림 (4.3-55)에서와 같이 파랑에 의한 소용돌이에 의해 생성된다. 쿨리간-카펜터수가 3보다 크면 소용돌이가 생성되며 5보다 크면 생성된 소용돌이가 비대칭이 되어, 이에 따른 비대칭의 압력으로 인해 양력이 생긴다. 양력계수는 참고 그림 (4.3-56)으로부터 정하거나 참고 그림 (4.3-57)로부터 구할 수 있다. 또한 가늘고 긴 부재에 대해서는 양력에 의한 진동이 고유진동과 같으면 공진으로 인해 진동이 크게 증폭되므로 주의해야 한다.



참고 그림 (4.3-55) 파랑에 의한 소용돌이 생성



참고 그림 (4.3-56) 양력계수와 질량계수의 비(Shore Protection Manual, 1984)



참고 그림 (4.3-57) 매끄러운 직주에 대한 양력계수(Sarpkaya, 1975)

### (9) 파와의 공진현상(共振現象)과 불규칙 파력

구조물의 강성이 낮고 고유진동주기가 길게 될 경우에는 주기적으로 작용하는 파력에 대한 동적응답의 영향을 고려한다. 이 경우의 파력은 해설 식 (4.3-4)에서  $\vec{U}_n$ ,  $\vec{a}_n$ 의 시간적 변화에 대해서 구하면 된다.

불규칙 파랑에 대한 파력을 구하는 것은 파봉(波峰)의 높이, 항력계수 등을 적절히 정하여 미소진폭과 이론에 의한 수립자 운동성분을 산정한다.

## 4.3.9.4 부체에 작용하는 파력

부체, 수중에 설치되는 대형 고립 구조물에 작용하는 파력은 구조물의 크기, 단면형상 등에 따라 크게 변하므로 수치계산 또는 수리모형실험 등으로 산정하여야 한다.

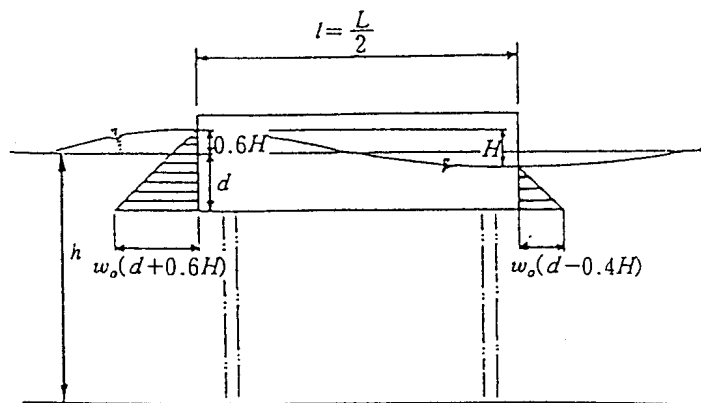
## [참 고]

(1) 파장보다 큰 대형의 고립 구조물에 작용하는 파력은 보통 항력이 무시되기 때문에 속도 포텐셜(Velocity potential)을 이용해서 산정할 수가 있다. 단순한 형상의 구조물에서는 해석적인 개략식으로 파력을 정할 수 있으나 구조물이 복잡하면 경계적분요소법이나 유한요소법에 의한 수치계산법으로 구조물에 가해지는 파력을 계산하여야 한다. 그러나 쇄파력 등은 수리모형실험 등에서 산정한다.

(2) 수면 부근에 떠있는 물체에 작용하는 파력

## ① 물체가 고정된 경우

파장에 비해서 물체의 직경이 커지면 항력은 무시할 정도로 작아 파력 참고 식 (4.3-93)은 질량력으로만 표시할 수 있다. 참고 그림 (4.3-58)과 같은 기증기선 등과 같이 폰툰(Pontoon)형 물체에 작용하는 전·후면의 압력을 계산하여 물체에 가해지는 힘을 구하게 된다.



참고 그림 (4.3-58) 폰툰형 선박에 작용하는 파력

이와 같이 하면 폰툰형의 선박 길이가 파장의 1/2인 때에 최대의 파력이 생긴다. 가장 간단한 예로, 폰툰형 선박에 의한 파랑의 산란을 무시하고 선박의 앞면에 파봉이 있어 정수면에서  $0.6H$ 의 높이까지 수면이 상승하고, 후면에는 파곡이 있어 정수면 아래  $0.4H$ 의 깊이까지 수면이 하강한 상태를 생각하면 그 파력은 참고 식 (4.3-93)으로 구해진다.

## 설계조건

$$P = \frac{1}{2} \rho_o g B \{ (0.6H + d)^2 - (d - 0.4H)^2 \} \approx \rho_o g H B d \quad \text{참고 식 (4.3-93)}$$

여기서,  $P$  : 폰툰형 선박에 작용하는 파력(kN)  
 $\rho_o$  : 해수의 밀도(보통 1.03 t/m<sup>3</sup>)  
 $H$  : 파고(m)  
 $B$  : 폰툰형 선박의 폭(m)  
 $d$  : 폰툰형 선박의 흘수(m)

단, 폰툰형 선박의 폭이 넓은 경우에는 그 앞면에서 산란파에 의한 파랑이 중복되어 수면이 높아지므로 참고 식 (4.3-93)으로 구해지는 값보다도 20~30% 더 커지게 된다. 보다 엄밀한 파력은 속도포텐셜( $\phi$ )로 표시되는 적분방정식으로부터 계산된다.

### ② 다소 이동이 허용되는 경우

부유방파제 등과 같이 부체가 계류라인으로 계류되어 있을 때에 작용하는 파력에 관해서는 몇 개의 수리모형실험을 했을 뿐 별로 잘 알려져 있지 않다. 따라서 될 수 있는 대로 수리모형실험으로 작용하는 파력을 검토할 필요가 있다. 또한 부체를 계류하는 경우는 (부체+계류밧줄)의 고유주기가 짧으면 파랑에 의해서 공진이 일어나는 수도 있으므로 이 점을 검토한다.

## 4.3.9.5 수면 부근의 구조물에 작용하는 파력

### (1) 수면 부근의 수평판에 작용하는 양압력

수면 부근의 수평판 저면에는 해상조건이나 구조물의 형상에 따라 충격적인 파력이 작용하는 경우가 있으므로 이러한 경우에는 수리모형실험 등과 같은 방법으로 충격적인 양압력을 산정하여야 한다.

### [해설]

잔교의 상부공이나 말뚝식 돌핀 상부공 등과 같이 정수면 부근의 구조물로서 특히 수면과 거의 평행한 구조물은 상승하는 파면이 저면에 충돌하여 충격적인 파력(이하 양압력이라 한다)이 작용할 위험성이 있다. 특히, 파고가 크고 정수면과의 간격이 작은 경우에는 큰 충격력이 된다. 또, 파가 중복파로 되어 작용하는 경우 파면의 상승속도가 크게 되어 충격력도 크게 된다. 이러한 구조물의 저면에는 충격적인 양압력(揚壓力) 외에 보통의 충격력이 아닌 양압력도 작용하는 것에 주의할 필요가 있다.

## [참 고]

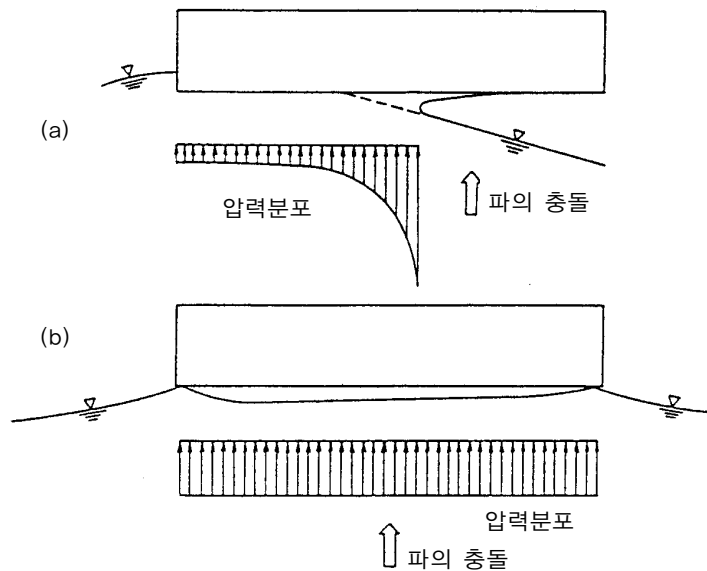
### (1) 충격적인 양압력의 특성

수면 부근의 수평한 판에 작용하는 충격력인 양압력은 판의 저면이 평탄한 경우에는 파면이 충돌하는 속도와 그 면과 판이 이루는 각도에 의하여 변화한다.

참고 그림 (4.3-59)(a)과 같이 파면(波面)과 판이 이루는 각이 어느 정도 있는 경우에는 파면이 판의 저면을 따라 나타나고 그림과 같은 분포 형상의 파압이 작용한다.

이 파압은 시간이 짧고 급하게 커지는 것이 특징이다. 한편, 파면과 판이 이루는 각이 참고 그림 (4.3-59)(b)과 같이  $0^\circ$ 에 가까울 때는 공기층이 파면과 판과의 사이에 갇혀 이 공기층의 압축에 의한 압력이 그림과 같은 분포 형상으로 발생한다. 이 파압은 시간적으로는 짧은 주기의 감쇄진동파형(減衰振動波形)이 되는 것이 특징이다.

수평판의 저면에 보 등이 있는 잔교의 경우에는 보에 의하여 파면이 교란되어 양압력의 발생이 복잡하게 된다. 또 보에 의하여 공기층이 갇혀 압축되는 수도 있다. 수평판 저면의 형상에 의한 양압력의 변화를 고려하여야 한다.



참고 그림 (4.3-59) 파면과 수평판의 충돌

또한, 충돌하는 파면의 형상은 파가 진행파인지 중폭파인지에 따라서 크게 변한다.

중폭파의 경우에는 파의 반사 위치에서 수평판까지의 거리에 따라서 변화한다. 이렇게 틀려지는 것도 고려하여야 한다.

### (2) 저면이 평탄한 수평판에 작용하는 양압력(중폭파의 경우)

Goda(合田)(1967)는 수평판에 작용하는 양압력을 파면과 판과의 충돌에 의한 운동량의 급변에 기인하는 힘이라고 생각하여 카만(Karman)의 이론으로부터 수평판에 작용(作用)하는 중폭파에 의한 양압력의 산정식을 다음과 같이 나타냈다.

## 설계조건

$$P = \zeta \frac{\rho_o g}{4} HLB \tanh \frac{2\pi h}{L} \left( \frac{H}{s'} - \frac{s'}{H} \right) \quad \text{참고 식 (4.3-94)}$$

$$s' = s - \pi \frac{H^2}{L} \coth \frac{2\pi h}{L} \quad \text{참고 식 (4.3-95)}$$

여기서,  $P$  : 전양압력(kN)

$\zeta$  : 보정계수

$\rho_o$  : 해수의 밀도(=1.03t/m<sup>3</sup>)

$H$  : 진행파의 파고(m)(보통은 최고파고  $H_{max}$ )

$L$  : 진행파의 파장(m)

$B$  : 폭(m)

$h$  : 수심(m)

$s$  : 정수면상의 간격(m)

$s'$  : 파고중분면(파봉과 파곡과의 높이를 2등분한 면) 상의 간격(m)

위 식은 수평판의 길이  $\ell$  에 의존하지 않는 것에 유의할 필요가 있다.

충격력은 위 식에서 나타나는 크기로 충돌의 순간으로부터 시간  $\tau$ 의 사이에 계속되는 펄스(Pulse) 형태의 힘이다. 계속시간  $\tau$ 는 파의 주기를  $T$ 로 하고 수평판의 길이를  $\ell$ 로 하면 다음과 같다.

$$\tau = \frac{\pi T \ell^2}{L^2} \frac{s'}{\sqrt{H^2 - s'^2}} \quad \text{참고 식 (4.3-96)}$$

참고 식 (4.3-94)는 수평판의 길이가 파장  $L$ 에 비하여 아주 작고 또한 저면이 평탄한 면이면 양압력의 특성을 간단하고 적절히 나타내고 있다.  $\zeta = 1.0$ 으로 한 계산 값은 실험값과 비교하면  $H/s'$ 가 2 이하에서는 비교적 좋은 일치를 나타내고 있다. 다니모토[谷本] 등, 1978]는 같은 수평판에 작용하는 양압력을 산정하는 방법을 와그너(Wagner)의 이론에 기초하여 나타내고 있다. 이 산정법에서는 파면과 수평판이 충돌하는 각도  $\beta$ 와 충돌속도  $V_n$ 을 스토크(Stokes)의 제3차 근사파에 의해 주고 충격압의 공간적 분포와 시간적 변화를 구할 수가 있다. 단, 스토크(Stokes)의 제3차 근사파를 쓰고 있기 때문에 계산이 조금 복잡하다. 이 계산법은 저면이 평탄한 경우를 대상으로 하고 있고 보통의 잔교와 같이 슬래브에 거더나 보 등이 있어 공기가 갇혀 있거나 파면의 교란이 발생하고 충격력은 저면이 평탄한 수평판의 경우보다는 작아진다. 따라서 산정법에서 계산되는 값은 보통의 잔교에 있어서의 양압력의 상한 값으로 생각할 수 있다.

### (3) 잔교에 작용하는 양압력(중복파의 경우)

이토(伊藤)와 다케다(竹田, 1967)는 잔교 모형을 써서 도판(渡版)에 작용하는 양압력과 도판의 진동한계중량 및 낙하한계중량을 구하고 있다. 실험조건은 파고가 최대 40cm, 주기가 1초와 2.4초, 수심이 56cm와 60cm이다. 도판 부분에 별도로 부착한 파압계의 기록에 의하면 동일조건 하에서도 일파마다 침두 값은 상당히 변동되었으나 이들의



침두 값의 평균값은 대략 참고 식 (4.3-97)과 같다.

$$P = \rho_o g (8H - 4.5s)$$

참고 식 (4.3-97)

여기서,  $P$  : 양압력 강도의 침두 값의 평균값(kN/m<sup>3</sup>)

$\rho_o$  : 해수의 밀도(1.03 t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 중력가속도(9.81 m/s<sup>2</sup>)

$H$  : 입사파고(m), ( $H_{\max}$ )

$S$  : 조위에서 도판하면(渡版下面)까지의 거리(m)

그러나 참고 식 (4.3-97)에 주어진 양압력 강도의 침두 값은 그 작용시간이 극히 짧고, 또 장소적인 위상을 가지고 작용하므로 양압력 강도  $P$ 가 도판의 자중  $q$ (단위면적당중량, kN/m<sup>2</sup>)를 초과했다고 해서 당장 도판이 동요하거나 낙하하지는 않는다.

이러한 관점에서 도판이 진동하는 한계의 중량 및 낙하하는 한계의 중량을 구하고 있다. 주기 2.4초의 파가 작용할 때 진동한계중량과 파고의 관계는 다음과 같다.

$$q = \rho_o g (1.6H - 0.9s)$$

참고 식 (4.3-98)

여기서  $q$ 는 도판의 진동한계중량(振動限界重量)이다. 참고 식 (4.3-98)의 진동한계중량은 참고 식 (4.3-97)에 의한 양압력 강도의 1/5이다. 또 진동한계중량은 낙하한계중량(落下限界重量)의 1/2~1/3이다. 이 도판의 실험에서 도판에 여러 가지 크기의 구멍 또는 간격을 설치하고 도판의 공극율의 변화에 의한 안전중량의 변화도 검토하고 있다. 도판의 진동한계중량은 구멍을 뚫지 않을 때에 비하여 공극률이 비교적 적을 때(1% 정도)는 공기가 빠지기 쉬워 이로 인해 수면이 도판에 강하게 부딪혀서 약간 증대되는 경향이 있으나 일반적으로 공극율의 변화에 의한 증감은 적다. 이에 반하여, 낙하한계중량은 공극률이 20%를 넘는 범위에서는 명확히 감소하고 있다. 여기서 말하는 도판의 중량은 공극 부분을 제외한 실질 부분의 단위면적당 중량을 의미한다.

이처럼 공극률에 의한 진동한계중량, 즉 도판의 실질 부분의 단위면적당 안전중량의 증감은 적으므로 구멍을 뚫는 것에 의해 어느 면적 전체의 중량을 감할 수 있다. 그리고 낙하한계중량은 공극율의 증대에 의하여 감소한다. 이 두 가지에서 공극률을 높이는 것이 좋을 수 있다.

이토(伊藤)와 다케다(竹田, 1967)는 잔교 모형의 상부공의 슬래브에 변형계를 설치하여 응력을 측정하였다. 그 결과 슬래브에 등분포로 작용한다고 가정한 등가정하중(等価靜荷重)(kN/m<sup>2</sup>)으로 나타내었다.

$$\rho = 4\rho_o g H$$

참고 식 (4.3-99)

단, 실험값의 상한에 대응하는 것으로 조위에서 상부공 하면까지의 거리  $s$ 가 대략 0인 경우에 대한 것으로 생각해도 좋다.

## 설계조건

참고 식 (4.3-99)로 나타낸 등가정하중은 일반적으로 저면이 평탄한 수평판에 작용하는 양압력보다 적다. 이것은 거더나 보에 의해 충돌하는 파면이 교란되거나 공기를 가둬 두기 때문이다.

또한 아주 국지적이고 시간적으로 짧은 양압력은 등가정하중으로서는 적은 값이라 생각된다.

- (4) 저면이 평탄한 수평판에 작용하는 양압력(진행파의 경우) 수면 부근에 고정된 수평판에 진행파가 작용하는 경우에도 충격적인 양압력은 작용한다. 다니모토(谷本) 등(1977)은 중복파가 작용하는 경우와 같다고 보고 이 충격적인 양압력의 산정법을 제안하고 있다.
- (5) 디태치드 피어(Detached pier) 상부공에 작용하는 양압력(진행파의 경우)  
이토(伊藤)와 다케다(竹田, 1967)는 Detached pier에 작용하는 진행파에 의한 양압력을 검토 하였다. 즉, Detached pier 모형의 슬래브에 발생하는 응력을 측정하고 실험 결과의 상한 값에서 등분포의 등가정하중을 나타냈다.

$$\rho = 2\rho_0 gH$$

참고 식 (4.3-100)

### (2) 수면 부근의 연직판에 작용하는 수평파력

수면 부근의 연직판에 작용하는 수평파력은 수리모형실험 등과 같은 적절한 방법으로 산정하여야 한다.

### [해설]

수면 부근에 설치된 커튼벽(Curtain wall) 등과 같이 두께가 얇은 연직판이나 고정식 시버스의 돌핀 상부공 등의 수평판의 연직면에는 수평파력이 작용한다. 이 수평파력의 산정은 수면의 위치나 자유표면의 존재에 의한 조파저항력(造波抵抗力) 등을 고려할 필요가 있다.

### [참고]

#### (1) 돌핀 상부공에 작용하는 수평파력

다니모토(谷本) 등(1977)은 돌핀 상부공을 주대상으로 수면 부근의 고정구조물에 작용하는 수평파력의 산정식을 제안하고 있다.

#### (2) 커튼벽에 작용하는 수평파력

다니모토(谷本) 등(1977)은 전술한 수평판의 수평파력의 산정식을 수면 부근에 고정시킨 커튼벽에 작용하는 수평파력의 산정식으로 쓰는 것도 제안하고 있다.

또, 이러한 몰수수심(沒水水深)이 얇은 커튼벽에 대하여는 久宝 등(1973)도 산정식을 제안하고 있다.

모리히라(森平) 등(1964)은 커튼벽을 방과제로 쓰는 경우에 작용하는 수평파력을 실험적으로 구하고 있다.

그 결과에 의하면, 커튼벽의 물수수심  $d$ 와 수심  $h$ 의 비(比)가 0.255보다 큰 범위에서는 해설 식 (4.3-2)의 직립벽에 작용하는 파력의 표준산정식에 주어진 파압 분포에 있어서 판의 하단에서 해저까지의 부분을 뺀 합력의 0.6~1.0 정도인 파압합력으로 되어 있다. 또, 세키모토(關本) 등(1988) 등은 입사각을 고려한 커튼벽에 작용하는 파력의 산정법을 나타내고 있다.

#### 4.3.9.6 부체에의 작용과 그 동요

부체에 작용하는 힘 또는 부체의 동요는 부체의 형상, 계류방법 및 규모 등에 따라 다르므로 해당 조건에 부합하는 적합한 해석법 또는 수리모형실험으로 산정하여야 한다.

#### [참고]

##### (1) 일반

- ① 부체는 바람, 물결, 파랑 등의 작용에 의해 발생하는 동요량 및 계류력을 충분히 감안하여 적절하게 성능조사를 행할 필요가 있다.
- ② 일반적으로 부체라고 하는 것은, 수중에서 부력을 가지고, 일정 범위의 운동이 허용된 상태에서 공용되는 구조물을 말한다. 부체의 성능조사에서는 부체에 요구되는 기능에 대한 검토와 안정성에 대한 검토를 함께 행해야만 한다. 각각의 검토에 있어 설계조건의 설정이 일반적으로 다른 것에 주의해야 한다.
- ③ 부체의 계류 장치는 일반적으로 계류라인, 계류앵커, 싱커, 중간웨이트, 중간브이, 계류간, 조인트장치, 방위공 등 몇 가지 요소의 조합으로서 구성되며, 다양한 종류가 있다. 계류 장치는 부체의 운동에 크게 영향을 미치며 그 안정성을 적절하게 조사하는 일이 중요하다.
- ④ 부체는 그 계류방법에 의해서도 분류할 수 있다. 계류방법으로서는 이하에 나타낸 것과 같이 카테나리 계류(이완계류), 긴장계류, 돌핀계류 등이 있다.

##### 가. 카테나리 계류[참고 그림 (4.3-60)(a) 참고]

가장 일반적인 계류방법이다. 이것은 체인 등을 사용하여 길이에 충분히 여유를 가지고 이완 계류하는 방법으로 부체의 운동 자체를 구속하는 힘은 적으나, 부체를 그 위치에 유지하는 기능은 있다. 이 계류방법은 계류라인의 재질, 계류라인의 수, 중간브이나 싱커의 유무 등에 의한 다양한 종류가 있다.

##### 나. 돌핀계류[참고 그림 (4.3-60)(b) 참고]

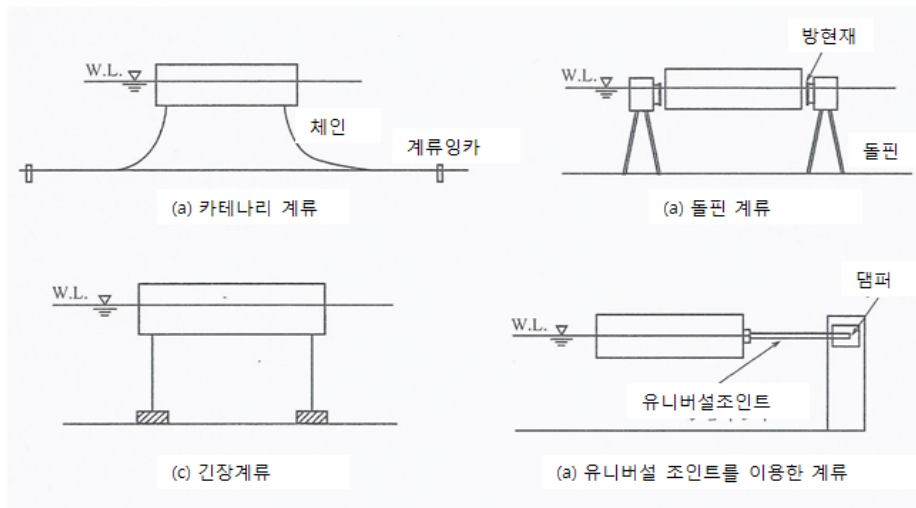
중력식의 돌핀 등에 의해 계류하는 방법이다. 일반적으로 부체의 수평방향의 동요를 구속하는 데에 적합하며, 돌핀에는 커다란 계류력이 작용한다.

다. 긴장계류[참고 그림 (4.3-60)(c) 참고]

부체의 동요를 현저하게 감소시키는 계류방식이며, 텐션레그 플랫폼 (TLP)이 그 예이다. 이는 계류라인에 큰 초기장력을 부여하여, 부체의 동요에 의해서도 계류라인이 이완되지 않도록 하는 방법이다. 이 방법은 부체의 동요량이 적은 특징을 가지는 것 외에도 계류라인의 설치에 필요한 면적이 적다는 장점을 가진다. 단, 계류라인에 큰 장력이 발생하기 때문에 이의 적절한 설계가 부체 전체의 안정성에 크게 영향을 미치는 것에 주의를 기울여야만 한다.

라. 유니버설조인트를 사용한 계류방법[참고 그림 (4.3-60)(d) 참고]

그림에 나타난 계류 장치는 대형부체의 계류법 중 하나이다.



참고 그림 (4.3-60) 부체의 계류방법 예

(2) 부체에 발생하는 작용

① 작용의 종류와 그 산정법

부체구조의 항만시설에서 부체에 작용하는 힘 또는 부체의 동요에 기인하는 힘은 일반적으로 풍향력, 흐름향력, 파랑 강제력, 파랑 표류력, 조파 저항력, 복원력 및 계류력이다. 이들 힘은 부체의 계류방법 및 규모 등에 따라 적절한 해석법 및 수리모형 실험에 의해 산정할 필요가 있다.

② 풍향력

부체의 일부가 해면상에 있는 구조물에서는 바람에 의한 힘이 작용한다. 이 힘이 풍향력(풍압력)이라 불리는 힘으로서 압력향력과 마찰향력이 있다. 부체의 규모가 비교적 작을 때는 압력향력이 지배적이고, 이는 풍속의 2승에 비례하는 힘으로서 다음 식으로 나타낸다. 다음 식에 있어 첨자 k는 특성 값을 나타낸다.

$$F_{Wk} = \frac{1}{2} \rho_a C_{DW} A_W U_{Wk}^2 \quad \text{참고 식 (4.3-101)}$$

여기서,  $F_W$  : 풍항력(N)

$F_W$  : 공기의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

$A_W$  : 바람이 부는 방향으로부터 부체 해상부의 투영면적(m<sup>2</sup>)

$U_W$  : 풍속(m/s)

$C_{DW}$  : 풍항력 계수

풍항력 계수는 풍압력 계수로도 불리는 비례상수로서 풍동실험 등에 의해 구할 수 있다. 단, 비슷한 형상에 대해 이미 구해져 있는 기존의 실험값을 사용해도 좋다. 정상류 중의 물체의 풍항력 계수에 대해서는 참고 표 (4.3-15)와 같은 수치가 제안되고 있다. 이 표를 보면 알 수 있듯이 항력계수는 부체의 형상 및 풍향, 레이놀즈수에 의해 변화한다. 또한 풍압력은 수면상의 부체의 투영도의 중심을 작용점으로 하여 풍속방향에 작용하는 것으로 판단되지만, 부체가 커지게 되면 반드시 그렇지만도 않다는 것에 유의해야만 한다. 또, 실제 바람의 속도는 한결같이 연직방향인 것은 아니기 때문에 풍압력의 계산에 사용하는 풍속  $U_W$ 는 해면상 10m 지점에 있어서의 값을 사용한다.

참고 표 (4.3-15) 풍압력계수

	정방형단면	2.0 [1.2] (0.6)
	정방형단면	0.6 [1.4] (0.7)
	장방형단면 변 길이비 (1:2)	2.3 [1.6] (0.6)
	장방형단면 변 길이비 (1:2)	1.5 (0.6)
	장방형단면 (변 길이비 1:2, 한 면을 땅에 접한 경우)	1.2
	원형단면 (표면이 미끄러움)	1.2 (0.7)

[ ]는 한변의 1/4의 지름을 가지고 자른 경우

( )는 한계 레이놀즈수 이상의 수치

## 설계조건

### ③ 흐름항력

조류 등의 흐름이 존재하는 경우, 부체의 수물부분에는 흐름에 의한 힘이 작용한다. 이 힘을 유압력 또는 흐름항력이라 부르며, 풍항력의 경우와 마찬가지로 유속의 2승에 비례하는 힘이다. 단, 일반적으로 흐름의 빠르기는 작으므로 흐름과 부체운동속도와의 상대속도의 2승에 비례하는 힘으로 하여 다음 식으로 나타낸다.

$$F_{Ck} = \frac{1}{2} \rho_0 C_{DC} A_C |U_{CK} - U_k| (U_{CK} - U_k) \quad \text{참고 식 (4.3-102)}$$

여기서,  $F_C$  : 흐름항력(N)

$\rho_0$  : 유체의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

$A_C$  : 수면 아랫부분의 흐름방향 투영면적(m<sup>2</sup>)

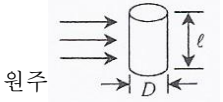
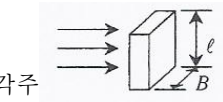
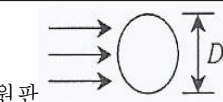
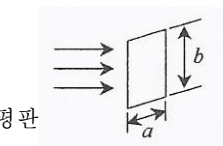
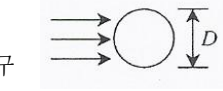
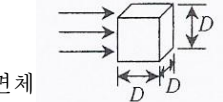
$U_C$  : 흐름의 속도 (m/s)

$U$  : 부체의 운동속도 (m/s)

$C_{DC}$  : 흐름에 대한 항력계수

$C_{DC}$ 는 레이놀즈수의 함수이며 이 값이 클 때는 참고 표 (4.3-16)의 정상류 중의 항력계수의 값을 사용해도 좋다.

참고 표 (4.3-16) 항력계수

물체의 형상	기준면적	항력계수
원주 	$Dl$	$1.0 (l > D)$
각주 	$Bl$	$2.0 (l > B)$
원판 	$\frac{\pi}{4} D^2$	1.2
평판 	$ab$	$a/b = 1$ 의 경우 1.12 $\nearrow 2 \nearrow 1.15$ $\nearrow 4 \nearrow 1.19$ $\nearrow 10 \nearrow 1.29$ $\nearrow 18 \nearrow 1.40$ $\nearrow \infty \nearrow 2.01$
구 	$\frac{\pi}{4} D^2$	0.5~0.2
육면체 	$D^2$	1.3~1.6

일반적으로 흐름에 대한 항력계수는 부체의 형상이나 흐름의 방향, 레이놀즈수에 의해 변화한다. 또 풍압력과 마찬가지로 흐름에 의한 힘의 방향과 흐름의 방향이 반드시 일치하지는 않는다. 또, 부체의 흘수가 깊어지면 흐름에 대한 항력계수는 일반적으로 커진다. 이를 천수효과라 부르며 해저면과 부체 하단부와의 간격이 좁아지면 물이 부체 하부를 통과하여 흐르기 어려워지기 때문이다.

#### ④ 파랑강제력

파랑강제력은 부체가 수중에 고정되어 있는 것으로 생각될 때, 입사파에 의해 부체에 작용되는 힘이다. 이 힘은 입사파의 파고에 비례하는 선형적인 힘과 파고의 2승에 비례하는 비선형적인 힘으로 이루어진다. 선형적인 힘은 부체가 입사파를 변형시키고 그 반작용으로서 입사파로부터 부체가 받는 힘이며, 입사파의 변형을 나타내는 속도포텐셜은 파의 회절이론에 의해 구한다. 한편, 비선형적인 힘은 파의 유한진폭성에 수반되는 힘과 유속의 2승에 비례하는 힘으로 구성된다. 전자에 대해서는 이론적인 해석도 정립되어 있지만, 일반적으로 이 힘은 종종 무시된다. 후자인 유속 2승에 비례하는 힘은 특히 파장에 비해 부체지름이 작을 경우에 커지지만 실험적으로 정해야 한다.

#### ⑤ 파랑 표류력

부체에 파가 작용하면, 운동의 중심위치는 서서히 파도의 진행방향으로 이동한다. 이 원인이 되는 힘을 파랑 표류력이라 하며, 2차원 부체에서 파의 에너지가 흩어지지 않는다고 가정했을 때 다음 식으로 나타낸다. 다음 식에 있어서 첨자  $k$ 는 특성값을 나타낸다.

$$F_{d_k} = \frac{1}{8} \rho_0 g H_{i_k}^2 R \quad \text{참고 식 (4.3-103)}$$

$$R = K_R^2 \left\{ 1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right\} \quad \text{참고 식 (4.3-104)}$$

여기서,  $\rho_0 g$  : 해수의 단위체적중량(kN/m<sup>3</sup>)

$h$  : 수심 (m)

$L$  : 파장 (m)

$F_d$  : 단위폭당 파랑 표류력 (N)

$H_i$  : 입사파고 (m)

$K_R$  : 반사율

$R$  : 표류력 계수

부체의 크기가 파장에 비해 아주 작을 때 파랑 표류력은 파랑 강제력에 비해 무시할 수 있지만, 부체가 커지면 지배적인 힘이 된다.

또, 파랑 표류력은 거대 유조선을 대상으로 한 일점계류부이 등 구속력이 약한 계류 부체에 불규칙파가 작용했을 때, 장주기 동요(Slow drift oscillation)를 발생시키는 원인이 되어 특히 문제가 된다. 이 경우는 파랑 표류력으로서 장주기의 변동 표류력

## 설계조건

이 부체의 장주기 동요에 크게 영향을 미친다. 예를 들어, 두 개의 다른 주파수의 파로부터 불규칙파가 구성되어 있다면, 변동 표류력은 다음 식으로 나타낸다. 다음 식에 있어서 첨자  $k$ 는 특성값을 나타낸다.

$$F_{d_k} = \frac{1}{4} \rho_0 g H_{i_k}^2 R \left( \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \right) \left( 1 + \cos \left( \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \right) \right) \quad \text{참고 식 (4.3-105)}$$

여기서,  $\rho_0 g$  : 해수의 단위체적중량 (kN/m<sup>3</sup>)

$F_d$  : 단위 폭 당 파랑(변동) 표류력 (N)

$H_i$  : 입사파고 (m)

$R((\omega_1 + \omega_2)/2)$  :  $\cos((\omega_1 + \omega_2)/2)$ 의 규칙파에 의한 표류력 계수

$\omega_1$  및  $\omega_2$  : 파주파수 (rad/s)

$t$  : 시간 (s)

### ⑥ 조파 저항력

조파 저항력은 부체가 정수(靜水) 중을 운동할 때, 부체가 유체에 작용을 미치는 힘의 반작용으로서 유체로부터 부체가 받는 힘이다. 이 힘은 부체를 정수 중에서 강제 운동시켜 부체에 작용하는 힘을 측정함으로써 구할 수 있지만, 일반적으로는 부체가 성분별로 운동하는 것으로 보고 부체 주변의 유체운동을 나타내는 속도포텐셜을 구해 해석하는 방법이 사용된다. 해석적으로 구하는 것은 부체의 운동에 비례하는 힘만으로 운동의 2승에 비례하는 비선형적인 힘은 구할 수 없다. 선형적인 힘(부체운동에 비례하는 힘) 중 부체의 가속도에 비례하는 항이 부가 질량항이 되고, 속도에 비례하는 항이 선형 감쇠항이 된다.

### ⑦ 복원력

정적 복원력은 부체가 정수 중을 운동할 때, 부체를 원래의 위치로 되돌아가도록 하는 힘으로 히빙, 롤링 및 피칭의 경우에 발생한다. 이 힘은 일반적으로 운동진폭에 비례하는 형태로 나타나지만, 운동진폭이 커지면 운동진폭에 비례하지 않게 된다. 그러나 일반적으로 정적 복원력은 진폭에 비례하는 것으로 보고 취급되는 일이 많다.

### ⑧ 계류력

계류력은 부체의 운동을 구속하기 위해 발생하는 힘(구속력)이며, 그 크기는 계류계의 변위복원특성 등에 의해 크게 달라진다.

### ⑨ 파랑 강제력과 조파 저항력의 잠재 속도에 의한 해법

파랑 강제력 및 조파 저항력은 유체운동을 나타내는 속도포텐셜을 구하고, 그 잠재 속도로부터 계산하는 방법이 채택된다. 또, 조파 저항력 및 파랑 강제력을 구하기 위한 잠재속도의 해석법은 조파 저항력 및 파랑 강제력의 어느 쪽이든 경계조건이 달라지는 것뿐으로 기본적으로 같다.

잠재 속도는 영역분해법, 적분 방정식법 및 스트립법, 유한요소법 등에 의해 구할 수 있다.



## ⑩ 구형단면의 고정부체에 작용하는 파력

부체가 고정되어 있는 경우에는 해저와 부체주변의 경계조건을 충족하는 잠재속도로 부터 파력이 구해지고, 이토 등(1972)의 유사이론에 의해 부방파제와 같은 긴 구형 단면부체에 작용하는 파력을 구할 수 있다.

## ⑪ 계류재와 계류력

계류에 사용하는 재료와 그 특성에 관해서는 문헌(104)을 참조할 수 있다.

## ⑫ 초대형 부체식 구조물에 작용하는 힘

초대형 부체식 구조물에서는 부체의 규모가 크다는 점, 부체의 탄성변형을 무시할 수 없다는 점 등으로부터 ②~⑪에서 기술한 작용이 규모가 작은 부체에 대한 것과 다르므로 그 특성에 대해 충분히 검토해야만 한다.

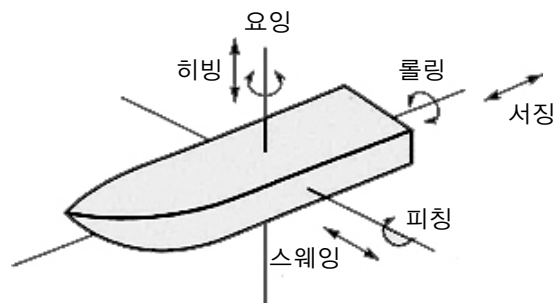
## (3) 부체의 동요 및 계류력

## ① 부체의 동요 및 계류력의 산정법

부체의 동요 및 계류력은 부체의 형상, 작용 및 계류계의 특성에 맞춰 적절한 해석법 또는 수리모형실험에 의해 산정할 필요가 있다.

## ② 부체의 운동

부체운동은 바람이나 파도에 의한 힘과 부체 자신의 복원력 및 계류라인이나 방충재의 반력을 작용으로 하는 운동방정식을 풀어 구할 수 있다. 강체운동으로 가정될 때의 부체운동은 참고 그림 (4.3-61)에 나타난 것처럼 서징, 스웨잉, 히빙, 롤링 및 요잉의 6성분으로 구성된다. 이 중 서징, 스웨잉, 요잉의 수평면 내의 운동은 주기 수분 이상의 장주기변동을 나타내는 일이 있다. 장주기의 동요는 계류라인의 피박 면적이나 계류장치의 조사에 크게 영향을 미치므로 바람이나 파랑의 장주기 변동 성분 및 파랑 표류력만을 작용으로 하여 장주기의 동요만을 별도로 고려해도 좋다. 부체가 길고 커지면 동요에 수반하여 탄성변형이 발생하므로 필요에 따라 검토한다.



참고 그림 (4.3-61) 부체의 운동성분

## ③ 운동방정식의 해법

## 가. 비선형운동방정식의 정상해법

유체의 운동방정식은 비선형이며 해를 구하기가 쉽지 않다. 단, 운동의 미소진폭성을 가정하고 비선형항을 선형 근사하여 운동방정식을 선형화하면 비교적 간단하게 해를 구할 수 있다. 예를 들어, 3차원 부체의 경우에는 6가지 성분의 운동

진폭과 위상차에 관한 연립 일차방정식이 된다. 또, 부체운동이 강제운동이라고 가정된 선형의 경우에 운동은 작용에 비례한다. 특히 바람과 흐름에 의한 힘이 없을 때는 운동은 파고에 비례한다.

#### 나. 비선형운동의 수치 시뮬레이션

일반적으로 풍향력이나 흐름항력은 비선형이며, 구속력도 비선형인 경우가 많다. 이 경우에는 운동방정식을 시간단계별로 풀어가는 수치해석이 유효하며, 현재 일반적으로 쓰이고 있다. 또한 수치해석은 각종 부체의 동요해석에 사용되고 있다. 수치해석에서 통상적으로 유체는 완전유체일 것, 부체의 동요량은 미소할 것, 입사파는 선형으로 중첩이 성립될 것 등의 조건을 전제로 하고 있다. 이러한 전제의 성립에 문제가 있는 경우 등에는 수리모형실험을 행해야만 한다.

#### ④ 수리모형실험

부체의 운동이나 계류력을 구하는 수단으로서 수리모형실험은 유력한 방법 중 하나로서 지금까지 다양한 부체에 관한 수리모형실험이 실시되고 있다. 수리모형실험을 행할 경우에는 부체의 관성 모멘트나 계류장치의 특성에 관한 상사법칙에 충분히 유의해야 한다.

#### ⑤ 부체 동요량과 계류력의 통계처리

불규칙파에 의한 수치해석이나 수리모형실험에 의해 얻어진 부체의 동요량이나 계류력은 시간적으로 불규칙적으로 변화한다. 따라서 부체의 동요진폭이나 계류력의 피크 값도 변화한다. 그 최댓값들은 파의 스펙트럼이 같아도 파의 작용시간이나 파의 연속이 달라지면 변화한다. 즉, 부체의 동요진폭이나 계류력은 확률변수가 되므로 통계처리를 행하고 기댓값을 추정해야 한다. 일반적으로 통계처리에서는 얻어진 동요진폭이나 계류력의 피크 값의 확률밀도분포를 정규분포나 레일레이분포 등에 적용하여 기댓값의 추정을 행한다.

#### ⑥ 구형 단면부체의 동요와 계류력(구속력)

구형 단면부체의 동요량과 계류력에 대해서는 비교적 취급이 쉬운 이토 등(1972)의 근사이론을 적용할 수 있다.

#### ⑦ 계류계의 상사법칙

부체의 운동특성은 계류방법에 의해 크게 달라지므로 계류장치의 변위·반력특성을 적절히 유사하게 하는 것이 부체의 수리모형실험에서는 특히 중요하다. 예를 들어, 계류 로프에 대해 실물과 같은 재질을 사용하여 형상만 비슷하게 한 것으로는 상사법칙이 성립되지 않는다. 모형재료의 탄성계수를 그 축척만큼 실물보다 작게 할 필요가 있다. 그러나 실제로는 이런 재료를 찾는 일이 불가능하며 보다 다양한 연구가 필요하다.

### 4.3.10 피복재 안정질량

#### 4.3.10.1 경사면의 피복석 또는 블록의 안정질량

- (1) 파력을 받는 경사면의 표면에 피복되는 사석 또는 인공블록의 안정질량은 수리모형실험 또는 해당 조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.
- (2) 경사제의 사면피복재는 내부사석 등을 보호하는 것으로 그 자체가 산란되지 않도록 안정한 질량(소요질량)을 확보하여야 한다.
- (3) 안정질량 산정 시 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

#### [해설]

파력을 받는 경사면의 표면에 피복하는 사석 또는 인공블록의 안정질량은 안정계수  $N_s$ 를 사용하는 다음과 같은 일반화된 허드슨식(Hudson, 1959)으로 계산할 수 있다.

$$M = \frac{\rho_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad \text{해설 식 (4.3-5)}$$

여기서,  $M$  : 사석 또는 블록의 안정에 필요한 최소질량(t)

$\rho_r$  : 사석 또는 블록의 밀도(t/m<sup>3</sup>)

$S_r$  : 사석 또는 블록의 해수에 대한 비중

$H$  : 안정계산에 사용하는 파고(m)

$N_s$  : 피복재의 형상, 경사, 피해율 등에 의해 결정되는 계수(안정계수)

해설 식 (4.3-5)은 혼성제의 사석부나 다른 피복재에도 적용될 수 있는 일반적인 식이다. 피복재의 안정성에 대해서는 과거 소요중량이라는 용어를 사용하였으나 SI단위의 도입에 따라 중량이 아니고 질량으로 정의하는 것이 합리적이므로 소요질량을 쓴다.

#### [참고]

##### (1) 안정계수와 대표직경

안정계수는 파고  $H$ 에 대해서 필요한 피복재의 크기(대표직경)와 직접적인 관계가 있다. 즉, 대표직경을  $D_n = (M/\rho_r)^{1/3}$ 로 하고,  $\Delta = (S_r - 1)$ 로 해서 해설 식 (4.3-5)에 대입하면  $H/(\Delta D_n) = N_s$ 으로 보다 간단한 식이 되어 파고와 대표직경은 비례하고  $\Delta N_s$ 가 비례상수가 된다.

##### (2) 설계계산에 사용하는 파고( $H$ )

허드슨식은 규칙파에 의한 실험결과를 바탕으로 제안된 것으로 실제 불규칙파가 작용하는 경우에는 어떤 파고를 사용할 것인가가 문제가 된다. 그러나 사석 또는 블록에 의해 구성되는 구조물로는 불규칙파군 중의 최고파 하나로는 파괴되지 않고 크고 작은 파들의 연속적인 작용에 의해 차례로 피해가 진행되어 가는 경향을 갖고 있다.

## 설계조건

이러한 특성과 기왕의 실적 등을 감안하여 해설 식 (4.3-5)의 파고  $H$ 는 불규칙파군의 규모를 대표하는 것으로서 사면 설치위치에서 진행파의 유의파고를 사용하는 것을 표준으로 하되 경우에 따라서  $H_{1/10}$  또는  $H_{1/20}$ 에 대해서도 검토할 수 있다(C.E.M, 2006). 그러나 일반화된 허드슨식을 사용할 경우에는 유의파고를 사용한다. 단, 수심이 환산심해파고의 0.5배 이하인 지점의 경우에는 환산심해파고의 0.5배인 수심에서의 유의파고를 사용한다.

### (3) $N_s$ 값에 영향을 주는 인자

피복석이나 블록의 소요질량은 해설 식 (4.3-5)에 나타난 것과 같이 파고와 피복재의 밀도, 안정수  $N_s$ 에 의해서 변하지만  $N_s$ 값은 구조물의 특성, 피복재의 특성, 파의 특성 등의 영향을 나타내는 계수이고 주로 다음과 같은 요인에 의해 그 값은 변한다.

#### ① 구조물의 특성

- 가. 구조형식(경사제, 소파블록 피복제, 혼성제 등)
- 나. 피복사면의 경사
- 다. 피복위치(제두부, 제간부, 정수면에서의 위치, 비탈어깨(法肩) 또는 비탈면, 후면, 소단 등)
- 라. 천단고 또는 폭, 상부공의 형상
- 마. 하부피복층(투수계수, 두께, 고르기 정도)

#### ② 피복재의 특성

- 가. 피복재의 형상(피복석의 형상이나 블록의 형상, 피복석의 경우는 입도 분포)
- 나. 쌓는 방법(층두께, 정적 또는 난적 등)
- 다. 피복재의 강도

#### ③ 파의 특성

- 가. 파수(작용하는 파의 수)
- 나. 파형경사
- 다. 해저형상(해저경사, 리프(reef)의 유무 등)
- 라. 수심과 파고의 비(쇄파와 비쇄파, 쇄파형태 등)
- 마. 파향과 파의 스펙트럼 형상이나 파군성(波群性)

#### ④ 피해의 정도(피해율, 피해레벨지수, 피해정도)

설계에 사용되는 값은 상황에 대응하는 수리실험결과를 바탕으로 적절히 정한다. 더욱, 유의파에 대응하는 규칙파를 사용한 실험결과와 불규칙파 실험결과(鹿島 등, 1995)를 비교한 예로는 0~10%범위로 동일한 피해율이 되는 규칙파고와 유의파고의 비에 의해서 1.0~2.0 범위에 드문드문 산재하는 불규칙파가 작용하는 편이 보다 파괴적인 경향이 인정된다. 이 때문에 실험은 불규칙파에 의한다.

#### ⑤ 안정수 $N_s$ 와 $K_D$ 값

허드슨은 1959년 이리바렌-허드슨(Iribarren-Hudson)식을 대체할 수 있는 허드슨식을 발표했다. 해설 식 (4.3-5)는 허드슨이 제안한 것이며 안정수  $N_s$ 대신에  $K_D \cot \alpha$ 를 쓴 것이다.

$$N_s^3 = K_D \cot \alpha$$

참고 식 (4.3-106)

여기서,  $\alpha$  : 사면이 수평면과 이루는 각(°) $K_D$  : 주로 피복재의 형상 또는 피해를 등에 의해서 결정되어지는 정수

허드슨식은 광범위한 실내실험결과를 바탕으로 하고, 또한 현지 사용실적도 많으므로 사면피복재의 소요질량은 허드슨식( $K_D$ 값에 의한 허드슨식)에 의해 산정해 왔다. 단, 해설 식 (4.3-5)의 안정계수에 의한 허드슨식은 다음에 서술하는 혼성제 사석부의 피복재 소요질량 산정식으로써 사용되고 있고, 또 잠재 등 다른 구조물의 피복재에 대해서도 사용되고 있기 때문에 기왕의  $K_D$ 값을 이용한 식보다 일반적인 식이고, 안정계수에 의한 허드슨식을 사면피복재 소요질량 산정식의 기본식으로 생각된다. 안정계수  $N_s$ 에 대해서는 참고 식 (4.3-106)을 쓰면  $K_D$ 값과 사면과 수평면이 이루는 각  $\alpha$ 를 이용하여 그와 대응하는 값을 구할 수 있으며, 실적이 있는  $K_D$ 값이고 통상의 사면각도일 경우에는 문제가 없다. 단, 이제까지 제시된 그 많은  $K_D$ 값들은 구조물이나 파의 특성 등의 여러 가지 요인을 충분히 포함하지 않기 때문에 꼭 경제적으로 되어 있다고는 할 수 없다. 따라서 보다 적절한 소요질량의 산정을 위해서는 조건에 맞는 실험결과를 사용하거나, 다음 여러 종류의 요인을 포함한 산정식(산정도)를 사용하는 것이 바람직하다.

#### (4) 파의 특성을 포함한 피복석의 안정계수 산정식

반 데 미어(Van der Meer, 1987)는 천단고가 높은 경사제의 사면피복석에 관한 체계적인 실험을 실시하고 사면경사뿐 아니라 파형경사나 파의 수. 그리고 피해의 정도를 고려하는 다음과 같은 안정계수를 제안하고 있다. 단, 다음 식은 반 데 미어식 중에서 초과확률이 2%인 파고 H2%를 H1/20로 치환하여 계산이 편리하도록 약간 변경한 것이다(Van der Meer, 1987).

$$N_s = \max(N_{spl}, N_{ssr})$$

참고 식 (4.3-107)

$$N_{spl} = 6.2 C_H P^{0.18} (S^{0.2} / N^{0.1}) I_r^{-0.5}$$

$$N_{ssr} = C_H P^{-0.13} (S^{0.2} / N^{0.1}) (\cot \alpha)^{0.5} I_r^P$$

여기서,  $N_{spl}$  : 쇄파(Plunging breakers)에 대한 안정계수 $N_{ssr}$  : 쇄기파(Surging breakers)에 대한 안정계수 $I_r$  : 이리바렌수(Iribaren number) ( $\tan \alpha / S_{0m}^{0.5}$ )

쇄파 유사성 매개변수(Surf similarity parameter)라고도 한다.

 $S_{0m}$  : 파형경사( $H_{1/3} / L_o$ ) $L_o$  : 심해파장( $L_o = g T_{1/3}^2 / 2\pi, g = 9.81 m/s^2$ ) $T_{1/3}$  : 유의파 주기 $C_H$  : 쇄파효과계수  $\{ = 1.4 / (H_{1/20} / H_{1/3}) \}$  비쇄파영역에서는 1.0

## 설계조건

$H_{1/3}$  : 유의파고

$H_{1/20}$  : 1/20 최대파고[참고 그림 (4.3-62) 참조]

$\alpha$  : 사면이 수평면과 이루는 각( $^{\circ}$ )

$D_{n50}$  : 피복석의 50% 질량에 상당하는 입경( $= (M_{50}/\rho_r)^{1/3}$ )

$M_{50}$  : 피복석의 질량누적곡선에서 50%에 해당하는 질량(피복석의 소요질량)

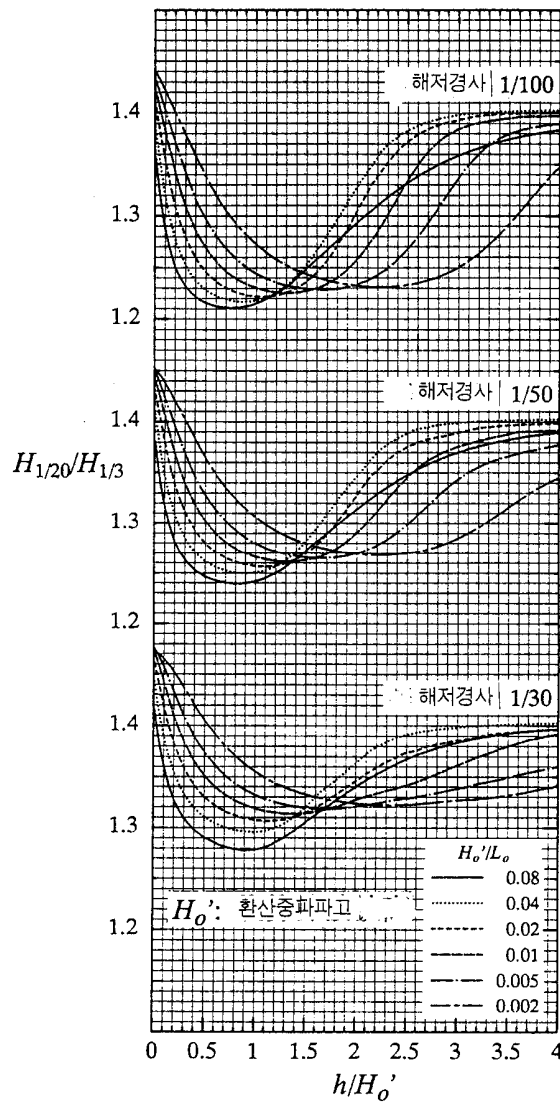
$P$  : 피복층 하부의 투수지수[참고 그림 (4.3-63) 참조]

$S$  : 변형정도( $S = A/D_{n50}^2$ ) [참고 표 (4.3-17) 참조]

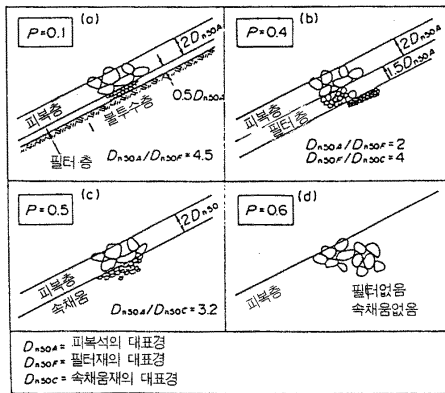
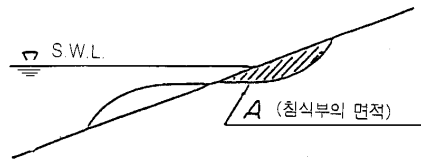
$A$  : 침식부의 면적[참고 그림 (4.3-64) 참조]

$N$  : 작용하는 파의 수

참고 그림 (4.3-62)에서  $H_{1/20}$ 은 외해측으로  $5H_{1/3}$ 거리에서의 값이고,  $H_o'$ 는 환산심해 파고이다. 변형정도는 피복석의 변형량을 나타내는 지수이고 피해율의 일종이다.



참고 그림 (4.3-62)  $H_{1/20}$ 과  $H_{1/3}$ 의 비( $H_{1/20}$ 은  $5H_{1/3}$  외해측의 값)

참고 그림 (4.3-63) 투수지수  $P$ 참고 그림 (4.3-64) 침식부의 면적  $A$ 

$S$ 는 파에 의해서 침식된 참고 그림 (4.3-64)의 면적  $A$ 를 피복석의 50% 직경  $D_{n50}$ 의 자승으로 나눠준 것이다. 피복석의 변형정도는 참고 표 (4.3-17)에 나타난 것과 같이 초기 피해, 중간피해 및 최종피해(피재)의 3가지의 단계로 정의하여 각각의 변형정도  $S$ 에 의해서 나타낸다. 통상 설계에서는 파수  $N$ 이 1,000파에 대해서 초기피해의 변형정도를 많이 사용하고 있으나 어느 정도 변형을 허용하는 설계에서는 중간 피해값을 사용하는 것도 고려할 수 있다.

참고로 파수가 1,000인 경우는 예를 들어 유의파 주기가 12초인 파가 3시간 20분정도 작용한다고 가정한다. 이는 태풍이 우리나라 주변 해역을 통과할 때 한 지점에서 약 3~4시간 정도 설계파 주기에 상당하는 큰 파가 발생함을 의미한다.

참고 표 (4.3-17) 2층 피복의 경우에 있어서 각 단계의 피해(被災)에 대한 변형정도  $S$ 

사면경사	초기피해	중간피해	피 재
1 : 1.5	2	3~5	8
1 : 2	2	4~6	8
1 : 3	2	6~9	12
1 : 4	3	8~12	17
1 : 6	3	8~12	17

#### (5) 파의 특성을 포함하는 블록의 안정계수 산정식

반 데 미어(Van der Meer, 1988)는 몇 개의 이형블록에 대해서도 모형실험을 실시하여 안정수  $N_s$ 의 산정식을 제안했다. 그 외에도 이형블록에 대한 산정식을 확립하기 위한 연구가 진행되고 있다.

#### (6) 소파블록 피복제의 블록안정계수 산정식

소파블록 부분의 단면은 여러 종류가 있으나 특히 직립벽 전면이 대략 전단면에 걸쳐서 소파블록으로 피복된 경우에는 그 투수성의 높이에서 통상의 경사제 피복블록[예 : 참고 그림 (4.3-64)]의 경우에 비해 높은 안정성을 유지한다. 다카하시·요시하(高橋·羊澤, 1998)등은 전단면에 난적된 소파블록에 대해 다음 식을 제안했다.

## 설계조건

$$N_s = C_H \{a(N_o/N^{0.5})^{0.2} + b\} \quad \text{참고 식 (4.3-108)}$$

여기서,  $N_o$  : 피해도(피해정도를 나타내는 피해율의 하나로 방파제 기준선방향(法線方向)의 폭  $D_n$ 의 범위 내에서 이동한 블록의 갯수.  $D_n$ 은 블록의 대표직경)

$C_H$  : 쇄파의 효과를 나타내는 계수,  $C_H = 1.4 / (H_{1/20} / H_{1/3})$

(비쇄파영역  $C_H = 1.0$ )

$a, b$  : 블록의 형상이나 사면경사 등에 의한 계수

( $K_D$ 값이 8.3의 이형블록으로  $\cot\alpha = 4/3$ 인 경우,  $a=2.32$ ,  $b=1.3$ ;  $\cot\alpha = 1.5$ 인 경우는  $a=2.32$ ,  $b=1.42$ )

또한, 다카하시·요시하(高橋·羊澤, 1998) 등은 내용연수 동안의 누적피해도(기대피해도)의 계산법을 제시한 바 있어 앞으로는 이를 고려한 신뢰성 설계법도 보다 고도의 설계기법으로서 중요하다. 비파괴 영역으로 파수  $N$ 은 1,000과 피해도  $N_o$ 가 0.3인 경우에 대략 종래의  $K_D$ 값에 의한 설계질량과 같다. 이때, 피해도  $N_o = 0.3$ 은 보통 피해율로 나타내면 대략 1% 정도이다.

### (7) 제두부(堤頭部) 질량의 할증(割増)

제두부에는 파가 여러 방향에서 내습하고 비탈어깨(法肩)의 피복재는 전방보다는 오히려 후방(背面)으로 굴러 떨어지는 위험이 있다. 이 때문에, 제두부에 사용하는 사석 또는 콘크리트 블록은 참고 식 (4.3-106)으로 계산되는 값보다도 큰 질량의 것을 사용할 필요가 있다.

허드슨식은 사석에 대해서 약 10%, 콘크리트블록에 대해서 약 30%의 질량할증을 나타내고 있으나 이정도로는 충분치 못하므로 적어도 해설 식 (4.3-5)의 1.5배 이상인 질량의 사석 또는 콘크리트 블록을 사용하는 것이 바람직하다.

### (8) 수면하(水面下) 부분의 피복재 질량

경사제의 수면보다 아래에 있는 부분은 파의 작용이 감소하므로 정수면하  $1.5 H_{1/3}$ 보다 깊은 부분은 질량이 작은 사석 또는 콘크리트블록을 사용할 수 있다.

### (9) 파향에 대한 보정

구조물의 기준선에 대해서 비스듬히 파가 작용하는 경우, 파의 입사각이 어느 정도로 피복석의 안정성에 영향을 미치는 가는 아직 충분히 검토되지 않았다. 그러나 반 데 크리크(Van de Kreeke, 1969)가 파향을  $0^\circ$ (직각입사),  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ (기준선과 평행하게 입사)와 같이 변화시켜 가면서 수행한 실험결과에 의하면 파향  $45^\circ$  이하의 피해율은  $0^\circ$ 의 경우와 정도가 같고, 파향이  $60^\circ$ 보다 큰 경우에는 피해율이 감소한다. 이러한 점을 고려해서 파의 입사각  $\beta$ 가  $45^\circ$  이하일 때는 파향에 대한 소요질량을 보정하지 않는 것이 좋다. 또한 크리스텐센(Christensen, 1984) 등에 의하면 파의 방향분산성이 크면 안정성은 증가한다.

### (10) 콘크리트블록의 강도

이형콘크리트블록의 경우에는 설계파 작용에 대해 소요질량을 확보해야 하는 점 외에 블록자체가 충분한 구조강도를 유지해야 한다.



## (11) 리프(Reef)상의 소파블록의 안정성

일반적으로, 리프는 해저면(海底面)에서 급경사로 서있는 비교적 평탄하고 얇은 마루와 같은 지형을 형성한다. 따라서 여기에 큰 파가 침입하면 사면부근에서 쇄파되고 재생된 파가 리프상을 단파형상(段波形象)으로 전파한다. 리프에서의 파랑 특성은 입사파 조건 외에 리프상의 수심과 비탈면어깨(法肩)에서의 거리에 크게 지배되므로 소파블록의 안정성도 이에 의해서 크게 다르고 일반적인 경우보다 한층 복잡하다. 따라서 이는 조건에 적합한 수리모형실험 또는 유사한 조건을 갖는 실적을 기초로 하여 검토할 필요가 있다.

## (12) 마루높이가 낮은 경사제의 블록 안정성

경사제 배후에 벽이 없고 마루높이가 낮고 소파블록에 의해 피복된 경우. 특히 배후측의 블록이 피해를 받기 쉬우므로 주의를 요한다[소가(曾我) 등, 1982]. 예를 들면, 소파블록에 의한 이안제의 경우는 소파블록 피복제와 달라서 배후의 벽에 의한 지지가 없고, 또한 마루높이도 그다지 높지 않기 때문에 마루 특히 배후의 블록이 피해를 받기 쉽고 이러한 피해사례가 보고되었다. 이와 같은 이안제의 경우에 마루 배후측의 블록은 그 종류에 따라 전면측보다 크게 할 필요가 있다.

## (13) 급경사 해저상의 블록 안정성

해저경사가 급해서 권파형태의 쇄파가 발생할 때에는 블록의 형상에 의해서도 강한 파력이 작용할 수 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다[다케다(竹田) 등].

## (14) 비중이 큰 블록

비중이 큰 골재를 사용해서 만든 블록의 소요질량도 안정계수를 사용한 허드슨 해설식 (4.3-5)에서 구한다. 이 블록은 안정성이 높고 작은 블록으로 안정한 피복층을 만들 수가 있다.

## (15) 구조조건의 영향

소파블록의 안정성은 난적, 정적 등의 구조조건 또는 쌓는 방법에 따라 변한다. 일본 항만기술연구소의 실험결과에 의하면 전체단면을 난적한 것과 사석의 표층을 2층으로 정적한 경우에 정적으로 잘 맞물리게 하는 것이 대부분 안정성이 뚜렷하게 개선되었다. 또한, 안정성은 소파블록의 마루폭이나 마루높이에도 영향을 받는다. 예를 들면, 마루폭이 넓고 또는 마루높이가 높은 경우가 안정성이 일반적으로 높다.

## (16) 수리모형실험방법

블록의 안정성에 대해서는 영향을 주는 인자가 매우 많고, 아직도 충분히 해명되어 있지 않다. 이 때문에 실제 설계 시에는 모형실험에 의한 검토가 필요하고, 또한 이러한 실험결과를 계속 축적해 나가야 한다.

모형실험을 검토할 때에는 다음 사항을 참고로 한다.

- ① 실험은 불규칙파 사용을 표준으로 한다.
- ② 특정조건을 대상으로 한 실험에서는 3회(3波群)이상 반복해서 실험한다. 단 질량을 변화시켜서 수행하는 체계적인 실험에서는 많은 데이터가 얻어지므로 동일조건으로 반복할 필요는 없다.

## 설계조건

③ 동일 파고 수준의 파를 작용시킬 때 1,000파를 표준으로 한다. 체계적인 실험이라 할지라도 500파 정도 이상이 바람직하다.

④ 피해정도에 대해서는 이제까지 사용한 피해율 외에 변형수준(Level)이나 피해도도 쓸 수 있다. 변형수준은 이동된 블록의 개수를 측정하기 어려울 때에, 피해도는 소파블록의 피해를 표시할 때에 적합하다. 피해율은 비파괴에 대한 파고를  $H_D = ( )$ 이라고 하고 이 파고보다 높은 파고  $H$ 가 작용하였을 때 검사범위내의 피복재 층개수에 대한 피해를 받은 개수의 비율로 나타낸 것이다[참고 표 (4.3-18) 참조]. 이때, 검사범위는 대상으로 하는 블록질량에 대해 허드슨식에서 파고  $H$ 를 역산하여 정수면하  $1.5H$ 까지의 깊이 또는 피복된 부분의 하단에서의 깊이 중에서 얇은 쪽까지의 길이로 하는 범위이다.

단, 변형수준이나 피해도에 대해서는 검사범위를 정의할 필요는 없다. 더욱 피해의 판정은 블록길이의  $1/2 \sim 1$ 정도이상 이동한 블록을 피해로 한다.

### (17) C.E.R.C가 제안한 $K_D$ 값

미국의 육군해안공학연구센터(C.E.R.C)가 제안한 피복석의  $K_D$  값을 참고 표 (4.3-19)에 제시하였다(C.E.M, 2006). 표에서 ※를 하지 않은 값은 실험결과(규칙파실험)를 바탕으로 한 것이고 불규칙파작용에 대해서 피해율이 5%이하에 상당한다고 생각된다. ※표시의 값은 추측값으로, 예를 들면 2층으로 난적된 둥근 사석의 쇄파에 대한 값 ※1.2는 모난사석(2층)의 쇄파의  $K_D$  값이 비쇄파의 경우에  $1/2$ 인 것에서 유추하여 2.4의 절반인 1.2로 주어진 것이다. 그러나 규칙파 파고를 유의파고에 대응시키는 경우 규칙파실험의 쇄파상태로는 불규칙파의 최고파에 가까운 파가 연속적으로 작용하는 의미이므로 비쇄파조건과 비교해서 과대평가된다. 불규칙파 실험에서는 앞에서 언급한 바와 같이 유의파를 기준으로 하는 한 강한 쇄파조건일수록 역으로  $K_D$  값이 크게 되는 경향이 있다. 적어도 쇄파조건에 대해  $K_D$  값을 적게 할 필요는 없다. 더욱 1984년에 제안된  $K_D$  값은 1973년에 제시된 것에 비해 다르게 추정되었다.

### (18) 경사방파제 단면의 설계 및 수중부분의 사석 질량

참고 식 (4.3-106)은 강력한 파력이 작용하는 수면부근의 사석질량을 산출하는데 사용하는 것이다.

수중부분은 파력이 감소되므로 사석질량에 대해서는 참고 그림 (4.3-65)의 단면을 참조한다.

참고 표 (4.3-18)  $H/H_D=( )$ 와 피해율과의 관계<sup>1)</sup>

피해율 (%)	쇄 석		T.T.P.	Tribar
	등 근 돌	모 난 돌	$H/H_D=( )$	$H/H_D=( )$
	$H/H_D=( )$	$H/H_D=( )$		
0~5	1.08	1.08	1.08	1.00
5~10	1.08	1.08	1.09	1.11
10~15	1.14	1.19	1.17 <sup>3)</sup>	1.25 <sup>3)</sup>
15~20	1.20	1.27	1.24 <sup>3)</sup>	1.36 <sup>3)</sup>
20~30	1.29	1.37	1.32 <sup>3)</sup>	1.50 <sup>3)</sup>
30~40	1.41	1.47	1.41 <sup>3)</sup>	1.59 <sup>3)</sup>
40~50	1.54	1.56 <sup>2)</sup>	1.50 <sup>3)</sup>	1.64 <sup>3)</sup>

주 : 1) 방파제의 제간부, 2층으로 난적, 비쇄파, 약간의 월류를 허용하는 조건

2) 고딕체로 쓰인 값은 내·외삽으로 계산된 것임.

3) 실험은 개개의 효과를 고려하지 않았으므로 설계파(設計波)보다 10% 이상 큰 파에 대해서는 제시된 값보다 상당히 피해를 입을 수가 있다.

참고 표 (4.3-19) 피복재 질량을 결정하기 위한  $K_D$ 값

피복재	n <sup>3)</sup>	거 치	제 간 부		
			$K_D$ <sup>2)</sup>		
			쇄 파	비 쇄 파	경사(傾斜)
매끈하고 둥근사석 〃	2 >3	난적 〃	※1.2 ※1.6	2.4 ※3.2	1.5부터 3.0 4)
거칠고 모가 있는 돌 〃	2 >3	〃	2.0 ※2.2	4.0 4.5	1.5 2.0 3.0 4)
	2	특별한 것 <sup>6)</sup>	5.8	7.0	4)
평면육면체돌 <sup>6)</sup>	2	〃 <sup>1)</sup>	7.0~20.0	※8.5~24.0	
테트라포드(Tetrapod) 또는 쿼드리포드(Quadripod)	2	난적	7.0	8.0	1.5 2.0 3.0
트라이바(Tribar)	2	〃	※9.0	10.0	1.5 2.0 3.0
돌로스(Dolos)	2	〃	15.8 <sup>7)</sup>	31.8 <sup>7)</sup>	2.0 <sup>8)</sup> 3.0
모디파이드큐브(Modified cube)	2	〃	※6.5	7.5	4)
헥사포드(Hexapod)	2	〃	※8.0	9.5	4)
토스케인(Toskane)	1	〃	※11.0	22.0	4)
트라이바(Tribar)	1	정적	12.0	15.0	4)

주: 1) 주의 : ※ 표시의  $K_D$ 값들은 실험에 의해 뒷받침된 것이 아니며 단지 임시로 설계목적에 위하여 제공된 것으로 이 값을 적용 시는 신중을 기하여야 한다.

2) 1:1.5부터 1:5까지 경사에 적용할 수 있다.

3) n은 피복층이 이루는 구성수

4) 경사에 따라  $K_D$ 값의 변화에 이용할 수 있는 보다 많은 지식이 취득될 때까지  $K_D$ 값의 사용은 경사 1:1.5에서 1:3까지로 제한되어야 한다.

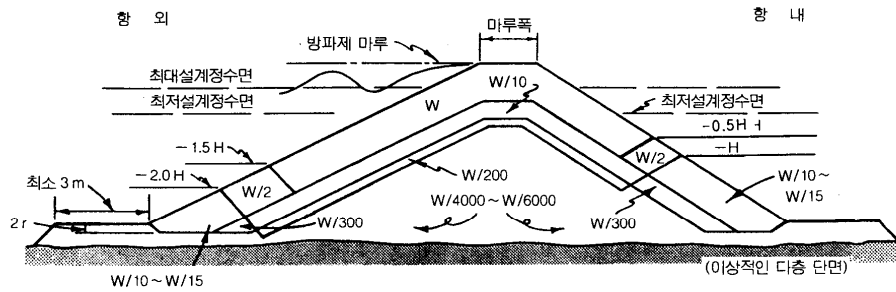
5) 사석의 긴 축으로 특별한 거치는 구조물 표면에 수직으로 거치한다.

6) 평면육면체돌 : 긴 길이가 가장 짧은 길이의 약3배 정도 되는 긴 슬래브 같은 돌

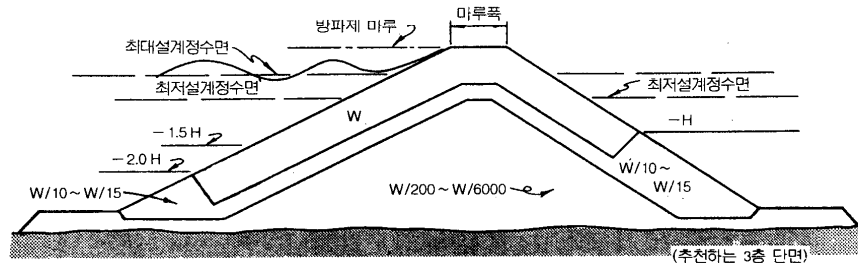
7) 전혀 피해가 없는 조건(5%이하의 흔들림이나 이동 등)을 참조하고 전혀 흔들림이 없으려면(2%이하)  $K_D$ 값을 50% 감소시킨다.

8) 1:2보다 더 급한 Dolos의 안정성은 현장조건에 적합한 실험에 의해 확인되어야 한다.

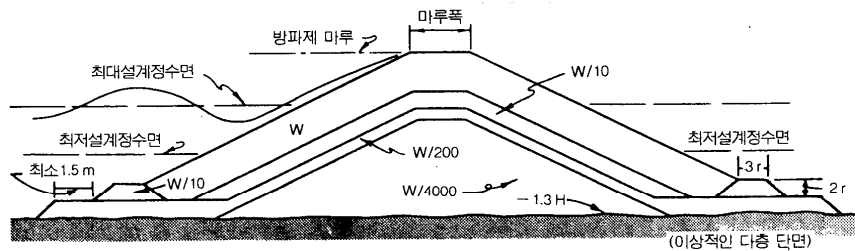
## 설계조건



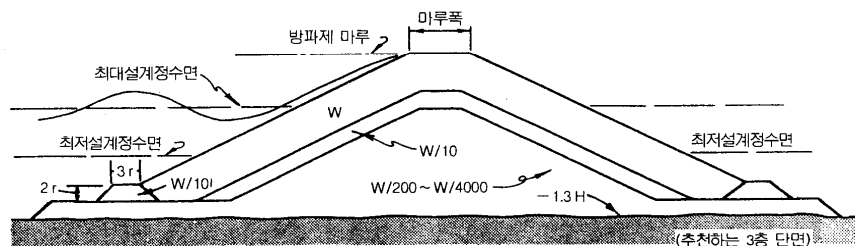
사석크기	층 별	사석크기의 범위(%)	
W	피복층	125 to 75	H = 설계파고
W/2 and W/15	수중 피복층	125 to 75	W = 피복재 개체의 질량
W/10 and W/300	1차 중간층	130 to 70	r = 층의 평균두께
W/200	2차 중간층	150 to 50	
W/4000~W/6000	속채움 및 바닥 깔기층	170 to 30	



(a) 파랑이 바다측에서 내습하는 경우



사석크기	층 별	사석크기의 범위(%)	
W	피복층	125 to 75	H = 설계파고
W/10	소단 및 1차 중간층	130 to 70	W = 피복재 개체의 질량
W/200	2차 중간층	150 to 50	r = 층의 평균두께
W/4000	속채움 및 바닥 깔기층	170 to 30	



(b) 파랑이 제체 양쪽에서 내습하는 경우

월파가 거의 없거나 어느 정도 있을 때

참고 그림 (4.3-65) 경사제 단면도(C.E.M 2004)

$$\textcircled{1} \text{ 방파제 마루폭 : } B = nK_1 \left( \frac{W}{W_r} \right)^{1/3}$$

여기서,  $B$ 는 마루폭,  $n$ 은 층수(3이상),  $K_1$ 층의 상수,  $W$ 피복재의 개당 질량(kg),  $W_r$ , 피복재의 단위체적질량(kg/m<sup>3</sup>)이다. 피복재 층의 상수와 공극률은 참고 표 (4.3-20)과 같다.

참고 표 (4.3-20) 피복재별 층의 상수와 공극률(SPM, 1984)

피 복 재	$n$	거 치	층의 상수 ( $K_1$ )	공극률 $P(\%)$
사석(매끈한 것)	2	난 적	1.02	38
사석(거친 것)	2	〃	1.00	37
사석(거친 것)	>3	〃	1.00	40
사석(평면육면체돌)	2	〃	-	27
입방체돌(수정한 것)	2	〃	1.10	47
테트라포드(Tetrapod)	2	〃	1.04	50
쿼드리포드(Quadripod)	2	〃	0.95	49
헥사포드(Hexapod)	2	〃	1.15	47
트라이바(Tribar)	2	〃	1.02	54
돌로스(Dolos)	2	〃	0.94	56
토스케인(Toskane)	2	〃	1.03	52
트라이바(Tribar)	1	정 적	1.13	47

$$\textcircled{2} \text{ 사석층의 두께 : } r = nK_1 \left( \frac{W}{W_r} \right)^{1/3}$$

여기서,  $r$ 은 층의 평균두께(m),  $n$ 은 사석이나 콘크리트의 피복층수,  $W$ 는 각 피복재의 개당 질량(kg),  $W_r$ 은 피복재의 단위체적질량(kg/m<sup>3</sup>)이다.

$$\textcircled{3} \text{ 피복재의 개수 : } \frac{N_r}{A} = nK_1 \left( 1 - \frac{P}{100} \right) \left( \frac{W_r}{W} \right)^{2/3}$$

여기서,  $N_r$ 은 주어진 면적당 각 피복재의 소요개수,  $A$ 는 표면적(m<sup>2</sup>),  $P$ 는 피복재의 평균 공극률(%)이다.

#### ④ 피복재 및 중간피복재의 층수

피복재 및 중간피복재의 층수는 2층을 표준으로 한다. 단, 해상조건, 피해사례, 거치 방법 등을 고려하여 1층으로 할 수도 있다. 콘크리트블록 피복재는 블록 제안자가 제시하는 층수를 사용하되 수리모형실험으로 검토하는 것이 바람직하다.

⑤ 방파제의 선단에는 파향이 여러 방향으로부터 내습하여 사석이 전면보다 후면으로 굴러 떨어지는 경우가 있으므로 피복재는 전면보다 후면에 큰 사석을 사용해야 한다. 안정을 기하기 위해서는 제간부 피복재질량의 1.5배 이상인 사석 또는 블록을 사용하는 것이 바람직하다.

## 4.3.10.2 혼성제 사석부의 피복석 또는 블록의 안정질량

- (1) 혼성제 사석부의 피복석 또는 인공블록의 안정질량은 수리모형실험 또는 설계 조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.
- (2) 안정질량 산정 시 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

## [해설]

파력을 받는 혼성제사석부의 피복석 또는 블록의 소요질량은 해설 식 (4.3-5)를 이용하여 산정할 수 있다. 혼성제의 사석부 피복재의 소요질량은 파의 제원이나 설치수심, 사석부의 두께, 전면 어깨폭(前 肩幅), 경사 등의 사석부 형상, 피복재의 종류나 쌓는 방법, 그리고 위치(제두부나 제간부) 등에 따라 다르다. 특히, 파의 제원과 사석부 형상의 영향은 경사면에 피복된 피복재에 미치는 영향보다 현저하다. 따라서 기존의 조사 연구성이나 현장실적을 참고하여 필요에 따라 모형실험을 실시하고 적절한 질량을 결정한다. 또 파의 불규칙성의 영향에 대해서도 충분히 유의해야 한다. 단, 혼성제 사석부 피복재의 안정성은 반드시 질량만으로 결정되는 것이 아니고 구조 또는 배열에 의해서 비교적 작은 질량의 것으로도 안정성을 확보할 수도 있다.

## [참고]

## (1) 소요질량산정 기본식

혼성제 사석부의 피복재 소요질량은 사면피복재의 안정질량과 같은 일반화된 허드슨 해설 식 (4.3-5)에 의해 산정할 수 있다. 이 식은 브레브너와 도넬리(Brebner-Donnelly, 1962)에 의해서 직립벽 기초사석부의 소요질량 산정을 위한 기본식으로서 널리 사용되고 있다. 이론적인 측면에서도 어느 정도 타당성을 갖고 있으므로 혼성제 사석부 피복재의 소요질량은 이 식을 기본으로 산정한다[다니모토(谷本) 등, 1982]. 단, 안정계수  $N_s$ 는 수심, 파의 제원, 사석부의 형상, 피복재의 특성, 상대여유고뿐 아니라 그 위치(제간부나 제두부 등)에 따라서도 다르므로 조건에 적합한 수리모형실험에 의해서 적절히 결정할 필요가 있다. 또 설계계산에 사용되는 파고는 통상 유의파고이고 모형실험은 불규칙파를 사용한다.

## (2) 피복석의 안정계수

안정계수  $N_s$ 는 브레브너 도넬리나 과거 피해사례를 기초로 하여 제안된 식 또는 수리실험결과를 토대로 하여 제안된 식들이 있다. 여기서는 다카하시기무라(高橋木村, 1990)등에 의해서 사석부 부근의 유속 다니모토 등(谷本 등, 1982), 파향 등의 영향을 고려한 식을 사용한다.

## ① 확장된 다니모토(谷本)식

$$N_s = \max \left\{ 1.8, 1.3 \frac{1-K}{K^{1/3}} \frac{h'}{H_{1/3}} + 1.8 \exp \left[ -1.5 \frac{(1-K)^2}{K^{1/3}} \frac{h'}{H_{1/3}} \right] \right\} ; B_M/L' < 0.25 \quad \text{참고 식 (4.3-109)}$$

$$K = K_1(K_2)_B \quad \text{참고 식 (4.3-110)}$$

$$K_1 = \frac{4\pi h' / L'}{\sinh(4\pi h' / L')} \quad \text{참고 식 (4.3-111)}$$

$$(K_2)_B = \max \{ \alpha_s \sin^2 \beta \cos^2(2\pi l \cos \beta / L'), \cos^2 \beta \sin^2(2\pi l \cos \beta / L') \} \quad \text{참고 식 (4.3-112)}$$

여기서,  $h'$  : 기초사석부(피복층제외)의 마루의 수심(m)[참고 그림 (4.3-66) 참조]

$l$  : 파가 직각으로 입사할 경우는 앞 어깨 폭  $B_M$  (m)

파가 사각으로 입사할 경우는 앞  $B_M$  또는  $B_M'$  중에서

$(K_2)_B$ 가 큰 편의 값[참고 그림 (4.3-66) 참조]

$L'$  : 수심  $h'$ 에서 설계유위와 주기에 대한 파장(m)

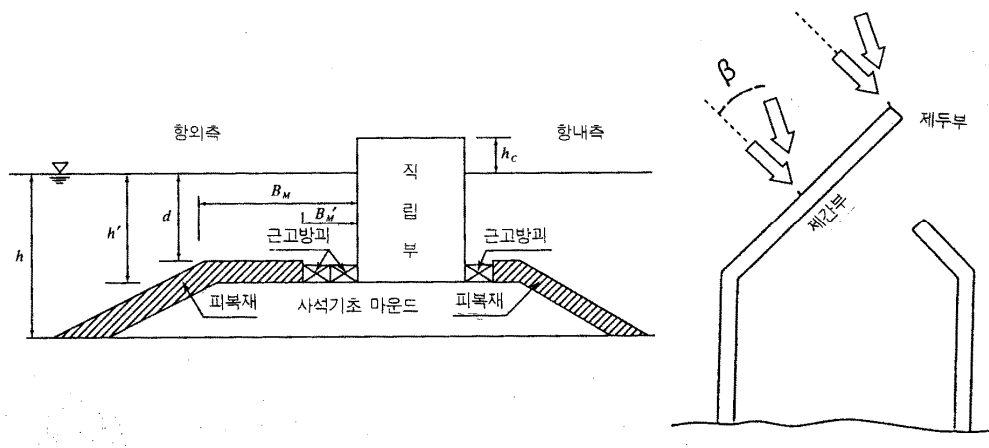
$\alpha_s$  : 대상지점이 수평한 경우의 보정계수(= 0.45)

$\beta$  : 파의 입사각(기준선방향과 이루는 각, 15°의 파향 보정은 하지 않음)

[참고 그림 (4.3-67) 참조]

$H_{1/3}$ : 설계유위파고(m)

위 식은 제간부를 대상으로 하고 입사각이 60°까지 경사지게 입사하는 파에 대해서도 유효하다.



참고 그림 (4.3-66) 혼성제의 표준적인 단면과 기호    참고 그림 (4.3-67) 방파제의 방선형상이나 파향의 영향

## ② 변형을 허용하는 안정계수

사석부의 높이가 낮은 비쇄파 조건에 한정하여 기무라(須藤.木村, 1992) 등은 수리실험을 실시한 후 임의의 작용파수  $N$ 과 피해율  $D_N(\%)$ 에 대한 안정계수  $N_s$ 를 구하는 식을 제안하였다.

$$N_s^* = N_s [D_N / \exp \{0.3(1 - 500/N)\}]^{0.25} \quad \text{참고 식 (4.3-113)}$$

## 설계조건

여기서  $N_s$ 는 다니모토(谷本, 1982)식에 의해 주어지는 안정계수이고,  $N=500$ 으로 피해를 1%인 경우의 안정계수이다. 설계에서는 피해의 진행상황에서 판단하여  $N=1,000$ 파를 채택할 필요가 있다. 한편 피해율로서는 2층 피복이면 3~5%로 해도 충분하다고 생각된다. 즉  $N=500$ ,  $D_N=1(\%)$ 을 주면  $N_s^* = 1.44N_s$ 가 되며 소요질량은 약 1/3이 된다.

### (3) 피복블록의 안정계수

콘크리트블록의 안정계수  $N_s$ 는 블록의 형상, 쌓는 방법에 따라 각각 다르므로 수리모형실험에 의해 산정하는 것이 바람직하다. 실험은 불규칙파를 이용한다.

### (4) 사석부 피복재에 대한 안정계수의 적용조건

사석부 피복재상의 수심이 낮은 경우는 쇄파에 의해 불안정하게 되는 경우가 많다. 이 때문에 안정계수는  $h'/H_{1/3} \geq 1$ 인 조건일 때 적용하고,  $h'/H_{1/3} < 1$ 일 때는 사면피복재의 안정계수를 사용하는 것이 적절하다. 더욱 다니모토(谷本, 1982)등의 피복석 안정계수는  $h'/H_{1/3}$ 이 적은 경우에는 실험으로 검증되지 않고 있다. 따라서  $h'/H_{1/3}$ 가 1정도일 때는 수리모형실험을 통해 확인하는 것이 바람직하다.

### (5) 피복재의 층수

피복석의 층수는 2층을 표준으로 한다. 단, 시공예나 피해사례를 고려해서 1층으로 해도 좋다. 이때에 앞에서 참고 식 (4.3-113)의  $N=1,000$ 파에 대해 피해율을 1%로 줄여서 대응시키는 것도 생각할 수 있다. 또 피복블록의 층수에 관해서는 1층을 표준으로 하나 블록의 형상, 해상조건이 좋지 않은 경우에는 2층으로 해도 좋다.

### (6) 제두부(堤頭部)의 피복재

제두부는 직립부 끝부분의 모서리로 국소적으로 빠른 유속이 발생하기 때문에 피복재가 움직이기 쉽고 이곳의 피복재질량의 할증에 대해서는 수리모형실험을 통해 확인할 필요가 있다. 수리실험을 하지 않는 경우에는 제간부 질량의 1.5배 이상으로 하는 것을 표준으로 한다. 또 범위에 대해서는 케이슨식의 방파제일 경우 제두부분의 케이슨 1개정도로 한다.

더욱 확장된 다니모토(谷本)식으로도 제두부 피복석 질량을 산정할 수 있다. 즉, 제두부의 경우에는 참고 식 (4.3-110)의 무차원유속  $K$ 를 다음과 같이 고쳐 쓴다.

$$K = K_1 (K_2)_T \quad \text{참고 식 (4.3-114)}$$

$$(K_2)_T = 0.22 \quad \text{참고 식 (4.3-115)}$$

단, 산정된 질량이 제간부의 1.5배 이하인 경우에는 1.5배로 하는 것이 바람직하다.

### (7) 항내측의 피복

항내측 피복재의 필요여부 또는 소요질량은 기존의 설계 예를 참고로 함과 동시에 항내측의 파나 시공시의 파의 조건, 월파 등을 고려하고 필요에 맞게 수리실험에 의해 결정한다.



## (8) 피복재 질량의 저감

피복재 소요질량 산정식은 보통 사석부의 수평부나 비탈면어깨(法肩)를 대상으로 한 것이 있으나 사석부두께가 작은 때에는 사면부분 전체를 같은 질량으로 하는 경우가 많다. 그러나 사석부 두께가 클 때에는 수심이 깊은 사면부분의 질량을 저감할 수가 있다.

## 4.3.10.3 흐름에 대한 사석의 안정질량

흐름에 대한 사석 등의 안정질량은 수리모형실험 또는 설계조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.

## [해설]

흐름에 대한 마운드의 사석 등의 피복재의 소요질량은 적절한 수리모형실험 또는 다음 식에 의해 산정하는 것을 표준으로 한다.

$$M = \frac{\pi \rho_r U^6}{48 g^3 y^6 (S_r - 1)^3 (\cos\theta - \sin\theta)^3} \quad \text{해설 식 (4.3-6)}$$

여기서,  $M$  : 사석의 안정질량(kN)  
 $\rho_r$  : 사석의 밀도(kN/m<sup>3</sup>)  
 $U$  : 사석의 상부에서의 물의 유속(m/s)  
 $g$  : 중력가속도(m/s<sup>2</sup>)  
 $y$  : 이스바쉬의 정수(파문힌 돌은 1.20, 노출된 돌은 0.86)  
 $S_r$  : 사석의 물에 대한 비중  
 $\theta$  : 수로상(水路床)의 축방향의 사면의 경사(°)

또한, 흐름에 대한 피복재의 안정질량은 흐름이 빨라지면 갑자기 커진다는 것에 주의할 필요가 있다. 그리고 안정질량은 피복재의 형상이나 밀도 등에 의해서도 변화하는 것에 유의할 필요가 있다.

## (1) 이스바쉬(Isbash)의 식

흐름에 대한 사석의 안정질량에 대하여는 미국의 해안공학연구센터(CERC)가 조류에 의한 세굴을 방지하기 위한 사석질량으로 해설 식 (4.3-6)을 제시하고 있다.

## (2) 이스바쉬(Isbash)의 정수

해설 식 (4.3-6)은 경사면상의 구체에 작용하는 흐름 항력과 구(球)의 마찰저항과의 균형을 고려하고 유도한 것이다. 이 식은 정상류에 있어서의 힘의 균형을 고려했기 때문에 심한 소용돌이의 생성이 예상되는 곳에서는 이 보다도 큰 질량의 사석을 사용할 필요가 있다.

## 설계조건

### (3) 지진해일 방파제 개구부의 마운드 피복재

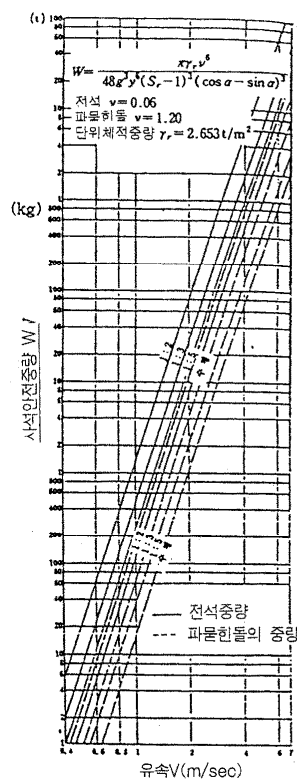
이와자키(岩崎) 등은 지진해일 방파제의 개구부 잠제(開口部 潛堤)의 마운드 피복재로서 이형블록을 사용한 경우 해설 식 (4.3-6)의 이스바쉬의 정수로 1.08을 얻고 있다. 다니모토(谷本) 등은 개구부를 대상으로 하는 3차원 평면실험을 행하여 개구부 부근에서의 3차원적인 흐름의 구조를 밝힘과 동시에 피복재로서의 석재나 이형블록을 사용한 경우의 이스바쉬 정수와 피해율의 관계를 밝히고 있다.

## [참고]

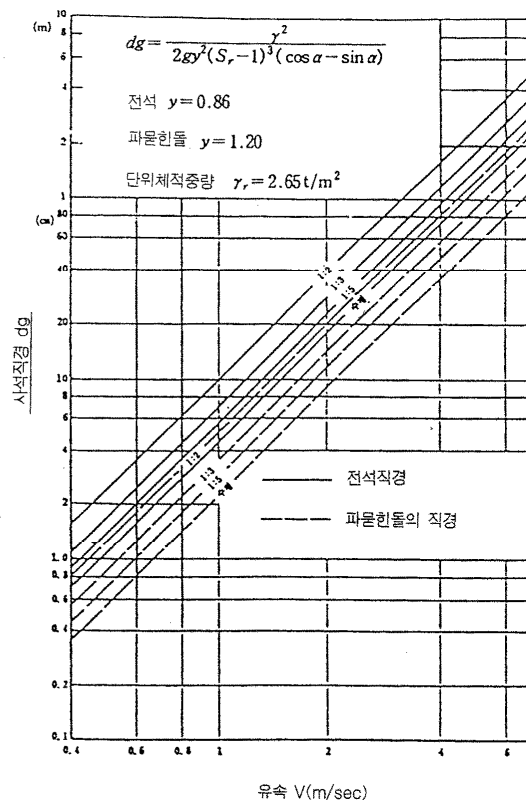
미국의 해안공학연구센터(CERC)이 제안한 사석질량 해설 식 (4.3-6)은 수평바닥 위의 구체에 작용하는 흐름의 항력과 구의 마찰저항과의 평형을 고려하여 유도된 것이다. 정수( $y$ )는  $(2\mu/3C_D)0.5$ 와 같다. 단,  $\mu$ 는 마찰계수,  $C_D$ 는 항력계수이다. 참고 그림 (4.3-68)은 해설 식 (4.3-6)에 의한 사석의 단위체적질량이 2.65t/m<sup>3</sup>일 때의 사석질량 산정도이다.

참고 그림 (4.3-69)에 의해 사석(구형)의 직경을 쉽게 구할 수 있다. 단위체적질량이 다른 때에는 보정계수  $f_n$ 를 곱하면 된다.

또, 해설 식 (4.3-6)은 정상류에서 힘의 균형을 생각한 것이므로 심한 소용돌이의 생성이 예상되는 곳에서는 이보다 더 큰 질량의 사석을 사용해야 한다.



참고 그림 (4.3-68) 흐름에 대한 사석의 안정질량



참고 그림 (4.3-69) 흐름에 대한 사석 안정직경

## [참고문헌]

- 1) 나카무라, 사사키, 아마다(1972), "복합단면에 있어서 파도의 처오름에 관한 연구", 제19회 해안공학강연회강연집, pp.309 ~ 312.
- 2) 다케우치, 나나사와(1961), "이마바리 해안에 있어서의 소위 군합파에 대해서", 일본 해양학회지 Vol.17 No.2, pp.80 ~ 90.
- 3) 사토, 후루카와, 다카하시, 호소야마(1992), "소파 블록피복상부사면제의 수리특성-나하항 대수심역에 있어서 신구조방파제의 개발", 해안공학논문집 제39권, pp.556 ~ 560
- 4) 운수성 항만기술연구소.항만국(1985), 부체공법개발조사보고서, pp.171
- 5) 이달수 등(2002), "경사식방파제의 최적 설계기술 개발(III)", 해양수산부 연구용역 보고서, 한국해양연구원.
- 6) 이달수 등(2003), "경사식방파제의 최적 설계기술 개발(IV)", 해양수산부 연구용역 보고서, 한국해양연구원.
- 7) 이달수 등(2004a), "경사제에 작용하는 총파력 : I. 수평파력 추정법", 2004년도 대한 토목학회 정기 학술대회 논문집.
- 8) 이달수 등(2004b), "경사제에 작용하는 총파력 : III. 연직파력 추정법", 2004년도 대한 토목학회 정기 학술대회 논문집.
- 9) 이종인, 배일로(2015a), "TTP로 피복된 경사식구조물의 처오름높이 산정식: 사면경사 1:1.5 조건", 대한토목학회논문집, 제35권, 제4호, pp.845-852
- 10) 이종인, 배일로(2015b), "TTP로 피복된 경사식구조물의 처오름높이 산정식: 사면경사 및 피복층두께 효과", 대한토목학회논문집, 제35권, 제5호, pp.1051-1059
- 11) 이토, 치바(1972), "부방파제의 수리에 관한 근사이론과 응용", 항만기술연구소보고 Vol.11 No.2, pp.15 ~ 28
- 12) 카타야마, 세키모토, 우에키(1998), "반몰 수형상부 사면제에 작용하는 파력특성에 관하여", 해안공학논문집 제45권, pp.776 ~ 780
- 13) 한국해양연구원(2005), 전해역 심해설계과 추정 보고서.
- 14) 호소이, 슈도(1932), "제방에 경사로 입사하는 경우의 처오름에 대하여", 제9회 해안 공학강연회강연집, pp.149 ~ 152.
- 15) Bretschneider. C.L.(1968), "Decay of ocean waves, Fundamentals ocean engineering-Part 8b", Ocean Industry, pp. 45 ~ 50.
- 16) Brebner, A. and D. Donnelly(1962), "Laboratory study of rubble foundations for vertical breakwaters", Proc. 8th Conf. of Coastal Eng, New Mexico City, pp. 408 ~ 429.
- 17) Cavaleri, L. and P.H. Rizzoli(1981), "Wind wave prediction in shallow water theory and applications", Jour. Geophyhs. Res., Vol. 86, No. C11, pp. 10,961 ~ 10,973.
- 18) CERC. Dept. of the Army U.S.(1992), Automated Coastal Engineering System. Tech. Ref.

## 설계조건

- 19) Chae. J.W. and S.T. Jeong(1992), "Current-depth refraction and diffraction model for irregular water waves", Proc. 23rd ICCE, ASCE, Venice, Vol. 1, pp. 129 ~ 141.
- 20) Chen. T.C.(1961), "Experimental study on the solitary wave reflection along a straight sloped wall of oblique angle of incidence", Tech Memo 124, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers.
- 21) Christensen. F.T., P.C. Broberg. S.E. Sand. and P. Tryde(1984), "Behavior of rubble- mound breakwater in directional and uni-directional waves", Coastal Eng., Vol. 8, pp. 265 ~ 278.
- 22) Coastal Engineering Research Center(1984), Shore Protection Manual, Department of Army Corps of Engineers.
- 23) Collins, J.I.(1972), "Prediction of shallow water waves", Jour. Geophys. Res., Vol. 77, No. 15, pp. 2,693 ~ 2,702.
- 24) Goda. Y.(1988), "On the methodology of selecting design wave height", Proc. 21st ICCE, ASCE, Spain, pp. 899 ~ 913.
- 25) Goda, Y. and Matsumoto, A.(2004), "A Simplified Theory on Total Wave Pressure Exerted on a Rubble Mound Breakwater", Proc of Asian and Pacific Coasts 2003, APAC094.
- 26) Golding. B.(1983), "A wave prediction system for realtime sea state forecasting", Quat, Jour. Royal Meteorol. Soc., Vol. 109, No. C11, pp. 393 ~ 416.
- 27) Gunther, H. et al(1979), "A hybrid parametrical wave prediction model", Jour. Geophys. Res., Vol. 84, pp. 5,727 ~ 5,738.
- 28) Hasselman, K.(1968), "Weak-interaction of ocean waves, Basic Developments in Fluid Dynamics", Vol. 2, Academic Press Inc., New York.
- 29) Hasselman, S and K. Hasselman(1985), "Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum", Part I : A new method for efficient computations of the exact nonlinear transfer integral, J. Phys. Oceanogr. 15, pp. 1,369 ~ 1,377.
- 30) Hiroi. I.(1919), "On a method of estimating the force of waves", 東京帝國大學工科紀要, Vol. X, No. 1, 19p.
- 31) Hudson. R.Y.(1959), "Laboratory investigation of rubble-mound breakwater", Proc. ASCE, Vol. 85, W.W.3, pp. 93 ~ 121.
- 32) Inoue, T.(1967), "On the growth of the spectra of a wind generated sea according to a modified Miles-Phillips mechanism and its application to wave forecasting", Geophysical Science Lab., TR-67-5, New York Univ., pp. 1 ~ 74.
- 33) Isozaki, I. and T. Uji(1973), "Numerical prediction of ocean wind waves", Papers of Meteorology and Geophysics, Vol. 24, No. 2, pp. 207 ~ 231.
- 34) Joseph, P.S., S. Kawai and Y. Toba(1981), "Ocean wave prediction by a hybrid model combination of single-parameterize wind waves with spectrally treated Swells", Sci. Rep, Tohoku Univ., Set. 5, (Tohoku Geophys. Journ.), Vol. 28, No. 1.

- 35) Keulegan. G.H. and L.H. Carpenter(1958), "Forces on cylinders and plates in an oscillating fluid", Journal of the National Bureau of Standards, Vol. 60, No. 5, pp. 423 ~440.
- 36) Kirby. J.T. and R.A. Dalrymple(1983), "Propagation of weakly-nonlinear surface water waves in regions with varying depth and current", ONR. Tech. Rep. 14, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Delaware.
- 37) Lee, D.S., Kim, C.I., Oh, Y.M. and Lee, K.S.(2004), "Direct Measurement of Wave Force Acting on a Rubble Mound Breakwater in Hydraulic Experiment", Proc of Asian and Pacific Coasts 2003, APAC093.
- 38) Longuet-Higgins. M.S. and R.W. Stewart(1962), "Radiation stress and mass transport in gravity waves with application to surf beats", Jour. Fluid Mechanics, Vol. 13, pp. 481 ~504.
- 39) Mase H.(1989), "Random wave runup height on gentle slope", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean engineering, ASCE, Vol.118, No.5, pp.649 ~664.
- 40) Miles, J.W.(1959), "On the generation of surface waves by shear flows", J. F. M., Vol. 6, pp. 568 ~582.
- 41) Mitsuyasu, H.(1962), "Experimental study on wave force against a wall", Report of Trans. Tech. Res. Inst, No. 47, pp. 1 ~39.
- 42) Morison. J.R., M.P. O'Brien, J.W. Johnson, S.A. Schaaf(1950), "The force exerted by surface waves on piles, Petroleum Trans", 189, TP2846, pp. 149 ~154.
- 43) Phillips, O.M.(1957), "On the generation of waves by turbulent wind", J. F. M., Vol. 2, pp. 417 ~445.
- 44) Pierson, W.J.Jr., G. Neumann and R.W. James(1955), "Practical methods for observing and forecasting ocean waves by means of wave spectra and statistics", U.S. Navy Hydro Office Pub., No. 603.
- 45) Saville, T.Jr.(1958), "Wave run-up on composite slopes", Proc.6th Conf.on Coastal Eng.m pp.691 ~699.
- 46) Sainflou. G.(1928), "Essai sur les diques maritimes verticales", Annales des Ponts et Chaussees, Vol. 98, No. 1, pp. 5 ~48.
- 47) Sarpkaya. T.(1975), "Forces on cylinders and spheres in a sinusoidally oscillating fluid", Journal of Applied Mechanics, Trans. of ASME, Vol. 42, No. 1, pp. 32 ~37.
- 48) Sarpkaya. T.(1976), "In-line and transverse forces on cylinders in oscillatory flow at high Reynolds number", Proc. of the Offshore Technology Conference, Vol. II, pp. 95 ~108.
- 49) Seelig, W.N. and J.P. Ahrens(1981), "Estimation of wave reflection and energy dissipation coefficients for beaches, revetments", and breakwaters, U.S. Army Corps of Engineers, CERC, Tech. Paper, No. 81-1, 40p.
- 50) Uji, T.(1985), "A coupled discrete wave model MRI-II", Journ Of Oceanogr, Society of Japan, Vol. 40, pp. 303 ~313.

## 설계조건

- 51) US Army Corps(2006), Coastal Engineering Manual
- 52) van de Kreeke. J.(1969), "Damage function of rubble mound breakwaters", ASCE, Journal of the Waterway and Harbors Division, Vol. 95, WW3, pp. 345 ~ 354.
- 53) van der Meer J.W.(1988), "Rock slopes and gravel beaches under wave attack", Doctoral thesis, Delft Univ. of Tech., 152p. あるいは Van Der Meer J.W.(1987), Stability of breakwater armour layer-Design formulae, Coastal Engineering, 11, pp. 219 ~ 239.
- 54) van der Meer. J.W.(1988), "Stability of cubes, Tetrapods and Accropode", Proc. of Breakwater 88, Eastbourne, UK, pp. 71 ~ 80.
- 55) Van der meer, J.W. and C.M. Stam(1992), "Wave runup on smooth and rock slopes of coastal structures", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol.118, No.5, pp.534 ~ 550.
- 56) 加藤一正, 中村聰志, 池田直太(1991), "波の連なりを考慮した長周期波の波高推定 - 波崎海洋研究施設における現地観測にもとづく検討", 港湾技術研究所報告, Vol. 30, No. 1, pp. 137 ~ 163.
- 57) 高橋重雄, 谷本勝利, 鈴村論司(1983), "直立壁に作用する衝撃 碎波壓の発生機構に関する一考察", 港湾技術研究所報告, Vol. 22, No. 4, pp. 3 ~ 31.
- 58) 高橋重雄, 谷本勝利, 下迫健一郎(1990), "消波ブロック被覆堤直立部の滑動安全性に対する波力とブロック荷重", 港湾技術研究所報告, 第29巻, 第1号, pp. 54 ~ 75.
- 59) 高橋重雄, 谷本勝利, 下迫健一郎, 細山田得(1992), "混成防波堤のマウンド形状による衝撃 碎波力係数の 提案", 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 676 ~ 680.
- 60) 高橋重雄, 半沢稔, 佐藤弘和, 五明美智男, 下迫健一郎, 寺内潔, 高山知司, 谷本勝利 (1998), "期待被災度を考慮した消波ブロックの安定重量一消波ブロック被覆堤の設計法の再検討", 第1報一, 港湾技術研究所報告, 第38巻, 第1号, pp. 3 ~ 28.
- 61) 高橋重雄, 下迫健一郎, 土部達生, 谷本勝利(1993), "衝撃碎波力に対する混成防波堤の動的応答計算", 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 766 ~ 770.
- 62) 高山知司(1981), "波の回折と港内波高分布に関する研究, 港湾技研資料", No. 367, pp. 140.
- 63) 光易 恒(1965), "波壓論, 1965年水工学に関する夏期研修會講義集B海岸.コース", 土木學會水理委員會, pp. B-16-1 ~ B-16-25.
- 64) 谷本勝利(1976), "混成防波堤に働く波力について", 昭和51年度 港湾技術研究所講演會講演集, pp. 1 ~ 26.
- 65) 谷本勝利, 高橋重雄, 轟正彦, 和泉田芳和(1977), "ドルフィン上部工に作用する水平波力", 港湾技術研究所報告, Vol. 16, No. 3, pp. 39 ~ 68.
- 66) 谷本勝利, 高橋重雄, 北谷高雄(1981), "混成防波堤のマウンド形状による衝撃 碎波力の発生と対策について", 港湾技術研究所報告, Vol. 20, No. 2. pp. 3 ~ 39.
- 67) 谷本勝利, 高橋重雄, 和果田芳和(1978), "水平版に働く揚壓力に関する研究", 港湾技術研究所報告, Vol. 17, No. 2, pp. 3 ~ 47.

- 68) 谷本勝利, 柳澤忠彦, 村永 努, 紫田鋼三, 合田良實(1982), "不規則波實驗による混成堤マウンド被覆材の安定性に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 21, No. 3, pp. 3~42.
- 69) 谷本勝利, 木村克俊(1985), "台形ケーソンの水理特性に關する實驗的研究", 港灣技研資料, No. 528, pp. 28.
- 70) 谷本勝利, 木村克俊, Antonio Paulo dos Santos Pinto(1986), "二山型スペクトル波による混成堤に働く波力と設計週期の算定法", 港灣技術研究所報告, Vol. 25, No. 2, pp. 3~25.
- 71) 谷本勝利, 小島朗史(1983), "傾斜堤上部工およびブロック式混成堤に働く波力", 港灣技研資料, No. 450, 32p.
- 72) 谷本勝利, 原中祐人, 富田英治, 和泉田芳和, 鈴木論司(1980), "曲面スリットケーソンの水理特性に關する實驗的研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 19, No. 4, pp. 3~53.
- 73) 関本恒浩, 近藤浩右, 大下哲則, 今井澄雄, 中村光宏(1988), "入射角を考慮したカーテンウォール式防波堤の設計波力について", 海岸工學會論文集, 第35巻, pp. 657~661.
- 74) 久宝雅史, 竹沢三雄, 植木隆彦(1973), "波峯付近における波壓に關する實驗的研究", 第20回 海岸工學講演會論文集, pp. 279~284.
- 75) 鹿島遼一, 榊山 勉, 清水琢 三, 関本恒浩, 國栖廣志, 京谷 修(1995), "不規則波に對する消波ブロック被覆工の變形量評價式について", 海岸工學論文集, 第40巻, pp. 795~799.
- 76) 福田伸夫, 宇野俊泰, 人江功(1973), "防波護岸の越波に關する現地觀測(第2報)", 第20回 海岸工學講演會論文集, pp. 113~118.
- 77) 本間 仁, 堀川清司, 長谷直樹(1962), "護岸に働く波力について", 第9回 海岸工學講演會論文集, pp. 133~137.
- 78) 須藤賢哉, 木村克俊, 笹島降彦, 水野雄三, 竹田英章(1995), "變形を許容した混成堤マウンド被覆材の必要重量算定式", 海岸工學會論文集, 第42巻, pp. 896~900.
- 79) 水野雄三, 杉本義昭, 木村克俊, 山中浩次, 鞠池聰一(1993), "高天端防波堤の波力特性に關する研究", 海岸工學論文集, 第40巻, pp. 721~725.
- 80) 首藤伸夫(1974), "非線形長波の變形-水路幅, 水深の變化する場合", 第21回 海岸工學講演會論文集, pp. 57~64.
- 81) 山口正隆, 畑田佳男, 日野幹雄, 小淵恵一郎(1986), "エネルギー平衡方程式に基づく淺海波浪推算モデルの適用性について", 土木學會論文集, 第369号, II-5巻, pp. 233~242.
- 82) 森平倫生, 崎秀 作, 菊谷 徹(1967), "異形ブロックの波力減殺效果に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 6, No. 4, pp. 3~31.
- 83) 森平倫生, 柿崎秀作, 合田良実(1964), "カーテン防波堤とその特性について", 港灣技術研究所報告, Vol. 3, No. 1, 16p.
- 84) 永井康平, 小沢大造, 岸良安治, 西村澁郎(1986), "台風による二山型 スペクトルを有する現地波浪の諸特性", 第33回 海岸工學講演會論文集, pp. 144~148.
- 85) 永井莊七朗, 高田彰(1964), "海岸堤防の越波に及ぼす消波堤の効果", 第11回 海岸工學講演會講演集, pp. 279~286.
- 86) 伊藤喜行, 谷本勝利(1971), "混成防波堤の蛇行災害", 港灣技研資料, No. 112.

## 설계조건

- 87) 伊藤喜行, 谷本勝利(1971), "混成防波堤の蛇行災害", 港灣技研資料, No. 112, 13p.
- 88) 伊藤喜行, 藤島 睦, 北谷高雄(1966), "防波堤の安定性に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 5, No. 14, 134p.
- 89) 伊藤喜行, 竹田英章(1967), "栈橋に作用する波の楊壓力", 港灣技術研究所報告, Vol. 6, No. 4, pp. 37 ~ 68.
- 90) 井島武士(1968), "波浪の數値豫測, 1968年度 水工學に關する夏期研修會講義集".
- 91) 井島武士, 副島 毅, 松尾隆彦(1967), "數値計算による台風域内の波の分布について", 第14回 海岸工學講演會講義集.
- 92) 中田邦夫, 寺内 潔, 西田仁志, 梅木 功(1984), "低天端混成堤の諸特性について", 第31回 海岸工學講演會論文集, pp. 532 ~ 536.
- 93) 坂本信雄, 井島武士, 佐藤昭二, 青野尚(1960), "浅海における風波の図式計算法", 第7回 海岸工學講演會講義集.
- 94) 平口博丸, 山口正隆, 土屋義人(1985), "波浪予知モデルの日本海への適用", 第32回 海岸工学講演會論文集, pp. 139 ~ 143.
- 95) 平石哲也, 河野信二, 玉城重則, 長谷川準三(1997), "港灣構造物の設計に用いる長週期波の標準スペクトルについて", 海岸工學論文集, 第44卷, pp. 246-250.
- 96) 合田良實(1967), "構造物に働く波力, 1967年度 水工學に關する夏期研修會講義集", 海岸・港灣コース 土木學會水理委員會, pp. B-10-1 ~ B-10-31.
- 97) 合田良實(1970), "防波護岸の越波流量に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 9, No. 4, pp. 3 ~ 41.
- 98) 合田良實(1970), "碎波指標の整理について", 土木學會論文報告集, 第180号, pp. 39 ~ 49.
- 99) 合田良實(1970), "波浪の數値計算-波浪スペクトルの應用例-, 1970年度 水工學に關する夏期研修會講義集".
- 100) 合田良實(1973), "防波堤の設計波壓に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 12, No. 3, pp. 31 ~ 69.
- 101) 合田良實(1973), "衝擊碎波壓を受ける混成防波堤の舉動に關する考察", 港灣技術研究所報告, Vol. 12, No. 3, pp. 3 ~ 29.
- 102) 合田良實(1975), "淺海域における波浪の碎波變形", 港灣技術研究所報告, Vol. 14, No. 3.
- 103) 合田良實(1990), "港灣構造物の耐波設計", 鹿島出版社, pp. 12 ~ 17, 265 ~ 322.
- 104) 合田良實, 岸良安治, 神由 豊(1975), "不規則波による防波護岸の越波流量に關する實驗的研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 14, No. 1, pp. 3 ~ 44.
- 105) 合田良實, 永井康平(1974), "波浪の統計的性質に關する調査・解析, 港灣技術研究所報告", Vol. 13, No. 1, pp. 3 ~ 37.
- 106) 合田良實, 鈴木康正(1975), "光易型方向スペクトルを用いた不規則波の回析・屈折計算", 港灣技術資料, No. 230.



## 4.4 조석

### 4.4.1 설계조위

- (1) 항만시설의 구조 설정 및 안전 검토에 사용되는 조위는 천문조와 폭풍해일, 지진 해일 등에 의한 이상조위의 실측값 또는 추산값에 기초하여 정한다.
- (2) 구조물의 목적에 따라 그리고 같은 구조물에서도 기능에 따라 적합한 설계조위를 선정하여 사용한다.
- (3) 폭풍해일과 지진해일은 어느 것이나 드물게 발생하는 현상이므로 동시에 나타나지는 않는 것으로 취급한다.

#### [해설]

##### (1) 설계조위의 결정법

구조물의 목적에 따라, 그리고 같은 목적의 구조물이라도 설계 계산의 목적에 따라 다른 설계조위를 적용하는 경우가 있다. 예를 들면, 폭풍해일 대책시설에 있어서 마루 높이는 월파량에 의하여 결정되므로 월파량이 최대가 되는 조위를 설계조위로 하지만 안정계산에 있어서는 보다 낮은 조위에서도 위험한 경우가 있으므로 이때에는 그 조위를 설계조위로 하여야 한다. 방파제 안전계산의 경우에는 그 구조물이 가장 불안정하게 되는 조위를 적용한다.

### 4.4.2 천문조(天文潮)

- (1) 천문조의 제원으로는 기본수준면, 평균해면, 각종 조위기준면(Tidal datums)의 높이를 고려하며 1년 이상의 검조 기록으로부터 정한다.
- (2) 각종 조위는 다음과 같이 결정한다.
  - ① 평균해면(平均海面, M.S.L : Mean Sea Level)  
18.6년 조석주기동안 해수위의 평균 높이를 평균해면이라 한다. 실용적으로는 1년 간의 매 시별 해수위의 평균값인 연평균해면을 평균해면으로 사용한다.
  - ② 기본수준면(基本水準面, D.L : Datum Level) - 약최저저조위(略最低低潮位, A.L.L.W : Approximate Lowest Low Water)  
한국 연안의 수심 및 조위 측정의 기준인 기본수준면은 약최저저조위로 각 지점의 연평균해면으로부터 주요 4개 분조(分潮)인  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  분조의 반조차(半潮差)의 합만큼 내려간 면으로 정한다.
  - ③ 약최고고조위(略最高高潮位, A.H.H.W : Approximate Highest High Water)  
연평균해면에서 4개 주요 분조의 반조차의 합만큼 올라간 해면의 높이

- ④ 대조평균고조위(大潮平均高潮位, H.W.O.S.T : High Water Ordinary Spring Tide)  
대조기의 평균고조위로서 연평균해면에서  $M_2$ 와  $S_2$ 분조의 반조차의 합만큼 올라간 해면의 높이
- ⑤ 평균고조위(平均高潮位, H.W.O.M.T : High Water Ordinary Mean Tide)  
대·중·소조기의 평균고조위로서 연평균해면에서  $M_2$ 분조의 반조차만큼 올라간 해면의 높이
- ⑥ 소조평균고조위(小潮平均高潮位, H.W.O.N.T : High Water Ordinary Neap Tide)  
소조기의 평균고조위로서 연평균해면에서  $M_2$ 와  $S_2$ 분조의 반조차의 차만큼 올라간 해면의 높이
- ⑦ 소조평균저조위(小潮平均低潮位, L.W.O.N.T : Low Water Ordinary Neap Tide)  
소조기의 평균저조위로서 연평균해면에서  $M_2$ 와  $S_2$ 분조의 반조차의 차만큼 내려간 해면의 높이
- ⑧ 평균저조위(平均低潮位, L.W.O.M.T : Low Water Ordinary Mean Tide)  
대·중·소조기의 평균저조위로서 연평균해면에서  $M_2$ 분조의 반조차만큼 내려간 해면의 높이
- ⑨ 대조평균저조위(大潮平均低潮位, L.W.O.S.T : Low Water Ordinary Spring Tide)  
대조기의 평균저조위로서 연평균해면에서  $M_2$ 와  $S_2$ 분조의 반조차의 합만큼 내려간 해면의 높이

#### [해설]

##### (1) 한국 근해의 천문조의 분포

각 해안의 조시(潮時)와 조차(潮差)는 해안 지형, 수심 분포, 그리고 해수의 관성과 마찰에 의하여 매우 복잡한 분포를 나타낸다.

한국 연안에서는 동·남·서해안별로 크게 다른 분포를 보인다. 해설 그림 (4.4-1)과 (4.4-2)는 각각 황·동중국해 및 한반도 주변의  $M_2$ 분조의 등조시·조차도(等潮時·潮差圖)이다.

##### (2) 조석(潮汐)의 조화상수(調和常數)

복잡한 운동을 하는 달과 태양에 기인하는 조석을 지구로부터 일정한 거리에서 일정한 주기로 천구(天球)의 적도상을 운행하는 무수한 가상 천체(假想天體)에 기인하는 규칙적인 각각의 조석을 합성한 것으로 생각할 때, 이 각각의 조석을 분조라 한다.

각 지점의 조석 실측값으로부터 분조를 얻는 것을 조석 조화분석(調和分析)이라 하고 각 분조의 조차의 1/2인 반조차와 위상 지각(位相 遲角)을 조석의 조화상수라 한다.

임의 지점에서 실측 조위  $h_t$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$h_t = Z_o + \sum f H \cos(V_o + U + \omega t - \kappa) \quad \text{해설 식 (4.4-1)}$$

여기서,  $Z_o$  : 평균해면

$f, V_o, U$  : 천체운동에서 얻어지는 천문상수(시간의 함수)

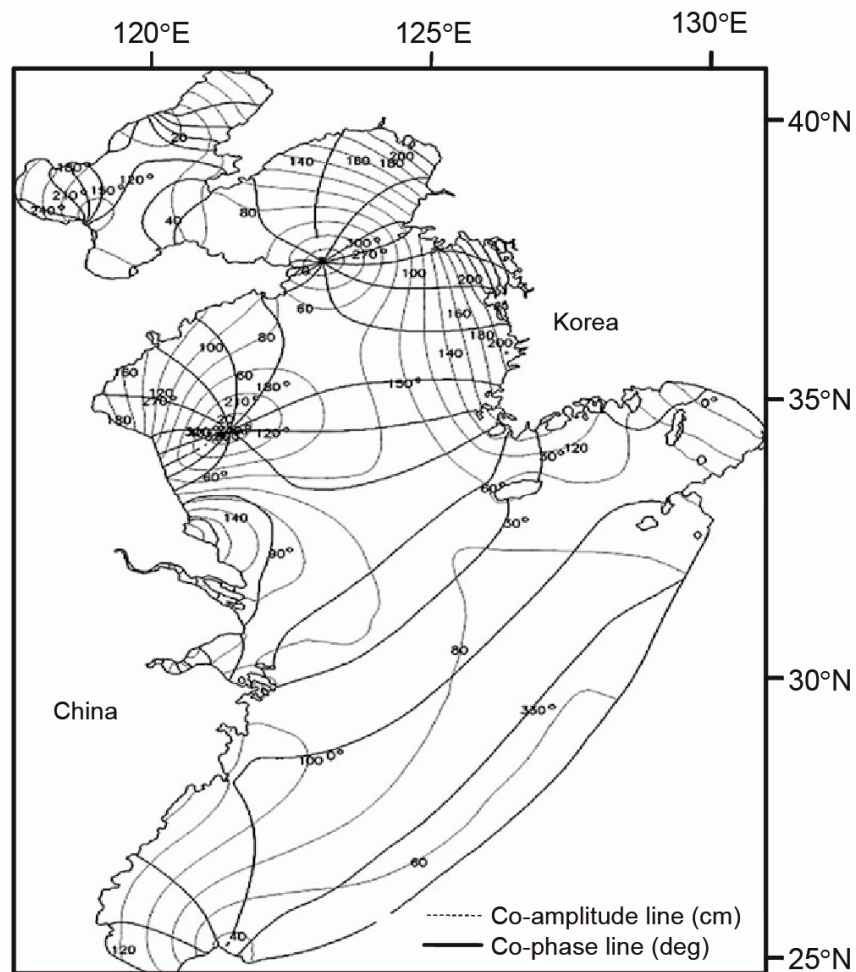
$H$  : 반조차

$\kappa$  : 위상 지각

$\omega$  : 분조의 각속도

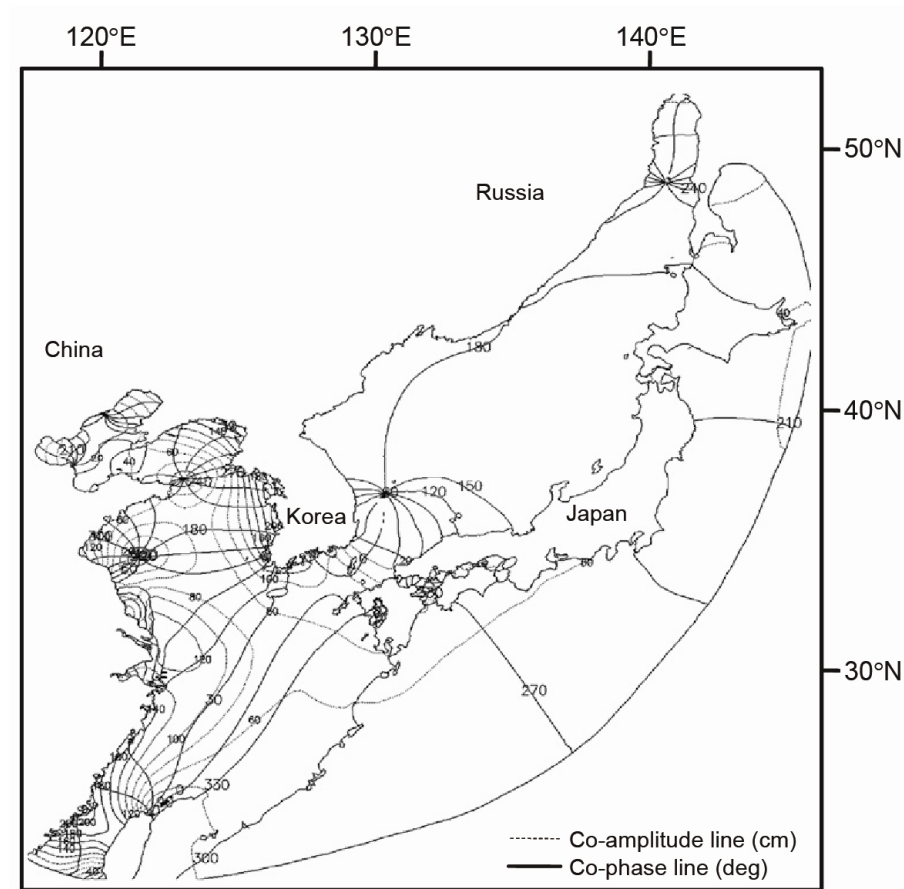
$t$  : 시간

각 분조의 가상 천체가 자오선을 통과하고 난 후 그 분조가 고조가 될 때까지의 시간을 각도로 표시한 것이 위상 지각이다. 분조의 수는 매우 많지만 그 가운데서 4대 주요 분조는 해설 표 (4.4-1)과 같다. 해설 표 (4.4-2)는 한국 연안의 주요 분조의 조화상수이다.



해설 그림 (4.4-1) 황-동중국해의  $M_2$  분조의 등조시와 등조차도(Choi et al., 2010)

## 설계조건



해설 그림 (4.4-2) 한반도 주변의  $M_2$ 분조의 등조시와 등조차도(Choi et al., 2010)

해설 표 (4.4-1) 4대 주요 분조

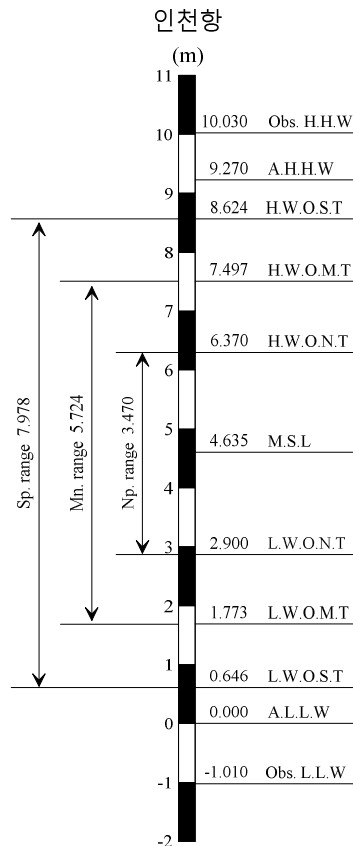
분 조	명 칭	각속도 ( $^{\circ}$ /hour)	주 기 (hour)	조화상수 기호	
				반조차	지각
$M_2$	주태음반일주조	28.984	12.42	$H_m$	$K_m$
$S_2$	주태양반일주조	30.000	12.00	$H_s$	$K_s$
$O_1$	주태음일주조	13.943	25.82	$H_o$	$K_o$
$K_1$	일월합성일주조	15.041	23.93	$H'$	$K'$

### (3) 조석의 비조화상수(非調和常數)

조석의 조화상수로부터 산정되는 조석의 비조화상수는 조차, 조위 및 조시 간격 등 실제의 항만설계에 이용되는 조석의 제원으로서 약최고고조위, 대조평균고조위, 평균 고조위, 소조평균고조위, 평균해면, 소조평균저조위, 평균저조위, 대조평균저조위, 약최저저조위, 평균고조간격과 평균저조간격, 그리고 대조차, 평균조차, 소조차 등이 있다. 비조화상수 계산식은 다음과 같다.

평균고조간격(M.H.W.I : Mean High Water Interval) :	$K_m/29$ 시
평균저조간격(M.L.W.I : Mean Low Water Interval) :	$K_m/29$ 시+6시12분
약최고고조위(A.H.H.W)	: $2(H_m + H_s + H_o + H')$
대조평균고조위, 대조승(H.W.O.S.T)	: $2(H_m + H_s) + H_o + H'$
평균고조위(H.W.O.M.T)	: $2H_m + H_s + H_o + H'$
소조평균고조위, 소조승(H.W.O.N.T)	: $2H_m + H_o + H'$
평균해면(M.S.L)	: $H_m + H_s + H_o + H'$
소조평균저조위(L.W.O.N.T)	: $2H_s + H_o + H'$
평균저조위(L.W.O.M.T)	: $H_s + H_o + H'$
대조평균저조위(L.W.O.S.T)	: $H_o + H'$
약최저저조위(A.L.L.W) = 기본수준면	: 0.0
대조차(Sp. R. : Spring Range)	: $2(H_m + H_s)$
평균조차(Mn. R. : Mean Range)	: $2H_m$
소조차(Np. R. : Neap Range)	: $2(H_m - H_s)$

해설 표 (4.4-3)은 해설 표 (4.4-2)에 제시된 조화상수로부터 산정된 조석의 비조화 상수이다.



해설 그림 (4.4-3) 인천항 기준조석의 조위면도(1943~1944)

## 설계조건

해설 표 (4.4-2) 한국 연안의 주요 분조의 조화상수

조위 관측소	위치(WGS-84)		관측기간	$M_2$		$S_2$		$K_1$		$O_1$	
	위도(N)	경도(E)		H(m)	K(°)	H(m)	K(°)	H(m)	K(°)	H(m)	K(°)
대청도	37-46-31	124-43-05	08.01.01~08.12.31	1.048	158.0	0.412	198.3	0.344	308.1	0.255	277.2
강화대교	37-43-55	126-31-21	09.08.12~10.08.15	2.099	167.7	0.733	221.5	0.297	313.4	0.212	276.9
영종대교	37-32-44	126-35-04	09.08.12~10.08.15	2.890	125.5	1.162	174.2	0.392	296.3	0.280	267.2
인천	37-28-18	126-35-44	43~44	2.862	129.5	1.127	179.1	0.394	295.3	0.252	266.4
인천(송도)	37-20-24	126-35-24	10.09.01~11.09.04	2.785	119.8	1.126	167.5	0.388	292.9	0.285	263.2
영흥도	37-14-19	126-25-43	09.10.01~10.10.04	2.619	117.1	1.055	164.4	0.386	292.8	0.274	263.8
안산(탄도)	37-11-32	126-38-52	02.01.01~02.12.31	2.619	119.2	1.040	166.9	0.382	292.5	0.299	265.0
굴업도	37-11-40	125-59-42	10.01.01~10.12.31	2.298	114.4	0.921	159.7	0.376	290.7	0.276	261.3
평택	36-58-01	126-49-22	80.06.01~81.05.31	2.866	126.5	1.111	175.4	0.391	294.4	0.286	266.1
대산	37-00-27	126-21-09	03.08.01~04.07.31	2.480	110.9	0.992	157.3	0.383	288.3	0.284	259.5
태안	36-54-48	126-14-19	11.06.01~12.06.03	2.312	106.0	0.925	151.5	0.370	286.7	0.276	257.8
안흥	36-40-43	126-04-08	86.12.01~87.12.05	2.111	95.4	0.810	138.8	0.358	280.1	0.268	252.1
보령	36-24-24	126-29-10	86.01.01~87.01.05	2.294	86.8	0.891	130.8	0.361	276.2	0.272	247.9
서천	36-07-43	126-29-45	10.10.01~11.10.04	2.103	77.8	0.840	121.3	0.348	271.8	0.261	243.4
군산외항	35-58-17	126-37-29	80.03.01~82.04.04	2.201	82.2	0.816	126.3	0.344	272.0	0.262	243.9
장항	36-00-25	126-41-16	04.04.01~05.03.31	2.262	81.9	0.872	127.1	0.348	273.4	0.259	246.2
어청도	36-07-02	125-59-05	08.01.01~08.12.31	1.780	77.9	0.693	121.2	0.323	274.5	0.251	246.4
위도	35-37-06	126-18-07	75.06.15~75.07.14	1.997	68.0	0.726	117.9	0.339	265.9	0.253	244.6
영광	35-25-34	126-25-14	01.11.16~02.11.19	2.042	63.7	0.774	106.6	0.340	263.7	0.261	238.3
목포	34-46-52	126-23-26	99.01~02.12	1.411	29.6	0.478	70.2	0.305	243.4	0.236	219.9
진도(수품)	34-22-40	126-18-31	06.01.01~06.12.31	1.077	320.6	0.415	345.7	0.294	208.9	0.224	186.6
대흑산도	34-41-06	125-26-29	79.1~80.1, 2.1~83.1	1.062	28.0	0.360	64.1	0.242	245.7	0.189	223.4
추자도	33-57-45	126-17-53	83.12.01~84.12.04	0.876	314.5	0.350	336.1	0.260	211.4	0.192	189.1
제주	33-30-51	126-31-43	73.01.01~76.01.01	0.697	303.5	0.295	324.1	0.230	210.2	0.168	189.1
모슬포	33-12-52	126-15-04	04.01.01~04.12.31	0.736	294.5	0.309	317.1	0.242	208.9	0.183	188.5
서귀포	33-14-19	126-33-51	74.09.02~74.10.01	0.757	274.1	0.337	293.9	0.245	200.8	0.177	177.1
성산포	33-28-29	126-55-39	04.01.01~04.12.31	0.654	274.2	0.300	296.3	0.217	202.6	0.160	182.3
완도	34-18-24	126-45-15	83.01.01~84.01.04	1.071	283.5	0.461	308.4	0.271	194.1	0.199	171.7
고흥(발포)	34-28-52	127-20-33	06.01.01~06.12.31	1.006	268.2	0.449	293.7	0.246	184.1	0.177	160.3
거문도	34-01-42	127-18-32	83.01.01~84.01.04	0.897	269.8	0.401	294.7	0.234	193.0	0.168	171.2
여수	34-44-50	127-45-57	65.04.01~66.04.04	1.012	253.9	0.474	282.7	0.202	190.7	0.120	152.6
광양	34-54-13	127-45-22	82.03.01~83.03.04	1.080	254.5	0.503	282.1	0.195	174.8	0.133	152.6
통영	34-49-40	128-26-05	76.03~77.02	0.796	248.4	0.370	275.9	0.147	172.6	0.097	149.4
마산	35-12-36	128-35-20	03.01.01~03.12.31	0.582	241.5	0.277	268.8	0.081	156.7	0.044	130.6
부산신항	35-04-39	128-47-13	12.01.01~13.01.04	0.544	240.5	0.257	267.8	0.078	155.9	0.043	133.1
거제(구조라)	34-47-55	128-42-05	06.04.01~07.03.31	0.576	242.0	0.270	268.2	0.100	163.8	0.061	143.2
가덕도	35-01-29	128-48-39	78.01.01~78.12.31	0.567	240.7	0.263	269.0	0.080	153.1	0.043	131.4
부산	35-05-41	129-02-11	74.01.01~75.01.05	0.400	232.8	0.189	261.3	0.044	137.1	0.016	112.2
울산	35-30-55	129-23-05	74.01.01~77.01.05	0.169	212.3	0.078	246.8	0.033	45.1	0.030	350.3
포항	36-01-15	129-23-49	74.01.01~76.12.31	0.031	120.6	0.007	167.3	0.042	3.2	0.043	325.7
저동(울릉도)	37-29-46	130-54-41	75.06.01~76.05.30	0.050	73.4	0.017	92.8	0.047	346.8	0.046	317.1
후포	36-40-39	129-27-11	03.01.01~03.12.31	0.041	92.3	0.011	117.8	0.042	356.8	0.041	322.9
동해항	37-29-42	129-08-38	12.01.01~13.01.04	0.061	86.3	0.020	104.7	0.046	355.2	0.044	323.2
목호	37-33-01	129-06-59	65.07.01~66.07.04	0.069	85.7	0.023	106.5	0.049	357.5	0.047	321.8
속초	38-12-25	128-35-39	74.01.01~76.01.01	0.071	82.2	0.025	103.2	0.051	356.9	0.048	322.8

자료: 국립해양조사원(고시 제2014-2호)

해설 표 (4.4-3) 한국 연안의 조석의 비조화상수

조위관측소	대조차 (Sp.R, m)	소조차 (Np.R, m)	약최고고조위 (AHHW, m)	대조평균고조위 (HWOST, m)	평균해면 (MSL, m)	평균고조간격 (MHWI, h:m)	조석형태수 (Tide form)
대청도	2.920	1.272	4.118	3.519	2.059	5:27	0.41
강화대교	5.664	2.732	6.682	6.173	3.341	5:47	0.18
영종대교	8.104	3.456	9.448	8.776	4.724	4:20	0.17
인천	7.978	3.470	9.270	8.624	4.635	4:28	0.16
인천(송도)	7.822	3.318	9.168	8.495	4.584	4:08	0.17
영흥도	7.348	3.128	8.668	8.008	4.334	4:02	0.18
안산(탄도)	7.318	3.158	8.680	7.999	4.340	4:07	0.19
굴업도	6.438	2.754	7.742	7.090	3.871	3:57	0.20
평택	7.954	3.510	9.308	8.631	4.654	4:22	0.17
대산	6.944	2.976	8.278	7.611	4.139	3:49	0.19
태안	6.474	2.774	7.766	7.120	3.883	3:39	0.20
안흥	5.842	2.602	7.094	6.468	3.547	3:17	0.21
보령	6.370	2.806	7.636	7.003	3.818	3:00	0.20
서천	5.886	2.526	7.104	6.495	3.552	2:41	0.21
군산외항	6.034	2.770	7.246	6.640	3.623	2:50	0.20
장항	6.268	2.780	7.482	6.875	3.741	2:49	0.19
어청도	4.946	2.174	6.094	5.520	3.047	2:41	0.23
위도	5.446	2.542	6.630	6.038	3.315	2:21	0.22
영광	5.632	2.536	6.834	6.233	3.417	2:12	0.21
목포	3.778	1.866	4.860	4.319	2.430	1:01	0.29
진도(수품)	2.984	1.324	4.020	3.502	2.010	11:03	0.35
대흑산도	2.844	1.404	3.706	3.275	1.853	0:58	0.30
추자도	2.452	1.052	3.356	2.904	1.678	10:51	0.37
제주	1.984	0.804	2.780	2.382	1.390	10:28	0.40
모슬포	2.090	0.854	2.940	2.515	1.470	10:09	0.41
서귀포	2.188	0.840	3.032	2.610	1.516	9:27	0.39
성산포	1.908	0.708	2.662	2.285	1.331	9:27	0.40
완도	3.064	1.220	4.004	3.534	2.002	9:47	0.31
고흥(발포)	2.910	1.114	3.756	3.333	1.878	9:15	0.29
거문도	2.596	0.992	3.400	2.998	1.700	9:18	0.31
여수	2.972	1.076	3.616	3.294	1.808	8:45	0.22
광양	3.166	1.154	3.822	3.494	1.911	8:47	0.21
통영	2.332	0.852	2.820	2.576	1.410	8:34	0.21
마산	1.718	0.610	1.968	1.843	0.984	8:20	0.15
부산신항	1.602	0.574	1.844	1.723	0.922	8:18	0.15
거제(구조라)	1.692	0.612	2.014	1.853	1.007	8:21	0.19
가덕도	1.660	0.608	1.906	1.783	0.953	8:18	0.15
부산	1.178	0.422	1.298	1.238	0.649	8:02	0.10
울산	0.494	0.182	0.620	0.557	0.310	7:19	0.26
포항	0.076	0.048	0.246	0.161	0.123	4:10	2.24
저동(울릉도)	0.134	0.066	0.320	0.227	0.160	2:32	1.39
후포	0.104	0.060	0.270	0.187	0.135	3:11	1.60
동해항	0.162	0.082	0.342	0.252	0.171	2:59	1.11
목호	0.184	0.092	0.376	0.280	0.188	2:57	1.04
속초	0.192	0.092	0.390	0.291	0.195	2:50	1.03

자료: 국립해양조사원(고시 제2014-2호) [조위관측소 위치와 관측기간은 해설 표 (4.4-2)와 같음]

## 설계조건

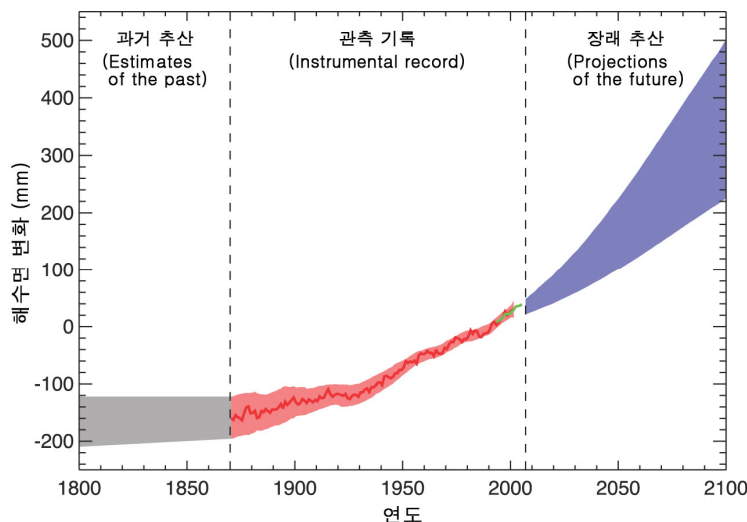
### (4) 평균해면

한국에서 육지 높이의 기준은 1914~1916년의 인천항 평균해면이며(국립해양조사원, 2012a), 자기(自記) 검조곡선으로부터 면적측량의 방법으로 구하였다(국토지리정보원, 2010). 각 항의 연평균해면은 1914~1916년의 인천항 평균해면 즉, 측지기준면과 일반적으로 일치하지 않으며, 각 항에서 1년 이상의 조위 관측값으로부터 매일 매시의 조위의 평균값으로 계산하여야 한다. 국립해양조사원에서는 한국 연안의 주요 항에 설치된 조위 관측소의 관측값으로부터 매월, 매년의 평균해면을 해양조사기술연보에 발표하고 있다.

### (5) 평균해면의 장기적인 상승

기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change) 실무 그룹의 제4차 평가보고서에 의하면, 해수면 상승은 온난화 경향과 일치한다(IPCC, 2007). 지구 평균해수면은 1961~2003년에  $1.8 \pm 0.5$  mm/yr의 속도로 상승하였고, 1993~2003년에는  $3.1 \pm 0.7$  mm/yr의 속도로 상승하였다. 미국 국립해양대기청(NOAA)의 인공위성 고도계 자료에 의하면 1993년부터 2016년까지 24년간 동해의 평균해수면은  $2.8 \pm 0.4$  mm/yr의 속도로 상승하였고, 황·동중국해에서는  $2.2 \pm 0.4$  mm/yr의 속도로 상승하였다(<http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lssa/SeaLevelRise>). 전 지구 온실가스 배출에 관한 6개 SRES(Special Report on Emissions Scenarios) 시나리오(Nakicenovic and Swart, 2000)별 해수면 상승 추정값은 배출량이 가장 적은 B1 시나리오의 경우 1980~1999년 대비 2090~2099년에 0.18~0.38 m( $1.5 \sim 3.9$  mm/yr)이고, 배출량이 가장 많은 A1FI 시나리오의 경우 0.26~0.59 m( $3.0 \sim 9.7$  mm/yr)이다. 해설 그림 (4.4-4)는 온실가스 배출량이 중간 정도인 SRES A1B 시나리오에 대한 해수면 상승 예측값을 나타낸 것이다.

해수면이 상승하면 해일 발생 시 해안 시설물의 안전성이 저하되고 재해의 위험성이 증가한다. 항만시설, 해상 교량과 배수구 등의 설계시 해수면 상승의 영향을 반영할 필요가 있으며, 이 때 시설물의 내구연수, 비용대비 효과, 주변 환경에 미치는 영향, 해수면 상승 예측값의 불확실성 등을 충분히 고려하여야 한다.



해설 그림 (4.4-4) SRES A1B 시나리오에 대한 해수면 상승 예측



## (6) 기본수준면의 결정

한국 연안의 수심측정의 기준인 기본수준면은 약최저저조위로서 연평균해면으로부터 주요 4대 분조( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $O_1$ ,  $K_1$ 분조)의 반조차를 합한 만큼 아래로 내려간 면이다.

$$DL = A_o - (H_m + H_s + H_o + H') \quad \text{해설 식 (4.4-2)}$$

여기서,  $DL$  : 기본수준면

$A_o$  : 연평균해면

$H_m$ ,  $H_s$ ,  $H_o$ ,  $H'$  : 4개 분조의 반조차

조석의 높이 즉, 조고(潮高) 또는 조위는 어떤 기준면으로부터 측정한 값이며 수심은 그 기준면으로부터 아래로 측정한 값이므로 그 기준면을 명백히 설정하여야 한다. 현재 한국에서는 약최저저조위(A.L.L.W) 일명, 인도양 대조저조위(Indian spring low water)를 기본수준면(DL)으로 채택하여 해도, 조석표, 항만공사 등의 기준면으로 사용하고 있다. 외국에서는 국가별로 인도양 대조저조위(Indian spring low water, 일본), 평균최저조위(Lowest normal low water,  $A_o - 1.1(H_m + H_s)$ , 중국), 평균저조위(Mean low water springs,  $A_o - (H_m + H_s)$ , 독일 북해, 이탈리아), 평균저저조위(Mean lower low water,  $A_o - (K_m + (H_o + H') \cos 45^\circ)$ , 미국 태평양) 등을 기본수준면으로 채택하고 있다(국립해양조사원, 2009). 한편, 국제수로기구 조석위원회(IHO : International Hydrographic Organization, Tidal committee)는 1997년에 18.6년의 완전한 조석주기 동안 조석현상에 의하여 나타날 수 있는 최저극천문조위(LAT : Lowest Astronomical Tide)를 기본수준면으로 채택할 것을 권장하였으며 2012년 현재 영국, 프랑스, 스페인, 호주 등 12개국이 채택하고 있다(국립해양조사원, 2012b). 국립해양조사원은 LAT와 최고극천문조위(HAT : Highest Astronomical Tide)에 대한 분석 및 연구사업을 진행 중이나 2013년 6월 현재 LAT와 HAT로 대체할 계획은 결정된 바가 없다. 최근 국내에서도 해상풍력 지지구조물 설계시 천문조에 의한 최저조위와 최고조위의 기준으로 국제기준에 따라 LAT와 HAT를 적용하는 방침이 정해졌다.

기본수준면을 결정하기 위해서는 해당 지점의 연평균해면값과 4대 주요 분조의 반조차를 결정하여야 한다. 기본수준면은 국립해양조사원의 기본수준점표(基本水準点標, T.B.M : Tidal Bench Mark) 성과를 이용하여야 한다. 기본수준점표가 없는 경우에는 1개월 이상 검조하고 이를 조화분석하여 4대 주요 분조의 조화상수를 얻어 결정하여야 한다. 한국 연안은 분조의 계절변화가 크게 나타날 수 있기 때문에 유의하여야 한다. 예를 들면, 제주도와 진도 인근은 하계  $M_2$  분조의 진폭이 동계보다 0.1 m 정도 작은 반면에 경기만에서는 반대 경향을 보인다(Kang et al., 2002). 따라서 필요시 계절 보정을 할 필요가 있다. 분조의 진폭뿐만 아니라 월평균해면도 하계와 동계의 차이가 0.2~0.3 m에 달할 수 있기 때문에 월평균해면을 연평균해면으로 보정하고, 이로부터 기본수준면을 산정하여야 한다.

해당 지점의 연평균해면은 다음과 같이 결정한다.

## 설계조건

$$A_o' = A_1' + (A_o - A_1) \quad \text{해설 식 (4.4-3)}$$

여기서,  $A_o'$  : 해당 지점의 연평균해면  
 $A_o$  : 기준검조소의 연평균해면  
 $A_1', A_1$  : 같은 기간의 해당 지점 및 기준검조소의 평균해면

### (7) 기준 검조소

한국 연안에서 연중 조석관측을 실시중인 기준검조소가 설치되어 있는 항만은 해설 표 (4.4-4)와 같다.

### (8) 기본수준점표 성과

국립해양조사원은 각 항의 기본수준점표를 설치하고 그 성과를 해양조사기술연보와 조석표에 기재·공표하고 있는데, 그 중 주요 항만의 기본수준점표 성과는 해설 표 (4.4-5)와 같다.

해설 표 (4.4-4) 한국 연안의 조위관측소 현황 (2012년 말 현재) (계속)

지점명			설치위치	WGS-84	관측요소	설치(교체) 연도
서 해	1	강화대교	인천 옹진군 강화읍 갑곶리	37° 43' 55" N 126° 31' 20" E	조위 (Miros)	2006. 12
	2	영종대교	인천시 서구 경서동	37° 32' 44" N 126° 35' 04" E	조위 (Miros)	2009. 12
	3	인천	인천시 중구 연안부두 관선부두	37° 27' 07" N 126° 35' 32" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1959. 05
	4	안산	경기 안산시 단원구 선감동	37° 11' 31" N 126° 38' 50" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2002. 01
	5	굴업도	인천 옹진군 덕적면 굴업리	37° 11' 40" N 125° 59' 42" E	조위, 파고, 파주기	2008. 08
	6	평택	경기 평택시 포승읍 만호리	36° 58' 01" N 126° 49' 22" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1992. 06
	7	대산	충남 서산시 대산읍 독곶리	37° 00' 27" N 126° 21' 10" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2002. 12
	8	안흥	충남 태안군 근흥면 신진도리	36° 40' 25" N 126° 07' 55" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1986. 10
	9	보령	충남 보령시 오천면 영보리	36° 24' 24" N 126° 29' 09" E	조위	1985. 08
	10	장항	충남 서천군 장항읍 신창리	36° 00' 25" N 126° 41' 15" E	조위, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2003. 12
	11	군산외항	전북 군산시 오식도동	35° 58' 32" N 126° 33' 47" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1980. 02
	12	어청도	전북 군산시 옥구군 어청면	36° 07' 02" N 125° 59' 05" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온, 가시거리	2007. 09
	13	위도	전북 부안군 위도면 진리	35° 37' 05" N 126° 18' 06" E	조위	1984. 11
	14	영광	전남 영광군 홍농읍 성산리	35° 25' 34" N 126° 25' 14" E	조위, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2001. 10
	15	목포	전남 목포시 금화동 20번지	34° 46' 47" N 126° 22' 32" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1952. 08
	16	진도	전남 진도군 의신면 금갑리 수품항	34° 22' 40" N 126° 18' 31" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2005. 12
	17	대흑산도	전남 신안군 흑산면 예리	34° 41' 03" N 125° 26' 08" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1965. 01
	18	영흥도	인천 옹진군 영흥면 외리 영흥화력 내	37° 14' 22" N 126° 25' 43" E	조위, 파고, 파주기, 풍향, 풍속, 기온, 기압	2009. 08
	19	인천(송도)	인천 연수구 동춘동 송도가스기지 내	37° 20' 31" N 126° 35' 10" E	조위, 파고, 파주기, 풍향, 풍속, 기온, 기압	2010. 09
	20	태안	충남 태안군 원북면 방갈리 태안화력 내	36° 54' 47" N 126° 14' 20" E	조위, 파고, 파주기, 풍향, 풍속, 기온, 기압	2010. 10
	21	서천(마량)	충남 서천군 서면 마량리 서천화력 내	36° 07' 44" N 126° 29' 43" E	조위, 파고, 파주기, 풍향, 풍속, 기온, 기압	2010. 10
	22	경인항	인천 서구 오류동 아라서해갑문 내	37° 33' 39" N 126° 36' 04" E	조위, 파고, 파주기, 층별 수온, 염분, 용존산소, 혼탁도, 염록소, 시정, 일사	2012. 11

※ 국립해양조사원 제공 자료

※ Miros : 조위관측소를 설치하기 어려운 곳에서는 극초단파(Microwave)를 이용하여 해수면으로 신호를 보내고 반사되어 들어오는 신호의 높이 차이로 조위를 측정하며, Miros는 노르웨이 장비 제작사 이름임.

## 설계조건

해설 표 (4.4-4) 한국 연안의 조위관측소 현황 (2012년 말 현재)

지점명			설치위치	WGS-84	관측요소	설치(교체) 연도
남 해	1	추자도	제주시 추자면 대서리	33° 57' 43" N 126° 18' 01" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1983. 10
	2	제주	제주시 건입동 1319-89 제7부두	33° 31' 39" N 126° 32' 35" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1964. 01
	3	모슬포	서귀포시 대정읍 하모리	33° 12' 52" N 126° 15' 04" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2003. 11
	4	서귀포	서귀포시 서귀동	33° 14' 24" N 126° 33' 42" E	조위, 수온, 염분, 기압, 기온	1984. 11
	5	성산포	서귀포시 성산읍 오조리	33° 28' 29" N 126° 55' 39" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2003. 11
	6	완도	전남 완도군 완도읍 군내리	34° 18' 57" N 126° 45' 34" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1982. 10
	7	고흥	전남 고흥군 도화면 발포리	34° 28' 51" N 127° 20' 33" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2004. 12
	8	거문도	전남 여수시 삼산면 거문리	34° 01' 43" N 127° 18' 27" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1981. 11
	9	여수	전남 여수시 수정동	34° 44' 50" N 127° 45' 57" E	조위, 파고, 파주기, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1965. 02
	10	광양	전남 광양시 도이동 광양항 내	34° 54' 14" N 127° 45' 17" E	조위 (Miros)	2010. 10
	11	통영	경남 통영시 도남동	34° 49' 40" N 128° 26' 05" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1976. 01
	12	마산	경남 마산시 회원구 양덕 2동	35° 12' 36" N 128° 35' 20" E	조위, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2002. 11
	13	거제도	경남 거제시 일운면 구조라리	34° 48' 06" N 128° 41' 57" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2005. 12
	14	가덕도	부산 강서구 천성동	35° 01' 27" N 128° 48' 39" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1976. 11
	15	부산	부산시 중구 남포동1가	35° 05' 46" N 129° 02' 07" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1955. 02
	16	순천만	전남 순천시 대대동 순천만 자연생태공원 내	34° 52' 52" N 127° 31' 07" E	조위, 수온,	2010.
	17	진해군항	진해군항	※ 대 외 비※	조위, 파고, 파주기, 기온, 기압, 풍향, 풍속, 습도, 일사량	2010.
	18	부산신항	부산광역시 부산신항내 방파제	35° 04' 39" N 128° 47' 05" E	조위, 파고, 파주기, 기온, 기압, 풍향, 풍속	2011. 12
동 해	1	울산	울산시 남구 매암동	35° 30' 06" N 129° 23' 13" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1962. 09
	2	포항	경북 포항시 항구동	36° 02' 50" N 129° 23' 02" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1971. 05
	3	후포	경북 울진군 후포면 후포리	36° 40' 39" N 129° 27' 11" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2002. 10
	4	울릉도	울릉군 울릉읍 도동리	37° 29' 29" N 130° 54' 49" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1965. 08
	5	북호	강원도 동해시 북호진동	37° 33' 01" N 129° 06' 59" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1965. 02
	6	속초	강원 속초시 동명동	38° 12' 25" N 128° 35' 40" E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1973. 11
	7	동해항	강원도 동해시 동해항	37° 29' 41" N 129° 08' 38" E	조위, 파고, 파주기, 기온, 기압, 풍향, 풍속	2011. 12

## 해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과

■ 동해 (26개소 91개)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
거진 (고성군 거진읍)	No.4	38-26-47.0	128-27-22.7	수로국	2.094	2.272	94. 06
	No.6	38-26-47.5	128-27-23.9	해양조사원	1.876	2.054	02. 04
	No.8	38-26-48.4	128-27-25.2	〃	1.874	2.052	10. 04
속초 (속초시 동명동)	No.1	38-12-25.2	128-35-31.7	수로국	6.337	6.532	69. 09
	No.3	38-12-25.4	128-35-39.8	〃	1.593	1.788	88. 12
	No.4	38-12-24.9	128-35-38.9	해양조사원	2.983	3.178	09. 03
	TGBM	38-12-43.1	128-35-49.6	〃	3.178	3.373	12. 10
주문진 (명주군 주문진읍)	No.3	37-53-40.8	128-50-00.1	해양조사원	2.336	2.531	95. 05
	No.5	37-53-43.1	128-49-57.3	〃	3.511	3.706	05. 04
	No.6	37-53-34.3	128-49-59.7	〃	4.657	4.852	05. 04
	No.7	37-53-48.8	128-50-02.9	〃	3.306	3.501	13. 10
안목 (강릉시 견소동)	No.1	37-46-20.1	128-57-02.1	해양조사원	4.962	5.147	05. 04
	No.3	37-46-13.3	128-57-06.8	〃	4.701	4.886	05. 04
	No.4	37-46-16.6	128-57-00.3	〃	4.361	4.546	09. 09
목호 (동해시 목호진동)	No.2	37-33-01.1	129-06-59.8	수로국	1.748	1.936	86. 11
	No.5	37-33-14.9	129-07-12.2	해양조사원	4.875	5.063	03. 03
	No.6	37-33-09.3	129-06-56.4	〃	3.353	3.541	03. 03
	No.7	37-33-00.1	129-06-58.9	〃	1.820	2.008	06. 04
	TGBM	37-33-01.9	129-07-01.2	〃	4.839	5.027	12. 10
동해 (동해시 송정동)	No.1	37-29-39.4	129-08-37.4	해양조사원	5.018	5.189	13. 04
	No.2	37-29-37.9	129-08-34.4	〃	3.468	3.639	13. 04
	No.3	37-29-34.6	129-08-28.8	〃	2.798	2.969	13. 04
	TGBM	37-29-12.0	129-07-25.4	〃	5.302	5.473	13. 09
천부동(울릉도) (울릉군 북면)	No.1	37-32-31.0	130-52-26.9	수로국	4.245	4.400	82. 04
	No.2	37-32-28.6	130-52-22.8	〃	2.102	2.257	82. 04
	No.4	37-32-32.0	130-52-27.0	해양조사원	4.046	4.201	10. 07
저동(울릉도) (울릉군 남면)	No.3	37-29-29.6	130-54-49.7	수로국	3.022	3.182	82. 04
	No.6	37-29-30.0	130-54-49.1	해양조사원	1.507	1.667	10. 07
	No.7	37-29-29.0	130-54-50.3	〃	6.930	7.090	10. 07
	TGBM	37-29-28.3	130-54-49.2	〃	4.946	5.106	12. 10
독도 (울릉군 울릉읍)	No.2	37-14-20.7	131-52-06.3	해양조사원	3.187	3.348	89. 08
	No.3	37-14-21.5	131-52-05.3	〃	1.343	1.504	13. 08
	No.4	37-14-21.2	131-52-02.6	〃	2.527	2.688	13. 08
삼척 (삼척시 정하동)	No.5	37-26-19.6	129-11-24.6	해양조사원	3.121	3.296	97. 10
	No.7	37-26-33.2	129-11-33.3	〃	5.566	5.741	05. 04
	No.8	37-26-27.0	129-11-31.5	〃	6.552	6.727	07. 06
임원 (삼척시 임원리)	No.7	37-13-39.5	129-20-29.2	해양조사원	5.930	6.084	05. 05
	No.9	37-13-40.8	129-20-30.3	〃	1.942	2.096	10. 04
	No.10	37-13-41.2	129-20-31.5	〃	1.801	1.955	13. 11
죽변 (울진군 죽변면)	No.1	37-03-27.2	129-25-12.4	해양조사원	1.306	1.441	00. 10
	No.3	37-03-26.8	129-25-13.1	〃	1.971	2.106	00. 10
	No.4	37-03-25.5	129-25-08.4	〃	1.356	1.491	10. 04

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
거진 (고성군 거진읍)	No.4	38-26-47.0	128-27-22.7	수로국	2.094	2.272	94. 06
	No.6	38-26-47.5	128-27-23.9	해양조사원	1.876	2.054	02. 04
	No.8	38-26-48.4	128-27-25.2	〃	1.874	2.052	10. 04
속초 (속초시 동명동)	No.1	38-12-25.2	128-35-31.7	수로국	6.337	6.532	69. 09
	No.3	38-12-25.4	128-35-39.8	〃	1.593	1.788	88. 12
	No.4	38-12-24.9	128-35-38.9	해양조사원	2.983	3.178	09. 03
	TGBM	38-12-43.1	128-35-49.6	〃	3.178	3.373	12. 10
주문진 (명주군 주문진읍)	No.3	37-53-40.8	128-50-00.1	해양조사원	2.336	2.531	95. 05
	No.5	37-53-43.1	128-49-57.3	〃	3.511	3.706	05. 04
	No.6	37-53-34.3	128-49-59.7	〃	4.657	4.852	05. 04
	No.7	37-53-48.8	128-50-02.9	〃	3.306	3.501	13. 10
안목 (강릉시 견소동)	No.1	37-46-20.1	128-57-02.1	해양조사원	4.962	5.147	05. 04
	No.3	37-46-13.3	128-57-06.8	〃	4.701	4.886	05. 04
	No.4	37-46-16.6	128-57-00.3	〃	4.361	4.546	09. 09
북호 (동해시 북호진동)	No.2	37-33-01.1	129-06-59.8	수로국	1.748	1.936	86. 11
	No.5	37-33-14.9	129-07-12.2	해양조사원	4.875	5.063	03. 03
	No.6	37-33-09.3	129-06-56.4	〃	3.353	3.541	03. 03
	No.7	37-33-00.1	129-06-58.9	〃	1.820	2.008	06. 04
	TGBM	37-33-01.9	129-07-01.2	〃	4.839	5.027	12. 10
동해 (동해시 송정동)	No.1	37-29-39.4	129-08-37.4	해양조사원	5.018	5.189	13. 04
	No.2	37-29-37.9	129-08-34.4	〃	3.468	3.639	13. 04
	No.3	37-29-34.6	129-08-28.8	〃	2.798	2.969	13. 04
	TGBM	37-29-12.0	129-07-25.4	〃	5.302	5.473	13. 09
천부동(울릉도) (울릉군 북면)	No.1	37-32-31.0	130-52-26.9	수로국	4.245	4.400	82. 04
	No.2	37-32-28.6	130-52-22.8	〃	2.102	2.257	82. 04
	No.4	37-32-32.0	130-52-27.0	해양조사원	4.046	4.201	10. 07
저동(울릉도) (울릉군 남면)	No.3	37-29-29.6	130-54-49.7	수로국	3.022	3.182	82. 04
	No.6	37-29-30.0	130-54-49.1	해양조사원	1.507	1.667	10. 07
	No.7	37-29-29.0	130-54-50.3	〃	6.930	7.090	10. 07
	TGBM	37-29-28.3	130-54-49.2	〃	4.946	5.106	12. 10
독도 (울릉군 울릉읍)	No.2	37-14-20.7	131-52-06.3	해양조사원	3.187	3.348	89. 08
	No.3	37-14-21.5	131-52-05.3	〃	1.343	1.504	13. 08
	No.4	37-14-21.2	131-52-02.6	〃	2.527	2.688	13. 08
삼척 (삼척시 정하동)	No.5	37-26-19.6	129-11-24.6	해양조사원	3.121	3.296	97. 10
	No.7	37-26-33.2	129-11-33.3	〃	5.566	5.741	05. 04
	No.8	37-26-27.0	129-11-31.5	〃	6.552	6.727	07. 06
임원 (삼척시 임원리)	No.7	37-13-39.5	129-20-29.2	해양조사원	5.930	6.084	05. 05
	No.9	37-13-40.8	129-20-30.3	〃	1.942	2.096	10. 04
	No.10	37-13-41.2	129-20-31.5	〃	1.801	1.955	13. 11
죽변 (울진군 죽변면)	No.1	37-03-27.2	129-25-12.4	해양조사원	1.306	1.441	00. 10
	No.3	37-03-26.8	129-25-13.1	〃	1.971	2.106	00. 10
	No.4	37-03-25.5	129-25-08.4	〃	1.356	1.491	10. 04
후포 (울진군 후포면)	No.9	36-40-39.2	129-27-11.4	해양조사원	3.298	3.433	03. 03
	No.10	36-40-45.4	129-27-06.9	〃	2.110	2.245	06. 03
	No.12	36-40-43.4	129-27-07.8	〃	1.594	1.729	09. 04
	No.13	36-40-50.2	129-27-54.3	〃	7.257	7.392	09. 04
	TGBM	36-40-50.0	129-27-12.9	〃	2.599	2.734	13. 09

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
축산 (영덕군 축산면)	No.2	36-30-42.3	129-26-56.4	수로국	3.052	3.183	92. 06
	No.4	36-30-37.8	129-26-54.0	해양조사원	2.563	2.694	01. 05
	No.5	36-30-40.3	129-26-59.4	〃	3.876	4.007	01. 09
강구 (영덕군 강구면)	No.7	36-21-33.5	129-23-24.3	해양조사원	1.627	1.752	01. 05
	No.10	36-21-35.8	129-23-28.0	〃	4.578	4.703	06. 11
	No.11	36-21-31.9	129-23-29.1	〃	4.203	4.328	11. 04
	No.12	36-21-30.7	129-23-30.1	〃	5.562	5.687	11. 04
월포리 (포항시 청하면)	No.2	36-12-33.6	129-22-44.3	수로국	5.526	5.652	72. 05
	No.5	36-12-31.0	129-22-40.5	해양조사원	3.643	3.769	01. 05
	No.8	36-12-33.5	129-22-45.6	〃	2.364	2.490	01. 05
	No.9	36-12-33.4	129-22-46.4	〃	1.642	1.768	01. 05
포항 (포항시 항구동)	No.3	36-03-05.7	129-22-27.8	해양조사원	1.242	1.365	99. 09
	No.5	36-02-49.7	129-23-02.0	〃	3.424	3.546	02. 11
	No.6	36-03-03.4	129-22-48.4	〃	1.809	1.932	05. 05
	No.8	36-03-06.7	129-22-33.8	〃	1.248	1.371	06. 04
	TGBM	36-03-06.9	129-22-29.3	〃	2.448	2.571	12. 10
	구분체	36-02-49.6	129-23-02.0	〃	4.069	4.192	02. 09
양포 (포항시 양포리)	No.3	35-52-55.8	129-31-10.4	해양조사원	2.559	2.677	99. 09
	No.4	35-52-55.0	129-31-13.5	〃	1.716	1.834	01. 05
	No.6	35-52-53.3	129-31-12.5	〃	1.480	1.598	13. 11
구룡포 (영일군 구룡포읍)	No.6	35-59-28.2	129-33-25.8	해양조사원	2.311	2.427	05. 05
	No.7	35-59-27.9	129-33-25.8	〃	1.623	1.739	12. 04
	No.8	35-59-28.3	129-33-28.3	〃	1.652	1.768	12. 04
감포 (경주시 감포읍)	No.5	35-48-15.2	129-30-18.0	해양조사원	3.406	3.537	01. 05
	No.6	35-48-14.9	129-30-18.0	〃	4.076	4.207	01. 05
	No.8	35-48-13.4	129-30-17.6	〃	4.937	5.068	12. 04
정자 (울산시 정자동)	No.1	35-37-06.8	129-27-01.6	수로국	2.557	2.761	85. 09
	No.5	35-37-13.8	129-26-57.4	해양조사원	2.066	2.270	09. 03
	No.6	35-37-06.8	129-27-04.9	〃	2.456	2.660	09. 10
울산 (울산시 장생포동)	No.5	35-30-13.4	129-23-13.6	수로국	2.571	2.875	96. 09
	No.7	35-30-10.3	129-23-14.5	해양조사원	1.715	2.019	07. 05
	No.9	35-30-06.7	129-23-13.6	〃	1.662	1.966	13. 06
	TGBM	35-30-13.5	129-23-14.2	〃	3.323	3.627	12. 10
온산 (울산시 황성동)	No.5	35-28-09.8	129-20-53.3	해양조사원	0.652	0.948	01. 05
	No.11	35-28-05.3	129-21-01.4	〃	1.745	2.041	11. 04
	No.12	35-28-03.5	129-21-01.7	〃	2.070	2.366	11. 04
방어진 (울산시 방어진항)	No.8	35-28-57.6	129-25-51.9	해양조사원	1.650	1.930	13. 06
	No.9	35-28-59.3	129-25-51.6	〃	1.973	2.253	13. 06
	No.10	35-29-01.6	129-25-51.7	〃	1.690	1.970	13. 06
고리 (부산시 기장군)	No.2	35-19-37.8	129-17-06.8	수로국	3.311	3.707	82. 11
	No.5	35-19-40.4	129-17-11.5	해양조사원	4.004	4.400	02. 04
	No.6	35-19-33.4	129-17-06.0	〃	1.205	1.601	12. 04
대변 (부산시 기장군)	No.5	35-13-12.0	129-13-40.1	해양조사원	3.056	3.541	98. 09
	No.6	35-13-06.3	129-13-41.2	〃	1.140	1.625	01. 05
	No.7	35-13-10.8	129-13-39.3	〃	3.396	3.881	02. 04

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

■ 남해 (106개소 364개)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
부산 (중구 대교동)	No.7	35-05-48.2	129-02-03.0	해양조사원	1.628	2.277	11. 03
	No.8	35-05-46.9	129-02-05.9	〃	2.361	3.010	13. 06
	TGBM	35-06-08.6	129-01-57.9	〃	13.235	13.884	12. 10
부산신항 (부산시 강서구)	No.1	35-04-39.4	128-47-05.2	해양조사원	2.318	3.240	13. 04
	No.2	35-04-39.3	128-47-05.6	〃	2.303	3.225	13. 04
	No.3	35-04-41.3	128-47-05.1	〃	1.867	2.789	13. 04
	TGBM	35-04-56.7	128-46-59.3	〃	2.089	3.011	13. 09
가덕도 (부산시 강서구)	No.4	35-01-24.1	128-48-39.5	해양조사원	2.053	3.006	02. 04
	No.5	35-01-25.9	128-48-36.8	〃	2.435	3.388	06. 04
	No.7	35-01-27.1	128-48-39.1	〃	2.386	3.339	06. 04
	TGBM	35-01-23.8	128-48-39.5	〃	4.291	5.244	12. 10
해운대 (부산시 해운대구)	No.1	35-09-37.4	129-11-30.6	해양조사원	1.446	1.968	07. 08
	No.2	35-09-37.0	129-11-29.2	〃	2.879	3.401	07. 08
	No.3	35-09-36.9	129-11-27.9	〃	3.585	4.107	07. 08
동삼동 (부산 영도구) 해양박물관	No.1	35-04-41.5	129-04-52.5	해양조사원	4.044	4.657	13. 06
	No.2	35-04-48.0	129-04-48.8	〃	3.351	3.964	13. 06
	No.3	35-04-45.0	129-04-45.3	〃	5.071	5.684	13. 06
	청사조형물	35-04-40.9	129-04-31.1	〃	7.127	7.740	13. 12
	TGBM	35-04-39.3	129-04-30.9	〃	7.206	7.819	13. 12
다대포항 (부산시 사하구)	No.1	35-03-15.7	128-58-20.9	해양조사원	1.153	1.87.9	13. 06
	No.2	35-03-16.7	128-58-20.2	〃	1.348	2.074	13. 06
	No.3	35-03-16.1	128-58-18.6	〃	1.843	2.569	13. 06
북형제도 (부산시 사하구)	No.1	34-55-57.1	128-58-24.0	해양조사원	8.896	9.868	07. 08
	No.2	34-55-58.2	128-58-24.4	〃	8.329	9.301	07. 08
	No.3	34-55-58.0	128-58-25.0	〃	5.772	6.744	07. 08
장승포 (거제시 장승포)	No.4	34-51-46.6	128-43-28.6	수로국	2.143	3.085	92. 06
	No.5	34-51-50.4	128-43-25.6	〃	2.095	3.037	92. 06
	No.7	34-51-45.9	128-43-29.5	해양조사원	2.053	2.995	02. 04
	No.8	34-51-46.7	128-43-29.8	〃	1.773	2.715	13. 07
지세포 (거제시 일운면)	No.1	34-49-49.8	128-42-14.1	수로국	2.435	3.393	85. 07
	No.3	34-49-49.1	128-42-13.4	해양조사원	3.020	3.978	00. 08
	No.4	34-49-50.2	128-42-13.6	〃	2.380	3.338	02. 04
	No.5	34-49-49.3	128-42-18.3	〃	1.757	2.715	12. 03
	No.6	34-49-48.4	128-42-20.2	〃	1.264	2.222	12. 03
	No.7	34-49-47.4	128-42-20.9	〃	1.675	2.633	12. 03
거제(구조라) (거제시 일운면)	No.5	34-48-07.8	128-41-57.1	해양조사원	3.831	4.838	04. 04
	No.6	34-48-08.4	128-41-56.5	〃	5.590	6.597	06. 12
	No.7	34-48-07.4	128-41-57.1	〃	3.760	4.767	06. 12
	TGBM	34-48-07.1	128-41-56.6	〃	6.257	7.264	12. 10
고현 (거제시 신현읍)	No.2	34-53-26.6	128-37-12.9	수로국	2.157	3.206	92. 08
	No.6	34-53-29.4	128-37-14.8	해양조사원	2.131	3.180	06. 04
	No.7	34-53-30.4	128-37-17.1	〃	2.438	3.487	06. 04
북여도 (거제시 남부면)	No.1	34-41-01.4	128-46-30.5	해양조사원	-0.403	0.827	07. 08
	No.2	34-41-01.3	128-46-30.8	〃	-0.563	0.667	07. 08
	No.4	34-41-00.7	128-46-29.8	〃	-0.862	0.368	11. 04



해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
저구리 (거제시 남부면)	No.2	34-43-13.9	128-35-12.0	해양조사원	5.346	6.732	07. 08
	No.3	34-43-14.0	128-35-12.0	〃	6.690	8.076	07. 08
	No.4	34-42-56.1	128-35-04.9	〃	2.286	3.672	13. 07
	No.5	34-42-53.6	128-35-06.6	〃	4.803	6.189	13. 07
	No.6	34-42-54.1	128-35-08.5	〃	1.582	2.968	13. 07
서정리 (거제시 거제면)	No.1	34-50-46.5	128-34-55.3	해양조사원	2.161	3.593	07. 08
	No.2	34-50-47.5	128-34-56.4	〃	1.484	2.916	07. 08
	No.3	34-50-49.9	128-34-56.2	〃	2.065	3.497	07. 08
	No.4	34-50-58.5	128-35-00.2	〃	2.696	4.128	07. 09
사근리 (거제시 사등면)	No.1	34-54-54.0	128-30-57.8	해양조사원	2.834	3.913	07. 08
	No.2	34-54-54.5	128-30-57.3	〃	2.363	3.442	07. 08
	No.3	34-54-55.4	128-30-55.7	〃	3.027	4.106	07. 08
외포항 (거제시 장목면)	No.1	34-56-29.5	128-43-07.7	해양조사원	4.069	4.938	12. 05
	No.2	34-56-27.6	128-43-03.3	〃	2.584	3.453	12. 05
	No.3	34-56-24.5	128-43-02.1	〃	3.781	4.650	12. 05
능포항 (거제시 능포동)	No.1	34-53-07.0	128-44-09.8	해양조사원	2.494	3.359	12. 05
	No.2	34-53-05.9	128-44-15.2	〃	2.388	3.253	12. 05
	No.3	34-53-05.3	128-44-17.1	〃	2.595	3.460	12. 05
다대 다포항 (거제시 다대리)	No.1	34-43-54.8	128-37-48.0	해양조사원	1.973	3.046	12. 05
	No.2	34-43-52.8	128-37-45.0	〃	2.169	3.242	12. 05
	No.3	34-43-53.7	128-37-47.7	〃	4.295	5.368	12. 05
대포 근포항 (거제시 저구리)	No.1	34-42-56.1	128-35-04.9	해양조사원	1.468	2.713	12. 05
	No.2	34-42-53.6	128-35-06.6	〃	4.944	6.189	12. 05
	No.3	34-42-54.1	128-35-08.5	〃	1.748	2.993	12. 05
진해 (창원시 진해구)	No.1	35-08-58.4	128-38-15.6	해양조사원	2.871	3.868	98. 09
	No.2	35-08-58.3	128-38-16.9	〃	3.496	4.493	98. 09
	No.3	35-08-59.2	128-38-11.0	〃	3.037	4.034	11. 07
마산 (창원시 마산합포구)	No.12	35-12-39.4	128-35-02.4	해양조사원	4.522	5.506	06. 04
	No.13	35-12-39.5	128-34-59.2	〃	6.422	7.406	06. 04
	No.14	35-12-31.9	128-35-06.4	〃	2.377	3.361	06. 04
	TGBM	35-12-42.1	128-35-23.9	〃	2.424	3.408	13. 08
진해(동섬) (창원시 진해)	No.2	35-05-34.5	128-43-10.1	해양조사원	1.733	2.686	10. 11
	No.3	35-05-34.2	128-43-09.9	〃	1.542	2.495	10. 11
	No.4	35-05-33.6	128-43-09.9	〃	3.076	4.029	13. 06
광암항 (창원시 마산합포구)	No.3	35-06-16.0	128-29-51.0	해양조사원	2.452	3.487	12. 05
	No.4	35-06-13.8	128-29-52.1	〃	1.787	2.822	12. 05
	No.5	35-06-08.9	128-29-57.9	〃	3.678	4.713	12. 05
신리각(원정항) (창원시 마산합포구)	No.1	35-04-05.3	128-38-03.2	해양조사원	1.957	2.910	07. 08
	No.2	35-04-05.9	128-38-02.4	〃	2.032	2.985	07. 08
	No.3	35-04-05.7	128-38-01.6	〃	2.051	3.004	07. 08
	No.4	35-04-04.1	128-37-52.3	〃	2.056	3.009	12. 05
	No.5	35-04-05.1	128-37-53.8	〃	2.573	3.526	12. 05
	No.6	35-04-05.2	128-37-58.6	〃	2.300	3.253	12. 05

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
삼천포화력 (사천시 서동)	No.2	34-54-52.2	128-06-06.1	수로국	9.553	11.105	94. 04
	No.4	34-54-52.5	128-06-06.5	해양조사원	6.892	8.444	02. 04
	No.5	34-54-51.7	128-06-05.5	〃	8.801	10.353	06. 05
삼천포(신항) (사천시 동서금동)	No.1	34-55-37.1	128-05-02.0	해양조사원	2.654	4.232	08. 11
	No.2	34-55-39.2	128-05-10.5	〃	3.614	5.192	08. 11
	No.3	34-55-39.0	128-05-15.8	〃	3.452	5.030	08. 11
중항리 (사천시 곤양면)	No.1	35-03-23.6	128-01-34.2	해양조사원	2.518	4.479	07. 08
	No.2	35-03-25.5	128-01-32.7	〃	4.353	6.314	07. 08
비토리 (사천시 서포면)	No.1	34-57-57.8	127-58-20.1	해양조사원	3.024	4.720	07. 08
	No.3	34-57-57.1	127-58-29.0	〃	3.905	5.601	07. 08
	No.5	34-57-56.5	127-58-25.7	〃	3.147	4.843	13. 06
맥전포 (고성군 하일면)	No.2	34-54-11.5	128-09-55.4	해양조사원	3.433	4.903	12. 05
	No.3	34-54-12.3	128-09-54.9	〃	2.844	4.314	12. 05
	No.4	34-54-12.7	128-09-54.2	〃	3.922	5.392	12. 05
	No.5	34-54-12.7	128-09-54.4	〃	1.893	3.363	13. 06
남포항 (고성군 고성읍)	No.1	34-57-25.9	128-19-21.7	해양조사원	2.347	3.799	12. 06
	No.2	34-57-30.7	128-19-18.4	〃	2.086	3.538	12. 06
	No.3	34-57-31.1	128-19-17.7	〃	2.331	3.783	12. 06
통영 (통영시 도남동)	No.10	34-49-39.9	128-26-04.4	해양조사원	2.152	3.562	99. 09
	No.12	34-49-41.6	128-26-03.9	〃	2.765	4.175	04. 04
	No.13	34-49-41.8	128-26-05.1	〃	2.837	4.247	04. 04
	TGBM	34-49-40.7	128-26-03.6	〃	2.976	4.386	12. 10
사랑도 (통영시 사랑면)	No.5	34-50-36.5	128-13-32.9	해양조사원	2.862	4.389	98. 09
	No.7	34-50-37.2	128-13-32.6	〃	2.552	4.079	02. 04
	No.8	34-50-36.6	128-13-30.1	〃	2.295	3.822	04. 04
소매물도 (통영시 한산면)	No.2	34-37-18.3	128-32-52.9	해양조사원	4.003	5.363	09. 06
	No.3	34-37-17.4	128-32-52.2	〃	2.827	4.187	09. 06
	No.4	34-37-18.2	128-32-53.0	〃	2.797	4.157	11. 04
홍도(통영시) (통영시 한산면)	No.2	34-32-14.7	128-43-53.5	해양조사원	3.021	4.372	07. 08
	No.3	34-32-13.7	128-43-53.9	〃	3.993	5.344	07. 08
	No.4	34-32-13.9	128-43-53.8	〃	1.702	3.053	11. 04
추도리 (통영시 산양읍)	No.1	34-45-29.4	128-17-15.6	해양조사원	3.101	4.732	07. 08
	No.2	34-45-29.6	128-17-15.3	〃	2.117	3.748	07. 08
	No.3	34-45-30.5	128-17-15.7	〃	1.913	3.544	07. 08
갈도 (통영시 육지면)	No.1	34-33-47.2	128-11-01.3	해양조사원	2.564	4.289	07. 08
	No.2	34-33-47.3	128-11-00.6	〃	2.374	4.099	07. 08
	No.4	34-33-47.4	128-11-00.9	〃	1.871	3.596	11. 04
매물도항 (통영시 한산면)	No.1	34-38-56.4	128-34-29.9	해양조사원	2.700	3.935	12. 06
	No.2	34-38-50.9	128-34-30.8	〃	2.824	4.059	12. 06
	No.3	34-38-48.0	128-34-26.7	〃	6.938	8.173	12. 06
호두항 (통영시 한산면)	No.1	34-44-21.5	128-30-19.0	해양조사원	2.323	3.589	12. 06
	No.2	34-44-19.6	128-30-14.9	〃	2.507	3.773	12. 06
	No.3	34-44-21.7	128-30-08.6	〃	2.381	3.647	12. 06

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
삼덕항 (통영시 산양읍)	No.1	34-47-35.5	128-22-54.1	해양조사원	4.037	5.414	12. 06
	No.2	34-47-36.7	128-22-55.3	〃	2.564	3.941	12. 06
	No.3	34-47-44.0	128-23-01.9	〃	2.771	4.148	12. 06
풍화리 (통영시 산양읍)	No.1	34-50-14.3	128-20-30.5	해양조사원	2.563	3.992	13. 06
	No.2	34-50-10.1	128-20-32.5	〃	2.161	3.590	13. 06
	No.3	34-54-09.2	128-20-33.2	〃	1.504	2.933	13. 06
능양항 (통영시 사랑면)	No.1	34-48-44.1	128-14-42.5	해양조사원	2.590	4.018	12. 05
	No.2	34-48-44.4	128-14-43.4	〃	2.993	4.421	12. 05
	No.3	34-48-46.0	128-14-43.0	〃	1.436	2.864	12. 05
육지도 (통영시 육지면)	No.5	34-38-05.4	128-16-02.8	해양조사원	3.616	5.048	99. 11
	No.6	34-38-04.0	128-16-04.0	〃	3.347	4.779	99. 11
	No.8	34-38-04.4	128-16-00.7	〃	2.299	3.731	12. 05
물건항 (남해군 삼동면)	No.1	34-47-38.0	128-03-06.0	수로국	4.873	6.344	12. 05
	No.3	34-47-38.0	128-03-06.0	해양조사원	3.500	4.971	12. 05
	No.4	34-47-37.8	128-03-07.0	〃	2.984	4.455	12. 05
	No.5	34-47-39.1	128-03-07.5	〃	2.454	3.925	13. 06
양아리 (남해군 이동면)	No.1	34-42-02.4	127-57-22.9	수로국	4.752	6.466	68. 07
	No.4	34-42-01.9	127-57-25.5	해양조사원	4.270	5.984	02. 04
	No.5	34-42-01.8	127-57-26.3	〃	3.211	4.925	02. 04
노량리 (남해군 설천면)	No.4	34-56-27.6	127-52-30.1	수로국	2.793	4.597	82. 09
	No.5	34-56-28.2	127-52-30.5	〃	2.793	4.597	82. 09
	No.6	34-56-31.1	127-52-30.8	〃	2.793	4.597	82. 09
서상리 (남해군 서면)	No.2	34-48-39.0	127-49-51.2	수로국	6.313	8.147	74. 05
	No.4	34-48-38.3	127-49-51.4	해양조사원	5.374	7.208	00. 08
	No.5	34-48-38.2	127-49-51.8	〃	5.041	6.875	02. 04
동천리 (남해군 삼동면)	No.1	34-49-08.7	128-03-46.6	해양조사원	3.228	4.720	07. 08
	No.2	34-49-05.8	128-03-46.4	〃	3.923	5.415	07. 08
	No.3	34-49-06.3	128-03-44.5	〃	4.219	5.711	07. 08
지족리 (남해군 삼동면)	No.2	34-49-22.0	127-58-31.1	해양조사원	3.709	5.626	07. 08
	No.3	34-49-21.4	127-58-31.3	〃	3.808	5.725	07. 08
	No.4	34-49-21.4	127-58-27.8	〃	3.103	5.020	10. 05
초음리 (남해군 이동면)	No.1	34-49-42.5	127-56-39.3	해양조사원	3.628	5.390	07. 08
	No.2	34-49-44.7	127-56-38.9	〃	3.402	5.164	07. 08
	No.3	34-49-45.7	127-56-37.5	〃	3.318	5.080	07. 08
미조항 (남해군 미조면)	No.1	34-42-23.9	128-02-55.2	해양조사원	2.572	4.097	12. 07
	No.2	34-42-25.5	128-02-55.8	〃	2.380	3.905	12. 07
	No.3	34-42-21.3	128-03-02.3	〃	4.765	6.290	12. 07
감암 (남해군 설천면)	No.1	34-55-40.6	127-51-20.1	해양조사원	3.716	5.422	07. 08
	No.2	34-55-39.5	127-51-20.5	〃	3.191	4.897	07. 08
	No.4	34-55-40.1	127-51-19.3	〃	2.232	3.938	10. 05
	No.5	34-55-41.6	127-51-20.4	〃	2.177	3.883	13. 06
신노량항 (하동군 금남면)	No.1	34-56-52.9	127-51-44.3	해양조사원	2.360	4.090	12. 05
	No.2	34-56-49.6	127-51-48.6	〃	3.451	5.181	12. 05
	No.3	34-56-48.3	127-51-48.4	〃	3.245	4.975	12. 05

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
광양 (광양시 광양제철소)	No.3	34-54-13.4	127-45-22.0	수로국	4.210	6.121	89. 10
	No.4	34-54-09.7	127-45-39.0	〃	4.136	6.047	94. 10
	No.5	34-54-10.5	127-45-38.1	해양조사원	4.208	6.119	02. 04
	TGBM	34-54-10.1	127-45-40.9	〃	3.952	5.863	13. 08
순천만 (순천시 대대동)	No.1	34-53-01.9	127-30-41.7	해양조사원	3.347	5.265	13. 08
	No.2	34-53-01.7	127-30-42.3	〃	2.383	4.301	13. 08
	No.3	34-53-01.4	127-30-42.6	〃	2.227	4.145	13. 08
	TGBM	34-53-04.2	127-30-43.4	〃	3.961	5.879	13. 08
여수 (여수시 오동도)	No.5	34-44-49.2	127-46-58.1	해양조사원	3.167	4.975	00. 08
	No.6	34-44-49.8	127-46-58.3	〃	3.914	5.722	04. 04
	No.7	34-44-49.7	127-46-58.5	〃	3.882	5.690	06. 05
	TGBM	34-44-49.0	127-45-58.4	〃	9.895	11.703	12. 10
우학리 (여천군 남면)	No.2	34-30-34.5	127-46-00.5	수로국	3.867	5.574	77. 05
	No.3	34-30-34.1	127-46-01.0	해양조사원	3.127	4.834	98. 09
	No.4	34-30-34.1	127-46-02.5	〃	2.874	4.581	02. 04
	No.5	34-30-31.8	127-46-10.1	〃	2.724	4.431	13. 06
GS Caltex 제품부두 (여수시 월내동)	No.2	34-51-41.4	127-43-39.4	수로국	4.478	6.220	72. 07
	No.6	34-51-42.9	127-43-34.5	해양조사원	1.745	3.487	06.05
	No.7	34-51-43.0	127-43-34.6	〃	2.713	4.455	13. 07
사도 (여수시 화정면)	No.1	34-35-35.0	127-33-24.8	해양조사원	4.358	6.167	98.07
	No.4	34-35-36.0	127-33-20.8	〃	2.213	4.022	03. 02
	No.5	34-35-36.5	127-33-24.9	〃	3.716	5.525	06. 05
	No.6	34-35-34.9	127-33-24.9	〃	2.611	4.420	13. 07
거문도 (여수시 삼산면)	No.2	34-01-37.8	127-18-38.8	수로국	2.885	4.585	72.10
	No.4	34-01-40.9	127-18-32.8	해양조사원	3.045	4.745	99.09
	No.5	34-01-43.9	127-18-37.7	〃	4.211	5.911	05. 06
	No.6	34-01-44.1	127-18-38.4	〃	4.162	5.862	13. 04
	TGBM	34-01-43.7	127-18-37.0	〃	6.090	7.790	12. 10
초도 (여수시 삼산면)	No.1	34-14-25.4	127-14-46.0	해양조사원	5.271	7.025	07. 08
	No.2	34-14-22.5	127-14-49.5	〃	3.688	5.442	07. 08
	No.3	34-14-27.3	127-14-43.3	〃	4.345	6.099	07. 08
울림리 (여수시 돌산읍)	No.1	34-36-30.5	127-47-22.6	해양조사원	5.293	6.888	07. 08
	No.2	34-36-30.9	127-47-23.3	〃	4.609	6.204	07. 08
	No.4	34-36-31.2	127-47-24.4	〃	3.691	5.286	10. 04
소호동 (전남 여수시)	No.1	34-44-49.9	127-39-30.1	해양조사원	3.259	5.239	07. 08
	No.2	34-44-46.9	127-39-28.8	〃	6.440	8.420	07. 08
	No.3	34-44-47.2	127-39-28.9	〃	5.230	7.210	07. 08
안포리 (여수시 화양면)	No.1	34-37-38.3	127-38-35.2	해양조사원	3.391	5.338	07. 08
	No.2	34-37-39.1	127-38-36.4	〃	2.207	4.154	07. 08
	No.3	34-37-39.1	127-38-36.5	〃	2.342	4.289	07. 08
봉전리 (여수시 울촌면)	No.1	34-48-29.0	127-31-47.8	해양조사원	3.559	5.786	07. 08
	No.2	34-48-27.6	127-31-48.1	〃	3.982	6.209	07. 08
	No.3	34-48-26.7	127-31-50.8	〃	3.650	5.877	07. 08

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
여자만 (여수시 화정면)	No.1	34-45-23.9	127-30-12.0	해양조사원	2.651	4.602	12. 07
	No.2	34-45-22.5	127-30-14.2	〃	5.107	7.058	12. 07
	No.3	34-45-21.3	127-30-11.8	〃	15.702	17.653	12. 07
돌산항 (여수시 돌산읍)	No.1	34-36-47.6	127-43-15.2	해양조사원	3.548	5.229	12. 05
	No.2	34-36-53.3	127-43-17.4	〃	2.374	4.055	12. 05
	No.3	34-36-50.2	127-43-17.5	〃	4.158	5.839	12. 05
낭도항 (여수시 화정면)	No.1	34-36-22.0	127-32-18.0	해양조사원	5.970	7.787	12. 05
	No.2	34-36-15.0	127-32-23.0	〃	5.405	7.222	12. 05
	No.3	34-36-23.0	127-32-21.0	〃	3.838	5.655	12. 05
두모리 (여수시 남면)	No.1	34-31-30.3	127-43-54.0	해양조사원	3.691	5.530	07. 08
	No.2	34-31-28.2	127-43-55.3	〃	3.609	5.448	07. 08
	No.3	34-31-31.0	127-43-57.8	〃	3.971	5.810	07. 08
연도항 (여수시 남면)	No.1	34-25-53.3	127-48-00.0	해양조사원	2.063	3.738	11. 10
	No.2	34-25-42.7	127-47-46.4	〃	3.740	5.415	11. 10
	No.3	34-25-42.0	127-47-41.0	〃	4.331	6.006	11. 10
심포항 (여수시 남면)	No.1	34-29-50.7	127-46-12.4	해양조사원	2.346	4.101	13. 09
	No.2	34-29-50.3	127-46-11.2	〃	3.605	5.270	13. 09
	No.3	34-29-52.3	127-46-14.1	〃	2.503	4.168	13. 09
녹동 (고흥군 도양읍)	No.7	34-31-40.6	127-08-02.7	해양조사원	3.087	5.078	01. 09
	No.8	34-31-38.5	127-07-57.9	〃	2.880	4.871	01. 09
	No.9	34-31-39.7	127-07-56.8	〃	3.746	5.737	03. 04
	No.10	34-31-37.3	127-08-03.0	〃	2.487	4.478	09. 06
	No.11	34-31-37.1	127-08-04.5	〃	2.443	4.434	13. 06
고흥(발포) (고흥군 도화면)	No.2	34-28-49.8	127-20-27.6	해양조사원	4.424	6.303	05. 12
	No.3	34-28-49.8	127-20-27.6	〃	4.601	6.480	05. 12
	No.4	34-28-50.1	127-20-26.1	〃	4.511	6.390	13. 07
	No.5	34-28-51.0	127-20-26.2	〃	4.609	6.488	13. 07
	TGBM	34-28-50.9	127-20-26.1	〃	5.111	6.990	13. 07
금사리 (고흥군 영남면)	No.1	34-35-22.4	127-24-31.7	해양조사원	2.363	4.236	07. 08
	No.2	34-35-24.4	127-24-31.7	〃	1.955	3.828	07. 08
	No.3	34-35-25.2	127-24-32.8	〃	5.723	7.596	07. 08
금진리 (고흥군 금산면)	No.1	34-29-24.7	127-07-23.4	해양조사원	2.585	4.614	07. 08
	No.2	34-29-24.6	127-07-26.8	〃	3.987	6.016	07. 08
	No.3	34-29-23.5	127-07-26.9	〃	3.911	5.940	07. 08
고흥방조제 (고흥군 두원면)	No.1	34-39-41.6	127-13-35.6	해양조사원	3.970	5.986	07. 08
	No.2	34-39-42.9	127-13-35.1	〃	3.315	5.331	07. 08
	No.3	34-39-42.3	127-13-37.5	〃	3.927	5.943	07. 08
우도 (고흥군 남양면)	No.1	34-43-10.4	127-18-36.7	해양조사원	3.270	5.587	07. 08
	No.2	34-43-12.6	127-18-33.3	〃	4.107	6.424	07. 08
	No.4	34-43-11.9	127-18-31.5	〃	3.316	5.633	12. 05
	No.5	34-43-09.2	127-18-30.7	〃	3.162	5.479	13. 07

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
시산항 (고흥군 도양읍)	No.1	34-23-40.5	127-15-38.9	해양조사원	4.858	6.698	12. 05
	No.2	34-23-38.8	127-15-40.5	〃	4.482	6.322	12. 05
	No.3	34-23-37.6	127-15-55.7	〃	5.782	7.622	12. 05
여호항 (고흥군 점암면)	No.1	34-39-37.9	127-28-18.1	해양조사원	2.532	4.457	11. 10
	No.2	34-39-47.0	127-28-16.7	〃	2.049	3.974	11. 10
	No.3	34-39-29.3	127-28-30.9	〃	2.449	4.374	11. 10
동틀리 (보성군 회천면)	No.1	34-40-14.0	127-05-45.3	해양조사원	3.592	5.725	07. 08
	No.2	34-40-12.9	127-05-42.8	〃	3.976	6.109	07. 08
	No.3	34-40-12.1	127-05-41.3	〃	4.624	6.757	07. 08
수문리 (장흥군 안양면)	No.1	34-38-06.7	127-02-45.9	해양조사원	2.960	5.070	07. 08
	No.2	34-38-06.8	127-02-45.2	〃	3.515	5.625	07. 08
	No.3	34-38-04.8	127-02-45.6	〃	4.045	6.155	07. 08
대리 (장흥군 회진면)	No.1	34-28-14.0	126-58-36.0	해양조사원	4.316	6.331	12. 05
	No.2	34-28-15.0	126-58-39.0	〃	3.250	5.265	12. 05
	No.3	34-28-15.0	126-58-40.0	〃	4.513	6.528	12. 05
내동리 (해남군 북일면)	No.4	34-28-22.3	126-45-09.5	해양조사원	2.834	4.872	13. 09
	No.5	34-28-20.0	126-45-09.7	〃	2.700	4.738	13. 09
	No.6	34-28-17.9	126-45-10.7	〃	3.836	5.874	13. 09
완도 (완도군 완도읍)	No.5	34-18-58.3	126-45-35.1	수로국	3.667	5.669	92. 08
	No.6	34-18-59.3	126-45-35.0	해양조사원	3.177	5.179	99. 09
	No.8	34-18-56.2	126-45-35.0	〃	3.424	5.426	01. 09
	TGBM	34-18-56.2	126-45-36.4	〃	4.742	6.744	12. 10
득암리 (완도군 약산면)	No.1	34-21-38.5	126-53-37.3	해양조사원	3.638	5.546	07. 08
	No.2	34-21-37.5	126-53-35.5	〃	3.882	5.790	07. 08
	No.3	34-21-38.4	126-53-35.5	〃	3.685	5.593	07. 08
	No.4	34-21-37.3	126-53-34.5	〃	2.834	4.742	13. 06
달도리 (완도군 군위면)	No.1	34-23-35.6	126-38-34.1	해양조사원	2.477	4.547	07. 08
	No.3	34-23-33.7	126-38-33.5	〃	2.979	5.049	07. 08
	No.4	34-23-33.5	126-38-33.6	〃	3.202	5.272	12. 04
생일도 (완도군 생일면)	No.1	34-19-15.0	126-57-36.3	해양조사원	7.074	8.799	12. 05
	No.2	34-19-10.3	126-57-33.6	〃	4.646	6.371	12. 05
	No.3	34-19-08.0	126-57-30.2	〃	4.334	6.059	12. 05
청산도 (완도군 청산면)	No.1	34-10-41.0	126-51-05.0	해양조사원	2.410	4.166	12. 08
	No.2	34-10-44.2	126-50-57.8	〃	3.212	4.967	12. 08
	No.3	34-10-44.0	126-50-57.0	〃	5.363	7.118	12. 08
보옥항 (완도군 보길면)	No.1	34-07-51.0	126-30-44.0	해양조사원	5.436	7.204	12. 04
	No.2	34-07-44.5	126-30-49.0	〃	1.598	3.366	12. 04
	No.3	34-07-38.0	126-30-46.0	〃	4.645	6.413	12. 04
사수도 (완도군 소안면)	No.1	33-55-06.4	126-38-18.5	해양조사원	1.317	2.899	12. 09
	No.2	33-55-06.8	126-38-17.7	〃	1.317	2.899	13. 10
	No.3	33-55-06.7	126-38-17.4	〃	1.317	2.899	13. 10

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
여서도 (완도군 청산면)	No.1	33-59-14.8	126-55-22.5	해양조사원	2.157	3.817	12. 08
	No.2	33-59-19.1	126-55-27.8	〃	12.892	14.552	12. 08
	No.3	33-59-17.5	126-55-11.5	〃	5.636	7.296	12. 08
	No.4	33-59-13.1	126-55-22.2	〃	2.324	3.984	13. 07
도장항 (완도군 금일면)	No.1	34-22-05.3	127-00-39.8	해양조사원	1.900	3.799	11. 09
	No.2	34-22-03.3	127-00-34.9	〃	4.747	6.646	11. 09
	No.3	34-21-55.8	127-00-37.8	〃	5.244	7.143	11. 09
소안항 (완도군 소안면)	No.1	34-08-59.1	126-37-51.4	해양조사원	1.912	3.769	11. 06
	No.3	34-08-57.1	126-37-49.1	〃	2.557	4.414	11. 06
	No.4	34-08-59.0	126-37-54.9	〃	2.161	4.018	13. 08
이목항 (완도군 노화읍)	No.1	34-10-37.0	126-33-59.4	해양조사원	2.206	4.063	05. 06
	No.2	34-10-37.2	126-33-56.9	〃	2.224	4.081	05. 06
	No.3	34-10-36.4	126-34-02.9	〃	2.176	4.033	05. 06
세화 (제주시 구좌읍)	No.4	33-31-39.2	126-51-22.2	해양조사원	1.175	2.464	94. 05
	No.5	33-31-40.6	126-51-19.2	〃	1.164	2.453	01. 09
	No.6	33-31-41.4	126-51-24.7	〃	2.618	3.907	12. 03
제주 (제주시 일도동)	No.7	33-31-38.8	126-32-35.5	해양조사원	2.733	4.150	99. 09
	No.9	33-31-37.4	126-32-36.3	〃	3.231	4.648	01. 09
	No.12	33-31-18.6	126-32-41.5	〃	4.799	6.216	05. 06
	No.13	33-31-17.0	126-32-35.8	〃	5.073	6.490	09. 04
	TGBM	33-31-19.0	126-32-41.8	〃	2.321	3.738	12. 10
한림 (제주시 한림읍)	No.1	33-24-53.0	126-15-29.9	수로국	3.124	4.553	95. 05
	No.3	33-24-58.1	126-15-42.4	〃	2.480	3.909	95. 05
	No.4	33-24-52.4	126-15-51.6	〃	7.541	8.970	95. 05
	No.5	33-24-51.3	126-15-28.8	해양조사원	3.051	4.480	03. 04
추자도 (제주시 추자면)	No.5	33-57-43.2	126-18-00.4	해양조사원	2.235	3.913	00. 11
	No.6	33-57-45.1	126-17-59.6	〃	3.829	5.507	05. 06
	No.7	33-57-45.5	126-17-58.5	〃	3.419	5.097	07. 05
	TGBM	33-57-46.6	126-17-56.1	〃	11.751	13.429	12. 10
신양항 (제주시 추자면)	No.1	33-56-28.5	126-19-28.1	해양조사원	2.780	4.425	12. 05
	No.2	33-56-29.0	126-19-29.0	〃	3.267	4.912	12. 05
	No.3	33-56-35.0	126-19-32.0	〃	5.866	7.511	12. 05
김녕항 (제주시 구좌읍)	No.1	33-33-27.7	126-44-22.2	해양조사원	2.304	3.597	12. 06
	No.2	33-33-29.1	126-44-23.4	〃	2.397	3.690	12. 06
	No.3	33-33-31.3	126-44-28.9	〃	2.891	4.184	12. 06
도두항 (제주시 도두동)	No.1	33-30-23.3	126-27-59.1	해양조사원	2.951	4.248	12. 06
	No.2	33-30-23.7	126-27-59.7	〃	5.364	6.661	12. 06
	No.3	33-30-31.4	126-27-59.6	〃	6.164	7.461	12. 06
성산포 (서귀포시 성산읍)	No.7	33-28-13.9	126-55-21.7	해양조사원	2.090	3.421	05. 04
	No.8	33-28-14.4	126-55-23.8	〃	1.568	2.899	05. 04
	No.9	33-28-07.0	126-55-26.7	〃	2.250	3.581	09. 04
	TGBM	33-28-14.4	126-55-23.8	〃	1.831	3.162	12. 10

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
서귀포 (서귀포시)	No.3	33-14-22.3	126-33-50.8	수로국	3.693	5.209	82. 03
	No.4	33-14-23.9	126-33-42.3	〃	3.231	4.747	92. 08
	No.5	33-14-22.1	126-33-52.3	해양조사원	3.945	5.461	99. 10
	TGBM	33-14-24.2	126-33-42.6	〃	3.831	5.347	12. 10
서건도(서귀포) (서귀포시 강정동)	No.1	33-13-46.9	126-29-56.2	해양조사원	14.214	15.706	01. 12
	No.2	33-13-47.5	126-29-55.9	〃	14.327	15.819	01. 12
	No.4	33-13-47.3	126-29-55.9	〃	13.306	14.798	12. 04
모슬포 (서귀포시 대정읍)	No.1	33-12-51.8	126-15-04.5	해양조사원	2.712	4.182	05. 06
	No.3	33-12-51.0	126-15-09.3	〃	1.499	2.969	05. 06
	No.4	33-12-49.9	126-15-10.1	〃	0.943	2.413	05. 06
	TGBM	33-12-50.7	126-15-09.5	〃	2.146	3.616	13. 08
하효항 (서귀포시 하효동)	No.1	33-14-57.7	126-37-15.4	해양조사원	2.246	3.629	12. 06
	No.4	33-15-00.8	126-37-13.6	〃	2.945	4.328	13. 06
	No.5	33-15-01.0	126-37-13.7	〃	6.286	7.669	13. 06



## 해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

■ 서해 (173개소 567개)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
백령도 (웅진군 백령면)	No.3	37-57-11.9	124-43-54.4	수로국	3.494	5.589	94. 07
	No.4	37-57-08.4	124-43-54.1	해양조사원	4.898	6.993	00. 04
	No.5	37-57-04.6	124-43-52.8	〃	5.091	7.186	00. 04
대청도 (웅진군 대청면)	No.5	37-49-33.3	124-42-52.5	해양조사원	4.202	6.261	00. 04
	No.6	37-49-27.3	124-43-01.6	〃	3.930	5.989	03. 04
	No.7	37-49-30.8	124-43-05.3	〃	3.545	5.604	12. 05
	TGBM	37-49-54.0	124-42-50.0	〃	8.927	10.986	12. 10
연평도 (웅진군 송림면)	No.5	37-39-34.9	125-42-01.8	해양조사원	4.705	8.371	00. 04
	No.7	37-39-15.5	125-42-36.5	〃	4.924	8.590	03. 04
	No.8	37-39-31.9	125-42-02.7	〃	4.404	8.070	09. 04
	No.9	37-39-16.3	125-42-44.0	〃	5.305	8.971	11. 08
	No.10	37-39-18.0	125-42-32.8	〃	5.555	9.221	11. 08
영종대교 (인천 서구 경서동)	No.1	37-32-56.0	126-35-51.5	해양조사원	7.874	12.597	13. 07
	No.2	37-32-55.1	126-35-48.3	〃	7.573	12.296	13. 07
	No.3	37-32-54.9	126-35-48.0	〃	7.866	12.589	13. 07
	TGBM	37-33-07.5	126-36-25.1	〃	20.075	24.798	13. 07
경인항 (인천 서구 오류동)	No.1	37-33-38.9	126-36-05.2	해양조사원	6.504	11.247	13. 07
	No.2	37-33-39.6	126-36-04.9	〃	6.505	11.248	13. 07
	No.3	37-33-41.3	126-36-04.3	〃	6.537	11.280	13. 07
	TGBM	37-33-28.1	126-36-12.8	〃	6.843	11.586	13. 07
강화대교 (인천 강화군 강화읍)	No.1	37-44-00.3	126-31-03.2	해양조사원	18.101	21.442	12. 07
	No.2	37-44-00.4	126-31-05.5	〃	18.484	21.825	12. 07
	No.3	37-44-00.7	126-31-02.3	〃	17.582	20.923	12. 07
	TGBM	37-44-03.2	126-30-54.6	〃	6.976	10.317	13. 07
강화도(건평) (강화군 양도면)	No.1	37-40-53.8	126-23-45.6	해양조사원	7.709	12.243	13. 09
	No.2	37-40-52.5	126-23-53.1	〃	5.228	9.762	13. 09
	No.3	37-40-49.9	126-23-55.8	〃	3.870	8.404	13. 09
모도(웅진군) (웅진군 북도면)	No.5	37-32-08.9	126-24-50.5	해양조사원	5.476	10.224	03. 04
	No.8	37-32-12.7	126-24-50.3	〃	5.983	10.731	09. 05
	No.9	37-32-11.1	126-24-52.0	〃	5.259	10.007	13. 10
장봉도 (웅진군 북도면)	No.3	37-31-50.4	126-22-59.6	해양조사원	7.935	12.401	06. 08
	No.4	37-31-47.7	126-22-55.6	〃	5.366	9.832	06. 08
	No.5	37-31-51.4	126-23-04.9	〃	6.783	12.249	09. 05
소무의도 (웅진군 용유면)	No.1	37-22-26.9	126-26-30.6	해 군	6.387	10.869	79. 11
	No.2	37-22-25.7	126-26-30.8	〃	8.257	12.739	79. 11
	No.5	37-22-27.5	126-26-28.8	해양조사원	4.884	9.366	13. 09
굴업도 (웅진군 덕적면)	No.1	37-11-39.8	125-59-42.7	해양조사원	14.896	18.767	11. 10
	No.2	37-11-19.7	125-59-09.6	〃	5.330	9.201	11. 10
	No.3	37-11-39.8	125-59-39.2	〃	5.599	9.470	11. 10
	TGBM	37-11-19.4	125-59-09.2	〃	7.693	11.564	12. 10

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
영흥도 (웅진군 영흥면)	No.1	37-13-58.6	126-25-59.0	해양조사원	7.920	12.254	02. 06
	No.3	37-14-01.1	126-25-55.9	〃	7.983	12.317	02. 06
	No.4	37-14-05.1	126-25-54.9	〃	9.681	14.015	12. 07
	TGBM	37-14-00.5	126-25-57.1	〃	8.373	12.707	13. 08
선재도 (웅진군 영흥면)	No.2	37-15-12.9	126-30-41.9	해양조사원	5.694	10.160	02. 08
	No.3	37-15-11.8	126-30-43.4	〃	4.615	9.081	06. 03
	No.4	37-15-14.8	126-30-40.0	〃	4.549	9.015	06. 03
덕적도(북리) (웅진군 덕적면)	No.5	37-15-08.7	126-07-06.2	해양조사원	4.763	9.009	03. 04
	No.6	37-15-13.8	126-07-07.5	〃	5.168	9.414	06. 09
	No.7	37-15-08.7	126-07-08.4	〃	5.419	9.665	06. 09
덕적도(진리) (웅진군 덕적면)	No.3	37-13-41.5	126-09-28.5	수로국	4.592	8.674	83. 03
	No.9	37-13-42.4	126-09-30.3	해양조사원	4.102	8.184	06. 09
	No.10	37-13-42.5	126-09-31.2	〃	4.193	8.275	06. 09
이작도 (웅진군 자월면)	No.1	37-10-41.3	126-14-23.3	수로국	5.547	9.688	82. 09
	No.3	37-10-41.6	126-14-23.0	해양조사원	5.435	9.576	00. 04
	No.4	37-10-44.1	126-14-19.7	〃	6.265	10.406	00. 04
선갑도 (웅진군 자월면)	No.2	37-05-49.9	126-03-59.6	해양조사원	6.530	10.385	03. 09
	No.3	37-05-49.5	126-03-59.8	〃	6.247	10.102	06. 09
	No.4	37-05-50.3	126-03-59.4	〃	6.453	10.308	12. 05
자월도 (웅진군 자월면)	No.1	37-14-41.0	126-19-06.0	해양조사원	7.079	11.335	13. 09
	No.2	37-14-41.0	126-19-02.5	〃	5.201	9.457	13. 09
	No.3	37-14-41.7	126-19-01.3	〃	5.089	9.345	13. 09
백아도 (웅진군 덕적면)	No.1	37-04-30.7	125-57-13.4	수로국	5.732	9.449	77. 05
	No.3	37-04-33.8	125-57-08.5	〃	3.772	7.489	89. 08
	No.4	37-04-33.3	125-57-09.1	해양조사원	5.762	9.479	03. 04
미법도 (강화군 삼산면)	No.2	37-43-30.6	126-16-07.9	해 군	4.964	9.353	78. 01
	No.5	37-43-32.7	126-16-10.1	해양조사원	6.287	10.676	03. 04
	No.6	37-43-32.1	126-16-11.7	〃	5.554	9.943	06. 09
세어도 (인천 서구 원창동)	No.4	37-34-23.8	126-34-10.4	해양조사원	4.492	9.199	06. 09
	No.5	37-34-23.8	126-34-10.8	〃	4.014	8.721	12. 05
	No.6	37-34-24.1	126-34-09.2	〃	5.426	10.133	12. 05
예단포 (인천 중구 운북동)	No.2	37-31-10.5	126-29-42.1	해양조사원	6.825	11.534	02. 09
	No.3	37-31-10.5	126-29-42.0	〃	5.819	10.528	02. 09
	No.4	37-31-10.6	126-29-44.0	〃	7.531	12.240	02. 09
인천 (인천 중구 북성동)	No.3	37-28-11.4	126-35-43.6	수로국	7.391	12.031	81. 12
	No.6	37-28-17.6	126-35-44.6	〃	5.964	10.604	94. 12
	No.7	37-28-02.5	126-36-15.1	〃	6.506	11.146	94. 12
	No.9	37-27-01.2	126-35-49.2	해양조사원	5.365	10.005	98. 10
	No.10	37-26-57.7	126-35-46.9	〃	5.727	10.367	98. 10
	No.11	37-27-07.2	126-35-31.8	〃	5.591	10.231	98. 10
	TGBM	37-26-56.0	126-35-46.2	〃	6.680	11.320	12. 10
용유도(을왕리) (인천 중구 을왕동)	No.2	37-26-55.0	126-22-10.2	해양조사원	5.084	9.505	02. 05
	No.4	37-26-53.8	126-22-09.7	〃	5.392	9.813	06. 04
	No.5	37-26-55.6	126-22-08.6	〃	5.842	10.263	06. 04

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
잡진도 (인천 중구 을왕동)	No.1	37-25-00.9	126-24-52.7	해양조사원	5.197	9.537	02. 05
	No.2	37-25-00.6	126-24-52.8	〃	5.386	9.726	02. 05
	No.4	37-25-00.9	126-24-54.5	〃	5.443	9.783	13. 06
팔미도 (인천 중구 무의동)	No.1	37-21-30.8	126-30-47.2	해양조사원	4.920	9.456	06. 09
	No.3	37-21-31.2	126-30-47.1	〃	7.571	12.110	06. 09
	No.4	37-21-31.3	126-30-47.0	〃	5.720	10.259	09. 04
	No.5	37-21-31.0	126-30-48.2	〃	5.567	10.106	13. 09
인천송도 (인천 연수구 동춘동)	No.1	37-20-51.5	126-36-08.2	해양조사원	6.843	11.428	12. 07
	No.2	37-20-51.5	126-36-04.3	〃	6.942	11.527	12. 07
	No.3	37-20-50.6	126-35-57.8	〃	6.855	11.440	12. 07
	TGBM	37-20-51.1	126-36-27.8	〃	7.321	11.906	13. 07
월곶 (시흥시 월곶)	No.1	37-23-16.2	126-44-03.5	해양조사원	6.235	10.789	02. 05
	No.3	37-23-17.8	126-44-02.4	〃	6.292	10.846	06. 04
	No.4	37-23-14.8	126-44-05.1	〃	6.321	10.875	09. 04
	No.5	37-23-25.4	126-44-05.5	〃	6.134	10.688	13. 10
상가리도 (시흥시 정왕동)	No.3	37-19-31.5	126-39-18.2	해양조사원	7.998	12.517	02. 06
	No.5	37-19-31.4	126-39-17.6	〃	7.926	12.445	06. 04
	No.6	37-19-32.0	126-39-17.5	〃	6.710	11.229	09. 04
오이도 (시흥시 정왕동)	No.1	37-20-49.1	126-40-56.3	해양조사원	5.507	10.102	13. 09
	No.2	37-20-45.8	126-41-02.9	〃	5.527	10.122	13. 09
	No.3	37-20-44.3	126-41-08.1	〃	5.326	9.921	13. 09
대부도(남서) (안산시 대부남동)	No.1	37-11-54.6	126-32-06.7	해양조사원	5.084	9.379	02. 08
	No.3	37-11-54.4	126-32-07.1	〃	6.025	10.320	06. 03
	No.4	37-11-54.4	126-32-07.0	〃	5.510	9.805	06. 03
안산(탄도) (안산시 선감동)	No.1	37-11-31.5	126-38-50.8	해양조사원	5.438	9.769	00. 06
	No.2	37-11-32.9	126-38-50.5	〃	5.055	9.386	02. 07
	TGBM	37-11-31.3	126-38-48.9	〃	6.857	11.188	12. 10
풍도 (안산시 풍도동)	No.1	37-06-47.5	126-23-37.4	해양조사원	5.597	9.898	13. 10
	No.2	37-06-49.5	126-23-34.6	〃	6.847	11.148	13. 10
	No.3	37-06-50.2	126-23-33.1	〃	6.399	10.700	13. 10
제부도 (화성시 서신면)	No.1	37-10-22.7	126-36-59.1	해양조사원	4.218	8.656	00. 06
	No.2	37-10-22.7	126-36-59.7	〃	6.602	11.040	00. 06
	No.8	37-10-20.7	126-37-00.8	〃	6.764	11.202	06. 04
	No.9	37-10-46.1	126-37-19.5	〃	7.237	11.675	13. 09
	No.10	37-10-43.5	126-37-18.6	〃	6.050	10.488	13. 09
	No.11	37-10-43.5	126-37-19.6	〃	5.110	9.548	13. 09
궁평리 (화성시 서신면)	No.2	37-07-03.7	126-40-51.6	해양조사원	5.881	10.374	03. 06
	No.4	37-06-55.2	126-40-50.9	〃	7.150	11.643	06. 04
	No.5	37-06-55.4	126-40-44.4	〃	5.376	9.869	06. 04
입파도 (화성시 우정읍)	No.2	37-05-40.0	126-32-18.0	해양조사원	4.764	9.091	03. 08
	No.3	37-05-39.5	126-32-17.2	〃	4.577	8.904	03. 08
	No.4	37-05-39.9	126-32-18.0	〃	4.952	9.279	12. 04

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
화옹방조제 (화성시 우정읍)	No.1	37-05-51.6	126-42-09.5	해양조사원	8.365	12.875	13. 09
	No.2	37-05-50.2	126-42-11.7	〃	8.330	12.840	13. 09
	No.3	37-05-49.1	126-42-13.5	〃	8.380	12.890	13. 09
평택(남양만) (평택시 포승면)	No.1	37-00-32.3	126-47-54.7	수로국	4.748	9.402	82. 06
	No.2	37-00-31.3	126-47-55.5	해양조사원	1.668	6.322	07. 10
	No.3	37-00-30.9	126-47-54.6	〃	5.376	10.030	06. 10
평택(LNG부두) (평택시 포승면)	No.1	37-00-13.8	126-46-53.8	수로국	9.129	13.752	94. 05
	No.2	37-00-13.6	126-46-54.3	해양조사원	9.076	13.699	06. 10
	No.4	37-00-13.0	126-46-55.7	〃	8.603	13.226	13. 08
평택(동부두) (평택시 포승면)	No.1	36-57-35.1	126-50-28.6	해양조사원	6.195	10.849	00. 10
	No.2	36-57-48.3	126-50-35.5	〃	7.101	11.755	06. 10
	No.3	36-57-38.5	126-50-26.1	〃	6.255	10.909	06. 10
평택(서부두) (평택시 포승면)	No.1	36-58-00.7	126-49-21.9	해양조사원	6.206	10.860	06. 10
	No.4	36-58-05.7	126-49-18.4	〃	6.262	10.916	09. 10
	No.6	36-58-06.3	126-49-18.0	〃	6.143	10.797	13. 08
	TGBM	36-57-42.2	126-50-44.7	〃	6.397	11.051	13. 08
원정리 (평택시 포승면)	No.1	37-00-20.4	126-46-50.6	해양조사원	7.681	12.310	03. 06
	No.2	37-00-21.2	126-46-49.6	〃	7.821	12.450	03. 06
	No.3	37-00-21.6	126-46-49.2	〃	8.766	13.395	03. 06
대난지도 (당진시 석문면)	No.4	37-03-16.7	126-26-58.7	해양조사원	4.736	9.073	06. 10
	No.5	37-03-13.7	126-26-56.7	〃	6.880	11.217	09. 04
	No.6	37-03-12.3	126-26-56.7	〃	5.003	9.340	09. 04
왜목(교로리) (당진시 석문면)	No.1	37-02-58.1	126-31-36.6	해양조사원	4.122	8.453	03. 06
	No.2	37-02-55.4	126-31-38.3	〃	3.638	7.969	03. 06
	No.4	37-02-57.9	126-31-37.1	〃	4.406	8.742	06. 10
	No.5	37-02-53.3	126-31-38.7	〃	5.128	9.459	09. 04
성구미 (당진시 송산면)	No.1	36-59-57.6	126-38-47.0	해양조사원	5.105	9.648	03. 06
	No.2	36-59-57.7	126-38-45.5	〃	5.093	9.636	03. 06
	No.3	36-59-57.6	126-38-43.3	〃	8.119	12.662	03. 06
가곡리 (당진시 송산면)	No.1	37-00-06.3	126-41-44.0	해양조사원	5.085	9.659	13. 10
	No.2	37-00-05.1	126-41-41.2	〃	5.123	9.697	13. 10
	No.3	37-00-02.4	126-41-40.9	〃	6.231	10.805	13. 10
삼교호 (당진시 신평면)	No.1	36-53-10.5	126-50-13.0	해양조사원	5.849	10.659	03. 06
	No.2	36-53-10.2	126-50-13.9	〃	5.859	10.669	03. 06
	No.3	36-53-10.0	126-50-14.6	〃	5.833	10.643	03. 06
대산 (서산시 대산읍)	No.4	37-00-16.7	126-21-09.4	해양조사원	5.250	9.388	99. 09
	No.6	37-00-17.1	126-21-12.7	〃	5.429	9.567	02. 03
	No.7	37-00-24.6	126-21-11.5	〃	6.127	10.265	04. 09
	TGBM	37-00-24.8	126-21-11.4	〃	5.072	9.210	12. 10
삼길포 (서산시 대산읍)	No.1	36-59-55.2	126-27-10.9	수로국	10.019	14.306	89. 06
	No.2	37-00-02.5	126-27-06.0	〃	7.371	11.658	86. 03
	No.3	36-59-56.0	126-27-13.9	해양조사원	5.631	9.918	02. 03

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
오지리 (서산시 대산읍)	No.1	36-57-41.3	126-20-01.4	해양조사원	5.185	9.139	03. 06
	No.3	36-57-40.6	126-20-03.3	〃	5.133	9.087	03. 06
	No.4	36-57-44.7	126-20-02.6	〃	5.163	9.117	05. 05
웅도 (서산시 대산읍)	No.1	36-55-01.5	126-22-24.5	해양조사원	5.415	9.541	05. 06
	No.3	36-55-01.4	126-22-25.7	〃	5.115	9.241	09. 04
	No.4	36-55-01.6	126-22-25.3	〃	4.570	8.696	09. 04
간월도 (서산시 부석면)	No.4	36-36-15.9	126-24-40.9	해양조사원	5.086	9.416	99. 09
	No.5	36-36-15.8	126-24-40.4	〃	6.671	11.001	99. 09
	No.7	36-36-15.8	126-24-40.6	〃	4.711	9.041	08. 04
태안 (태안군 원북면)	No.1	36-54-29.8	126-13-49.9	해양조사원	6.777	10.660	09. 04
	No.2	36-54-22.6	126-13-49.6	〃	6.968	10.851	09. 04
	No.4	36-54-22.0	126-13-50.0	〃	7.749	11.632	12. 07
	TGBM	36-54-30.9	126-14-15.2	〃	8.524	12.407	13. 08
황촌리 (태안군 원북면)	No.1	36-52-59.2	126-10-57.5	해양조사원	5.586	9.355	13. 09
	No.2	36-52-59.1	126-11-03.9	〃	5.393	9.162	13. 09
	No.3	36-52-59.3	126-11-05.3	〃	4.129	7.898	13. 09
사창리 (태안군 이원면)	No.1	36-50-30.5	126-18-13.0	해양조사원	4.616	8.917	13. 09
	No.2	36-50-27.1	126-18-05.5	〃	4.833	9.134	13. 09
	No.3	36-50-31.3	126-18-01.4	〃	4.872	9.173	13. 09
천리포 (태안군 소원면)	No.4	36-48-16.6	126-08-47.4	해양조사원	4.642	8.293	13. 08
	No.5	36-48-14.5	126-08-51.7	〃	3.399	7.050	13. 08
	No.6	36-48-13.7	126-08-54.8	〃	3.677	7.328	13. 08
어은돌(태안) (태안군 소원면)	No.1	36-45-09.1	126-07-35.4	해양조사원	5.641	9.204	03. 08
	No.2	36-45-08.4	126-07-35.1	〃	6.133	9.696	03. 08
	No.3	36-45-07.8	126-07-27.7	〃	6.126	9.689	03. 08
통개항 (태안군 소원면)	No.1	36-43-10.8	126-08-14.0	해양조사원	6.341	9.923	13. 09
	No.2	36-43-12.5	126-08-11.1	〃	5.399	8.981	13. 09
	No.3	36-43-18.0	126-08-15.3	〃	3.696	7.278	13. 09
의항항 (태안군 소원면)	No.1	36-49-54.7	126-10-03.9	해양조사원	4.059	7.794	13. 08
	No.2	36-49-57.3	126-10-05.8	〃	4.158	7.893	13. 08
	No.3	36-50-07.7	126-10-01.7	〃	4.897	8.632	13. 08
안흥(신진도) (태안군 근흥면)	No.3	36-40-23.0	126-07-56.0	수로국	5.362	8.909	86. 08
	No.4	36-40-26.0	126-07-57.0	해양조사원	3.759	7.306	99. 09
	No.5	36-40-22.3	126-08-08.3	〃	7.349	10.896	02. 04
	TGBM	36-40-24.9	126-08-00.1	〃	4.475	8.022	12. 10
가의도 (태안군 근흥면)	No.1	36-40-41.7	126-04-06.4	해양조사원	7.337	10.778	98. 09
	No.2	36-40-40.1	126-04-07.2	〃	6.832	10.273	98. 09
	No.3	36-40-39.8	126-04-10.1	〃	6.675	10.116	02. 04
	No.4	36-40-39.0	126-04-07.4	〃	5.462	8.903	13. 09
정죽리 (태안군 근흥면)	No.5	36-40-57.2	126-09-14.7	해양조사원	6.852	10.390	02. 04
	No.6	36-40-53.3	126-09-11.7	〃	7.759	11.297	05. 05
	No.7	36-40-46.9	126-09-09.6	〃	4.197	7.735	08. 04
	No.8	36-40-49.9	126-09-08.2	〃	4.293	7.831	13. 08

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
궁시도 (태안군 근흥면)	No.1	36-39-48.7	125-51-37.5	해양조사원	4.200	7.500	03. 08
	No.2	36-39-48.5	125-51-38.1	〃	4.270	7.570	03. 08
	No.3	36-39-48.4	125-51-39.0	〃	3.671	6.971	03. 08
북격렬비열도 (태안군 근흥면)	No.1	36-37-27.3	125-33-41.5	해양조사원	6.099	9.154	03. 06
	No.2	36-37-28.0	125-33-41.3	〃	5.703	8.758	03. 06
	No.3	36-37-28.3	125-33-41.3	〃	6.131	9.186	03. 06
창리 (태안군 남면)	No.1	36-37-25.4	126-21-23.6	해양조사원	5.036	8.986	03. 06
	No.2	36-37-25.8	126-21-24.2	〃	7.016	10.966	03. 06
	No.3	36-37-25.3	126-21-22.7	〃	7.065	11.015	03. 06
백사장 (태안군 안면읍)	No.1	36-35-11.0	126-19-04.5	해양조사원	4.031	7.636	03. 06
	No.2	36-35-10.9	126-19-05.7	〃	4.406	8.011	03. 06
	No.3	36-35-10.2	126-19-04.4	〃	4.525	8.130	03. 06
안면암 (태안군 안면읍)	No.4	36-33-33.9	126-22-31.6	해양조사원	3.932	7.914	05. 04
	No.5	36-33-33.4	126-22-31.7	〃	3.710	7.692	05. 04
	No.6	36-33-35.9	126-22-28.0	〃	3.473	7.455	13. 09
영목항 (태안군 고남면)	No.1	36-23-58.5	126-25-36.0	해양조사원	4.484	8.295	13. 08
	No.2	36-23-59.9	126-25-39.5	〃	4.977	8.788	13. 08
	No.3	36-24-02.3	126-25-40.4	〃	4.207	8.018	13. 08
도항리(채석포) (태안군 근흥면)	No.1	36-41-36.7	126-13-43.7	해양조사원	5.426	9.034	03. 06
	No.2	36-41-37.2	126-13-42.2	〃	6.459	10.067	03. 06
	No.3	36-41-38.8	126-13-39.1	〃	6.425	10.033	03. 06
	No.4	36-41-36.5	126-13-44.6	〃	3.765	7.373	13. 09
남당항 (홍성군 서부면)	No.1	36-32-06.7	126-27-59.6	해양조사원	4.575	8.440	13. 09
	No.2	36-32-04.3	126-27-59.8	〃	3.270	7.135	13. 09
	No.3	36-32-02.8	126-28-03.1	〃	5.377	9.242	13. 09
오지리 (서산시 대산읍)	No.1	36-57-41.3	126-20-01.4	해양조사원	5.185	9.139	03. 06
	No.3	36-57-40.6	126-20-03.3	〃	5.133	9.087	03. 06
	No.4	36-57-44.7	126-20-02.6	〃	5.163	9.117	05. 05
웅도 (서산시 대산읍)	No.1	36-55-01.5	126-22-24.5	해양조사원	5.415	9.541	05. 06
	No.3	36-55-01.4	126-22-25.7	〃	5.115	9.241	09. 04
	No.4	36-55-01.6	126-22-25.3	〃	4.570	8.696	09. 04
간월도 (서산시 부석면)	No.4	36-36-15.9	126-24-40.9	해양조사원	5.086	9.416	99. 09
	No.5	36-36-15.8	126-24-40.4	〃	6.671	11.001	99. 09
	No.7	36-36-15.8	126-24-40.6	〃	4.711	9.041	08. 04
고파도 (서산시 팔봉면)	No.1	36-54-37.5	126-20-14.2	해양조사원	4.801	8.994	13. 09
	No.2	36-54-42.6	126-20-17.5	〃	4.829	9.022	13. 09
	No.3	36-54-46.6	126-20-19.4	〃	4.682	8.875	13. 09
구도항 (서산시 팔봉면)	No.1	36-49-44.8	126-19-35.5	해양조사원	2.369	6.596	13. 10
	No.2	36-49-42.7	126-19-37.5	〃	2.119	6.346	13. 10
	No.3	36-49-40.0	126-19-37.9	〃	1.677	5.904	13. 10
외도 (보령시 오천면)	No.1	36-27-13.7	126-18-33.9	수로국	6.317	9.758	79. 09
	No.3	36-27-13.1	126-18-33.2	해양조사원	4.645	8.086	02. 04
	No.4	36-27-09.6	126-18-29.3	〃	5.352	8.793	02. 04

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
보령 (보령화력발전소)	No.3	36-24-21.1	126-29-08.7	수로국	10.004	13.822	94. 10
	No.4	36-24-20.9	126-29-14.2	해양조사원	9.580	13.398	99. 09
	TGBM	36-24-18.1	126-29-14.0	〃	9.394	13.212	12. 10
삼시도 (보령시 오천면)	No.4	36-19-47.1	126-21-36.1	해양조사원	5.877	9.495	05. 05
	No.5	36-19-42.5	126-21-41.7	〃	4.815	8.433	08. 05
	No.6	36-19-41.3	126-21-42.9	〃	5.075	8.693	13. 08
녹도 (부안군 오천면)	No.1	36-16-13.7	126-16-00.2	해양조사원	4.849	8.269	13. 09
	No.2	36-16-10.7	126-15-59.8	〃	7.071	10.491	13. 09
	No.3	36-16-09.2	126-15-58.0	〃	5.414	8.834	13. 09
원산도 (보령시 오천면)	No.1	36-22-59.4	126-26-00.6	해양조사원	4.160	7.965	13. 09
	No.2	36-23-04.0	126-26-00.4	〃	3.873	7.678	13. 09
	No.3	36-23-03.9	126-26-05.4	〃	4.620	8.425	13. 09
외연도 (보령시 오천면)	No.6	36-13-35.1	126-04-49.2	해양조사원	4.437	7.666	08. 04
	No.7	36-13-34.8	126-04-46.4	〃	3.842	7.071	13. 08
	No.8	36-13-32.5	126-04-54.1	〃	3.674	6.903	13. 08
대천 (대천읍 신흥리)	No.7	36-19-37.9	126-30-32.2	해양조사원	5.079	8.789	05. 04
	No.8	36-19-39.4	126-30-36.7	〃	4.040	7.750	05. 04
	No.9	36-19-38.7	126-30-34.1	〃	4.438	8.148	08. 04
무창포 (보령시 웅천면)	No.1	36-14-56.2	126-32-13.8	수로국	5.354	8.989	95. 07
	No.5	36-14-53.4	126-32-15.3	해양조사원	6.417	10.052	05. 04
	No.7	36-14-56.5	126-32-13.5	〃	4.032	7.667	12. 05
마량리 (서천군 서면)	No.6	36-07-11.7	126-30-12.6	해양조사원	4.942	8.544	08. 04
	No.7	36-07-44.4	126-30-11.4	〃	5.186	8.788	08. 04
	No.8	36-07-45.0	126-30-11.6	〃	8.295	11.897	13. 6
	No.9	36-07-44.6	126-30-13.5	〃	4.166	7.768	13. 08
	TGBM	36-07-45.4	126-30-11.7	〃	5.259	8.861	13. 08
다사리 (서천군 종천면)	No.1	36-05-47.0	126-36-51.7	해양조사원	4.526	8.144	04. 08
	No.4	36-05-48.9	126-36-49.7	〃	4.312	7.930	08. 04
	No.5	36-05-49.4	126-36-49.1	〃	6.538	10.156	08. 04
마서면 (장항읍 마서면)	No.1	36-00-52.1	126-39-48.8	해양조사원	4.749	8.358	04. 07
	No.2	36-00-53.4	126-39-45.4	〃	4.034	7.643	04. 07
	No.3	36-00-53.6	126-39-45.0	〃	3.556	7.165	04. 07
장항 (장항읍 신창동)	No.5	36-00-28.6	126-41-21.3	수로국	4.191	7.932	71. 09
	No.6	36-00-27.3	126-41-23.9	해양조사원	4.832	8.573	00. 04
	No.7	36-00-27.0	126-41-27.0	〃	4.909	8.650	00. 04
	TGBM	36-00-28.3	126-41-25.9	〃	4.811	8.552	13. 09
연도(군산) (군산시 옥도면)	No.4	36-04-56.4	126-26-33.7	해양조사원	5.571	9.138	02. 04
	No.5	36-04-57.5	126-26-31.1	〃	5.848	9.415	05. 05
	No.6	36-04-58.4	126-26-30.4	〃	5.686	9.253	05. 05
야미도 (군산시 옥도면)	No.1	35-50-26.9	126-29-25.6	해양조사원	5.302	8.733	13. 08
	No.2	35-50-25.6	126-29-17.7	〃	4.420	7.851	13. 08
	No.3	35-50-33.3	126-29-16.9	〃	4.728	7.709	13. 08

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
십이동파도 (군산시 선유면)	No.1	35-59-25.3	126-13-32.6	해양조사원	4.304	7.656	03. 06
	No.2	35-59-24.8	126-13-33.5	〃	5.094	8.446	03. 06
	No.3	35-59-24.9	126-13-34.7	〃	5.461	8.813	03. 06
군산 (군산시 해망동)	No.1	35-59-35.1	126-42-38.2	수로국	4.331	8.044	62. 04
	No.2	35-59-26.4	126-42-52.9	〃	3.998	7.711	62. 04
	No.5	35-59-35	126-42-38	해양조사원	4.856	8.569	12. 06
군산외항 (군산시 소룡동)	No.1	35-58-16.4	126-37-27.8	수로국	4.803	8.426	80. 01
	No.5	35-58-13.1	126-37-32.2	〃	4.888	8.511	12. 06
	No.6	35-58-13.4	126-42-33.2	해양조사원	5.066	8.689	12. 06
군산외항 6부두 (군산시 소룡동)	No.1	35-58-30.6	126-33-46.9	해양조사원	5.309	8.932	06. 12
	No.2	35-58-18.9	126-33-20.9	〃	5.537	9.160	06. 12
	No.4	35-58-19.7	126-33-17.9	〃	5.696	9.318	12. 06
	TGBM	35-58-30.5	126-33-48.2	〃	7.372	10.995	12. 10
말도 (군산시 옥도면)	No.3	35-51-14.4	126-19-08.0	수로국	5.260	8.630	94. 05
	No.4	35-51-14.1	126-19-08.2	〃	6.403	9.773	94. 05
	No.5	35-51-17.0	126-19-04.8	해양조사원	2.917	6.287	99. 09
	No.6	35-51-16.1	126-19-04.5	〃	3.430	6.800	13. 08
방축도 (군산시 옥도면)	No.1	35-50-52.2	126-22-35.8	해양조사원	5.737	9.153	13. 08
	No.2	35-50-53.5	126-22-37.4	〃	5.432	8.848	13. 08
	No.3	35-50-54.3	126-22-37.4	〃	4.838	8.254	13. 08
선유도 (군산시 옥도면)	No.4	35-48-28.1	126-24-42.6	해양조사원	4.334	7.759	02. 04
	No.6	35-48-27.8	126-24-42.8	〃	5.294	8.719	05. 04
	No.7	35-48-25.2	126-24-41.2	〃	4.742	8.167	05. 04
어청도 (군산시 옥도면)	No.1	36-06-59.4	125-58-56.9	해양조사원	4.258	7.305	07. 09
	No.2	36-06-48.7	125-59-04.6	〃	9.481	12.528	07. 09
	No.3	36-06-48.7	125-59-03.3	〃	11.796	14.843	07. 09
	TGBM	36-06-48.3	125-59-04.5	〃	11.718	14.765	12. 10
비안도 (군산시 옥도면)	No.1	35-44-11.7	126-27-36.4	해양조사원	3.741	7.140	11. 11
	No.2	35-44-15.2	126-27-28.4	〃	4.201	7.600	11. 11
	No.3	35-44-10.6	126-27-33.8	〃	4.115	7.514	11. 11
비응항 (군산시 비응동)	No.1	35-56-14.4	126-31-58.1	해양조사원	4.542	8.059	13. 08
	No.2	35-56-18.0	126-31-53.8	〃	4.608	8.125	13. 08
	No.3	35-56-20.2	126-31-45.2	〃	5.338	8.855	13. 08
가력도 (부안군 변산면)	No.1	35-43-36.6	126-31-52.8	해양조사원	5.366	8.821	13. 08
	No.2	35-43-36.7	126-31-40.4	〃	5.582	9.037	13. 08
	No.3	35-43-28.6	126-31-51.4	〃	6.768	10.223	13. 08
변산반도(격포) (부안군 변산면)	No.3	35-37-05.4	126-28-11.9	해양조사원	5.126	8.486	04. 03
	No.4	35-39-11.6	126-29-27.1	〃	3.833	7.193	04. 03
	No.5	35-39-12.4	126-29-27.4	〃	4.378	7.738	04. 03
	No.6	35-39-12.6	126-29-28.0	〃	5.023	8.383	04. 03
	No.7	35-37-15.0	126-28-12.2	〃	4.774	8.134	08. 05
	No.8	35-37-14.9	126-28-10.3	〃	3.701	7.061	13. 10



해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
위도 (부안군 위도면)	No.1	35-37-17.7	126-18-13.5	수로국	5.473	8.788	75. 08
	No.2	35-37-03.8	126-18-05.7	〃	5.842	9.157	75. 08
	No.4	35-37-03.6	126-18-02.9	해양조사원	4.936	8.251	05. 04
	TGBM	35-37-17.6	126-18-13.5	〃	6.086	9.401	12. 10
곰소항(부안군) (부안군 진서면)	No.1	35-35-08.1	126-36-17.2	해양조사원	4.633	8.183	04. 08
	No.2	35-35-08.4	126-36-16.0	〃	5.521	9.071	04. 08
	No.3	35-35-10.2	126-36-15.4	〃	5.559	9.109	04. 10
작당항 (부안군 진서면)	No.1	35-35-09.9	126-32-46.0	해양조사원	4.694	8.159	13. 09
	No.2	35-35-05.1	126-32-47.8	〃	4.193	7.658	13. 09
	No.3	35-35-01.8	126-32-47.8	〃	3.422	6.887	13. 09
구시포 (고창군 상하면)	No.1	35-27-03.0	126-25-40.0	해양조사원	4.395	7.741	11. 08
	No.2	35-27-02.0	126-25-38.3	〃	4.394	7.740	11. 08
	No.3	35-26-58.9	126-25-44.1	〃	3.816	7.162	11. 08
영광 (영광군 원자력발전소)	No.4	35-25-32.7	126-25-12.8	수로국	6.987	10.404	91. 04
	No.8	35-25-32.3	126-25-12.2	해양조사원	7.136	10.553	02. 04
	No.9	35-25-35.6	126-25-18.9	〃	8.454	11.871	02. 04
	No.10	35-25-31.9	126-25-13.5	〃	7.337	10.754	04. 12
	TGBM	35-25-28.8	126-25-08.4	〃	10.161	13.578	13. 09
계마리 (영광군 홍농읍)	No.6	35-23-40.2	126-24-25.5	해양조사원	5.369	8.717	99. 09
	No.9	35-23-40.0	126-24-25.5	〃	5.532	8.880	08. 04
안마도 (영광군 낙월면)	No.1	35-20-42.7	126-00-57.9	수로국	5.143	8.043	75. 05
	No.5	35-05-42.4	126-01-04.5	해양조사원	4.110	7.010	08. 04
	No.6	35-05-42.9	126-01-04.9	〃	4.139	7.039	08. 04
송이도 (영광군 낙월면)	No.1	35-16-22.4	126-09-02.0	해양조사원	4.439	7.539	11. 11
	No.2	35-16-21.8	126-08-55.6	〃	4.836	7.936	11. 11
	No.3	35-16-18.6	126-09-01.0	〃	6.781	9.881	11. 11
낙월도 (영광군 낙월면)	No.1	35-12-07.5	126-08-21.4	해양조사원	3.805	6.782	11. 11
	No.2	35-12-04.3	126-08-34.5	〃	4.028	7.005	11. 11
	No.3	35-12-02.5	126-08-38.4	〃	4.132	7.109	11. 11
용정리(함평만) (무안군 현경면)	No.1	35-05-11.0	126-23-33.7	해양조사원	5.036	8.285	13. 08
	No.2	35-05-08.4	126-23-29.2	〃	5.074	8.323	13. 08
	No.3	35-05-09.8	126-23-27.6	〃	4.179	7.428	13. 08
도리포 (무안군 해제면)	No.2	35-09-27.1	126-20-52.9	해양조사원	6.100	9.195	05. 05
	No.3	35-09-29.1	126-20-50.4	〃	3.706	6.801	05. 05
홀통 (무안군 해제면)	No.1	35-03-45.3	126-19-57.4	해양조사원	2.828	5.520	05. 05
	No.2	35-03-42.5	126-19-53.1	〃	3.280	5.972	05. 05
	No.3	35-03-45.9	126-19-59.8	〃	3.441	6.133	05. 05
성내리 (무안군 운남면)	No.1	34-55-41.2	126-18-22.5	해양조사원	3.370	5.950	06. 05
	No.2	34-55-42.0	126-18-24.4	〃	3.124	5.704	06. 05
	No.3	34-55-43.7	126-18-29.5	〃	3.161	5.741	06. 05
도원리 (무안군 운남면)	No.1	34-55-00.2	126-20-52.2	해양조사원	3.936	6.529	06. 08
	No.2	34-55-01.2	126-20-54.9	〃	3.977	6.600	06. 08
	No.3	34-55-48.7	126-21-52.2	〃	3.887	6.246	06. 08

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
목포 (목포시 금화동)	No.5	34-46-55.7	126-23-22.4	해양조사원	7.235	9.664	01. 08
	No.6	34-46-48.2	126-22-34.6	〃	3.154	5.583	01. 08
	No.8	34-46-56.0	126-23-22.8	〃	12.976	15.405	04. 04
	No.9	34-46-50.6	126-22-33.1	〃	6.032	8.461	06. 03
	TGBM	34-46-55.4	126-22-27.4	〃	31.164	33.593	12. 10
달리도 (목포시 달동)	No.1	34-46-41.4	126-19-38.6	해양조사원	3.985	6.467	06. 08
	No.2	34-46-38.4	126-19-41.3	〃	4.004	6.486	06. 08
임자도(전장포) (신안군 임자면)	No.3	35-08-16.7	126-08-36.7	해양조사원	3.579	6.498	05. 04
	No.4	35-08-17.6	126-08-39.6	〃	3.665	6.584	05. 04
	No.5	35-08-15.0	126-08-39.2	〃	3.210	6.129	13. 10
임자도(진리) (신안군 임자면)	No.1	35-04-49.3	126-07-15.0	해양조사원	3.162	6.065	11. 11
	No.2	35-04-53.5	126-07-11.0	〃	3.544	6.447	11. 11
	No.3	35-04-53.3	126-07-24.4	〃	3.386	6.289	11. 11
수도 (신안군 임자면)	No.1	35-04-59.3	126-08-03.1	해양조사원	3.436	6.200	05. 05
	No.2	35-04-58.7	126-08-04.4	〃	4.490	7.254	05. 05
	No.3	35-04-58.6	126-08-05.5	〃	4.249	7.013	05. 05
재원도 (신안군 임자면)	No.1	35-05-03.0	126-01-51.5	해양조사원	3.873	6.703	13. 08
	No.2	35-05-04.0	126-01-46.7	〃	5.754	8.584	13. 08
	No.3	35-05-06.0	126-01-46.8	〃	3.444	6.274	13. 08
암태도 (신안군 암태면)	No.1	34-51-33.2	126-04-54.5	수로국	5.501	8.024	76. 07
	No.3	34-51-33.7	126-04-55.3	해양조사원	3.088	5.611	01. 08
	No.4	34-51-27.9	126-04-52.0	해양조사원	2.928	5.451	13. 07
참도 (신안군 지도읍)	No.1	35-06-26.6	126-12-07.7	해양조사원	3.973	6.839	05. 05
	No.2	35-06-26.9	126-12-08.1	〃	3.699	6.565	05. 05
	No.3	35-06-26.8	126-12-10.3	〃	3.937	6.803	05. 05
점암 (신안군 지도읍)	No.1	35-05-26.8	126-09-27.0	해양조사원	3.181	5.967	05. 05
	No.3	35-05-24.7	126-09-25.3	〃	4.372	7.158	05. 05
송도(하탑) (신안군 지도읍)	No.1	35-02-35.5	126-12-13.2	해양조사원	3.559	6.188	05. 08
	No.2	35-02-35.6	126-12-13.8	〃	4.066	6.695	05. 08
홍도 (신안군 흑산면)	No.1	34-40-57.0	125-11-32.4	수로국	6.120	7.870	83. 07
	No.2	34-41-02.2	125-11-34.6	〃	4.128	5.878	83. 07
	No.3	34-40-58.8	125-11-31.6	해양조사원	4.563	6.313	01. 08
우이도 (신안군 도초면)	No.1	34-37-07.5	125-51-22.8	수로국	4.503	6.548	75. 06
	No.3	34-37-15.7	125-51-18.6	해양조사원	8.188	10.233	89. 09
하의도(오림리) (신안군 하의면)	No.2	34-34-15.1	126-03-09.8	수로국	2.951	5.011	76. 07
	No.3	34-34-12.5	126-03-12.2	〃	1.944	4.004	83. 10
	No.4	34-34-12.9	126-03-11.3	해양조사원	3.049	5.109	01. 08
	No.5	34-34-12.3	126-03-11.0	〃	2.817	4.877	01. 08
	No.6	34-34-12.3	126-03-10.9	〃	2.132	4.192	01. 08
	No.6	34-34-12.3	126-03-10.9	〃	2.132	4.192	01. 08
하의도(웅곡리) (신안군 하의면)	No.1	34-36-29.1	126-02-14.0	해양조사원	3.294	5.421	11. 11
	No.2	34-36-31.1	126-02-15.3	〃	2.444	4.571	11. 11
	No.3	34-36-31.0	126-02-18.7	〃	2.802	4.929	11. 11

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
요령도 (신안군 안좌면)	No.1	34-43-52.5	126-11-15.9	해양조사원	2.845	5.039	06. 08
	No.2	34-43-52.0	126-11-17.4	〃	2.601	4.795	06. 08
	No.3	34-43-51.2	126-11-18.9	〃	1.820	4.014	06. 08
	No.4	34-43-50.4	126-11-21.4	〃	6.982	9.176	13. 10
장산도 (신안군 장산면)	No.1	34-38-29.5	126-11-49.6	해양조사원	2.135	4.308	06. 08
	No.2	34-38-28.3	126-11-47.6	〃	2.272	4.445	06. 08
	No.3	34-38-27.9	126-11-44.8	〃	3.228	5.401	06. 08
증도 (신안군 증도면)	No.1	34-59-36.4	126-06-26.6	해양조사원	3.578	6.299	11. 11
	No.2	34-59-37.0	126-06-24.3	〃	5.170	7.891	11. 11
	No.3	34-59-39.7	126-06-23.2	〃	5.415	8.136	11. 11
자은도 (신안군 자은면)	No.1	34-55-02.0	126-02-28.7	해양조사원	3.872	6.511	11. 11
	No.2	34-54-59.9	126-02-26.4	〃	3.833	6.472	11. 11
	No.3	34-54-58.8	126-02-24.5	〃	3.456	6.095	11. 11
압해도(송공항) (신안군 압해읍)	No.1	34-50-54.5	126-13-41.0	해양조사원	3.377	5.860	13. 10
	No.2	34-50-54.7	126-13-39.1	〃	3.258	5.741	13. 10
	No.3	34-50-51.8	126-13-38.1	〃	3.424	5.907	13. 10
	No.4	34-50-54.8	126-13-37.8	〃	3.223	5.706	13. 10
매화도 (신안군 압해면)	No.1	34-55-08.3	126-13-08.0	해양조사원	3.120	5.694	11. 11
	No.2	34-55-08.3	126-13-11.5	〃	3.189	5.763	11. 11
	No.3	34-55-08.4	126-13-11.6	〃	3.352	5.926	11. 11
추포도 (신안군 암태면)	No.1	34-47-47.0	126-04-47.2	해양조사원	2.777	5.147	11. 11
	No.2	34-47-49.4	126-04-44.4	〃	2.990	5.360	11. 11
	No.3	34-47-52.0	126-04-45.4	〃	5.173	7.546	11. 11
팔금도 (신안군 팔금면)	No.1	34-47-37.8	126-10-21.2	해양조사원	3.586	6.016	11. 11
	No.2	34-47-39.7	126-10-19.5	〃	3.420	5.850	11. 11
	No.3	34-47-36.4	126-10-14.7	〃	3.162	5.592	11. 11
안좌도 (신안군 안좌면)	No.1	34-41-59.5	126-10-07.3	해양조사원	2.947	5.175	11. 11
	No.2	34-42-00.7	126-10-06.0	〃	3.045	5.273	11. 11
	No.3	34-42-00.4	126-10-00.5	〃	3.209	5.437	11. 11
고사도 (신안군 신의면)	No.3	34-34-16.3	126-08-55.3	해양조사원	2.656	4.782	11. 11
	No.4	34-34-15.7	126-08-55.6	〃	3.877	6.003	13. 10
	No.5	34-34-17.0	126-08-56.8	〃	3.368	5.494	13. 10
신의도 (신안군 신의면)	No.2	34-32-27.4	126-02-12.2	해양조사원	2.738	4.815	11. 11
	No.3	34-32-27.4	126-02-10.7	〃	3.007	5.084	11. 11
	No.4	34-32-27.2	126-02-11.1	〃	3.105	5.182	13. 10
도초도 (신안군 도초면)	No.1	34-40-07.6	125-56-57.7	해양조사원	4.342	6.516	11. 11
	No.2	34-40-06.3	125-56-55.4	〃	3.376	5.550	11. 11
	No.3	34-40-04.6	125-56-54.8	〃	4.846	7.020	11. 11
비금도(수대리) (신안군 비금면)	No.4	34-43-18.4	125-56-19.9	해양조사원	4.646	6.898	04. 04
	No.5	34-43-16.5	125-56-16.1	〃	2.658	4.910	04. 04
	No.6	34-43-19.0	125-56-21.0	〃	4.303	6.555	09. 10
비금도(가산리) (신안군 비금면)	No.1	34-45-43.3	125-59-53.3	해양조사원	3.320	5.639	11. 11
	No.2	34-45-40.1	125-59-55.5	〃	2.989	5.308	11. 11
	No.3	34-45-39.0	125-59-53.2	〃	2.989	5.308	11. 11

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
원평 (신안군 비금면)	No.1	34-46-52.8	125-54-37.0	수로국	4.260	6.856	88. 05
	No.2	34-46-37.2	125-54-22.1	〃	6.617	9.213	91. 11
	No.3	34-46-54.7	125-54-28.1	〃	5.297	7.893	13. 07
흑산도 (신안군 흑산면)	No.4	34-41-03.2	125-26-31.8	해양조사원	2.516	4.369	00. 08
	No.5	34-41-02.7	125-26-08.5	〃	2.709	4.562	06. 12
	No.6	34-41-01.4	125-26-07.9	〃	3.888	5.741	06. 12
	No.7	34-41-01.2	125-26-17.5	〃	3.369	5.222	06. 12
	TGBM	34-40-58.2	125-25-53.9	〃	11.971	13.824	12. 10
하태도 (신안군 흑산면 하태리)	No.1	35-23-35.1	125-17-57.1	해양조사원	6.864	8.454	13. 09
	No.2	35-23-35.1	125-17-56.5	〃	2.450	4.040	13. 09
	No.3	35-23-39.8	126-17-54.4	〃	3.280	4.870	13. 09
가거도 (신안군 흑산면)	No.1	34-03-04.1	125-07-46.3	수로국	11.111	12.479	87. 05
	No.2	34-03-07.6	125-07-35.4	〃	11.241	12.609	87. 05
	No.4	34-03-00.7	125-07-46.8	해양조사원	3.662	5.030	04. 04
선도리 (신안군 지도읍)	No.1	35-00-21.4	126-15-38.2	해양조사원	2.567	5.316	06. 08
	No.2	35-00-20.4	126-15-40.9	〃	2.814	5.563	06. 08
	No.3	35-00-20.1	126-15-42.4	〃	2.129	4.878	06. 08
	No.4	35-00-23.0	126-15-34.2	〃	2.451	5.200	13. 08
벽파진 (진도군 고군면)	No.6	34-32-24.5	126-20-41.8	해양조사원	4.584	6.672	04. 04
	No.7	34-32-17.8	126-20-40.7	〃	12.815	14.903	13. 08
	No.8	34-32-16.3	126-20-41.4	〃	3.905	5.993	13. 08
진도(회동리) (진도군 회동리)	No.1	34-25-08.8	126-20-33.9	해양조사원	4.823	6.812	02. 05
	No.2	34-25-29.4	126-20-59.5	〃	3.687	5.676	02. 05
	No.3	34-25-30.6	126-21-01.2	〃	4.370	6.359	03. 02
	No.4	34-25-12.0	126-21-35.8	〃	3.453	5.442	13. 07
진도(수품) (진도군 의신면)	No.1	34-22-39.8	126-18-30.5	해양조사원	2.060	4.070	05. 12
	No.2	34-22-39.3	126-18-29.5	〃	3.483	5.493	05. 12
	No.3	34-22-39.6	126-18-29.5	〃	4.578	6.588	05. 12
	TGBM	34-22-39.3	126-18-29.6	〃	5.587	7.597	13. 09
서망항 (진도군 임해면)	No.2	34-22-02.0	126-08-06.8	수로국	5.810	7.656	93. 04
	No.3	34-22-00.1	126-08-09.4	해양조사원	3.225	5.071	01. 08
	No.5	34-22-00.9	126-08-06.8	〃	3.334	5.180	10. 07
하조도 (진도군 조도면)	No.5	34-18-22.5	126-03-06.4	해양조사원	6.425	8.189	98. 09
	No.7	34-18-15.5	126-03-11.5	〃	3.120	4.884	02. 05
	No.8	34-18-23.7	126-03-06.6	〃	3.975	5.739	10. 10
둔전리 (진도군 군내면)	No.1	34-33-36.2	126-18-16.3	해양조사원	3.353	5.350	06. 08
	No.2	34-33-34.1	126-18-20.1	〃	5.795	7.792	06. 08
	No.3	34-33-32.9	126-18-21.2	〃	2.367	4.364	06. 08
죽전리 (진도군 군내면)	No.1	34-34-46.1	126-16-45.6	해양조사원	2.848	4.973	06. 08
	No.2	34-34-47.0	126-16-47.4	〃	3.428	5.553	06. 08
	No.4	34-34-40.6	126-16-46.3	〃	2.127	4.252	10. 06
	No.5	34-34-47.8	126-16-53.3	〃	2.640	4.765	13. 07
전두리 (진도군 군내면)	No.1	34-31-51.7	126-13-17.8	해양조사원	3.324	5.426	06. 08
	No.2	34-31-49.3	126-13-19.4	〃	2.630	4.732	06. 08
	No.3	34-31-47.2	126-13-25.3	〃	2.325	4.427	06. 08

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
세방리 (진도군 지산면)	No.1	34-26-57.5	126-07-04.5	해양조사원	3.143	5.148	06. 05
	No.2	34-26-56.3	126-07-06.0	〃	3.103	5.108	06. 05
	No.3	34-26-55.2	126-07-06.3	〃	3.349	5.354	06. 05
밀매도 (진도군 의신면)	No.1	34-14-58.9	126-19-53.2	해양조사원	6.452	8.345	07. 08
	No.2	34-14-59.2	126-19-52.8	〃	7.267	9.160	07. 08
	No.3	34-14-59.3	126-19-52.0	〃	7.441	9.334	07. 08
서거차도 (진도군 조도면)	No.4	34-15-09.2	125-55-05.8	해양조사원	3.236	5.173	98. 09
	No.5	34-15-11.8	125-55-06.1	〃	3.375	5.312	98. 09
	No.6	34-15-15.6	125-55-00.1	〃	2.912	4.849	10. 10
성남도 (진도군 조도면)	No.1	34-23-44.5	126-02-47.6	해양조사원	4.261	6.249	11. 11
	No.2	34-23-44.0	126-02-45.0	〃	3.880	5.868	11. 11
	No.3	34-23-46.5	126-02-45.9	〃	3.861	5.849	11. 11
상조도 (진도군 조도면)	No.1	34-20-00.3	126-02-44.9	해양조사원	2.911	4.780	11. 11
	No.2	34-19-59.0	126-02-40.3	〃	1.802	3.671	11. 11
	No.3	34-19-59.0	126-02-44.5	〃	2.170	4.039	11. 11
판매도 (진도군 조도면)	No.1	34-14-20.7	126-02-33.6	해양조사원	2.822	4.712	11. 11
	No.2	34-14-20.2	126-02-40.7	〃	3.066	4.956	11. 11
	No.3	34-14-24.0	126-02-44.8	〃	2.439	4.329	11. 11
시하도 (해남군 화원면)	No.1	34-42-03.5	126-14-23.3	수로국	2.601	4.852	77. 06
	No.2	34-41-59.4	126-14-28.4	〃	38.039	40.290	77. 06
	No.3	34-42-03.3	126-14-24.0	해양조사원	4.455	6.706	01. 08
	No.4	34-42-03.1	126-14-23.9	〃	4.852	6.349	10. 09
중앙리 (해남군 화원면)	No.1	34-42-10.2	126-15-36.4	해양조사원	3.360	5.640	06. 05
	No.2	34-42-05.1	126-15-37.4	〃	3.147	5.427	06. 05
	No.3	34-42-03.7	126-15-33.5	〃	3.250	5.530	06. 05
월내리 (해남군 화원면)	No.7	34-45-23.7	126-17-08.8	해양조사원	3.068	5.555	06. 08
	No.8	34-45-25.9	126-17-08.1	〃	2.291	4.778	06. 08
	No.9	34-45-27.3	126-17-08.7	〃	2.474	4.961	06. 08
양화리 (해남군 화원면)	No.1	34-45-07.8	126-18-37.7	수로국	3.114	5.376	65. 05
	No.3	34-45-08.2	126-18-38.4	해양조사원	3.929	6.191	01. 08
	No.5	34-45-06.9	126-18-37.3	〃	3.213	5.475	04. 04
별암 (해남군 화원면)	No.1	34-42-04.0	126-20-54.4	해양조사원	2.836	5.291	13. 08
	No.2	34-42-00.8	126-20-51.2	〃	3.810	6.265	13. 08
	No.3	34-42-00.3	126-20-49.0	〃	5.168	7.623	13. 08
임하리 (해남군 문내면)	No.1	34-36-40.7	126-16-20.6	해양조사원	2.441	4.611	06. 08
	No.2	34-36-45.5	126-16-10.7	〃	2.778	4.948	06. 08
	No.3	34-36-53.7	126-16-15.1	〃	2.695	4.865	06. 08
	No.4	34-36-53.3	126-16-13.4	〃	2.504	4.674	13. 07
우수영 (해남군 문내면)	No.1	34-35-18.7	126-18-36.2	해양조사원	2.541	4.614	13. 07
	No.2	34-35-17.7	126-18-37.1	〃	2.537	4.610	13. 07
	No.3	34-35-18.3	126-18-41.0	〃	2.587	4.660	13. 07
어란진 (해남군 송지면)	No.3	34-21-03.5	126-28-29.7	수로국	3.057	4.983	93. 06
	No.4	34-21-03.8	126-28-27.2	해양조사원	4.019	5.945	98. 10
	No.7	34-20-57.5	126-28-35.9	〃	2.148	4.074	07. 08
	No.8	34-20-53.9	126-28-35.0	〃	3.937	5.863	07. 08

## 설계조건

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
송호리 (해남군 송지면)	No.2	34-17-54.6	126-31-49.0	해양조사원	2.913	4.787	07. 08
	No.3	34-17-53.2	126-31-49.2	〃	2.377	4.251	07. 08
	No.4	34-17-52.7	126-31-46.0	〃	2.268	4.142	10. 07
구성리 (해남군 화산면)	No.1	34-26-56.7	126-27-15.6	해양조사원	4.473	6.511	06. 08
	No.2	34-26-58.6	126-27-16.7	〃	4.295	6.333	06. 08
	No.3	34-26-58.3	126-27-20.4	〃	3.953	5.991	06. 08
부곡리 (해남군 황산면)	No.1	34-32-07.6	126-23-45.8	해양조사원	7.563	9.639	13. 07
	No.2	34-32-09.1	126-23-47.8	〃	4.124	6.200	13. 07
	No.3	34-32-11.2	126-23-49.3	〃	3.702	5.778	13. 07

자료: 국립해양조사원(고시 제2014-1호)

#### 4.4.3 폭풍해일

- (1) 폭풍해일의 제원은 될 수 있는 한 장기간에 걸친 실측값, 기왕 재해시의 침수기록, 이상 기상조건에 대한 추산값을 참고하여 정한다.
- (2) 폭풍해일 대책을 위한 설계조위
  - ① 기왕고극조위 또는 이것에 설계자의 판단에 의하여 약간의 여유를 더한 조위  
기준점조소가 없는 곳에서는 인근 기준점조소의 기왕고극조위와 약최고고조위의 편차를 해당 지점의 약최고고조위에 더하는 방법으로 계산한다.
  - ② 기왕 이상조위의 발생확률곡선을 산정하고, 내·외삽법(內·外插法)으로 구한 어떤 재현년도(예 : 50년 등)의 조위  
기준점조소가 없는 곳에서는 인근 기준점조소의 어떤 재현년도 조위와 약최고고조위의 편차를 해당 지점의 약최고고조위에 더하는 방법으로 계산한다.
  - ③ 해일 수치모형실험 등에 의해 해일고(海溢高)를 추산하는 경우는 약최고고조위에 해일고를 더한 조위
  - ④ 이상고조위의 발생확률과 각 조위에 대한 배후지의 피해액 및 해일 대책시설의 건설비를 감안하여 결정

이러한 방법은 어느 것이나 장단점이 있다. 먼저 방법 ①은 가장 간단하지만 장기간의 자료를 필요로 하며, 또 기왕고극조위 이상의 이상고조위가 발생하지 않는다는 보장이 없다. 방법 ②는 발생확률 계산결과에 의한 것으로 설계에 쓰이는 고조위가 어느 정도의 발생확률을 갖고 있는가는 명확하나, 비교적 단기간의 자료로부터 장기간의 예측을 하기 때문에 신뢰성에 문제가 있다. 방법 ③은 해일의 주요 특성인 조위편차에 착안하고 있는 점은 다른 방법보다 과학적이지만 약최고고조위를 기준으로 하기 때문에 장래에 대한 보장이 없는 것은 방법 ①과 같다. 방법 ④는 합리적이고 경제적으로 가장 유익한 방법이나 피해액의 추정 등에 상당한 기술과 노력이 필요하다. 어느 방법을 채용하는가는 책임기술자의 판단에 따라 각각의 수치를 비교·검토하고 실측기간, 발생빈도, 시설의 중요성 및 경제성 등을 고려하여 결정하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 해수위의 변동은 천문조, 기압과 바람에 의한 기상조, 부진동, 해류, 해수온도, 하천유량, 연안파랑 등의 합성으로 나타난다. 폭풍해일은 태풍 및 저기압 등의 통과에 의해 나타나는 이상 조위를 뜻하며, 그 요인은 기압 강하에 따른 조위 상승, 이것이 장파로 변형하는 경우의 상승, 이에 유발되는 부진동 그리고 바람에 의한 해수의 해안 수송에 따른 상승 등이 있다. 관측조위와 추산 천문조위의 차를 조위편차(해일고)라 부른다.

## 설계조건

### (2) 관측 기간

폭풍해일의 관측기간은 될 수 있는 한 장기간일수록 바람직한데 필요한 최소 관측 기간은 30년으로 생각된다. 수십 년 이상의 장기간에 걸쳐 폭풍해일의 기록이 정리되어 있는 검토소는 적으므로 기상조건으로부터 추산, 폭풍해일 재해, 신문, 고문서 등의 기록 조사, 기왕 재해자료 등을 수집하여 될수록 장기간의 폭풍해일에 대한 검토를 하여야 한다.

### (3) 바람에 의한 해면상승

수심이 얇은 항만, 해안쪽으로 강풍이 장시간 계속되면 해수 수송이 일어나서 해면이 상승한다. 취송거리를  $F(\text{km})$ , 평균수심을  $h(\text{m})$ , 풍속을  $W(\text{m/s})$ , 풍향과 해안선에 직각인 선과의 각도를  $\alpha$ 라 할 때 해안에서의 해면상승량  $\Delta h_W(\text{cm})$ 는 다음의 개략식으로 산정할 수 있다.

$$\Delta h_W = k \frac{F}{h} W^2 \cos \alpha \quad \text{해설 식 (4.4-4)}$$

여기서, 계수  $k = \gamma_s^2 \frac{\rho_a}{\rho g}$  로서,  $\gamma_s^2$  은 해수면 마찰계수이고,  $\rho_a$  는 공기밀도( $\approx 1.2 \text{ kg/m}^3$ ),

$\rho$  는 해수밀도( $\approx 1,030 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  는 중력가속도( $\approx 9.8 \text{ m/s}^2$ )이다.

Wilson(1960)이 제시한  $\gamma_s^2 \approx 2.4 \times 10^{-3}$ 을 대입하면  $k \approx 3 \times 10^{-2}$ 으로 된다. 계수  $k$ 는 각 해역의 해저지형과 해저마찰계수에 따라 달라진다.

### (4) 기압 강하에 의한 정적(靜的)인 해면 상승

기압이 천천히  $\Delta P(\text{hPa})$ 만큼 강하하면 그 부근의 해역은 주위의 기압이 강하하지 않은 해역과의 기압차에 의해 수면이 상승한다. 해면상승량  $\Delta h_S(\text{cm})$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta h_S = 0.991 \Delta P \quad \text{해설 식 (4.4-5)}$$

따라서 기압 변화와 바람 등 기상 교란에 기인하는 폭풍해일(일명 기상조)의 높이  $\Delta h$ 는  $\Delta h_S$ 와  $\Delta h_W$ 의 합으로 얻어진다.

$$\Delta h = \Delta h_S + \Delta h_W \quad \text{해설 식 (4.4-6)}$$

해설 표 (4.4-6)은 한국 연안 주요 항만에서 1959~1981년의 폭풍해일 기록이고 해설 표 (4.4-7)은 2012년 태풍 통과시의 폭풍해일 기록이다.



해설 표 (4.4-6) 한국 연안의 폭풍해일기록(1959~1981)

구분\항명		속초	목호	포항	울산	부산	진해	여수	제주	목포	인천
고조	편차(m)	0.30	0.68	0.41	0.40	0.43	0.86	0.84	0.90	0.86	1.09
	연월	79.8	68.10	81.9	81.9	74.7	59.9	66.8	64.8	59.9	72.10
	원인	T-Irving	LP	T-Agnes	LP	T-Gilda	T-Sarah	T-Winne	T-Kathy	T-Sarah	L.P
저조	편차(m)	-0.27	-0.32	-0.34	-0.29	-0.46	-0.34	-0.61	-0.94	-1.22	-1.26
	연월	81.2	73.10	76.3	68.2	67.1	67.2	67.5	66.10	68.3	65.12
	원인	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P

※ T: 태풍, L.P: 저기압, C.H.P: 대륙성 고기압

해설 표 (4.4-7) 한국 연안의 폭풍해일기록(2012)

T-Chanun (12.7.16~19)	T-Bolaven (12.8.20~29)	T-Tembin (12.8.19~31)	T-Sanba (12.9.11~18)
이어도 0.17	이어도 1.25	이어도 0.60	마산 1.16
완도 0.32	고흥 1.67	고흥 0.70	속초 0.60
	인천 1.51		

※ 국립해양조사원(2012a)

## (5) 고극저극조위 기록

관측기간의 최고고조위와 최저저조위 기록을 각각 기왕 고극조위(Observed highest high water) 및 기왕 저극조위(Observed lowest low water)라 한다. 국립해양조사원에서는 한국 연안의 기준점조소의 관측 조석에서 부진동을 무시한 평활화시킨 곡선상에서 매월·매년의 최고·최저 조위(해면)인 고극조위(H.H.W)와 저극조위(L.L.W)를 읽어 해양조사기술연보에 발표하고 있다. 해설 표 (4.4-8)은 한국 주요 항만의 1956~2012년의 고극 및 저극조위이다.

## 설계조건

해설 표 (4.4-8) 한국 연안의 주요 항만의 최극조위

(1956~2012)

조위관측소	관측기간	고극조위		저극조위	
		조위(m)	발생일	조위(m)	발생일
인천	99~12	9.88	01. 8.21	-0.66	02. 3. 1
안산(탄도)	02~12	9.24	07.10.28	-0.63	02. 3. 1
평택	92~12	10.31	00. 8.31	-0.65	93.10.17
안흥	86~12	7.92	97. 8.19	-0.54	95.12.24
보령	86~12	8.48	97. 8.19	-0.62	95.12.24
군산(내항)	60~02	8.93	71. 7.12	-0.59	97. 4. 8
군산(외항)	80~12	8.12	97. 8.19	-0.69	95.12.24
위도	85~12	7.37	97. 8.19	-0.34	11. 3.22
영광	02~12	7.44	02. 9. 8	-0.89	05. 1.14
목포	56~12	5.50	04. 7. 4	-0.99	82. 1.12
진도(수품)	06~12	4.29	10. 8.10	-0.81	06. 3. 1
대흑산도	65~12	4.28	69. 7.28	-0.56	78. 1.10
추자도	84~12	3.78	87. 1. 2	-0.64	93. 2. 8
제주	64~12	3.28	04. 7.31	-0.48	66. 2. 8
모슬포	04~12	3.13	04. 8.29	-0.55	05. 1.12
서귀포	85~12	3.47	01. 8.20	-0.43	88. 2.18
성산포	04~12	2.90	05. 6. 1	-0.47	05. 1.12
완도	83~12	4.46	10. 8.10	-0.50	93. 2. 9
고흥(발포)	05~12	4.33	10. 8.10	-0.55	06. 3. 1
거문도	82~12	4.13	04. 8.31	-0.41	93. 2. 9
여수	65~12	4.24	67.10.14	-0.57	69. 4. 4
통영	76~12	4.30	03. 9.12	-0.48	80. 2.18
마산	03~12	2.44	04. 8.29	-0.55	10. 3.30
거제도(구조라)	06~12	2.70	12. 9.17	-0.36	12. 4. 8
가덕도	77~12	2.52	12. 9.17	-0.40	85. 4. 6
부 산	60~12	2.11	03. 9.12	-0.41	80. 2.17
울 산	62~12	1.33	04. 8.19	-0.40	94. 3.27
포 항	72~12	1.05	04. 8.19	-0.20	88. 2. 3
후 포	02~12	0.71	04. 8.19	-0.33	06. 2.28
울릉도	65~12	1.05	66. 8.18	-0.41	85. 4.13
목 호	65~12	0.95	68.10.25	-0.36	85. 4.13
속 초	74~12	0.97	86. 8.28	-0.33	06. 2.28

자료 : 국립해양조사원(<http://khoa.go.kr>→해양관측/예보→조석→최극조위)

## (6) 폭풍해일의 추산식

폭풍해일의 최대 조위편차를 개략 추산하기 위해서 기압 강하에 의한 해면 상승과 바람에 의한 해면 상승을 포함한 해설 식 (4.4-7)로 계산할 수 있으며, 보다 정확하게 추산하려면 폭풍해일 수치모델링을 수행하여야 한다.

$$\Delta h = a \Delta P + b W^2 \cos \alpha + c \quad \text{해설 식 (4.4-7)}$$

여기서,  $\Delta h$  : 최대 조위편차(cm)  
 $\Delta P$  : 최대 기압강하량(hPa)  
 $W$  : 최대 풍속(m/s)  
 $\alpha$  : 주풍향과 최대풍속 시 풍향과의 각

계수  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 는 각 지점마다 과거 관측된 조위편차와 기압, 바람과의 관계로부터 결정한다.

## (7) 폭풍해일의 수치모델링

폭풍해일 현상을 상세하게 해석하기 위해서는 컴퓨터에 의한 수치모델링을 수행한다. 이것은 기압강하에 따른 해수면 상승과 바람에 의한 해면의 전단응력을 외력으로 하고 해수의 운동방정식 및 연속방정식에 따라 각 지점의 조위와 유속의 변화를 일정 시간 간격마다 순차 계산해 가는 방법이다. 기본방정식은 해수유동의 기본방정식과 같으나, 기압 강하에 따른 해면 상승효과를 고려하기 위하여 운동량 보존방정식에 거리에 따른 대기압 변화항이 추가된다. 태풍 내의 기압과 풍속 분포는 마이어스(Myers, 1954)의 식과 같은 이론모델로 계산하거나, 일기도를 이용한 해상풍 모델을 이용하여 계산한다. 최근에는 조석, 폭풍해일, 해파의 상호작용을 고려한 수치모델을 적용하는 추세이다(천 등, 2009a, 2009b; 박 등, 2010; 서와 김, 2012; 최 등, 2012; Dietrich et al., 2011).

#### 4.4.4 지진해일

- (1) 지진해일의 제원으로 최고조위, 최저조위, 지진해일 편차, 지진해일의 파고 및 주기 등을 고려한다. 이러한 제원은 될 수 있는 한 장기간에 걸친 실측값, 기왕 재해시의 흔적고 등을 참고하여 정한다.
- (2) 방파제를 월류한 지진해일에 의한 침수피해뿐만 아니라 항내에서 소형 계류선의 유출, 방파제 개구부의 세굴, 방파제의 활동(滑動), 전도(轉倒) 등에 대한 검토가 중요하다. 지진 재해에 대해서는 방파제, 방조제 등의 정비뿐만 아니라 경보 시스템의 설치, 피난훈련, 지진해일 정보 제공 등의 대응이 필요하다.
- (3) 지진해일 대책을 세우기 위해서는 대상 지역의 지진해일을 가정하고 모형실험으로 지진해일의 파고, 기어오름 높이, 도달 시각 등을 추산하여야 한다.

#### [해설]

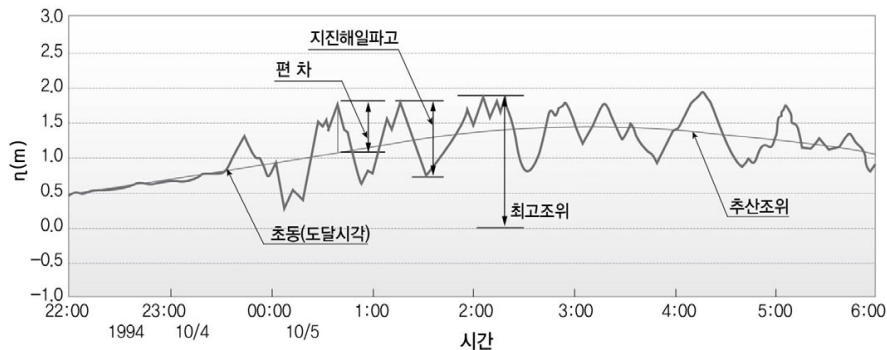
- (1) 지진해일은 주로 해양성 지진에 수반되는 해저지반의 융기·침강에 의하여 발생하는 주기가 매우 긴 파동이다. 연안에 가까워지면 천수(淺水)효과와 지형에 의한 집중효과 때문에 파고가 급격히 커져 연안역에 큰 피해를 주는 경우가 많다.
- (2) 일반적으로 대양에서 지진해일의 파고는 매우 작으나, 해일 파고계의 연속 관측기록에 의해 검지할 수 있다. 지진해일이 만만에 침입하면 만의 형태 및 고유진동주기와 관계에 따라 파고가 크게 변화하므로 설계에 적용하는 지진해일의 제원은 그 지점에 있어서의 기왕의 지진해일 기록 및 지점마다의 계산에서 얻어진 값으로 정한다.
- (3) 지진해일에 관한 용어의 정의는 해설 그림 (4.4-5)와 같다.

##### ① 추산 조위

검조기록상에서 지진해일이라고 생각되는 주기 성분 및 이보다 짧은 부진동을 평활화하여 제거한 조위를 기본수준면(D.L.)상의 값으로 표시한다.

##### ② 흔적고

육상 자연지형 또는 구조물에 나타난 지진해일의 흔적 높이로서 흔적조사를 기초로 결정한다.



해설 그림 (4.4-5) 지진해일 용어의 설명도

## ③ 편차

실측조위와 추산조위의 차를 편차라 한다. 실측조위가 추산조위보다 높을 경우 편차의 최댓값을 최대편차라 한다.

## ④ 최고조위

실측조위의 최솟값(기본수준면상)을 최고조위라 한다.

## ⑤ 지진해일 파고

풍파와 같이 영점 상향교차법(Zero up-crossing method)으로 분석할 수 있다. 지진해일 파형의 최고수위와 최저수위의 차를 지진해일 파고라 한다. 연속된 지진해일 기록 중에서 최대 파고를 최대 지진해일 파고라 한다.

## ⑥ 초동(初動)

지진해일이 관측지점에 도달하여 수위가 추산조위와 어긋나기 시작하는 시각을 초동 시각이라 한다.

## (4) 지진해일의 주기

만내에서 관측되는 지진해일의 주기는 지진의 규모, 진원으로부터의 거리, 만의 공진 특성 등에 따라 변화한다. 또, 만내의 지진해일 파고는 지진해일의 주기에 따라 크게 달라진다. 따라서 설계 시에는 실측 주기뿐만 아니라 항만의 고유진동 주기와 같은 주기의 지진해일에 대하여도 수치모델링 등을 통하여 검토하는 것이 필요하다.

## (5) 만내에서 지진해일의 변형

만내에서 지진해일의 변형 가운데서 중요한 것은 단면적의 감소에 따른 파고와 유속의 증가 및 만내 부진동의 유발에 의한 파고의 증가이다.

미소진폭파의 경우 단면적 변화의 영향은 근사적으로 해설 식 (4.4-8)로 표현되는 그린(Green)의 식으로 계산할 수 있다(Lamb, 1932).

$$\frac{H}{H_o} = \left(\frac{B_o}{B}\right)^{1/2} \left(\frac{h_o}{h}\right)^{1/4} \quad \text{해설 식 (4.4-8)}$$

여기서,  $H$ 는 폭  $B$ , 수심  $h$ 인 단면에서의 장파 파고(m)이고,  $H_o$ 는 폭  $B_o$ , 수심  $h_o$ 인 단면에서의 장파 파고(m)이다. 위 식은 폭과 수심이 모두 매우 완만하게 변화하고 외해로 향하는 반사파가 발생하지 않는다는 조건하에 성립하는 것으로서 마찰에 의한 에너지 손실을 고려하지 않는다. 따라서 수심이 얕은 곳이나 만 안쪽에서 반사의 영향을 받는 경우에는 적용할 수 없다.

## (6) 검조기록상의 지진해일

검조 기록은 지진해일의 기록으로서 매우 유효하지만 자료 처리 시에 다음 사항을 유의하여야 한다.

① 검조소가 항내에 있는 경우에는 방파제 등 구조물의 영향 때문에 항외 주변의 지진해일 상황과 다를 가능성이 높다.

② 해설 표 (4.4-9)는 동해중부 지진 시(1983.5.26) 동해안의 각 검조소의 지진해일 기록을 나타낸다(이, 1992).

## 설계조건

해설 표 (4.4-9) 동해안의 지진해일 기록(동해중부 지진, 1983.5.26)

검조소	울릉도	속초	목호	포항	울산	부산
최대파고(m)	1.26	1.56	4.00<	0.62	0.44	0.50
최고조위(D.L상, m)	0.79	1.24	2.40	0.48	0.64	1.41<
도달시각(시:분)	13:18	13:42	13:45	13:52	14:20	14:53

※ 목호와 부산에서는 기록이 자기지에서 벗어남.

### (7) 지진해일의 모형실험

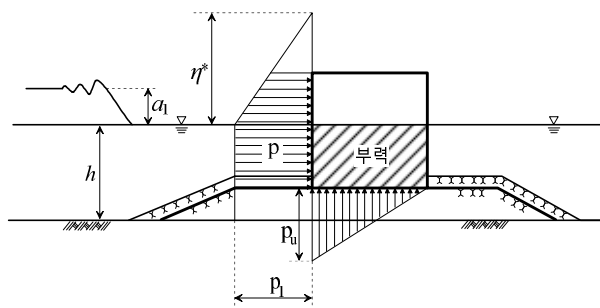
지진해일 수치모형실험의 지배방정식은 폭풍해일 수치모형실험의 지배방정식 중 기상교란항을 제외한 경우에 해당된다. 입사파형을 사전에 정의하고 지진단층모델의 해저지반 변동량과 초기 수위 변동량이 같다고 가정하는 방법으로 방파제의 효과와 준설, 매립 등에 따른 지형변경의 지진해일에 대한 영향을 검토할 수 있다. 지진해일이 파장에 비해 먼 거리를 전파할 경우 지배방정식에 분산효과(Dispersion effect)를 고려하여야 한다. 지진해일 수치모형실험은 모형의 경계에서 사전에 수치모형실험에서 재현한 지진해일 파형을 조파하는 것으로 방파제의 효과, 매립 지형의 영향 등을 검토할 수 있다. 수치모형실험의 초기 수위분포를 얻기 위해 지진을 가정한다. 가상지진(假想地震)의 설정시 다음 사항을 고려한다.

- ① 대상 지역의 기왕 최대 지진해일
- ② 각종 자료가 있는 근년의 지진으로 방재계획상 적절한 규모의 것
- ③ 지진 공백역에서의 상정 지진

어느 것이라도 방재시설의 내진성(耐震性)이나 주변 지역의 상황을 고려하여 상정 지진해일을 설정하여야 한다.

### (8) 지진해일의 파력

지진해일에 의한 파력은 장파에 의한 파력으로 주어지며, 해설 그림 (4.4-6)과 같이 나타낼 수 있다. 지진해일파 내습 직전의 수위를 정수면으로 취하고 입사파의 정수면상 높이(진폭)를  $a_1$  이라 할 때, 정수면상  $\eta^* = 3.0a_1$  의 높이에서 파압  $p = 0$ , 정수면에서  $p = p_1 = 2.2p_0ga_1$  인 선형분포이고, 정수면 아래의 파압은  $p = p_1$  으로 일정하다(谷本 등, 1983). 전면 하단의 양압력  $p_u = p_1$  이다. 파향에 대한 보정은 일반적으로 하지 않는다.



해설 그림 (4.4-6) 지진해일의 파력 개념도

방파제가 있는 조건에서 수치모형실험을 하면 제체 전면에서 반사에 의한 지진해일 파고는 방파제가 없는 경우의 약 2배가 된다. 이 경우에는 제체 전면의 정수면부터 측정한 최고수위 또는 파고의 1/2 값을 입사파고로 볼 수 있다. 경사가 완만한 천해역에서 지진해일파가 비선형성과 분산 영향으로 분열(分裂, Fission)하는 경우의 파력 산정은 이케노 등(池野 등, 1998)에 실험결과가 제시되어 있다.

#### 4.4.5 부진동(副振動)

- (1) 부진동이 예상되는 항만에서는 설계조위의 결정이나 박지의 정온도 검토에 있어서 필요에 따라 부진동을 고려한다.
- (2) 부진동은 굴입식(掘込式) 항만과 같이 좁고 길며 안벽으로 둘러싸인 항만에서 발생하기 쉽다. 따라서 수치모형실험 등에 의해 주기가 수 분~1시간 정도의 파를 입사시키고, 항내의 증폭률을 산정하여 항만계획 수립 시에 그 영향을 검토하여야 한다. 외해에서 미소 장파(微小 長波)의 진폭이 대략 수 cm인데 항내에서 이것이 10배 이상으로 증폭되는 항만 형태는 피하여야 한다.

#### [해설]

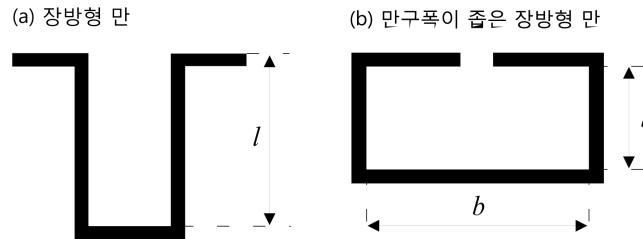
- (1) 부진동은 주기가 수 분~수 시간인 이상조위(異常潮位) 현상이다. 외해의 저기압에 의해 발생하는 미소한 수면 변동 가운데서 항만의 고유진동주기와 일치하는 성분이 공진(共振)에 의해 증폭되어 발생한다. 그 진폭은 수십 cm로부터 지형에 따라서는 2 m 정도까지 될 수 있으며, 항내에서 부진동의 파고가 수십 cm이더라도 파장이 길기 때문에 수평방향의 물의 이동이 커져 선박의 계류나 하역작업에 큰 장애를 일으킬 수 있다.
- (2) 폭풍해일, 지진해일, 부진동의 동시 발생  
부진동은 폭풍해일 또는 지진해일에 의하여 유발되는 경우가 많다. 폭풍해일 또는 지진해일에 수반되지 않는 항내 장주기 수면진동은 폭풍해일 또는 지진해일과 동시에 발생하지 않는 것으로 취급한다.
- (3) 장방형(長方形) 항의 고유진동주기(固有振動週期)  
① 좁고 긴 장방형 항만(해설 그림 (4.4-7)(a))내의 고유진동 주기의 근사식은 해설 식 (4.4-9)와 같이 표시된다(Wilson, 1972).

$$T_m = \frac{4l}{(2m+1)\sqrt{gh}}$$

해설 식 (4.4-9)

## 설계조건

여기서,  $T_m$  : 고유진동주기(sec)  
 $l$  : 만의 길이(m)  
 $m$  : 만내의 절수(節數, = 0, 1, 2, ...)  
 $h$  : 만의 평균수심(m)  
 $g$  : 중력가속도( $m/s^2$ )



해설 그림 (4.4-7) 장방형 만의 개념도

- ② 실제의 항만에서는 만내의 해수가 정상파(定常波)의 형태로 진동할 뿐만 아니라 만구(灣口) 부근의 외해수도 다소 진동하므로 고유진동 주기를 보정하여야 한다. 보정된 고유진동 주기는 해설 식 (4.4-10)으로 계산된다(Honda et al., 1943).

$$T_0 = \alpha \frac{4l}{\sqrt{gh}} \quad \text{해설 식 (4.4-10)}$$

여기서,  $\alpha$ 는 만구 보정계수이며 다음 식으로 계산한다.

$$\alpha = \left\{ 1 + \frac{2b}{\pi l} (0.9228 - \ln \frac{\pi b}{4l}) \right\}^{1/2} \quad \text{해설 식 (4.4-11)}$$

여기서,  $l$  : 만의 길이(m)  
 $h$  : 만의 평균수심(m)  
 $b$  : 만의 폭(m)

이며,  $b/l$ 에 대한 만구 보정계수는 해설 표 (5-10)과 같다.

해설 표 (5-10) 만구 보정계수

$b/l$	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/10	1/25
$\alpha$	1.320	1.261	1.217	1.187	1.163	1.106	1.064

- ③ 만구 폭이 좁은 장방형 항(해설 그림 (4.4-7)(b))의 고유진동 주기는 근사적으로 다음 식으로 계산할 수 있다(Raichlen, 1966).

$$T_{m,n} = \frac{2}{\sqrt{gh} [(m/l)^2 + (n/b)^2]} \quad \text{해설 식 (4.4-12)}$$



여기서,  $b$  : 항의 폭(m)

$n$  : 항의 폭 방향의 절수(= 0, 1, 2, ...)

$m$  : 항의 길이 방향의 절수

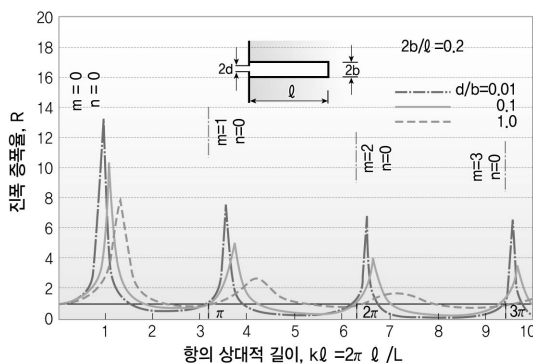
이며, 실제 항의 고유진동 주기는 항입구의 영향 때문에 해설 식 (4.4-12)로 계산된 값보다 조금 작다.

#### (4) 진폭

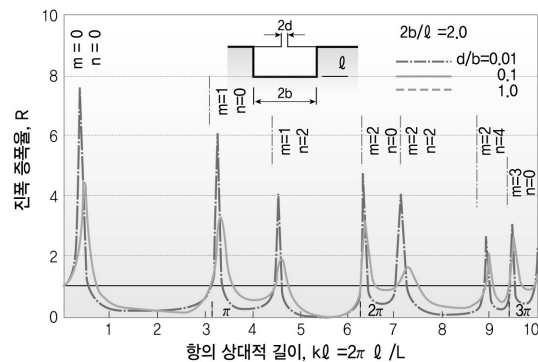
- ① 부진동의 진폭은 그 원인이 되는 장주기 너울(Swell)의 진폭과 그 주기에 대한 진폭 증폭률에 따라 결정된다. 그러나 부진동을 일으키는 장주기의 너울을 관측하는 것은 매우 어렵고 관측 예도 적다. 따라서 그 항구의 부진동 관측결과로부터 그 진폭을 결정하는 것이 좋다.
- ② 부진동에 의한 항내 진동의 증가율은 항입구의 교란파에 의해 방출되는 발산에너지와 항입구에서의 소용돌이나 저면마찰 등에 의한 손실에너지에 의해 제한된다. 따라서 내습하는 너울의 주기가 항의 고유진동 주기와 일치하여도 항내 진동의 진폭이 무한대로 증가하지는 않는다. 단, 마찰 등에 의한 에너지 손실이 매우 적을 때에는 항입구 폭을 좁힘에 따라 항내의 진폭이 증대되는 항만 모순(Harbour paradox) 현상이 일어나므로 주의할 필요가 있다.
- ③ 항입구에서의 손실을 무시할 경우 장방형의 만 안쪽 구석점에서 진폭 증폭률  $R$ 은 파장에 대한 만 길이의 비에 의거하여 해설 그림 (4.4-8)과 (4.4-9)로 구할 수 있다. 해설 그림 (4.4-8)에 제시된 좁고 긴 장방형 항의 경우에, 항폭에 대한 입구폭의 비가 작을수록 증폭비가 커지고, 첨두 증폭이 발생하는 항의 상대적 길이( $kl$ )가 작아진다(Ippen and Goda, 1963). 또한 고차 모드(mode)로 갈수록 증폭비가 작아진다. 해설 그림 (4.4-9)에 제시된 공진점은 완전히 폐쇄된 장방형 호소의 공진점과 거의 일치하며, 해설 식 (4.4-13)과 같이 표시된다.

$$\frac{l}{L} = \sqrt{m^2 + \frac{n^2}{(\frac{2b}{l})^2}} \quad (m, n = 0, 1, 2, \dots)$$

해설 식 (4.4-13)



해설 그림 (4.4-8) 좁고 긴 장방형항의 공진스펙트럼



해설 그림 (4.4-9) 폭이 넓은 장방형항의 공진스펙트럼

## 설계조건

### (5) 부진동의 관측

부진동은 조석 곡선상에 포함되어 기록되므로 자기 검조기록에서 그 진폭과 주기를 얻을 수 있다. 일반적으로 조석 관측값은 부진동을 무시한 평활한 곡선상의 값을 읽는 것이다. 따라서 부진동의 진폭은 조석 곡선상에 나타난 조석주기보다 짧은 주기에 대한 상하 진동의 폭 즉, 파고를 읽어 얻어진다. 그리고 그 짧은 진폭의 주기를 읽어 내고 이를 통계하여 주기의 발생빈도를 얻는다. 해설 표 (5-11)은 한국 연안의 주요 항만의 부진동 관측자료이다.

해설 표 (5-11) 한국 연안의 주요 항만의 부진동 관측자료(1965~66)

항 목	울릉도	목호	포항	울산	부산	여수	제주	대흑산도
계산주기(분)	2.5	8.5	12.3	45.3	47.6 14.3	9.5 2~8	8.2	19.6
관측주기(분)	3~8	11~13	20~24 60~84	45~56	45~58 15~19	11~14 19~24	8~14	19~21
최대진폭(m)	1.00	0.95	0.64	0.77	1.00	1.09	0.70	0.65
발생일	66.9.10	87.2.3	87.2.3	66.9.24	81.9.2	65.9.8	66.3.8	66.3.6
원인	T(No.19)	L.P	H.P	T	T(Agnes)	T	L.P	L.P
20cm 이상 일수	139	30.5	44	9.5	9.5	18.5	14	4
최다발생월	12	11	10	11	11	3	2	3

※ T: 태풍, L.P: 저기압 통과, H.P: 고기압 통과

※ 포항의 통계년은 1973~1974년임.

### (6) 부진동의 대책

부진동은 항 입구로부터 침입하여 온 장주기의 너울이 항내에서 완전반사를 반복하면서 진폭을 증가시키는 것이므로, 부진동의 진폭을 억제하는 데는 항의 안 둘레에서 불완전반사를 시키든가, 항내에서의 에너지 손실을 증가시키는 것을 생각할 필요가 있다. 이러한 의미에서 항내의 전 둘레를 직립안벽으로 하는 것은 바람직하지 않다. 그리고 방파제를 투과성이 있는 환경사의 사면제로 하면 반사파를 약간 감소시킬 수 있고, 또 사면제 내부에서의 에너지 손실을 기대할 수 있다. 그리고 항내의 부진동의 절(節)에 해당되는 위치 근방에 파제제를 설치함으로써 어느 정도 진폭의 감소를 기대할 수 있다. 만의 형태는 기하학적으로 정형(整形)인 것보다는 불규칙한 형태의 것이 좋다.

#### 4.4.6 공사에 따른 조석의 변화

하구둑 건설, 해안 매립, 항만 건설, 수로 준설 등 대규모 개발사업을 설계함에 있어서 해안 및 해저지형 변화에 따른 조석 현상의 변화를 수치모형실험 또는 수리모형실험을 통하여 예측하여야 한다.

##### [해설]

##### (1) 해수유동실험

해수유동실험은 수립, 보정·검증, 예측실험의 3단계로 수행된다. 모델 수립은 계산격자망을 구성하고 해도와 수심도를 이용하여 각 격자에 수심을 입력하는 과정이다. 모델의 경계조건과 보정·검정에 필요한 해저지형, 조석, 조류, 조랑 관측 자료의 수집·분석이 선행되어야 한다. 모델 보정(Calibration)은 모델의 경계조건과 불확정 파라메타를 조정하면서 모델계산값을 관측값에 맞추어가는 과정이고, 검증(Validation)은 모델 계산값을 보정시와 다른 정점 또는 다른 시기에 대한 관측값과 비교하여 수치모델의 정확성을 확인하는 과정이다. 검증은 대·중·소조기 및 홍수시에 대하여 조석, 조류, 조랑, 수온, 염분 등 해수유동에 영향을 미치는 모든 요소에 대하여 수행하는 것이 바람직하다. 예측실험 과정에서는 개발사업에 따른 해저지형의 변화를 모델에 입력하고 여러 조석 조건과 하천유량 조건에 대한 실험을 실시하여 조석, 조류 및 조랑의 변화량을 파악하고 이에 따른 영향을 분석한다. 개발사업에 따른 조석, 조류, 조랑의 변화가 현상상태와 비교하여 악영향이 예상되는 경우에는 대안을 도출하여 영향이 최소화되도록 반복 실험을 수행할 필요가 있다.

##### (2) 재현연도

특히 하구역에서 수로 폭의 감소 등으로 홍수 배제에 영향을 줄 우려가 있는 경우에는 대조기 및 50년 또는 100년 빈도 홍수가 동시에 발생하는 상황에 대하여 수위 상승을 예측하여야 하며, 이 때 하천과 해양의 지형과 유동 특성이 모델에 정확하게 반영 및 재현되어야 한다.

##### (3) 해일고의 예측

- ① 해안역에는 주요 도시뿐만 아니라 항만시설, 발전소 등 주요 시설물들이 밀집되어 있기 때문에 장래에 발생할 수 있는 폭풍 해일고를 정확하게 예측하여 시설물 방어 대책을 수립하여야 한다. 폭풍해일 수치모형실험은 기압 강하에 따른 해수면 상승과 바람에 의한 해수면의 전단응력 및 점성에 의한 해저면의 전단응력을 고려하고, 해수의 운동량 보존방정식과 연속방정식에 따라 각 지점의 조위와 유속의 변화를 일정 시간간격마다 순차적으로 계산해 나가는 방법이다.
- ② 시설물 건설에 따른 해일고 분포 변화를 예측하기 위해 앞서 과거 사상을 재현하여 수치모델의 신뢰성을 재현하여야 한다. 과거의 폭풍해일 사상을 재현하기 위해서는 우선 신뢰성 있는 연안역의 해일고 관측자료와 태풍 풍역의 데이터베이스(DB) 구축이 중요하다.

## 설계조건

### (4) 부진동 실험

부진동 실험에서는 해당 항만의 탁월주기를 계산하고 항만계획안에 대한 예측실험을 실시하여 부진동 현상으로 인한 하역작업의 지연과 계류라인의 절단 등 악영향을 최소화하는 대안을 수립하여야 한다. 장주기파의 입력조건을 보다 정확하게 설정하기 위해서는 입사경계 인근의 다수 정점에서 파고와 파향을 동시에 관측한 자료가 필요하다. 또한 여러 파향에 대하여 항내 공진 특성을 민감도 분석하여 부진동에 가장 큰 영향을 미치는 파향을 검토하여야 한다. 주파향이 결정되면 장주기파의 주기별로 항만 완공후의 공진특성을 실험하여, 평면 배치의 변경 또는 소파시설의 설치 등, 부진동 영향이 최소화될 수 있는 대안을 검토하여야 한다.

### 4.4.7 지하수위와 침투

사빈해안(砂濱海岸)의 지하수위가 문제가 되어 위험이 있는 경우는 이를 고려한다. 투수성 지반내 또는 구조물내의 투수유속·유량이 문제가 되어 위험한 경우는 이를 고려한다.

#### [해설]

##### (1) 해안부근의 지하수위

해안 부근에서 지하염수면의 높이는 해설 식 (4.4-14)를 이용하여 추정할 수 있다 (Todd, 1963). 해안 지하수의 개념도는 해설 그림 (4.4-10)과 같다.

$$h^2 = h_o^2 + (h_1^2 - h_o^2) \frac{x}{L} \quad \text{해설 식 (4.4-14)}$$

여기서,  $x$  : 해안부터의 거리

$$h_o : x=0 \text{에서 담수와 염수 경계면의 해면하 깊이} (h_o = \frac{\rho_1}{\rho_2 - \rho_1} \zeta_o)$$

$$h_1 : x=L \text{에서 담수와 염수 경계면의 해면하 깊이} (h_1 = \frac{\rho_1}{\rho_2 - \rho_1} \zeta_1)$$

$\rho_1$  : 담수의 밀도

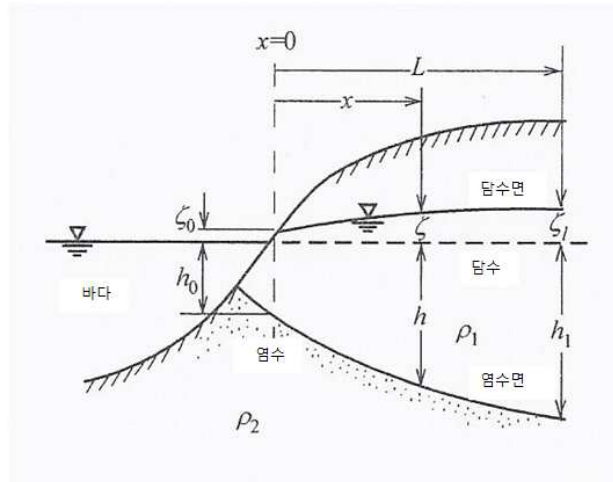
$\rho_2$  : 염수의 밀도

$\zeta_o$  : 해안( $x=0$ )에서 담수의 해면상 높이

$\zeta_1$  :  $x=L$ 에서 담수의 해면상 높이

$L$  : 해안( $x=0$ )부터 관측점까지의 거리

지표 근처 또는 지하에 불투수층이 존재하는 경우는 해설 식 (4.4-14)가 적용되지 않으므로 일본토목학회(土木學會, 1985)를 참조한다. 해안 지하수의 조석에 의한 영향은 이시하라·혼마(石原·本間, 1966)와 사카이(酒井, 1965)를 참조한다.



해설 그림 (4.4-10) 해안 지하수의 개념도

## (2) 기초 및 구조물내의 침투류

## ① 투수량 계산식

투수층을 흐르는 유체가 층류로 정상적인 경우, 투수유량은 다아시(Darcy)의 식으로 구할 수 있다. 지표층, 여과층(濾過層) 등 일반적인 흙이나 모래로 된 투수층 내의 정상류는 매우 느린 흐름이다. 이 경우의 흐름은 해설 식 (4.4-15)의 다아시(Darcy) 식에 따른다.

$$q = k i A$$

해설 식 (4.4-15)

여기서, $q$	: 투수층에서 단위시간당 유량 [ $L^3/T$ ]
$k$	: 투수계수 [ $L/T$ ]
$i$	: 동수경사 $i = \frac{h}{L}$ [ $L/L$ ]
$h$	: 손실 수두 [ $L$ ]
$L$	: 투수유로의 길이 [ $L$ ]
$A$	: 단면적 [ $L^2$ ]

이 식의 적용한계는 투수층을 구성하는 입자의 입경과 투수속도에 관한 레이놀즈수에 의해 규정되는데, 아직 충분한 통일적 견해가 없기 때문에 실측에 의해서 확인하는 것이 좋다. 적용범위 및 투수계수에 대하여는 KDS 64 11 00 지반 설계 (2.1.3 투수계수)를 따른다.

## ② 투수성 지반의 투수

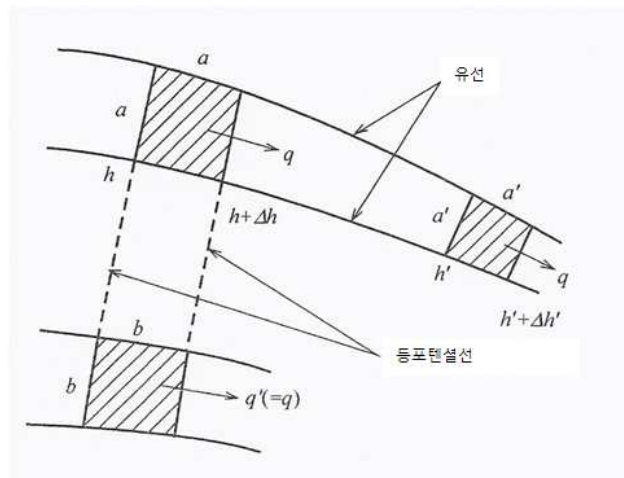
투수성 지반내의 투수유량은 유선망(Flow net)을 작도하여 구할 수 있다. 수두가 같은 점을 연결한 등수위선(Equipotential line)과 대수층을 따라 물입자의 이상적인 이동경로를 나타내는 유선(Flow line)은 서로 직교하는데, 해설 그림 (4.4-11)과 같이 망의 각 격자를 정방형이 되도록 그린 것이 유선망이다.

## 설계조건

유선망에서 인접한 유선으로 구분된 유관(流管) 내에서는 유량이 일정하고, 각 격자의 손실수두는 일정하게 된다. 따라서 유선망에 해설 식 (4.4-16)을 적용하여 총 유량을 구할 수 있다.

$$q = kh \frac{F}{N} \quad \text{해설 식 (4.4-16)}$$

여기서,  $q$  : 단위폭당 투수유량[L<sup>3</sup>/T/L]  
 $k$  : 투수계수[L/T]  
 $h$  : 총 수두차[L]  
 $N$  : 등수위선에 의하여 구분된 유선 구간의 수  
 $F$  : 유선에 의하여 구분된 등수위선 구간의 수



해설 그림 (4.4-11) 유선망의 개념도

### ③ 널말뚝벽의 투수

널말뚝벽의 투수유량은 단순히 널말뚝벽의 투수성만으로 결정되는 것이 아니라, 그 배후 흙 투수성의 지배적인 영향을 받는다. 이 점을 고려하여 소지(莊司, 1982) 등은 이음의 긴장 정도와 모래 채움 유무를 조합한 투수실험을 통해서 해설 식 (4.4-17)을 제안하였다.

$$q = Kh^n \quad \text{해설 식 (4.4-17)}$$

여기서,  $q$  : 널말뚝 이음의 깊이 방향으로 단위길이당 투수유량[L<sup>3</sup>/T/L]  
 $K$  : 이음부의 투수계수[L<sup>2-n</sup>/T]  
 $h$  : 이음 전후의 압력수두차[L]  
 $n$  : 이음부의 상태에 의하여 결정되는 계수  
 이음부에 토사를 채우지 않은 경우  $n \approx 0.5$   
 이음부에 토사를 채운 경우  $n \approx 1.0$

$K$ 의 값에 대하여는 널말뚝의 양쪽에 모래가 있고 이음이 인장상태 조건인 경우에  $7.0 \times 10^{-3} \text{ mm/s}$ 로 주어지는데, 이 수치에 의한 투수량이 현장 실측값의 30배에 달하는 경우도 있다. 그 이유를 검토한 결과, 실제 계산시에는 실험용 널말뚝벽과 현장 널말뚝벽의 상태가 다르다는 것을 유의할 필요가 있다.

④ 사석내의 침투류

중력식구조물의 기초사석내 투수량은 해설 식 (4.4-18)을 사용하여 추정할 수 있다(日本港灣協會, 2007).

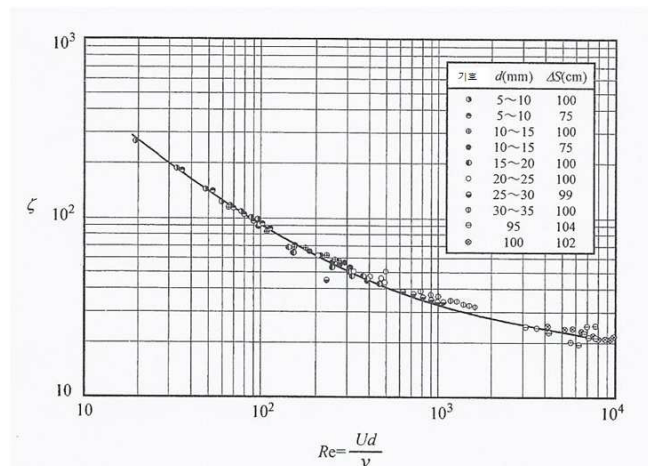
$$q = UH$$

해설 식 (4.4-18)

$$U = \sqrt{\frac{2gd}{\zeta} \cdot \frac{\Delta H}{\Delta S}}$$

여기서,	$q$	: 단위폭당 투수량( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )
	$U$	: 사석 전(全)단면의 평균유속( $\text{m}/\text{s}$ )
	$H$	: 투수층의 높이( $\text{m}$ )
	$d$	: 사석 입경( $\text{m}$ )
	$g$	: 중력가속도( $\text{m}/\text{s}^2$ )
	$\Delta H / \Delta S$	: 동수경사
	$\zeta$	: 저항계수

해설 식 (4.4-18)은 5~100mm까지 8종류의 단일입경 사석에 대하여 실험한 것을 정리한 것으로, 가상 유로장  $\Delta S$ 는 투수층 높이의 0.7~0.8배를 케이슨 저쪽에 더한 것으로 생각해도 좋다. 레이놀즈수( $Re = Ud/\nu$ )에 따른 저항계수( $\zeta$ )의 변화는 해설 그림 (4.4-12)에 제시되어 있으며,  $Re > 10^4$ 에서는  $\zeta \approx 20$ 으로 볼 수 있다.  $\nu$ 는 유체의 동점성계수( $\text{m}^2/\text{s}$ )이다.



해설 그림 (4.4-12) 레이놀즈수와 저항계수의 관계

[참고문헌]

- 1) 국립해양조사원(2009), 새로운 국제조석기준면 결정방법에 대한 분석 및 국제동향 연구보고서.
- 2) 국립해양조사원(2012a), 2012년 수직기준 모니터링 및 기본수준점(TBM) 정비사업 학술연구보고서.
- 3) 국립해양조사원(2012b), 조석자료처리 체계 수립 및 기준면의 재고찰 결과보고서.
- 4) 국토지리정보원(2010), 국가 수직기준체계 수립을 위한 연구.
- 5) 박선중, 강주환, 김양선, 문승록(2010), “조석-해일 결합모형의 적용성 검토,” 한국해양·해양공학회논문집, 22(4), pp.254-265.
- 6) 서승원, 김현정(2012), “상세유한요소격자에서 비대칭 경도풍과 파랑모형이 고려된 서해안의 태풍해일모의,” 한국해양·해양공학회논문집, 24(3), pp.166-178.
- 7) 이석우(1992), “한국근해해상지”, 집문당, pp.234.
- 8) 천제호, 안경모, 윤종태(2009a), “천해에 적용 가능한 태풍 해일-조석-파랑 수치모델 개발, 1. 해수유동 모델의 정확도 검토,” 한국해양·해양공학회논문집, 21(1), pp.63-78.
- 9) 천제호, 안경모, 윤종태(2009b), “천해에 적용 가능한 태풍 해일-조석-파랑 수치모델 개발, 2. 태풍 매미에 의한 해일-조석-파랑 모델의 정확도 검토,” 한국해양·해양공학회 논문집, 21(1), pp.79-90.
- 10) 최병호, 김경옥, 민병일, 조완희(2012), “한반도 주변해역의 파후 및 설계파 산정,” 한국해양과학기술협의회 공동학술대회발표논문집, 대구 EXCO, 2012년 5월 31일 - 6월 1일, pp.2226-2229.
- 11) Choi, b.H., K.O. Kim, H.S. Lee and J.H. Yuk(2010), “Perturbation of regional ocean tides due to coastal dikes,” Continental Shelf Research, 30, pp.553-563.
- 12) Dietrich, J.C., M. Zijlema, J.J. Westerink, L.H. Holthuijsen, C. Dawson, R.A. Luettich Jr., R.E. Jensen, J.M. Smith, G.S. Stelling and G.W. Stone(2011), “Modeling hurricane waves and storm surge using integrally-coupled, scalable computations,” Coastal Engineering, 58, pp.45-65.
- 13) Honda, K., T. Terada, Y. Yoshida and D. Ishitani(1943), “Secondary undulation of oceanic tides,” Jour. College of Science, Univ. of Tokyo, Vol. 26.
- 14) IPCC(2007), Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, N. manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.996.
- 15) Ippen, A.T. and Y. Goda(1963), “Wave induced oscillations in harbors: The solution for a rectangular harbor connected to the open sea”. Hydrodyn. Lab., Dep. Civil Eng., M.I.T., Rept. No. 59, pp.90.



- 16) Kang, S.K., M.G.G. Foreman, H.J. Lie, J.H. Lee, J. Cherniawsky, and K.D. Yum(2002), "Two-layer tidal modeling of the Yellow and East China Seas with application to seasonal variability of the M2 tide," J. Geophys. Res., 107, C3, 3020, 10.1029/2001JC000838.
- 17) Lamb, H.(1932), "Hydrodynamics". Cambridge University Press.
- 18) Myers, V.A.(1954), "Characteristics of United States hurricanes pertinent to levee design for Lake Okeechobee", Florida. Hydro-Meteorological Report of U.S Weather Bureau, 32, pp.1-106.
- 19) Nakicenovic, N. and R. Swart(eds)(2000), "Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.599.
- 20) Raichlen, F.(1966), "Harbor resonance," Estuary and Coastline Hydrodynamics, Ippen, A.T.(ed), McGraw-Hill, pp.281-340.
- 21) Todd, D.K.(1963), "Groundwater Hydrology", John Wiley & Sons, Inc.
- 22) Wilson, B.W.(1960), "Note on surface wind stress over water at low and high wind speeds," J. Geophys. Res., 63, pp.3377-3382.
- 23) Wilson, B.W.(1972), "Seiches," Advances in Hydrosiences, 8, V.T. Chow(ed), Academic Press, New York, pp.1-94.
- 24) 谷本勝利, 高山知司, 村上和男, 村田繁, 鶴谷廣一, 高橋重雄, 森川雅行, 吉本靖俊, 中野晋, 平石哲也(1983), "1983年 日本海 中部地震津波の 實態と 二, 三の考察", 港灣技術研究所資料 No. 470, pp.299.
- 25) 石原藤次郎, 本間仁(1966), "應用水理學(中Ⅱ)", 丸善.
- 26) 日本港灣協會(2007), 港灣の施設の技術上の 基準・同解説(上卷), pp.133.
- 27) 莊司喜博, 桑田政治, 富田幸晴(1982), "鋼矢板壁の 透水實驗, 港灣技術研究所 報告", 21(4), pp.41-82.
- 28) 酒井軍治郎(1965), 地下水學. 朝倉書店.
- 29) 池野正明, 松山昌史, 田中寛好(1998), "ソリトン分裂津波の 大陸棚上 ぐの 變形と その 防波堤設計波壓に 關する 實驗的研究, 海岸工學論文集, 第45卷, pp.366-370.
- 30) 土本學會(1985), 水理公式集, 昭和 60年 改訂版.

## 4.5 흐름 및 흐름의 힘

### 4.5.1 흐름의 제원

- (1) 항만시설의 설계에 쓰이는 흐름(海潮流)의 제원은 유속과 유향이며 시설물 설치 위치에서의 실측값 또는 추산값에 기초하여 가장 엄격한 조건을 설정한다.
- (2) 매립공사, 항만공사 등에 의한 해안지형의 변화에 따른 해조류(海潮流)의 변화에 대하여는 공사계획 전에 검토하여야 한다.

#### [해설]

조류, 하천류 등의 흐름이 강한 곳에 위치하는 구조물에 대하여는 가장 엄격한 유속, 유향에 기인하는 작용력에 대해 검토하여야 한다. 구조물 또는 부재의 종류에 따라서는 흐름의 연직 분포에 대하여도 고려할 필요가 있다. 그리고 파랑과 흐름이 공존하는 경우의 유속, 유향은 공존상태 흐름의 제원으로 하는 것이 필요하다. 해역의 흐름에는 해류, 조류, 취송류 등이 있으며, 염분이나 수온 분포에 기인하는 밀도류도 있다. 해안 역에서는 연안류, 이안류가 있다.

#### (1) 해류

해류는 해양 전체에 있어서의 국부적인 해수밀도 분포에 기인하는 밀도류, 바람의 해수면 전단응력에 기인하는 취송류(吹送流), 전향력과 해수의 압력경도력에 의한 지형류, 그리고 이것들을 보충하는 보류(補流 - 용승류(湧昇流), 침강류(沈降流)) 등이 합쳐져서 생기는 대양의 해수순환 현상이다.

해류는 계절적 변화를 보이거나 상당기간에 걸쳐 거의 일정한 방향과 크기를 갖는다. 해설 그림 (4.5-1)은 동해의 표층 해류 모식도이다. 점선은 해류 진로의 변동성이 크음을 의미하고, 동해 북부의 반시계방향 해수 순환은 표층과 중층에서 동시에 나타난다.

#### (2) 조류

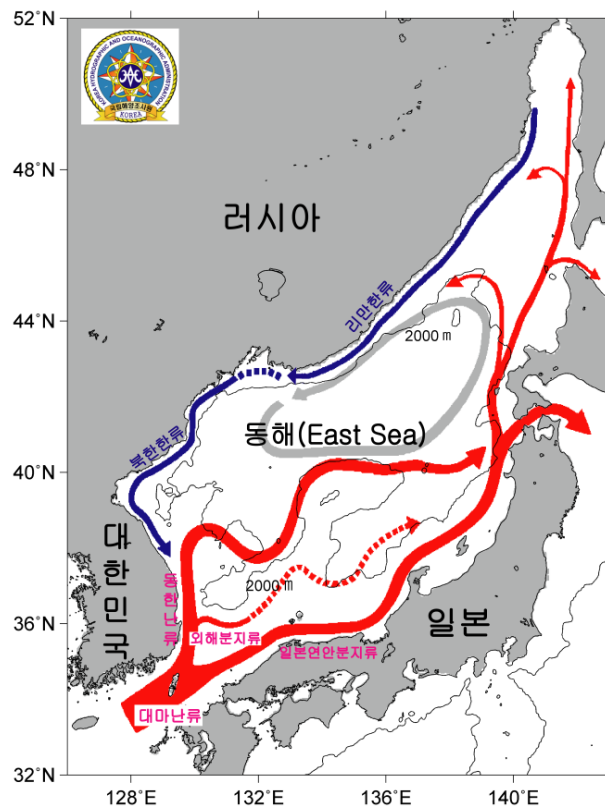
- ① 조류는 해역의 지리적 조건이나 천체의 운동에 따라 그 성질과 세기가 변화하므로 조류의 상황을 파악하기 위해서는 30일, 적어도 1일(25시간) 이상의 연속관측을 할 필요가 있다. 특히, 연안 천해역의 대규모 매립공사 등으로 지형이 변화하는 경우에는 사전에 조류의 변화를 검토하여야 한다.
- ② 조류는 조석파에 수반되는 해수의 수평방향의 유동이며, 그 운동은 조석파의 분조(일주조, 반일주조 등)에 대응하여 주기적으로 변화한다. 조류는 일반적으로 약 반일(12시간 25분)의 주기를 갖고 있으나, 곳에 따라 약 1일(25시간 50분)의 주기로 형성되기도 한다. 그리고 연안 천해역의 조류는 지형, 해저마찰 등의 영향을 받아 1/4일, 1/6일 주기 등의 배조류(倍潮流)가 발달하므로 그 형태는 한층 복잡하다.
- ③ 조류를 구성하는 여러 분조가 있으나, 그 가운데서 가장 중요한 것은  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $O_1$ ,  $K_1$  의 4개 분조이다. 이 4개 분조를 고려하면 실제 조류를 대략 알 수 있다. 연안역의 흐름을 나타내는 것으로는 항류(恒流)도 중요하다. 항류는 관측기간의 평균류를 나타내며, 조류 조화분석을 통하여 구할 수 있다. 조류가 주기적 운동인데 반해 항류는 일정류

(一定流)이기 때문에 연안역에서의 물질의 확산방향을 결정해주는 매우 중요한 요소이다. 향류의 성인(成因)으로는 조류 현상의 비선형성에 따른 조석 잔차류, 하천으로부터의 담수유입 등에 기인하는 밀도류, 바람의 전단응력에 기인하는 취송류, 외해에 흐르는 해류의 분지류 등이 있다. 장기적인 향류의 변동에는 항내에 유입하는 하천 유량의 영향이 크고, 수 일 정도의 단기적인 향류의 변동에는 바람의 영향이 크다.

- ④ 조류가 빠른 곳에서는 해저 토사가 조류를 따라 이동하여 항로 매몰을 일으킬 수 있다. 특히, 준설 항로가 조류 방향과 평행하지 않고 교차하는 경우에는 항로 준설 계획을 신중하게 검토해야 한다.

⑤ 해조류의 모형실험

조류와 다양한 원인의 해류가 합성되어 나타나는 해조류는 시·공간적으로 매우 불규칙하고 복잡하기 때문에 모형실험으로 이를 재현하거나 예측하는 것이 쉽지 않다. 해조류 수치모형실험의 과정은 4.4.6에 기술한 조석·조류 수치모형실험의 수행 과정과 동일한 것으로 볼 수 있으나, 흐름을 일으키는 여러 요인들, 예를 들면 수온, 염분, 조위, 유량, 바람, 기압 분포와 그 시간적 변화 등을 초기 및 경계 조건으로 입력하고 이를 적절하게 수치 해석하여야 한다. 또한, 조류는 해저마찰에 의해 저층으로 갈수록 유속이 약간씩 감소하는 외에는 수직적인 유속·유향의 큰 변화가 없으나, 밀도류나 취송류와 같은 흐름은 수직적인 유속·유향의 변화가 크다. 따라서 통상적인 수직적분 2차원 수치모형으로는 실제 현상을 정확하게 재현하기 어려우며, 3차원 수치모형을 적용하여야 한다. 3차원 수치모형 운용 시에는 특히, 수직방향 운동량과 열염(熱鹽)의 난류확산(亂流擴散) 현상을 현실적으로 수치 해석하는 것이 관건이 된다.



해설 그림 (4.5-1) 동해의 표층 해류 모식도

(3) 취송류(吹送流)

해면에 바람이 불면 공기와 수면의 경계마찰의 전단력에 의해 해면이 움직이기 시작한다. 그 흐름이 발달하면 해수의 와동점성(渦動點性)에 의해 상층에 잡아끌리어 하층까지 차차 움직이기 시작하며, 풍속과 풍향이 오랫동안 균일하다면 마침내 정상상태에 달한다. 이 흐름을 취송류라 한다. 이 현상은 에크만의 연구에 의해 확립되어 에크만 나선류(螺旋流, Ekman spiral)라 부르며, 해류에 관한 취송류 이론으로 발전되었다. 주로 해양의 해류현상을 이론적으로 설명하려는 시도로 출발한 이 이론의 결과를 직접 연안 천해역의 현상에 적용하는 것은 곤란하므로 에크만 나선류의 개념만을 간단히 기술한다.

① 풍속과 표면 유속과의 관계

취송류의 표면유속  $V_0$ 와 풍속  $W$ 와의 비를 풍력계수라 한다. 취송유속이 풍속에 비례한다는 가정 하에 얻은 외양에서의 풍력계수는 대략 0.014~0.05의 범위에 있다. 일반적으로 바람에 의해 생기는 취송류의 표면유속과 풍속과의 비  $V_0/W$ 는 대략 3% 정도로 보며 유향은 풍향과 일치하는 것으로 보아도 좋다.

② 연직 유속분포

일반적으로 취송유속은 표면층에만 뚜렷하고 수심이 증가함에 따라 급감한다.

(4) 해빈류(海濱流)

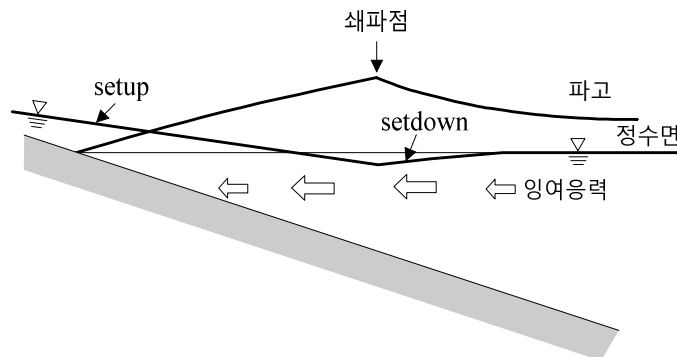
쇄파대에서는 해빈류라는 파랑이 일으키는 특별한 흐름이 존재한다. 해빈류는 쇄파대 내의 흐름이므로 부유상태에 있는 모래를 운반하여 해빈지형의 변화를 일으킨다.

① 질량 수송

파랑이 해안으로 전파될 때, 물입자가 외해에서는 원운동을, 천해에서는 타원운동을 하면서 천천히 파랑의 진행방향으로 이동하는 현상을 파랑에 의한 질량 수송이라 한다. 임의 지점에서 물입자는 파봉이 통과할 때 파의 진행방향으로 이동하고 파곡이 통과할 때는 반대 방향으로 이동하며, 이동 속도는 거의 같다. 그러나 파봉이 통과할 때의 수심이 파곡이 통과할 때의 수심보다 깊기 때문에 파의 진행방향으로 해수의 잔여 이동량이 발생하게 된다. 파봉과 파곡의 수심차는 파고에 해당하고, 물입자의 유속은 파고에 비례하므로 질량수송의 속도는 파고의 제곱에 비례한다. 질량 수송에 의해 해안으로 운반된 수립자는 연안류를 따라 해안에 평행하게 이동하다가 이안류를 따라 외해로 되돌아간다.

② 파랑에 의한 해면 상승(Setup)과 해면 하강(Setdown)

해안으로 진행하는 파는 쇄파점에 접근할수록 파고가 커지고 쇄파 후 해안선으로 가면서 파고가 감소한다. 파랑주기 동안 파 운동량을 수심적분한 잉여응력은 파고의 제곱에 비례하므로 쇄파대 외측에서는 쇄파점으로 갈수록 잉여응력이 증가하여 평균 수면이 하강하고, 쇄파대 내측에서는 해안선으로 갈수록 잉여응력이 감소하여 평균 수면이 상승한다[해설 그림 (4.5-2)].



해설 그림 (4.5-2) 파랑에 의한 해면상승과 해면하강

## ③ 연안류(沿岸流)

해안선 방향의 파고 분포가 다르면 쇄파대 내측에서 파랑에 의한 해면 상승(Wave setup) 높이가 달라진다. 이 평균해면 경사에 따라 해안선에 평행한 흐름이 형성되며 이를 연안류(Longshore current)라 한다.

## ④ 이안류(離岸流)

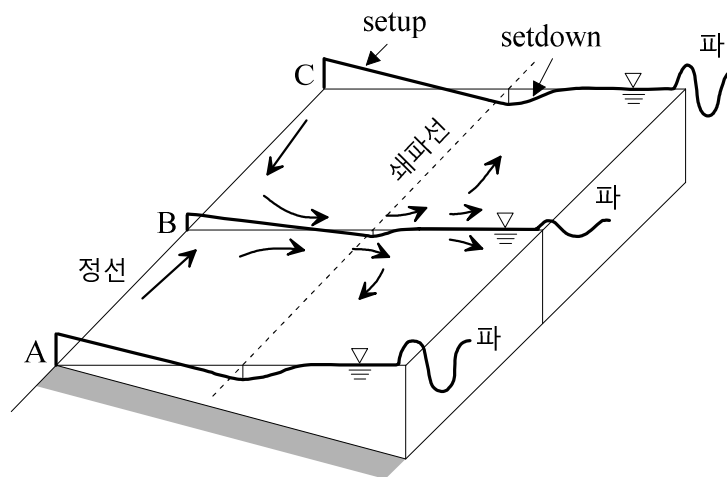
연안류가 해면 상승(Setup)이 상대적으로 낮은 지점에서 수렴하면 해안선에 직각 방향의 강하고 좁은 흐름이 형성되는데, 이를 이안류(Rip current)라 한다. 이안류는 쇄파대를 가로질러 외해로 유출되며 외해에서는 유속이 급격하게 감소한다.

## ⑤ 해빈류의 형태

연안류와 이안류를 포함한 해안 순환류를 해빈류(Nearshore current) 또는 파랑류(Wave-induced current)라고 한다[해설 그림 (4.5-3)]. 해빈류는 잉여응력이 크고 또한 잉여응력의 공간 변화율이 크며 수심이 얕은 지역에서 강하게 발생한다. 방파제 선단부와 같이 파랑의 전파가 급격하게 차단되는 지역에서도 강한 해빈류가 발생할 수 있다.

## ⑥ 해빈류 모형실험

해빈류 수치모형실험을 위해서는 먼저 파랑 수치모형실험을 수행하여 파고와 파향 분포를 산정하여야 한다. 기본방정식은 해수유동 방정식과 동일하나, 여기에 파랑 분포에 의한 잉여응력(剩餘應力, Radiation stress)항이 추가된다. 잉여응력은 해수유동 실험에서 바람에 의한 해수면 전단응력을 처리하는 것과 같은 방법으로 수치 해석한다. 해빈류는 쇄파대 내측에서 강하게 형성되기 때문에 쇄파대 내·외측의 급격한 파랑 및 수심 분포 변화를 정확하게 모의하기 위해서는 격자 크기를 충분히 작게 구성하여야 한다. 또한 이안류가 저층에서만 형성(Undertow)되기도 하므로 이를 실제적으로 재현하기 위해서는 3차원 모형을 운용할 필요가 있다.



해설 그림 (4.5-3) 해면 상승·하강과 해빈류의 형태

## 4.5.2 수중부재 및 구조물에 작용하는 흐름의 힘

물의 흐름에 의한 수중 또는 수면 부근의 부재 및 구조물에 작용하는 항력(抗力) 및 양력(揚力)은 다음 식에 의해 산정하는 것을 표준으로 한다.

## (1) 항 력

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_o A U^2 \quad \text{식 (4.5-1)}$$

여기서,  $F_D$  : 물체에 작용하는 흐름방향의 항력(N)

$C_D$  : 항력계수

$\rho_o$  : 물의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

$A$  : 물체의 흐름방향의 투영면적(m<sup>2</sup>)

$U$  : 유속(m/s)

## (2) 양 력

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho_o A_L U^2 \quad \text{식 (4.5-2)}$$

여기서,  $F_L$  : 물체에 작용하는 흐름과 직각방향의 양력(kN)

$C_L$  : 양력계수

$A_L$  : 흐름과 직각방향의 물체의 투영면적(m<sup>2</sup>)

## [해설]

잔교 등의 말뚝식 구조물의 말뚝이나 파이프라인 또는 마운드 피복제 등에 작용하는 흐름에 의한 힘은 유속의 제곱에 비례하며, 흐름 방향으로 작용하는 항력과 흐름의 직각방향으로 작용하는 양력이 있다. 한편 수중의 가는 관 형태의 물체에는 와류에 의한 진동이 발생할 수 있다.

## (1) 항력계수

흐름에 의한 항력은 점성에 의한 표면저항과 압력에 의한 형상저항의 합으로 표시되며 일반적으로 식 (4.5-1)과 같이 표현된다. 항력계수는 물체의 형상, 크기, 조도, 흐름 방향, 레이놀즈수 등에 따라 다르며, 상황에 따라 적절한 값을 사용하여야 한다. 레이놀즈수가 10<sup>3</sup> 정도 보다 큰 경우에는 항력계수의 표준값으로 해설 표 (4.5-1)에 제시된 값을 사용해도 좋다.

## (2) 양력계수

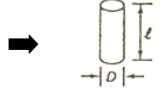
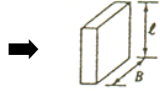

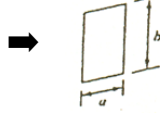

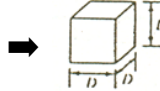
양력계수도 항력계수와 마찬가지로 물체의 형상, 흐름의 방향, 레이놀즈수 등에 따라 다르지만 그 값에 대하여는 잘 알지 못한다.

## (3) 지진해일 방파제의 개구부 잠제 상부공에 작용하는 힘

이와사키(岩崎, 1984) 등은 지진해일 방파제 개구부에 설치된 잠제 상부공에 작용하는 흐름에 의한 압력을 측정하고 항력계수로 0.84, 양력계수로 0.48을 얻었다.

다니모토(谷本, 1988) 등은 같은 방식의 측정에서 항력계수로 1.0~1.5, 양력계수로 0.5~0.8을 얻었으나, 유속이 큰 경우에는 수면경사의 영향에 의해 이들 계수가 커지는 것을 지적하고 있다.

해설 표 (4.5-1) 항력계수

물체의 형태	기준 면적	항력계수
원주 (거친 면) 	$D \ell$	1.0 ( $\ell > D$ )
각주 	$B \ell$	2.0 ( $\ell > B$ )
원판 	$\frac{\pi}{4} D^2$	1.2
평판 	$ab$	$a/b=1$ ; 1.12 $a/b=10$ ; 1.29 $a/b=2$ ; 1.15 $a/b=18$ ; 1.40 $a/b=4$ ; 1.19 $a/b=\infty$ ; 2.01
구 	$\frac{\pi}{4} D^2$	0.5 ~ 0.2
입방체 	$D^2$	1.3 ~ 1.6

#### (4) 와류에 의한 진동

가는 부재의 경우, 흐름의 작용으로 배후에 와류가 발생하여 흐름과 직각방향의 진동을 일으킬 수 있으므로 주의를 요한다. 이것은 와류에 의한 양력이 주기적으로 변화하여 그 주기와 부재의 고유진동주기가 가까워질 때 공진상태가 되기 때문이다. 와류 발생주기( $T=1/f$ )는 부재의 직경( $D$ )과 유속( $V$ ), 그리고 스트로할수( $Str$  : Strouhal number)로부터 구할 수 있다(해설 식 (4.5-1)).

$$Str = f D / V = 0.198 \left( 1 - \frac{19.7}{Re} \right) \quad \text{해설 식 (4.5-1)}$$

이 식은 레이놀즈수( $Re$ )가  $250 < Re < 2 \times 10^5$ 의 범위에서 성립하며, 이 때 발생하는 와류를 카만 와류(Karman vortex)라고 부른다(von Karman, 1963). 부재의 길이가 길고 고유진동주기가 긴 경우에는 방진대책이 필요하다.

[참고문헌]

- 1) von Karman, T.(1963), “Aerodynamics”, McGraw-Hill.
- 2) 谷本勝利, 木村克俊, 宮崎啓司(1988), “津波防波堤開口部潜堤の安定性に 關する 實驗的 研究”, 港灣技術研究所 報告, 27(4), pp.93-102.
- 3) 岩崎敏夫, 眞野明, 中村武弘, 堀越伸彰(1984), “潜堤の マウンド材および プレパックド 堤に 作用する 定常流 流體力に 關する 實驗的 研究”, 第31回 海岸工學講演會論文集, pp.527-531.



## 4.6 하구 수리

### 4.6.1 설계일반

하천이 해역과 합류하는 하구역에서 하천의 고수시와 저수시의 유황, 소류 및 부유토사, 조석의 변화 및 밀도류, 파랑과 하천의 공존 등의 하구수리 현상을 검토하여야 한다.

#### [해설]

하구역에서는 하천수 유출과 유사 작용에 의해로부터의 조석, 조류, 파랑, 해빈류, 표사 등의 작용이 더해진다. 이 때문에 수위, 유속의 주기적 변화, 밀도류의 발생, 토사의 응집·침전·퇴적 등의 복잡한 수리현상이 발생한다. 이러한 제 현상은 하구역의 유황과 물질수송에 큰 영향을 준다. 따라서 하구수리를 접근함에 있어서 하천·해역 양자에 대한 고찰이 필요하며 각각의 특성을 분석·검토하여야 한다.

#### (1) 하구 조석

해양의 조석은 하구역에 진동을 일으킨다. 해양 조석의 영향을 받는 하천을 감조(感潮)하천이라 부른다. 한강에서는 조위가 EL(+)2.7 m 이상일 때 창조류가 신곡수중보를 월류하여 약 30 km 상류의 잠실수중보까지 조석 현상을 일으키고 있으며, 금강에서는 하구둑 체절 전에 상류 약 60 km 지점인 규암까지 조석 영향을 받았다.

하구에 진입한 조석파는 수심이 얕아지고 마찰이 증가하기 때문에, 그리고 하천류 때문에 점차 변형된다. 하구 조석은 해양 조석과 같이 대칭형이나, 상류로 올라감에 따라 비대칭형으로 된다. 즉, 저조부터 수면은 갑자기 고조가 되고 고조부터 수면은 서서히 저조로 된다. 이 때문에 창조시간이 짧고 창조유속은 강하며, 낙조시간이 길고 낙조유속은 약하다.

감조하천의 또 하나의 특징은 하천 상류로 가면서 고조면의 높이는 거의 변하지 않거나 약간 높을 정도로 되지만 저조면은 점차 높아지고 조차는 점차 작아진다. 또 일반적으로 하류에서 대조기 저조면은 소조기 저조면보다 낮으나 상류로 올라감에 따라 대조기 저조면이 소조기보다 높아진다. 이것은 하천조석과 해양조석간의 본질적인 차이를 말해준다.

조석파가 하천을 거슬러 올라가면 점차 변형하여 마침내는 조석파 전면의 급경사가 마치 직립벽과 같이 하천을 돌진하는 현상이 드물게 일어난다. 이것을 조석 해일(Tidal bore)이라 한다.

#### (2) 하구류

하구역의 수리현상 중 가장 큰 특징은 조석에 의한 영향이다. 일반적으로 수위와 유속의 주기적 변동이 나타나며, 조차가 큰 하구에서는 창조시 수면이 역경사가 되어 하천수가 역류하는 경우가 많다. 그리고 조차가 작은 하구에서는 하천수의 역류가 발생하지 않지만, 저층에는 해수가 썰기상태로 침입하며, 하천류는 표층에서 얇은 층으로 가속되어 유출한다. 이때의 연직유속분포는 표층에서는 설상(舌狀)을 나타내며 저층에서는 역류를 나타낸다. 소위 이층류의 밀도류를 형성하는 경우가 많다.

## 설계조건

그리고 하구에 침입한 조류는 하상 경사, 하천류 등 때문에 일반적으로 창조시간은 짧고, 낙조시간은 길어지는 경향이 있다. 유속·유량의 극대·극소는 조석의 고·저조시보다 늦게 발생한다.

이러한 제 현상이 하구의 위치, 형상, 하천 및 외해의 수리량에 따라 시간적, 공간적으로 변화하는 것은 당연하지만, 하구류의 특성을 다음과 같이 요약할 수 있다.

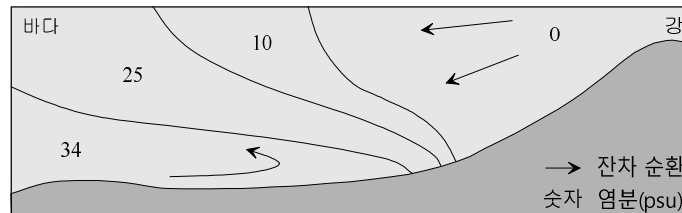
- ① 유출 시에는 하천류가 강하여 하천 본래의 경사류가 탁월한 등류로 볼 수 있다.
- ② 평수 시에는 경사류성, 조석에 의한 조류성, 여기에 해수와 담수의 밀도차에 기인하는 밀도류성이 더해져 흐름 특성이 복잡해진다.
- ③ 갈수기에는 조류성이 지배적이다. 그러나 동해안과 같이 조차가 작은 하구역에서는 갈수기에도 조류성은 그다지 강하게 나타나지 않고 오히려 밀도류성이 강해진다.
- ④ 남·서해안과 같이 조차가 큰 하구역에서는 조류성이 탁월하게 나타난다.

### (3) 하구 밀도류

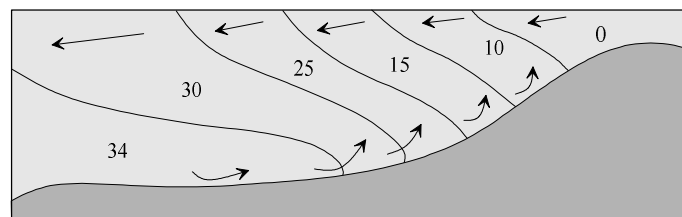
하구역에서는 담수와 해수의 밀도차 때문에 해수는 하천수의 저층으로 침입하고 역학적 평형을 이루기 위한 유동이 나타난다. 이 흐름을 하구 밀도류라 부르며, 유속, 수온, 염분의 현지관측 또는 해양과 하천을 포함하는 3차원 수치모형실험을 통하여 그 공간적 분포 형태를 파악할 수 있다.

밀도류의 형식은 하구역에서의 담수와 해수의 혼합 상태에 따라 해설 그림 (4.6-1)과 같이 3가지 형태로 대별된다(이, 2010). 그림에서 염분의 단위인 psu(실용 염분단위, Practical Salinity Unit)는 해수 1 kg에 녹아있는 염류의 g 질량으로, 이전에 사용하던 천분율(ppt, ‰, Permil)과 같다.

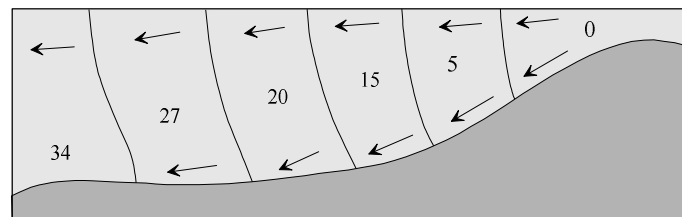
(a) 염수쇄기형(Salt-wedge type)



(b) 부분혼합형(Partially mixed type)



(c) 강혼합형(Well mixed type)



해설 그림 (4.6-1) 하구 밀도류의 형식

## ① 염수썰기형(Salt-wedge type)

일반적으로 하천 유량에 비하여 조차가 작은 하구에서 볼 수 있다. 표층의 하천수와 저층의 해수 사이에 혼합이 거의 일어나지 않고, 담수와 해수의 경계면(밀도 불연속면)이 명백하게 나타난다. 이 형식을 특히 성층 밀도류 또는 이층류라 부른다.

## ② 부분혼합형(Partially mixed type)

조차가 하천 유량에 비해 ①의 경우보다 약간 커지면 나타난다. 이 형식에서는 하수와 해수의 혼합이 비교적 잘 이루어진다. 염분의 수직적, 수평적 변화가 모두 나타나서, 표층에서 저층으로 갈수록 그리고 하천쪽에서 바다쪽으로 갈수록 염분이 증가한다.

## ③ 강혼합형(Well mixed type)

이 형식은 하천 유량에 비해 조차가 큰 하구역에서 발생한다. 조석의 난류혼합에 의하여 수층 전체가 잘 섞여져 수직적인 염분의 변화가 거의 나타나지 않고, 염분의 변화는 수평적으로 하천 쪽에서 바다 쪽으로 가면서 증가하는 양상으로 나타난다.

## (4) 하구 진입과

하구역에 진입해 온 파랑은 흐름과의 상호작용에 의해 변형이 나타난다. 수심에 따른 굴절과 흐름의 상대적 방향에 따른 굴절이 나타나서 파고가 낮아진다. 그러나 파향이 유향과 정반대인 경우에는 파고가 커진다. 진입파는 하구를 거슬러 올라가는 과정에서 마찰 저항과 난류 등의 영향으로 파고가 감소한다.

## 4.6.2 하구의 매물

하구역에서는 하천으로부터의 소류사(掃流砂) 및 부유사(浮遊砂)의 형태로 유송된 토사나 연안 표사에 의한 매물 현상을 적절히 검토하여야 한다.

## [해설]

하구역에서 토사의 퇴적·침식량은 하천-조류모델에서 얻은 유속장을 입력하여 운영하는 퇴적 수치모델실험으로 추산한다.

## (1) 실테이션 - 이점토(泥粘土) 퇴적현상

## ① 실테이션(Siltation)

내만이나 하구역에서 점토와 실트 크기의 세립퇴적물(이하 이토)의 농도가 증가하여 과도하게 집적되는 현상을 실테이션이라 부른다.

실테이션을 현상 측면에서 보면 흐름에 의한 해저 이토의 재부유와 이송, 파랑과 해저 이토층의 상호간섭, 침강, 퇴적, 압밀 등으로 나눌 수 있다. 하구역에서는 파랑이 흐름과 동시에 존재하며 염수와 담수의 혼합역에서는 응집(Flocculation)이 촉진되는 특징이 있다.

## 설계조건

실테이션과 표사의 큰 차이점은 실테이션을 일으키는 이토는 응집성이 있어 하천과 해역의 접합부인 하구역(Estuary)에서 해수와 혼합에 의한 응집에 수반되어 침강 특성이 크게 변화하는 것이다. 해저에 침강된 이토는 탈수를 거쳐 저질을 형성하고, 저질은 다시 압밀에 의해 강도가 큰 저질로 오랜 시간을 거쳐 변화해 가는 성질을 갖고 있다. 따라서 파랑이나 흐름에 의한 재부유 특성은 엄밀하게는 이토의 특성(침강후의 압밀 정도, 입도 조성, 함수비, 유기물 함유량 등의 시간 변화)에 따라 변화한다. 이것이 일반적으로 모래 개개의 입자로 취급하는 표사와 실테이션의 큰 차이점이다.

실테이션이 현저한 곳에서는 항로 수심이 계속 변화하기 때문에 항시 수심측정에 의한 감시가 필요하며 선박 안전을 위한 항로 준설이 필요하다. 실테이션이 문제가 되는 항구의 진입항로 해저는 밀도가  $1,050\sim1,300\text{ kg/m}^3$ 인 액상 이토층(Fluid mud layer)이 존재한다고 보고된다. 현재 실테이션에 의한 항로 매몰 문제가 많은 유럽에서는 선박의 「안전한 항해 수심」을 저질 밀도가  $1,200\text{ kg/m}^3$  이하의 수심으로 정의하고 있다. 현업에서는 음향측심기의 두 주파수로 액상 이토층을 검출하는 방법이 행해지고 있다. 예를 들면 액상 이토층 표면에서 반사하는  $210\text{ kHz}$ 와 액상 이토층을 통과하고 모래층 또는 밀도가 큰 이토층에서 반사하는  $33\text{ kHz}$ 의 두 종류의 주파수를 사용하는 방법이 있다. 그러나 이러한 기기로는 항해 가능수심을 결정하는데 충분하다고 할 수 없다.

### ② 액상 이토층의 형성

액상 이토층은 하구역이나 대륙붕의 연안 가까이에서 많이 볼 수 있으며 매우 높은 농도의 이토를 포함하는 유동하기 쉬운 층이다. 이토의 농도는  $10\sim300\text{ kg/m}^3$  정도이다.

### ③ 실테이션 수치실험

실테이션을 모의하기 위해서는 흐름과 파랑장을 계산하고 이토의 응집, 침강, 재부유, 액상 이토층의 형성과 거동을 재현할 수 있는 수치모델을 적용하여야 한다.

## (2) 토사의 매몰

### ① 토사의 이동량 추정

하구역에서 토사의 이동은 토사의 입경, 유속 및 염분에 따라 부유사 및 소류사의 형태로 이동한다. 소류사량은 유속의 3~5승에 비례한다. 부유사의 침전은 담수와 염수가 만나는 곳에서 응집현상이 일어나 증가하며, 부유사량은 부유물의 농도와 유속에 좌우된다. 소류사 및 부유사 이동량은 조류 수치실험의 유속장을 이용하여 퇴적 수치실험으로 모의한다.

### ② 하구역의 매몰 현상

하구역의 매몰 현상은 주로 대홍수시 또는 대조시의 강한 유속에 의해 유송된 토사에 의해 일어나며, 퇴적된 토사의 일부는 홍수시 또는 낙조시에 하구 밖으로 유출되어 부근 해안의 연안 표사와 함께 사주를 형성하는 경우가 있다.

## ③ 하구역의 연중 토사 순환

하구역은 일반적으로 창조 유속이 강해 많은 부유사를 상류측으로 운반하고, 유속이 약한 정조시 및 낙조시에 침강·퇴적되는 현상이 일어나는 곳이 있다. 특히 겨울철에 이렇게 퇴적된 세립 토사는 여름철 홍수시 외해로 유출되는 연중 토사 순환을 나타내는 곳도 있다.

## ④ 조류의 사류(射流)작용

하구역의 협수로에서는 조류의 사류(射流)작용에 의해 통수단면적이 조량과 일정한 관계를 갖고 평형상태를 유지하고 있는 것으로 보고된 바 있다(O'Brien, 1969).

한국 서해안의 인천항, 군장항, 가로림만 수로에서 평균해면하 최소 단면적( $A$ ,  $m^2$ )은 평균대조기 조량( $P$ ,  $m^3$ )과 다음과 같은 평형관계에 있음이 제시되었다(Lee, 1975).

$$A = 1.81 \times 10^{-4} P^{0.9424} \quad \text{해설 식 (4.6-1)}$$

통수단면상의 단면평균 최대유속은 평균대조기에 평형값인 1.05~1.15 m/s를, 그리고 단면평균유속은 약 0.7 m/s를 유지하는 것으로 보고하였다.

## [참고문헌]

- 1) 이창복(2010), “해양환경의 이해”, 서울대학교출판문화원, pp.163.
- 2) Lee, S.W.(1975), “Tidal flushing at entrance of tidal bay in Korea,” Proc., the 3rd Ocean Development Conf., IV. Coastal Environment, pp.157-167.
- 3) O'Brien, M.P.(1969), “Equilibrium flow areas of inlets on sandy coasts,” Journal of the Waterways and harbors Division, ASCE, WWI, pp.43-52.

## 4.7 표사

### 4.7.1 표사 설계일반

- (1) 표사의 영향을 받을 경우에는 저질 입경, 이동한계수심, 연안 표사량, 연안 표사의 탁월 방향 등의 표사의 특성을 고려하여야 한다.
- (2) 표사의 탁월방향과 이동량은 바람, 파랑, 흐름, 지형 및 퇴적물 자료에 기초하여 일련의 표사계에서 발생하는 퇴적물 이동의 연속성을 고려하여 산정하여야 한다.
- (3) 연안시설 설계에서 평면형상을 규정하는 해안선방향과 단면형상을 규정하는 후빈의 폭과 높이, 전빈경사, 외빈의 폭과 경사, 원빈의 경사 등의 해빈형상 제원 중에서 필요한 제원을 정한다.
- (4) 호안이나 제방과 같이 바다를 매립하여 육지를 보호하기 위해 축조하는 구조물 및 방파제, 방사제, 돌제, 도류제, 소파제, 이안제 등과 같은 해안·항만 구조물의 건설, 그리고 바다모래 채취 등과 같은 준설량이 과다하여 인근 해역의 지형을 변화시킬 우려가 있는 경우에는 해빈의 균형 변화에 유의하여 예상되는 지형 변화를 검토하여야 한다.
- (5) 건설 중 및 건설 완료 후에도 해빈의 지형변형 상황에 주의하여 해안의 침식이나 퇴적에 의한 재해를 방지하거나 완화하기 위한 적절한 대책을 세워야 한다.
- (6) 연안의 이용과 보전을 위한 시설과 연계하는 용어나 특징 등에 대한 내용은 KDS 64 50 00 연안보전시설을 참조한다.

#### [해설]

##### (1) 표사의 발생

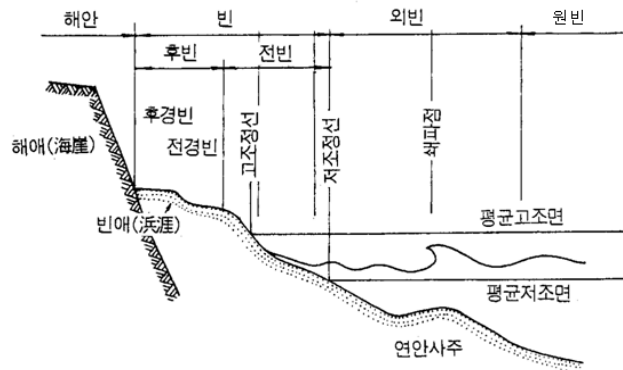
- ① 해안을 구성하는 저질이 파랑이나 흐름 등의 작용에 의해 이동하는 현상 또는 이동하는 모래 자체를 표사(漂砂)라 하고 바람에 의한 모래의 이동 및 모래 자체를 비사(飛砂)라 하며 광의로는 해빈(海濱)에서의 비사를 표사에 포함하기도 한다.
- ② 해빈을 구성하는 저질은 부근의 하천과 인접 해안으로부터 공급되며, 공급 과정 중 또는 해빈에 퇴적된 후에 파랑이나 흐름의 작용을 받는다. 이 때문에 저질은 파랑이나 흐름 등의 외력 특성을 반영한 특성을 나타내며, 이를 외력에 의한 저질의 입경 분류(Sorting) 작용이라 한다.

##### (2) 해안의 지형

###### ① 해안단면 각부의 명칭

모래 해안의 전형적인 단면의 각부 명칭은 해설그림(4.7-1)과 같다. 원빈은 심해 측의 통상 파랑이 쇄파하지 않는 부분이며, 해저경사가 비교적 완만한 곳이 많다. 외빈은 원빈의 안쪽(육측) 저조 해안선까지로 이곳에서는 파가 깨져 연안사주(Bar)나 단(Step)이 발생한다. 전빈은 저조 해안선으로부터 파가 쳐오르는 곳까지의 범위를

말하며 후빈은 전빈의 안쪽 식생대 시작점이나 사구 혹은 해안절벽 등 지형학적 변화 시작점까지의 범위로 조위상승과 함께 약천후가 겹칠 시 파가 쳐오르는 부분까지 이다.



해설 그림 (4.7-1) 해안의 일반적 단면과 명칭(本間・堀川, 1985)

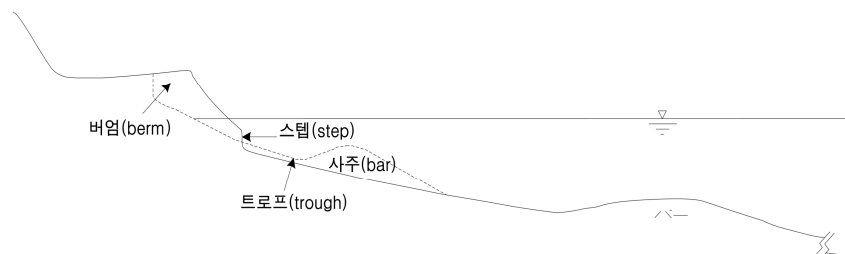
## ② 단면변형에 따른 명칭

가. 모래 해안의 단면변화로 발생하는 특징적인 해빈지형으로는 해설 그림 (4.7-2)에 나타낸 사주(Bar), 트로프(Trough), 단(Step), 버엄(Berm) 등이 있다.

사주와 트로프는 해안선에 평행하게 수중에 형성된 요철(凹凸)지형으로 볼록한 부분을 사주, 사주의 육지쪽 오목한 부분을 트로프라고 한다. 통상 사주가 발달하여 물 밖으로 들어나면서 육지에 연해 육지화되는 사주와 구별하여 해안선 밖(해측)에서 수중에 형성되는 것을 연안사주라 칭하는 경우가 많다.

나. 연안사주가 있는 부위에서는 수심이 얕으므로 쇄파가 발생하며 사빈 소파기능의 중요한 요소이다. 또한 사주는 해안선 부근의 모래가 침식되어 형성되는 지형으로서 사주가 소멸된 해안에서는 파랑의 쳐오름 증대가 두드러진다. 따라서 연안사주가 있는 지형에서는 해빈에서 진행되는 침식을 주의 깊게 살펴 볼 필요가 있다. 따라서 사주가 침식 등으로 유실된 곳에서 연안사주를 복원하기 위해서는 다량의 모래가 필요하므로 평소 연안사주 상황을 파악해 둘 필요가 있다.

다. 버엄은 정온기의 퇴적과정에서 파랑의 쳐오름 높이에 따라 형성되는 전빈부의 지형이 높아진 현상이며 단은 반대로 고파랑기의 침식과정에서 후빈과 전빈 사이에 형성되는 불연속적인 지형이다. 버엄은 양빈 시 후빈 높이를 너무 높게 조성할 경우에도 형성된다.

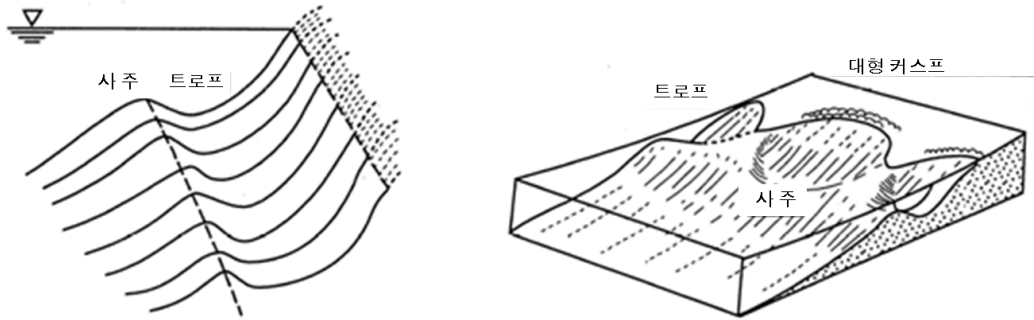


해설 그림 (4.7-2) 해빈의 일반적 단면과 명칭

## 설계조건

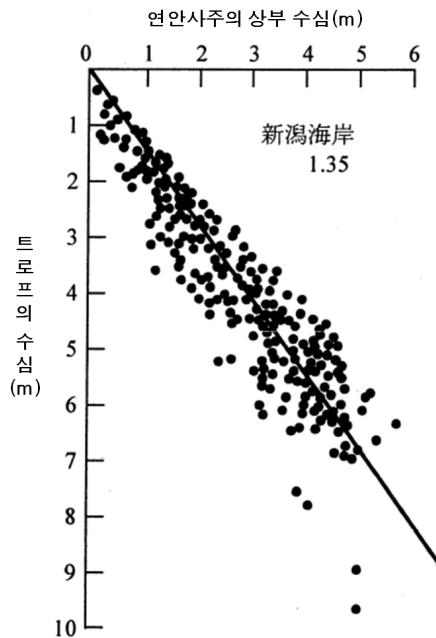
### ③ 연안사주를 중심으로 한 모래해빈 해안의 지형

가. 연안사주는 모래 해안에서 가장 중요한 특징적인 지형이며, 이곳을 중심으로 모래 해빈의 각부는 상호 관계하면서 형성된다. 연안사주의 형성상황을 평면적으로 보면 i)해안선과 거의 평행하게 직선형으로 길게 형성된 것[해설 그림(4.7-3)(a) 참조]과 ii)호형(弧形)의 주기적으로 연속해서 형성된 것[해설 그림(4.7-3)(b) 참조]로 나눌 수 있다. 특별히 후자를 호형사주(弧形砂州)라 부른다.



해설 그림 (4.7-3)(a) 해안선과 평행한 연안사주    해설 그림 (4.7-3)(b) 호형사주(茂木, 1971)

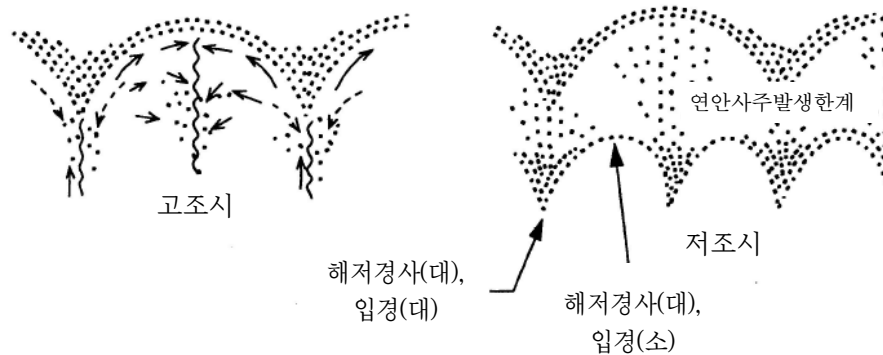
나. 연안사주는 횡단방향(On-offshore)으로 복수 열의 다단형식으로 형성된 경우가 많으며 이 경우에는 외해 측의 연안사주일수록 사주의 규모가 크게 형성되는 특징이 있다. 해설 그림 (4.7-4)은 연안사주 상부의 수심과 트로프의 수심과의 관계를 나타내는 사례로 두 수심의 비는 1.3~1.5 정도이다.



해설 그림 (4.7-4) 연안사주의 상단 수심과 트로프의 수심과의 관계(茂木, 1971)



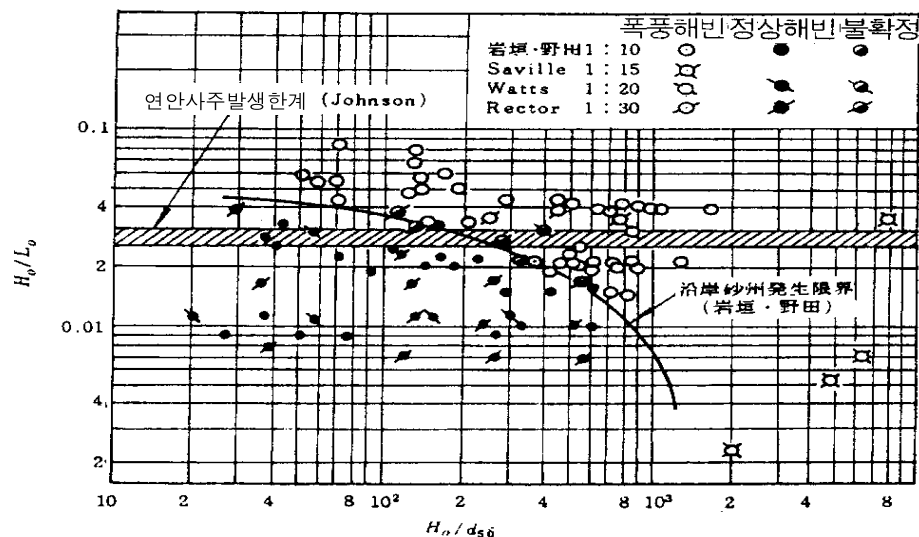
- 다. 호형의 연안사주가 형성된 곳에서는 해설 그림 (4.7-3)(b)과 같이 해안선도 연안 사주와 위상을 맞추어 파(波) 형상의 요철이 형성된 곳이 많다. 이를 커스프(Cusp) 또는 파형해안선이라 칭한다. 이 커스프의 호(弧)는 해측에서 가장자리에서 육측 만곡부 안쪽까지의 거리(해안선에 직각 방향)가 평균 15m 정도이고 최대 약 50m에 달하는 경우도 있다. 해안선 부근의 커스프는 호의 크기가 수m~수십m 정도의 지형도 있다.
- 라. 커스프는 해설 그림 (4.7-5)과 같이 파랑에 의한 수류(水流)가 해변을 타고 올라 갔다 해측으로 내려가는 과정을 반복하면서 형성되는 지형으로 앞의 연안사주에 대응하여 해안선이 파 형상으로 연속되는 궁형(弓形)의 요철을 형성한다. 모래 해변의 해안선 부근에서 종종 볼 수 있는 궁형의 파 형상 지형이 커스프이다.



해설 그림 ( 4.7-5) 커스프의 형상(茂木, 1971)

#### ④ 연안사주 발생한계

해설 그림 (4.7-6)은 연안 사주의 발생 한계를 나타낸 것이다(岩垣·野田, 1961). 그러나 연안사주 발생한계는 해역조건 등에 따라 결과의 편차가 크기 때문에 우리나라 해역의 특성에 맞는 연구와 그 성과활용을 통해 편차 줄이기를 위한 노력이 필요하다.



해설 그림 (4.7-6) 연안 사주의 발생 한계 (岩垣·野田, 1961)

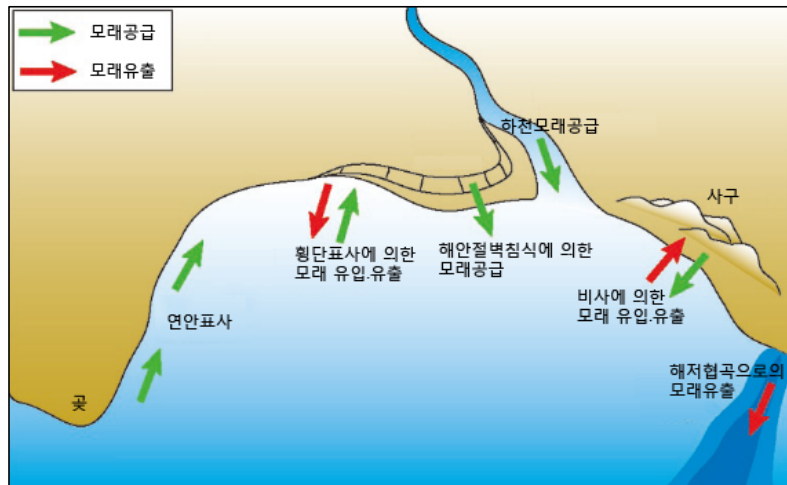
- ⑤ 해빈형상은 파랑의 처오름이나 월파 유량산정의 기초이며, 연안시설의 기초지반 높이 설정에 있어서의 중요한 제원이다. 해빈형상 제원 모두를 결정할 필요는 없으며 설계상 필요한 제원을 결정하도록 한다. 또한 형상 자체가 중요한 경우에는 그 제원을 설정한다. 한편 형상이 변해도 비슷한 성능을 발휘할 경우에는 형상을 규정하는 것이 아니라 그 성능을 규정하는 요소(예를 들어 단면적이나 해빈면적)를 설정한다.
- ⑥ 전빈과 후빈의 육지 쪽 영역은 고파랑에 의해 침식·후퇴하며 정온기에 퇴적·복원된다. 비교적 안정적인 후빈의 배후에는 식생대가 형성되어 바다에서 육지로 이어지는 중요한 생태적 천이영역이다. 후빈에는 호안이 설치된 경우가 많은데 후빈은 침식을 받는 잠재력이 있으며 중요한 생태계 공간이라는 점에 유의할 필요가 있다. 후빈 높이는 거의 파도의 처오름 한계에 버금간다. 전빈의 기울기는 저질의 입경과 파랑의 크기로 규정된다. 일반적으로 입경이 작을수록 또한 고파랑일수록 경사가 완만해진다.

### (3) 표사의 이동

- ① 자연 해빈은 큰 파랑의 내습에 따라 세굴되고 파랑이 잔잔해지면 퇴적되는 과정을 반복하면서 장기적으로는 비교적 평형된 지형으로 균형을 유지한다. 그러나 하천 개수(改修)에 의한 공급 토사의 감소나 임해 구조물의 건설에 따른 토사 공급 상황의 변화 및 파랑이나 흐름 외력의 변화가 생기면 균형상태가 깨어져 해빈은 새로운 평형상태를 향해 해빈 변형이 일어난다.
- ② 파랑이 외해로부터 해안으로 접근해 올 때 수심이 충분히 깊은 곳에서는 파랑의 해지면 가까운 부분의 물입자의 운동은 저질을 이동시킬 힘이 없다. 사또(佐藤, 1962)는 저질의 이동 형태를 표층 이동과 완전 이동의 두 상태를 정의하였는데 전자(前者)는 해지면 표층의 모래가 파 진행방향으로 집단적으로 소류되는 경우이고, 후자는 저질의 이동으로 인하여 수심 변화가 명확하게 나타날 정도로 뚜렷한 저질의 이동을 나타내는 경우이다.

### (4) 표사계와 표사의 연속성

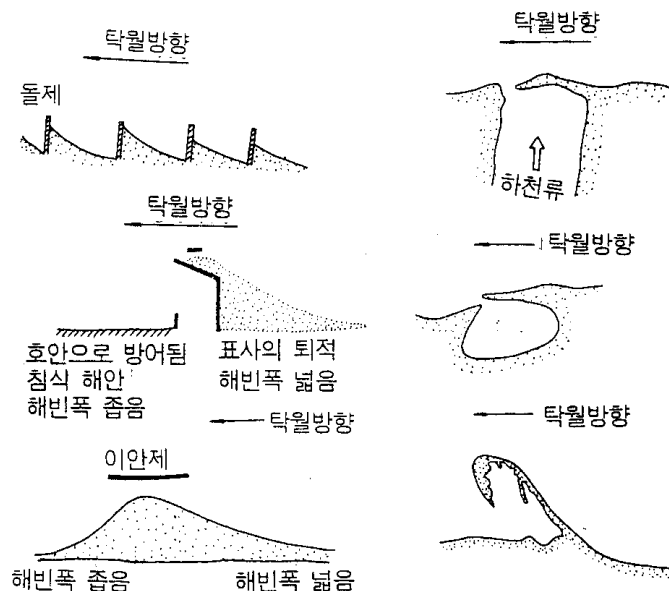
- ① 모래의 공급과 이동은 해설 그림 (4.7-7)과 같이 돌출 정도가 큰 곳이나 해저협곡은 연안표사가 끝나는 지점이므로 표사계(Littoral cell 또는 Sand transport cell)로 설정할 수 있다. 바다 쪽 경계는 수심변화한계수심(Closure depth) 개념을 도입하여 정할 수 있다. 수심변화한계수심은 표사이동은 발생하지만 장기적으로 유의한 수심의 변화가 나타나지 않는 해측의 수심을 말하며, 통상 표사이동의 한계수심보다는 얕은 곳에서 형성된다. 그러나 항 건설, 호안 설치, 준설 등에 의해 연안 혹은 횡단 방향으로의 표사이동의 균형이 깨진 곳에서는 수심변화한계수심이 변하기 때문에 보다 체계적인 해안표사 관리를 위해서는 평소 수심변화에 대한 데이터 축적이 중요하다.
- ② 하천이나 해식애에서 해안으로 공급된 토사는 표사현상으로 연안방향으로 운반되며 표사와 지형변화의 균형을 유지하면서 해빈을 유지, 형성하고 있다. 표사현상은 퇴적물 공급에서부터 표사계 밖으로 빠져나가는 손실(심해저로의 유출이나 준설, 비사에 의한 육지로의 퇴적 등)까지 연속하여 이어지므로 연안시설을 설치할 때에는 이 일련의 표사계통 안에서 그 시설이 미칠 영향까지도 파악해야 한다.



해설 그림 (4.7-7) 표사계 개념도(국토해양부, 2010)

## (5) 연안표사에 의한 지형변화

- ① 해안선(汀線)에 평행한 표사를 연안 표사라 한다. 연안표사는 해안선의 전진·후퇴에 영향을 미치며 장기간에 걸쳐 침식·퇴적을 수반하는 경우가 많다. 따라서 항만·해안 구조물을 축조할 경우에는 해당 해안의 연안표사의 탁월 방향[해설 그림(4.7-8)]과 연안표사량을 파악하여 축조할 구조물 주변 해안의 해빈 변형의 정도를 예측할 필요가 있다.

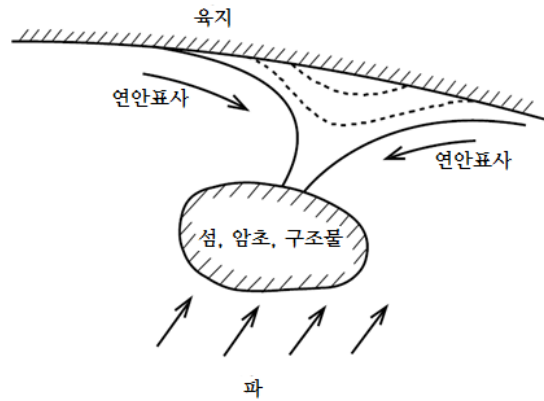


해설 그림 (4.7-8) 연안표사의 탁월방향을 나타내는 해안지형(日本港灣協會, 1999)

- ② 특별히 외해 측에 있는 섬이나 암초 그리고 섬과 같이 파랑을 차폐하는 이안제 등의 구조물 배후에서는 파랑의 차폐로 상대적으로 정온한 구간이 형성된다. 파랑이 차폐되지 않는 구간으로부터 차폐된 구간으로 향하는 흐름이 형성되고 이 흐름에 의해

## 설계조건

운반된 모래가 차폐 구간에 퇴적되어 해설 그림 (4.7-9)와 같이 해안선이 외해 측으로 전진하여 혀 모양의 지형이 형성된다. 이 혀 모양의 지형이 섬 등에 접속되어 톰볼로(Tombolo, 육계사주)가 형성된다. 톰볼로가 형성되면 연안표사의 일부 혹은 전부가 이곳에서 차단된다.



해설 그림 (4.7-9) 연안표사에 의한 톰볼로(Tombolo) 형성(日本港灣協會, 1999)

- ③ 연안표사량이란 해안에 비슷이 입사해 오는 파랑에 의해 생겨나는 해안에 평행한 표사의 양을 말한다. 연안표사는 내습파(來襲波)의 파향에 따라 해안을 따라 양방향(兩方向)으로 이동한다. 양방향 중 연중 이동량이 많은 방향을 탁월 방향이라 한다.
- (6) 표사의 이동형태 및 발생범위
  - ① 표사의 이동형태는 크게 부유사(浮遊沙)와 소류사(掃流砂)로 나뉜다.
  - ② 소류사란 퇴적물이 해저면과 접촉하면서 이동하는 형태로서 해저면에 규칙적인 요철지형인 연흔(漣痕, Ripple)이 형성된다. 소류력이 커지는 고파랑 시에는 연흔이 소멸되어 해저면뿐 아니라 퇴적물이 층상으로 이동하는 판류(Sheet flow)가 발달한다. 부유사는 와류에 의해 연흔을 구성하는 퇴적물이 부상·이동하는 형태 및 쇄파 시의 대규모 와류로 해저질이 부상하여 흐름에 의해 이동하는 형태로 나타난다.
  - ③ 표사는 외빈(外濱)에서는 파의 입사 방향으로 소류 형식으로, 외해 방향으로는 부유 형식으로 일어나며, 쇄파대에서는 쇄파에 의한 와류 흐름에 따라 해안 또는 외해로 향하거나 해안선을 따라 부유 표사가 뚜렷하게 나타나고, 전빈(前濱)에서는 소류 표사가 탁월하며 해빈류를 따라서 해안선과 평행하게 이동한다.
  - ④ 해빈 퇴적물은 파랑이나 흐름에 의한 해저면 수립자 운동에 의해 항상 이동하고 있기 때문에 표사 문제를 공학적으로 다룰 경우에는 유의수준의 표사가 발생하는 범위를 파악할 필요가 있다. 여기에는 파랑에 의해 모래이동이 일어나는 한계수심을 심해파 파고와 파장 및 퇴적물 입경으로 산정하는 日本土木學會(2000), USACE(2002) 등의 식을 참고할 수 있다.
  - ⑤ 표사의 이동한계상태는 해저표면에 돌출된 모래입자가 움직이는 초기이동, 대부분의 표층모래가 움직이는 전면이동, 모래가 파랑 진행방향으로 집단적으로 소류되는 표층이동, 수심변화가 명료하게 나타나는 완전이동으로 구분할 수 있다. 표사 발생

범위를 구할 때에는 표층이동한계수심을 파랑 작용에 의한 표사의 시작수심으로 하고 표층이동한계수심과 파랑의 처오름 높이 사이로 결정하는 경우가 많다. 또한 수회 측정결과를 이용해 단면지형 변동 폭을 구하여 표사발생범위를 구하는 것도 가능하다.

## [참고]

### (1) 표사이동한계수심 산정

- ① 주어진 파고에 대하여 해저모래(海底砂)가 움직이기 시작하는 이동한계 수심을 추정하는 여러 공식이 제안되어 있는데 대부분의 식들은 참고 식 (4.7-1)의 형태를 가지며 공식에 따라 계수  $n$ 과  $\alpha$ 의 값이 다르다.

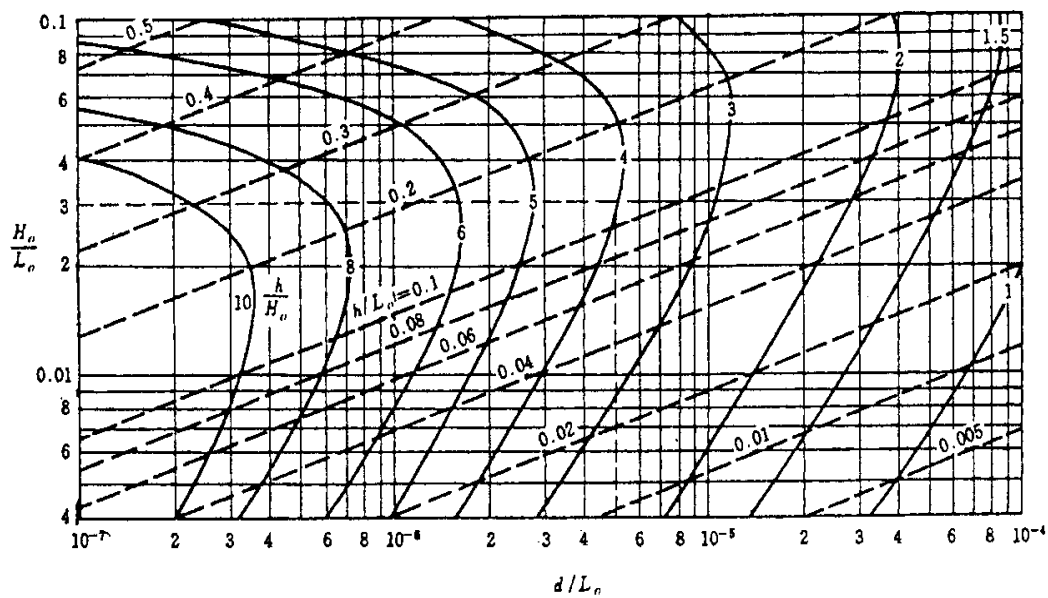
$$\frac{H_o}{L_o} = \alpha \left( \frac{d_s}{L_o} \right)^n \left( \sinh \frac{2\pi h_i}{L} \right) \frac{H_o}{H} \quad \text{참고 식 (4.7-1)}$$

여기서,  $H_o$  : 환산 심해파고(m)  
 $L_o$  : 심해파장(m)  
 $\alpha$  : 계수  
 $d_s$  : 저질의 평균 또는 중앙입경(m)  
 $h_i$  : 이동한계 수심(m)  
 $L$  : 수심  $h_i$ 에서의 파장(m)  
 $H$  : 수심  $h_i$ 에서의 파고(m)

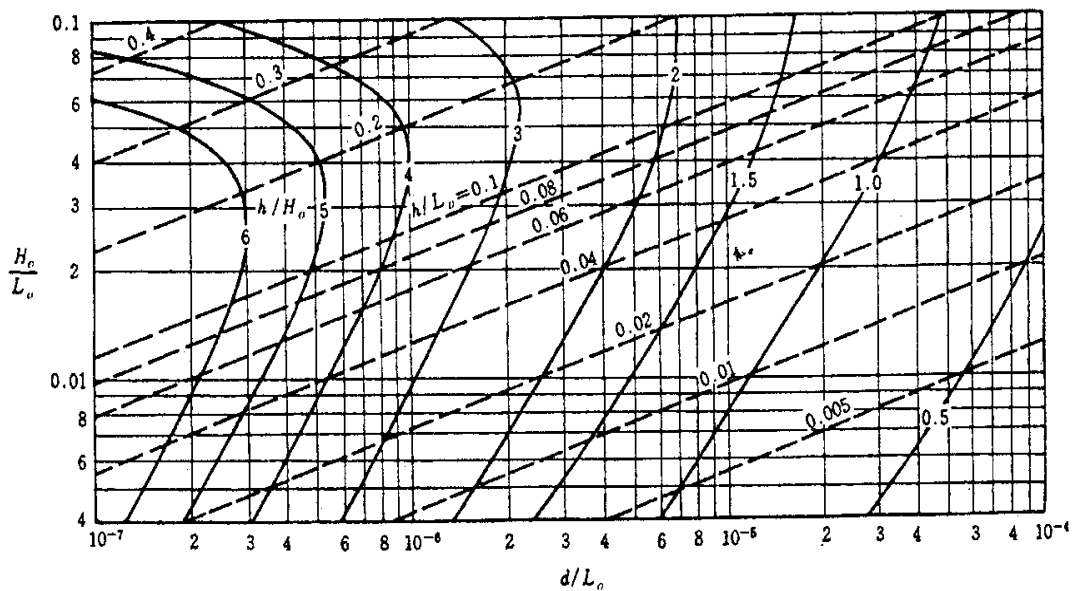
- ② 이동한계수심 공식에서 계수  $n$ 과  $\alpha$ 의 값은 연구자에 따라 차이가 크게 나타나며, 佐藤.田中(1962)에 의하면 참고 표 (4.7-1)과 같다. 참고 그림 (4.7-1)는 표층 및 완전 이동한계수심의 계산도표이다.

참고 표 (4.7-1) 이동한계 수심 공식의 계수  $n$  및  $\alpha$  값

$n$	$1/3$	
$\alpha$ 이동 형식	1.35 표층 이동	2.40 완전 이동



참고 그림 (4.7-1)(a) 표층이동한계수심의 계산도표(佐藤田中, 1962)



참고 그림 (4.7-1)(b) 완전이동한계수심의 계산도표(佐藤田中, 1962)

## 4.7.2 해빈형상 변화

해빈형상의 변화는 장기적인 변화와 단기적인 변화를 구분하여 고려하여야 한다. 일반적으로 장기변화는 광역적인 모래수지로부터 변동량을 추정하고 단기변화는 실측에 기초하거나 재현신뢰도가 높은 수치계산을 통해 추정한다.

### [ 해설 ]

#### (1) 일반사항

- ① 해빈은 자연외력의 변화나 인위적인 영향에 의해 복잡하게 변한다. 해빈형상 변화는 크게 연안표사가 탁월한 수개월 이상의 장기간 변화와 횡단표사 영향을 무시할 수 없는 수개월 미만의 단기적 변화로 나눌 수 있다.
- ② 단기적 변화는 세굴 등에 의한 구조물의 안전성에 대한 영향이나 파랑의 처오름 평가함에 있어 중요한 요소이며 장기적 변화는 해안침식 유무 판단에 중요한 요소가 되므로 이 모두를 파악하는 것이 중요하다.

#### (2) 장기적 변화

- ① 해빈형상의 장기적 변화로는 수 천 년부터 수만 년 이상의 초장기적 시간규모의 변화도 있으나 공학적인 시간규모로는 수십 년 규모를 대상으로 한다. 또한 이 시간 규모를 대상으로 하기 위해서는 공간규모도 표사 공급원인 하천의 유역까지도 포함하는 유사계(流砂系) 전체를 대상으로 할 필요가 있다.
- ② 이 시간규모의 해빈형상 변화는 연안표사의 불균형을 초래하는 다양한 인위적 원인에 의해 발생하는 경우가 많다. 침식의 원인을 규명하기 위해서는 해빈이 안정적인 시기 이후의 유역이나 연안역의 퇴적물 이동양상 변화를 항공사진 등의 자료를 통해 파악할 필요가 있다.
- ③ 해빈지형의 장기적 변화는 향후의 퇴적물 이동양상에 기초해 시공간규모 측면에서 재현성이 확인된 수치계산 또는 수리모형실험을 통해 추정한다.

#### (3) 단기적 변화

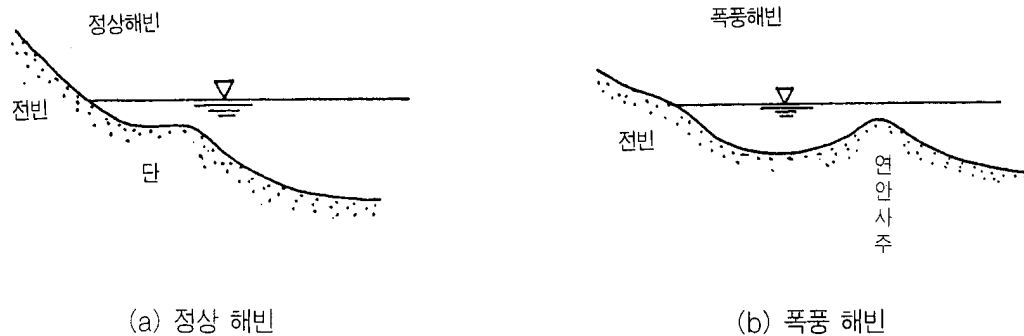
- ① 해빈지형의 단기적 변화로서는 계절변화나 일시적 변화가 있다. 표사는 단기적으로 고파랑기에 침식, 정온기에 퇴적되는 가역적인 변화를 보이는데 현저한 고파랑이나 구조물 신설로 표사의 균형이 깨진 경우에는 비가역적인 변화(외해로의 유출, 세굴)가 일어나기도 한다. 또한 단기적 변화는 장주기파나 조위 등 단기적인 해상 변동의 영향도 받는다.
- ② 현재의 기술수준으로 수치계산의 정밀도를 높게 기대하기는 어려우나 버엄이나 해안절벽의 형성 등 자연해빈의 단기적인 변화와 구조물 건설에 의한 단기 지형 변화를 예측하는 것은 어느 정도 가능한 단계에는 이르렀으므로 해빈지형의 단기적 변화는 수치계산으로 예측해도 좋다.

## 설계조건

③ 어떤 경우에도 기본적으로는 현지의 파랑특성 등 외력이나 지형특성 등 표사환경이 유사한 해안의 해빈지형 실측결과에 기초해 평가한다. 단 재현성이 확인된 모형실험 또는 수치계산 결과를 이용해도 좋다.

### (4) 정상해빈과 폭풍해빈의 평형 단면

해빈단면은 파랑 및 저질에 따라 폭풍해빈과 정상해빈으로 구분된다. 폭풍해빈은 연안 사주가 존재하고 전빈 경사가 완만한 특징이 있으며, 정상해빈에는 연안 사주가 존재하지 않고 단(Step)이 형성되며 전빈 경사가 급하다[해설 그림 (4.7-9)].



해설 그림 (4.7-9) 정상해빈과 폭풍해빈

### (5) 저질의 특성과 분포

① 저질 특성은 중경입경( $d_{50}$ ), 평균입경( $d_m$ ), 체분리 계수(분계수,  $S_o$ ) 및 편왜도(편왜도,  $S_k$ )로 나타낸다.

중양입경( $d_{50}$ ) : 입경 누적곡선 중 50%에 해당하는 입경

$$\text{평균입경}(d_m) : d_m = \frac{\sum_{p=0}^{100} d \Delta p}{\sum_{p=0}^{100} \Delta p}$$

$$\text{체분리 계수}(S_o) : S_o = d_{75} / d_{25}$$

$$\text{편왜도}(S_k) : S_k = d_{75} \times d_{25} / d_{50}^2$$

여기서,  $p$  : 누가백분율 (%)

$\Delta p$  : 누가백분율의 증가

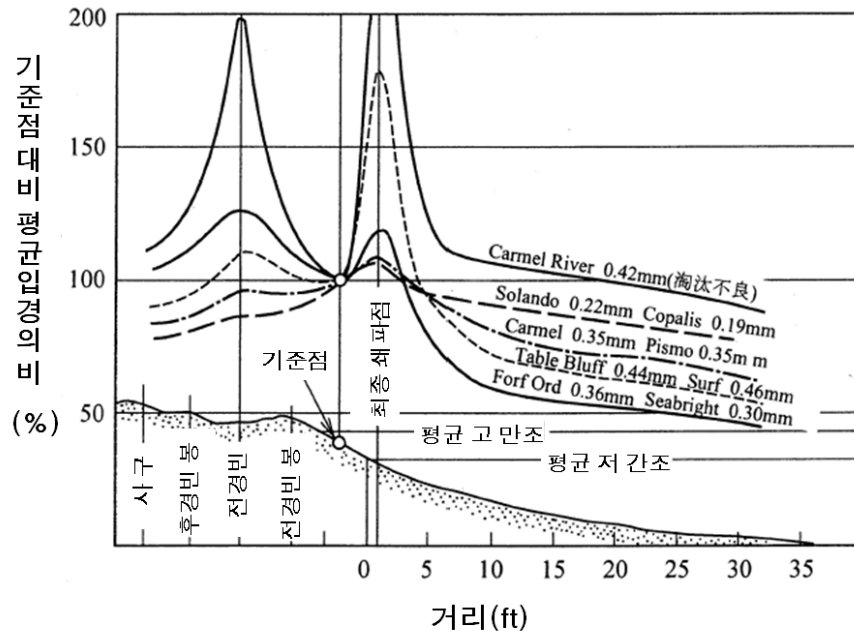
$d_{25}$  : 누가백분율이 25%에 해당하는 입경

$d_{75}$  : 누가백분율이 75%에 해당하는 입경

### ② 해안선과 직각방향 단면 저질의 입경분포

해설 그림 (4.7-10)은 Bascom(1951)이 미국의 태평양 해안에서 해안선에 직각방향 단면의 저질입경의 분포를 조사한 결과로 해안단면 상 부위별 저질의 입경분포 현황이다.





해설 그림 (4.7-10) 해안선과 직각방향 단면 상의 평균입경의 분포(Bascom, 1951)

#### (6) 표사의 탁월 방향

- ① 기상 또는 해상조건에 따라 파랑과 흐름이 변하고, 수심 차이에 의해서도 표사형태가 달라지므로 퇴적물은 매우 복잡한 이동을 하지만 일정기간 동안 평균적으로 보면 장소에 따라 특징적인 표사방향과 이동량이 나타난다. 예를 들어 1년 혹은 그 이상의 장기간 동안의 평균적인 표사현상을 보면 특정한 연안표사가 탁월한 경우가 많다. 이러한 연안표사 탁월방향과 표사량 자료는 장기적인 해안지형변화 예측에 이용된다.

#### ② 조사방법

##### 가. 파랑 또는 바람통계로 추정하는 방법

표사는 주로 파랑에 의해 발생하므로 파랑에너지플럭스의 연안방향 성분으로 표사의 탁월방향을 구한다. 가장 확실하게 이 방법을 적용하기 위해서는 장기간에 걸친 파랑 통계자료, 특히 파향 자료가 필요하다. 또한 파랑 통계자료가 없는 경우에는 바람의 통계를 이용한 파랑 추산도 가능하지만 연안 바람만으로 내습파를 추정하는 것은 불가능하므로 기상도 등을 이용하여야 한다.

##### 나. 지형특성에 의한 방법

곶이나 암초, 해안구조물 등 연안표사를 방해하는 지형이 있으면 표사 상류 해안선은 전진(먼 바다로 이동)하고 하류 해안선은 후퇴한다. 갑(岬)이나 하구 부근에 도류제가 없으면 하구는 표사 방향으로 기우는 경향이 있고, 갑 부근에서는 위쪽 사빈(砂濱)의 폭이 넓고, 아래쪽이 좁아지는 경향이 있다. 또한 섬이나 이안제에 의한 연육사주(Tombolo) 형상으로도 연안표사의 탁월방향을 알 수 있다.

다. 해저퇴적물 입경조성에 의한 방법

퇴적물은 파랑과 흐름에 의해 분류되고 해안에 따라 그 입경이 달라져 파랑 에너지나 유속이 큰 경우에는 입경이 큰 입자가 남고 세립질은 멀리 이동한다. 그 결과 일반적으로 연안표사는 탁월방향을 따라 입경이 점차 줄어든다. 또한 표사 공급원의 광물조성과 해안의 위치별 광물조성과의 비교를 통해 연안표사 탁월방향을 결정하는 방법이 있다.

(7) 표사량 산정식

① 표사의 탁월방향과 마찬가지로 일정기간 동안의 평균적인 표사현상에는 장소에 따라 특징적인 이동량이 나타난다. 그러나 파랑과 흐름에 의한 이동량을 구하기에는 아직 해명되지 않은 문제가 남아 있기 때문에 발표자별로 다양한 표사량 산정식이 존재하며 각 산정식은 한정된 조건에서의 현지관측결과 또는 실험결과에 의해 얻어진 것으로서 적용에는 한계가 있다. 또한 특정 산정식을 이용할 시에는 표사 현상에 대한 고찰과 현지의 지형변화결과에 의한 검증을 충분히 실시해야 한다.

② 표사량 산정식은 수치계산의 목적과 적용범위에 따라 다음의 3가지로 나뉜다.

가. 연안표사량 산정식

해안선에 직각방향인 특정 횡단면을 통과하여 해안선과 평행한 방향으로 이동하는 연안표사량은 수심에 따라 다르며, 쇄파대와 해안선 부근에서 연안표사량이 큰 분포를 보인다.

연안표사량은 파랑과 흐름조건, 해빈형상, 퇴적물 조건, 구조물 주변의 토사(土砂)량 변화, 과거의 준설량, 주변 해안의 표사량 변화 등에 따라 복잡하게 변하며 아직 충분히 규명되어 있지 않다. 연안표사량 산정식은 횡단면을 통과하는 연안표사의 총량(총연안표사량)과 파랑에너지플럭스(Wave energy flux)를 관련지은 것으로, 현장 관측결과 또는 수리실험결과를 이용한 경험상수가 부여된다.

보통 단면형상이 변하지 않는다는 가정 하에 해안선 등 등심선 이동에 의해 지형변화를 계산하는 해안선변화모델에서 이용되기 때문에 결과 해석 시 주의가 필요하다.

나. 횡단표사량 산정식

해안선 직각방향인 횡단면형상 변화를 예측하기 위해 파랑에 의한 횡단 방향 모래이동(국소 표사량)과 그 장소에서의 유체운동 혹은 에너지 확산을 관련지은 것으로서 많은 실험결과에 의해 매개변수 값이 얻어지고 있다. 해안의 침식·퇴적에 의한 단면형상 변화를 예측하는 횡단지형변화모델에서 이용된다.

다. 파랑·흐름 공존장에서의 표사량 산정식

국소 표사량 산정의 개념을 평면적인 파랑장 및 해빈류장으로 확장한 것으로서 파랑과 해빈류에 의한 모래이동을 고려할 수 있다. 구조물 주변의 지형변화 등 평면적인 지형변화를 예측하는 3차원 해빈변형모델에 이용된다.

## 【 참고 】

(1) 연안표사량 산정식은 다양한 접근 방식이 있다.

### ① 일반적인 형태

연안표사량은 파랑, 저질, 구조물 주변의 토사(土砂)량 변화, 과거의 준설량, 주변 해안의 표사량 등에 관한 자료를 충분히 검토하여 추정할 필요가 있다. 파랑에 의한 연안 표사량 개략 값의 추정 공식은 일반적으로 참고 식 (4.7-2)로 나타내며 공식에 따라 계수  $a$ 와  $n$ 의 값은 다르다.

$$Q_X = a E_X \quad \text{참고 식 (4.7-2)}$$

$$E_X = \sum k_r^2 \left( \frac{n_A w_o H_A^2 L_A}{8 T} \right) \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

여기서,  $Q_X$  : 연안 표사량

$E_X$  : 파 수송에너지의 연안 방향의 성분 (kN·m/m/s)

$k_r$  : 파랑 관측점(A)과 쇄파점 사이의 굴절계수

$n_A$  : 파랑 관측점(A)에서의 군속도(郡速度)와 파속(波速)의 비

$w_o$  : 해수의 단위체적 중량(t/m<sup>3</sup>) =  $\rho g$

$H_A$  : 파랑 관측점(A)에서의 파고(m)

$L_A$  : 파랑 관측점(A)에서의 파장(m)

$T$  : 파의 주기(sec)

$\alpha_b$  : 쇄파점(b)에서의 파의 입사각(°)

연안 표사량 공식에서 계수  $a$ ,  $n$ 의 값과  $Q_X$ ,  $E_X$ 의 단위는 참고 표 (4.7-2)와 같다.

참고 표 (4.7-2) 연안 표사량 공식의 계수  $a$ ,  $n$ 의 값과  $Q_X$ ,  $E_X$ 의 단위

공 식	a	n	$Q_X$ 의 단위	$E_X$ 의 단위
Savage (1962)	0.022	1.0	m <sup>3</sup> /일	t·m/m/일
Sato and Tanaka(1966)	0.03	1.0	m <sup>3</sup> /일	t·m/m/일
U.S. Army Coastal Engineering Research Center(1977)	0.04	1.0	m <sup>3</sup>	t·m/m

### ② 미 육군 공병단의 CERC식(U.S. Army Coastal Engineering Research Center)

가. Komar-Inman(1970)이 제안한 CERC식이 가장 많이 사용되고 있으며, 연안표사량은 쇄파점에서의 파랑에너지플럭스의 연안방향 성분을 이용하여 다음과 같이 산정한다.

$$Q = K \frac{1}{(\rho_s/\rho - 1)(1 - \lambda)} \frac{H_b^2 C_{gb}}{8} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad \text{참고 식 (4.7-3)}$$

## 설계조건

여기서,  $Q$  : 단위시간당 표사체적( $m^3/s$ )

$H_b$  : 쇄파파고

$C_{gb}$  : 쇄파점에서의 파군속도

$\alpha_b$  : 쇄파점에서 해안선에 대한 파랑 입사각

$\rho_s, \rho$  : 퇴적물과 해수밀도

$\lambda$  : 해저퇴적물 공극률

$K$  : 해안특성에 의해 변하는 무차원 경험상수

나. CERC 산정식이 범용적으로 사용은 되고 있으나 적용신뢰도를 높이기 위해서는 현장 실측자료를 이용하여 경험상수  $K$ 를 적절히 산정하여야 한다. CERC식이 고려하지 않는 입경, 해빈경사, 파형경사, 쇄파형태 등을 고려하는 산정식도 있으며 이에 대해서는 국토해양부(2010)의 연안정비사업 설계 가이드북을 참고할 수 있다.

③ 특히 국토해양부(2010)는 CERC식의 적용상 한계에 대해 자세히 정리하고 있는데, CERC식을 이요할 경우 주의사항으로 참고할 수 있으며, 주요 내용은 다음과 같다.

가. CERC식의 한계가 지속적으로 보고되고 있으며, 현장실험을 통해 환경에 따른  $K$ 값의 변동 폭이 1.0~10-5에 달함에 따라 CERC 식 자체가 유용하지 않다고 주장하는 연구성과도 있다.

나. CERC에서도 멕시코만과 대서양 남부 29개 해안에서의 현장실험에서 CERC식이 표사량을 실제보다 3-38배 과대하게 산정하는 경우도 있는 등  $K$ 값 변동 폭이 크다는 점을 지적하고 있다.

다. CERC식에 대한 신뢰성이 지속적으로 의심받고 새로운 산정식이 계속 발표됨에 따라 CERC는 대표적인 4개의 산정식에 대한 신뢰도를 이동상 수리모형실험을 통해 비교하였고, 일부 조건에서 CERC식이 실험치보다 7배 이상 높게 산정한 반면 Kamphuis(1991) 식이 비교적 신뢰도 높게 산정되었다.

④ 한편 구조물 주변에서의 쇄파파고 연안방향의 변화를 고려할 수 있도록 CERC식을 수정한 Ozasa·Brampton 식(Ozasa·Brampton, 1980)이 있다.

⑤ 우리나라와 같이 해안선이 복잡하고 해안구조물군의 영향을 크게 받는 해안에서는 해안선변화 모델의 적용성에 대한 다양한 검토가 필요하다.

### 4.7.3 구조물 주변의 세굴

- (1) 호안, 제방, 방파제, 방사제, 돌제 및 도류제 등의 구조물 주변의 세굴에 의해 구조물이 영향을 받을 염려가 있는 경우에는 세굴에 대해 고려하여야 한다.
- (2) 해빈에 대한 구조물의 설치 위치에 따라 파랑 작용이 다르기 때문에 세굴 특성과 규모도 달라지므로 세굴 방지대책 선정 시 주의해야 한다.

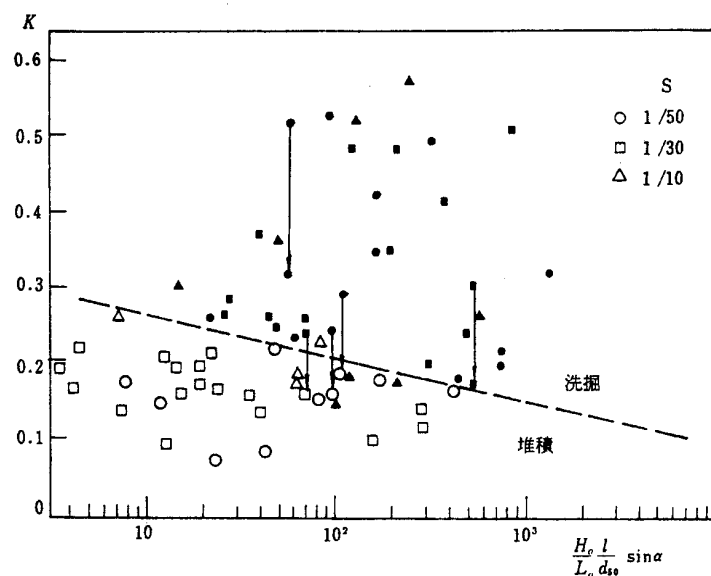
#### [해설]

- (1) 자연 해빈에 작용하는 파랑의 특성은 장기적으로는 각 해안마다 거의 일정한 것으로 생각할 수 있어 이에 대해 해빈 형상도 거의 안정한 것으로 되어 있다.
- (2) 세굴은 구조물이 설치되어 외력과 지형의 균형이 국소적 또는 광역에서 깨어지기 때문에 발생한다. 세굴의 특성과 발생 정도는 구조물의 종류, 설치 방향 및 위치 등에 따라 달라지므로 세굴발생 평가 및 대책에 주의해야 한다.

#### [참고]

##### (1) 호안 전면의 세굴

호안 전면 세굴은 파의 반사율과 밀접한 관계가 있음이 알려지고 있다. 예를 들면 참고 그림 (4.7-2)은 佐伯 등(1985)이 제안한 것으로서 호안의 반사율  $K$ 와 파형경사  $H_o/L_o$ , 저질의 중앙입경  $d_{50}$ , 호안 경사  $\alpha$  ( $\alpha = 90^\circ$ 인 경우 직립제), 평형 단면시의 파의 처오름 위치로부터 호안 설치 위치까지의 거리  $l$  로 표시되는 파라미터  $(H_o/L_o)(l/d_{50})\sin\alpha$  에 의해 전면의 세굴·퇴적을 판정하기 위해 제안된 것이다. 이 그림에서 보듯이 다른 조건이 같다면 제체가 경사된 경우가 전면 세굴에 대해 유리한 것을 알 수 있다.



참고 그림 (4.7-2) 호안 제각부의 세굴·퇴적의 판정 조건(佐伯 등, 1985)

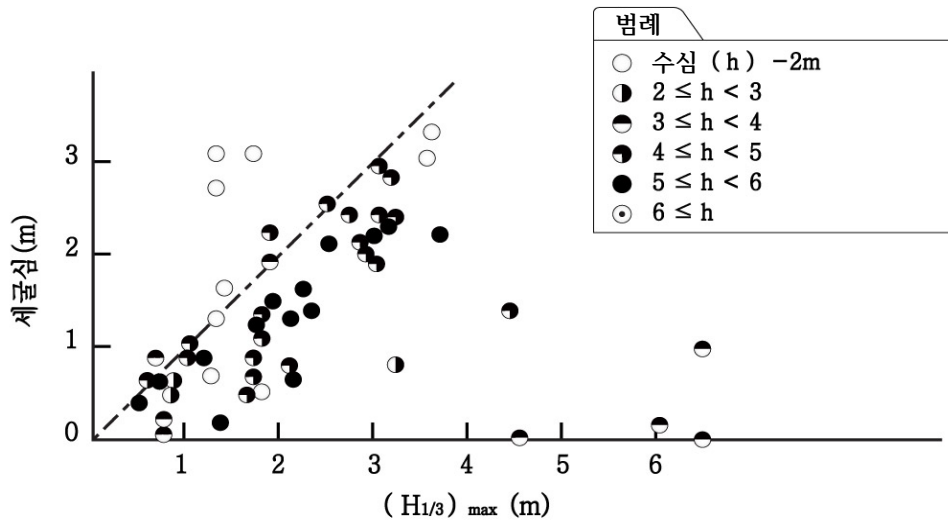
## 설계조건

### (2) 방파제 주변의 국소(局所) 세굴

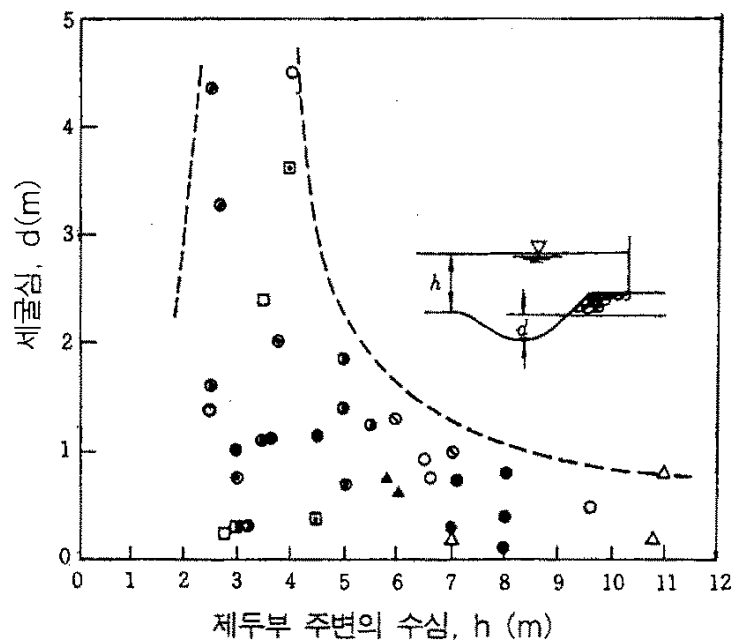
#### ① 주로 쇄파 영역에서 생기는 세굴

##### 가. 방파제 두부(頭部)의 국소 세굴

참고 그림 (4.7-3)는 다나까(田中)의 방파제 두부(頭部) 주변의 세굴심(洗堀深)의 최대값과 세굴심(洗堀深) 측정 시로부터 15일전까지의 유의파고의 최대값 ( $H_{1/3}$ )<sub>max</sub>와의 관계를 나타내는 그림이다. 참고 그림 (4.7-4)는 방파제 두부(頭部) 주변의 수심과 세굴심(洗堀深)과의 관계를 나타낸다. 세굴심이 최대가 되는 것은 수심 3~5m 부근(쇄파대)에 두부가 존재할 때이다.



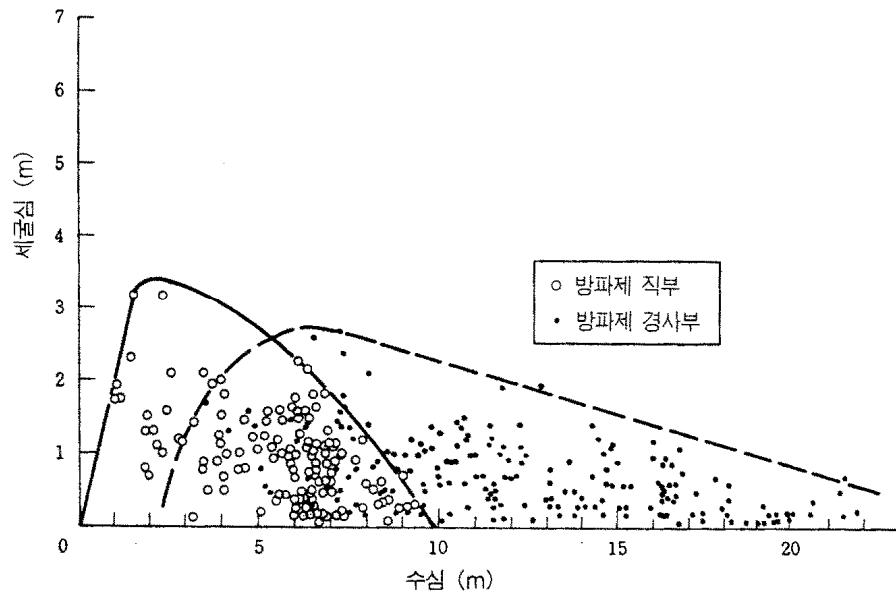
참고 그림 (4.7-3) 방파제 두부의 세굴심과 15일전까지의 최대 유의파고와의 관계(田中, 1974)



참고 그림 (4.7-4) 방파제 두부에서의 세굴심과 수심과의 관계(田中, 1974)

#### 나. 방파제 전면(前面)의 세굴

참고 그림 (4.7-5)은 방파제 전면의 세굴심(洗堀深)과 수심과의 관계를 나타낸다. 그림에서 검은 원(●)은 방파제 경사부(傾斜部) 주변의 세굴 상황을 나타내는데 수심 7m 지점의 방파제 굴곡부에서 세굴이 최대이고 외해로 향해 세굴심이 점차 감소하고 있음을 알 수 있다. 한편, 빈 원(○)은 방파제 직부(直部) 전면(前面)의 세굴심(洗堀深)으로서 수심 2m 정도에서 최댓값을 나타내고 이 보다 얕아지거나 깊어지면 세굴심(洗堀深)이 감소하는데 세굴심(洗堀深)이 최대인 곳은 연안 사주가 존재하는 곳에 해당된다.

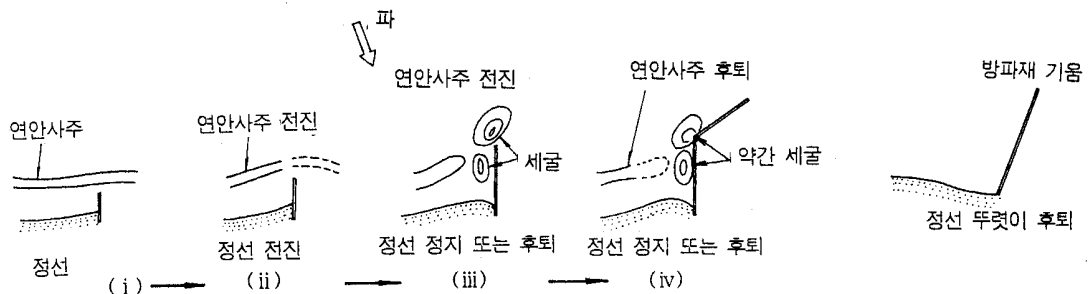


참고 그림 (4.7-5) 방파제 전면 세굴심과 수심과의 관계(田中, 1974)

#### 다. 방파제 외측의 국소 세굴

참고 그림 (4.7-6)은 방파제 연장 공사에 따라 생기는 현저한 국소 세굴의 예이다.

- (가) 방파제 두부(頭部) (특히 두부(頭部)가 쇄파대에 있는 경우 현저함)
- (나) 방파제 직부 주변 (특히 방파제가 연안 사주를 횡단하는 지점 부근에서 현저함)
- (다) 잠제의 주변 (특히 항 내측에서 현저함)
- (라) 방파제의 굴곡부이다.

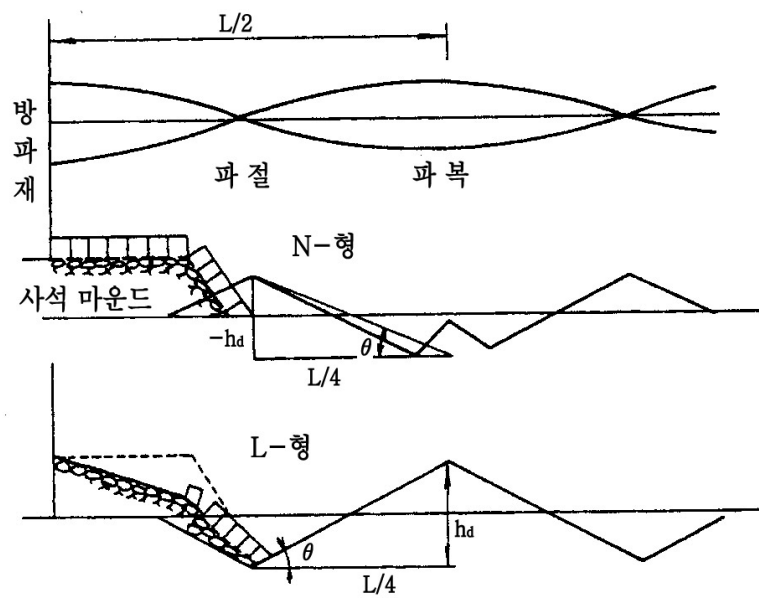


참고 그림 (4.7-6) 방파제 외측에서의 국소 세굴(Sato · Irie, 1970)

## 설계조건

### ② 중복파 영역에서의 전면 세굴

직립벽 전면의 세굴은 그 설치 수심이 증가하여 중복파 영역으로 이동함에 따라 감소하는 경향을 나타낸다. 해저에서 입사파의 최대유속  $U_b$ 와 해저질의 침강속도  $w$ 와의 비  $U_b/w$ 가 기본지표인데,  $U_b/w < 10$  인 경우는 반대로 중복파의 파절에서 퇴적, 파복에서 세굴(N형 세굴)이 일어나고,  $U_b/w > 10$  인 경우는 중복파의 파절(波節, node)에서 세굴, 파복(波腹, antinode)에서 퇴적(L형 세굴)이 일어나는 것을 보여준다[참고 그림 (4.7-7)].



참고 그림 (4.7-7) 중복파에 의한 세굴의 제원(入江 등, 1984)



#### 4.7.4 해빈변형 예측

해빈변형 예측은 예측결과 및 현지의 과거 해빈변형 상황 등을 고려하여 종합적으로 검토하여야 한다.

##### [해설]

- (1) 해빈의 변형을 예측하는 방법으로는 경험공학적 예측, 수리모형실험(특히 이동상 모형 실험)에 의한 예측, 수치모형실험에 의한 예측이 있다.
- (2) 해빈의 변형 상황은 해당 지역의 특성에 크게 지배되는 측면이 매우 강하므로 한 가지 예측방법에 의존하는 것은 적절하지 못하며, 두 개 이상의 예측방법을 조합하고 현지의 가능한 한 많은 정보를 종합적으로 검토하여 해빈변형을 예측하도록 노력해야 한다.
- (3) 또한 수리모형실험이나 수치모델링을 통해 해빈변형을 예측하는 데는 많은 제약과 한계가 있음에 유의해야 한다.

##### [참고]

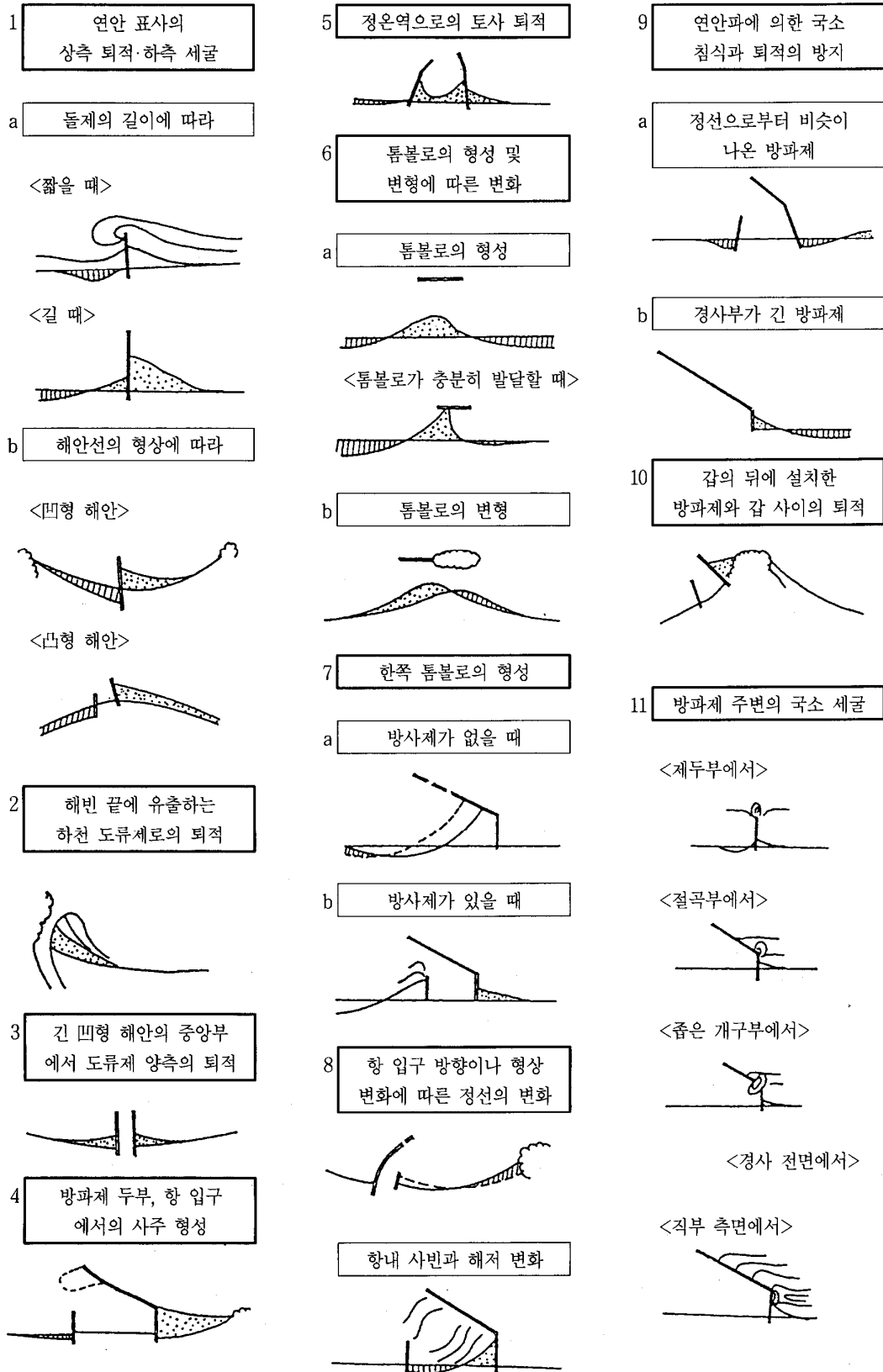
##### (1) 경험공학적 예측

경험공학적 예측 방법은 과거에 일어난 해빈 변형의 사례를 수집하고 이를 정리·해석함과 동시에 대상 해안의 특성 및 그 곳에 축조되는 구조물의 배치 형상이나 구조적 특징을 과거 사례와 대조하여 그 유사성으로부터 그 구조물을 축조함으로써 발생할 수 있는 해빈변형을 유추하는 방법이다.

구조물 설치에 따른 복잡한 해안지형 변형을 다수의 해안에서의 실제 발생사례를 이용하여 보다 일반적인 지형변화 양상으로 유형을 분류하는 연구가 있었다. 실제 항만 주변의 지형변화는 전형적인 몇 가지의 패턴으로 분류할 수 있다.

참고 그림 (4.7-8)는 전형적인 몇 가지 유형을 정리한 것이며, 이를 이용하면 정성적인 해빈변형이 가능하다.

## 설계조건



참고 그림 (4.7-8) 구조물에 의한 지형 변화의 유형(日本港灣協會, 1999)

## (2) 수리모형실험 (특히 이동상 모형실험)

수리모형실험 특히 이동상 모형실험에 의한 해빈변형 예측은 상사칙(相似則)의 문제가 아직 해결되어 있지는 않지만, 구체적인 지형 변화가 수조 내에서 재현되어 예측하여야 할 형상을 시각적으로 이해할 수 있는 장점이 있다.

상사칙의 문제가 남아있기 때문에 실제 실험에서는 모형을 왜곡하거나 어느 특정부분만 주목하는 등의 방법을 구사하며, 다양하게 제안되어 있는 상사에 관한 경험식으로 시산한 결과를 고려하면서 신뢰도가 가장 높은 것으로 판단되는 모형을 제작한다. 이후에도 향후의 해빈변형을 예측하기 전에 실험 대상해역에서 과거에 발생한 지형 변화를 모형 내에서 재현하고 모형의 운동학적 상사성의 타당성을 확인해야 한다. 운동학적 상사성의 정도는 재현정도로부터 판단한다.

따라서 실제의 해빈변형의 재현성을 검토하는 예비실험이 충분히 주의 깊게 행하여지고 또 그 신뢰성이 인정된다면 공학적으로 충분히 유효한 예측이 가능하며 특히 다음과 같은 문제에 대처할 수 있다.

- ① 해빈에 해안 구조물이 설치되었을 때 지형 변화의 정성적 영향 범위
- ② 돌제, 이안제 등의 해안 침식방지 효과에 관한 대체안의 상대 비교
- ③ 대규모 해양 구조물 배후의 해안선 변화에 대한 정성적 평가
- ④ 그러나 다음과 같은 경우의 해빈변형 예측은 곤란한 것으로 알려져 있다.

- 가. 파랑이 큰 외해에 면한 대규모 인공 해빈의 안정 단면형상의 예측
- 나. 파랑이 큰 외해에 면한 해빈의 대규모 해양 구조물에 의한 변형 문제
- 다. 항로·항내 매몰량의 예측과 그 대책의 효과
- 라. 마리나 등 소규모 항만의 정량적 매몰·유지 대책
- 마. 투과식 이안제, 잠제 등의 효과에 관한 실험

신뢰성 있는 이동상 모형실험을 위해서는 구조물에 대한 실험뿐만 아니라 실험을 수행하는 전문가의 다양한 시도를 통해 쌓은 경험과 관련되는 깊은 식견이 요구된다는 점을 간과해서는 안 된다.

## (3) 수치모형실험에 의한 예측

- ① 수치모형실험의 경우 쇄파에 의한 해빈류와 같이 아직 충분히 해명되지 않은 현상이나 이에 수반되어 일어나는 해안 침식, 항내 매몰에 대하여는 지배적 현상에 주목하여 여러 가정을 도입하고 모델화할 필요가 있다. 따라서 수리실험과 같이 장래 예측을 실시하기 전에 대상 해안에서 과거에 나타난 지형 변화를 재현하기 위한 계산을 실시하여 모델의 타당성을 검증이 필요하다.
- ② 현재 수치모형실험은 크게 둘로 구분된다. 해안선(汀線) 변화를 예측하는 것(해안선 변화 예측모델, 해안선 변화 예측모델 또는 해안선이라는 하나의 선의 변화를 예측하는 1-Line theory)과 3차원적인 수심변화 즉, 해빈 지형변화를 예측하는 것(영역모델, 3차원 모델, 해안 지형변화 예측모델)이 있다.

③ 해안선 변화 예측모델은 횡단방향(On-offshore)의 표사를 무시하고 연안 표사량만을 고려하여 해안선의 장기적 변화를 예측 하는 것이다. 이 모델에서는 에너지 플럭스(Flux)의 연안방향 성분에 의해 생기는 연안 표사량의 수지(收支)에 따라 해안선이 이동하여 최종적으로 파가 해안선에 대해 직각으로 입사하도록 해안선 방향이 변한다. 이 모델은 비교적 자주 사용되고 있으며 예측결과도 많이 실용화되고 있다. 그러나 예측정도를 높이려면 충분히 장기적인 해안선 변화에 관한 자료의 축적이 전제되고 이 자료에 의한 재현 계산이 필요하다.

④ 해안선 변화 모델에서는 쇄파대의 제 현상을 Black box로 취급하고 있는데 반해, 영역 모델(3차원 모델)에서는 쇄파대의 제 현상 특히 다음의 현상을 적절하게 정식화할 필요가 있다.

가. 파랑의 천수변형을 고려한 굴절, 회절, 쇄파, 쇄파후의 파랑 변형

나. 쇄파에 수반되는 파랑 에너지의 감쇄, 해저면의 조도계수

다. 해빈류의 평면 및 수직 분포

라. 소류사, 부유사 등의 기구

그러나 아직 미해명 부분이 많고 여러 가정 하에 계산을 수행하고 있는 현실이다. 따라서 결과를 얻을 때까지의 여러 가정을 이해하지 않으면 잘못된 결과를 이용할 염려가 있으므로 이에 유의하여야 한다.

⑤ 파라에 의한 표사현상에 대한 수치모형실험에 의한 재현성이 다른 분야에 비하면 아직 충분한 수준의 정확도로 재현하지 못하며 국토해양부(2010)의 연안정비사업 설계 가이드북에서 수치모형실험에 의한 예측방법에 대한 기술현황 및 주의사항에 대해 자세히 언급하고 있으며 특히 다음과 같은 주의사항에 참고할 필요가 있다.

가. 해안수리현상에 관한 다양한 수치모형 중 퇴적물이동 및 지형변화모형의 신뢰도가 가장 낮다. 이는 포텐셜 흐름의 가정이 붕괴되는 쇄파역에서의 흐름 등 외력에 대한 현상이해와 수치모의가 불완전하며 입경과 분급도, 해빈경사, 수심, 지하수위 등 다양한 인자가 퇴적물 이동에 영향을 미침과 아울러 퇴적물 이동에 따른 지형변화는 다시 수리조건에 영향을 미치는 등 관련현상이 매우 복잡하기 때문이다.

나. 현존하는 지형변화에 대한 수치모형은 연안표사 또는 횡단표사 영향만을 고려하여 해안선 또는 횡단면 변화만을 예측하는 모형과 파랑-해빈류-표사-지형변화를 피드백시키는 소위 영역모형(Coastal area model)으로 구분된다.

다. 영역모형의 경우 대부분이 해안선을 고정경계로 처리하는 한계가 있지만 저명 국외 상용모형 개발회사가 직접 용역을 수행하는 경우에는 가능한 방법을 동원하여 해안선변동을 모의하기도 한다. 예를 들면 경험식을 도입하여 해안선을 이동경계로 처리하는 방법도 시도하고 있다. 그러나 우리는 아직 그렇지 못하여 침식방지사업의 효과를 예측하는 것임에도 모형은 해안선 변화를 모의하지 못하며 모형결과가 후보안 비교에 만족하고 있는 실정이다.

라. 해안선 변화모형은 연안표사량 경사로 인한 해안선 장기변화를 예측하는 모형으로서 공학적 활용도가 높은 편이나 모형의 특성으로 인하여 계획 안의 상대비교나 최종안 선정 시에는 큰 역할을 하지 못하여 왔다. 이 모형을 이용하여 폭풍파 내습시나 횡단표사에 기인한 해안선 후퇴를 재현하려는 시도도 있어 왔다.

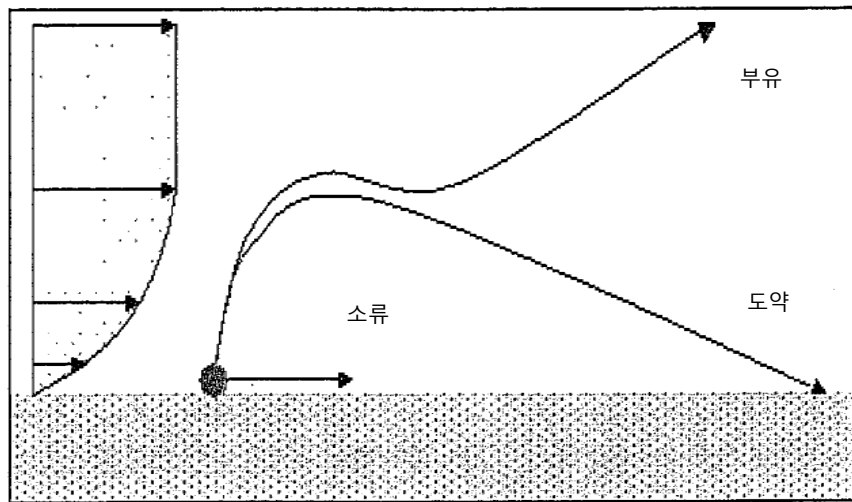
- ⑥ 기존의 영역모형이 해안선을 고정경계로 취급함으로서 해안선의 이동을 모의하지 못한 문제점을 해결을 시도한 연구도 있다. 예를 들면 Kim et al. (2015)은 해안선 전진후퇴모의 기법을 개발한 바 있으며, 해역에 따라 충분한 검증을 거친다면 해당 해역에서의 사용도 가능할 것이다.

#### 4.7.5 비사

- (1) 해안지형에 미치는 비사의 영향이 크고 연안시설에 의한 비사량 변화가 예상될 경우에는 이를 검토하여야 한다.
- (2) 비사량은 실측하여 구하거나 또는 현지의 바람 및 저질의 특성 등을 고려하여 비사량 산정식을 이용하여 구한다.

#### 【 해설 】

- (1) 비사도 표사와 같이 부유이동이나 소류이동으로 구분되며, 공기와 모래의 밀도차로 인해 모래가 공중에서 높게 날 수 없으며 또한 낙하속도가 크므로 모래가 표면을 접촉하면서 이동하는 도약이동에 의한 이동량이 비사량의 대부분을 차지한다[해설 그림 (4.7-11)]. 비사량은 바람과 퇴적물 특성, 습윤상태에 의해 좌우된다.
- (2) 설계에 필요한 비사량은 일정기간 예를 들어 계절풍이 탁월한 수개월이나 1년간의 비사량이다. 맑은 날과 흐린 날이 반복적으로 발생하며 또한 조석이나 파랑 처오름에 의해 습윤상태가 끊임없이 변하는 해빈에서 비사량을 정밀도 높게 산정하는 것은 매우 어렵다.



해설그림 (4.7-11) 모래입자의 비사 개념도

- (3) 비사량 산정지점에서 풍속이 관측되고 있지 않아 인접한 기상관측소의 바람 자료를 이용할 경우, 두 지점의 풍향 차이를 명확히 파악하기 위해 현지 관측 혹은 계산 등을 통한 비교검토를 해야 한다. 또한 현장 저질특성은 연안방향을 따라 달라지므로 산정 범위의 현지 모래 입경분포를 구해 둔다. 더욱이 산정식은 한정된 바람과 저질 특성, 습윤상태에서 얻어진 현장관측결과 및 실험결과를 통한 경험상수가 포함되어 있으므로 적절한 계수를 정하기 위해 현장실험을 통한 비교검증을 실시하는 것이 바람직하다.

## [참고문헌]

- 1) 국토해양부(2010), 연안정비사업 설계 가이드북
- 2) Bascom, W. N.(1951), The relationship between sand size and beach - face slope , Transactions of AGU , Vol.32, No.6 , pp.866 ~ 874.
- 3) Kamphuis, J.W.(1991), Alongshore sediment transport rate. J. Waterways, Port, Coastal and Ocean Eng. 117(6): 624-641.
- 4) Kim, H., Lee, K.P., Lee,S.H., Jin, J.-Y. and Jang, C. (2015). Modelling shoreline movement using two extreme beachface slopes. Vibroengineering Procedia, Vol. 6, pp.272-277.
- 5) Komar, P.D. and Inman, D.L.(1970), Longshore sand transport on beaches. J. Geophys. Res. 75(30): 5914-5927.
- 6) Ozasa, H. and Brampton, A.H.(1980), Mathematical modelling of beaches backed by seawalls. coastal eng., 4: pp. 47 ~ 63.
- 7) Sato, S. and Irie, I.(1970), Variation of topography of sea-bed caused by the construction of breakwaters , Coastal Engineering in Japan , Vol.13 , pp.141 ~ 152.
- 8) Sato, S. and Tanaka, N.(1966), Field investigation on sand drift at Port Kashima facing the Pacific Ocean, Proc. 10th Conf. on Coastal Eng. , pp.595-614.
- 9) Savage, R. P.(1962), Laboratory determination of littoral-transport rate , Proc. of ASCE. , Vol.88 , WW2.
- 10) USACE(2002), Coastal engineering manual. part 3-2 longshore sediment transport.
- 11) U.S. Army Coastal Engineering Research Center(1977), Shore protection manual , Vol.1 , Department of the Army Corps of Engineers.
- 12) 入江 功, 灘岡和夫, 近藤隆道, 寺崎賢次(1984), 重複波による防波堤前面での二次元的海底洗掘, 港湾技術研究所報告 Vol.23 No.1 , pp.3 ~ 52.
- 13) 岩垣雄一, 野田英明(1961), 海岸変形の実験における縮尺効果の研究, 第8回 海岸工学講演会講演集 , pp.139-143.
- 14) 田中則男(1974), 砂浜港周辺における海底および海浜の変化, 昭和49 年度港湾技術研究所講演会講演集 , pp.1 ~ 46.
- 15) 佐伯 浩, 佐藤俊哉, 小野敏行, 浜中健一郎(1985), 海岸護岸堤脚部の洗掘に関する実験的研究, 第32 回海岸工学講演会論文集 , pp.440 ~ 444.
- 16) 佐藤昭二(1962), 港湾建設に関連した漂砂の研究, 港湾技術研究所資料 No.5.
- 17) 佐藤昭二, 田中則男(1962), 水平床上における波の移動, 第9回 海岸工学講演会講演集 , pp.95-100.
- 18) 本間 仁, 堀川清司(1985), 海岸環境工学, 東京大学出版会.
- 19) 日本港湾協會(2007), 港湾の 施設の 技術上の 基準.同解説.
- 20) 日本土木學會(2000), 海岸施設設計便覧, pp. 105 ~ 116.
- 21) 茂木昭夫(1971), 海洋科学基礎講座7 浅海地質学汀線と碎波帯, 東海大学出版会 , pp.109 ~ 252.

## 4.8 상재하중

### 4.8.1 상재하중 일반사항

- (1) 항만시설물의 설계에서 고려하는 상재하중은 대상으로 하는 구조물에 어떤 종류의 상재하중이 어떤 상태에서 작용되는 지를 고려하여 결정한다.
- (2) 항만시설물의 설계에서는 상재하중을 자중과 재하하중으로 나누어 취급한다.

#### [해설]

상재하중은 안벽의 원호활동에 대한 안정계산이나 잔교의 빔이나 슬래브 등의 설계 등에 큰 영향을 미치므로 상재하중의 종류나 크기를 결정할 때에는 주의를 요한다.

#### [참고]

- (1) 자중 : 구조물 자체의 하중
- (2) 재하하중 : 재하하중은 적재하중과 활하중으로 나눈다.
  - ① 적재하중  
에이프런(Apron), 헛간, 창고 등에 적재하는 잡화물, 산화물의 하중, 적설을 고려하는 지역에서는 에이프런 위에 쌓이는 눈도 적재하중이 된다.
  - ② 활하중  
자동차, 하역기계 등의 동적인 하중으로 항만시설물의 설계에서는 다음의 하중을 고려한다.
    - 가. 열차하중
    - 나. 자동차하중
    - 다. 하역기계하중
    - 라. 군중하중
- (3) 어항에서 일반적으로 적용하는 상재하중은 구조물의 이용목적에 따라 다르고 실제로 재하되는 하중의 종류 및 양을 고려하여 사용해야 하지만 일반적으로 참고 표 (4.8-1)의 값을 표준으로 한다.

참고 표 (4.8-1) 상재하중(어항시설)

구 분	하중(kN/㎡)	구 분	하중(kN/㎡)
양 육 안 벽	10	물 양 장	10
출 어 준 비 안 벽	10	호 안 , 제 방	10
휴 게 안 벽	10		

- (4) 항만에서의 에이프런(Apron) 구간의 상재하중은 하역장비 등을 고려할 때 일반적으로 참고 표 (4.8-2)의 값을 표준으로 한다.



참고 표 (4.8-2) 에이프린 구간 상재하중(항만시설)

구 분	하중(kN/㎡)	구 분	하중(kN/㎡)
컨테이너부두 (하역지역)	20	일반부두 (하역지역)	10-30

(5) 하역장비 운영이 부분적으로 제한되는 경우 이에 대해 고려하여야 한다.

#### 4.8.2 자중 및 재하하중

- (1) 항만시설에서의 자중계산에 사용하는 단위체적중량은 중력식 구조물인 경우와 부재의 중량으로 작용하는 경우를 고려하여 적용하여야 한다. 자중계산에서 자중이 구조물의 부재에 중량으로 작용하는 경우 단위체적중량은 KDS 24 12 20 교량 설계하중(일반설계법)을 적용한다. 다만, 사전 조사 등에 의한 단위체적중량을 특별히 정한 경우에는 이에 따르지 않는다.
- (2) 항만시설에서의 재하하중은 취급 화물의 종류 및 수량이 정하여 취급하는 상황 등의 항만시설의 이용 형태를 감안하여 정하는 것으로 한다. 이 경우에 있어서 재하하중의 종류는 적재하중, 적설하중, 열차하중, 자동차하중, 하역기계하중, 군중하중 그 외의 항만시설의 구조에 영향을 주는 하중을 기준으로 한다.

#### [해설]

해설 표 (4.8-1)은 중력식 구조물의 경우를 고려한 재료의 단위체적중량이다. 일반적으로 강재나 알루미늄 등의 금속 이외 재료의 단위체적중량은 개개의 경우가 다르며, 특히 석재, 모래, 자갈, 깬돌 등은 석질에 따라 변화하기 때문에 재료의 단위체적중량은 신중하게 결정하여야 한다.

해설 표 (4.8-1) 재료의 단위체적중량

재 료	단위체적중량(kN/㎡)
강	77.0
주	71.0
알	27.5
철	24.0
무	22.6
목	7.8
아	22.6
스	
팔	
트	
콘	
크	
리	
트	
암	
화	
강	
암	
사	
암	
모래, 자갈, 깬돌 (건조상태)	16.0
모래, 자갈, 깬돌 (습윤상태)	18.0
모래, 자갈, 깬돌 (포화상태)	20.0

### 4.8.3 적재하중

#### 4.8.3.1 평상시의 적재하중

상시의 적재하중은 취급 화물의 종류, 화물 형태, 수량, 취급방법, 적재기간 등을 고려하여 결정한다.

#### [참 고]

- (1) 구조물 전체의 안정계산에는 에이프런(Apron), 헛간, 창고 등의 한 구획에 대한 평균 값을 사용한다. 또 부재계산에는 직접 적재하중으로 하는 경우가 많다. 에이프런의 경우 한 구획의 평균 적재하중의 크기는 그 접안시설의 규모와 취급화물의 종류에 따라 주로 결정되므로 과거의 설계 예 등을 참조하는 것이 바람직하다. 일반잡화부두의 경우 에이프런 위의 적재하중으로 10~30kN/m<sup>2</sup> 정도의 값을 이용하는 경우가 많다. 컨테이너나 강재 등 중량이 큰 화물을 취급하는 에이프런에서는 이용 상태를 조사하여 적재하중의 크기를 결정한다.
- (2) 에이프런에 있어서 적재하중은 접안시설의 안정계산에 크게 영향을 미치므로 헛간, 창고 등에 대한 적재하중과는 구별하여 생각하여야 한다. 특히 취급화물의 종류, 화물 형태, 수량, 취급방법, 적재기간 등을 충분히 고려하여 결정하여야 한다.
- (3) 기왕의 실태조사에 의한 산화물의 단위체적중량은 참고 표 (4.8-3)과 같다.

참고 표 (4.8-3) 산화물의 단위체적중량

(단위 : kN/m<sup>3</sup>)

품	종	단위체적중량
코	크	스
석	탄 ( 덩 어 리 )	4.9
석	탄 ( 가 루 )	8.8~9.8
철	광	9.8~11.0
시	멘	20.0~29.0
모 래 ,	자 갈 ,	15.0
	깁 돌	19.0

#### 4.8.3.2 지진시의 적재하중

지진시의 적재하중은 설계조건에서 고려한 지진이 장래 발생할 시점에서의 적재하중이 존재하느냐 없느냐의 상태를 예측하여 결정한다.

#### [해 설]

적재하중이 존재하느냐 없느냐의 상태는 헛간, 창고, 야적장, 에이프런(Apron) 등의 시설에 따라 다르고 설계조건에서 고려한 지진시 적재하중의 크기는 확률적인 개념에 지배된다고 보고 규정한 것이다.

## [참 고]

지진시 적재하중이 존재하느냐 없느냐의 상태는 헛간, 창고, 야적장, 에이프런(Apron) 등 적재하중이 존재하는 시설에 따라 구분된다. 헛간, 창고, 야적장 등은 이용 상태에 따라 적재하중으로 하는 것이 좋다. 한편 에이프런과 같이 하역시설로서 화물이 가치만 되는 시설인 경우는 선박이 접안하여 하역을 하는 경우와 하지 않는 경우에 따라 적재하중의 크기나 상태가 크게 변동한다. 이 때문에 일반적으로 안벽의 설계에서는 에이프런 위에서의 지진시 적재하중은 상시 적재하중의 1/2을 취하는 경우가 많다.

### 4.8.3.3 부등분포의 적재하중

구조물 전체의 안정계산을 할 때 에이프런, 헛간 및 창고 등의 한 구획에 있어서 부등분포하중을 등분포하중으로 환산하여 계산할 수가 있다. 다만, 큰 집중하중이 작용하는 경우에는 집중하중으로 검토한다.

## [해 설]

일반적으로 화물 등이 한 구획 전체에 균일하게 재하될 수는 없지만 통상 부등분포하중을 등분포하중으로 환산하여 계산하여도 좋다. 따라서 예를 들어 강재를 놓는 경우 아래에 목재와 같은 바닥재를 포설하면 강재의 중량은 선하중으로 작용된다고 생각할 수 있고 이 경우 집중하중(선하중 또는 점하중)으로 검토한 것이 된다.

## [참 고]

- (1) 어느 한 구획인 경우 평균적으로는 환산한 등분포하중의 값 이내인 경우라도 그것이 집중하중으로서 작용할 때는 주의가 필요하다. 예를 들면 널말뚝안벽 등의 경우는 안벽 배후에 큰 집중하중이 작용하면 위험할 때가 있다. 또 잔교식 안벽 등에 있어서도 빔의 뻗쳐 나온 부분(Cantilever부분)이나 빔, 바닥판의 중앙부에 집중하중이 작용하면 파괴로 이어지는 경우도 있으므로 이런 가능성을 고려하여 설계하여야 한다.
- (2) 등분포하중으로 산정한 화물별 하중은 참고 표 (4.8-4)를 참조한다.

참고 표 (4.8-4) 화물별 등분포하중

(단위 : kN/m<sup>2</sup>)

화 물 별	하 중
승 용 차 와 경 차 량	5
모 든 종 류 의 자 동 차	10
일 반 화 물	20
목 재 가 공 품	25~55
철 재 가 공 품	40~100
석 탄 , 모 래 석	100~200
광	100~300
포 대 시 멘 트	15~20
비 료	15
포 대 곡 물 류	15~30

#### 4.8.3.4 적설하중

적설을 고려하여야 할 지역에서는 KDS 41 10 15 건축구조기준 설계하중을 적용하여야 한다. 다만 KDS 41 10 15와 이 기준이 상충될 경우 이 기준을 따른다.

##### [해설]

적설을 고려하여야 할 지역에서는 강설량에 따라 에이프런 위에 쌓인 눈이 그대로 또는 자동차 등에 의해 전압되면 단단해져서 적재하중이 되므로 실제 상황을 고려하여 적설하중을 정하여야 한다.

##### [참고]

- (1) 제설작업을 하여야 하는 접안시설에서의 설하중으로는 하룻밤의 강설량을 고려하면 충분한 경우가 많다. 이 경우 과거의 적설기록, 강설시 기상상황의 일반적 경향, 눈의 질, 제설상황 등을 충분히 고려하여 적설하중을 결정한다.
- (2) 일반적으로 적설하중은  $1.5\text{kN/m}^2$ 을 사용하는 경우가 많다. 이는 건조한 가루 같은 눈으로 대략 100~150cm의 적설량에 해당된다.
- (3) 철도구조물 등에서는 눈의 일반적인 상태와 단위체적중량과의 관계는 참고 표 (4.8-5)에 나타낸 바와 같다.

참고 표 (4.8-5) 눈의 일반적인 상태와 단위중량

(단위 :  $\text{kN/m}^3$ )

눈의 일반적인 상태	단위중량
건조한 가루 같은 눈이 자중으로 눌러진 경우	1.2
건조한 가루 같은 눈이 풍압을 받은 경우	1.7
약간의 수분을 함유하고 자중으로 눌러진 경우	4.5
많은 수분을 함유하고 자중으로 눌러진 경우	8.5

#### 4.8.4 활하중

##### 4.8.4.1 열차하중

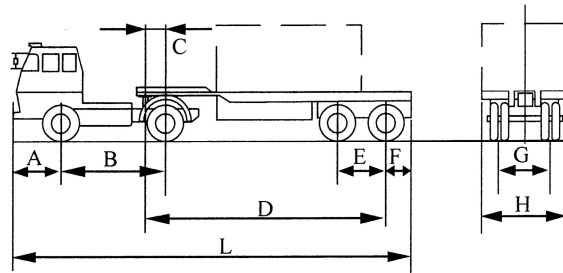
- (1) 열차하중을 고려할 경우 KDS 47 10 45 교량 일반사항에 따른다.
- (2) 열차하중은 당해 선로에 사용하는 열차 또는 차량의 실중량, 적재중량, 축배치 등을 고려하고 구조물 또는 부재에 최대의 영향이 생기도록 재하하는 것을 표준으로 한다. 다만, 하중을 도중에 2개소 이상으로 분산시켜 적재하는 것은 하지 않는다.

## 4.8.4.2 자동차 하중

자동차 하중은 KDS 24 12 00 교량 설계하중에 따른다.

## [참 고]

(1) 트랙터와 트레일러의 조합에서의 예를 참고 그림 (4.8-1) 및 참고 표 (4.8-6)로 나타낸다.



참고 그림 (4.8-1) 트랙터와 트레일러 연결도

참고 표 (4.8-6) 트랙터와 트레일러

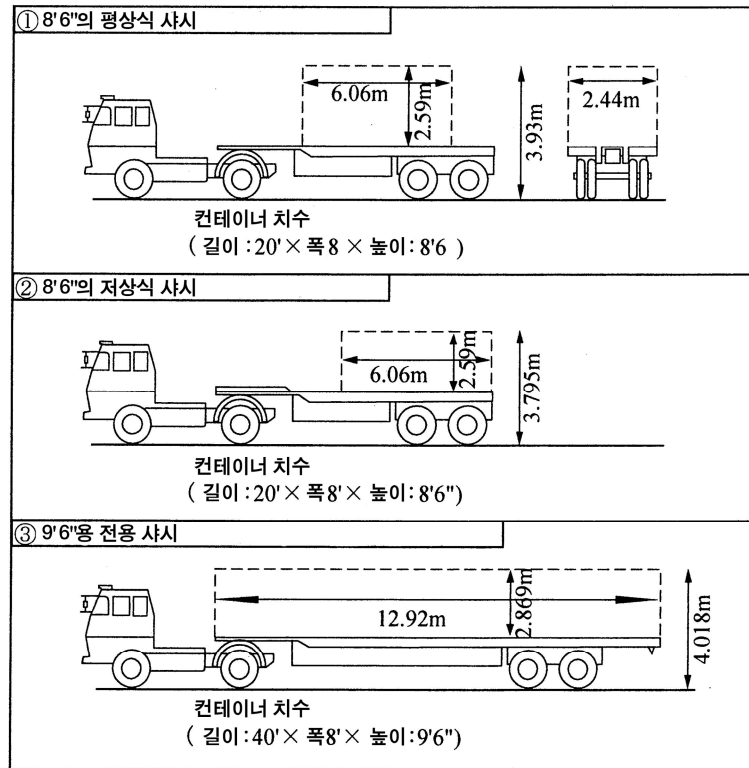
항목  용도	제 원									최대적재중량 $t_f$	차량총중량 $t_f$	공차축중량	
	프론트 오버행거 (A) m	트랙터 호일 베이스 (B) m	오프 세트 (C) m	트레일러 호일 베이스 (D) m	탄뎀축거리 (E) m	리어 오버행거 (F) m	트래트 (G) m	전체 폭 (H) m	연결전체길이 (L) m			제 5 른 kN	후 른 kN
20ft (기준 내)	1.4	3.18	0.54	9.95	1.55	0.82	1.85	2.49	14.87	24.0	27.9	87.6	186.0
20ft (ISO폴적재)	1.4	3.18	0.54	9.91	1.32×2	0.74	1.85	2.49	14.32	30.48	35.17	107.8	237.1
40ft (기준 내)	1.4	3.18	0.54	9.66	1.55	2.29	1.85	2.49	16.03	24.0	27.47	87.1	182.3
40ft (ISO폴적재)	1.4	3.18	0.54	9.52	1.32×2	1.99	1.85	2.49	15.60	30.48	35.12	107.5	236.9
20,40ft겸용 (기준 내)	1.4	3.18	0.54	9.53	1.55	2.44	1.85	2.49	16.01	23.6	27.8	87.6	185.1
20,40ft겸용 (ISO폴적재)	1.4	4.37	0.18	9.51	1.32×2	1.96	1.85	2.49	16.45	30.48	35.57	111.7	237.1

## 설계조건

- (2) 해상수송에서 사용되는 컨테이너의 외형치수와 최대총질량에 관한 규격은 국제표준화 기구(ISO)에서는 참고 표 (4.8-7)와 같다.

참고 표 (4.8-7) 컨테이너 표준규격

명칭	길이 (L)				폭 (W)				높이 (H)				최대총중량	
	mm	공차 mm	ft in	공차 in	mm	공차 mm	ft	공차 in	mm	공차S mm	ft in	공차S in	kg	lb
1AAA	12,192	0 -10	40	0 -3/8	2,438	0 -5	8	0 -3/16	2,896"	0 -5	9 6"	0 -3/16	30,480 "	67,200 "
1AA									2,591"	0 -5	8 6"	0 -3/16		
1A									2,438	0 -5	8	0 -3/16		
1AX									<2,438		<8			
1BBB	9,125	0 -10	29 11 1/4	0 -3/16	2,438	0 -5	8	0 -3/16	2,896"	0 -5	9 6"	0 -3/16	25,400 "	56,000 "
1BB									2,591"	0 -5	8 6"	0 -3/16		
1B									2,438	0 -5	8	0 -3/16		
1BX									<2,438		<8			
1CC	6,058	0 -6	19 10 1/2	0 -1/4	2,438	0 -5	8	0 -3/16	2,591"	0 -5	8 6"	0 -3/16	24,000 "	52,900 "
1C									2,438	0 -5	8	0 -3/16		
1CX									<2,438		<8			
1D	2,991	0 -5	99 3/4	0 -3/16	2,438	0 -5	8	0 -3/16	2,438	0 -5	8	0 -3/16	10,160 "	22,400 "
1DX									<2,438		<8			



참고 그림 (4.8-2) 컨테이너 적재시의 차량

#### 4.8.4.3 하역기계 하중

하역기계하중에는 이동식 하역기계하중, 궤도주행식 하역기계하중과 고정식 하역기계하중이 있고 하중을 결정하는 방법은 다음과 같다.

- (1) 이동식 하역기계 하중은 사용이 예상되는 하역기계의 전체중량, 최대 윤하중, 아웃트리거 최대 하중 또는 크롤러의 최대 접지압으로 한다.
- (2) 궤도주행식 하역기계하중은 전체 중량 또는 차륜 간격과 바퀴수를 고려한 최대 윤하중으로 한다.
- (3) 고정식 하역기계하중은 최대 하중으로 한다.

#### [해설]

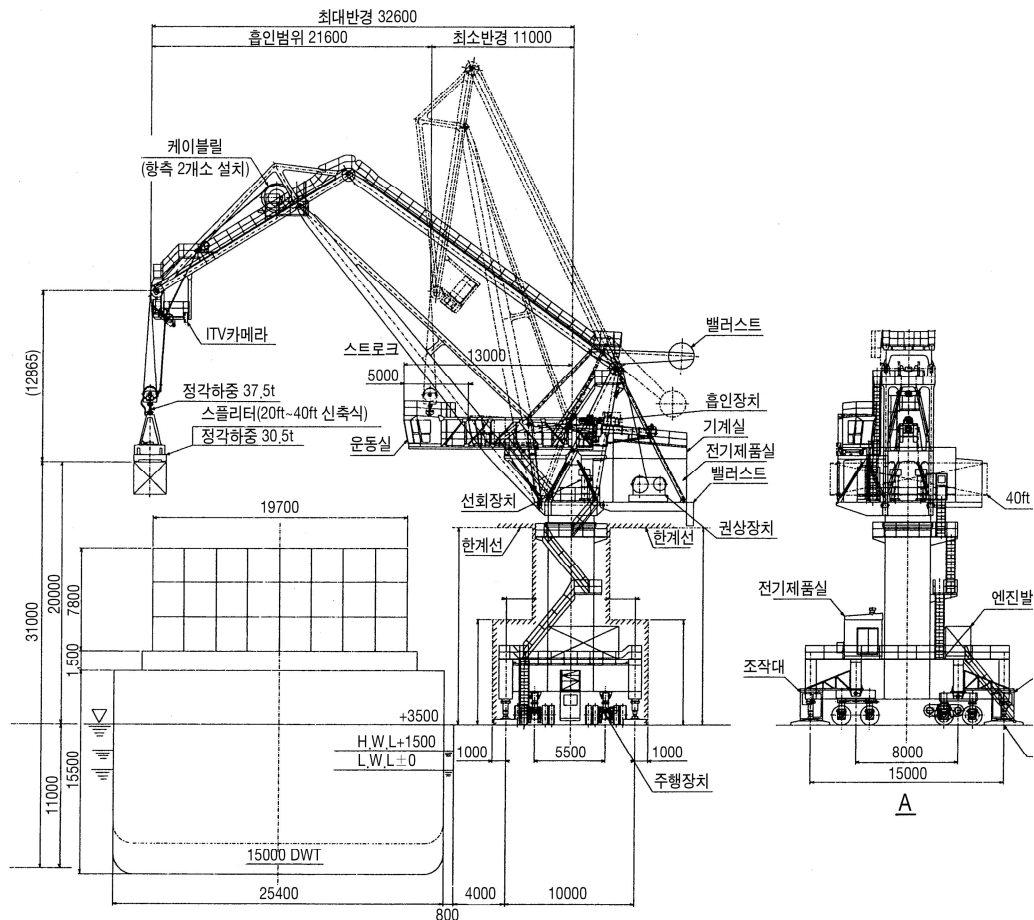
- (1) 이동식 하역기계에는 자주크레인(호일크레인, 트럭크레인, 크롤러크레인의 총칭임), 컨테이너하역기계(스트레틀캐리어, 트랜스퍼크레인, 프런트 포크리프트, 사이드롤러 등의 총칭임), 포크리프트, 록로더 등이 있다.  
아웃트리거를 사용하는 타이어크레인, 트럭크레인 등은 대체로 큰 집중하중이 작용하기 때문에 설계에서는 가장 위험한 재하상태를 고려하여야 한다.

## 설계조건

- (2) 궤도주행식 하역기계에는 컨테이너 크레인, 뉴메틱 언로더, 더블링식 인입크레인, 더블링식 언로더 등이 있다.  
문형 크레인, 광석전용 언로더 등 대형 하역기계의 하중은 지진시의 하중, 풍하중이나 하역시의 충격하중 등을 고려하여 안전한 설계가 되도록 한다.
- (3) 고정식 하역기계에는 고정식 집크레인(Jib crane), 고정식 뉴메틱언로더(Pneumatic unloader) 등이 있다.
- (4) 하역기계는 대형화하고 있어 대상이 되는 시설에 어느 정도의 하역기계가 사용되는가를 충분히 조사하여 설계조건을 결정하여야 한다.

## [참 고]

- (1) 일반적인 이동식 하역기계의 상세한 제원은 참고 그림 (4.8-3)~(4.8-7)과 참고 표 (4.8-8)~(4.8-12)와 같다.

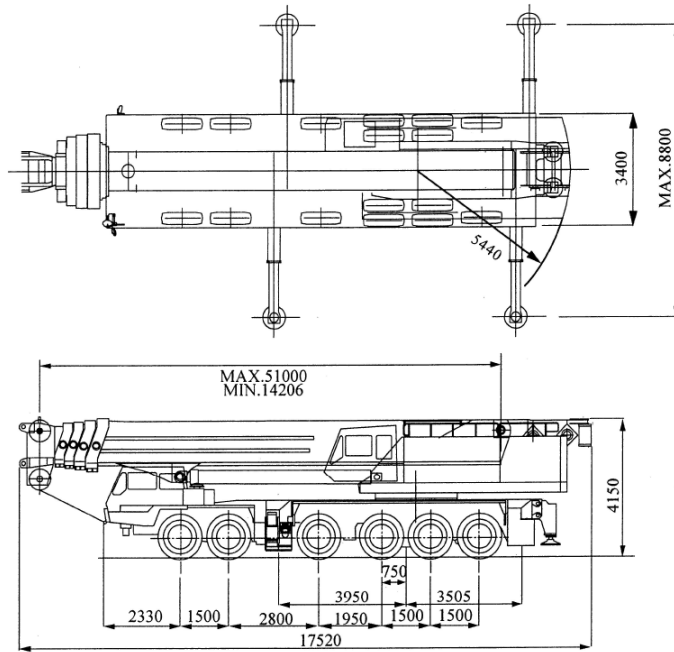


참고 그림 (4.8-3) 타이어 크레인



참고 표 (4.8-8) 타이어 크레인

기계명	최대 들어 올리는 중량(t)	전체 장비 중량(t)	본체 주요치수(m)					최대 축중량 (kN)	최대 접지압 (kN/m <sup>2</sup> )
			작업반경	전체폭	휠베이스	축거리	전체높이		
지브크레인	34.0	289	24.0	8.8	8.0	4.0	37.5	217	527
	34.1	395	30.0	11.0	25.2	3.5	48.0	255	174
	38.0	349	32.0	11.5	8.5	3.4	51.4	147	882
	40.0	370	34.0	12.0	9.7	4.3	59.5	320	280
테블링크식 인입크레인	34.0	406	30.0	13.0	15.0	5.0	24.5	142	358
	34.1	402	30.0	12.8	15.0	5.0	45.0	139	301
	34.5	425	28.0	11.7	10.0	4.5	39.0	294	314
	37.5	417	32.6	12.0	8.0	5.5	52.0	139	293

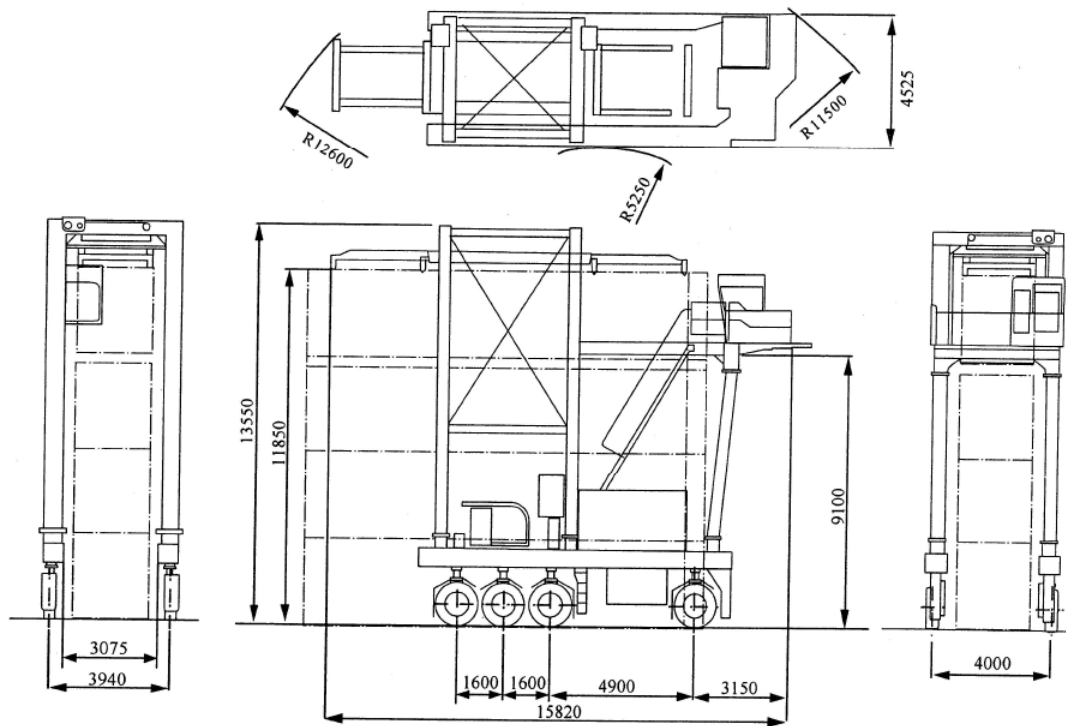


참고 그림 (4.8-4) 트럭크레인

참고 표 (4.8-9) 트럭크레인

기계명	최대 들어 올리는 중량(t)	전체 장비 중량(t)	본체 주요치수(m)					최대 축중량 (kN)
			전체길이	전체폭	전체높이	최대축거리	축거리	
라후테레인 크레인	16	19.7	8.23	2.20	3.14	3.20	1.82	97.5
	25	26.5	11.21	2.62	3.45	3.65	2.17	131.2
	35	32.6	11.57	2.75	3.55	3.90	2.24	163.9
	50	37.8	11.85	2.96	3.71	4.85	2.38	185.3
	60	39.6	12.29	3.00	3.74	5.30	2.42	194.4
올테레인 크레인	100	60.0	13.53	2.78	3.95	6.00	2.32	147.1
	160	87.5	16.58	3.00	3.98	8.80	2.56	171.6
	360	90.0	17.62	3.00	4.00	10.24	2.55	154.9
	400	126.0	18.29	3.00	4.10	11.30	2.56	179.5
	550	132.0	18.00	3.00	4.25	11.30	2.56	198.1
트럭크레인	120	94.7	15.38	3.40	4.00	7.38	2.76/2.52	392.8
	160	131.4	16.72	3.40	4.05	7.30	2.83/2.54	543.8
	360	114.0	17.52	3.40	4.34	9.25	2.83/2.54	297.7

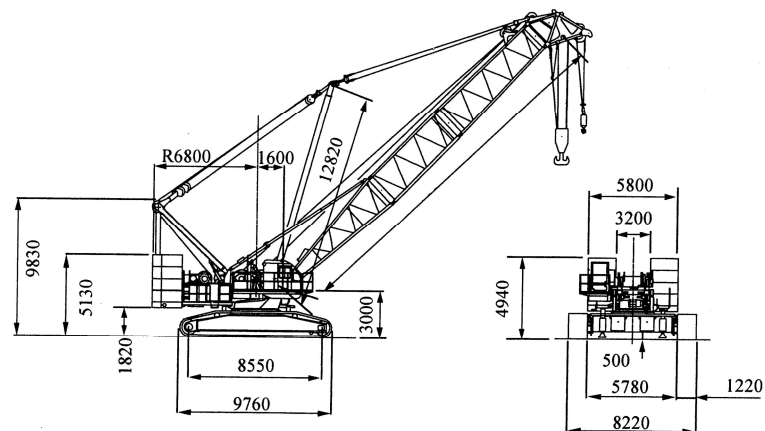
## 설계조건



참고 그림 (4.8-5) 스트레틀 캐리어

참고 표 (4.8-10) 스트레틀 캐리어

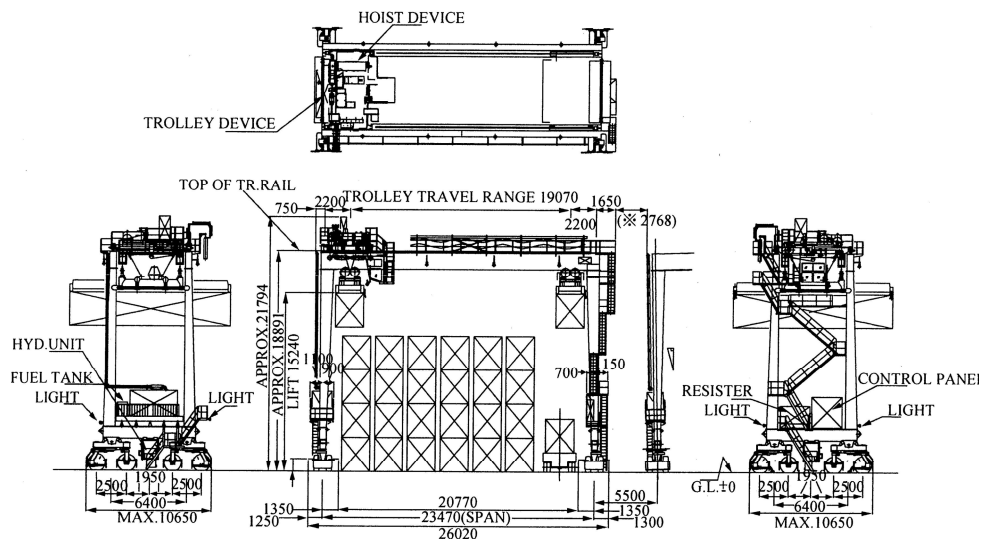
기 계 명	취급 컨테이너 (ft)	정격 중량 (t)	전체장비 중량 (t)	본체 주요치수(m)				작업시 최대차륜하중 (kN)
				전체 길이	전체폭	전체 높이	축거리	
A	20, 40	35	60	15.8	4.5	13.6	8.1	117
B	20, 40	40	59	12.2	5.3	12.6	7.4	122
C	20, 40, 45	35	59	17.4	4.5	13.7	8.0	124



참고 그림 (4.8-6) 크롤러 크레인

참고 표 (4.8-11) 크롤러 크레인

크레인 능력(tf)	전체장비 중량(t)	본체 주요치수(m)				크롤러최대 접지압(kPa)
		전체높이	크롤러 전체폭	크롤러 전체길이	크롤러 슈 폭	
30	33	4.72	4.49	3.30	0.76	54
45	45	5.12	5.40	4.30	0.76	60
50	49	5.25	5.57	4.35	0.76	61
70	71	6.18	5.99	4.83	0.80	80
80	85	6.56	6.32	4.90	0.90	86
90	89	6.64	6.40	4.90	0.85	91
100	122	7.92	7.88	6.17	0.92	90
150	161	8.49	8.49	7.07	1.07	89
200	193	8.49	9.18	7.07	1.07	103
300	284	9.83	9.76	8.22	1.22	127
350	294	7.82	10.14	8.79	1.29	120
450	390	10.12	11.51	9.50	1.50	122
800	1,190	-	14.68	12.80	2.00	127



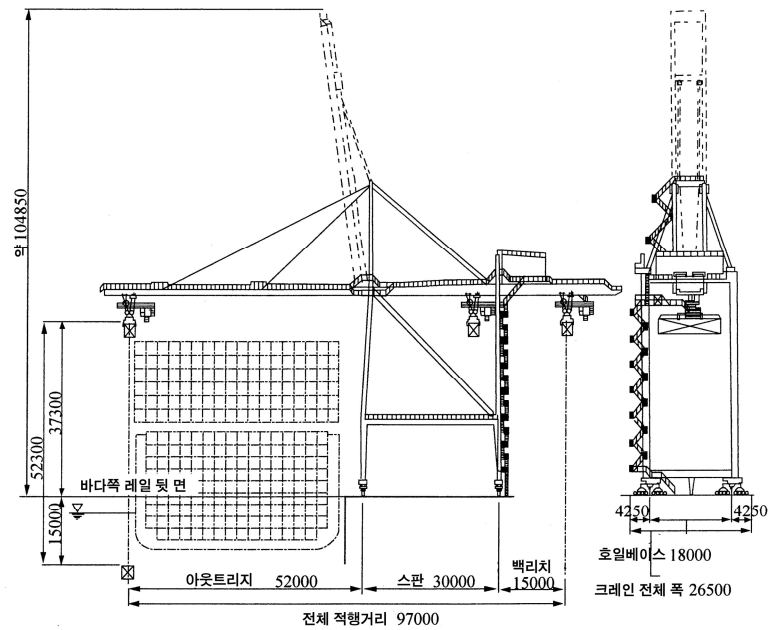
참고 그림 (4.8-7) 트랜스퍼 크레인

참고 표 (4.8-12) 트랜스퍼 크레인

기계명	취급 컨테이너 (ft)	정격 중량 (tf)	전체 장비 중량 (t)	본체 주요치수(m)				작업시최대 차륜하중 (kN/륜)	차륜수 (륜/구석)
				전체 길이	전체폭	전체 높이	축거리		
A	20, 40	36.0	133	26.1	12.0	21.5	6.4	281	2
B	20, 40, 45	40.6	119	26.0	11.3	21.1	6.4	275	2
C	20, 40, 45	40.6	129	26.3	12.2	21.8	6.4	293	2
D	20, 40, 45	40.6	140	25.8	11.7	24.4	6.4	295	2
E	20, 40, 45	51.0	150	25.8	12.7	28.3	8.0	327	2
F	20, 40, 45	40.6	129	26.0	11.3	21.1	6.4	142	4
G	20, 40, 45	50.0	150	26.0	10.7	21.8	6.4	167	4

## 설계조건

(2) 일반적인 궤도주행식 하역기계의 상세한 제원은 그림 (4.8-8)과 참고 표 (4.8-13)과 같다.



참고 그림 (4.8-8) 컨테이너 크레인

참고 표 (4.8-13) 컨테이너 크레인

기계명	취급 (ft)	정격 하중 (tf)	전장비 중량 (t)	본체주요치수(m)						작업시최대 차륜하중 (kN/륜)	차륜수 (륜/구석)
				아웃 리치	스팬	백리치	전폭	전고	휠베 이스		
A	20,40	30.5	580	31.0	16.0	10.0	27.0	68.0	18.0	406	8
B	20,40	30.5	627	31.0	16.0	9.0	28.0	72.0	18.0	314	8
C	20,40	30.5	668	31.0	16.0	9.5	27.0	46.0	18.0	314	8
D	20,40	30.5	635	40.0	16.0	11.0	27.0	80.5	18.0	343	8
E	20,40	40.6	1,127	50.0	30.0	15.0	27.0	73.1	18.0	577	8
F	20,40,45	40.5	890	47.1	30.0	15.0	28.0	100.0	18.0	558	8
G	20,40,45	40.6	965	50.0	30.5	15.0	28.0	102.3	18.0	394	10
H	20,40,45	40.6	1,030	50.5	30.0	14.0	26.5	65.0	18.0	720	8
I	20,40,45	50.0	993	52.0	30.0	15.0	26.5	105.0	18.0	744	8
J	20,40,45	65.0	1,360	63.0	30.0	16.0	26.5	127.2	16.5	711	8

※ 이 표는 일본항만의 치수임.

### 4.8.5 균중하중

균중하중은  $5\text{kN/m}^2$ 을 적용한다. 다만, 구조물 별로 시설의 이용 상황을 고려하여 KDS 24 12 20 교량 설계하중(일반설계법)을 적용한다.

## 4.9 마찰계수

구조물의 활동에 대한 마찰저항력의 계산에 사용되는 재료의 마찰계수는 정지마찰계수로 하는 것을 기준으로 한다. 이 경우에 있어서 재료의 마찰계수는 대상으로 하는 구조물의 특성, 재료의 특성 등을 감안하여 설정한다.

### [참고]

- (1) 안정계산에 사용하는 일반적인 정지마찰계수는 참고 표 (4.9-1)과 같다. 마찰은 동일 조건을 바탕으로 반복마찰계수를 실측하는 경우 일반적으로 호트러짐이 많은 것에 주의하여야 한다. 참고 표 (4.9-1)에서 나타난 값은 이전부터 경험적으로 사용한 것이지만 여기에서 명기하지 않은 것은 실험을 하여 정하는 것이 바람직하다. 참고 표 (4.9-1)의 값은 구조물 전체에서의 활동(Sliding)에 대한 안정계산에서 사용하는 값이고 말뚝의 지지력 계산 값은 말뚝주변과 흙과의 마찰계수, 경사제의 안정계산에서의 마찰계수, 경사로에 의한 케이슨의 진수계산에서의 마찰계수, 토압계산에서의 벽면마찰각 등과 같이 구조물의 부분적인 설계계산에서의 마찰계수로는 적용하지 않는다. 즉, 참고 표 (4.9-1)에서 나타난 값은 구조물에 상시의 외력이 작용할 때의 정지마찰계수이지만 지진시와 같이 진동상태에서는 적절한 자료가 없기 때문에 본 표의 값을 사용하고 있다.

참고 표 (4.9-1) 정지마찰계수

콘크리트와 콘크리트	0.5
콘크리트와 암반	0.5
수중콘크리트(프리캐스트콘크리트)와 암반	0.7~0.8
콘크리트와 사석	0.6
사석과 사석	0.8
목재와 목재	0.2(습)~0.5(건)
마찰증대용 매트와 사석	0.75

주) ① 수중콘크리트와 암반의 경우 표준조건으로는 0.8이다. 단, 기반암에 균열이 많은 경우 기반암을 덮고 있는 모래의 이동이 심할 경우 등을 그 조건에 따라 0.7정도까지 내린다.

② 셀룰러 블록의 안정계산을 할 경우 제8편 3-3-6 셀룰러 블록의 안정계산을 참조한다.

### (2) 마찰증대용 매트의 마찰계수

일반적으로 마찰증대용 매트를 사용하는 경우 재료의 내구성, 구조물의 중요도, 해상 조건 및 경제성 등을 충분히 고려하여 재료를 선정하고 마찰계수에 관한 실험결과를 충분히 검토하는 것이 중요하다. 마찰증대용 매트로 아스팔트재료, 고무재료 등을 사용하는 경우 마찰계수는 0.75로 적용할 수 있다.

## 설계조건

### (3) 현장치기 콘크리트의 마찰계수

참고 표 (4.9-1)의 정지마찰계수의 값 중 콘크리트 관련에 대하여는 프리캐스트 콘크리트나 현장치기 콘크리트나에 따라 그 값이 변화한다고 생각할 수 있지만 실제로는 현장치기 콘크리트의 경우도 상기표를 사용하고 있는 예가 많다.

### (4) 암반과 프리팩트콘크리트의 활동저항

해저의 암반에 프리팩트콘크리트를 쳐서 방파제나 접안시설을 축조하는 공법이 채택되기도 한다. 이와 같이 매시브한 구조물의 활동에 대한 저항력은 암반과 프리팩트콘크리트의 부착력 양자 간의 마찰저항, 암반의 요철에 의한 암반 및 프리팩트콘크리트의 전단저항 등 복잡한 내용으로 구성된다. 한편, 이와 같은 구조물의 활동에 대한 저항력은 시공지점의 기반암 재질, 그것을 덮고 있는 저질, 주입 모르타르의 품질, 시공의 정도, 시공시의 해상조건 등에 따라 좌우된다. 기존구조물의 실적 등을 감안하고 여러 관점에서 고찰한 결과 편의적으로는 마찰에 의한 활동의 저항이라고 보고 암반과 프리팩트 콘크리트사이의 마찰계수는 참고 표 (4.9-1)과 같은 값을 사용할 수 있으며 프리팩트콘크리트 이외의 수중콘크리트에서도 동일하게 적용할 수 있다.

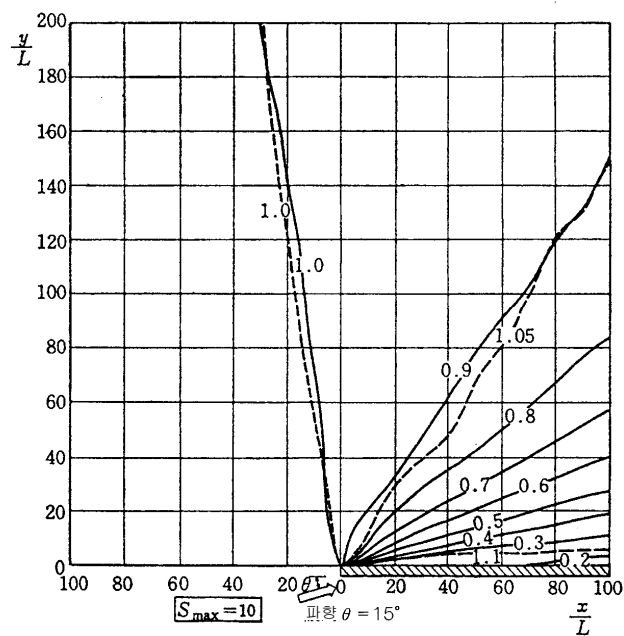
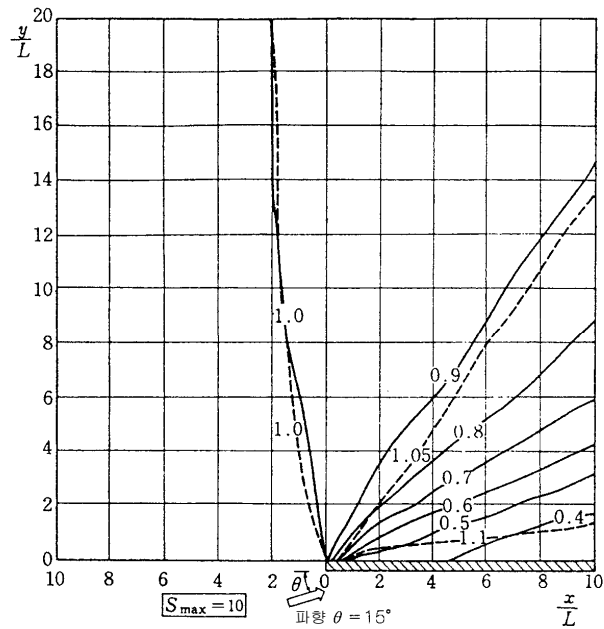
### (5) 그 외의 마찰계수

돌과 금속 : 0.3~0.4	나무와 돌 : 0.4
나무와 금속 : 0.6(건), 0.2(습)	고무와 고무 : 0.5
모래와 철 : 0.4~0.7	모래와 콘크리트 : 0.5~0.6

## [참고문헌]

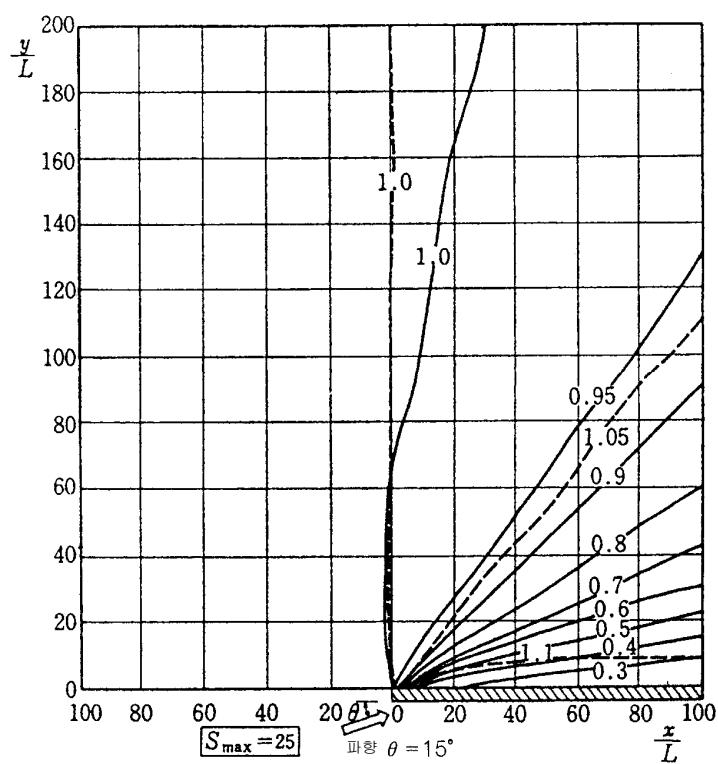
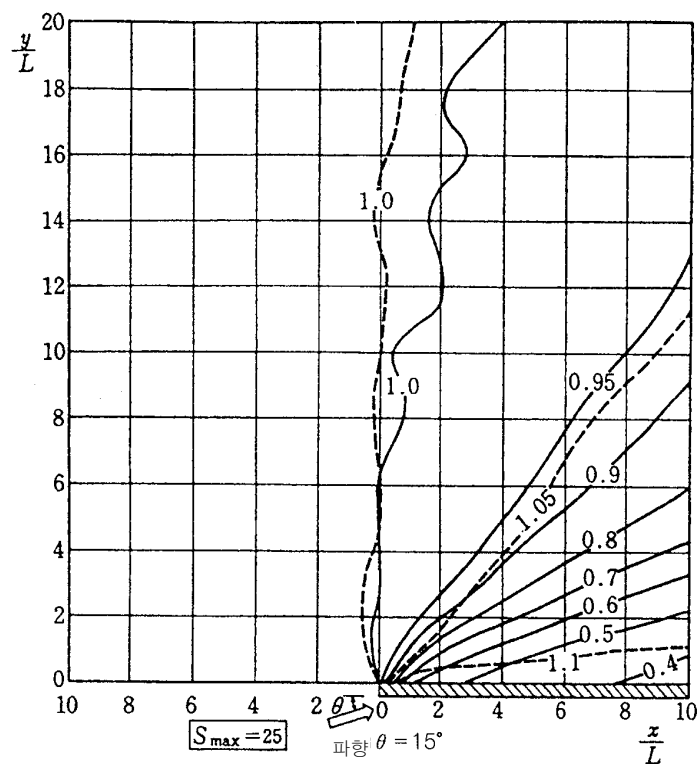
- 1) 일본국토기술정책종합연구소자료(2006.6)
- 2) 일본선박명세서(2004)
- 3) LMIU Shipping Data(2006.8)
- 4) 日本港灣協會(2007), 港灣の施設の技術上の基準・同解説

## 부 록

1. 반무한제에 의한 회절그림( $\theta=15^\circ$ )(1)  $S_{\max} = 10$ 부록 그림 (1-1) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=15^\circ$ ,  $S_{\max} = 10$ )

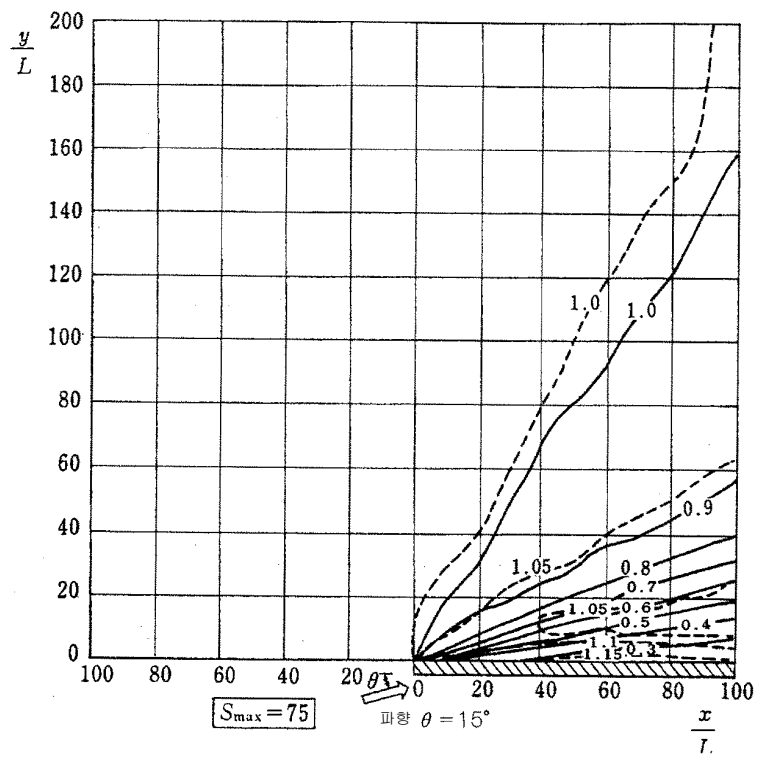
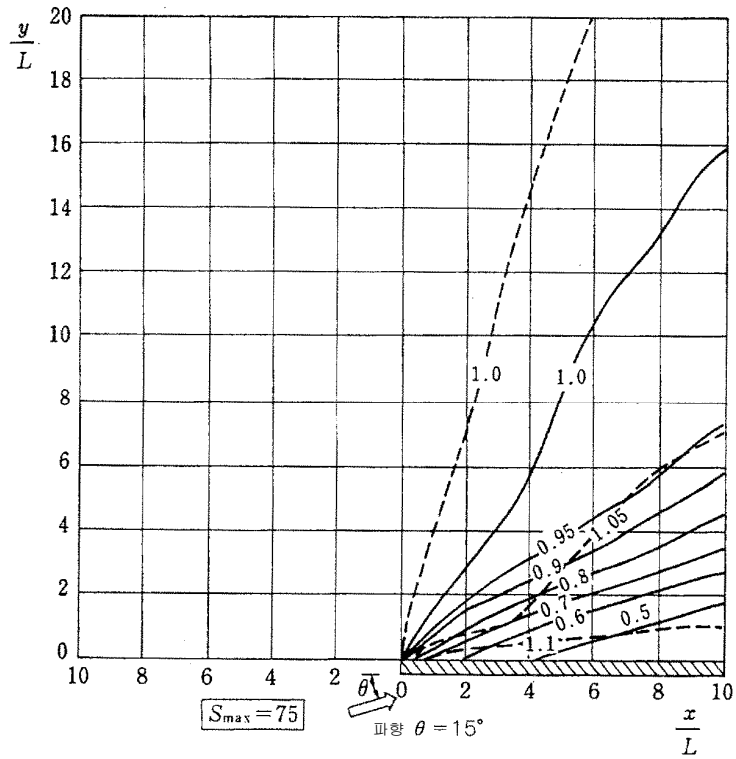
## 설계조건

(2)  $S_{max} = 25$



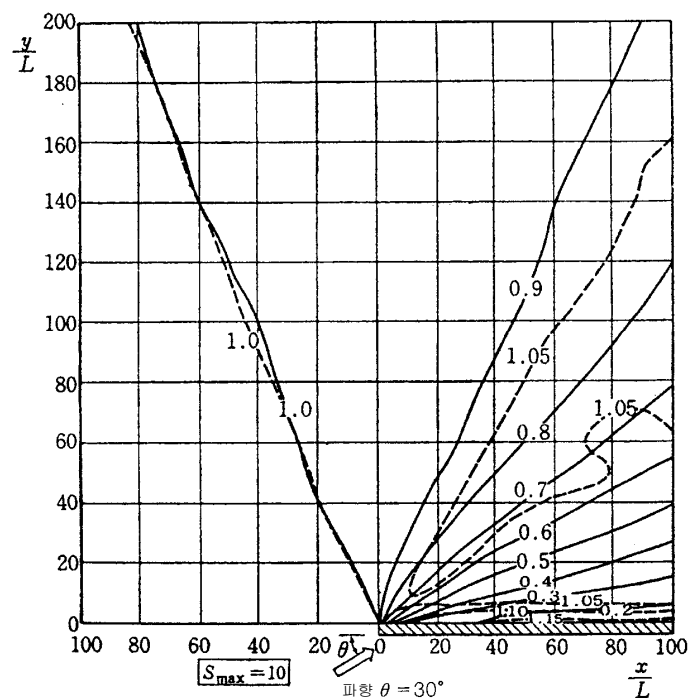
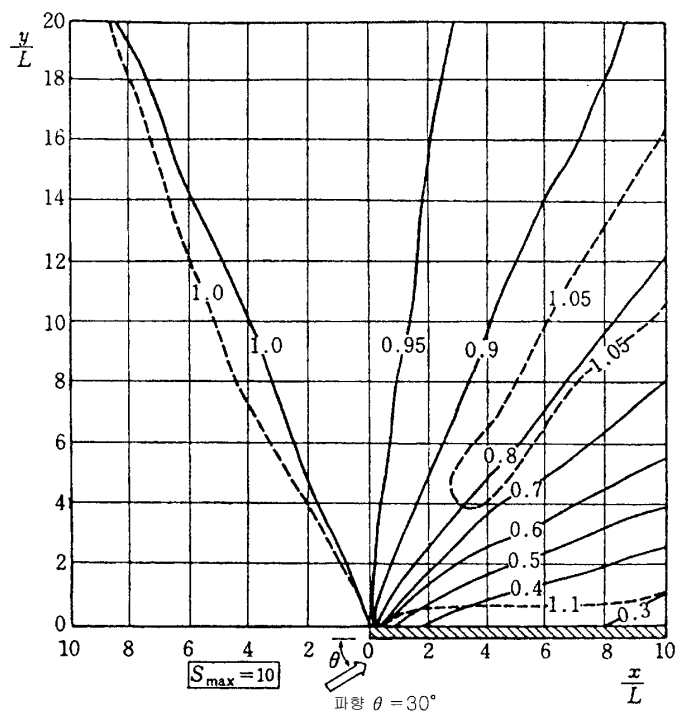
부록 그림 (1-2) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=15^\circ$ ,  $S_{max} = 25$ )



(3)  $S_{\max} = 75$ 부록 그림 (1-3) 반무한체에 의한 회절그림 ( $\theta=15^\circ$ ,  $S_{\max} = 75$ )

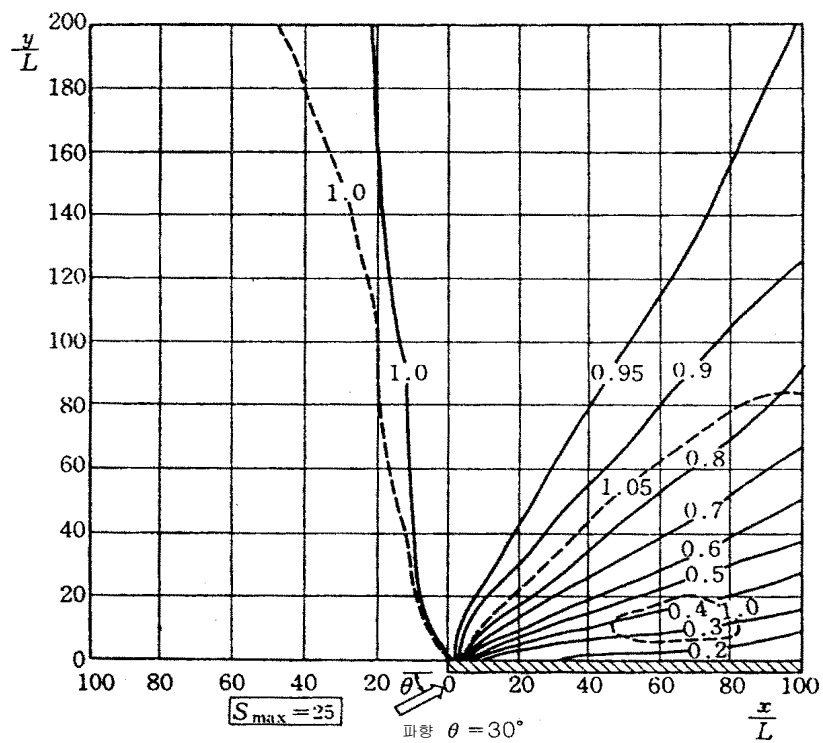
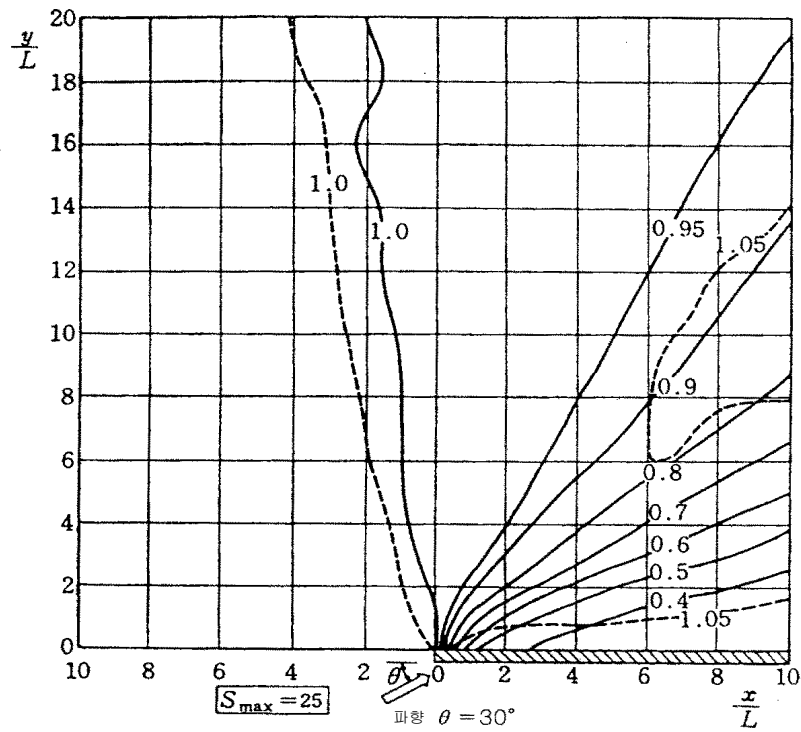
## 2. 반무한제에 의한 회절그림( $\theta=30^\circ$ )

(1)  $S_{\max} = 10$



부록 그림 (2-1) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=30^\circ$ ,  $S_{\max} = 10$ )

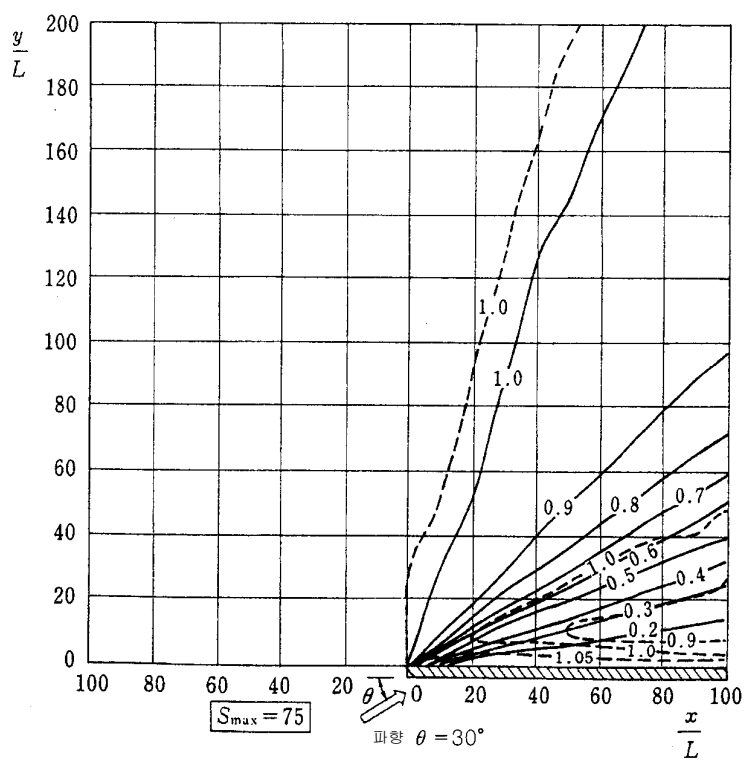
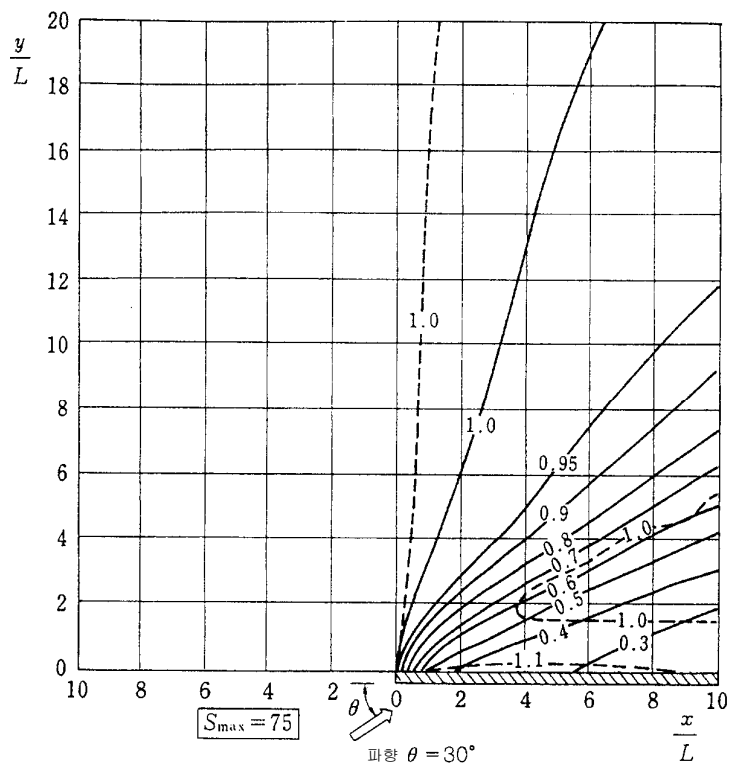
(2)  $S_{\max} = 25$



부록 그림 (2-2) 반무한체에 의한 회절그림 ( $\theta=30^\circ$ ,  $S_{\max} = 25$ )

## 설계조건

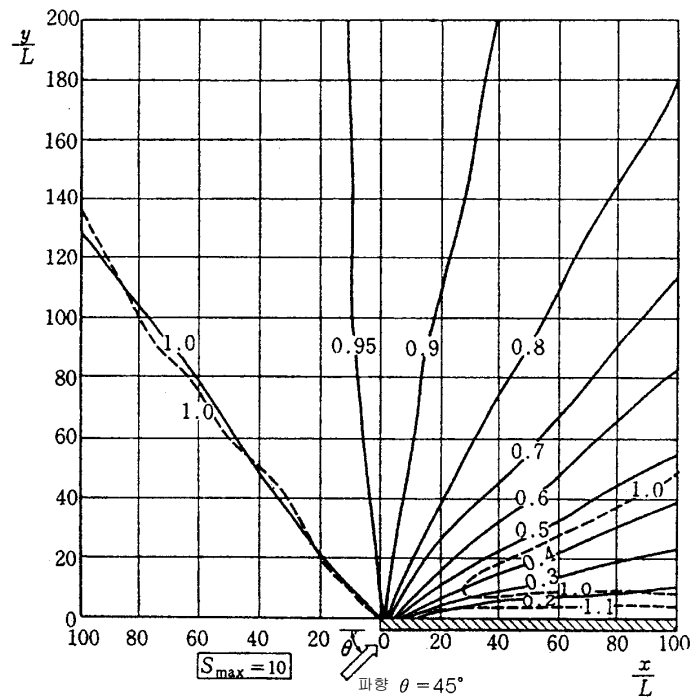
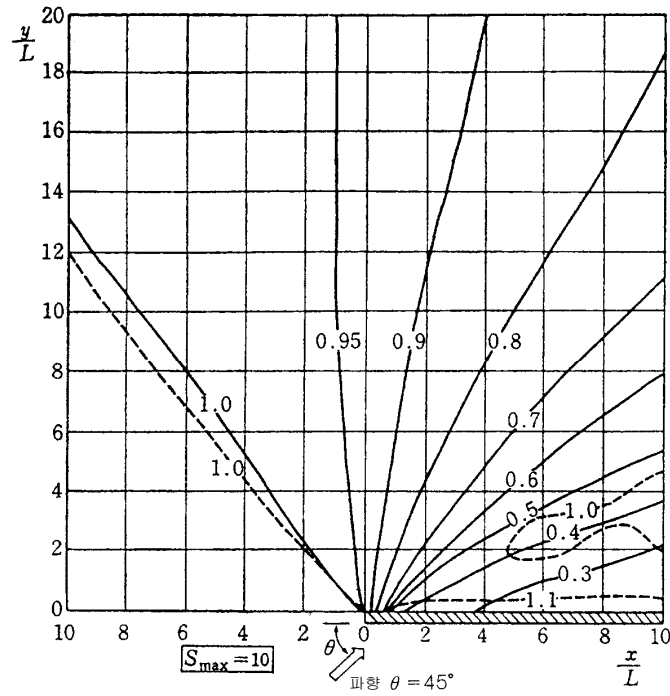
(3)  $S_{\max} = 75$



부록 그림 (2-3) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=30^\circ$ ,  $S_{\max} = 75$ )

### 3. 반무한제에 의한 회절그림( $\theta=45^\circ$ )

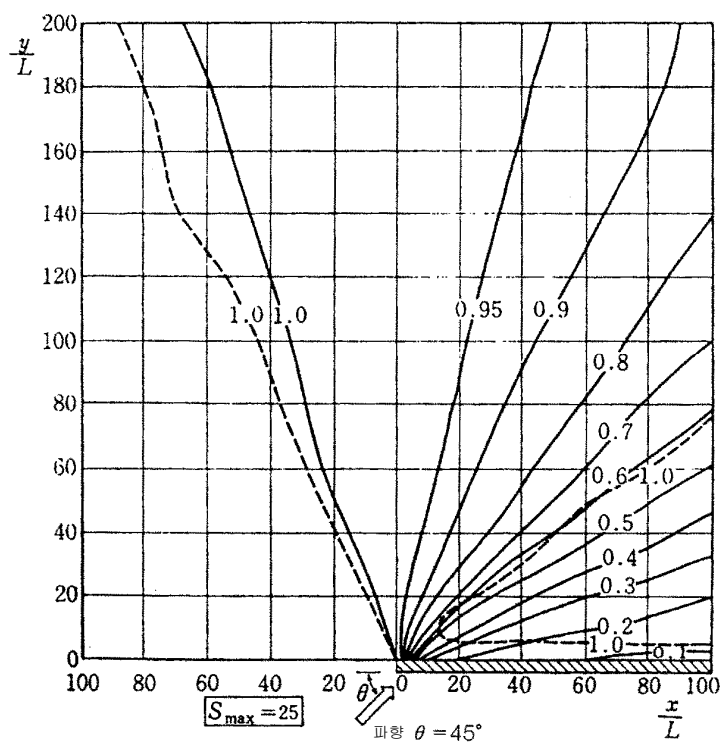
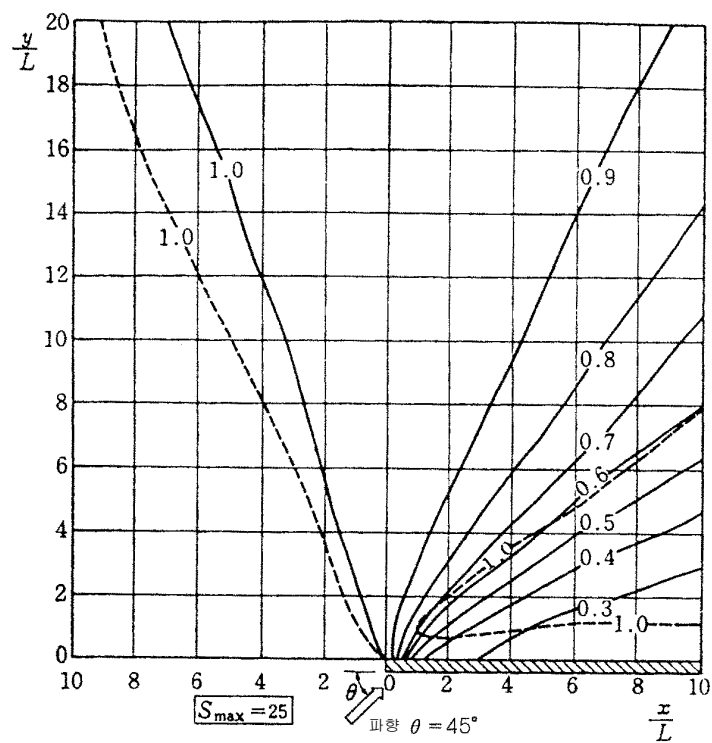
(1)  $S_{\max} = 10$



부록 그림 (3-1) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=45^\circ$ ,  $S_{\max} = 10$ )

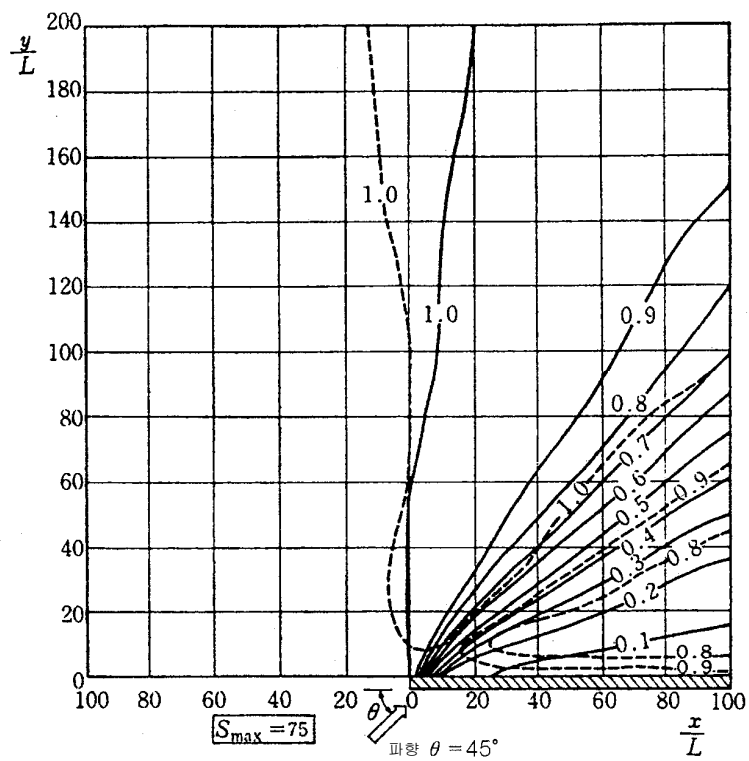
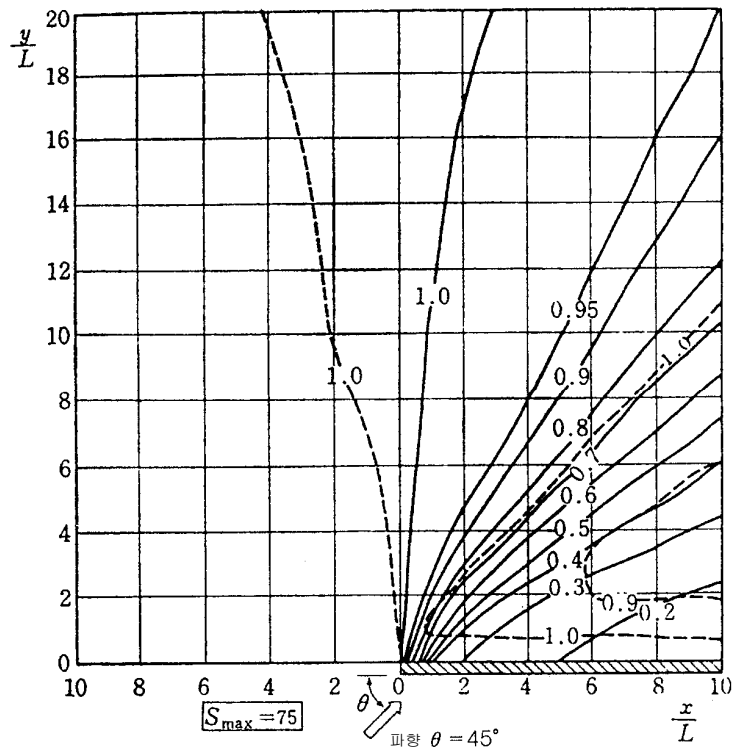
## 설계조건

(2)  $S_{\max} = 25$



부록 그림 (3-2) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=45^\circ$ ,  $S_{\max} = 25$ )

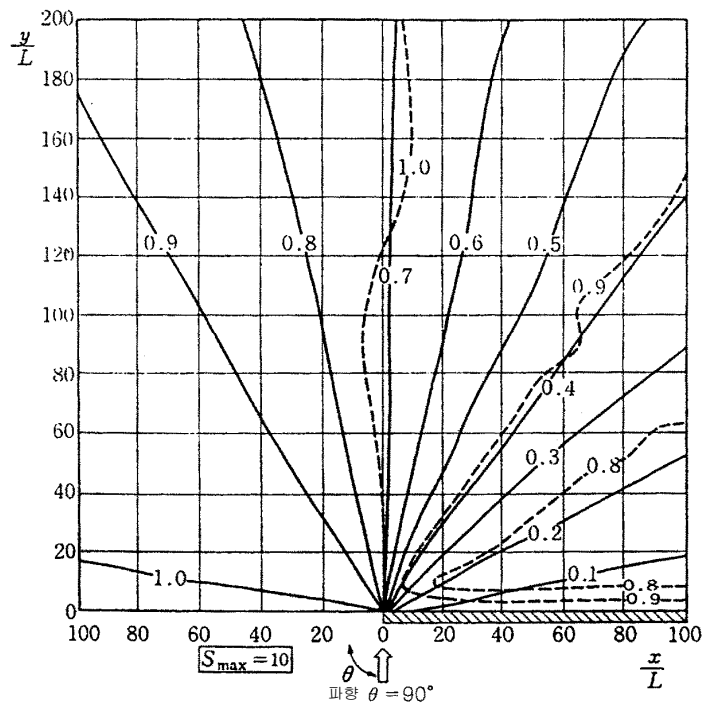
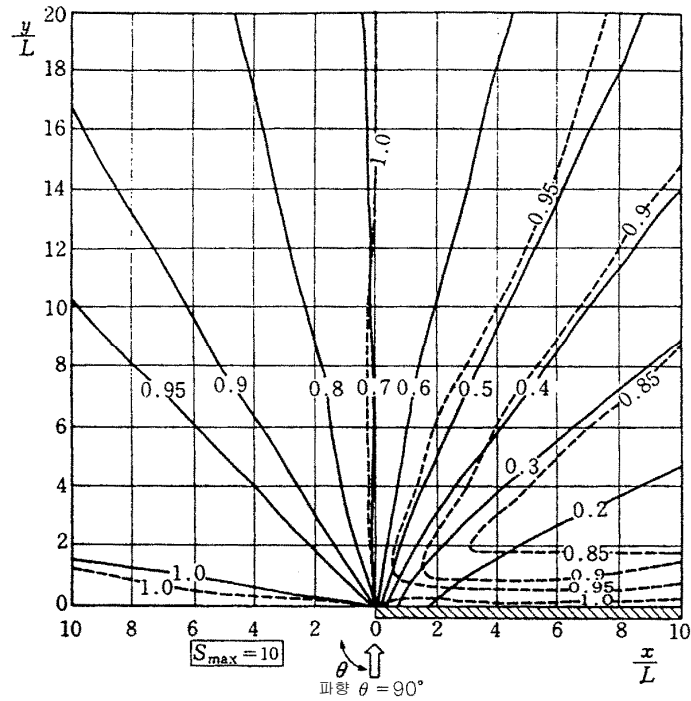
(3)  $S_{\max} = 75$



부록 그림 (3-3) 반무한체에 의한 회절그림 ( $\theta=45^\circ$ ,  $S_{\max} = 75$ )

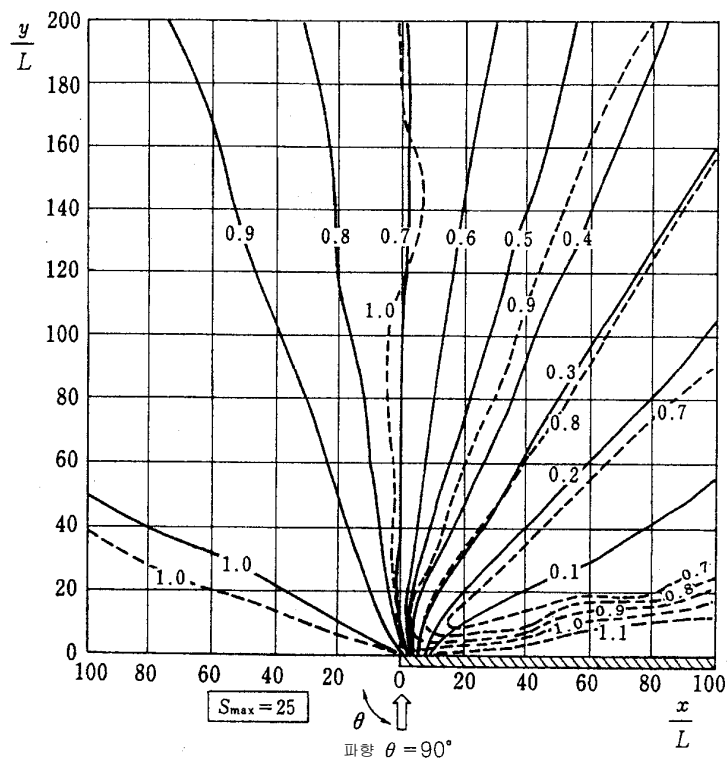
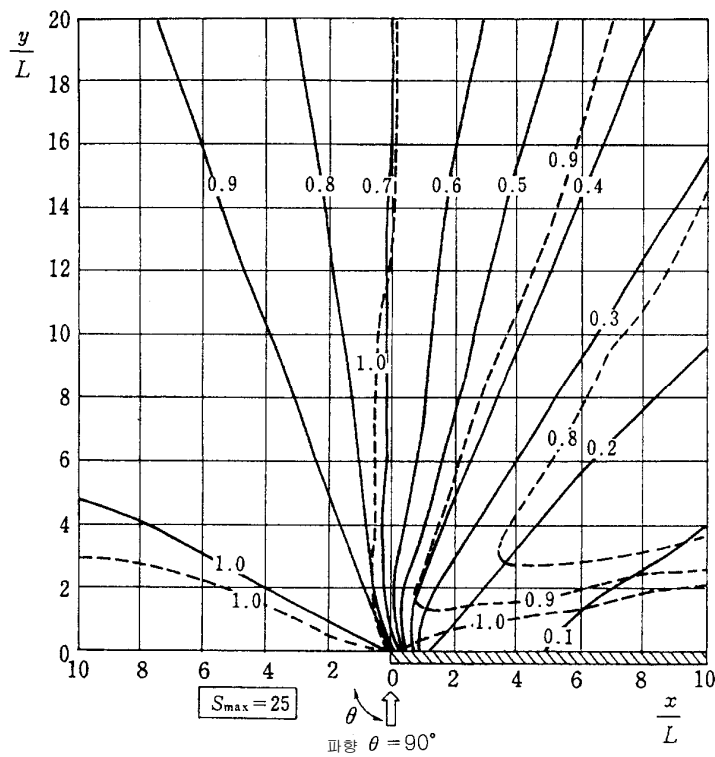
#### 4. 반무한제에 의한 회절그림( $\theta=90^\circ$ )

(1)  $S_{\max} = 10$



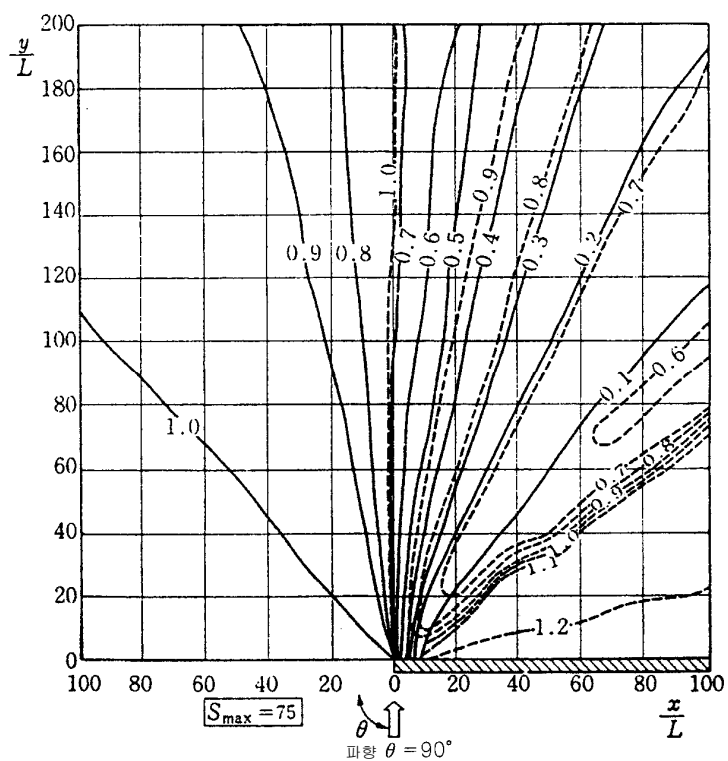
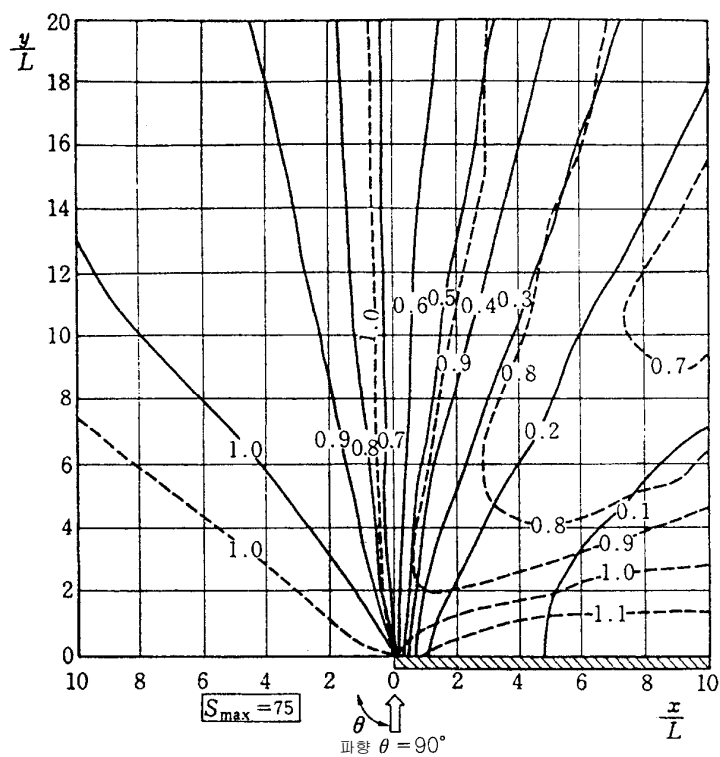
부록 그림 (4-1) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=90^\circ$ ,  $S_{\max} = 10$ )



(2)  $S_{\max} = 25$ 부록 그림 (4-2) 반무한체에 의한 회절그림 ( $\theta=90^\circ$ ,  $S_{\max} = 25$ )

# 설계조건

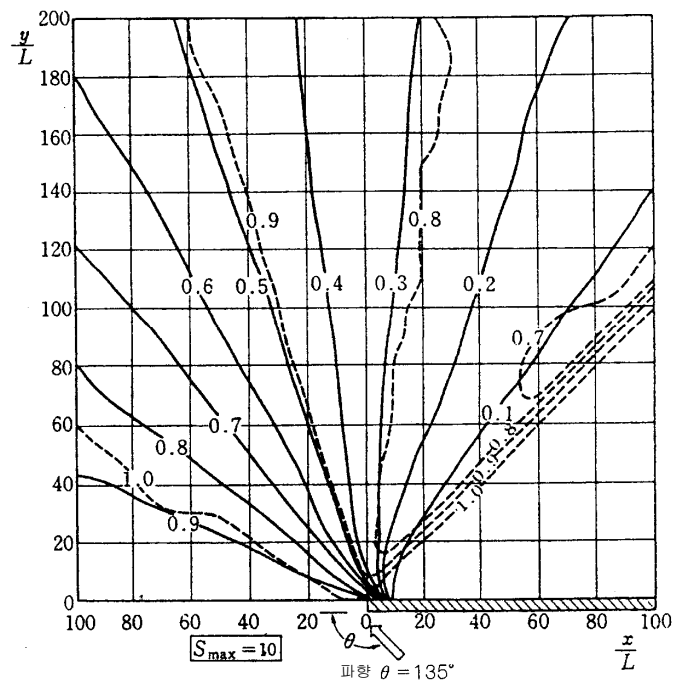
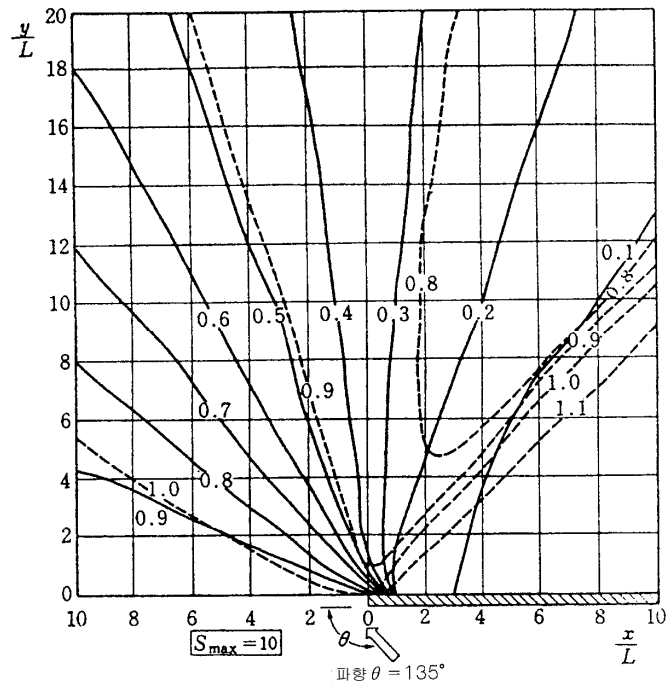
(3)  $S_{\max} = 75$



부록 그림 (4-3) 반무한체에 의한 회절그림 ( $\theta=90^\circ$ ,  $S_{\max} = 75$ )

## 5. 반무한제에 의한 회절그림( $\theta=135^\circ$ )

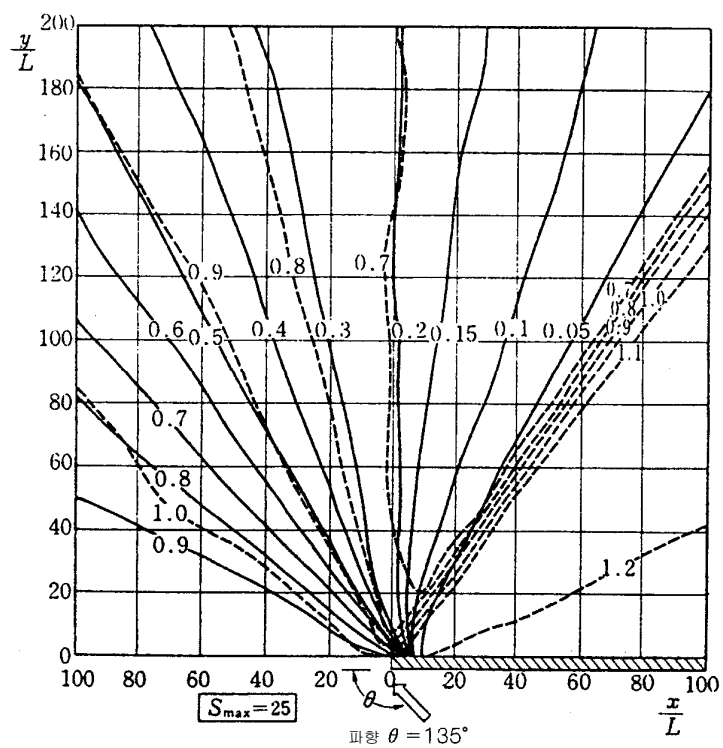
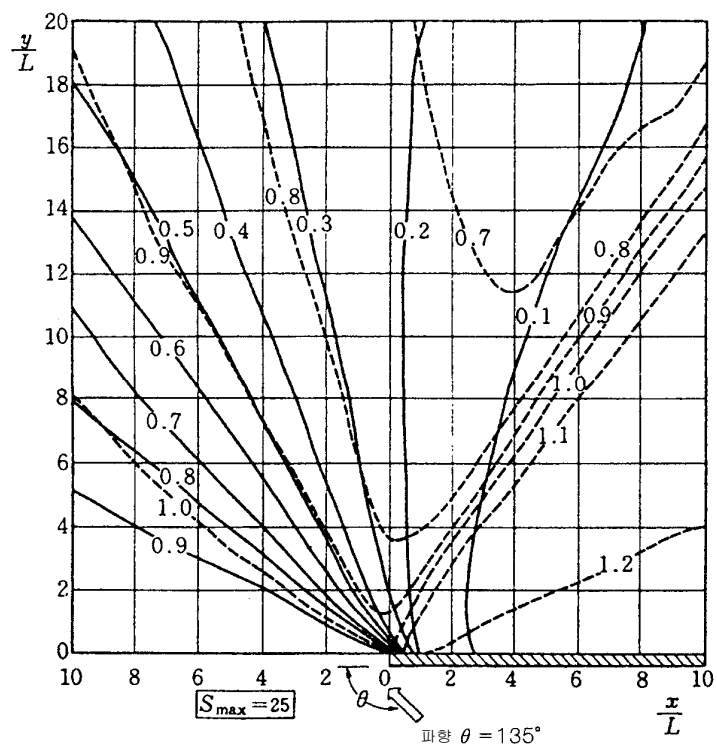
(1)  $S_{\max} = 10$



부록 그림 (5-1) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=135^\circ$ ,  $S_{\max} = 10$ )

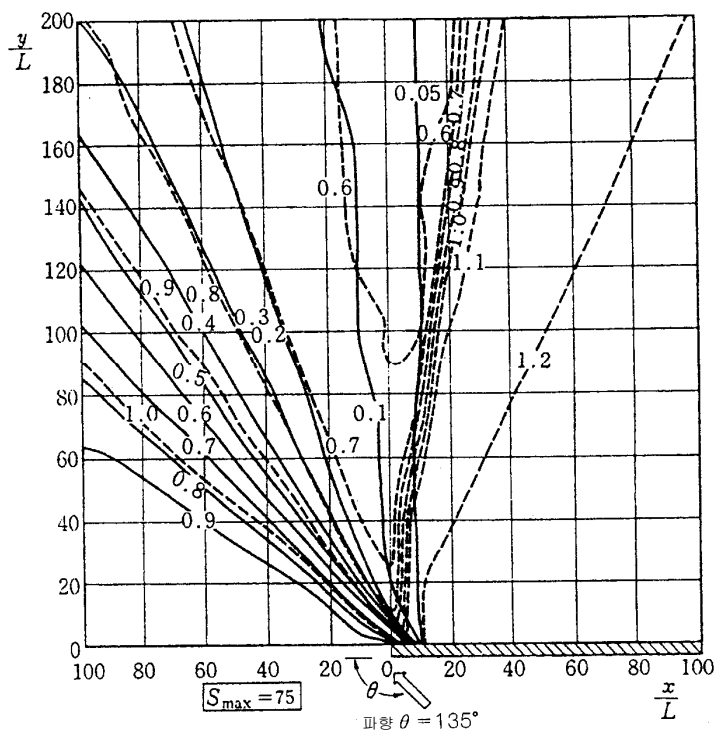
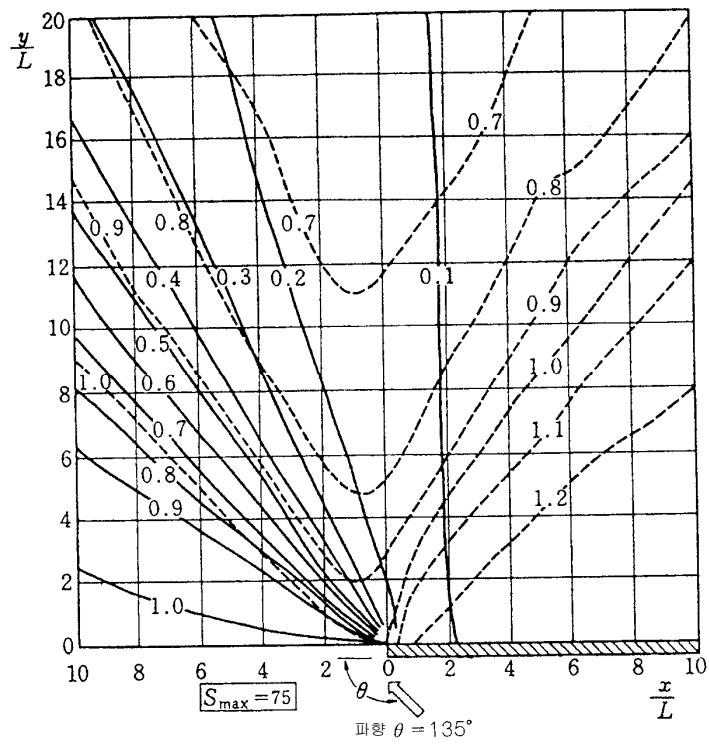
## 설계조건

(2)  $S_{\max} = 25$



부록 그림 (5-2) 반무한계에 의한 회절그림 ( $\theta=135^\circ$ ,  $S_{\max} = 25$ )

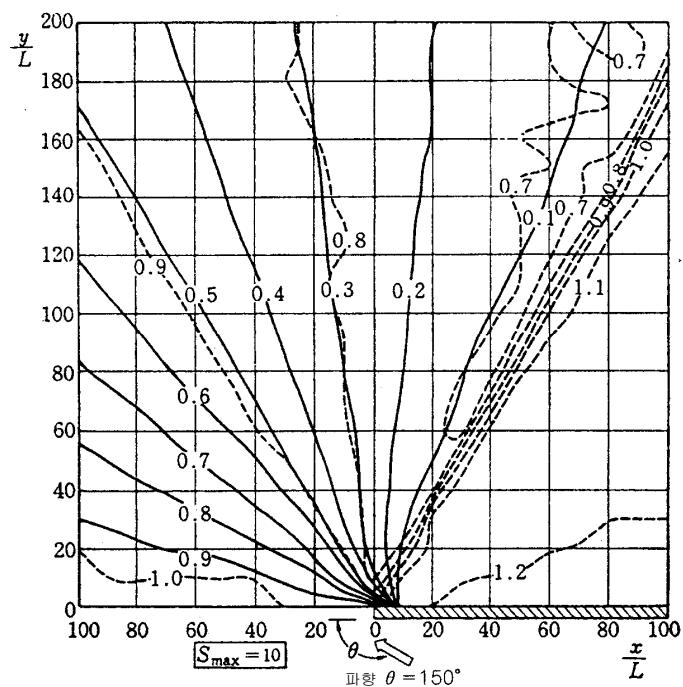
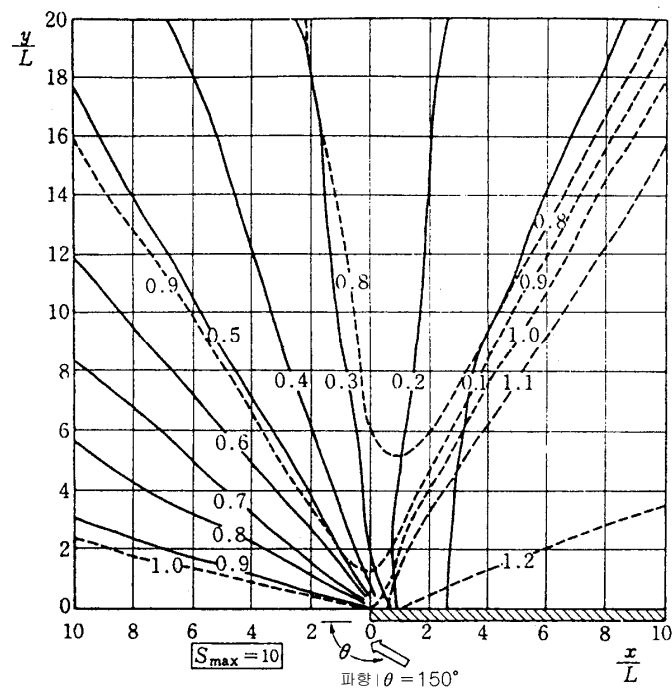
(3)  $S_{\max} = 75$



부록 그림 (5-3) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=135^\circ$ ,  $S_{\max} = 75$ )

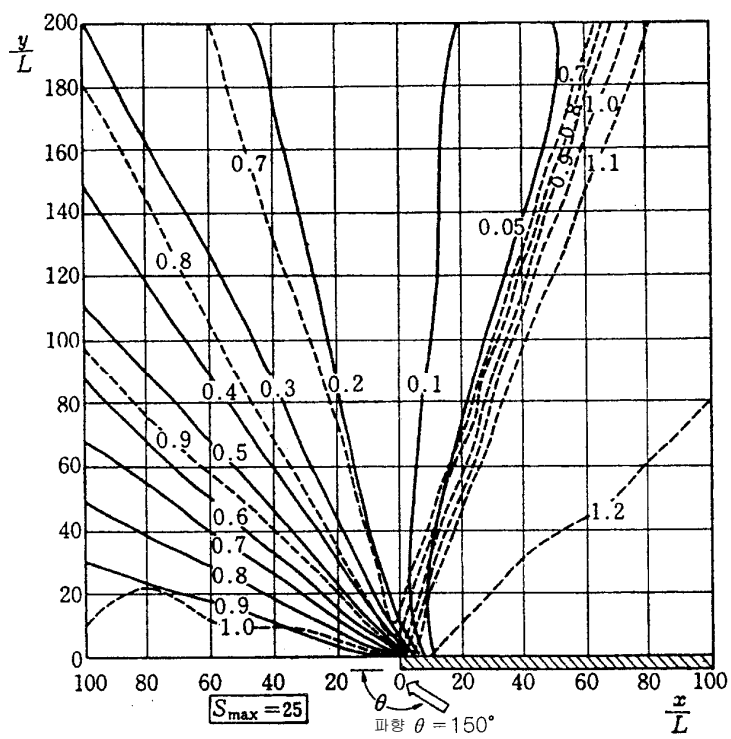
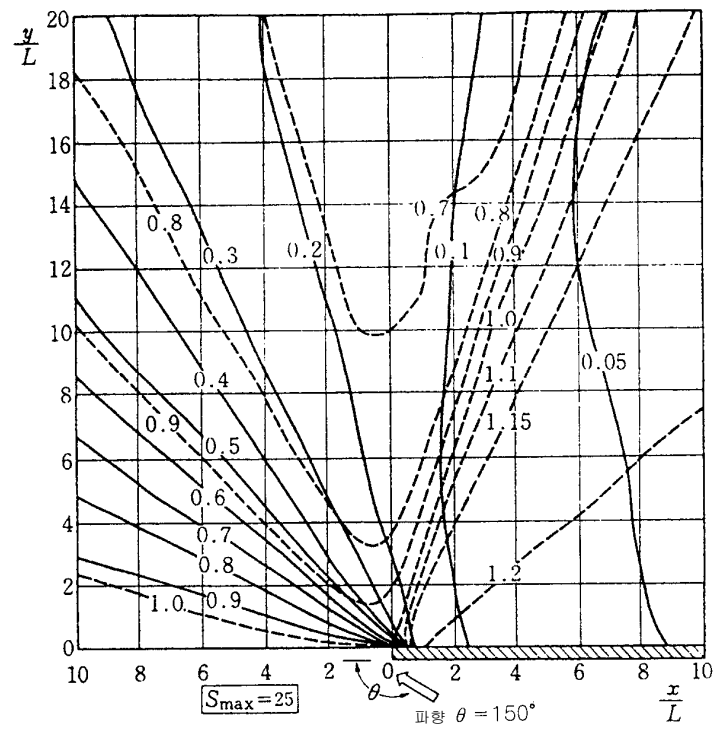
## 6. 반무한제에 의한 회절그림( $\theta=150^\circ$ )

(1)  $S_{\max} = 10$



부록 그림 (6-1) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=150^\circ$ ,  $S_{\max} = 10$ )

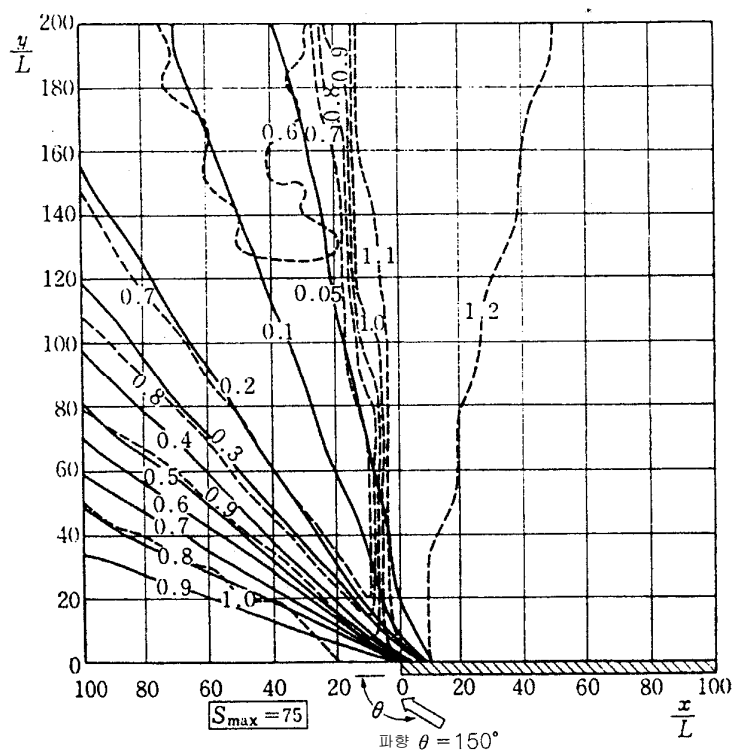
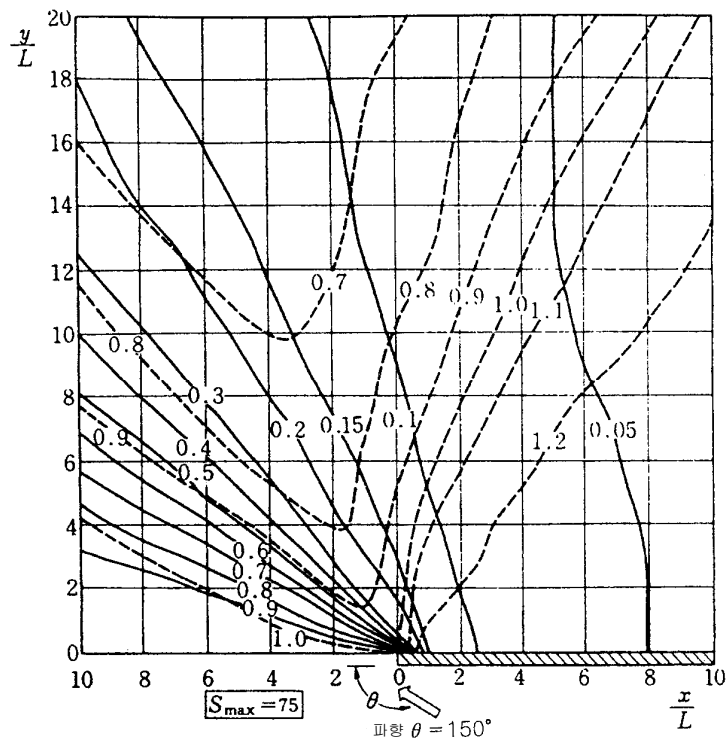
(2)  $S_{\max} = 25$



부록 그림 (6-2) 반무한선에 의한 회절그림 ( $\theta=150^\circ$ ,  $S_{\max} = 25$ )

## 설계조건

(3)  $S_{\max} = 75$

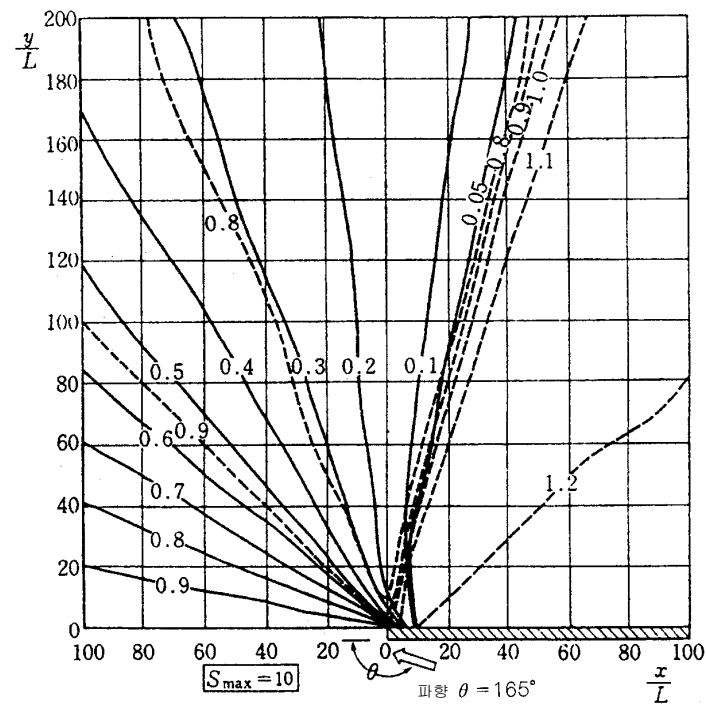
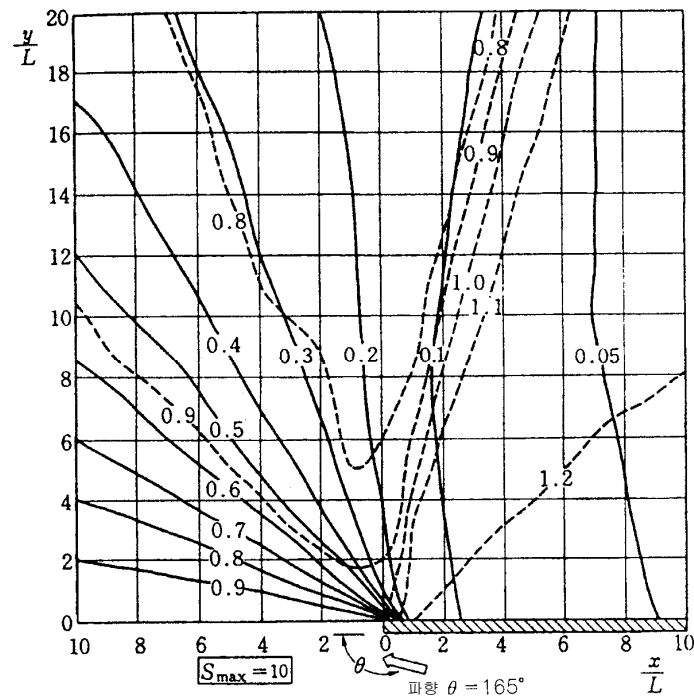


부록 그림 (6-3) 반무한체에 의한 회절그림 ( $\theta=150^\circ$ ,  $S_{\max} = 75$ )



## 7. 반무한제에 의한 회절그림( $\theta=165^\circ$ )

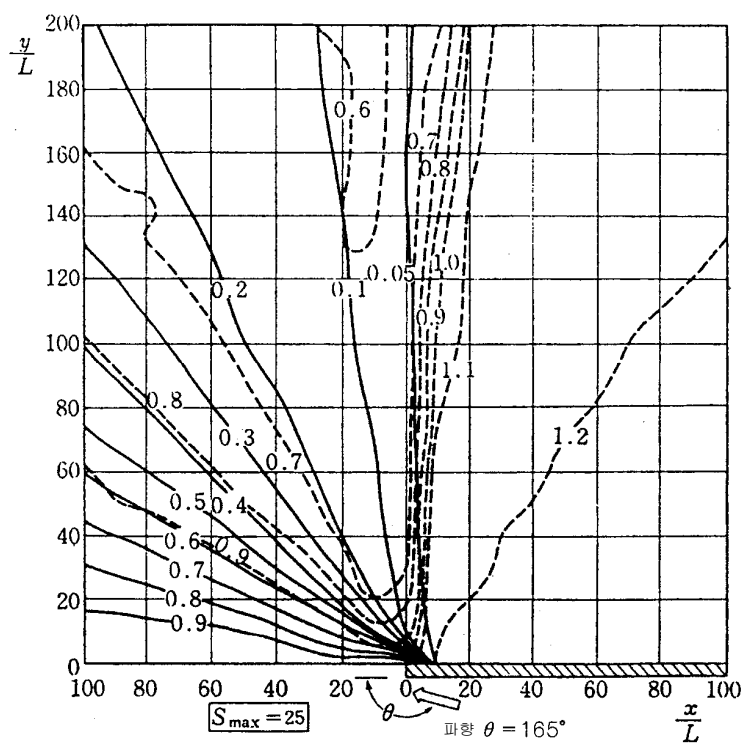
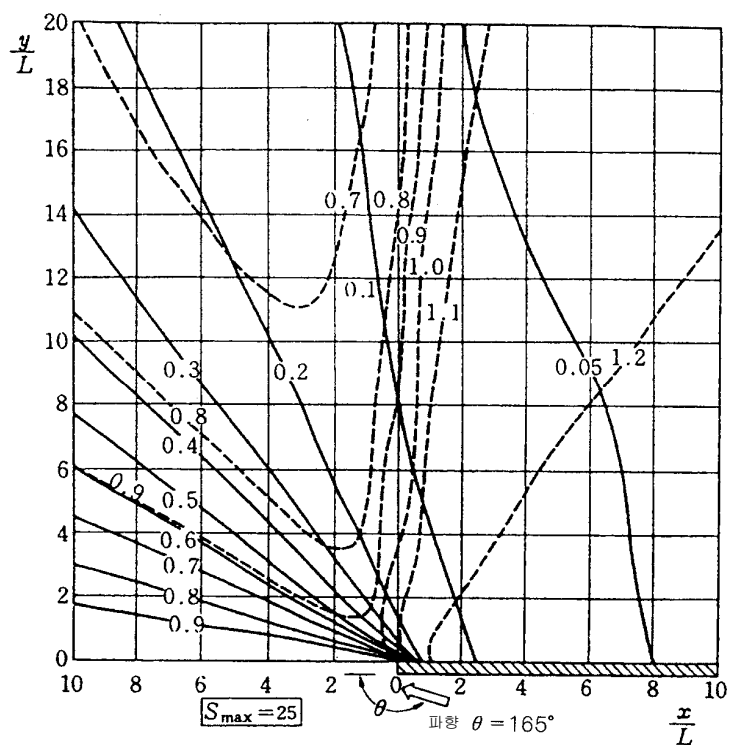
(1)  $S_{\max} = 10$



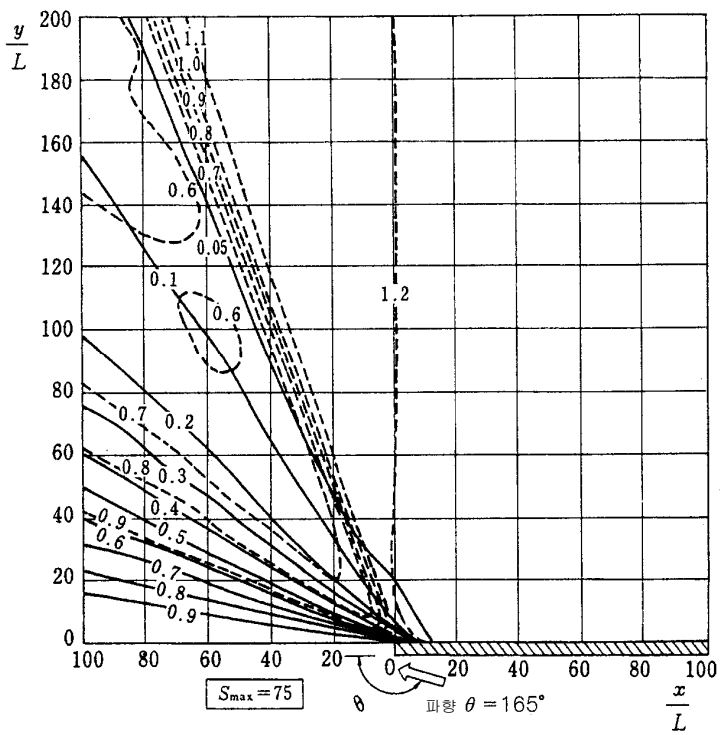
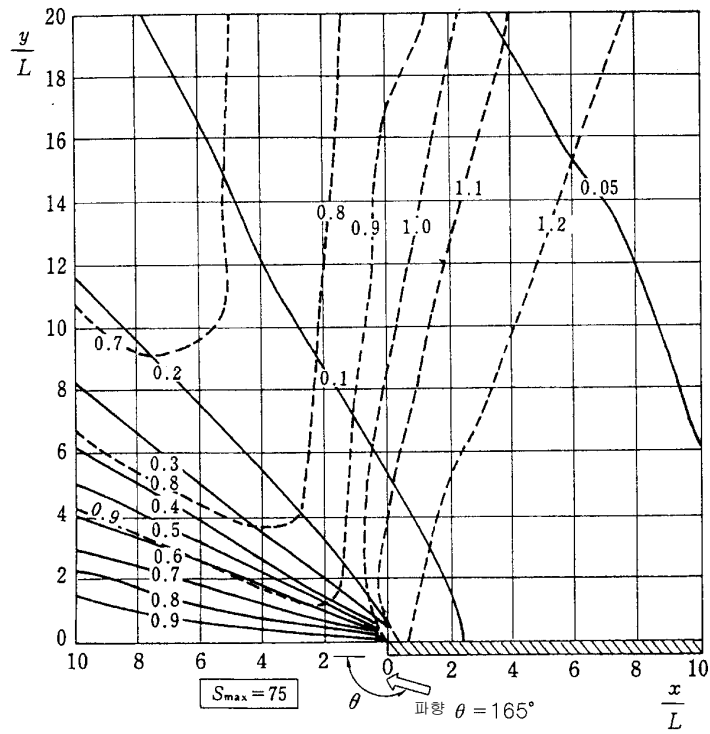
부록 그림 (7-1) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=165^\circ$ ,  $S_{\max} = 10$ )

# 설계조건

(2)  $S_{\max} = 25$

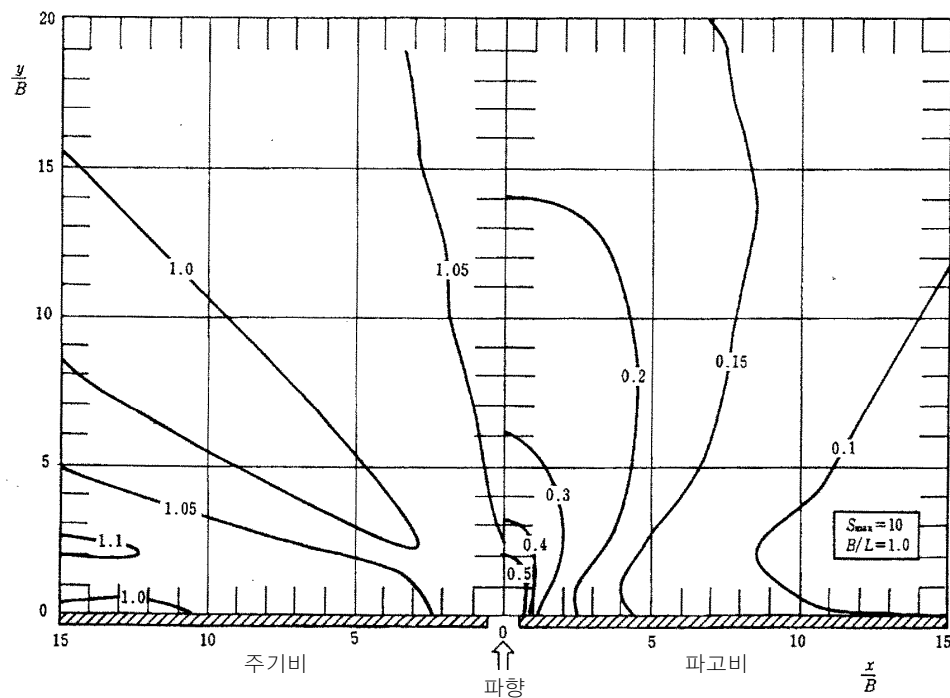
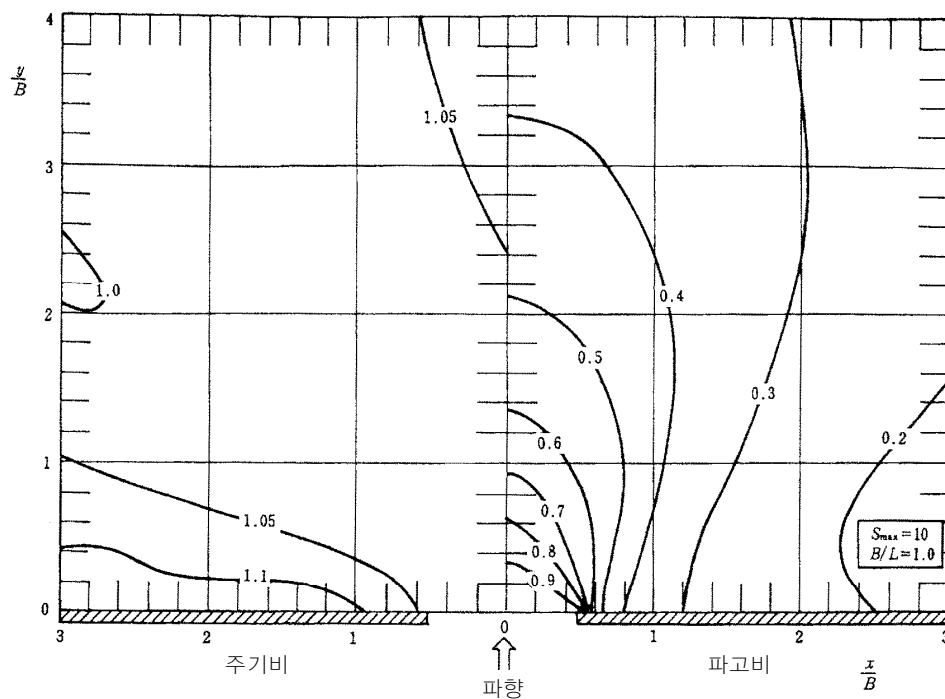


부록 그림 (7-2) 반무한제에 의한 회절그림 ( $\theta=165^\circ$ ,  $S_{\max} = 25$ )

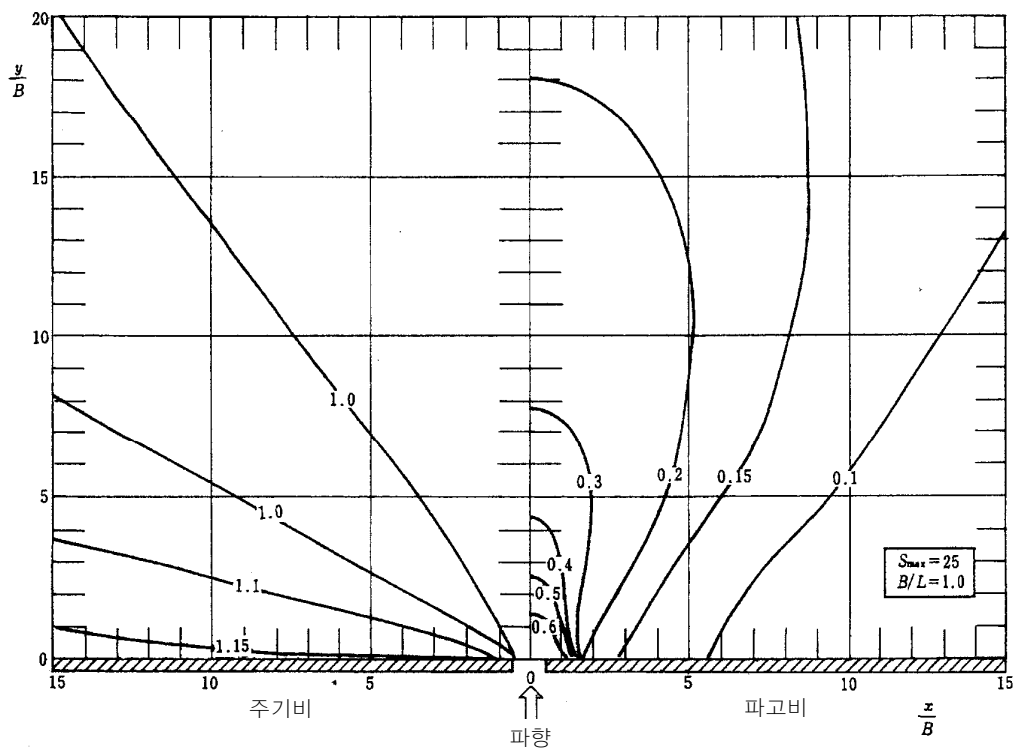
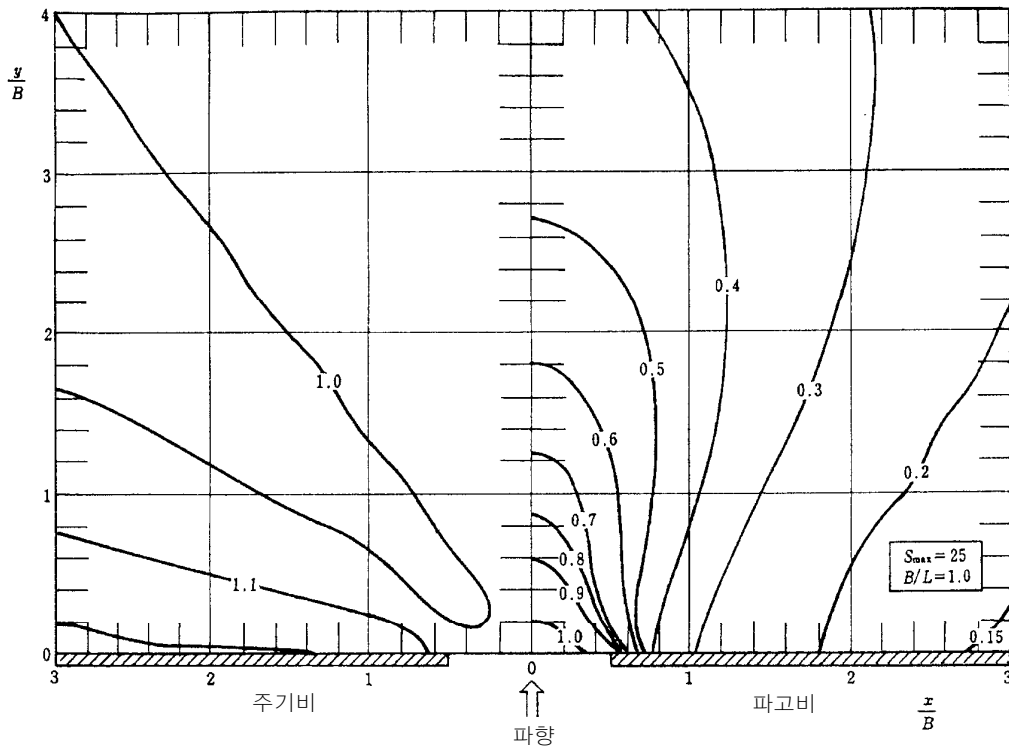
(3)  $S_{\max} = 75$ 부록 그림 (7-3) 반무한체에 의한 회절그림 ( $\theta=165^\circ$ ,  $S_{\max} = 75$ )

## 8. 개구방파제에 의한 회절그림( $B/L=1.0$ )

(1)  $S_{max} = 10$

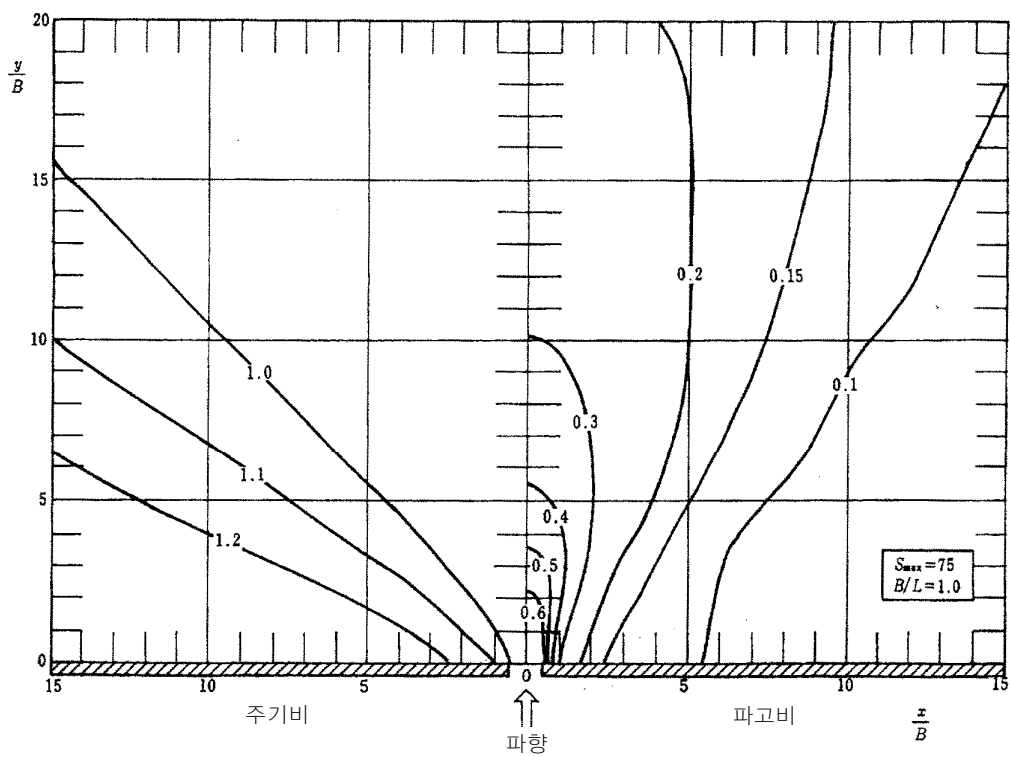
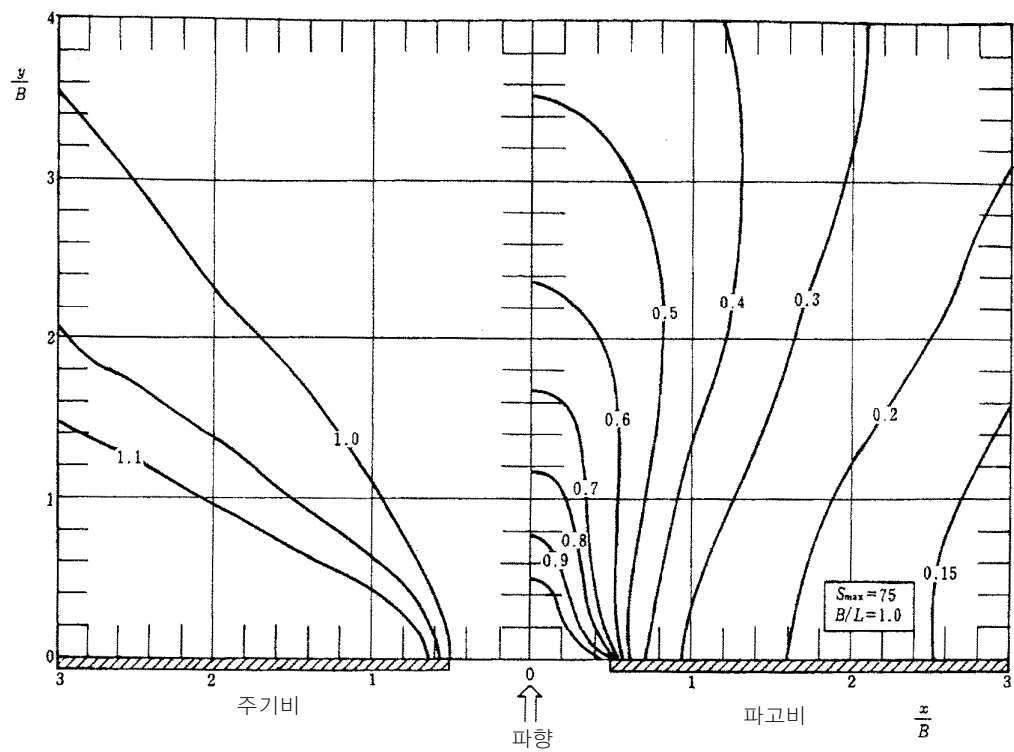


부록 그림 (8-1) 구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=1.0$ ,  $S_{max}=10$ )

(2)  $S_{max} = 25$ 부록 그림 (8-2) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=1.0$ ,  $S_{max}=25$ )

## 설계조건

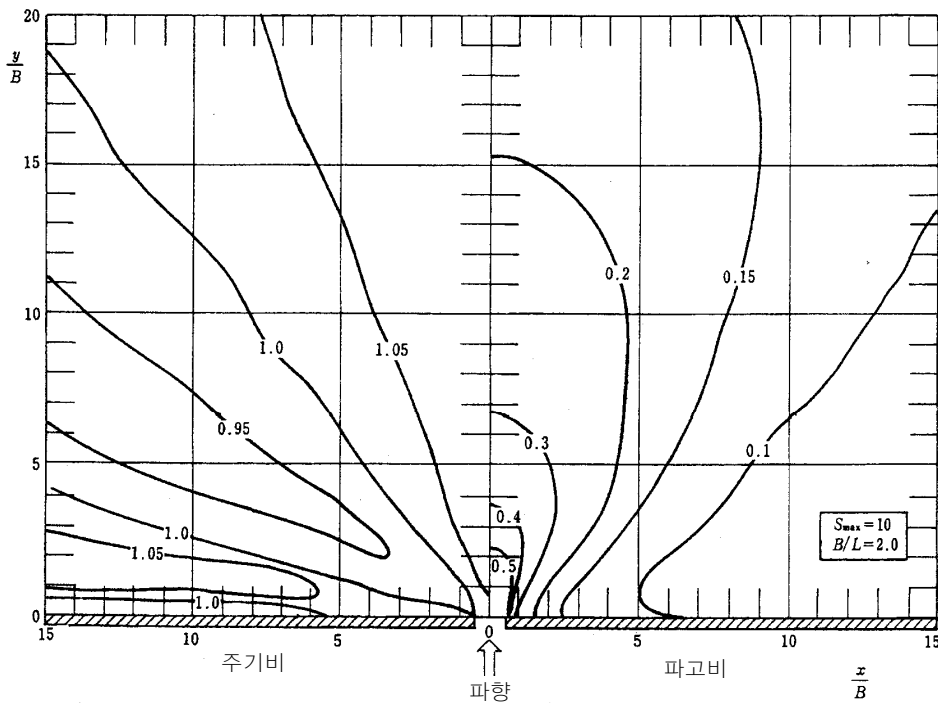
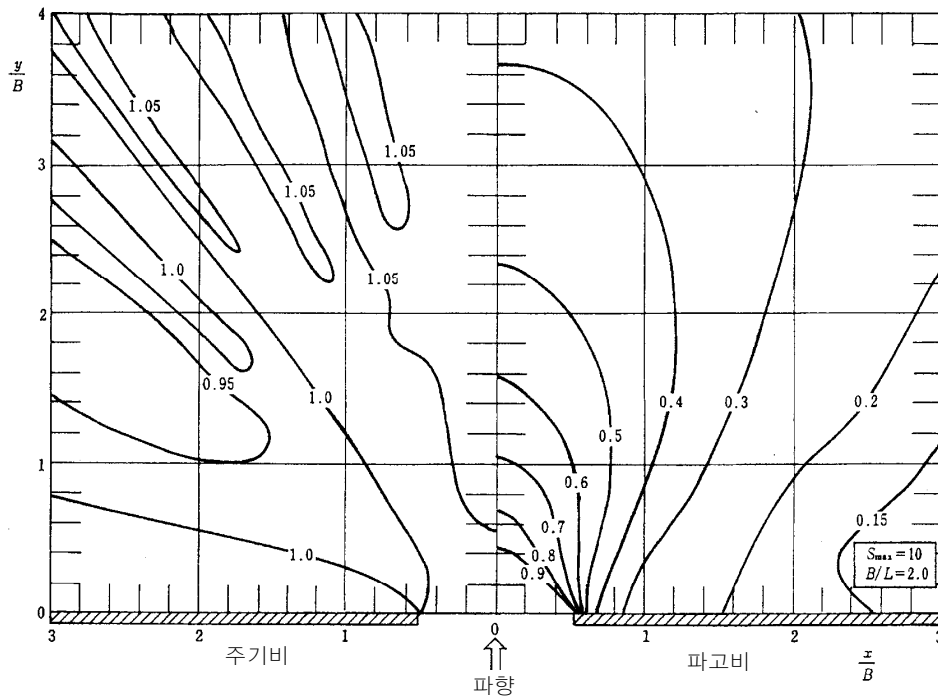
(3)  $S_{max} = 75$



부록 그림 (8-3) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=1.0$ ,  $S_{max}=75$ )

## 9. 개구방파제에 의한 회절그림( $B/L=2.0$ )

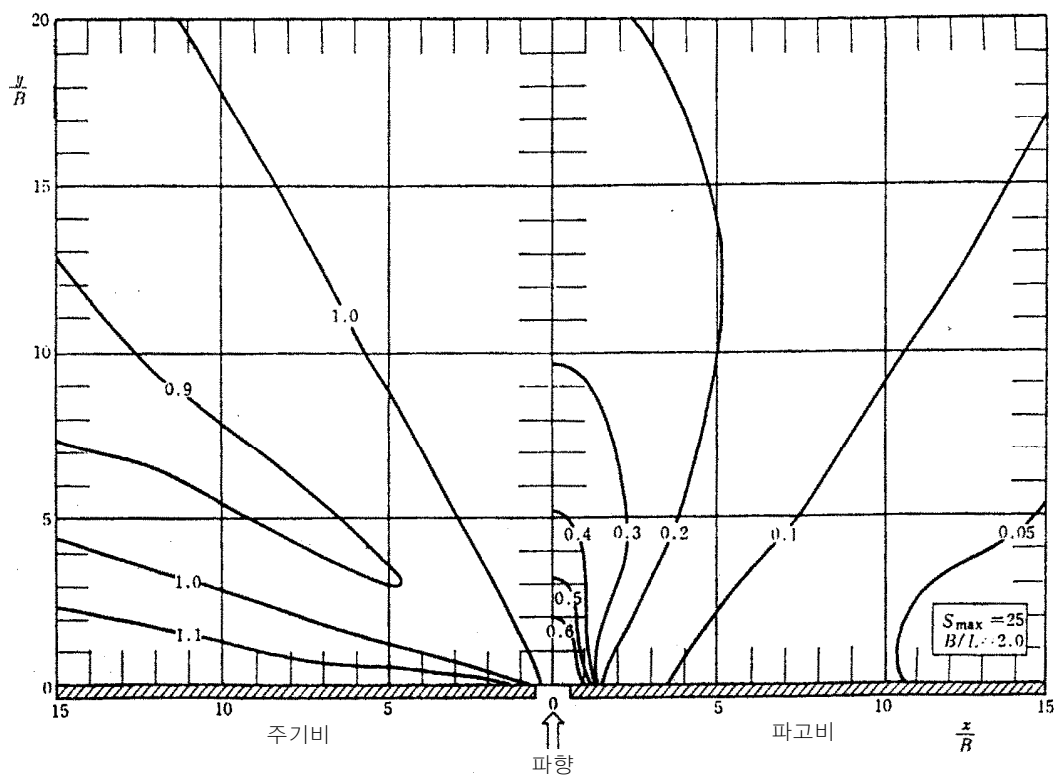
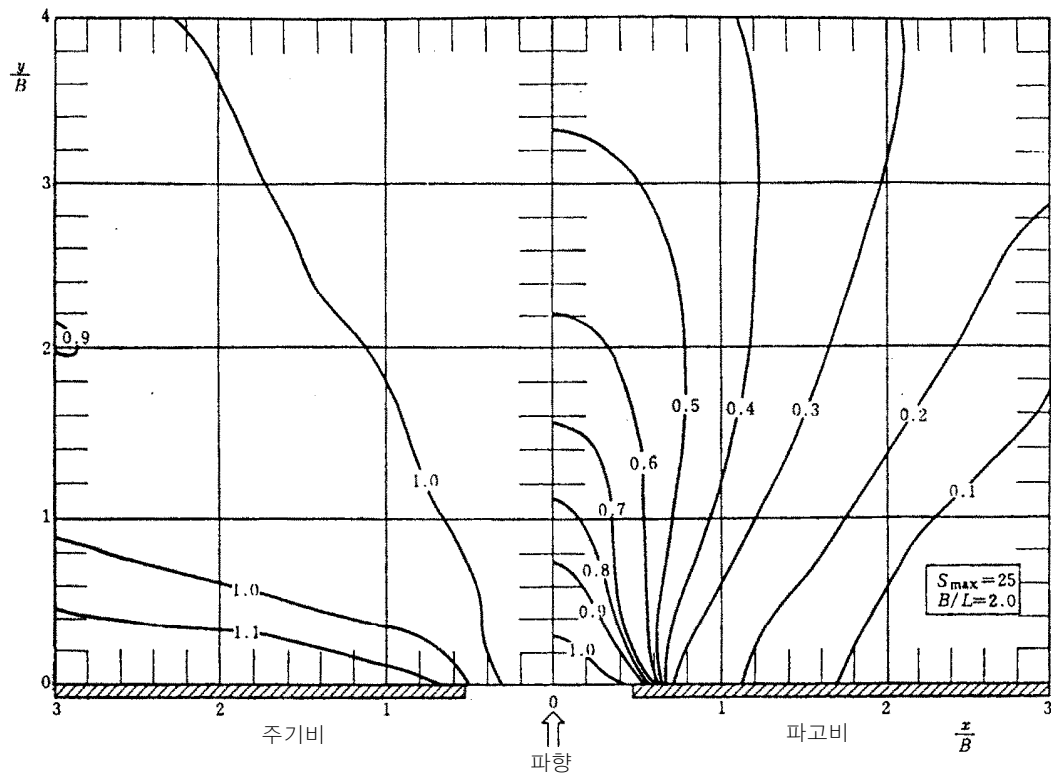
(1)  $S_{\max} = 10$



부록 그림 (9-1) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=2.0$ ,  $S_{\max}=10$ )

## 설계조건

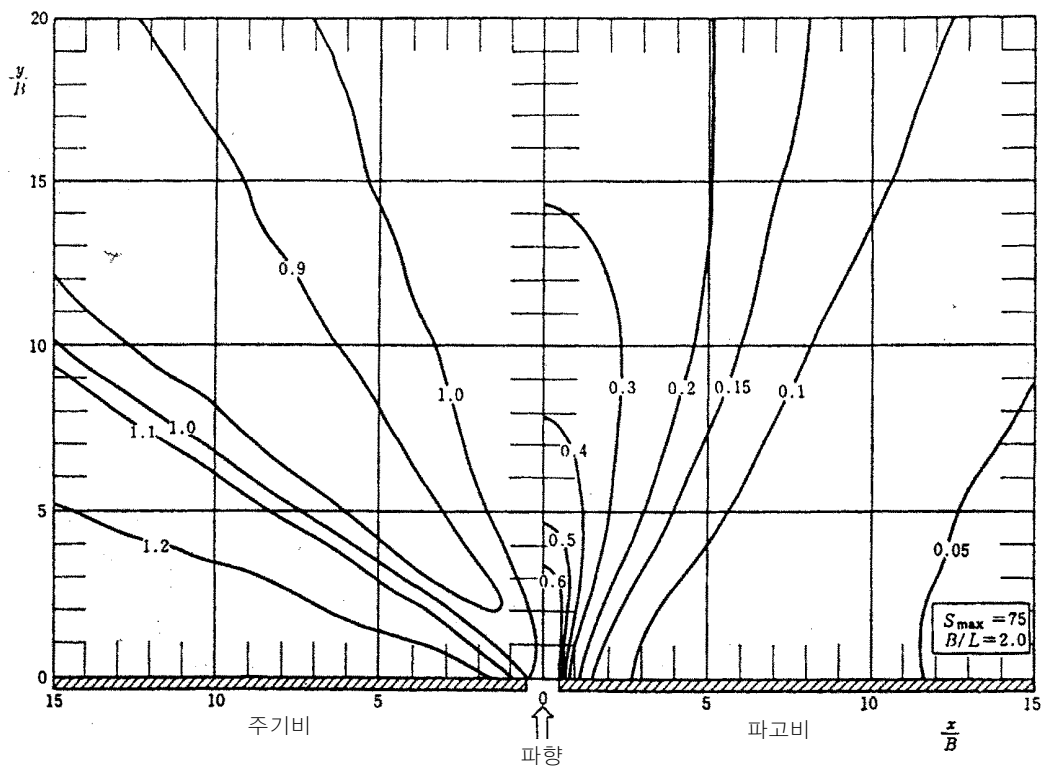
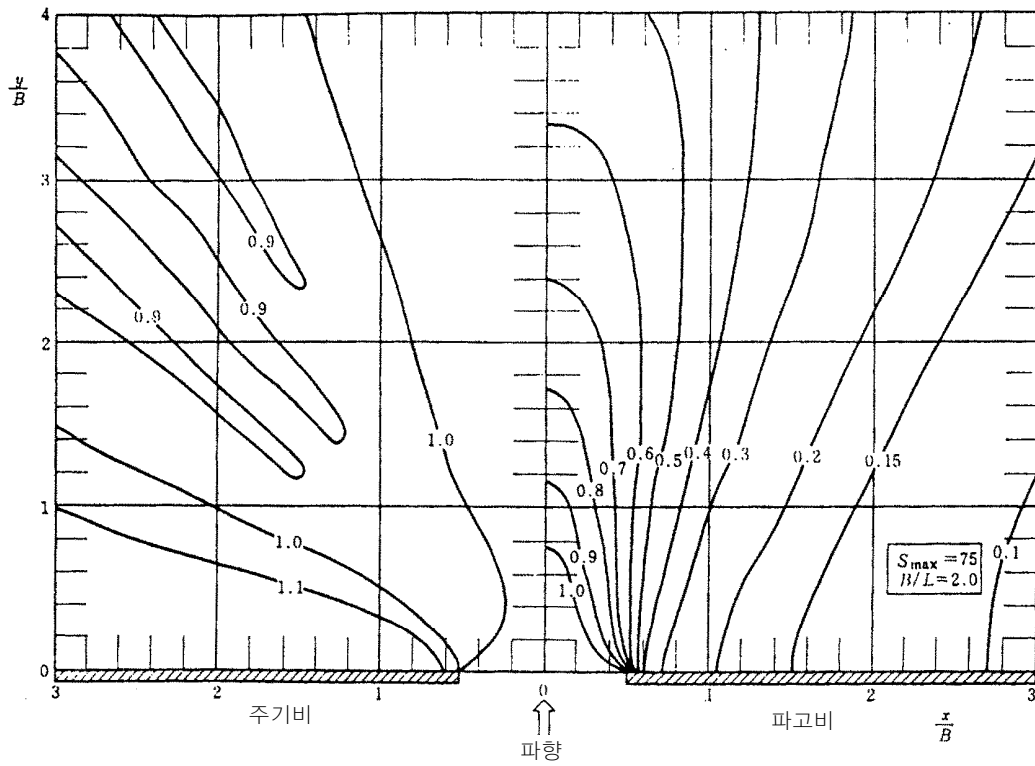
(2)  $S_{\max} = 25$



부록 그림 (9-2) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=2.0$ ,  $S_{\max}=25$ )



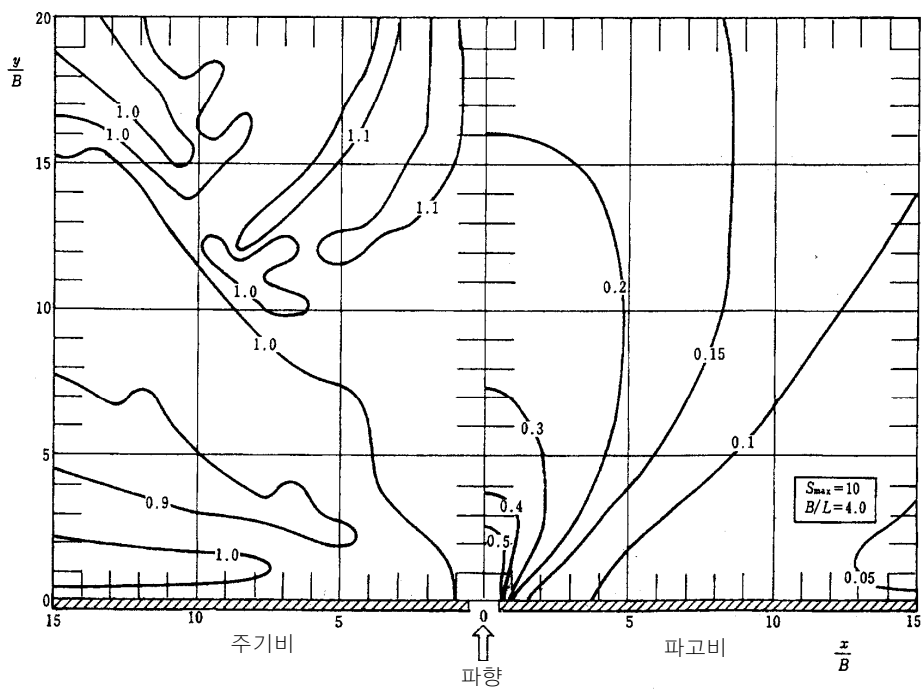
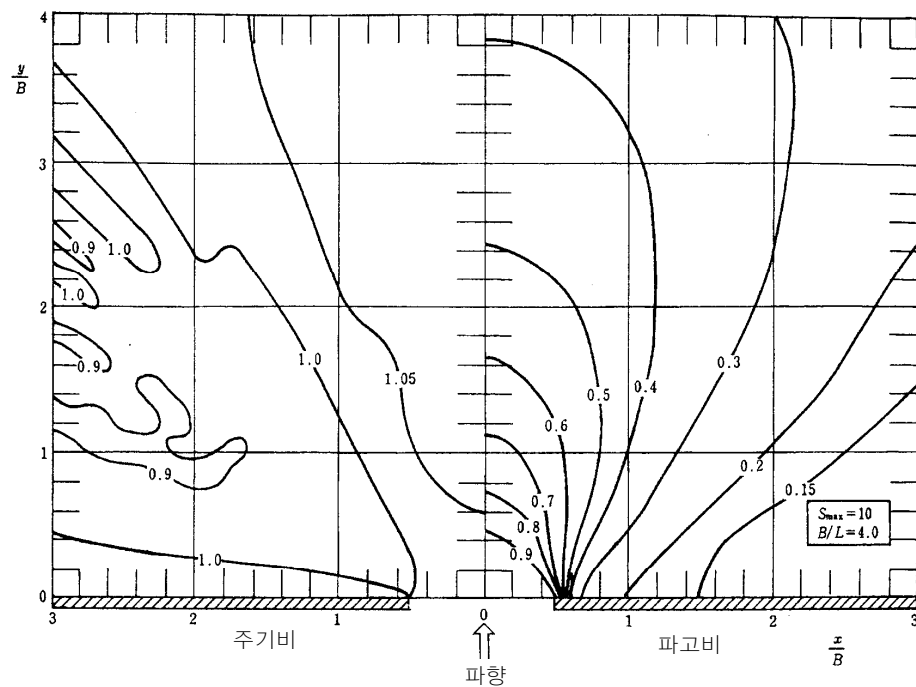
(3)  $S_{\max} = 75$



부록 그림 (9-3) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=2.0$ ,  $S_{\max}=75$ )

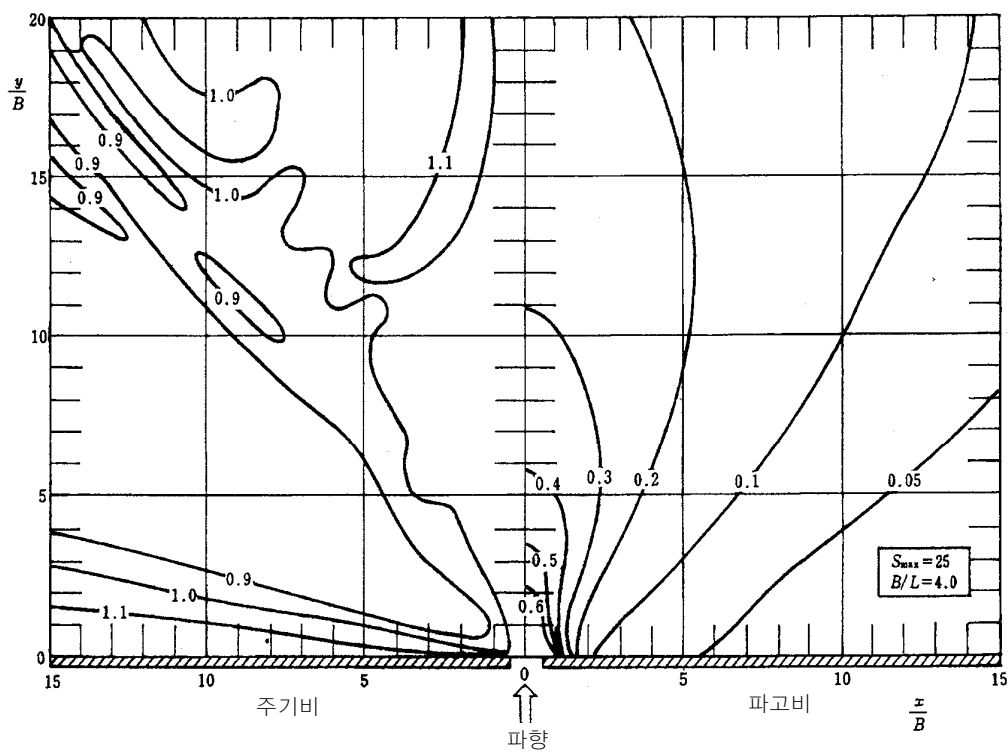
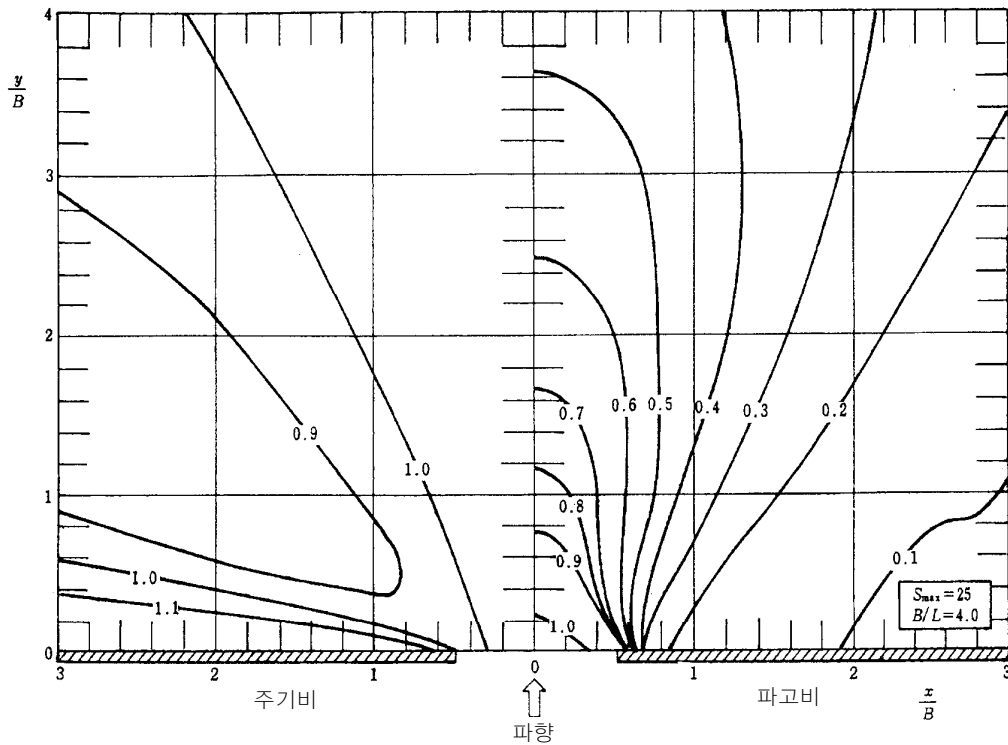
## 10. 개구방파제에 의한 회절그림( $B/L=4.0$ )

(1)  $S_{max} = 10$



부록 그림 (10-1) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=4.0$ ,  $S_{max}=10$ )

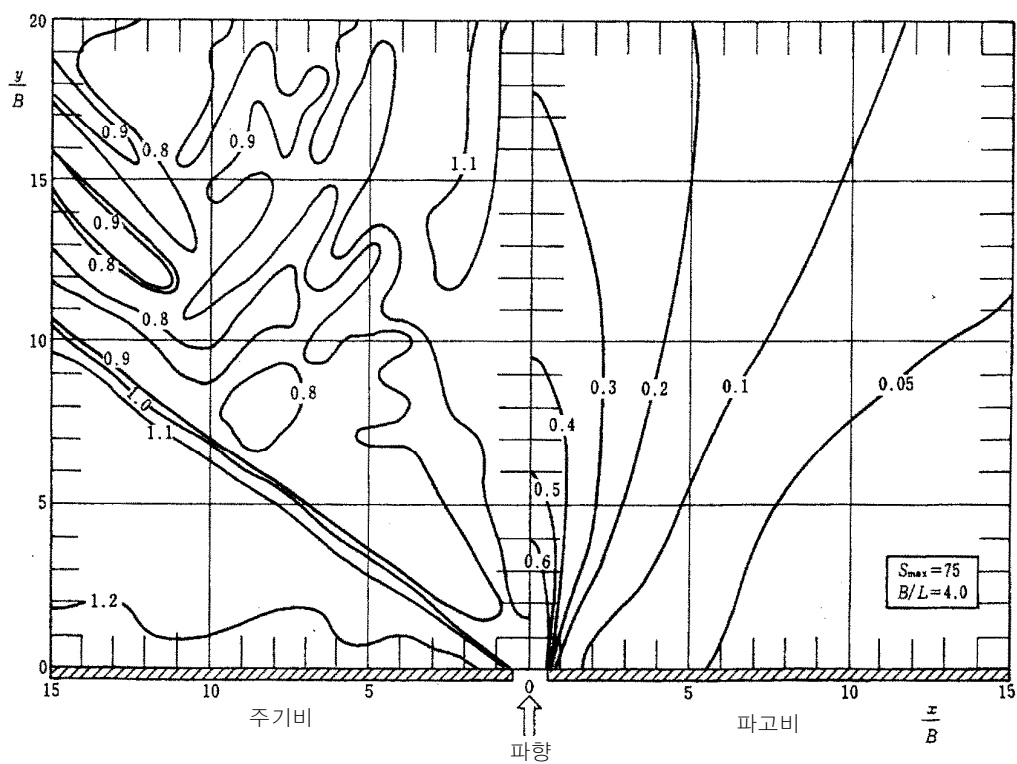
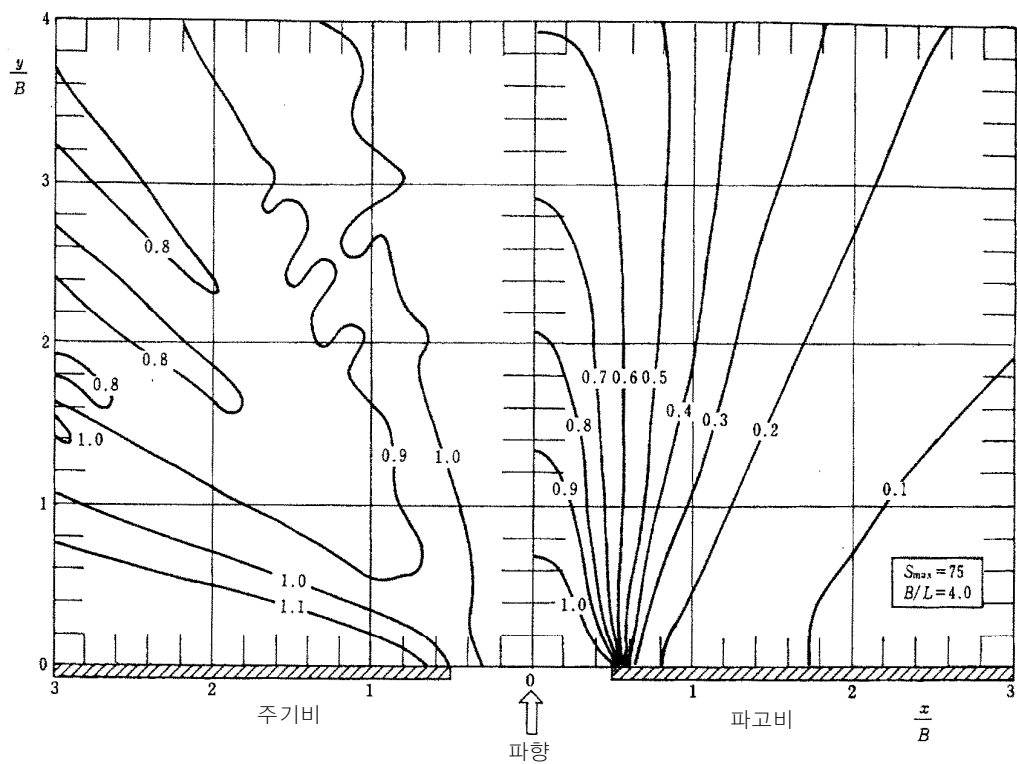
(2)  $S_{max} = 25$



부록 그림 (10-2) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=4.0$ ,  $S_{max}=25$ )

# 설계조건

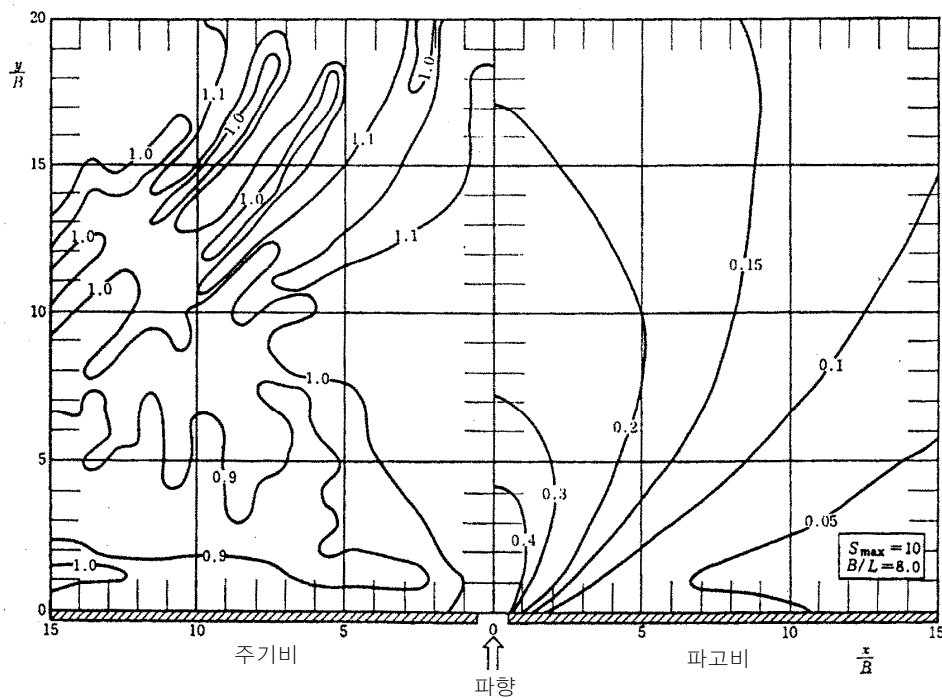
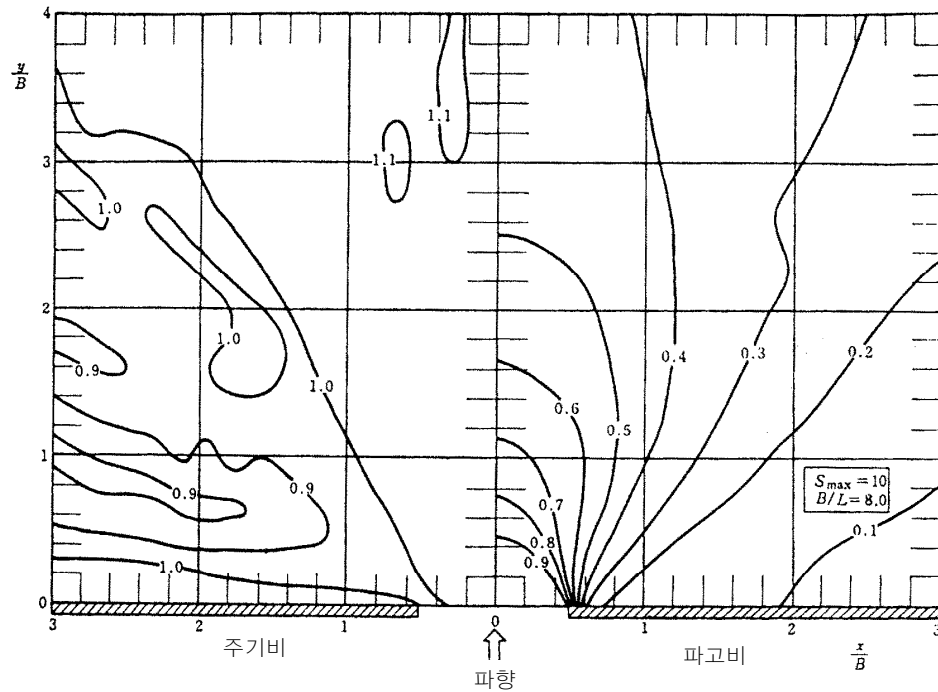
(3)  $S_{max} = 75$



부록 그림 (10-3) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=4.0$ ,  $S_{max}=75$ )

# 11. 개구방파제에 의한 회절그림( $B/L=8.0$ )

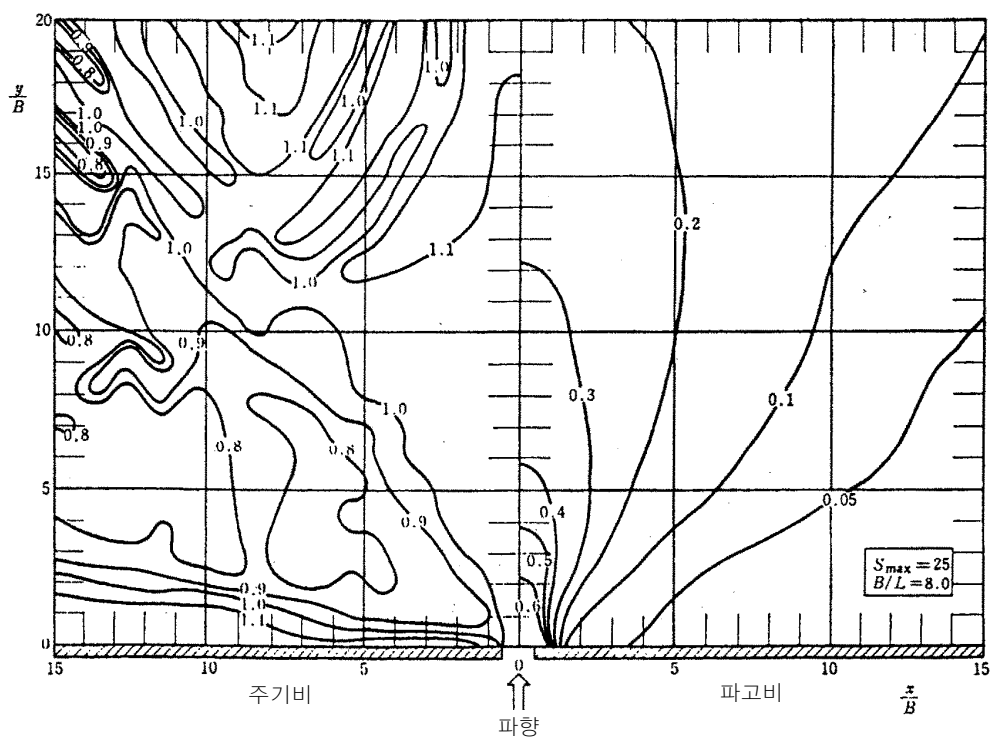
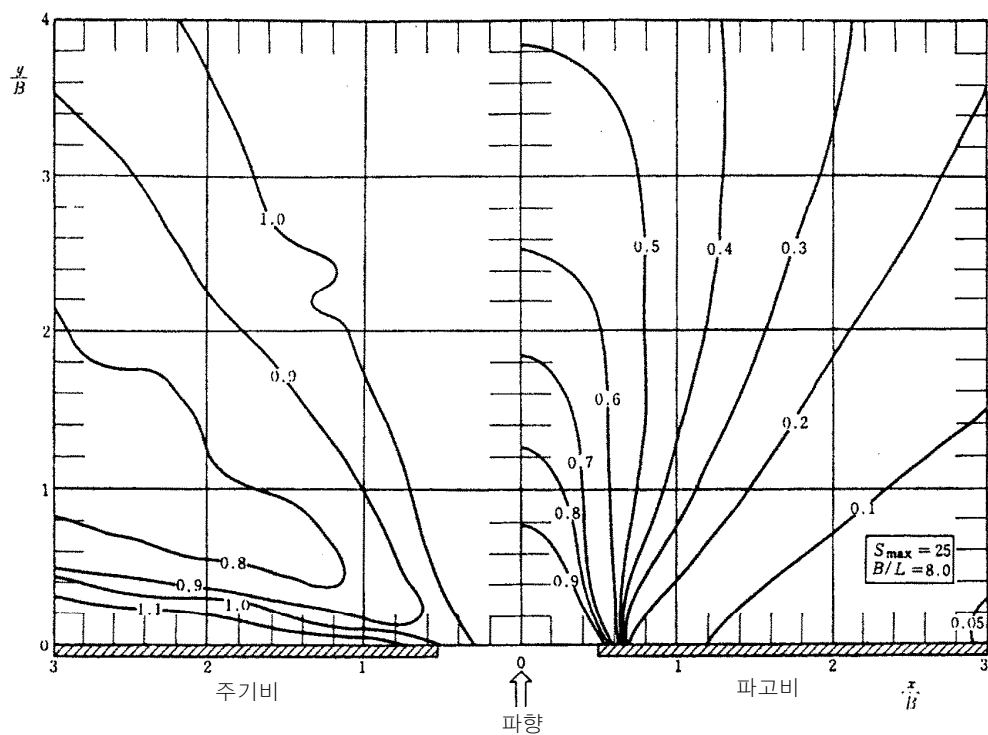
(1)  $S_{max} = 10$



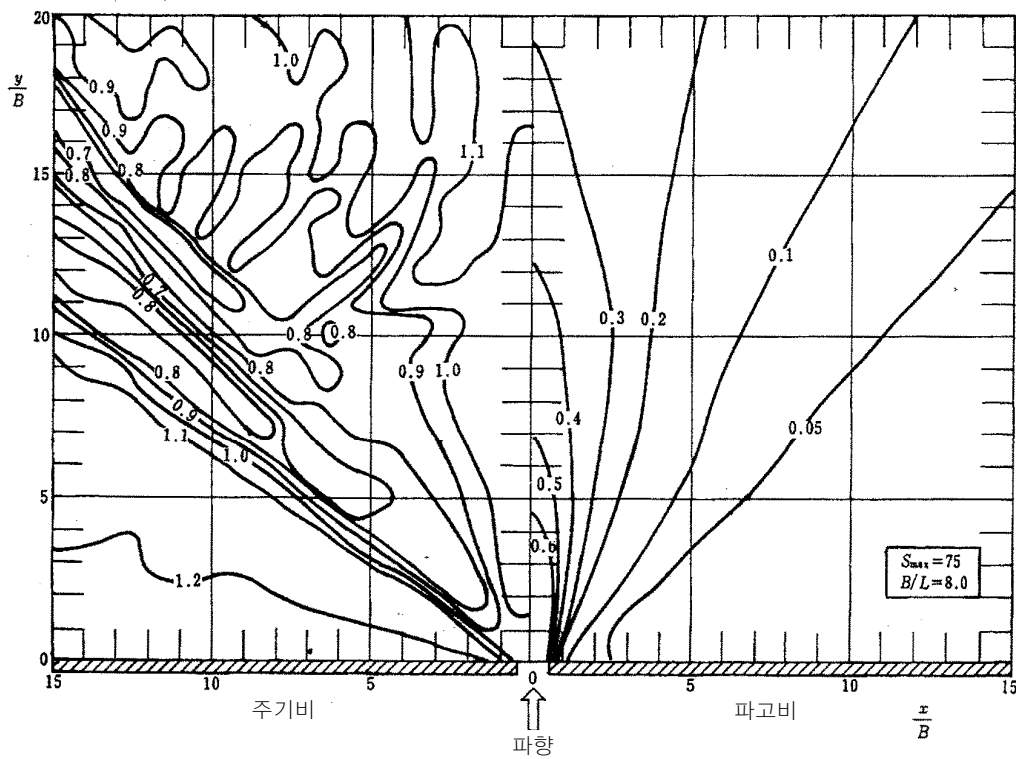
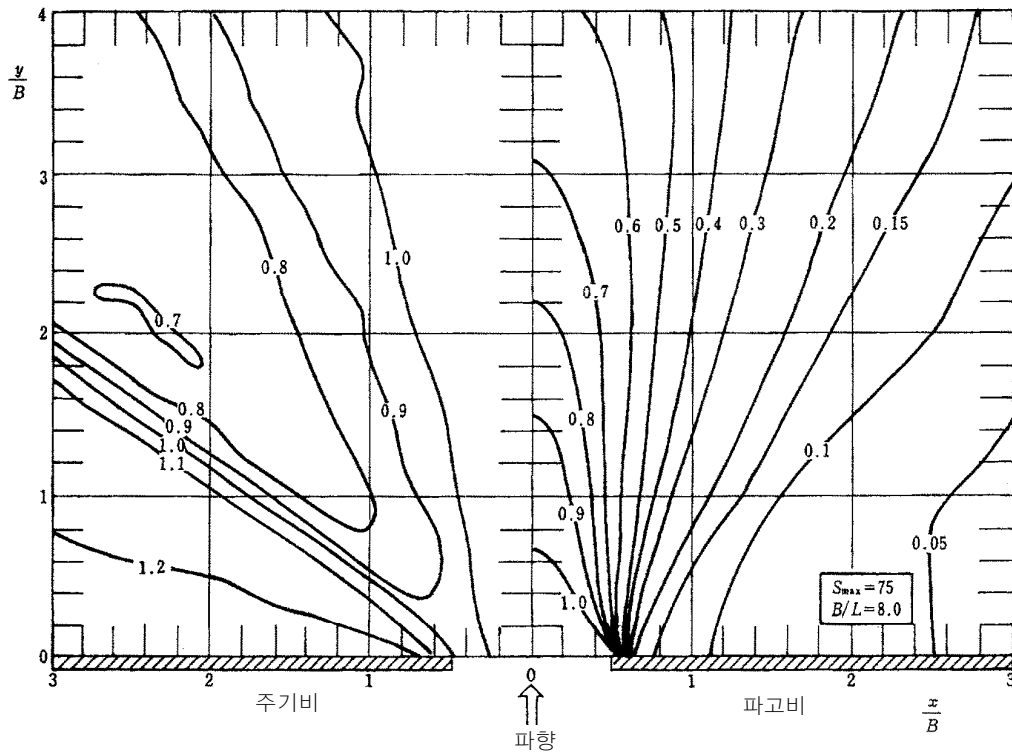
부록 그림 (11-1) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=8.0$ ,  $S_{max}=10$ )

## 설계조건

(2)  $S_{max} = 25$

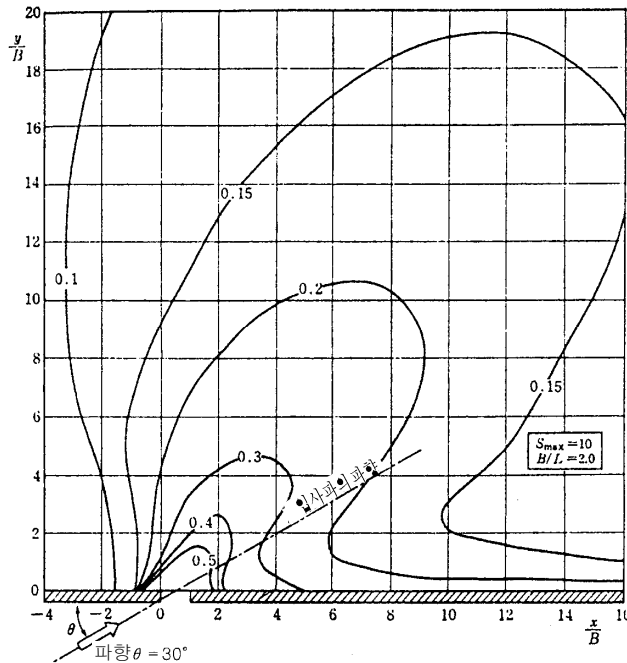


부록 그림 (11-2) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=8.0$ ,  $S_{max}=25$ )

(3)  $S_{max} = 75$ 부록 그림 (11-3) 개구방파제에 의한 회절그림 ( $B/L=8.0$ ,  $S_{max}=75$ )

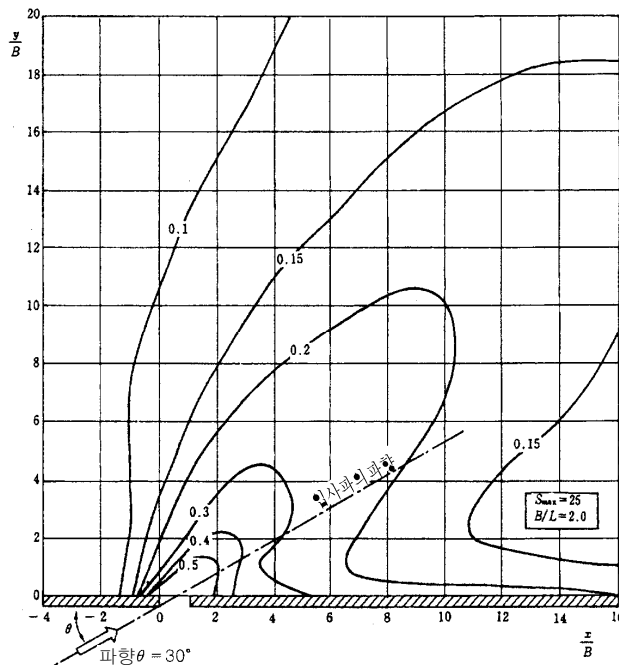
## 12. 경사진 입사파의 회절그림( $B/L=2.0$ , $\theta=30^\circ$ )

(1)  $S_{\max} = 10$



부록 그림 (12-1) 경사진 입사파의 회절그림 ( $B/L=2.0$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $S_{\max}=10$ )

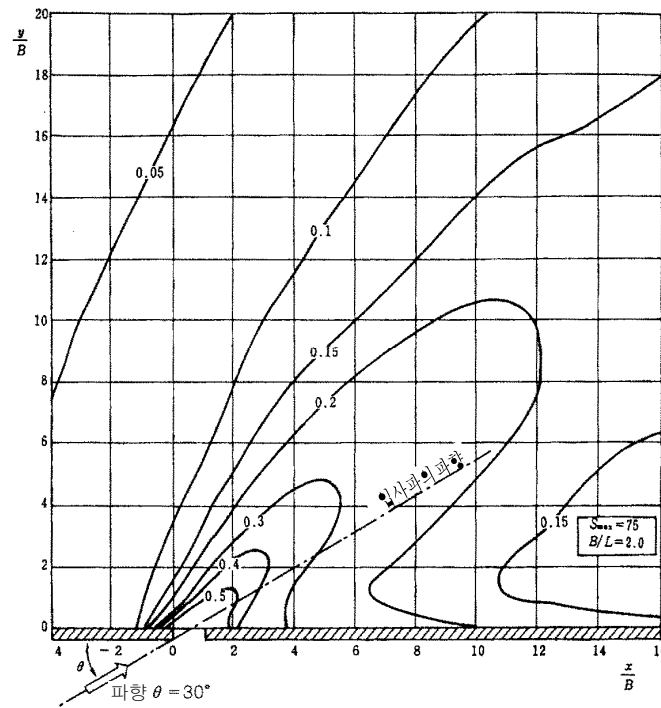
(2)  $S_{\max} = 25$



부록 그림 (12-2) 경사진 입사파의 회절그림 ( $B/L=2.0$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $S_{\max}=25$ )



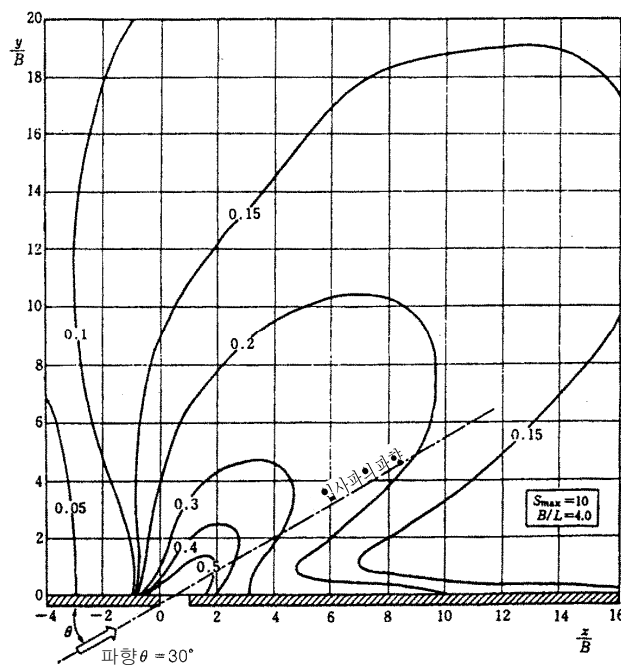
(3)  $S_{max} = 75$



부록 그림 (12-3) 경사진 입사파의 회절그림 ( $B/L=2.0$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $S_{max}=75$ )

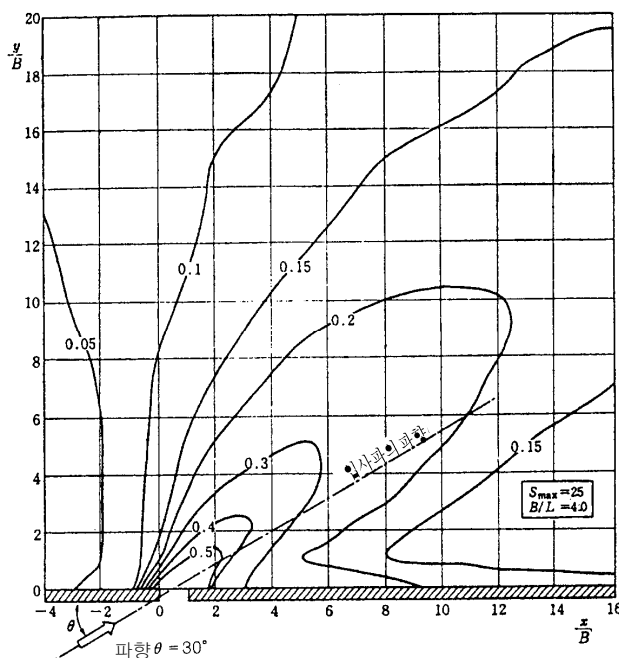
### 13. 경사진 입사파의 회절그림( $B/L=4.0$ , $\theta=30^\circ$ )

(1)  $S_{\max} = 10$



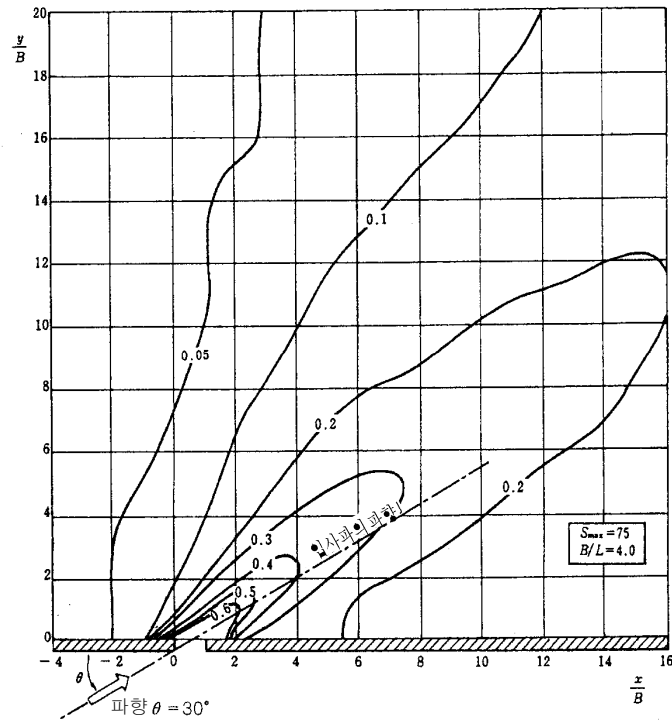
부록 그림 (13-1) 경사진 입사파의 회절그림 ( $B/L=4.0$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $S_{\max}=10$ )

(2)  $S_{\max} = 25$



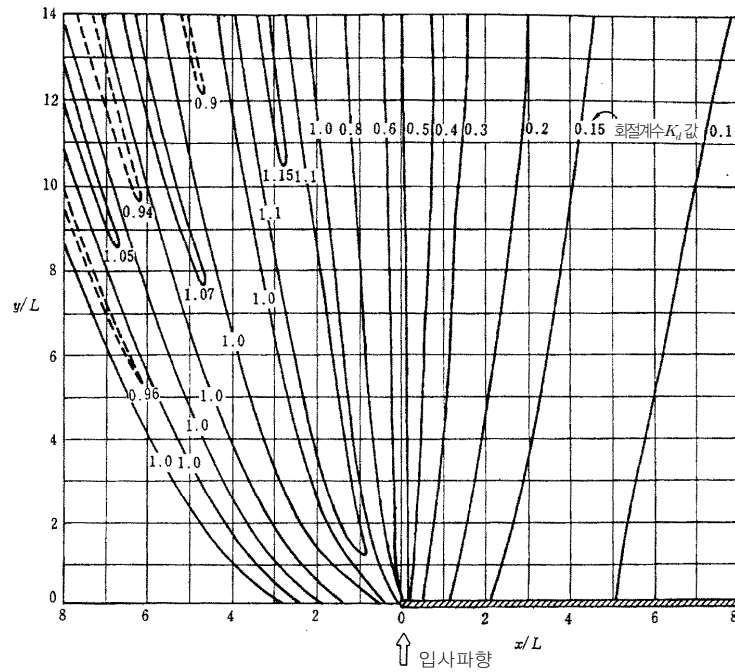
부록 그림 (13-2) 경사진 입사파의 회절그림 ( $B/L=4.0$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $S_{\max}=25$ )

(3)  $S_{max} = 75$

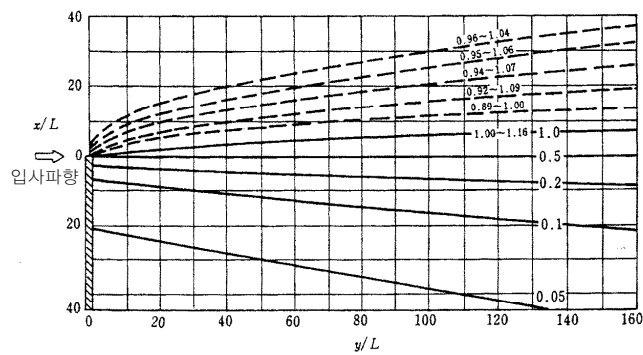


부록 그림 (13-3) 경사진 입사파의 회절그림 ( $B/L=4.0$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $S_{max}=75$ )

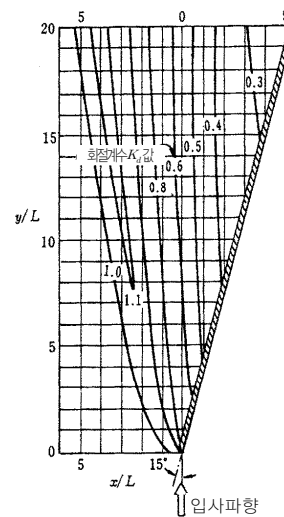
## 14. 반무한제에 의한 규칙파의 회절도



(a)  $\theta_o = 90^\circ$

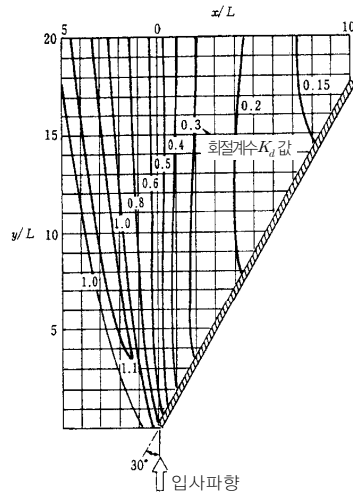
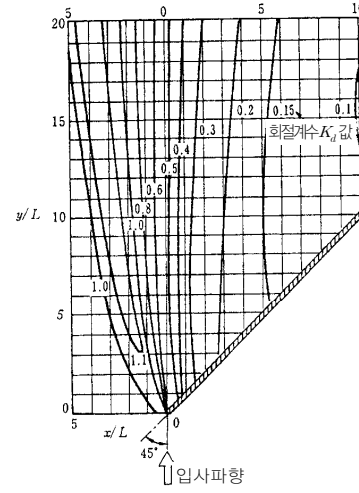
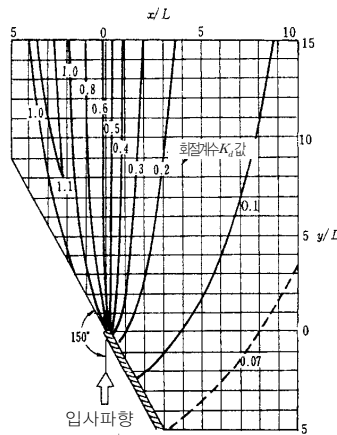
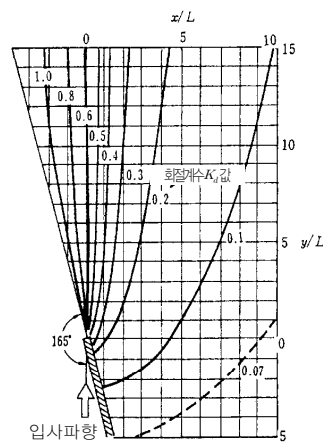
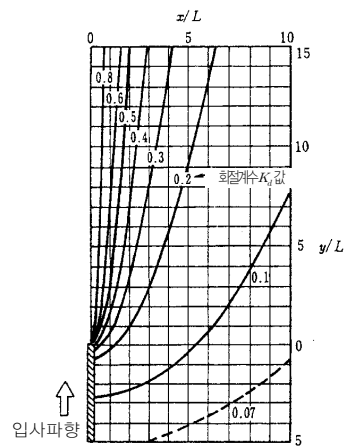


(b)  $\theta_o = 90^\circ$



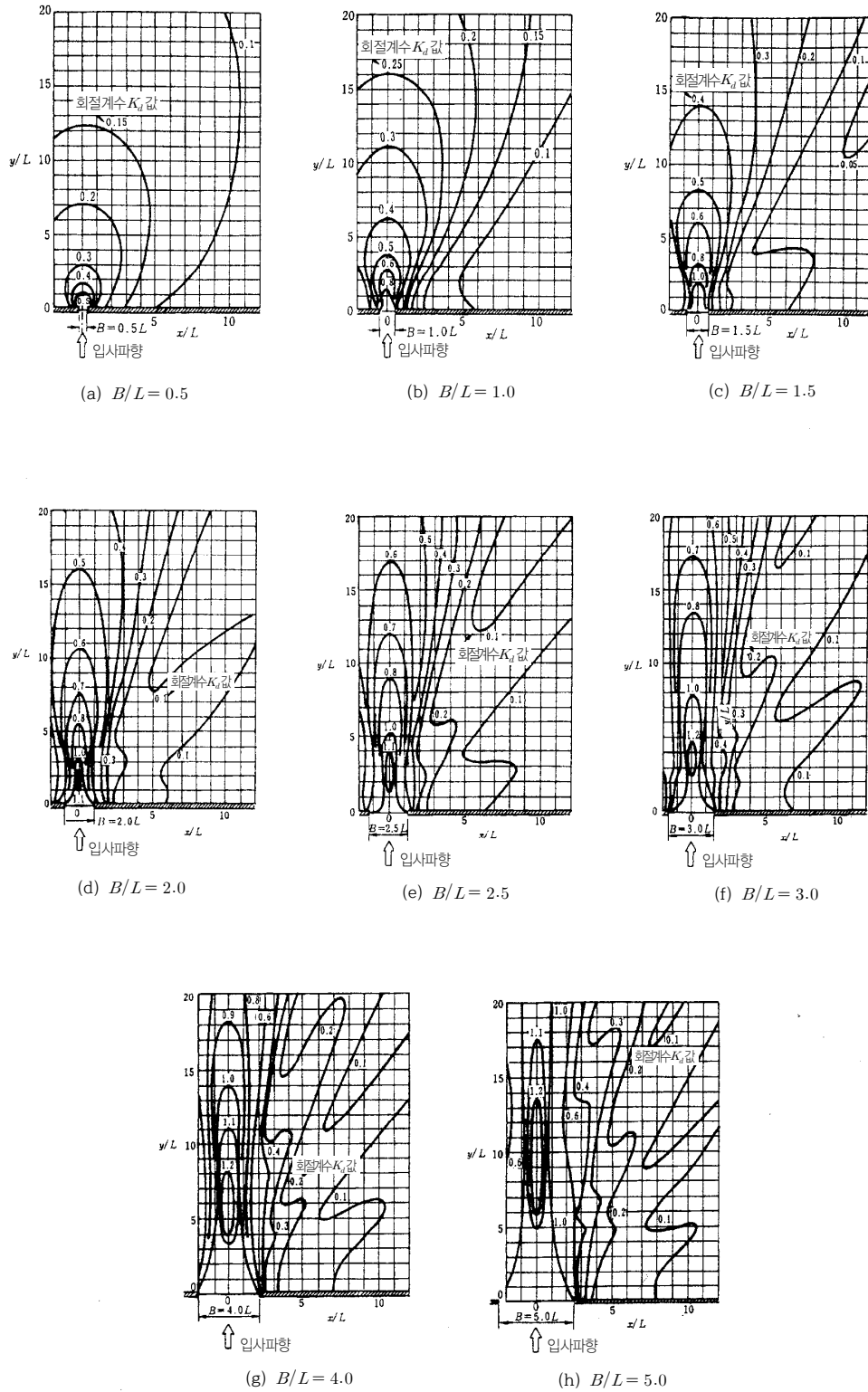
(c)  $\theta_o = 15^\circ$

부록 그림 (14-1) 반무한제에 의한 규칙파의 회절도

(d)  $\theta_o = 30^\circ$ (e)  $\theta_o = 45^\circ$ (f)  $\theta_o = 150^\circ$ (g)  $\theta_o = 165^\circ$ (h)  $\theta_o = 180^\circ$ 

부록 그림 (14-1) 반무한제에 의한 규칙파의 회절도(계속)

## 15. 개구부를 갖는 방파제에 의한 규칙파의 회절도



부록 그림 (15-1) 개구부를 갖는 방파제에 의한 규칙파의 회절도

집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전무
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	상무
	재료, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전무
	계류시설	이욱한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전무
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케앤이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총괄	주재욱	(주)평화엔지니어링	고문
	과랑및과력	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	조석	강석구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이윤환	(주)도화엔지니어링	부회장
	지반	임종철	부산대학교	교수
	콘크리트	김우	전남대학교	교수
	방식·도장	라윤강	(주)한국국토안전연구원	원장
	외곽시설	전인식	건국대학교	교수
	표사, 연안보전시설	김효섭	국민대학교	교수
	표사, 연안보전시설	전인식	건국대학교	교수
	재료·계류시설	이진용	(주)세광종합기술단	사장
	재료·계류시설	정대연	(주)대영엔지니어링	대표이사
	부두포장	정진훈	인하대학교	교수
	내진	박두희	한양대학교	교수
	전문맞기타부두	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	어항	이상기	(주)건일	부사장
	마리나	지삼엽	부경대학교	교수
	항로표지시설	이승재	대기해양(주)	상임고문
	항만하역시설	함성진	(사)인천항시설관리센터	소장
	항만전기설비	김세동	두원공과대학교	교수



기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 10 10 : 2017

## 설계조건

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 10 20 : 2017

# 재 료

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	• 항만설계기준 제정 • 설계조건, 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록	제정 (1971.12)
항만설계기준	• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계품속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	2
1.5 기호의 정의 .....	2
1.6 시설물의 구성 .....	2
2. 조사 및 계획 .....	3
3. 재료 .....	3
4. 설계 .....	3
4.1 강재 .....	3
4.2 콘크리트 .....	16
4.3 역청재료 .....	20
4.4 석재 .....	29
4.5 목재 .....	32
4.6 재생자원재료 .....	34
4.7 기타재료 .....	44



## KDS 64 10 20 재료

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 항만 및 어항시설에서 재료를 선정하고 설계할 때에 적용하여야 할 기술적 기준을 제시하여 구조물의 안정성, 사용성 및 내구성을 확보하는 것을 그 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

- (1) 구조물 각 부재의 외력에 대한 안전검토는 구조물의 특성 등에 따라 허용응력설계법 또는 강도설계법에 의한다.
- (2) 철근콘크리트 구조물 부재의 안전검토는 KDS 14 20 00 콘크리트 구조설계의 강도설계법을 따른다.
- (4) 강구조의 설계 시에는 KDS 14 30 00 강구조 설계기준의 허용응력설계법을 따른다.

#### 1.3 참고기준

##### 1.3.1 관련법규

폐기물관리법  
해양환경관리법

##### 1.3.2 관련기준

KDS 14 20 01 콘크리트 구조설계(강도설계법) 일반사항  
KDS 14 20 10 콘크리트구조 해석과 설계원칙  
KDS 14 20 30 콘크리트구조 사용성 설계기준  
KDS 14 20 40 콘크리트구조 내구성 설계기준  
KDS 14 30 05 강구조설계 일반사항(허용응력설계법)  
KDS 14 30 10 강구조부재 설계기준(허용응력설계법)  
KDS 14 30 50 강구조 사용성 설계기준(허용응력설계법)  
KDS 24 14 30 강교 설계기준(허용응력설계법)  
KDS 41 31 00 건축물 강구조 설계기준

### 1.3.3 관련표준

KS F 2162 구조용 목재의 허용응력 조정계수  
KS F 2530 석재  
KS F 2572 아스팔트 콘크리트용 재생골재  
KS F 2573 콘크리트용 순환골재

## 1.4 용어의 정의

- 동수쇄(銅水碎)슬래그 : 동제련 공정(銅製鍊 工程)에서 발생하는 것으로 물로 급속 냉각하여 얻어지는 모래모양의 재료로 입자밀도(粒子密度)가 모래보다 크다. 입자의 파쇄는 쉽고, 내부마찰각과 투수성은 해사와 같은 정도이다.
- 수쇄 페로니켈슬래그 : 스테인리스강 등의 원료인 페로니켈의 제련시에 얻어지는 재료로 입자밀도가 모래보다 큰 것을 말한다. 수쇄 페로니켈슬래그는 케이슨 속채움 재료 사용한 실적이 있다.
- 철강슬래그 : 제철공장에서 대량으로 발생하는 산업폐기물로서 고로슬래그와 제강슬래그로 대별된다. 고로슬래그는 선철(銑鐵)을 만드는 과정에서 나오는 슬래그이고, 제강슬래그는 선철을 강(鋼)으로 만드는 제강공정에서 나오는 슬래그이다.

## 1.5 기호의 정의

KDS 14 20 01 (1.4 기호의 정의), KDS 14 20 10 (1.2 기호의 정의), KDS 14 30 05 (1.3 기호)를 따른다.

## 1.6 시설물의 구성

- (1) 강재
- (2) 콘크리트
- (3) 역청재료
- (4) 석재
- (5) 목재
- (6) 재생자원재료
- (7) 기타재료



## 2. 조사 및 계획

내용 없음

## 3. 재료

내용 없음

## 4. 설계

### 4.1 강재

#### 4.1.1 사용강재

- (1) 강재는 한국산업표준(KS)에 적합하거나 이와 동등이상의 품질을 갖는 것으로 한다.
- (2) 외국제품으로 KS에 상당하는 품질을 갖고 있는 것과 아직 KS로서 규격화되지는 않았으나, KS와 비슷한 품질을 갖고 있는 것은 타당한 근거를 가지고 사용한다.
- (3) 이 기준에 기술되어 있지 않은 강재에 대하여는 KDS 14 30 05 강구조설계 일반 사항, KDS 14 30 50 강구조 사용성 설계기준, KDS 24 14 30 강교 설계기준, KDS 41 31 00 건축물 강구조 설계기준을 따른다.

### [참 고]

- (1) KS에 적합한 강재 중 항만시설에 비교적 많이 사용되고 있는 것은 참고 표 (4.1-1) 및 참고 표 (4.1-2)에 정리하였다. 각각의 KS에는 더 많은 종류의 강종에 대한 규정이 있으므로 참고한다.

## 재료

참고 표 (4.1-1) 강재의 품질규격

강재의 종류	규격		기호	종류
구조용 강재	KSD3503	일반구조용 압연강재	SS400	봉강, 형강, 강판, 평강, 강대
	KSD3515	용접구조용 압연강재	SM400, SM490, SM490Y SWS520, SWS570	형강, 강판, 강대, 평강
	KSD3529	용접구조용 내후성 열간 압연강재	SMA400, SMA490, SMA570	형강, 강판
	KSD3003	항만 및 해양 구조용 내식성 강재	HSM500	
강판	KSD3566	일반구조용 탄소강판	STK400, STK490	
	KSD3300	항만 및 해양 구조용 내식성 강판	STKM500	
강 말뚝	KSF4602	강관말뚝	STK400, STK490	
	KSF4603	H형강 말뚝	SKK400, SKK490	
널 말뚝	KSF4604	열간 압연 강널말뚝	SY30, SY40	U형, Z형, 직선형, H형
	KSF4605	강관 시트 파열	SKY400, SKY490	
주단조품	KSD3710	탄소강 단강품	SF490A, SF540A	계선주, 체인 등
	KSD4101	탄소강 주강품	SC450	
	KSD3752	기계구조용 탄소강재	SM30C, SM35C, SM45C	
	KSD4301	회 주철품	GC150, GC250	
용접봉	KSD7004	연강용 피복아크용접봉		SS400, SM400, SMA00 용
	KSD7006	고장력강용 피복아크용접봉		SM490, SM490Y, SM520, SMA490용
	KSD7025	연강 및 고장력강용 마그 용접 솔리드와이어		YGW
	KSD7106	내후성강용 탄산가스 아크용접 솔리드와이어		YGA
접합용강재	KSD3557	리벳용 원형강	SV330, SV400	
선재	KSD3509	피아노선재	PWR	피아노선, PC강선, PC강 열선, 와이어로프
	KSD3559	경강선재	HSWR	경강선, PC경강선, 와이어로프, 아연도강연선
	KSD7002	PC강선 및 PC강연선	SWPC, SWPD	
봉강	KSD3504	철근콘크리트용 봉강	SR24, SR30, SD30A, SD30B, SD35, SD45, SBCR24	
	KSD3527	철근콘크리트용 재생봉강	SBCR30, SBCR24D, SBCR30D	
	KSD3505	PC강봉	SBPR 785/930, 785/1030, 930/1080, 930/1180	

주 1) 강재의 기호는 SM400의 경우 KS에는 SM400A, SM400B, SM400C의 3종류가 있으나 이 표에서는 숫자의 뒷 기호를 생략하고 표시하였다.

2) 기계구조용 탄소강재는 KS D 3752에 규정된 재질 SM30C, SM35C, SM45C를 열처리하여 고르고, KS D 3752의 참고 표에 나타나 있는 기계적 성질을 만족하는 재료로 하였다.

참고 표 (4.1-2) 강재의 형상규격

강 재 의 종 류		규 격	사 용 강 재
구조용 강재	열간압연 봉강 및 코일봉강의 모양·치수 및 무게와 그 허용차	KSD3051	SS400
	열간압연 형강의 모양·치수 및 무게와 그 허용차	KSD3502	SS400, SM400, SM490 SM490Y, SM520, SM570 SMA400, SMA490, SMA570
	열간압연 강판 강대의 모양·치수·무게 및 그 허용차	KSD3500	SS400, SM400, SM490 SM490Y, SM520, SM570 SMA400, SMA490
	열간압연 평강의 모양·치수 및 무게와 그 허용차	KSD3052	SS400, SS490, SWS400, SM490, SM520
강말뚝	강관말뚝	KSF4602	SPS400, SPS490
	H형강 말뚝	KSF4603	SHK400, SHK400M SHK490M
널말뚝	열간압연 강널말뚝	KSF4604	SY30, SY40
	강관 시트 파일	KSF4605	SKY400, SKY490
접합용 강재	열간 성형 리벳	KSB1102	SV330, SY400
	6각볼트	KSB1002	
	6각너트	KSB1012	
철근콘크리트	철근콘크리트용 봉강	KSD3504	SR24, SR30, SD30A, SD30B, SD35, SD40
	철근콘크리트용 재생봉강	KSD3527	SBCR24, SBCR30, SBCR24D, SBCR30D
프리스트레스트콘크리트	PC강선 및 PC강연선	KSD7002	SWPD, SWPC
	PC강봉	KSD3505	SBPR
계류제	와이어로프	KSD3514	HSWR, PWR
	플래시버트 용접앵커체인	KSV3313	
철망	용접철망	KSD7017	

- (2) 일반적으로 고장력강이란 인장강도 490N/mm<sup>2</sup>이상의 구조용 강재를 말한다. 고장력강은 고강도로 되어 있는 만큼 항복비가 크게(인장강도에 대한 항복점강도의 비율이 크게 됨) 된다는 중요한 성질을 가지므로 뒤에 설명하는 허용응력을 정할 때의 안전율에 영향을 미치게 된다. 즉, 허용응력설계법에서의 안전율은 항복점을 기준으로 하므로 고장력강에 대한 안전율을 SS400의 안전율과 같다고 할 경우 극한강도에 대한 안전성의 여유가 고장력화된 강재만큼 저하하는 것이 된다.
- (3) 내후성 강재는 해상부분의 해염(海鹽)입자에 대한 내식성이 우수하고, 종류로는 무도장용 W종과 도장용 P종이 있다. 항만 및 해양 구조용 내식성 강재는 일반 구조용 압연강재나 용접구조용 압연강재보다 비말대(Splash zone)에서 내부식성이 향상된 강재이다.
- (4) 일반 구조용 압연강재, 용접구조용 압연강재 및 용접구조용 내후성 열간압연강재를 사용할 경우에는 KDS 24 14 30 강교 설계기준의 기준을 따르고, 참고 그림 (4.1-1)의 판 두께 선정기준도 참고하도록 한다. 판 두께가 8mm미만인 강재를 사용하는 경우에는 KDS 24 14 30에 준한다. 일반적으로 판 두께가 두꺼워지면 용접부분의 취성화 경향이

## 재료

현저해지므로 이런 점을 고려하여 판 두께가 두꺼워짐에 따라 인성이 좋고 균질한 것을 사용하여 안전도가 저하되지 않도록 사용하는 강종별 판 두께의 상한치를 정하고 있다. 최근 제작기술의 진보와 더불어 판 두께 50mm 이상의 강재도 사용되고 있으며, 제작·시공의 합리화 측면에서 적용 판 두께 범위의 확대가 요구된다. 이런 상황에 맞추어 용접구조용 압연강재의 C재와 SM570에 대해서는 적용 판 두께를 100mm까지 확대하기로 하였다. 또한 SS400을 비용접용으로 사용할 경우의 판 두께에 대해서도 적용 판 두께를 100mm까지 확대하기로 한다.

판두께(mm)		6	8	16	25	32	40	50	100
일반 구조 용강	SS400	...							●
	SM400A	...				●			
용 접 구 조 용 강	SM400B	...					●		
	SM400C	...							●
	SM490A	...			●				
	SM490B	...					●		
	SM490C	...							●
	SM490C-TMC	...							●
	SM490YA	...	●						
	SM490YB	...					●		
	SM520B	...					●		
	SM520C	...							●
	SM520C-TMC	...							●
	SM570	...							●
	SM570-TMC	...							●
	SMA400A	...			●				
	SMA400B	...					●		
	SMA400C	...							●
	SMA490A	...	●						
	SMA490B	...					●		
	SMA490C	...							●
	SMA570	...							●

- 주) : 1. 판두께 40mm를 초과하는 강재에 대해서는 허용응력 감소를 고려해야 한다.  
2. 판두께 25mm로부터 32mm사이의 SM490YB는 특히 진정강괴(Killed steel)로 제조되어야 한다.

참고 그림 (4.1-1) 강종별 판두께 선정기준

- (5) 최근 시판되고 있는 유효 폭 600mm의 광폭 강널말뚝은 종전에 400mm이었던 유효 폭을 600mm로 확대한 것이기 때문에 시공연장당 강널말뚝의 소요매수는 종전의 2/3가 된다.

- (6) PC강선 및 PC강연선의 강도규격은 KS D 7002 PC 강선 및 PC 강연선에 규정되어 있는 것이고, 강재의 화학성분에 관한 규정은 KS D 3509 피아노 선재에 규정되어 있다.
- (7) 격점(格点)구조와 같이 용접부가 많은 구조물에는 강재의 화학성분과 용접성에 주의 하여야 한다. 일반적으로 용접을 하는 강재로는 KS D 3515 용접구조용 압연강재 및 KS D 3529 용접구조용 내후성 열간압연강재가 쓰이며, KS D 3503 일반구조용 압연 강재의 SS400은 용접을 하지 않는 부재에 한정한다.

#### 4.1.2 설계계산에 쓰이는 강재의 선정

- (1) 강 및 주강의 정수는 강도특성 등을 고려하여 정한다.
- (2) 설계계산에 사용하는 강 및 강재 정수는 표 (4.1-1)에 나타낸 바와 같다. 철근 콘크리트 및 프리스트레스트 콘크리트에 쓰이는 강재의 정수에 대해서는 KDS 24 14 30을 따른다.

표 (4.1-1) 강재의 정수

탄 성 계 수 $E$	$2.05 \times 10^5 N/mm^2$
전단탄성계수 $G$	$7.9 \times 10^4 N/mm^2$
포 아 슨 비 $\nu$	0.30
선팅창계수 $\alpha$	$12 \times 10^{-6} \ell/^\circ C$

#### 4.1.3 강재의 허용응력

##### 4.1.3.1 설계일반

- (1) 강재의 허용응력은 강재의 종류에 따라서 이 기준에 나타낸 수치로 하는 것을 기준으로 한다.
- (2) 구조물을 특수한 지점에 건설하는 경우도 이 기준을 따르며 여기에 명기하지 않은 강재를 사용할 때에는 다음 사항에 유의해서 허용응력을 결정한다.
- ① 계산이론과 실제구조가 보이는 거동의 상위
  - ② 구조물 시공 시와 완성후의 외력조건의 상위
  - ③ 피로, 부식(腐蝕)에 의한 재료의 경년(經年)변화
  - ④ 설계외력과 실제외력의 상위
  - ⑤ 파괴시의 양상(樣相)
  - ⑥ 구조물의 중요도
  - ⑦ 유지, 수선, 보수의 난이성
  - ⑧ 예측할 수 없는 외력에 대한 안전도

### 4.1.3.2 구조용 강재

구조용 강재의 허용응력은 재질 및 응력의 종류에 따라 KDS 24 14 30에서 제시한 표 (4.1-2)의 값을 따른다.

표 (4.1-2) 구조용 강재의 허용응력

(단위 : N/mm<sup>2</sup>)

응력의 종류 \ 강 종			SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490 SM520 SMA490	SM570 SMA570
인장응력 (순단면적 기준)	축방향응력	40이하	140	190	215	270
		40초과 75이하	130	175	200	260
		75초과 100이하			195	250
	휨방향응력	40이하	140	190	215	270
		40초과 75이하	130	175	200	260
		75초과 100이하			95	250
압축응력 (충단면적 기준)	축방향응력	40이하	140	190	215	270
		40초과 75이하	130	175	20	260
		75초과 100이하			195	250
	휨방향응력	40이하	140	190	215	270
		40초과 75이하	130	175	200	260
		75초과 100이하			195	250
전단응력	충단면적 기준	40이하	80	105	120	155
		40초과 75이하	75	100	115	145
		75초과 100이하			110	145
지압응력	강판과 강판	40이하	210	285	320	405
		40초과 75이하	195	265	300	385
		75초과 100이하			295	380

#### [참 고]

- (1) 각종 강재의 압축 및 인장응력의 허용치는 위에 기술한 참고 표 (4.1-3)과 같이 KS에 규정된 항복점강도의 대략 60%정도로 한 것이다.
- (2) 구조용 강재는 좌굴이 생기는 위험성이 적은 개소에 사용하는 경우가 대부분이기 때문에 허용응력은 좌굴을 고려하지 않는 값으로 표 (4.1-2)와 같이 정한 것이다.  
좌굴을 고려하는 경우의 축방향 압축응력과 휨압축응력의 허용응력에 대해서는 국부

좌굴을 고려하지 않는 허용응력과 국부좌굴에 대한 허용응력의 검토 모두 KDS 24 14 30을 따른다.

- (3) 허용지압응력은 강재와 강재의 접촉기구가 평면과 평면(평면에 가까운 원통면과 국부적 평면 포함) 또는 구면(球面, 또는 원통면)과 평면이 미소한 부분에서 접촉하는 것으로 나누어 볼 수 있다. 앞의 것에 대하여는 허용인장응력의 50%를 할증한 허용지압응력으로 하였다.
- (4) KS D 3003 항만 및 해양구조용 내식성 강재(HSM500)를 사용하는 경우에는 KDS 24 14 30에 정의된 HSB500의 허용응력을 준용한다.

#### 4.1.3.3 강말뚝 및 강관널말뚝

강말뚝 및 강관널말뚝의 허용응력은 표 (4.1-3~4)와 같다.

표 (4.1-3) 강말뚝 및 강관널말뚝의 허용응력

(단위 : N/mm<sup>2</sup>)

강 종 응력의 종류	STK400, SKK400, SKK400M, SKY400	STK490, SKK490M, SKY490
축방향인장응력(순단면적에 대하여)	140	190
축방향압축응력(총단면적에 대하여)	$\frac{\ell}{r} \leq 18.6, \quad 140$ $18.6 < \frac{\ell}{r} \leq 92.8$ $140 - 0.82\left(\frac{\ell}{r} - 18.6\right)$ $\frac{\ell}{r} > 92.8, \quad \frac{1,200,000}{6,700 + (\ell/r)^2}$	$\frac{\ell}{r} \leq 16, \quad 190$ $16 < \frac{\ell}{r} \leq 80.1$ $190 - 1.29\left(\frac{\ell}{r} - 16\right)$ $\frac{\ell}{r} > 80.1, \quad \frac{1,200,000}{5,000 + (\ell/r)^2}$
휨인장응력(순단면적에 대하여)	140	190
휨압축응력(총단면적에 대하여)	140	190

표 (4.1-4) 강말뚝 및 강관널말뚝의 허용응력

강 종 응력의 종류	STK400, SKK400, SKK400M, SKY400	STK490, SKK490M, SKY490
축방향과 휨모멘트를 받는 동시에 부재	① 축방향력이 인장인 경우 $ft + fbt \leq fta$ 또는 $-ft + fbc \leq fba$ ② 축방향력이 압축인 경우 $\frac{f_c}{f_{ca}} + \frac{f_{bc}}{f_{ba}} \leq 1.0$	
진단응력(총단면적에 대하여)	80	110

표 (4.1-3)에 있어서 각 기호는 다음과 같다.

- $l$  : 부재의 유효좌굴장(cm)  
 $r$  : 부재총단면의 단면 2차반경(cm)  
 $f_t, f_c$  : 단면에 작용하는 축방향 인장력에 의한 인장응력 및 축방향 압축력에 의한 압축응력(N/mm<sup>2</sup>)  
 $f_{bt}, f_{bc}$  : 단면에 작용하는 휨모멘트에 의한 최대인장응력 및 최대 압축응력(N/mm<sup>2</sup>)  
 $f_{ta}, f_{ca}$  : 허용인장응력 및 약축(弱軸)에 대한 허용축방향 압축응력(N/mm<sup>2</sup>)  
 $f_{ba}$  : 허용휨 압축응력(N/mm<sup>2</sup>)

### [참 고]

- (1) 강말뚝 및 강관널말뚝의 허용응력은 KDS 24 14 30을 참고로 정한 것이다. 축방향 압축응력, 축방향력 및 휨모멘트를 동시에 받는 부재에서 축방향력이 압축인 경우에 대한 허용응력은 전체좌굴에 대한 값이다. 국부좌굴에 대한 검증이 필요한 경우에는 KDS 24 14 30을 참고하여 허용응력을 정해도 좋다.
- (2) 잔교식 구조물 등에 있어서 부재의 유효좌굴장은 가상지표면상의 부재 길이를 말한다. 가상지표면에 대해서는 KDS 64 55 15 잔교식 안벽의 4.1.4 (2) 가상지표면을 따른다.
- (3) 축방향력과 전단력을 함께 고려할 필요가 있을 때에는 KDS 24 14 30을 따른다.
- (4) KS D 3300 항만 및 해양구조용 내식성 강관(STKM500)을 사용하는 경우에는 KDS 24 14 30에 정의된 HSB500의 허용응력을 준용한다.

### 4.1.3.4 강널말뚝

강널말뚝의 허용응력은 재질 및 응력의 종류에 따라 표 (4.1-5)의 값을 쓰는 것을 따른다.

표 (4.1-5) 강널말뚝의 허용응력

(단위 : N/mm<sup>2</sup>)

응력의 종류 \ 강 종	SY30	SY40
휨인장응력(순단면적에 대하여)	180	235
휨압축응력(총단면적에 대하여)	180	235
전단응력(총단면적에 대하여)	100	125

### [참 고]

강널말뚝의 허용응력은 다른 강재의 항복점 강도와 허용응력을 참고로 정한 것이다[참고 표 (4.1-3) 참조].



참고 표 (4.1-3) 강널말뚝과 구조용 강재의 허용응력 등의 비교

강 종	보정항복점 강 도 (N/mm <sup>2</sup> )	인장강도 하 한 치 (N/mm <sup>2</sup> )	허용휨 응력 (N/mm <sup>2</sup> )	허용전단 응력 (N/mm <sup>2</sup> )	항복비 ①÷② (%)	휨응력비 ③÷① (%)	전단응력비 ④÷① (%)
SS400, SM400, SMA400 (16mm<t≤40mm)	235	400	140	80	59	60	34
SM490 (16mm<t≤40mm)	315	490	185	105	64	60	35
SM490Y, SMA50 (16mm<t≤40mm)	355	490	210	120	72	59	34
SM520 (16mm<t≤40mm)	355	520	210	120	68	59	34
SM570 (16mm<t≤40mm)	450	570	255	145	79	58	33
SY30	295	490	180	100	60	61	34
SY40	390	540	235	125	72	60	32

## 4.1.3.5 주단조품

주단조품의 허용응력은 재질 및 응력의 종류에 따라 설정한다.

## [참 고]

(1) 주단조품이 허용응력 참고치는 참고 표 (4.1-4)에 보이는 바와 같다.

참고 표 (4.1-4) 주단조품의 허용응력

(단위 : N/mm<sup>2</sup>)

응력의 종류	철강재의 종류	단 강		주강	기계구조용 강재		주 철	
		SF490A	SF540A	SC450	SM30C	SM35C	GC150	GC250
축방향인장응력(순단면적에 대하여)		145	165	135	170	190	40	95
축방향압축응력(총단면적에 대하여)		145	165	135	170	190	80	95
휨인장응력(순단면적에 대하여)		145	165	135	170	190	40	95
휨인장응력(총단면적에 대하여)		145	165	135	170	190	80	95
전단축방향인장응력(총단면적에 대하여)		85	95	85	100	110	30	55

## 재료

- (2) 참고 표 (4.1-4)의 주단조품의 허용응력은 좌굴을 고려하지 않는 경우의 값이다.
- (3) SF490A 및 SC450의 인장강도는 각각 490N/mm<sup>2</sup> 및 450N/mm<sup>2</sup>이고, SS400의 인장강도는 400N/mm<sup>2</sup>보다 크다. 그러나 주단조품은 재료의 불균질성도 있고, 또 검사도 곤란한 점이 있으므로 SF490A 및 SC450의 축방향응력, 휨응력 및 전단응력을 SS400에 준하는 것으로 하였다.
- (4) 허용지압응력은 KDS 24 14 30에 따른다.

### 4.1.3.6 용접부 및 접합용 강재의 허용응력

용접부 및 접합용강재의 허용응력은 재질 및 용접의 종류에 따라 설정하며, 용접부의 허용응력은 KDS 24 14 30(4.2.2)에서 제시한 표 (4.1-6)과 같다. 강도가 다른 강재를 접합할 때에는 강도가 작은 쪽 강재의 값을 취한다.

표 (4.1-6) 접합부의 허용응력

(단위 : N/mm<sup>2</sup>)

응력의 종류			강   종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490 SM520 SMA490	SM570 SMA570
그루브용접	인장응력	40이하	140	190	215	270	
		40초과 75이하	130	175	200	260	
		75초과 100이하			195	250	
	압축응력	40이하	140	190	210	270	
		40초과 75이하	130	175	200	260	
		75초과 100이하			195	250	
	전단응력	40이하	80	105	120	155	
		40초과 75이하	75	100	115	145	
		75초과 100이하			110	145	
필릿용접	비드방향의 인장, 압축응력	40이하	140	190	215	270	
		40초과 75이하	130	175	200	260	
		75초과 100이하			195	250	
	목두께에 대한 인장, 압축, 전단응력	40이하	80	105	120	155	
		40초과 75이하	75	100	115	145	
		75초과 100이하			110	135	
현장용접	공장용접에 준하는 품질을 얻을 수 없는 경우에는 상기의 90%로 한다.						

## [참 고]

(1) 현장용접의 경우 근년 들어 용접기술이 향상되고 현장에서의 시공관리 및 품질관리가 충실히 되고 있는 점을 고려하여 KDS 24 14 30에서 규정하고 있는 공장용접과 같은 관리를 한다는 전제로 현장용접의 허용응력을 공장용접과 같은 값으로 하였다. 다만, 강관말뚝과 강관널말뚝의 경우 용접하기에 양호한 환경조건을 확보하기가 곤란한 개소에서는 현장용접의 허용응력을 공장용접의 90%로 하였다. KS D 3300 항만 및 해양 구조용 내식성 강관(STKM500)을 사용하는 경우에는 KDS 24 14 30(4.2.2)에 정의된 HSB500의 허용응력을 준용한다.

(2) 앵커볼트 및 핀의 허용응력 참고 값은 참고 표 (4.1-5)와 같다.

참고 표 (4.1-5) 앵커볼트 및 핀의 허용응력

(단위 : N/mm<sup>2</sup>)

종 류	강 종 응력의 종류	SS400	SM35C	SM45C
앵커볼트	전단응력	60	80	80
핀	휨응력	190	260	290
	전단응력	100	140	150
	지압응력 (회전을 동반하지 않는 경우)	210	280	310
	지압응력 (회전을 동반하는 경우)	105	140	155

- (3) 앵커볼트 및 핀의 허용인장응력은 구조형식을 고려하여 정한다.
- (4) 여기서 규정한 앵커볼트의 허용응력은 콘크리트 중에 매입된 상태로 사용한다는 것을 전제로 한 것이다. 앵커볼트는 일반적으로 시공이 불확실하고, 앵커볼트가 매입되어 있는 콘크리트와 강도적인 면에서 평형을 이루어야 할 필요가 있는 점 등으로 보아 안전성을 고려하여 허용응력을 낮게 제한하였다.
- (5) 핀은 판과 형강과 같이 볼트구멍을 두지도 않고, 절개부를 만드는 일도 없으므로 응력 집중을 우려할 필요가 없다. 이와 같은 점을 고려해서 허용전단응력을 참고 표 (4.1-3) 및 참고 표 (4.1-4)의 허용전단응력보다 크게 정하였다.
- (6) 마무리 볼트의 허용응력 참고값은 참고 표 (4.1-6)과 같다.

## 재료

참고 표 (4.1-6) 마무리 볼트의 허용응력

(단위 : N/mm<sup>2</sup>)

KS B 0233에 의한 강도구분 응력의 종류	4.6	8.8	10.9
인장응력	140	360	470
전단응력	90	200	270
지압응력	210	540	700

- (7) 마무리볼트의 값은 KS B 1002에 규정된 6각볼트의 허용응력을 정한 것이고, 6각 볼트의 기계적 성질은 KS B 0233 강재볼트·작은나사의 기계적 성질에 강도별 제품의 기계적 성질이 규정되어 있고, 이중 강도구분 4.6, 8.8, 10.9에 대한 값을 참고 표 (4.1-6)에 마무리 볼트의 허용응력으로 정한 것이다.
- (8) 고장력 볼트의 허용력과 허용응력은 KDS 24 14 30에 준한다.

### 4.1.3.7 허용응력의 할증

허용응력설계법에 의하여 부재의 안전검토를 행하는 경우 여러 종류의 외력 및 하중 등의 조합을 고려할 때에는 표 (4.1-7)에 따라서 허용응력을 할증계수를 사용한다.

표 (4.1-7) 강재의 허용응력 할증계수

하중 및 외력의 조합	할 증 계 수
온도변화를 고려하였을 때	1.15
지진의 영향을 고려하였을 때	1.50

## [참 고]

- (1) 구조물의 안전을 유지하기 위해서는 상정(想定)하는 외력의 가정, 설계계산법의 오차, 사용재료의 선정, 제작, 시공, 보수 등에 포함되는 불확정 요소 등을 고려해서 설계한다. 이들의 모든 조건을 확률적으로 평가해서 설계법에 도입하는 것은 곤란하나 표 (4.1-7)의 할증계수는 하중 및 외력이 생길 가능성 및 작용시 구조물의 응답특성 등을 고려하여 정한 것이다.
- (2) 특별한 외력을 상정할 때에는 표 (4.1-7) 이외의 할증계수를 써도 좋다. 특별한 경우란 예를 들면 충돌하중 등이다. 이때에는 일반적으로는 방충시설을 설치하는 예가 많으나 방충시설 없이 직접 충돌하중을 고려할 때에는 할증계수를 1.70로 하는 수도 있다.

## [참고문헌]

- 1) 건설교통부(1995), 방식기술편람( I ~IV권)
- 2) 일본도로협회(1996年 12月), 도로교시방서, 동해설Ⅱ 강교편, pp.107, pp.114~180
- 3) 일본도로협회(1996年 12月), 도로교시방서, 동해설Ⅳ 하부구조편
- 4) 일본토목학회(1996年 6月), 콘크리트 표준시방서 설계편, pp.33-40
- 5) 일본연안개발기술연구센터(1997年 4月), 항만강구조물방식, 보수매뉴얼 (개정판)
- 6) C.W Ross(1997), “Deterioration of steel pile groins at Palm Beach”, Florida, Corrosion, Vol. 5,
- 7) H.A.Humble(1949), “The cathodic protection of steel piling in sea water”, Corrosion, Vol. 5 No. 9, pp.292
- 8) 呵部正美, 福手 勤, 清水一夫, 長谷川博行, 松田史朗(1997), 수중용접된 강철판구조물의 메카니즘과 파단모드의 개선에 관한 재료학적연구, 항만기술연구소보고 Vol. 35 No. 4,
- 9) 呵部正美, 福手 勤, 清水一夫(1995), 파랑해역에서의 모래침식에 대한 전기방식효과, 제42회 일본부식방식토론회 강연집 C-203, pp.371-374

## 4.2 콘크리트

### 4.2.1 설계일반

- (1) 외곽 및 계류시설 등의 콘크리트 구조물 설계는 KDS 14 20 00 콘크리트구조 설계(강도설계법)를 적용하여야 한다. 다만, KDS 14 20 00 기준과 이 기준이 상충될 경우 이 기준에서 규정하는 바에 따른다.
- (2) 콘크리트 구조물을 위한 재료 및 시공은 KCS 14 20 00 콘크리트공사를 적용하여야 한다.
- (3) 현장의 여건 상 KDS 14 20 00 및 KCS 14 20 00을 적용하기 어렵다고 판단되는 경우에는 새로운 대안을 적용할 수 있다. 다만, 이 대안은 조사연구 또는 성능시험에 의하여 근거를 제시할 수 있어야 한다.

#### [해설]

- (1) KDS 14 20 00 콘크리트구조 설계(강도설계법), KCS 14 20 00 콘크리트공사 기준에 대한 해설이 없을 경우, 콘크리트구조기준 해설(2012), 콘크리트표준시방서 해설(2009)을 참조한다.
- (2) 항만 및 어항시설의 설계 및 시공 상황이 육지의 일반적인 상황과 매우 달라서 KDS 14 20 00 및 KCS 14 20 00을 적용하기 어렵다고 판단되는 경우에는 이에 대한 대안으로 새로운 설계 이론, 새로운 재료, 새로운 시공 방법을 적용할 수 있도록 규정한 것이다.

### 4.2.2 콘크리트 구조설계

콘크리트 구조물 및 구조 부재의 소요강도는 이 기준에서 정한 하중계수와 하중조합을 모두 고려하여 결정하여야 하며, 설계강도는 KDS 14 20 00에서 정한 공칭강도와 강도감소계수를 적용하여 결정하여야 한다.

#### [해설]

안전성을 확보하기 위하여, 콘크리트 구조물과 구조 부재는 설계강도가 소요강도 이상이 되도록 설계하여야 한다. 소요강도는 하중계수와 하중조합을 모두 고려하여 구조해석으로 결정하고 설계강도는 공칭강도와 강도감소계수를 적용하여 결정하여야 한다.

### 4.2.3 최소 설계기준 압축강도

콘크리트의 최소 설계기준 압축강도는 표 (4.2-1)에서 규정하는 값 이상으로 하여야 한다. 다만, 공사 현장의 여건 상 콘크리트 품질이 관리되기 어려운 경우에는 책임구조기술자가 현장 여건을 고려하여 콘크리트의 설계기준압축강도를 결정할 수 있다.

표 (4.2-1) 최소 설계기준 압축강도

구분	노출 환경등급 <sup>1)</sup>		최소 설계기준압축강도 (MPa)	
			동결융해작용을 받는 경우	동결융해작용을 받지 않는 경우
공동	C0	-	-	21
	C1	-	30	21
철근 콘크리트 또는 프리스트레스트 콘크리트	C2	C2_st	35	35
		C2_a	30	30
		C2_sb	-	27
무근 콘크리트	C2	C2_st	30	27
		C2_a	30	24
		C2_sb	-	27

주 : 1) 노출등급은 아래와 같이 규정함

C0 : 건조하거나, 수분으로부터 보호되는 콘크리트

C1 : 수분에 노출되지만 외부의 염화물에 노출되지 않는 콘크리트

C2 : 제빙화학제, 소금, 염수, 해수 또는 해수 물보라 등과 같은 염화물에 직접적으로 노출되는 콘크리트,  
다만, C2 등급의 경우, 아래와 같이 노출등급을 세분함

C2\_st : 비말대(물보라 지역) 및 간만대

C2\_a : 해양대기중

C2\_sb : 해중

#### [해설]

KDS 14 20 40 콘크리트구조 내구성 설계기준은 철근 부식을 방지하기 위하여 노출범주 C를 규정하고 있으며, 제빙화학제, 소금, 염수, 해수 또는 해수 물보라 등과 같은 염화물에 직접적으로 노출되는 콘크리트를 C2 등급으로 분류하고 있고 노출 등급 C2에 해당하는 콘크리트는 철근 부식 방지를 위해 설계기준압축강도를 35MPa 이상, 물-결합재비를 0.4 이하로 규정하고 있다. 그러나 실제 해양환경 하에서는 직접 해수에 노출되는 경우 뿐 아니라 해수에 직접 노출되지 않고 대기 중에 포함된 염화물에만 노출되거나(해양 대기중), 해수 물보라 또는 조수간만에 노출되어 건습이 반복되는 환경(비말대 및 간만대)도 있으므로 이러한 해양 환경의 특성과 각 환경에 맞는 열화인자를 고려하여 적정 수준의 최소 설계 기준 압축강도를 규정하였다. 한편 노출 범주 C는 강재의 부식을 방지하기 위한 것이므로,

철근콘크리트와 프리스트레스트 콘크리트에 적용되는 노출 범주이다.

무근콘크리트는 강재의 부식과 무관하므로 설계기준 압축강도를 매우 높은 수준으로 할 필요는 없지만, 동결융해나 황산염해 등의 열화작용에 대한 저항성을 확보하기 위해 최소 설계기준 압축강도를 확보하도록 하였다. 엄격한 품질관리가 가능한 레미콘 공장 이외에는 35MPa 또는 30MPa 이상의 압축강도를 갖는 콘크리트를 생산하는 것이 쉽지 않다. 따라서 콘크리트의 품질이 관리되기 어려운 위치에 건설되는 콘크리트 구조물은 현장의 여건을 고려하여 그보다 낮은 설계기준 압축강도로 설계할 수 있도록 하였다. 다만 이 경우 구조물의 내구수명 저하를 감안하여야 한다.

#### 4.2.4 최소 피복두께

- (1) 콘크리트의 피복두께는 KDS 14 20 50 콘크리트구조 철근상세 설계기준에서 규정하는 최소 피복두께 이상을 확보하여야 한다. 다만 해수와 직접 접하거나 심한 해풍을 받는 특수환경에 노출된 부분의 피복두께는 표 (4.2-2)를 따른다.

표 (4.2-2) 특수환경에 노출된 콘크리트의 최소 피복두께

구분	최소 피복두께	비고
현장치기 콘크리트	80mm	부재의 종류에 무관
공장제작 프리캐스트 콘크리트	50mm	

- (2) 특수환경에 노출된 현장치기 콘크리트에서 80mm의 피복두께를 확보하기 어려운 경우는 비래염분 실측자료나 시뮬레이션을 통한 정량적 수명예측을 하여 충분한 피복두께임을 책임구조기술사가 승인할 경우 80mm 이내의 피복두께를 적용할 수 있으며 이 경우에도 최소 50mm 이상이어야 한다.

#### [해설]

- (1) 철근 및 프리스트레싱 강재의 부식 방지를 위해 콘크리트는 강도뿐만 아니라 충분한 피복두께를 확보하여야 한다. 여기서는 KDS 14 20 50 콘크리트구조 철근상세 설계기준의 최소 피복두께 규정을 따르도록 규정하였다. 다만, 염해의 위험이 높은 항만 및 어항 콘크리트 구조물의 특성을 감안하여 특수환경에 노출된 콘크리트의 피복두께 규정을 표 (4.2-2)와 같이 규정하였다. 이때 해수에 직접 접하거나 심한 해풍을 받는 특수환경은 해설 표 (4.2-1)의 비래염분의 지역적 특성 등을 고려한 구체적인 자료를 통하여 정의한 것이다.



한편 KDS 14 20 50에서 정의하는 특수환경은 우리나라의 해안환경을 고려하지 않고 동·서·남해를 동일하게 규정하고 있어 특수환경으로 보아야 하는 해안선으로부터의 거리를 종래의 실측결과 등을 참조하여 아래와 같이 정의한다.

- ① 특수환경에 노출되는 경우라 함은 고내구성을 요하는 환경으로 해안으로부터(혹은 비래염분 발생시점) 아래에서 규정하는 일정 거리 이내에 위치하는 구조체로서 내염해성이 입증된 표면처리(표면도장)를 시행하지 않고 직접 공기 또는 해수에 노출되는 경우를 말한다.
- ② 동해안의 경우 해안으로부터 250m 이내, 서해안과 남해안의 경우 해설 표 (4.2-1)에 따라 지역계수 2를 초과하는 경우는 해안으로부터 250m 이내, 지역계수가 2 이하인 지역은 해안으로부터 100m 이내에 위치하는 구조체로 정한다.
- ③ 다만, 해상 대기중 구조물에서 연직높이의 영향을 고려할 때는 해발 1m의 차이가 해안선으로부터 거리 25m의 차이와 같다고 간주한다.

해설 표 (4.2-1) 국내 해안가 비래염분의 지역계수 (한국건설기술연구원, 2006)

동해안		서해안		남해안	
지역	지역계수	지역	지역계수	지역	지역계수
고성	4.3	강화 1	1.0	해남	2.0
속초	2.4	강화 2	0.8	장흥	1.2
주문진	7.7	인천	1.1	고흥	0.7
삼척	6.7	아산만	1.0	광양	1.2
울진	5.1	태안	16.0	사천	1.6
영덕	3.0	천수만	0.9	거제	3.5
포항	6.2	보령	4.7	마산	1.1
울산	7.6	변산	2.2	진해	0.9
부산	2.2	고창	11.4	단위 : NaCl mg/100cm <sup>2</sup> /day	
		함평	4.2		
		목포	1.0		

- (2) 해상교량의 슬래브와 같이 얇은 판으로 이루어져 80mm의 피복을 확보하기 어려운 경우, 해당 지점에서 비래염분 실측을 하거나 해당 구조물의 설계강도, 사용재료 및 염화물 확산계수 등을 고려한 시뮬레이션으로서 수명을 예측하거나 기타 내염대책을 세워 염해에 의한 매입철근의 부식에 대한 안전을 확인한 경우, 책임구조기술사의 승인 하에 80mm 이내의 피복두께를 설정할 수 있도록 하였으며, 이때에도 최소 50mm 이상의 피복두께를 확보하는 것으로 하였다.

## 4.3 역청재료

### 4.3.1 역청재료 설계일반

항만시설에 사용되는 역청재료는 사용목적에 따라 탄력성, 점착성, 방수성, 내수성, 내구성, 내후성(耐候性) 등 소요의 품질 및 성능을 만족하는 재료여야 한다.

#### [해설]

- (1) 현재 항만시설에 사용되고 있는 역청재료의 대부분은 아스팔트이다.  
천연아스팔트와 석유아스팔트가 있으나 현재 사용되고 있는 아스팔트는 거의 석유아스팔트이므로 본 설계기준에서는 아스팔트라 하면, 특히 다른 설명이 없는 한 석유아스팔트를 의미한다. 아스팔트이외의 역청재료로는 타르(Tar), 피치(Pitch) 또는 유제(乳劑) 등을 들 수 있다.
- (2) 역청재료는 그 자체만으로 사용되는 경우는 거의 없고, 아스팔트를 예로 들면 통상적으로 골재와 혼합하여 포장용 아스팔트 콘크리트, 아스팔트 매트, 샌드매스틱, 아스팔트 안정처리 등에 사용된다. 용도에 따라 아스팔트의 종류, 배합 등이 다르므로 소정의 목적을 만족시킬 수 있는 재료를 선정하는 것이 중요하다.

#### [참고]

- (1) 한국산업표준에 의한 역청재료의 규격으로는 KS M 2201 스트레이트 아스팔트, KS M 2202 컷백아스팔트, KS M 2203 유화아스팔트, KS M 2204 블론아스팔트 등을 들 수 있다.
- (2) 아스팔트 혼합물의 설계는 사용목적, 시공방법 등을 고려한 적절한 재료시험법에 따라 행한다. 일반적인 재료시험기준은 혼합물이 소정의 목적을 달성하기에 충분한 안정성과 내구성을 갖도록 정해져있다.
- (3) 항만시설에 일반적으로 사용하는 아스팔트의 규격은 참고 표 (4.3-1)과 같다.

참고 표 (4.3-1) 스트레이트 아스팔트의 규격

항 목		단 위	종 류	40~60	60~80	80~100
침입도(25℃, 100g, 5초)		0.1mm		40 이상 60 이하	60 이상 80 이하	80 이상 100 이하
연화점		℃		47.0~55.0	44.0~52.0	42.0~50.0
신 도 (15℃)		cm		10 이상	100 이상	
톨루엔가용분		질량%		99.0 이상		
인화점		℃		260 이상		
박막	질량변화율	%		0.6 이하		
가열	침입도변화율	%		58 이상	55 이상	50 이상
증발후의 침입도비		%		110 이상		
밀도(15℃)		g/cm <sup>3</sup>		1,000 이상		

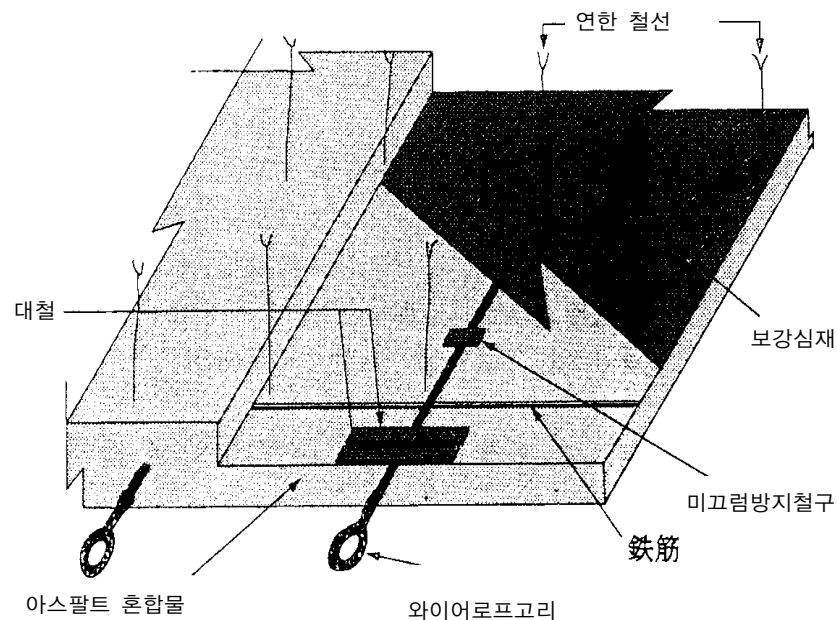
### 4.3.2 아스팔트매트

#### 4.3.2.1 아스팔트매트 설계일반

아스팔트 매트 사용할 때는 사용목적, 시공개소, 현지의 해상조건에 따라 소요의 강도 및 내구성, 시공성 등을 고려해서 적절한 구조를 설정한다.

**[해설]**

- (1) 아스팔트 매트는 아스팔트, 채움재(석회석가루), 모래 및 쇠석을 혼합한 혼합물에 보강재 및 들어 올리는데 쓸 와이어 로프 고리를 매입한 매트모양으로 성형한 것이다 [해설 그림 (4.3-1) 참조].



해설 그림 (4.3-1) 마찰증대(摩擦增大)매트의 구조 예 (構造例)

- (2) 아스팔트 매트에는 중력식 구조물 제체의 수평활동에 대한 저항력을 높이기 위한 마찰 증대 매트, 구조물 기초의 세굴을 방지하기 위한 세굴방지 매트, 호안 등의 기초모래 및 배후토사의 흡출을 방지하기 위한 흡출방지매트 등이 있고, 이들을 사용할 때에는 사용목적, 사용개소 및 현지의 해상조건 등에 따라 품질 및 장기적 내구성, 시공성 등에 충분히 배려하여야 한다. 특히 한냉지역이나 아열대지역, 조간대 등 특수한 해상조건인 경우에는 장기적 내구성에 있어 열악한 환경조건인 점도 고려하여야 하므로 적용여부를 포함하여 신중히 검토할 필요가 있다.

[참 고]

- (1) 아스팔트 매트와 강도 및 시공성은 혼합물의 배합, 보강재, 매트의 두께, 치수에 따라 다르다. 혼합물의 배합은 이 기준의 4.3.2.3 배합에 의해서 결정하는 것을 표준으로 하고, 보강재는 이 기준의 4.3.2.3의 [참고](4)에 보인 압발(押拔)시험에 의하여 결정하는 것이 바람직하다.
- (2) 아스팔트 매트의 두께는 그 용도나 요구되는 강도, 휨에 의한 처짐 특성 등을 고려해서 결정되나, 마찰증대 매트의 경우에는 잔존두께, 하중에 의한 변형량, 사석 등에 파고들어가는 양 등을 고려해서 정한다.
- (3) 마찰증대매트의 마찰계수는 제2편 제13장 마찰계수를 참조할 것

4.3.2.2 재료

아스팔트 매트의 재료는 소요의 강도 및 내구성을 얻을 수 있도록 적절히 선정한다.

[해 설]

아스팔트 매트의 재료로는 다음과 같은 것들이 사용되고 있다.

- (1) 아스팔트  
석유아스팔트의 규정에 적합한 스트레이트 아스팔트(참고 표 (4.3-1) 참조) 또는 KS M 2204 블론아스팔트 참고 표 (4.3-2) 참조나 양자를 혼합한 것.
- (2) 모래  
먼지, 흙, 유기물 등의 유해물을 함유하지 않는 청정한 것으로 최대 입경이 2.5mm인 것
- (3) 채움재  
KS F 3501 역청포장용 채움재의 규격에 적합한 것
- (4) 쇄석  
KS F 2525 도로용 부순골재 및 KS F 2357 아스팔트 혼합물용 골재의 규격에 적합한 것으로 입경이 2.5~20mm인 것

[참 고]

- (1) 아스팔트는 석유아스팔트의 규정에 적합한 스트레이트 아스팔트 또는 블론아스팔트를 사용하는 것으로 하고 있으나, 양자의 소성유동(塑性流動) 등의 성상(性狀)이 크게 다르고, 한쪽만으로는 매트로서의 강도 또는 취급의 편의성 등에 문제가 있기 때문에 일반적으로 소요성상을 얻을 수 있게 둘을 혼합하여 사용한다. 이 경우 아스팔트의 침입도는 스트레이트 아스팔트가 40~60, 블론아스팔트가 10~40의 범위에 있는 것을 쓰는 것이 좋다.

참고 표 (4.3-2) 블론아스팔트의 규격

항 목	단 위	종 류		
		10~20	20~30	30~40
침입도(25℃, 100g, 5초)	0.1mm	10 이상 20 이하	20 이상 30 이하	30 이상 40 이하
연 화 점	℃	90.0 이상	80.0 이상	65.0 이상
신 도(25℃)	cm	1이하	2 이상	3 이상
톨루엔 가용분	질량%	98.5 이상		
인 화 점	℃	210 이상		
증발질량변화율	질량%	0.5 이하		
침입도지수		2.5 이상		1.0 이상

- (2) 쇄석은 아스팔트 매트와 굵은 골재이고, 아스팔트매트의 강도에 중요한 영향을 주므로 양질의 것이 아니면 안 된다. 쇄석의 최대입경은 시공면에서 매트두께의 1/6이하로 하는 것이 바람직하나 마찰증대 매트 등 큰 압력이 작용하는 경우에는 이보다 큰 것을 사용하는 것이 좋다.
- (3) 아스팔트 매트는 앞의 재료 외에 보강재 및 매트를 들어 올리는데 쓸 와이어로프가 필요하다. 보강 재료는 통상 클래스 클로스, 클래스 섬유테입망 등이 사용되고 있다.

#### 4.3.2.3 배합

아스팔트 혼합물의 배합은 소요의 강도, 휨특성 등이 얻어지도록 배합시험을 하여 결정하는 것을 표준으로 한다.

#### [참 고]

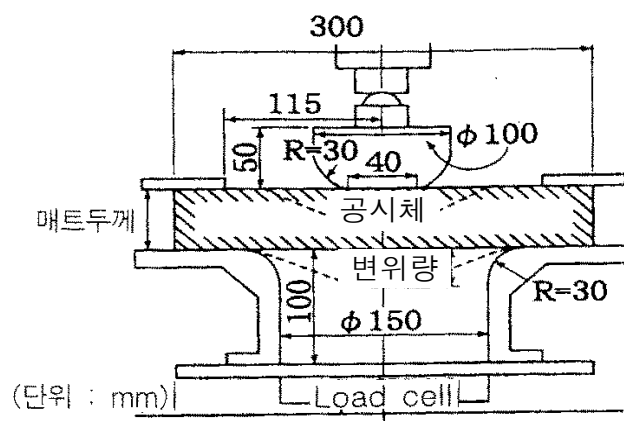
- (1) 아스팔트 혼합물은 배합에 따라 강도, 휨특성 등이 크게 다르기 때문에 배합시험을 하여 결정하는 것을 표준으로 한다. 마찰증대매트 및 세굴방지매트는 비교적 역사가 깊고, 사용실적도 많으며 현재에도 특별한 문제가 없기 때문에 특수한 사용조건이 아닌 경우는 참고 표 (4.3-3)의 값을 표준으로 사용하여도 좋다.
- (2) 아스팔트 혼합물은 온도에 민감하므로 여름철 시공 시에는 유동(Flow)하기 어려운 것을 겨울철 시공 시에는 일정한 유연성을 유지할 수 있는 것을 사용할 필요가 있다.

참고 표 (4.3-3) 아스팔트 혼합물의 배합표준

재 료	중 량 비(%)	
	마찰중대용	세굴방지용
아스팔트	10~14	10~14
더 스톱	14~25	14~25
잔 골 재	20~50	30~50
굵은 골재	30~50	25~40

주) 더스트는 0.074mm이하의 모래 및 채움재, 잔골재는 0.074mm~2.5mm 굵기의 채석, 모래 및 채움재. 굵은 골재는 2.5mm 이상 굵기의 채석

- (3) 마찰중대 매트 및 세굴방지매트의 혼합물 배합은 혼합물의 배합은 혼합물의 비중시험, 휨시험, 압축시험을 하여 결정하는 것이 좋다. 세굴방지매트의 경우는 피복석 등에 의해서 부분적으로 비교적 큰 하중이 재하되는 경우가 있으므로 보강재를 포함하는 매트전체의 강도를 확인하기 위하여 매트의 압발(押拔)시험을 하여 정하는 것이 좋다.
- (4) 혼합물의 시험은 일본 석유학회지(石油學會誌) 제7권 제8호 (1964)에 실린 아스팔트 이용 최근의 개발(板倉忠三 등)에서 제시하고 있는 방법을 준하는 것이 좋다.
- 다만, 휨 시험 및 압축시험은 일반적으로 온도 20℃, 재하속도 20mm/분의 조건으로 시행한다. 매트의 압발시험은 혼합물에 보강재(補强材)를 넣은 사방 30cm인 공시체를 일반적으로는 참고 그림 (4.3-1)에 보이는 재하장치를 사용하고 온도 20℃, 재하속도 50mm/분의 조건으로 시행한다.



참고 그림 (4.3-1) 압발시험장치(예)

- (5) 시험결과의 판정배합시험결과의 판정기준치는 각각의 제반조건에 따라 설정하는 것이 바람직하다. 이 판정기준의 예 하나를 보이면 참고 표 (4.3-4)와 같다.

참고 표 (4.3-4) 시험결과와 판정기준치(예)

시험항목	마찰중대매트	세굴방지(洗掘防止)매트	
		보통(普通)매트	강화(強化)매트
혼합물(混合物)의 시험(試驗)			
비 중 시 험	2.2 이상	2.2 이상	
휨 시 험			
강 도	$2.0\text{N/mm}^2\{20.4\text{kgf/cm}^2\}$ 이상	$1.0\text{N/mm}^2\{10.2\text{kgf/cm}^2\}$ 이상	
휨 양	3mm 이상	3mm 이상	
압 축 시 험			
강 도	$2.0\text{N/mm}^2\{20.4\text{kgf/cm}^2\}$ 이상	$1.0\text{N/mm}^2\{10.2\text{kgf/cm}^2\}$ 이상	
압 발 시 험			
최 대 하 중	-	8kN 이상	15kN 이상
변 위 량	-	10mm 이상	30mm 이상

### 4.3.3 포장용 재료

포장용 재료는 특수한 하중조건에 놓여있는 구역을 제외하고는 원칙적으로 아스팔트 포장 설계·시공요령에 의한다.

#### [해 설]

여기에서 말하는 특수한 하중조건에 놓여있는 구역이라 함은 예를 들면 에이프론을 들 수 있다. 항만구역의 포장 특히 에이프론 포장상의 교통은 도로의 그것과는 약간 다르고 대부분이 대형차이며 그것도 접지압이 큰 중기류가 많이 혼입되어 있다. 이들의 하중은 고속으로 주행하는 것이 드물고 대부분 정지상태 또는 완속주행 상태에 있다. 이들 장비들을 위한 포장구역 일부는 하역화물 등의 적치장인 경우도 있으므로 이러한 구역에 적용하는 포장재료로는 역청재료가 정적하중에 약하다는 점을 충분히 고려할 필요가 있다. 이러한 내용은 제8편 제16장 부두뜰을 참조할 수 있다.

#### [참 고]

포장용 아스팔트는 석유 아스팔트, 컷백 아스팔트, 유화 아스팔트, 블론 아스팔트, 개질 아스팔트, 특수 아스팔트 등의 여러 가지 다양한 재료가 각각의 특성을 가지고 있으므로 포장의 종류, 시공방법, 교통량, 기상조건 등을 충분히 고려하여 적합한 것을 사용해야 한다.

### 4.3.4 샌드매스틱

#### 4.3.4.1 재료

샌드매스틱의 재료는 소정의 강도와 내구성을 얻을 수 있도록 적절히 선정한다.

#### [해 설]

일반적으로 샌드매스틱(Sandmastic)의 재료로는 다음 것들이 사용된다.

(1) 아스팔트

수중에 시공하는 샌드매스틱에 사용되는 아스팔트는 석유아스팔트의 규정에 적합한 스트레이트 아스팔트의 40~60, 60~80, 80~100중 어느 것인가 사용한다.

(2) 모래

먼지, 흙, 유기물 등의 유해물을 포함하지 않는 청정한 모래로서 최대 입경은 25mm로 한다.

(3) 채움재

KS F 3501 역청포장용 채움재의 규정에 적합한 것을 쓴다.

#### [참 고]

(1) 수중시공용 샌드매스틱에 사용하는 아스팔트는 수중에 유하시켰을 때 사석 층의 간극에 공극이 없게 충전시켜야 되므로 충분한 유동성을 갖게 하기 위하여 앞에서와 같이 정한 것이다.

(2) 모래가 혼합물에 미치는 영향은 모래의 입도가 클수록 혼합물의 유동성이 크고 적은 아스팔트량으로도 필요한 유동성을 얻을 수 있으나, 혼합물이 분리되기 쉬운 약점이 있다. 입도가 적을수록 유동성은 작으나 치밀한 샌드매스틱이 된다. 따라서 여기서는 최대입경을 규정하였으나 혼합물이 재료분리를 일으키지 않게 하기 위해서는 모래입자의 사이에 연속성이 있고, 입도곡선이 완만하게 변화하는 것이 바람직하다.

(3) 채움재는 아스팔트 혼합물에 혼입되어 아스팔트와 혼합해서 골재간의 공극을 채움과 동시에 결합재로 작용할 수 있게 하고, 혼합물의 유동성을 감소시켜 점도 및 안정성을 증대시키는 성질이 있다. 아스팔트는 일반적으로 미(微)알카리성의 채움재와 잘 부착하므로 미알카리성을 나타내는 석회석가루로 채움재를 사용하기로 하였다.



#### 4.3.4.2 배합

배합은 시공조건, 자연조건 등을 고려해서 소요의 유동성 및 강도를 얻을 수 있도록 배합시험을 시행하여 결정한다.

##### [해 설]

샌드매스틱의 성질은 재료의 배합과 재료의 성사에 의해서도 변화하다. 샌드매스틱을 시공하는 장소나 자연조건 등에 의해서 필요로 하는 반죽질기 및 강도가 다르게 되므로 이와 같이 규정한 것이다.

##### [참 고]

##### (1) 배합일반

수중에 시공하는 샌드매스틱의 배합은 참고 표 (4.3-5)의 값을 쓰는 경우가 많다.

표 중에서 더스트란 모래 및 채움재중 0.074mm체를 통과하는 것을 말하고, 잔골재란 모래나 채움재중 0.074mm체에 잔류하는 것을 말한다.

참고 표 (4.3-5) 샌드매스틱의 배합표준

재 료	중 량 비(%)
아스팔트	16 ~ 20
더 스톱	18 ~ 25
잔 골 재	55 ~ 66

##### (2) 배합시험

수배합을 결정하는데는 일반적으로 다음의 시험을 실시한다.

- ① 유동성시험 ② 비중시험 ③ 휨시험 ④ 압축시험 이 중에서 ③, ④는 온도 10℃, 재하속도 20mm/분 조건으로 시험을 시행한다.

##### (3) 시험결과 판정

배합시험결과는 각각 다음조건을 만족하도록 결정한다.

##### ① 유동성시험

가. 수중에 시공하는 샌드매스틱의 유하시간(流下時間)은 20~60초의 범위로 한다.

나. 유하대(流下台)를 유하하는 샌드매스틱의 표면에 생긴 균열은 샌드매스틱이 절단(切斷)된 양상(樣相)을 나타내는 것은 아니다.

다. 모래는 샌드매스틱에서 분리되어 흘러내리지 않는다.

##### ② 비중시험 : 1.95이상

##### ③ 휨시험 : 강도는 1.0N/mm<sup>2</sup>이상, 휨처짐량은 5.0mm이상

##### ④ 압축시험 : 1.0N/mm<sup>2</sup>이상

## 재료

### (4) 샌드매스틱 소요량 산정법

사석 층에 시공하는 샌드매스틱의 소요량은 참고 식 (4.3-1)로 산출한다.

$$V = \alpha A (h\nu + d) \quad \text{참고 식 (4.3-1)}$$

여기서,  $V$  : 샌드매스틱의 소요량( $\text{m}^3$ )

$A$  : 샌드매스틱을 시공하는 사석 층의 면적( $\text{m}^2$ )

$h$  : 샌드매스틱을 시공하는 사석 층 두께( $\text{m}$ )

$\nu$  : 샌드매스틱을 시공하는 사석 층의 공극률

$d$  : 사석층상의 샌드매스틱 피복두께( $\text{m}$ )

$\alpha$  : 하층 사석 층에 주입되는 것을 고려한 할증률

### (5) 설계상 제한 사항

샌드매스틱을 설계함에 있어 제한사항으로는 다음 것들이 있다.

- ① 강한 충격파압 또는 고형부유물이 직접 작용하는 장소에서는 사용하지 않는다.
- ② 급격한 침하가 예상되는 개소에는 사용하지 않는다.
- ③ 샌드매스틱을 시공하는 사석면의 경사도는 1:1.3보다 완만하여야 한다.
- ④ 비탈어깨, 비탈머리 및 시공끝부분에는 적절하게 보강한다.
- ⑤ 항만구조물의 내용연수와 샌드매스틱의 내구성과의 조화를 충분히 고려한다.

## 4.3.4.3 기타사항

### [참 고]

- (1) 샌드매스틱(Sandmastic)은 아스팔트에 광물성의 채움재(Filler) 또는 첨가재 및 모래를 가열 혼합한 것으로 공극이 거의 없고, 주입후 전압을 필요로 하지 않는 아스팔트 혼합물이다.
- (2) 샌드매스틱은 일정한 고온으로 사석 층에 유하시켜도 수중에서 분리되지 않고 사석의 간극에 주입된다. 주입된 샌드매스틱은 사석을 끌어안아 전체로서 하나의 덩어리가 되어 사석의 산란 및 유출에 저항하므로 보통의 사석구조에서 소정 크기의 석재를 얻기가 곤란하거나 비경제적인 경우에 사용된다.
- (3) 샌드매스틱의 설계는 아스팔트 재료의 특성에 기인하는 소성유동에 충분히 주의하여야 하고 안전성에 문제가 생기지 않도록 할 필요가 있다.

## 4.4 석재

### 4.4.1 설계일반

- (1) 석재(石材)는 그 사용목적에 따라 소요(所要)의 품질(品質) 및 성능(性能)을 갖는 동시에 경제성을 고려해서 선정한다.
- (2) 일반적으로 석재는 방파제 · 계류시설 등 항만 구조물에 다량으로 쓰이는 재료이다. 석재의 선정은 구조물의 안정성 및 공사비에 크게 영향을 주므로 충분히 검토하고 선정하여야 하며 석재의 결점 및 등급, 석재의 분류는 KS F 2530 석재에 따른다.

#### [참 고]

석재의 분류는 암석의 종류, 모양 및 물리적 성질로 분류하며, 암석의 종류에 따른 분류는 화강암류, 안산암류, 사암류, 점판암류, 응회암류, 대리석류 및 사문암류로 분류되며, 모양에 따른 분류는 각석, 판석, 견치석, 사고석으로 분류되고, 물리적 성질은 참고 표 (4.4-1)과 같으며 같은 분류의 석재에도 생산지 및 채취위치에 따라 물리적 성질이 크게 다를 수가 있으므로 주의하지 않으면 안 된다.

참고 표 (4.4-1) 주요석재의 물리적성질

암석의 종류	종류	비 중 (겉보기)	흡수율	압축강도 (N/mm <sup>2</sup> )
화 성 암	화강암	2.60~2.78	0.07~0.64	85~190
	안산암	2.57~2.76	0.27~1.12	78~269
	현무암	2.68	1.85	85
	반려암	2.91	0.21	177
	감람암	3.18	0.16	187
	휘록암	2.78~2.85	0.008~0.03	123~182
퇴 적 암	응회암	2.64	0.16	377
	점판암	2.65~2.74	0.08~1.37	59~185
	사 암	2.29~2.72	0.04~3.65	49~196
	석회암	2.36~2.71	0.18~2.59	17~76
	차트	2.64	0.14	119
변 성 암	Hornfels	2.68	0.22	191

#### 4.4.2 기초사석

- (1) 기초사석으로 쓰이는 석재는 편평·세장한 것이 아니고 견경, 치밀, 내구적이며 풍화나 동결융해로 파괴될 염려가 없는 것이라야 한다.
- (2) 사용석재를 결정할 때는 시험을 통하여 충분히 재질을 파악한 다음에 구득의 난이, 운반능력, 가격 등을 고려하여 선정한다.

#### [참 고]

- (1) 기초사석의 허용지지력은 KDS 64 11 00 4.3 얇은 기초를 따른다.
- (2) 대형삼축압축시험을 행하지 않고 강도정수를 결정하는 경우의 기준으로서 일축압축강도가  $30\text{N/mm}^2$  이상이면 전단강도가  $0.02\text{N/mm}^2$ , 내부마찰각이  $35^\circ$ 는 기대할 수 있다는 결과를 제시하고 있다.

#### 4.4.3 뒤채움재

- (1) 뒤채움재료는 내부마찰각 및 단위체적중량 등의 재료특성을 고려해서 선정한다.
- (2) 일반적으로 뒤채움 재료로는 할석(割石), 막자갈, 옥석(玉石), 철강슬래그 등이 사용된다. 토단(土丹), 사암(砂岩) 및 철강슬래그는 재질이 균일하지 않으므로 이들의 사용 시에는 신중한 조사 및 검토를 수행한다.

#### [참 고]

- (1) 일반적으로 쓰이고 있는 뒤채움재의 설계값으로는 참고 표 (4.4-2)의 값을 사용하는 예가 많다.

참고 표 (4.4-2) 뒤채움재의 설계치

뒤채움재 종류	내부마찰각(°)	단위체적중량		사면경사도
		잔류수위상 (kN/m <sup>3</sup> , {t/m <sup>3</sup> })	잔류수위하 (kN/m <sup>3</sup> , {t/m <sup>3</sup> })	
할 석				
일반적인 것	40	18 {1.8}	10 {1.0}	1:1.2
부서지기 쉬운 재질의 것	35	16 {1.6}	9 {0.9}	1:1.2
막 자 갈	30	18 {1.8}	10 {1.0}	1:2~1:3
옥 석	35	18 {1.8}	10 {1.0}	1:2~1:3

- (2) 여기서 말하는 할석(割石)이란 항만공사에 쓰이는 것으로 KS F 2530 석재에 가까운 것이다.
- (3) 막자갈이란 선별하지 않은 자갈로서 모래와 자갈이 반 정도씩 섞여있는 것을 말한다.
- (4) 사면경사도는 표에 있는 뒤채움 재료를 해수 중에서 시공하는 경우 시공 시에 낙하하여 자연적으로 형성되는 경사도의 표준적인 값을 나타낸 것이다. 일반적으로 뒤채움 시공 시 파랑의 영향이 적은 곳에서는 작은 값을 취하고, 파랑의 영향이 있는 곳에서는 큰 값을 취한다.
- (5) 철강슬래그는 이 기준 4.6.2 슬래그를 따른다.

#### [참고문헌]

- 1) 국토해양부(2013), 도로교 표준시방서
- 2) 日本港灣協會(2007), 港灣の施設の技術上の基準・同解説

## 4.5 목재

### 4.5.1 목재의 품질

#### 4.5.1.1 보통구조용 목재

- (1) 보통구조용 목재로 사용하는 목재는 해당하는 한국산업표준(KS)에 적합한 것 또는 이와 동등이상의 품질을 갖는 것을 선정한다.
- (2) 보통구조용 목재라 함은 나무말뚝을 제외한 구조용 목재를 말한다. 중요한 항만 구조물의 주요부재로 목재를 사용하는 것은 내구성이 적으므로 좋지는 않으나, 부득이해서 사용하는 경우에는 본 기준을 적용한다.

#### [참 고]

- (1) 품질의 선정에는 그 용도가 인장재, 압축재, 접합재의 어느 것인가에 따라 용이구멍, 섬유유, 경사, 갈라짐, 휘어짐 등에 주목하고, 주요구조 부재에 대해서는 되도록 썩을 위험이 없고 내구성이 큰 수종(樹種)의 목재를 쓴다.
- (2) 근년 보드워크의 재료로 수입재가 많이 사용되고 있으나 사용재료를 선정할 때는 가공·마무리 특성, 미관적 요소, 내마모성, 내화성을 고려한 다음 되도록 유지관리 할 필요가 없고 내구성이 우수한 수종의 목재를 쓴다.

#### 4.5.1.2 나무말뚝재

- (1) 나무말뚝재로는 내구성, 강도 등을 고려하여 소나무재(赤松, 黑松)로서 가공하지 않은 것이 가장 적당하며, 나무말뚝재 선정은 다음사항을 고려한다.
  - ① 갈라짐 등의 결점이 없는 것으로 껍질을 제거한 원구에서 말구까지의 직경이 대략 비슷한 것으로 한다.
  - ② 말뚝재의 꾸부러짐의 한도는 말뚝머리와 말뚝 끝을 연결하는 중심선이 말뚝 밖으로 나오지 않는 것으로 하거나 또는 길이의 0.5% 이내로 한다.
- (2) 나무말뚝재는 내구성, 강도 등의 면에서 소나무의 가공하지 않은 것이 가장 적당하다.

### 4.5.2 목재의 허용응력도

- (1) 목재의 강도는 그 구조물에 요구되는 변형상(變形上)의 제한도 고려하여 각종 요인에 의한 강도의 증감을 총체적으로 고려해서 결정한다.
- (2) 목재의 강도는 재료의 종류, 함수율, 기타의 요인에 의해서 매우 다른 것이 일반적인 현상이기 때문에 안전율도 이런 점을 예상하여 걸보기 안전율로 되어 있다.
- (3) 보통구조용 목재의 허용응력도는 습윤정도 등에 의한 강도의 감소나 이상시 하중에 대한 할증을 고려하여 정한다.

**[참 고]**

- (1) 구조용 목재의 허용응력 조정계수는 KS F 2162 구조용 목재의 허용응력 조정계수에 따라야 한다.
- (2) 목재의 섬유방향 허용응력도 및 섬유직교방향의 허용응력도는 목재의 재질관련 설계 기준에 따른다.

**4.5.3 목재의 접합**

목구조의 접합방식은 구조물 또는 구조부재의 소요성능을 고려해서 산정한다.

**4.5.4 목재의 보수**

- (1) 목재를 충해 또는 부식이 많은 곳에 사용하는 경우에는 이들에 의한 피해를 방지 하도록 노력한다.
- (2) 목재의 결점은 충해, 부식 및 재질의 취약에 있고, 특히 항만구조물에서는 비교적 짧은 기간에 큰 피해를 주는 해충에 대해서 방어대책이 필요하다.

## 4.6 재생자원재료

### 4.6.1 재생자원재료 설계일반

- (1) 재생자원 재료를 이용하는 경우에는 재료의 특성 및 구조물의 특성에 따라 이용한다.
- (2) 슬래그, 석탄회, 콘크리트 덩어리, 아스팔트 콘크리트 덩어리 등을 재생자원재료로 이용할 때에는 폐기물의 처리에 관한 법령(폐기물 관리법) 및 해양 오염방지에 관한 법령(해양환경 관리법)을 검토한다.

#### [해설]

- (1) 유한한 자원의 효과적인 이용을 도모하고, 폐기물의 발생을 억제하기 위하여 국가, 지방자치단체는 물론 건설공사를 시행하는 모든 업체는 제각각 적절한 대책을 수립하여 추진하고 있다.  
항만공사에서 사용되는 재생자원 재료(리사이클 재료)로는 슬래그, 석탄회, 콘크리트 덩어리, 준설토, 아스팔트 콘크리트 덩어리 등이 있고, 거의 모두 토석(土石)재료로 매립재, 노반재, 지반개량재, 콘크리트용 골재 등으로 이용되고 있다.
- (2) 재생자원 재료가 폐기물이나 아니냐하는 것은 그 재료의 물성(物性)이 객관적, 본질적으로 정하여진 것은 아니고, 일반적으로 그 재료가 유용하고 다른 사람에게 유상매각(有償賣却)할 수 있는 경우에는 그 재료는 폐기물이 아닌 것으로 본다.
- (3) 재생자원 재료의 성상은 비교적 품질이 균일하지 않기 때문에 사용하기 전에 먼저 그 물리적·역학적 성질이나 공급량 등을 충분히 조사하고 사용목적에 부합되는가를 검토한다.

#### [참고]

- (1) 재생자원재료를 효과적으로 이용하는 것은 지속가능한 사회의 발전을 위하여 극히 중요하다. 항만공사는 토질재료를 대량으로 사용하기 때문에 자연재료의 사용량을 줄임으로서 환경을 보전하고 재생자원 재료의 특성을 살려 이용함으로써 적극적인 부가 가치의 창출 등 큰 의미를 가질 수 있다. 따라서 이제까지 문제가 있는 폐기물을 매립 처분 한다는 식의 부정적인 생각이 아니고 그 재생자원 재료의 특징을 장점으로 활용 한다는 긍정적인 발상으로 이들 재료를 적극적으로 이용한다.
- (2) 특히 폐기물이라는 것은 그 물질자체의 속성으로 객관적, 본래적으로 정해진 것이 아니고 그 재료가 유용하다고 판단되어 값을 지불하고 구입하여 사용하게 되면 그 재료는 이미 폐기물이 아닌 유용한 재료가 된다는 점과 환경오염은 결코 있어서는 안 되는 것으로 환경상의 문제가 생기지 않도록 사전에 철저하게 점검하여야 할 것이다.  
여기에 소개하는 재생자원 재료는 보통 중금속의 용출 등의 문제가 없고 용출수의 pH가 높은 등의 문제가 있는 정도의 것들이다.



## 4.6.2 슬래그

슬래그를再生资源 재료로 이용하는 경우는 폐기물 처리에 관한 법령(폐기물관리법) 및 해양오염방지에 관한 법령(해양환경관리법)을 검토하여 사용여부를 결정한다.

## [참 고]

- (1) 고로슬래그는 선철 1톤당 약 300kg 생성되며, 서서히 냉각처리한 고로서냉(高爐徐冷) 슬래그와 가압수(加壓水)를 분사하여 급격히 냉각시킨 고로수쇄(高爐水碎) 슬래그로 나누어진다. 제강슬래그는 제강로(製鋼爐)의 종류에 의해서 전로(轉爐)슬래그와 전기로(電氣爐)슬래그로 나누어지고, 전로슬래그의 경우 조철(粗鐵) 1톤당 약 130Kg이 생성하며, 전기로산화슬래그와 전기로환원슬래그가 있다.
- (2) 해양용 케이슨 채움용으로는 KS F 2579 케이슨 채움재용 철강슬래그에 의해 고로슬래그 단독이나 고로슬래그와 제강슬래그를 혼합제조 사용하고 있다. 또한 도로의 기층 및 보조기층, 공항활주로, 철도의 노반 등에도 이와 같은 복합슬래그를 사용하고 있다. 고로서냉(高爐徐冷)슬래그는 종래 광재(鑛滓) 등으로 알려졌었으며 도로용재 등으로 사용되어온 입상(粒狀)재료로서 대략 전량이 유효하게 이용되고 있다. 고로냉각수슬래그는 경량의 모래모양 재료로서 고로슬래그 시멘트의 원료로 이용되고 있는 외에 그 경량성을 살려 항만구조물의 뒤채움재료 등으로 이용되고 있고 이것도 100% 가깝게 이용되고 있다.
- (3) 제강슬래그는 철분을 함유하고 있기 때문에 무겁고, 팽창 붕괴하는 성질을 가지고 있기 때문에 유효한 이용이 늦어지고 있고, 도로용재 등에 쓰이고 있을 뿐이다. 그러나 단단한 입상재료이기 때문에 내부마찰각이 크고, 투수성이 높은 것 그리고 무겁다는 점에서도 이들 특질을 살려서 효과적으로 이용할 수가 있다. 참고 표 (4.6-1)에 슬래그와 흙의 화학성분비교 및 참고 표 (4.6-2)에 제강슬래그와 고로서냉(高爐徐冷)슬래그의 물리적·역학적 특성을 나타내었다.

참고 표 (4.6-1) 화학성분비교

(單位 : %)

종류 \ 단위	고 로 슬래그	전 로 슬래그	전기로슬래그		산 화	안산암	보통포틀랜드 시멘트
			산화슬래그	환원슬래그			
SiO <sub>2</sub>	33.8	13.8	17.7	27.0	59.6	59.6	22.0
CaO	42.0	44.3	26.2	51.0	0.4	5.8	64.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.4	1.5	12.2	9.0	22.0	17.3	5.5
T-Fe	0.3*	17.5	21.2	1.5	—	3.1*	3.0**
MgO	6.7	6.4	5.3	7.0	0.8	2.8	1.5
S	0.84	0.07	8.09	0.50	0.01	—	2.0***
MnO	0.3	5.3	7.9	1.0	0.1	0.2	—
TiO <sub>2</sub>	1.0	1.5	0.7	0.7	—	0.8	—

주) \* : FeO, \*\* : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, \*\*\* : SO<sub>3</sub>

자료) 복합슬래그 기층 및 보조기층 설계시공 지침 (2004 한국도로학회)

고로슬래그 기층 및 보조기층 설계·시공 지침 (1986 대한토목학회)

참고 표 (4.6-2) 철강슬래그의 물리(物理) · 역학특성(力學特性)

	제강(製鋼)슬래그	고로(高爐)슬래그	
		MS-25	CS-40
절건밀도(絶乾密度)(g/cm <sup>3</sup> )	3.19 ~ 3.40	—	—
흡수율(吸水率)(%)	1.77 ~ 3.02	—	—
단위체적중량(kN/m <sup>3</sup> )	19.7 ~ 22.9	17.2 ~ 17.8	16.7 ~ 17.2
최적함수비(%)	5.69 ~ 8.24	8.8 ~ 9.4	8.4 ~ 9.0
최대건조밀도(g/cm <sup>3</sup> )	2.34 ~ 2.71	2.18 ~ 2.21	2.13 ~ 2.17
수정(修正) CBR(%)	78 ~ 135	170 ~ 204	152 ~ 186
투수계수(cm/s)	10 <sup>-2</sup> ~ 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup> ~ 10 <sup>-3</sup>	—
내부마찰각(°)	40 ~ 50	—	—

- (4) 동의 용융 제련시 부산물로서 국내 생산량은 연간 약 70만 톤 정도이며, KS F 2543 콘크리트용 동슬래그 골재에 의해 동슬래그 골재(콘크리트의 내구성 및 강도 발현이 양호)는 시멘트원료, 샌드블리스트용, 콘크리트 또는 시멘트 2차 제품(벽돌/블록류 등)이 사용되고 있고 일본 및 독일 등 선진국에서는 오래전부터 사용하고 있다.
- (5) 이상의 슬래그는 어느 것이든 기본적으로 관리형(管理形)의 산업폐기물로서 천연골재의 부족과 석산개발에 따른 환경파괴 문제 등으로 대체 골재의 중요성이 부각되고 있어 기술적으로 좋은 재료이기 때문에 적극적으로 이용하는 것을 검토하여야 하는 반면 환경문제를 일으키는 일이 있어서는 안 되기 때문에 중금속류의 용출이나 pH, 해수오탁 등에 대하여 각종 환경관리 기준을 참고로 충분한 주의를 기울여야 한다.

## 4.6.3 석탄회

석탄회를 재생자원 재료로 이용할 때에는 폐기물 처리에 관한 법령(폐기물관리법) 및 해양 오염 방지에 관한 법령(해양환경관리법)을 검토하여 사용하여야 한다.

## [참 고]

- (1) 석탄회는 석탄의 종류나 보일러의 연소방식에 따라 성상을 달리하고, 회수된 장소에 의거 플라이 애시와 크랑커 애시로 구별된다.
- (2) 석탄회에는 물의 첨가로 경화하는 포졸란 활성이 있고, 실리카, 알루미나 등 포졸란 물질의 함유량이 많은 회는 포졸란 활성이 활발하다. 또 석탄회는 가볍다는 물리적 특성이 있고, 플라이 애시는 실트, 크랑커 애시는 모래모양의 입도 분포를 보인다. 우리나라에서는 최근 석탄발전소의 증설이 계속되고 석탄회의 발생량은 급속히 증대되고 있어 자원화, 부산물 이용 등의 관점으로부터 플라이 애시의 유효한 이용 촉진의 필요성이 증가하고 있다. 이에 대하여 분말도가 높고 미연 탄소분이 적은 플라이 애시가 콘크리트 혼화재로 보다 우수한 성능을 갖는다는 평가를 얻어 고도의 분급기에 의한 고분말도 제품이 상품화 되고 있다.
- (3) 기타 심층 혼합처리공법의 재료로 이용하거나, 석탄회 고화물의 SCP용 모래 대체 재료로 이용하는 등의 기술이 개발되어가고 있다.

석탄회에 대하여서도 관리형의 산업폐기물인 점은이 기준 4.6.2 슬래그와 같고, 슬래그와 같이 환경문제에 충분한 주의를 기울여 효과적인 이용에 노력하여야 한다.

플라이 애시의 품질은 KS L 5405 플라이 애시에 의거 참고 표 (4.6-3)의 요구사항 이상이어야 한다.

참고 표 (4.6-3) 플라이 애시의 품질 요구사항

항 목 종 류		플라이 애시 1종	플라이 애시 2종
이산화 규소 %		45.0 이상	45.0 이상
수 분 %		1.0 이하	1.0 이하
강열감량① %		3.0 이하	5.0 이하
밀 도 g/cm <sup>3</sup>		1.95 이상	1.95 이상
분말도②	45 $\mu$ m체 잔분(망체방법)③ %	10 이하	40 이하
	비표면적(브레인 방법)cm <sup>2</sup> /g	5,000 이상	2,500 이상
플로값비 %		105 이상	95 이상
활성도 지수 %	제령 28일	90 이상	80 이상
	제령 91일	100 이상	90 이상

주 : ① 강열감량을 대신하여 미연 탄소 함유율을 대신할 경우 KS E 3712 또는 KS L 3318에 규정하는 방법으로 하여 그 결과에 대하여 강 열감량의 규정 값을 사용하여도 좋다.

② 분말도는 망체방법 또는 브레인 방법(공기 투하 장치에 의한 분말도)에 따른다.

③ 분말도를 망체방법에 따르는 경우는 브레인 방법에 따른 비표면적의 실험 결과를 참고 값으로 병기한다.

#### 4.6.4 폐콘크리트로 생산된 재생골재

콘크리트의 품질은 재생골재의 품질 및 물성에 의해 크게 달라지므로 재생골재의 수급과 관리에 주의하여야 하며, 재생골재의 품질은 KS F 2573 콘크리트용 순환골재의 규격에 만족하여야 한다.

#### [참 고]

(1) 폐콘크리트는 콘크리트 구조물 해체 등의 경우에 발생하고, 철근 등의 철재는 일반적으로 분리해내고 있다.

콘크리트용[재생골재로 만든 콘크리트 적용분야 참고 표 (4.6-5)]으로 사용되는 폐콘크리트 (기존콘크리트 구조물의 철거로부터 얻어지는 콘크리트 또는 파괴된 콘크리트)로부터 생산된 재생 굵은 골재와 재생 잔골재에 대한 것은 KS F 2573 콘크리트용 순환골재에 의하며, 그 주요내용은 다음과 같다.

참고 표 (4.6-4) 재생콘크리트의 물리적 성질

항목	종별	재 생 굵 은 골 재			재 생 잔 골 재	
		1 종	2 종	3 종	1 종	2 종
흡 수 율(%)		3 이하	5 이하	7 이하	5 이하	10 이하
밀 도		2.2 이상			2.2 이상	
마모감량(%)		40 이하			-	
입자모양 판정 실적율(%)		55 이상			53 이상	

참고 표 (4.6-5) 재생골재의 유해물 함유량 허용 값

구 분	항 목	재 생 굵 은 골 재	재 생 잔 골 재
0.08mm체 통과량 시험에서 손실된 량(%)	콘크리트의 표면이 마모작용을 받는 경우	1.5 이하	5 이하
	그 밖의 경우	1.5 이하	7 이하

참고 표 (4.6-6) 재생골재로 만든 콘크리트의 적용분야

재생콘크리트 종류	설계기준강도 (MPa)	사용재생골재의 종류		이 용 용 도
		굵은골재	잔골재	
1급	21 이하 18 초과	1 종	천연 골재	교량 하부공, 옹벽, 터널라이닝
2급	18 이하 15 초과	2 종	천연 골재 또는 1종	콘크리트블록, 도로구조물 기초, 측구 집수받이 기초, 중력식옹벽, 중력식교대
3급	15 이하	3 종	2종(천연 잔골재 또는 1종 재생 잔골재도 적용)	막콘크리트, 강도가 요구되지 않는 채움 콘크리트, 건축물의 비구조체 콘크리트

- (2) 폐콘크리트는 주로 노반재료로 이용되어 왔으나, 최근 천연골재의 부족과 골재생산에 따른 환경파괴 등으로 인한 재생골재 사용의 필요성이 대두되고 있다.
- (3) 콘크리트 덩어리의 재이용 방안 중 특히 재생골재에 대해서는 흡수율 및 안정성에 따라 굵은 골재로 3종류, 잔골재는 2종류로 분류하고, 이들의 조합에 따라 철근콘크리트용, 무근콘크리트용, 버림콘크리트용으로 용도를 구분하고 있다.
- 재생골재를 사용한 콘크리트는 보통 골재를 쓴 콘크리트에 비해서 강도 발현이 약간 적으나, 최근의 연구결과를 보면 해체에 수반되는 미분말을 많이 함유하여 흡수율이 큰 재생골재를 콘크리트용 골재로 사용한 경우에도 시공성이나 내구성면에서 그다지 뒤떨어지지 않다는 사실도 보고되고 있다.
- 또한 재생골재를 쓴 콘크리트에 대한 해양환경 하에서의 제반 성질도 차츰 해명되어 가고 있는 것으로 볼 때 앞으로는 주로 무근콘크리트나 버림 콘크리트용 골재로 폐콘크리트를 적극적으로 이용하는 노력이 필요하다.
- (4) 폐콘크리트를 토석재료로 이용하는 경우, 내부 마찰각 등 재료의 정수는 발생하는 폐콘크리트마다 다르기 때문에 현재로서는 표준적인 수치를 제시하는 것은 곤란하다.

#### 4.6.5 준설토사

준설토사는 안벽 또는 호안의 뒤편, 부지 조성 등 다양한 용도로 사용할 수 있다. 준설토사를 공사용 재료로 활용 시에는 준설토사의 특성을 충분히 고려하여 액상화 대책 또는 연약지반 개량 대책 등을 수립하여야 한다.

#### [참 고]

- (1) 준설토사는 매립재로 수토(受土)하여 왔으나 준설품사 시기에 조성중인 매립지가 없는 경우에는 항만지역내의 폐기물처분장이나 준설품 투기장에 매립 처분되고 있다. 한편 항만이나 해상공항의 정비사업에서 안벽이나 호안의 뒤편, 매립지조성, 연약지반의 개량 등의 목적으로 많은 양의 토사(지반재료)가 매립되었다. 사질토계의 준설품 매립이나 뒤편재는 정적(靜的)으로 안정이 되나 지진 시에 액상화 되기 쉬운 지반이 조성되므로 이 경우는 액상화 대책이 필요하게 된다. 점성토계의 준설품은 그 상태대로는 함수비가 높은 초연약지반이 되기 때문에 매립 후 지반개량이 필요하게 된다.
- (2) 이제까지의 사례로 보면 표층을 고화한 후에 연직드레인을 타설하여 압밀을 촉진시키는 지반개량공법이 잘 쓰이고 있다. 또 근년에 와서는 준설품 점성토를 고화처리한 후 매립이나 뒤편에 쓰는 공법개발도 진행되고 있고, 고화처리 전용선으로 혼합하여 매립하는 공법, 토운선 내에서 고화재와 혼합해서 운반하여 매립하는 공법, 처분장 (또는 투기장)에서 고화재와 혼합하는 공법 등이 나타나고 있다.
- (3) 준설품 배토관내에서 혼합하는 공법은 준설품을 매립재로서 보다 경제적으로 시공하는 관점에서 새롭게 개발된 공법으로서 압송중인 관내에 고화재를 첨가하고 압송 중에 발생하는 준설품의 플러그류(Plug流)의 혼합(Mixing) 효과를 이용한 독자적인 혼합 장치를 설치함으로써 준설품의 운반과 고화를 동시에 시행하는 공법이다. 고화재와의 혼합방식은 라인믹서(Line mixer)를 통과시키는 방법이나, 가루상태의 고화재를 첨가하여 혼합하는 방법, 고화재를 미리 첨가한 후 여러 개의 곡관(曲管)을 통과시켜서 혼합효과를 높이는 공법, 고화재 슬러리의 분사용 파이프를 배토관중에 여러 개 설치하여 관내를 통과하는 점토에 고화재를 직접 첨가하는 방법 등이 고안되고 있다.
- (4) 경량혼합처리토공법(輕量混合處理土工法)은 액성한계이상으로 함수비를 조정해서 슬러리화한 준설품에 시멘트계 고화재와 기포(氣泡) 또는 발포(發泡)비드 등의 경량화재를 첨가 혼합한 처리토를 쓰는 공법으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다.
  - ① 준설품을 효과적으로 이용하고, 해수중이나 친수공간에서도 안정된 지반을 조성할 수 있다.
  - ② 단위체적중량이(0 ~ 12kN/m<sup>3</sup>)정도여서 기초지반의 압밀침하량저감이나 토압의 경감에 유효하다.
  - ③ 일축압축강도가 200 ~ 600kN/m<sup>2</sup>이고, 경질점토(硬質粘土)와 같은 역학적 특성을 나타낸다.
- (5) 이들 외에도 준설품 탈수플랜트로 탈수처리한 후 매립재로 활용하는 방법도 있다.

#### 4.6.6 기타

##### 4.6.6.1 아스팔트 콘크리트 재생골재

아스팔트 콘크리트 재생골재는 결모양, 점도에 의해 품질이 크게 달라지므로 아스팔트 콘크리트 재생 골재의 품질은 KS F 2572 아스팔트 콘크리트용 재생골재의 규격에 만족하여야 한다.

#### [참 고]

아스팔트 콘크리트 재생골재에 대해서는 KS F 2572 아스팔트 콘크리트용 재생골재에 의하며, 품질에 대한 주요 내용은 다음과 같다.

- 결모양 : 아스팔트 재생골재의 최대 입경은 40mm 이하이고 저장 중 다른 골재와 섞이거나 나무 조각, 금속편 등 이물질이 섞이지 않아야 한다.

참고 표 (4.6-7) 아스팔트 재생골재의 품질

구재 아스팔트 함량 %	구재 아스팔트 침입도 25° c 1/10mm	씻기 시험에서 손상되는 양%
3.8이상	20이상	5이하

참고 표 (4.6-8) 재생 아스팔트 골재의 품질

항목 \ 종류	60 - 70 (AP - 5)	85 - 100 (AP - 3)
침입그림 (25° C) 1/10mm	60이상 70이하	85이상 100이하
인 화 점 ° C	260 이상	260 이상
신 도(15° C) cm	100 이상	100 이상
삼염화 에탄 가용분	99.0 이상	99.0 이상
박막가열 질량변화율 %	0.6 이하	0.6 이하
박막가열 침입도 잔류율 %	55 이상	50 이상
증발 후 침입도 비 %	110 이하	110 이하
밀도(15° C) g/cm <sup>3</sup>	1000 이상	1000 이상

## 재료

참고 표 (4.6-9) 재생 아스팔트의 점도에 따른 품질기준

항 목		명 칭	
		A C - 10	A C - 20
점 도	60° C, P	1000±200	2000±400
	135° C, cSt	250 이상	300 이상
침입도 25° C (100g 5초)		80 이상	60 이상
인 화 점 ° C (COC)		219 이상	232 이상
삼염화 에탄 가용분(%)		99 이상	99 이상
박막가열 시험 후 잔류율에 대한 시험	점도 (60° C)	5000 이하	5000 이하
	신도 (60° C) cm①	75 이상	50 이상

주) ① 신도가 100 미만 이어도 15.5° C에서 신도가 5cm/min 비율로 100 이상 이면 관계없다.

참고 표 (4.6-10) 재생 첨가제의 품

동 점 그림 (60° C) cSt	80 ∞ 100
인 화 점	230 이상
박막 가열 후 점도비(60° C)	2 이하
박막 가열 질량 변화율(%)	±3 이하



## 4.6.6.2 굴패각

샌드컴팩션 파일(SCP) 공법에서 주된 재료로서 모래만을 사용하였으나 자연건조 상태의 모래와 굴패각을 2:1 혼합 시 시험결과 내부마찰각은 35~55°(모래와 동일하거나 약간 커서 연약지반의 배수재로 적용가능)를 적용한다.

## [참 고]

한국해양연구원에서 2000년 12월부터 2003년 12월까지 해양수산부 R&D 사업으로 굴패각 혼입 특수콘크리트개발을 연구하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 혼합콘크리트의 최적단위수량은 175kg/m<sup>3</sup>
- (2) 최대 단위체적중량 : 0.95~1.25t/m<sup>3</sup>, 최소 단위체적중량 : 0.71~0.81t/m<sup>3</sup>(모래보다 단위 체적중량이 적은 경량재로 우수)
- (3) 투수계수는 모래보다 훨씬 커서 탁월한 배수능력보유 :  $7.5 \times 10^{-3} \sim 8.9 \times 10^{-3}$  cm/s(미립분을 포함하는 경우),  $8.8 \times 10^{-2} \sim 1.1 \times 10^{-1}$  cm/s(미립분을 포함하지 않는 경우),
- (4) 굴패각 고화제를 이용한 천공 개량공법 : 준설토 함수비가 50%인 경우와 굴패각 고화제 혼입률 12%에서 압축강도 값이 최대, 시멘트 고화제의 경우는 9%가 최적 혼입률로 나타났으며, 결론적으로 배합변수에 따른 특성 변화, 장기재령 거동 특성변화, 내구성 변화에 대한 정량적 검토를 하였으며, 아울러 실내 실험분석에서도 일축압축강도, 투수계수, 중금속 용출 등의 시험결과 양호하게 분석되어 건설공사용 모래의 대체재로서 3가지 활용 방법으로 첫째 굴패각 콘크리트 혼화제 및 잔골재로서 활용방법, 둘째 굴패각을 친환경 고화제로서 지반개량공법의 활용 방안, 셋째 파쇄한 굴패각을 모래와 혼합하여 SCP 지반개량 공법 및 뒤채움재 활용법이 있다. 우리나라에서는 부산 신항 배후도로(2공구) 현장에서 모래와 굴패각의 배합비율을 달리하여 모래다짐말뚝을 타설하고 시험결과를 검토하였다. (굴패각 혼입 특수콘크리트 개발, 한국해양연구원 2000.12 ~ 2003.12 윤길림)

## [참고문헌]

- 1) 강구조협회(2009), 강구조 설계기준
- 2) 국토해양부(2013), 도로교 표준시방서
- 3) 대한토목학회(1986), 고로슬래그 기층 및 보조기층 설계·시공 지침
- 4) 한국도로학회(2004), 복합슬래그 기층 및 보조기층 설계·시공 지침
- 5) 한국콘크리트학회(2009), 콘크리트 표준시방서
- 6) 한국해양연구원(2003), 굴패각 혼입 특수콘크리트 개발
- 7) 高橋邦夫(1997), 석탄회 및 철강슬래그의 활용기술, 항기연 자료
- 8) 日本港灣協會(2007), 港灣の施設の技術上の基準・同解説

## 4.7 기타재료

### 4.7.1 기타 금속재료 일반

강재 이외의 금속재료를 사용하는 경우에는 사용부위, 목적, 환경조건, 내구성, 경제성 등을 감안하여 재료를 선정하여야 하며, 항만시설에 사용하는 강재이외의 금속으로는 스테인리스 강, 알루미늄, 티탄 등이 있다.

#### [참 고]

항만시설에 사용하는 강재이외의 금속은 다음과 같은 것이 있다.

##### (1) 스테인리스 강

스테인리스 강은 KS D 3702, 3703, 3705, 3706에 정해진 품질을 사용 한다. 스테인리스강은 방식목적으로 쓰는 경우가 많으나, 해양환경 하에서 스테인리스강의 내식성은 그 종류에 따라 크게 다르기 때문에 재료 선정 시에는 시험결과나 과거의 실적을 참고해서 정한다.

##### (2) 알루미늄

알루미늄 및 알루미늄 합금은 비중이 2.72로 가볍고, 용도에 따라 필요한 강도를 얻을 수 있는 것, 내식성, 내후성(耐候性)이 뛰어난 것, 가공성이 좋은 것 등의 이점이 있다. 사용 예로는 가드레일, 높은 난간(高欄), 유전양극방식의 전기방식용 양극 등이 있다.

##### (3) 티탄

티탄은 강도/질량비가 크다. 즉 강도(두께0.2mm 이상 1.5mm 이하일 때 인장강도 : 270~630 N/mm<sup>2</sup>, 항복강도 : 165~380 N/mm<sup>2</sup>)에 비하여 가벼운(비중 : 4.5)재료이다.

또 티탄은 산소와의 결합력이 아주 강하고, 표면에 수 10Å의 산화피막(O<sub>2</sub>)이 형성되어 쉽게 부동태화(不動態化)하기 때문에 해수 중에서도 공식(孔蝕) 및 극간부식(隙間腐蝕)에 현저히 강하고, 거의 부식되지 않는다. 이 성질을 이용해서 강구조물의 방식재료로 사용되는 경우가 있다.

철근콘크리트의 외부전원방식 전기방식용 양극재료로 티탄제의 메쉬(Mesh)나 그리드(Grid) 등이 쓰이는 경우도 있다. 이것은 장기간 아노드(Anode) 전류를 흘려도 재질이 열화하지 않고, 안정성이 높은 것에 착안한 사용법이다.

#### 4.7.2 플라스틱과 고무

플라스틱 및 고무를 쓰는 경우에는 사용하는 부위, 사용목적, 환경조건, 내구성, 경제성 등을 감안하여 재료를 선정하여야 하며, 항만공사에 있어서 플라스틱 및 고무제품의 종류에는 다음과 같은 것이 있다.

- (1) 지오신쎄틱(Geo-synthetic)
- (2) 이음재료
- (3) 방충재
- (4) 지반주입재
- (5) 도장재료
- (6) 씰(Seal)재
- (7) 접착제
- (8) 피복(Lining)재
- (9) 드레인(Drain)재
- (10) 이음, 받침재
- (11) 부대설비
- (12) 발포(發泡)스티로폼(Styrofoam)

#### [참 고]

(1) 항만공사에 있어서 플라스틱 및 고무제품의 종류별 용도는 다음과 같다.

##### ① 지오신쎄틱(Geo-synthetic)

지오신쎄틱이라는 용어는 종래부터 있었던 지오텍스타일(Geotextile)(투수성이 있는 시트(Sheet)모양의 고분자 재료제품)과 불투수성의 막상(膜狀)구조제품인 지오멤브레인(Geomembrane)을 포함하여 총칭하는 것으로 광의의 지오텍스타일, 지오멤브레인, 지오토펙스트(Geocomposite)가 있다. 지오신쎄틱에는 투수성(透水性)재료와 차수성(遮水性)재료가 있고, 각각의 특징은 다음과 같다.

##### 가. 투수성재료(透水性材料)

직포(織布, Geo-woven)의 재질은 일반적으로 폴리에스테이고, 제조법은 종사(縱絲)와 횡사(橫絲)를 직각으로 교차시켜 직조(織造)한 제품이다. 부직포(不織布, Geo-nonwoven)의 재질은 직포와 같이 직조하는 구조가 아니고, 역학적·화학적 또는 용제(溶劑)를 사용하여 섬유를 접착시키거나, 맞물려 접착시키는 방법 또는 두 가지 방법을 함께 적용하여 제조하는 텍스타일(Textile)구조(布構造)이다.

(가) 장섬유 : 스펠본드(Spun bond)로 대표되며 사용섬유가 아주 길고, 두께가 일반적으로 10mm 이하로서 비교적 얇으면 두께의 조정이 쉽지 않다.

(나) 단섬유 : 반모(反毛 ; 재생모(再生毛)) 펠트(Felt)로 대표되며 사용섬유가 약

3~5cm정도로 짧다. 두께는 일반적으로 10mm 이상이고 두께의 조정이 용이하다.

나. 차수성재료(遮水性材料)

차수판(遮水板)으로 대표되며 직포 등에 연질(軟質)의 염화(鹽化)비닐을 도포(塗布)한 불투수성 멤브레인 구조이다.

항만공사에서 지오신쎄틱의 용도로는 다음과 같은 것들이 있다.

(가) 성토보강대책

준설점토를 사용한 매립지반상에 양질토를 뿌릴 때 양질토의 함몰방지(陷沒防止) 및 공사용 장비의 주행에 필요한 양질토층을 확보하기 위해서 매립지반 표면에 시트(Sheet)나 네트(Net) 등을 직접 포설한다. 최근에는 연약한 매립지에 성토공사를 시행하는 경우 네트공법을 사용하는 예가 많다.

(나) 흡출(吸出) 및 세굴방지대책

필터재로 흡출방지를 목적으로 하는 경우에는 방사포(防砂布)를 안벽의 뒤채움 사석이나 기초사석의 배후 및 기초사석 저면 전체 또는 해측(海側)일부에 부설하는 경우가 많다. 또 파랑 등에 의한 세굴방지대책으로서도 사용되고 있다.

② 이음재료

콘크리트구조물의 시공이음부에는 지수판이나 이음판, 주입이음재가 쓰인다. 지수판은 염화비닐 수지제가 대부분이고 경질염화비닐 시트 및 필름이 제조되고 있다. 이음판은 염화비닐 폴리에틸렌 등의 플라스틱 폼(Foam)제의 것이 있고, 주입이음재로는 폴리설파이드계, 실리콘계, 부틸고무계, 클로로프렌 고무계의 탄성(彈性)셀링재가 사용되고 있다.

③ 방충재

고무방충재는 KS M 6709 고무방현재의 품질을 사용하며, 또한 클로로프렌계의 합성고무 또는 천연고무가 사용되고 있다. 시험방법은 KS M 6518 가황고무 물리시험 방법에 의한다.

④ 지반주입재 : 이 기준 4.7.4 주입재료를 참조한다.

⑤ 씰(Seal)재

배사관 이음, 침매함(沈埋函) 씰고무가스켓트 등이 있다.

⑥ 접착제

여러 가지의 합성수지를 쓴 접착제가 있고, 강교부재, 프리캐스트 콘크리트판의 접합, 콘크리트 균열보수 등에 쓰이고 있다.

⑦ 피복(Lining)재

강재 및 철근의 방식 또는 보호재로 쓰이고 있다.

⑧ 드레인(Drain)재

드레인재로서 특수한 경질(硬質)비닐로 만든 고무와 부직포로 만든 필터를 조합한 복합구조인 것과 폴리염화비닐을 특수 가공한 다공질(多孔質)의 단일구조로 된 것이 있다.

## ⑨ 이음, 받침재

교량에서는 고무신축이음재 및 단층 또는 중층(重層)의 패드(Pad)방식에 의한 고무 받침재(Shoe)가 사용되고 있다.

## ⑩ 부대설비 등

부표, 함선 등 부체에는 FRP제의 것이 있고, 사다리, 난간, 차막이 등의 부대설비에는 고무 FRP제가 있다.

## ⑪ 발포(發泡)스티로폼(Styrofoam)

경량이라는 특성을 살려서 부표, 함선(Pontoon)의 부체(Float) 및 토목구조물에 쓰이고 있다. 토목재료로 쓰고 있는 것은 EPS블록, 발포(發泡)비드(Bead) 등이 있다. 일반적으로 EPS블록은 토압의 경감, 연약지반상의 성토에 대한 침하대책, 단차방사(段差防砂), 가설도로의 기초 등에 쓰이고 있다. 발포비드는 현지 발생토에 시멘트 등의 고화재와 함께 혼합한 경량재로서 침하나 토압의 경감을 목적으로 뒤채움재 등에 쓰이고 있다.

(2) 항만시설에 일반적으로 쓰이는 방사포, 방사판 및 고무계 매트 규격은 다음과 같다.

## ① 방사포(防砂布)

뒤채움층 내로 토사가 침입하는 것을 방지하기 위한 방사포는 뒤채움층의 시공방법, 잔류수위의 크기, 뒤채움사면의 고르기 정도 등의 시공조건을 고려해서 결정한다.

사석마운드 저면에 부설해서 지반토사의 흡출을 방지하기 위하여 쓰이는 방사포는 파고, 조류, 사석의 크기 등의 시공조건을 고려해서 결정한다. 참고 표 (4.7-1~2)에 시공조건이 양호한 경우 부직포와 직포의 최저규격을 나타내었다.

참고 표 (4.7-1) 부직포(不織布) 방사(防砂)시트의 최저규격

종 별	두 겹	인장강도	신 율	질 량	비 고
부직포	4.2mm 이상	880N/5cm 이상	60% 이상	500g/m <sup>2</sup> 이상	시험방법 KSK 0860

주 : 두께 4.2mm 이상 규정은 하중 2kN/m<sup>2</sup>를 재하할때의 두께이고, 재하하지 않는 경우의 두께는 5mm 이상으로 한다.

참고 표 (4.7-2) 직포(織布) 방사시트의 최저규격

종 별	두 겹	인장강도	신 율	비 고
직 포	0.47mm 이상	4,080N/5cm 이상	15% 이상	시험방법 KSK ISO 10319

## ② 방사판(防砂板)

세굴방지대책 목적으로 사용하는 방사판 및 케이슨 등의 종방향 이음부에 설치하는 방사판(폭 1m정도)은 표준적으로 두께 5mm의 것을 쓰고, 참고 표 (4.7-3)에 나타난 규격이상의 것을 쓴다. 한냉지 등에서는 고무재가 사용되는 예도 있으며 참고 표 (4.7-4)에 나타난 규격이상인 것을 쓴다.

## 재료

참고 표 (4.7-3) 고무제방사판의 최저규격

시험항목	시험내용		규격치
	방법	인장방향	
인장강도	KS K ISO 10319	-	4,400N/3cm 이상

참고 표 (4.7-4) 방사판의 최저규격(軟質鹽化비닐製)

시험항목	시험내용		규격치
	방법	인장방향	
인장강도	KS K ISO 10319(광폭 스트립법)	횡	14.7N/mm <sup>2</sup> , {1.5kgf/cm <sup>2</sup> } 이상
인열강도	KS K 0769(트라페 조이드법)	중	25N/mm, {2.5kgf/cm} 이상
신(伸)율	KS K ISO 10319(광폭 스트립법)	횡	180% 이상
내해수 인장강도잔율	JIS K 6773	횡	90% 이상
내해수 신(伸)잔율	JIS K 6773	횡	90% 이상
비 중	KS K ISO 9864	-	1.35±0.05
박리강도	KS K 0533(폭25×250mm)	중	30N/mm <sup>2</sup> , {3kgf/cm <sup>2</sup> } 이상

### ③ 고무계 매트

마찰증대용으로 쓰여지는 고무계 매트는 재생고무를 사용한 것과 새로운 고무를 사용한 것이 있다. 품질은 참고 표 (4.7-5)를 기준으로 하는 예가 많다.

참고 표 (4.7-5) 재생고무 및 새로운 고무의 품질

시험항목			강도 등		시행조건 · 방법
			재생고무	새로운 고무	
물	노 화 전	인장강도	4.9 N/mm <sup>2</sup> 이상	9.8 N/mm <sup>2</sup> 이상	KS M 6782
		인열강도	18 N/mm 이상	25 N/mm 이상	KS M 6783
		경 도	55~77(눈금)	70±5(눈금)	KS M 6784
		신 율	160% 이상	250% 이상	KS M 6782
리	노 화 후	인장강도	3.9 N/mm <sup>2</sup> 이상	9.3 N/mm <sup>2</sup> 이상	KS M 6782
		인열강도	—	—	
		경 도	노화전 값의 ±8 이내	노화전 값의 ±8 이내	KS M 6784
		신 율	140% 이상	200% 이상	KS M 6782 「노화시험은 KS M 6788에 의함」 노화온도 70±1° 노화시간 96 <sub>-2</sub> <sup>0</sup>
압축영구변형		—	45% 이하	KS M 6670 노화온도 70±1° 노화시간 24 <sub>-2</sub> <sup>0</sup> 시간	

### 4.7.3 노면 표지용 도장재료

노면 표지용 도료는 다음과 같은 재료를 사용하여야 한다.

- (1) 페인트(Paint)
- (2) 용착식 플라스틱 도료(Thermoplastics)
- (3) 상온 경화형 플라스틱 도료(Cold plastics)
- (4) 차선 테이프(Tape)
- (5) 차선도료용 유리알(Glass beads)

#### [해설]

##### (1) 페인트(Paint)

유기 용매나 물에 입자를 희석한 유기화합물로서 단일 또는 복수 성분으로 구성되며 롤러, 스프레이 또는 차선도색 장비로 시공하는 도장재료이다.

##### (2) 용착식 플라스틱 도료(Thermoplastic)

일정 형태의 과립형 또는 분말 형태로 공급되는 무용매 재료로 열을 가하여 녹인 후 손이나 적절한 수동 및 자동식 장비로 시공하여 온도가 저하되면서 도막이 형성된다.

##### (3) 상온 경화형 플라스틱 도료(Cold plastic)

단일 또는 복수 성분으로 구성되는 차선재료이며 시스템 유형에 따라 여러 성분들이 다양한 비율로 혼합할 수 있으나 현재는 MMA(Methyl Methacrylate)제품이 대부분이다. 수동 및 자동식 장비에 의해서 시공되며 화학 반응에 의해서 도막이 형성된다.

##### (4) 차선 테이프(Tape)

성형되어 만들어진 테이프형태이며 시공시 접착제를 사용하여 도로에 부착시키는 제품이며 차선, 횡단보도, 문자, 기호 등에 사용된다.

#### [참고]

차선의 재귀반사성능은 경찰청 노면표시 반사성능 기준을 참고할 수 있다.

참고 표 (4.7-6) 도료형 노면표시 반사성능

(단위 : mcd/(㎡ · Lux))

조사각	관측각	구 분	최소재귀반사성능			비고
			백색	황색	청색	
88.76° (1.24°)	1.05° (2.29°)	설치시	240	150	80	기준
		재설치 시기	100	70	40	권장
		우천(습윤)시	100	70	40	권장

- 주) ① 설치시는 노면표시 설치 1주일 후부터 준공시점까지로 본다.  
 ② 재도색 시기는 반사성능의 값이 기준치 이하일 때 재도색 시점으로 본다.  
 ③ 위 기준은 설치기술 및 유리알 생산기술의 개선에 따라 조정할 수 있다.  
 ④ KS M 6880에서 제시하는 성능 이상의 제품 사용을 원칙으로 한다.  
 ⑤ 노면이 젖은 상태에서의 노면표시 반사성능 측정은 EN 1436에서 정한 측정방법에 따른다.

## 재료

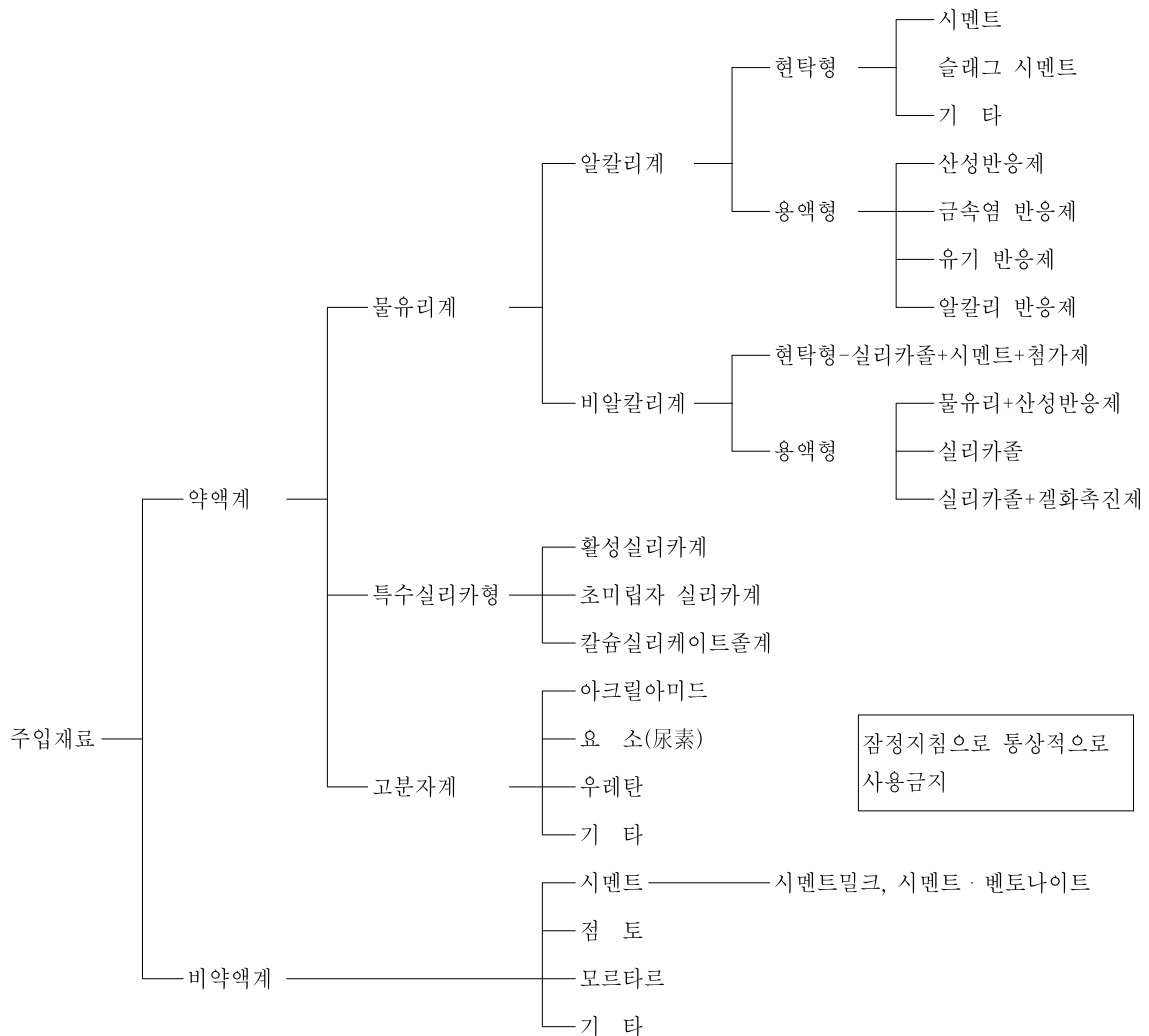
### 4.7.4 주입재료

#### 4.7.4.1 주입재료 일반

- (1) 주입공법은 시공조건상의 특성에 따라 선정하고 주변 환경에 대해서도 유념하여 실시한다.
- (2) 주입공법이란 암반, 지반, 구조물주변, 구조물내부, 굽은 골재 등의 공극에 재료를 충전하여 지하수의 이동을 저지하거나, 지반의 강화를 도모하는 것으로 주입대상 물의 특성에 따라 각종 주입재료가 쓰여 지고 있다.

#### [해설]

주입재료는 사용원료를 기준하여 분류하면 다음과 같다.



해설 그림 (4.7-1) 주입재료의 분류



## [참 고]

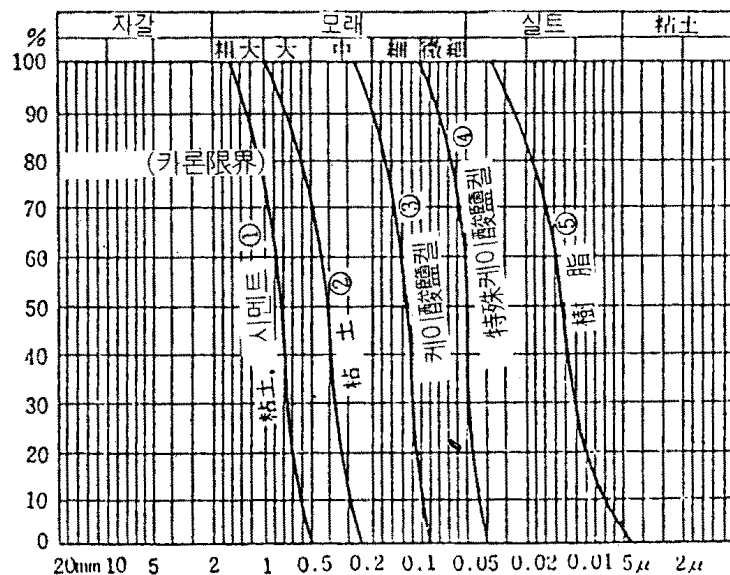
주입제중에는 다소의 독성이 있는 것이 있기 때문에 주입공법을 시행할 경우 지하수 등의 수질관리는 지하수법과 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률의 규정에 적합한 수질 기준이 되도록 관리한다.

### 4.7.4.2 주입재료의 성질

- (1) 주입재료는 대상으로 하는 지반조건과 소요성능을 고려해서 선정한다.
- (2) 주입재료에 요구되는 기본적 성질은 침투성(浸透性), 충전고결성(充填固結性), 고결물(固結物)의 강도와 불투수성(不透水性) 등으로 특히 침투성에 의해서 주입 대상지반에 적합한지 여부가 좌우된다.

## [해 설]

지반의 토질입도별 각종 주입재료의 침투한계는 해설 그림 (4.7-2)과 같다.



해설 그림 (4.7-2) 지반의 토질입도별 주입재료의 침투한계

## [참 고]

- (1) 주요 약액주입재료의 재료 및 특성은 제품에 따라 약간씩 다르기는 하나 각종 제품의 소개 자료에 의하면 참고 표 (4.7-7)에 나타난 바와 같다.

## 재료

참고 표 (4.7-7) 주입재료의 성질

분류	주요구성물질	비중	점토 CPS	pH	압축강도 $\sigma 7(N/cm^2)$	겔화시간	겔화시간의 조정방식	주입 방식	최적 토질
물 유 리 계	케이산(酸)나트륨(주제(主劑))	1.1 ~ 1.3	2 ~ 10	6 ~ 12	30~150	수초(數秒) ~ 수시간	촉진제 첨가량	일액 또는 이액	자갈, 모래
	경화제(硬化劑)(현탁액형(懸濁液型), 유기계(有機系) 무기계용액형(無機系溶液型)) 촉진제(促進劑)								
시 멘 트 계	시멘트	2.4 ~ 3.2	1 ~ 2	>12	100~500	수분(數分) ~ 시멘트 경화시간	반응제 첨가량	일액 또는 이액	자갈, 모래
	벤토나이트 슬래그 시멘트								
아 크 릴 아 미 드 계	아크릴아미드(주제(主劑)) 개시제(開始劑) 촉진제(促進劑) 억제제(抑制劑) 기타 보조제(補助劑)	1.0	1.2	6 ~ 8	20~90	수초(數秒) ~ 수시간	촉진제 및 억제제 첨가량	일액 또는 이액	입경 0.01mm

(2) 시멘트 모르타르를 주입하는 경우의 시멘트는 미분말일수록 침투성이 향상된다.

### 4.7.5 매립재료로 쓰이는 폐기물

폐기물을 매립재료로 처분하는 경우는 폐기물의 처리에 관한 법령(폐기물관리법) 및 해양 오염방지에 관한 법령(해양환경관리법)이 정하는 바에 따라야 한다.

### [참 고]

폐기물의 처리에 관한 적용 예를 정리하면 참고 표 (4.7-8)과 같다.

참고 표 (4.7-8) 폐기물의 처리에 관한 법률의 적용관계

처분장소		육상	해면매립지		해양투기
처분수단		선박 또는 해양시설이외	선박 또는 해양시설이외	선박 또는 해양시설	선박 또는 해양시설
발생장소	육상	폐기물관리법	폐기물관리법	해양환경관리법	해양환경관리법
	해상	폐기물관리법	폐기물관리법	해양환경관리법	해양환경관리법

주 : 해양시설이란 해역에 설치된 공작물을 말한다.

#### 4.7.6 복합소재

복합소재의 주요 구성재인 강화섬유와 플라스틱 수지는 고강도, 고내구성, 내부식성의 특성이 있는 재료로서 한국산업표준(KS)에 적합하거나 이와 동등 이상의 품질을 갖는 것을 선정하여야 한다.

#### [해설]

복합소재는 수지, 섬유강화재, 충전재, 첨가제로 구성한다. 복합소재를 구성하는 각각의 재료는 성형공정 및 제작된 구조물의 성능에 중요한 역할을 하게 된다.

#### [참고]

- (1) 수지 재료는 구성하는 재료를 일체로 성형되도록 하는 접착제의 역할을 하게 되며, 복합소재 구조물에 주로 사용하는 플라스틱 수지는 열경화성 수지로서 이소타입 폴리에스터 수지 또는 동등의 기계적 특성을 가진 제품을 사용하며, 경화된 수지의 기계적 특성은 참고 표 (4.7-9)의 요구조건을 만족해야 한다.

참고 표 (4.7-9) 경화된 수지의 요구조건

특 성	조 건	시 험 방 법
인 장 강 도	55 MPa	KS M 3006
탄 성 계 수	3000 MPa	KS M 3006
신 장 율	2.4%	KS M 3006
온도팽창계수	$5.0 \times 10^{-5}$	KS M 3015

- (2) 섬유강화재는 재료의 기계적 강도를 발휘하게 하는 역할을 하며, 복합소재 구조물에 주로 사용되는 강화섬유는 E-글래스 유리섬유 로빙 및 다축직조섬유 형태이며, 이 경우 유리섬유의 특성은 참고 표 (4.7-10)의 요구조건을 만족해야 한다.

참고 표 (4.7-10) 유리섬유(E-glass)의 물성치 요구조건

특 성	조 건	시 험 방 법
인 장 강 도	$3.5 \times 10^3$ MPa	KS L 2513
탄 성 계 수	$7.4 \times 10^5$ MPa	KS L 2513
신 장 율	3.0%	KS L 2513
온도팽창계수	$5.0 \times 10^{-6}$	KS L 2513

- (3) 각종 충전제와 첨가제는 구조물의 성형성 및 일부 성능을 향상시키는 역할을 한다.
- (4) 복합소재 구조물의 재료 설계 시 주요 고려사항은 다음과 같다.
- ① 섬유강화재의 종류
  - ② 구조물의 경제성
  - ③ 섬유의 함유량
  - ④ 제조공정
  - ⑤ 섬유의 방향성( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$  또는 이들 방향성의 조합)
  - ⑥ 구조물의 부피(최적의 제조방법의 결정)
  - ⑦ 수지의 종류
  - ⑧ 구조물의 사용 환경

### [참고문헌]

- 1) 강구조협회(2009), 강구조 설계기준
- 2) 건설교통부(1995), 방식기술편람(Ⅰ~Ⅳ권)
- 3) 일본도로협회(1996年 12月), 도로교시방서, 동해설Ⅱ 강교편, pp.107, pp.114~180
- 4) 일본도로협회(1996年 12月), 도로교시방서, 동해설Ⅳ 하부구조편
- 5) 일본토목학회(1996年 6月), 콘크리트 표준시방서 설계편, pp.33-40
- 6) 일본연안개발기술연구센터(1997年 4月), 항만강구조물방식, 보수매뉴얼 (개정판)
- 7) 국토해양부(2013), 도로교 표준시방서
- 8) 대한토목학회(1986), 고로슬래그 기층 및 보조기층 설계·시공 지침
- 9) 한국도로학회(2004), 복합슬래그 기층 및 보조기층 설계시공 지침
- 10) 한국콘크리트학회(2009), 콘크리트 표준시방서
- 11) 한국해양연구원(2003), 굴폐각 혼입 특수콘크리트 개발
- 12) 高橋邦夫(1997), 석탄회 및 철강슬래그의 활용기술, 향기연 자료
- 13) C.W Ross(1997), "Deterioration of steel pile groins at Palm Beach", Florida, Corrosion, Vol. 5
- 14) H.A.Humble(1949), "The cathodic protection of steel piling in sea water", Corrosion, Vol. 5 No. 9, pp.292
- 15) 日本港灣協會(2007), 港灣の施設の技術上の基準・同解説
- 16) 呵部正美, 福手 勤, 清水一夫, 長谷川博行, 松田史朗(1997), 수중용접된 강철판구조물의 메카니즘과 파단모드의 개선에 관한 재료학적연구, 항만기술연구소보고 Vol. 35 No. 4
- 17) 呵部正美, 福手 勤, 清水一夫(1995), 파랑해역에서의 모래침식에 대한 전기방식효과, 제42회 일본부식방식토론회 강연집 C-203, pp.371-374

집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전문
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	사무
	재료, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전문
	계류시설	이육한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전문
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케이엔이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총괄	주재욱	(주)평화엔지니어링	고문
	과랑및과력	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	조석	강석구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이윤환	(주)도화엔지니어링	부회장
	지반	임종철	부산대학교	교수
	콘크리트	김우	전남대학교	교수
	방식·도장	라윤강	(주)한국국토안전연구원	원장
	외곽시설	전인식	건국대학교	교수
	표사, 연안보전시설	김효섭	국민대학교	교수
	표사, 연안보전시설	전인식	건국대학교	교수
	재료·계류시설	이진용	(주)세광종합기술단	사장
	재료·계류시설	정대연	(주)대영엔지니어링	대표이사
	부두포장	정진훈	인하대학교	교수
	내진	박두희	한양대학교	교수
	전문맞기타부두	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	어항	이상기	(주)건일	부사장
	마리나	지삼엽	부경대학교	교수
	항로표지시설	이승재	대기해양(주)	상임고문
	항만하역시설	함성진	(사)인천항시설관리센터	소장
	항만전기설비	김세동	두원공과대학교	교수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 10 20 : 2017

## 재료

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>



KDS 64 10 30 : 2017

# 방식

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	• 항만설계기준 제정 • 설계조건, 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록	제정 (1971.12)
항만설계기준	• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계품속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	2
1.5 기호의 정의 .....	2
2. 조사 및 계획 .....	2
3. 재료 .....	2
4. 설계 .....	3
4.1 전기방식법 .....	3
4.2 피복방식법 .....	12



## KDS 64 10 30 방식

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

해양 강구조물은 육상 강구조물에 비해서 가혹한 부식 환경 하에 놓여 있어서 부식이 심하게 발생하므로 적절한 방식대책이 필요하다. 따라서 이 기준의 목적은 전기방식법 및 피복방식법 등을 적용하여 해양 강구조물의 내구연수를 증가시킬 뿐만 아니라 부식에 따른 작업중지, 효율저하, 오염 등을 최소화함으로써 경제적, 사회적 손실을 방지하는데 있다.

#### 1.2 적용범위

- (1) 강재의 방식적용범위는 부두의 강관말뚝을 비롯한 항만 관련 모든 강구조의 시설물에 적용한다.
- (2) 대기부의 강구조물은 피복방식법을 적용한다.
- (3) 비말대와 간판대는 피복방식법과 전기방식법을 병용한다.
- (4) 해중부에 침지된 구조물의 경우 전기방식법을 적용한다.

#### 1.3 참고기준

KS D 3003 항만 및 해양 구조용 내식성 강재(HSM 500)  
 KS D 3300 항만 및 해양 구조용 내식성 강관(STKM 500)  
 KS D 9401 방청·방식 용어  
 KS M 5000 도료 및 관련 원료의 시험방법  
 ISO 8501-1 Preparation of steel substrates before application of paints and related products  
     - Visual assessment of surface cleanliness  
 SSPC-VIS 1-89 Visual standard for abrasive blast cleaned steel

## 1.4 용어의 정의

- 미생물 부식 : 미생물의 대사물질에 의해 금속에 양극반응과 음극반응을 촉진하거나 미생물의 균체자체가 산소농담전지를 형성하여 부식의 원인이 된다. 특히 혐기성 박테리아나 호기성 박테리아에 의해 금속표면이 부식되어 파괴되는 현상을 나타낸다.
- 부식(腐蝕) : 부식은 금속표면의 원자가 그 결정격자에서 이탈하여 환경성분과 화학적 또는 전기화학적으로 반응하는 것이다. 그러므로 금속이 부식되기 위해서는 금속의 결합력을 형성하고 있으면서 원자의 주위를 돌고 있는 전자가 먼저 분리되어야 하는데 전자의 분리를 위해 필요한 것이 전장이며 이 전장을 형성시키는 것을 전위차(Potential difference)라고 하고 이는 외적 혹은 내적 환경적인 불균일에 의해서 생긴다. 따라서 금속이 어떤 환경적 불균일에 의해서 전위차가 생기면 전자가 움직이게 되고 전지가 형성되어 전류가 흐른다. 이 전류를 부식전류(Corrosion current)라 하며 이 전류의 근원이 되는 전지를 부식전지(Corrosion cell)라 한다.
- 부식허용두께 : 금속제품에 사용도중의 부식에 의하여 손실될 것을 미리 계산하여 그만큼을 더한 두께
- 비말대 : 대기부와 간만대 사이부분으로서 해상구조물에서 부식이 가장 심하게 나타나는 부분을 말한다.
- 전기방식법 : 강구조물의 부식을 방지하기 위한 방법으로 양극방식법과 음극방식법으로 구분하고 음극방식법은 외부전원방식과 희생양극방식으로 구분한다. 외부전원방식은 외부직류전원장치의 양극(+)은 외부전원용 전극에 연결하고 음극(-)은 방식대상체(강구조물, 매설배관 등)에 전기적으로 연결하여 부식을 방지하는 방법이다. 희생양극방식은 비전위의 희생양극(Zn, Al 등)을 귀전위의 방식대상체(강구조물, 매설배관 등)에 연결하여 부식을 방지하는 방법이다.
- 피복방식법 : 강재 또는 콘크리트 구조물 방식을 위하여 부식환경으로부터 차단시키는 방법으로 구조물의 표면을 처리한 후 도장, 라이닝, 보호카바 등을 설치해서 피복하는 방식을 말한다.

## 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 2. 조사 및 계획

내용 없음

### 3. 재료

내용 없음

## 4. 설계

### 4.1 전기방식법

#### 4.1.1 강재의 적용 방식법

- (1) 강재의 방식대책은 강재시설물이 설치되어 있는 곳의 자연 상황에 따라서 전기방식법 또는 피복방식법 등 적절한 방식공법을 적용한다. 이 경우 D.L(±)0.0m 이하의 부분은 전기방식법, D.L(-)1.0m 이상의 상부는 피복방식법으로 방식대책을 강구해야 한다.
- (2) 간판대 및 해중부는 부식환경에 따라 집중부식 등이 생길 위험이 있으므로 전기방식법에 등에 의한 방식을 적용한다. 또한 부식허용두께를 감안하여 방식설계를 하여야 한다.
- (3) 강널말뚝 등의 배면토중부는 해측과 비교해서 부식속도가 느리기 때문에 방식법을 다르게 할 수 있다. 그러나 배면매립토가 폐기물의 영향 등으로 부식성이 강하다고 판단되는 경우는 사전 조사를 실시하고 방식대책을 강구한다. 특히 부식인자인 호기성, 혐기성 박테리아 등으로 인한 미생물부식(MIC)이 발생하여 비말대보다 심한 강구조물의 부식이 발생할 수 있다. 따라서 강구조물에 필요한 경우 살균처리, 기계적 표면세척, 완전한 배수시설, 음극방식법, 피복방식법 등과 같은 방식대책을 세워야 한다.
- (4) 간판대 윗부분 즉 해상대기부는 피복방식법, 해중부 및 해저토중부에는 전기방식법을 적용하는 것이 바람직하며 가장 실적이 많고 신뢰성도 확인되었다. 해중부에 피복방식법을 적용하는 경우는 특히 내구성을 고려하여 피복재를 선정해야 하며 시공 시는 목재 등 해상 부유물의 충돌에 의한 손상은 물론 파압에 의한 손상도 고려하여야 한다. 그리고 해중부 및 해저토중부에 전기방식을 적용할 경우 피복재의 열화나 손상을 고려하여 피복재가 열화된 곳이나 손상부를 전기방식으로 보완할 수 있다.
- (5) 방식대상 구조물이 신설 구조물인가, 이미 설치된 기존 구조물인가에 따라 적용할 수 있는 방식법이 달라질 수 있다. 즉 신설 구조물에는 적용할 수 있어도 기설 구조물에는 적용할 수 없는 공법이 있는데 이것은 기 설치된 구조물을 방식할 때는 시공조건에 제약을 받는 경우가 있기 때문이다. 또한 간판대인가 해중부인가 하는 방식대상 부분에 따라서도 적용공법이 달라진다. 이들 외에도 부식 환경조건, 시공조건, 내용연수 등에 대해서 각 방식공법의 특성을 고려하여 신뢰성이 높은 공법을 선정한다.
- (6) 방식효과를 장기간 유지하기 위해서는 사용 중에 적절히 유지관리를 하여야 한다. 즉 지속적으로 적절한 시점에 방식을 적용하고 있는 부위에 대한 방식전위 측정 및 육안점검을 실시하고 그 건전성을 평가함과 동시에 필요시에는 추가방식공사 또는 강재의 보수를 실시한다.

[해설]

- (1) 강재의 표면에는 양극과 음극이 존재(성분의 불균일, 조직의 불균일, 표면상태의 불균일, 응력의 불균일, 환경의 불균일 등에 의해서 양극과 음극이 존재)한다.
- (2) 그리고 이들 양극과 음극이 존재하는 금속표면에 수분이 존재하면 양극과 음극의 전위차에 의해서 음극은 환원반응이 일어나며 양극은 산화반응이 발생함으로써 양극 부에서 부식하게 된다.
- (3) 강재의 부식 환경은 산성, 중성 및 알칼리성 등 다양하며 항만 강구조물이 설치되는 해양이나 담수 토양 등은 pH가 거의 중성이며 이 환경에서는 물과 염소이온 및 용존 산소가 중요한 역할을 한다.
- (4) 강재를 중성 수용액에 담그면 표면에서는 전술한 바와 같이 양극반응(Anodic reaction)과 음극반응(Cathodic reaction)에 의한 무수히 많은 부식전지가 형성된다. 부식전지의 양극(Anode)과 음극(Cathode)에서는 해설 식 (4.1-1), 해설 식 (4.1-2)와 같은 반응이 동시에 그리고 같은 속도로 진행한다.

양극의 산화반응 :  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$  해설 식 (4.1-1)

음극의 환원반응 :  $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$  해설 식 (4.1-2)

해설 식 (4.1-1)은 강재가 산화(부식)되는 과정으로서 양극반응이며 해설 식 (4.1-2)는 물과 산소에 의한 환원반응으로서 음극반응이라 한다. 따라서 전체적인 강재의 부식 반응은 해설 식 (4.1-3)으로 표시할 수 있다.

$2Fe + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_2$  해설 식 (4.1-3)

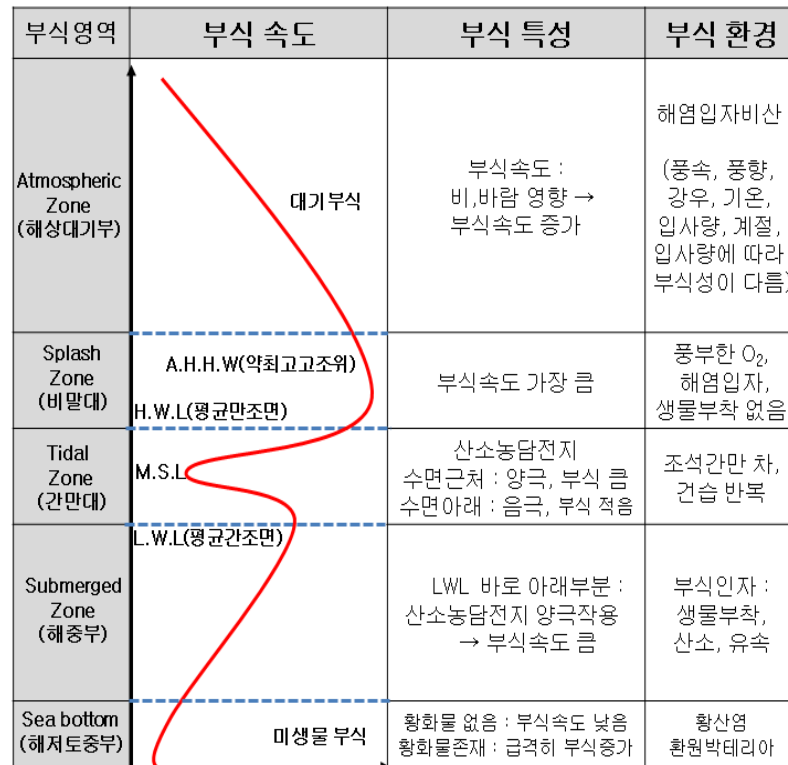
해설 식 (4.1-3)의  $2Fe(OH)_2$ 는 강재표면에 생성되며 다시 산화반응과 탈수반응을 거쳐 수산화철( $FeOOH$ ,  $Fe_2O_3$ (적색),  $Fe_3O_4$ (흑색),  $FeO$ (녹색) ) 즉 다양한 형태의 녹이 발생하게 된다.

- (5) 해수 중에 설치된 강관말뚝의 수심방향 부식분포는 일반적으로 해설그림 (4.1-1)과 같다. 즉 해수가 비산하는 비말대는 특히 부식이 심하고, 그 중에서도 약최고고조위(A.H.H.W) 바로 윗부분에서 부식속도가 최대가 된다.

한편 해설 그림 (4.1-1)의 수중부에서는 D.L(±)0.0m 바로 아랫부분에서 부식속도가 가장 빠르다. 이 부분의 부식속도는 강구조물의 환경조건, 단면형상 등에 따라 크게 다르나 주로 해중부의 염분과 용존산소에 의한 영향이 크다. 일반적으로 청정해수 중의 강널말뚝 구조물이나 강관말뚝 구조물에서는 D.L(±)0.0m 바로 아랫부분의 부식속도가 해중부의 부식속도와 큰 차이가 없는 경우가 많으나 구조물의 환경에 따라서는 D.L(±)0.0m 바로 아랫부분의 부식속도가 해중부의 값보다 커지며, 심한 경우에 비말대를 상회하는 경우도 있으므로 주의가 필요하다. 이런 심한 국부부식을 집중부식이라 한다.



- (6) 용존산소의 접근이 가장 어려운 해저토중부에서는 부식율이 크게 낮아지지만 해안의 진흙속에 흔히 관찰되는 황산염환원박테리아와 같은 미생물부식(MIC)에 의해 부식속도가 급격히 증가될수 있다.



해설 그림 (4.1-1) 강재의 부식속도분포

#### 4.1.2 환경별 강재의 부식속도

강재의 부식속도는 부식 환경 조건에 따라 상이하므로 해당시설이 설치된 환경조건을 고려하여 결정한다.

##### [해설]

항만시설에 적용하는 강재의 부식속도는 당해해역의 기상조건, 해수의 염분농도 및 오염 정도, 하천수의 유입유무 등 해당해역의 환경조건에 따라 크게 영향을 받기 때문에 그 부근의 과거사례나 유사한 조건에서의 조사결과를 참고하여 결정하는 것이 바람직하다.

- (1) 강재의 부식속도는 환경에 따라 차이가 많으나, 일반적으로 아래 표와 같이 강재의 부식속도의 표준치를 나타낸다. 강재의 부식속도는 일반적으로는 시설 강구조물의 조사 결과 등을 기초로 하여 정리한 해설 표 (4.1-1)을 표준으로 한다.

## 방식

그러나 해설 표 (4.1-1)은 평균값이며 강재의 사용조건에 따라 이 수치를 상회하는 경우도 있으므로 강재의 부식속도를 결정할 때는 되도록 유사한 조건하에 있는 부식 조사 결과를 참조하는 것이 바람직하다. 또한, 해설 표 (4.1-1)의 값을 사용하는 경우 이 수치는 한쪽면의 부식속도이므로 강재 양면이 모두 부식 환경에 노출되어 있는 경우 양면의 수치를 합해서 사용한다.

해설 표 (4.1-1) 강재의 부식속도의 표준치

부식 환경		부식속도(mm/년)
해상측	A.H.H.W 이상	0.3
	A.H.H.W ~D.L(-)1.0m까지	0.1~0.3
	D.L(-)1m~해저부까지	0.1~0.2
	해저 토층 중	0.03
육상측	육상 대기 중	0.1
	토중(土中)(잔류수위 이상)	0.03
	토중(土中)(잔류수위 이하)	0.02

- (2) 해설 표 (4.1-1)의 A.H.H.W 이상의 수치는 A.H.H.W 직상부의 부식속도이다. 또 A.H.H.W에서 해중부까지의 부식속도는 수역 및 수심에 따라 변한다는 사실이 부식실태조사에 의해 명확히 밝혀진 바 있어 해당 수역의 부식실적을 토대로 결정하는 것이 바람직하다.

해설 표 (4.1-1)은 참고수치로서 변화폭을 고려하여 표시하였다.

수심방향에 대하여는 환경조건이 다른 간만부와 해중부를 구분해서 생각하는 것이 바람직하며 이 경우 경계는, D.L(-)1.0m정도가 적절하다.

집중부식의 부식속도는 해설 표 (4.1-1)의 값을 크게 상회하므로 이 표 값에 적용되지 않는다.

- (3) 강관말뚝의 내측과 같이 밀폐된 공간에는 산소의 공급이 차단되므로 부식을 고려하지 않아도 되지만, 일정시간의 경과에 따라 파공, 산소유입 등에 의한 부식환경에 놓이게 되므로 부식에 대한 영향을 고려하여야 한다.
- (4) 모래에 의한 침식(Sand erosion)은 강재면에 발생한 녹 층이 모래에 의해 제거되어 나강재면이 노출됨으로써 부식속도가 증가하는 현상이다. 방사제에 강널말뚝을 사용한 경우, 모래침식에 의해 모래면 직상부의 평균부식속도가 1.25~2.39mm/년 정도까지 이른 예도 있다. 그리고 모래표면의 상하변동이 적을 때에는 모래면 직상부에 마모개소가 집중되기 때문에 이 값보다 크게 될 수 있다.
- (5) KS D 3003 항만 및 해양 구조용 내식성 강재(HSM500)와 KS D 3300 항만 및 해양 구조용 내식성 강관(STKM500)은 KS에 명시된 바와 같이 비말대에서 일반 강재 대비 60% 수준의 부식속도를 적용할 수 있다.

## 4.1.3 전기방식법의 구분

전기방식법은 희생양극방법과 외부전원방법을 이용하여 항만 및 어항 구조물의 부식 방지와 각종설비의 사용수명연장을 목적으로 하며, 해양 강구조물의 전기방식법은 음극 방식 중에서 통전방식에 따라 희생양극방식과 외부전원방식으로 구분하여 적용한다.

## [해설]

- (1) 희생양극방식은 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg), 아연(Zn) 등의 양극을 강구조물에 접합시켜 양 금속간의 전위차에 의해 발생하는 전류를 방식전류로 이용하는 방식법이다.
- (2) 희생양극의 산화반응에 의해서 생성된 전자가 음극의 강구조물 표면에서 물과 용존산소와 함께 환원반응( $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ )만이 일어나며 강재의 표면에서는 양극의 산화반응( $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ )이 발생하지 않는다. 따라서 강재의 표면에서는 부식이 발생하지 않는다. 다시 말해서 강재의 표면에는 두 금속간의 전위차에 의해서 발생하는 방식전류로 인해 강재의 표면은 모두 음극이 되어 환원반응만 일어나게 된다.
- (3) 희생양극방식의 경우 양극의 유지관리가 용이하기 때문에 우리나라에서는 항만강구조물의 전기방식의 경우 대부분이 희생양극방식을 채용하고 있다. 희생양극재료의 성능은 해설 표 (4.1-2)에 표시한 바와 같다. 알루미늄 합금양극은 단위 질량당의 발생전기량이 가장 크고, 경제성이 우수하며, 해수 중 환경에 적합하다. 이 때문에 항만 강구조물방식용으로 알루미늄합금 양극이 가장 널리 사용된다. 다만 해저토중에 양극이 설치되는 경우에는 아연양극이 바람직하다. 그리고 어느 경우에도 양극 설치시 대기 중에 장기간 노출되지 않도록 해야 한다.

해설 표 (4.1-2) 희생양극재료의 성능비교

특 성		Al-Zn-In		순Zn, Zn합금	순Mg, Mg-Mn	Mg-6Al-3Zn
비 중		2.6~2.8		7.14	1.74	1.77
개로양극전압(V) (SCE)		-1.058		-1.03	-1.56	-1.48
철에 대한 유효전압(V)		0.25		0.20	0.75	0.65
발생전기량(아론치(Ah/g))		2.87		0.82	2.20	2.21
해 중 부 1mA/cm <sup>2</sup>	전류효율(%)	80	90	90	50	55
	발생전기량(Ah/g)	2.30	2.60	0.78	1.10	1.22
	소모량(kg/A)/년	3.8	3.4	11.2	8.0	7.2
지 중 0.03 mA/cm <sup>2</sup>	전류효율(%)	65*		65	40	50
	발생전기량(Ah/g)	1.86*		0.53	0.88	1.11

주) \*표시 수치는 성분별 구성비에 따라 달라질 수 있음.

## 방식

- (4) 희생양극방식에서 양극을 강재에 접속시키기 위한 방법으로는 수중용접이 일반적이다. 강널말뚝식 계류시설에서는 지진 시에 배후의 지반이 침하해서 강널말뚝에 과도한 토압이 작용하는 경우, 수중용접부에서 고응력에 의한 취성파괴 사례가 보고된 적이 있으므로 응력부식균열(SSCC)에 대한 대책이 필요하다.
- (5) 외부전원방식은 외부 직류전원을 양극을 통해 음극인 강구조물에 연결시켜 방식전류를 공급하는 방식법으로 전류를 보내는 양극은 해수 중에서 납·은 합금 전극 이외에 고가이나 성능이 우수한 백금도금 티타늄전극, 나이오비움(Niobium) 전극 및 산화 금속물을 피막 시킨 피막산화금속(Mixed metal oxide) 전극 등의 불용성양극을 사용한다. 외부전원방식은 출력전압을 자유로 조절할 수 있으므로 유속이 빠르거나 하천수의 혼입 등으로 환경변화가 심한 곳이나 정밀한 전위제어가 필요한 곳에 적합하다.

### 4.1.4 전기방식법

- (1) 전기방식법의 적용범위는 부두 강관말뚝의 D.L(±)0.0m 이하로 한다.
- (2) D.L(±)0.0m 이상에 대해서는 피복방식법에 의한 방식을 실시하는 것이 필요하며, 이때 D.L(±)0.0m 직하부는 부식되기 쉬운 부분이기 때문에 D.L(-)1.0m 까지는 피복방식을 확대하여 실시한다.
- (3) 항만공사에 있어서는 강관말뚝이나 강널말뚝을 항타한 후 상부공이 시공되기까지 무방식 기간이 존재하며 또한 전기방식의 양극 교체 시에도 무방식 기간이 존재한다. 이 무방식 기간에 강재에 심한 집중부식이 발생할 수 있으므로 가능한 무방식 기간을 줄이기 위해 노력해야 하며 전기방식을 적용하기 전에 충분한 육안관찰을 통하여 부식의 상태를 점검한다.
- (4) 항만강구조물의 방식전위는 해수염화은전극(Ag/AgCl) 기준으로 -800mV 이하로 한다.

#### [해설]

- (1) 전기방식의 효과(방식율)는 해설 표 (4.1-3)에 표시한 바와 같이 피방식체인 강재가 해수 중에 잠겨있는 시간이 길수록 크고 짧을수록 감소한다.
- 또 간만에 유입되는 방식전류는 해중부와 비교할 때 상당히 커서 양극의 소모량이 커지기 때문에 전기방식법의 적용범위는 평균고조위(H.W.O.M.T) 이하로 한다. 다만, 수면부에 피복방식법을 적용하는 경우 이 방식부 이하 부분을 방식 범위로 한다. 평균저조위(L.W.O.M.T)이하의 방식율은 90%를 표준으로 한다.
- 해수침지율 및 방식율은 해설 식 (4.1-4) 및 해설 식 (4.1-5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{해수침지율} = \frac{\text{시편의 전 침지 시간}}{\text{전 시험기간}} \times 100(\%)$$

해설 식 (4.1-4)

$$\text{방식율} = \frac{\text{미방식 시편의 질량감소량} - \text{방식시편의 질량감소량}}{\text{미방식 시편의 질량감소량}} \times 100(\%) \quad \text{해설 식 (4.1-5)}$$

해설 표 (4.1-3) 전기방식의 방식율

해수침지율(%)	방식율(%)
40 미만 40 이상 80 미만	40 미만 40 이상 60 미만
80 이상 100 미만 100	60 이상 90 미만 90 이상

## (2) 방식전위

- ① 강구조물에 전기방식법을 적용하여 방식전류를 공급할 때 강구조물의 전위(고저항 전위차계로 기준전극과 피방식체의 강재와의 전위차를 측정된 값)는 점차 낮아지고 (용존산소와 물 및 전자에 의한 환원반응에 의해서 낮은 전위가 되고) 어느 일정전위에 도달하게 되면 부식이 억제되게 된다. 이 전위를 방식전위라 한다.
- ② 전위 측정에는 환경이 변화하여도 안정된 값을 유지하는 전극을 기준으로 사용한다. 기준이 되는 전극을 기준전극이라 하며, 해수 중에서는 해수염화은전극 이외에 포화 카로멜전극, 염화수은전극, 포화황산동전극이 사용되는 경우도 있다.  
방식전위는 측정에 사용하는 기준전극의 종류에 따라 달라지며 기준전극의 종류에 따라 다음과 같은 방식전위 값을 갖는다.  
포화카로멜전극기준 - 770mV(SCE) 이하  
해수염화은전극기준 - 800mV(SSC) 이하  
포화황산동전극기준 - 850mV(CSE) 이하
- ③ 도장과 전기방식(특히 외부전원방식)을 병용하는 경우에는 과잉전류에 의해 즉 과방식에 의해서 도막이 열화하지 않도록 주의할 필요가 있다. 이 경우 전위는 -800 ~ -1,100mV(SCE) (포화카로멜전극기준)가 바람직하다.

해설 표 (4.1-4) 전기방식개시시의 방식 전류밀도 (mA/㎡)

	청정해역	오염해역
해 중 부	100	130 ~ 150
석 적 부	50	65 ~ 75
해저토중	20	30
육 상 중	10	10

## 방식

### (3) 방식전류밀도

- ① 전기방식을 적용할 때 강재의 전위를 방식전위보다 낮은 값까지 분극시키기 위해 필요한 강재 단위표면적당 전류를 방식전류밀도라 한다. 방식전류밀도 값은 전기방식 개시 시의 초기 값에서 시간이 경과함에 따라 감소하여 안정한 값이 된다. 이 값은 초기값의 40-50% 정도이다.
- ② 방식전류밀도는 수온, 유속, 파랑, 수질 등에 의해 변화한다. 하천수나 다양한 배출수가 유입되는 곳 또는 황화물농도가 높은 곳에서는 일반적으로 방식전류밀도가 증가한다. 또 유속이 큰 곳에서도 방식전류밀도는 증가한다. 항만 및 어항공사 전문시방서에 의하면 특수해역에서 유속이 1m/s, 2m/s, 3m/s에 대하여 초기방식전류밀도값은 각각 160, 230, 270mA/m<sup>2</sup>로 그리고 정상상태의 방식전류밀도는 80, 115, 135mA/m<sup>2</sup>로 제시하고 있다. 따라서 최종 방식전류밀도값은 해당지역의 기존구조물의 실적 및 환경을 고려해서 결정하는 것이 바람직하다.
- ③ 보통 해역에서 전기방식 개시 시점의 방식전류밀도는 나강재면과 도장 강재면에 대하여 해설 표 (4.1-5)의 값을 참고한다.

해설 표 (4.1-5) 강관말뚝과 도장 파일의 외부환경조건에 따른 최적 따른 최적방식전류밀도

(단위: mA/m<sup>2</sup>)

환 경			강관말뚝 전기방식		도장말뚝 전기방식
			초기방식 전류밀도	정상방식 전류밀도	초기전류밀도
일반해역	항 내	해중부 토 중	100 20	50 10	20 + 100 x S
	항 외	해중부 토 중	100 x F 20 x F	50 x F 10 x F	20 x F + 100 x S
특수해역	오 염	해중부 오염토중 토 중	100 x K 150 x K 20 x K	50 x K 100 x K 10 x K	20 x K + 100 x S
	조 류	1m/s 2m/s 5m/s	160 230 270	80 115 135	

비고: F는 해역의 파랑, 조류의 정도에 따라 1.0~1.5까지의 범위로 한다.

K는 오염정도에 따라 1.2~1.5까지의 범위로 한다.

S는 도막의 열화 및 손상에 의해 발생하는 강의 손상율(손상피복면적/전피복 면적)로, 도장계에 따라 0.1~0.25까지의 범위로 한다.

- ④ 방식기간이 경과하면 발생전류가 감소되기 때문에 양극의 수명을 구할 때 사용하는 평균발생전류는 방식기간에 따라 다음과 같이 적용하는 경우가 많다.

5년간 방식의 경우 : 초기발생전류  $\times 0.55$   
 10년간 방식의 경우 : 초기발생전류  $\times 0.52$   
 15년간 방식의 경우 : 초기발생전류  $\times 0.50$   
 15년 이상 방식의 경우 : 15년 값을 적용한다.

- ⑤ 전기방식의 적용범위가 도장으로 피복된 곳이 있는 경우에는 피복재의 손상률을 예상하여 방식전류밀도의 값을 정한다. 해수 중에는 다음과 같이 정하여도 좋다.

도장 :  $20 + 100S \text{ mA/m}^2$   
 콘크리트 :  $10 + 100S \text{ mA/m}^2$   
 유기 라이닝 :  $100S \text{ mA/m}^2$

여기에서 S는 손상률(=피복손상면적/전피복면적)이다. 단, 상기 식에서 구한 방식전류밀도가 상기 본문 중에 나타나는 값을 초과하는 경우는 해설 표 (4.1-4)의 값을 적용한다.

## 4.2 피복방식법

### 4.2.1 적용범위

- (1) D.L (-) 1.0 m 보다 상부의 구조물에 대한 방식은 피복방식법을 적용하여야 한다.
- (2) 항만강구조물에서 해수의 침지 시간이 짧은 부분은 전기방식법을 적용할 수 없기 때문에 피복방식법을 적용한다.

#### [해설]

이 기준 4.1 전기방식법에서 설명한 것과 같이 전기방식법의 적용범위는 평균저조위 이하로 했으나 이 부분은 집중부식이 발생하기 쉬우며 또 파랑의 영향, 계절적인 해수면 변동 등으로 해수 침지시간이 짧아지는 경우가 있으므로 D.L (-) 1.0 m 보다 상부는 피복방식법을 병용한다.

#### [참고]

수심이 얕은 해역의 강널말뚝식 호안에는 구조물의 깊이방향 전체에 피복방식을 하는 경우도 있다. 해중부를 피복방식법과 전기방식법을 병용하면 희생양극의 수명연장을 기대할 수가 있다.

### 4.2.2 적용공법

항만강구조물에 적용하는 피복방식법은 다음의 4종류에서 선택하여 적용하여야 한다.

- (1) 도장
- (2) 유기라이닝(有機 Lining)
- (3) 페트롤레이텀 피복방식(Petrolatum lining)
- (4) 무기라이닝(無機 Lining)

#### [해설]

- (1) 피복방식은 기본적으로는 피방식체를 부식 환경으로부터 차단시키는 방식방법이다. 피복방식법의 적용범위는 그 종류에 따라 달라지며 간만대, 비말대, 해상대기부를 주 대상으로 하는 경우와 해중부에도 적용하는 경우가 있다. 또 해중부에는 전기방식법과 병용하는 경우와 피복방식법만 적용하는 경우가 있고 신설구조물에만 적용하는 공법과 기설구조물에도 적용가능한 공법이 있다. 피복방식법은 다양하나 항만강구조물에 적용하는 공법은 이 기준에서 나타난 것으로 한다.



- (2) 피복방식의 방식성능은 시공, 특히 표면처리에 가장 큰 영향을 받는다. 표면처리의 목적은 강재표면의 녹, 기름(유지)과 같이 피복방식재의 부착성, 방식성을 저해하는 물질을 제거함과 동시에 도막의 초기 부착강도 확보에 필요한 표면조도를 제공하는데 있다. 피복방식의 방식효과와 내용연수를 유지하기 위해서 피복방식의 종류에 따라 필요로 하는 표면처리 기준은 달라진다.

표면처리 후의 강재면은 화학적으로 산화반응이 지속되며 공기 중에서는 산화의 진행이 빠르기 때문에 표면처리 후 신속히 피복방식재를 시공을 하지 않으면 안 된다.

또 공사 시에는 피복방식면에 손상을 주지 않도록 주의할 하여야 한다.

## [참 고]

- (1) 도장은 대형구조물이나 복잡한 형상에도 시공할 수가 있다. 도막두께가 얇고 경량이기 때문에 외관이 깔끔하다. 현장조건에 따라 도료의 종류나 도막두께를 선택할 수 있다. 내용연수는 비교적 짧으나 가격이 저렴한 특성이 있다.

해중부(단, 신설구조물은 공장도장 또는 항타 전 현장시공)부터 해상대기부까지 적용 가능한 주된 도장계는 표준시방서를 참고하여 적용한다.

가혹한 부식 환경에 노출되어 있고 재도장이나 보수가 용이하지 않은 항만 강구조물의 도장계로는 전술한 도장계 중에서 선정하는 것이 바람직하나 도장범위, 환경조건 등에 따라서는 다른 도장계를 선정할 수 있다. 도장은 영구적인 것이 아니고 일정한 주기마다 재도장함을 전제로 하는 방식법이다. 재도장은 적절한 시기를 정하고 도막의 열화 상태에 따라 전면도장 또는 부분보수를 하나 신설 구조물과는 제반조건이 다르므로 도장재를 선택할 시에는 충분한 검토가 필요하다. 또 부식이나 도막의 열화가 심해질 때까지 방치하지 말고 비교적 열화 초기에 재도장을 하는 것이 효과적이며 경제적이고 구조물의 수명연장에도 기여할 수 있다. 재도장이나 부분보수의 경우에는 구 도막과 동일한 것을 사용하는 경우가 많으나 고도의 표면처리가 곤란한 경우나 환경조건에 따라서는 동일 도료가 부적당한 경우도 있다. 특히 초벌도료의 선정은 중요하며 신설 공사와 다른 종류의 재도장용 프라이머를 쓰는 경우가 있다. 구도막의 열화상태, 표면 처리의 정도 도장재의 여러 겹 도장의 적합성 등을 고려해서 도장재를 선정한다.

비말대, 해상대기부를 재도장할 때는 기존도막에 부착되어 있는 염분을 제거할 필요가 있다. 해중부나 간만대는 수중 경화형 라이닝이나 드라이공법으로 시공한다.

- (2) 유기라이닝의 경우 도막두께는 2~10mm이며 일반 도장의 도막두께보다도 두껍고 방식성, 내충격성, 내마모성이 우수하다. 해중부는 전기방식법을 병용할 수도 있다.

주된 유기라이닝에는 다음과 같은 종류가 있다.

- ① 폴리에테렌 라이닝
- ② 우레탄 엘라스토마 라이닝
- ③ 초후막형 라이닝
- ④ 수중시공형 라이닝
- ⑤ 방식테이프 라이닝

## 방식

### ⑥ FRP 라이닝

### ⑦ 고무 라이닝

#### (3) 페트롤레이텀 피복방식

본 방식은 원유에서 감압증류에 의해 분리된 석유 왁스의 한 종류인 페트롤레이텀을 주성분으로 하여 부식억제제 등을 첨가한 페트롤레이텀계 방식재에 의해 강재를 피복하는 방식법이다. 파랑 등 외력의 작용에 대해서 피복한 방식재를 보호하고 또한 부식 환경으로 부터 차단하기 위해 보호커버를 설치한다. 이 공법에는 하지처리를 시행한 강재면에 페이스트 도포→ 페트롤레이텀 테이프 시공 → PVC 시트 시공 → 마지막으로 FRP, FRV 등의 보호커버를 설치하는 방법 외에 방식재, 완충재, 보호커버가 일체화한 것을 장착하는 방법도 있다. 이 공법은 수중에서도 시공할 수 있기 때문에 기설 시설에도 적용할 수 있다.

#### (4) 무기라이닝

무기라이닝에는 모르타르라이닝, 금속라이닝, 전착라이닝 등이 있다.

- ① 모르타르라이닝은 시멘트 모르타르나 콘크리트에 의한 피복을 총칭한 것으로 거푸집을 떼어 내는 방법과 거푸집을 보호카바로서 그대로 남겨두는 방법이 있다. 후자는 기밀수밀성이 높고 내식성이 우수한 재료로 만든 거푸집을 사용하며 모르타르 타설 후에도 거푸집을 남겨 놓음으로서 충격에 의한 균열이나 중성화로부터 모르타르를 보호하는 방법이다.
- ② 금속라이닝은 일반적으로 내식성이 우수한 금속을 강재의 표면에 부착하는 방식법이다. 타 방식법에 비해 기계적강도가 크고 내충격성, 내마모성이 우수한 반면, 라이닝재와 강재와의 경계부에서 이종금속접촉부식에 의한 강재의 부식이 촉진되는 경우가 있기 때문에 대책이 필요하다. 또 아연, 알루미늄 또는 이들 합금을 사용하는 금속용사도 금속라이닝에 포함되나 이의 시공 시에는 표면처리와 용사조건에 대한 충분한 관리가 필요하다. 시공이 적절하면 양호한 방식성을 나타낸다.
- ③ 전착라이닝은 해중에 설치한 전극으로부터 강재에 직류전류를 통하게 하여 해중부의 Ca이온이나 Mg이온을 강재면에  $\text{CaCO}_3$ 이나  $\text{Mg(OH)}_2$ 으로서 석출시켜 강재 표면을 피복하는 방법이다. 방식대상범위는 주로 해중부이다. 이 공법은 기설구조물에도 적용 가능하며 피복층이 파손된 경우에는 재통전에 의해서 복구할 수 있다.

### 4.2.3 공법의 선정

피복방식법의 선정 및 공사시방결정시에는 각 공법의 특성을 고려하고 다음사항에 대해서 조사 및 검토하여야 한다.

- (1) 환경조건
- (2) 방식범위
- (3) 내용연수
- (4) 유지관리
- (5) 시공조건
- (6) 기 타

기설 강구조물의 경우에는 상기사항 외에 다음사항도 조사한다.

- (7) 부식량(부식정도), 구 피복방식의 열화상태
- (8) 당초의 설계조건

#### [해설]

- (1) 피복방식법의 선정 및 시방결정 시에는 다음의 각 항목에 대해서 조사, 검토하는 것이 필요하다.

##### ① 환경조건

구조물이 설치되는 환경은 피복방식의 내용연수에 직접영향을 미치기 때문에 충분히 조사해야 한다. 부식 환경 조건으로서는 해수의 수질, 담수나 오염수의 유입, 온배수의 혼입 등이 있다. 또 파랑이나 부유물의 충돌 등 외력에 의한 손상가능성에 대해서도 검토한다.

##### ② 방식범위

구조물의 형상이나 전기방식법 등 다른 방식법과의 병용여부에 따라 피복방식에 의한 방식범위가 결정된다. 공법마다 각기 적용범위가 다르므로 구조물의 방식범위에 적합한 공법을 선정한다.

##### ③ 내용연수

구조물의 내용연수 및 채도장 등 채시공을 전제할 것인가의 여부는 공법 선정 및 공사시방의 결정과 밀접한 관계가 있다. 피복방식법의 내용연수는 현재까지 충분히 조사되었다고 말하기 어렵기 때문에 과거의 현장실적을 통해 검증된 공법과 방식 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 특히, 내용연수를 파악하기 위해서는 표준시방서 및 방식기술편람(건설교통부)을 참고할 수 있다.

##### ④ 유지관리

피복방식의 방식기능을 예상기간만큼 유지하기 위해서는 적절한 유지관리가 필요하며 그 적용의 난이도를 고려할 필요가 있다.

## 방식

### ⑤ 시공조건

피복방식법에는 공장시공이나 현장시공 등 시공 장소가 제한되는 경우가 있다. 해상 시공의 경우는 조위나 파랑의 영향을 받는다. 현장시공의 경우에는 표면처리작업의 난이도와 샌드블라스팅이 환경에 미치는 영향에 대해서 검토가 필요하다.

### ⑥ 공 기

시공이 가능한 시기 및 기간을 선정하지 않으면 안 된다. 특히 기설구조물의 경우는 이동상황이나 해상요건을 고려하여 적절한 공기를 선정할 필요가 있다.

### ⑦ 기 타

피복방식법의 신뢰성 평가에는 실제시공 실적자료가 가장 중요하기 때문에 유사조건에서의 시공실적을 조사한다. 실적이 없는 공법에 대해서는 뒷받침이 되는 실험데이터나 이론을 충분히 조사하고 평가하며 기타 필요한 사항을 면밀히 조사, 검토한다.

### ⑧ 부식량(부식정도), 기존피복방식의 열화상태

기설 강구조물에 새로이 피복방식을 하는 경우에는 기설강구조물의 부식상태나 피복 방식의 열화상태를 조사한다.

### ⑨ 초기의 설계조건

기설강구조물의 경우, 부재의 형상, 치수를 설계서에서 조사함과 동시에 실물이 설계서와 다르지 않은가를 확인한다. 또 구 피복방식의 사양을 조사하며 구조물의 잔존내용연수도 확인하여 두는 것이 필요하다.

(2) (1)항에 나타난 각 사항은 서로 연관이 있으므로 종합적으로 검토하여 공법을 선정한다.

집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전문
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	사무
	재료, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전문
	계류시설	이육한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전문
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케앤이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총괄	주재욱	(주)평화엔지니어링	고문
	과랑및파력	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	조석	강석구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이윤환	(주)도화엔지니어링	부회장
	지반	임종철	부산대학교	교수
	콘크리트	김우	전남대학교	교수
	방식·도장	라윤강	(주)한국국토안전연구원	원장
	외곽시설	전인식	건국대학교	교수
	표사, 연안보전시설	김효섭	국민대학교	교수
	표사, 연안보전시설	전인식	건국대학교	교수
	재료·계류시설	이진용	(주)세광종합기술단	사장
	재료·계류시설	정대연	(주)대영엔지니어링	대표이사
	부두포장	정진훈	인하대학교	교수
	내진	박두희	한양대학교	교수
	전문맞기타부두	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	어항	이상기	(주)건일	부사장
	마리나	지삼엽	부경대학교	교수
	항로표지시설	이승재	대기해양(주)	상임고문
	항만하역시설	함성진	(사)인천항시설관리센터	소장
	항만전기설비	김세동	두원공과대학교	교수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 10 30 : 2017

## 방식

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>



KDS 64 11 00 : 2017

# 지 반

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	• 항만설계기준 제정 • 설계조건, 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록	제정 (1971.12)
항만설계기준	• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계품속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정	개정 (2014.04)

제정 : 2017년 8월 16일	개정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호의 정의 .....	1
2. 조사 및 계획 .....	2
2.1 조사 및 계획 일반 .....	2
2.2 흙의 물리적 특성 .....	2
2.3 흙의 역학적 성질 .....	12
2.4 사운딩(Sounding) .....	26
3. 재료 .....	41
4. 설계 .....	41
4.1 설계일반 .....	41
4.2 토압과 수압 .....	42
4.3 얕은 기초 .....	50
4.4 깊은 기초 .....	57
4.5 말뚝 기초 .....	57
4.6 기초의 침하 .....	57
4.7 사면의 안정 .....	58
4.8 지반개량공법 .....	66



## KDS 64 11 00 지반

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 항만 및 어항 설계에 필요한 지반 분야의 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

토압과 수압, 얕은 기초와 깊은 기초, 말뚝기초, 기초의 침하, 사면의 안정과 지반개량 등에 대한 설계에 적용한다.

#### 1.3 참고기준

KDS 11 10 05 지반설계 일반사항  
 KDS 11 30 05 연약지반 설계기준  
 KDS 11 50 05 얕은기초 설계기준(일반설계법)  
 KDS 11 50 15 깊은기초 설계기준(일반설계법)  
 KDS 11 70 00 비탈면 설계기준

#### 1.4 용어의 정의

내용 없음

#### 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 2. 조사 및 계획

### 2.1 조사 및 계획 일반

이 기준에서 정하는 사항을 제외하고는 KDS 11 10 10 지반조사 및 KDS 11 30 05 연약지반 설계기준을 따른다.

#### [해설]

(1) 이 기준에서 정하는 사항 이외의 내용은 KDS 11 10 10 지반조사 및 KDS 11 30 05 연약지반 설계기준의 내용과 동일하여 관련 내용은 해당 기준에 따르도록 하였으며 KDS 11 30 05에서 정하지 아니한 사항은 구조물기초 설계기준(국토교통부, 2016)을 참고할 수 있다.

(2) 시추지반조사의 시추공 간격은 다음 표를 참고할 수 있다.

① 지층상태가 수평, 연직 방향으로 비교적 균일한 경우

구 분		기준선방향	기준선의 직각방향	
		배치간격	배치간격	기준선에서 거리(최대)
개략 조사	넓은지역	300~500m	50m	50 ~ 100m
	좁은지역	50~100m		
정밀조사		50~100m	20 ~ 30m	

② 지층상태가 복잡한 경우

구 분		기준선방향	기준선의 직각방향	
		배치간격	배치간격	기준선에서 거리(최대)
개략조사		50m 이하	20~30m	50 ~ 100m
정밀조사		10~30m	10~20m	

## 2.2 흙의 물리적 특성

### 2.2.1 단위중량

단위중량은 현장에서 채취한 불교란 시료 또는 원위치의 흙에 대해서 직접 구하여야 한다.

#### [해설]

통칭 단위중량이라 함은 공기 중에서의 단위체적당 중량을 말하며 여기에는 건조단위중량, 습윤단위중량, 포화단위중량, 수중단위중량이 있다.

#### [참고]

(1) 습윤단위중량

자연 상태에 있는 흙의 단위체적당 무게를 말하며 다음과 같이 표시한다.

$$\gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{(G_s + S_r \cdot e)}{1 + e} \gamma_w = \frac{1 + w}{1 + e} G_s \cdot \gamma_w \quad \text{참고 식 (2.2-1)}$$

여기서,  $\gamma_t$  : 습윤단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )  
 $\gamma_w$  : 해수의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )  
 $G_s$  : 흙의 비중  
 $e$  : 간극비  
 $S_r$  : 포화도 (%)  
 $w$  : 함수비 (%)

참고 표 (2.2-1) 대표적인 흙의 단위중량 및 함수비

	충적점토	홍적점토	사질토
습윤단위중량 $\gamma_t(\text{kN/m}^3)$	12~16	16~20	16~20
건조단위중량 $\gamma_d(\text{kN/m}^3)$	5~14	11~14	12~18
함수비 (%)	150~30	60~20	30~10

## (2) 건조단위중량

수분이 증발하고 건조한 흙입자만으로 구성되었을 때의 단위중량으로 참고 식 (2.2-1)에서  $w=0$ ,  $S_r=0$ 의 경우이며 다음의 참고 식 (2.2-2)과 같다.

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \quad \text{참고 식 (2.2-2)}$$

여기서,  $\gamma_d$  : 건조단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

이 때, 습윤단위중량과 건조단위중량 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w}$$

## (3) 포화단위중량

흙이 수중에 있거나 또는 모관현상에 의해 완전히 포화되었을 때의 단위중량으로 참고 식 (2.2-1)에서  $S_r=100\%$ 의 경우이며, 다음의 참고 식 (2.2-3)과 같다.

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w \quad \text{참고 식 (2.2-3)}$$

여기서,  $\gamma_{sat}$  : 포화단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

## (4) 수중단위중량

수위 아래의 흙이 완전히 포화되면 부력을 고려해서 다음과 같이 나타낸다.

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{G_s - 1}{1 + e} \gamma_w \quad \text{참고 식 (2.2-4)}$$

여기서,  $\gamma_{sub}$  : 수중단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

단위중량들은 흙 자체의 무게로 인한 깊은 토층에서의 압력, 다짐정도, 간극비의 계산 등에 사용되는 기본 자료가 된다.

(5) 원위치에서의 단위중량 측정

원위치에서 직접 단위중량을 구하는 방법에는 지표면 부근에서 측정하는 방법과 심층 부까지 측정하는 방법이 있다. 전자는 KS F 2311 현장에서 모래치환법에 의한 흙의 단위중량 시험방법에 규정되어 있고, 후자는 라디오 아이소토프(RI)를 이용한 측정 방법이다.

① 모래치환법

모래치환법은 주로 토공관리용으로 육상부 지표면 부근의 측정에 적합하고 그의 측정방법은 KS F 2311에 규정되어 있다.

② 라디오 아이소토프(RI)

최근 RI의 이용이 용이하여, 엄한 법적 규정이 있음에도 모래 및 사질토에서 불교란 시료의 채취가 곤란한 경우 원위치시험에 있어서  $\gamma$ 선 밀도계에 의한 측정 예가 많이 있다. RI를 응용한  $\gamma$ 선 밀도계에는 표면형과 삽입형의 2종류 형식이 있다. 표면형은 지표면부근의 측정에 적절하고 앞에서 설명한 모래치환법과 동일한 토공관리용에 이용한다. 표면형은 후방산란방식과 투과방식이 있으며 최근에는 후자의 사용빈도가 높다. 삽입형은 연직방향의 밀도분포, 깊이방향의 조사에 적합하며 주로 항만공사에서 많이 이용되고 있다.

RI는 비파괴 시험에 의해 원위치에서 직접 밀도를 구하는 이점이 있다.

(6) 상대밀도

사질토의 경우 단위중량이나 간극비만으로 치밀한 상태여부를 판정하기는 어렵고 다음의 참고 식 (2.2-5)과 같이 상대밀도로 나타내는 것이 편리하다.

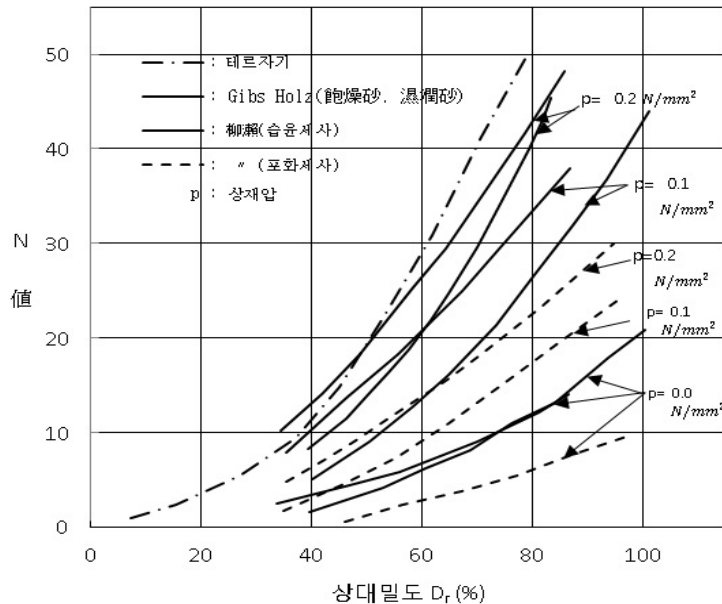
$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{\gamma_d - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}} \cdot \frac{\gamma_{d\max}}{\gamma_d} \quad \text{참고 식 (2.2-5)}$$

여기서, $D_r$	: 상대밀도 (%)
$e_{\max}$	: 가장 조밀한 상태의 간극비
$e_{\min}$	: 가장 느슨한 상태의 간극비
$e$	: 자연 상태에 있는 흙의 간극비
$\gamma_{d\min}$	: 가장 느슨한 상태의 건조단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_{d\max}$	: 가장 조밀한 상태의 건조단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_d$	: 자연 상태에 있는 흙의 건조단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )

사질토의 역학적 특성은 상대밀도( $D_r$ )와 관련시켜서 나타내는 경우가 많다. 상대밀도를 구하기 위해  $e_{\max}$ 이나  $e_{\min}$ 을 결정하는 방법은 국내에서는 아직 표준화되어 있지 않다. 그러므로 이것들을 결정하는 방법에 따라 상대밀도의 값은 차이가 있을 수 있다. 그러나 일반적으로  $e_{\max}(\gamma_{d\min})$ 은 1cm 높이에서 흙입자를 떨어뜨리거나 물속에서 침전시켜 구하고,  $e_{\min}(\gamma_{d\max})$ 은 흙을 용기에 넣어 압력과 진동을 동시에 가하거나 또는 흙입자가 흙 표면에 충격을 가할 수 있는 충분한 높이에서 낙하시켜 측정한다.



사질토에서는 불교란 시료의 채취가 곤란하므로, 상대밀도는 사운딩(Sounding) 시험에 의한 간접적인 방법으로 추정하여 많이 사용하고 있다. 참고 그림 (2.2-1)은 표준관입 시험  $N$ 값로부터 상대밀도를 추정하는 관계를 나타낸 그림이다.



참고 그림 (2.2-1) 사질토 · 상대밀도와  $N$ 치 관계

## 2.2.2 입도 및 흙의 분류

- (1) 입도분포의 시험은 KS F 2302와 KS F 2309에 따른다.
- (2) 흙의 분류는 입도분포, 컨시스턴시 등에 근거한 공학적 분류방법을 적용하여야 한다.

### [해설]

입도라 함은 흙에 포함된 여러 종류의 흙입자의 입경별 함유비율을 나타내는 것이며, 보통 실트 이하의 미립부분은 비중계를 사용하는 침강법으로 하고, 또 모래 이상의 조립부분은 체가름으로 측정한다.

흙의 강도나 변형 등의 역학적 특성은 조립토의 경우에 입도, 세립토의 경우에 컨시스턴시와 밀접한 관계를 갖고 있다.

### [참고]

- (1) 균등계수, 곡률계수, 유효경  
균등계수는 참고 식 (2.2-6)과 같다.

## 지반

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{참고 식 (2.2-6)}$$

여기서,  $C_u$  : 균등계수

$D_{60}$  : 통과중량백분율 60%에 해당하는 입경 (mm)

$D_{10}$  : 통과중량백분율 10%에 해당하는 입경 (mm) 또는 유효경

하젠(Hazen)은 여과사에 대한 실험연구에서 균등계수와 유효경으로 투수성을 추정할 수 있는 방법을 고안하였다.  $D_{10}$ 을 일명 하젠(Hazen)의 유효경이라고도 한다.

곡률계수는 참고 식 (2.2-7)과 같다.

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad \text{참고 식 (2.2-7)}$$

여기서,  $C_c$  : 곡률계수

$D_{30}$  : 통과중량백분율 30%에 해당하는 입경 (mm)

$C_u$ 와  $C_c$ 는 입도분포의 넓이와 형상을 나타낸 것이다. 통일분류법에서는 균등계수가 자갈의 경우 4 이상, 모래의 경우 6 이상이고 곡률계수가 1~3의 범위에 있을 때 입도분포가 좋다고 판정한다.

### (2) 흙의 분류

흙의 성질은 입경의 크기뿐만 아니라 입자의 형상에도 영향이 있지만 편의적으로 전술한 방법에 의하여 구한 입경에 의해서 참고 표 (2.2-2)와 같이 자갈, 모래, 실트, 점토로 구분한다.

이 입도의 구분은 각국의 기관에 따라 약간의 차이가 있으며 참고로 참고 표 (2.2-2)에 수록하였다. 각기 입경이 다른 입자들의 집합체인 흙에 대해서 사용목적에 따라 여러 가지 분류방법이 있다.

참고 표 (2.2-2) 입경에 따른 구분

분 류	입 경 범 위 (mm)			
	MIT(1931)	AASHITO(1972)	ASTM(1967)	KS F 2301(1985)
자갈	2.0 이상	2.0 ~ 76.2	4.76 ~ 76.2	4.76 이상
모래	2.0 ~ 0.06	0.074 ~ 2.0	0.074 ~ 4.76	0.074 ~ 4.76
실트	0.06 ~ 0.002	0.002 ~ 0.074	0.074 이하*	0.005 ~ 0.074
점토	0.002 이하	0.002 이하	-	0.005 이하
콜로이드	-	0.001 이하	-	0.001 이하

주) ASTM에서는 0.074mm 보다 작은 입자는 세립토로 분류함.

참고 그림 (2.2-2)은 통일분류법에서 세립토의 분류근거로 사용되는 소성도표를 나타

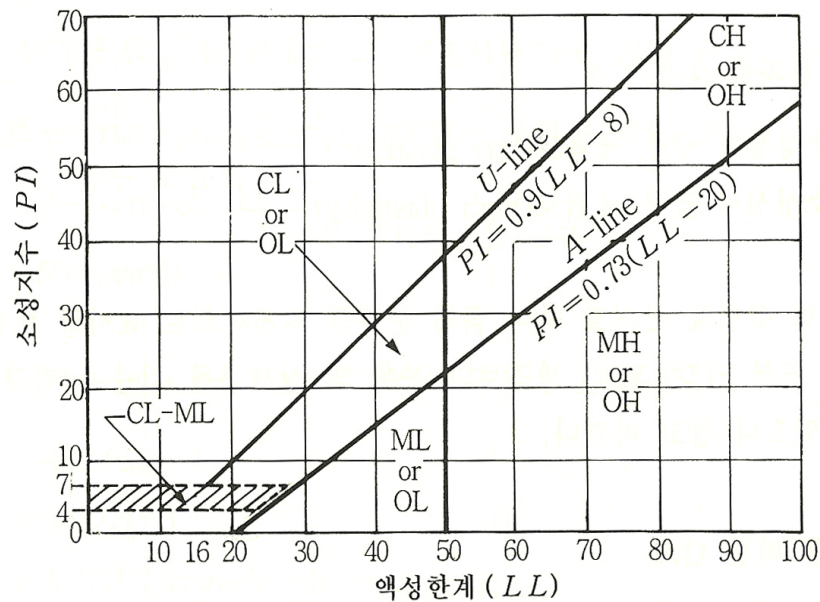
내고, 참고 그림 (2.2-3)은 도로, 활주로의 재료로 사용되는 흙의 분류법으로서 국내에서 많은 사용되고 있는 통일분류법에 의한 흙의 분류방법을 보여 준다.

통일분류법은 흙을 영문자 두개로 표시하며, 앞의 문자는 흙입자의 주된 크기를 나타내고, 뒤의 영문자는 입도분포상태나 소성성을 나타낸다.

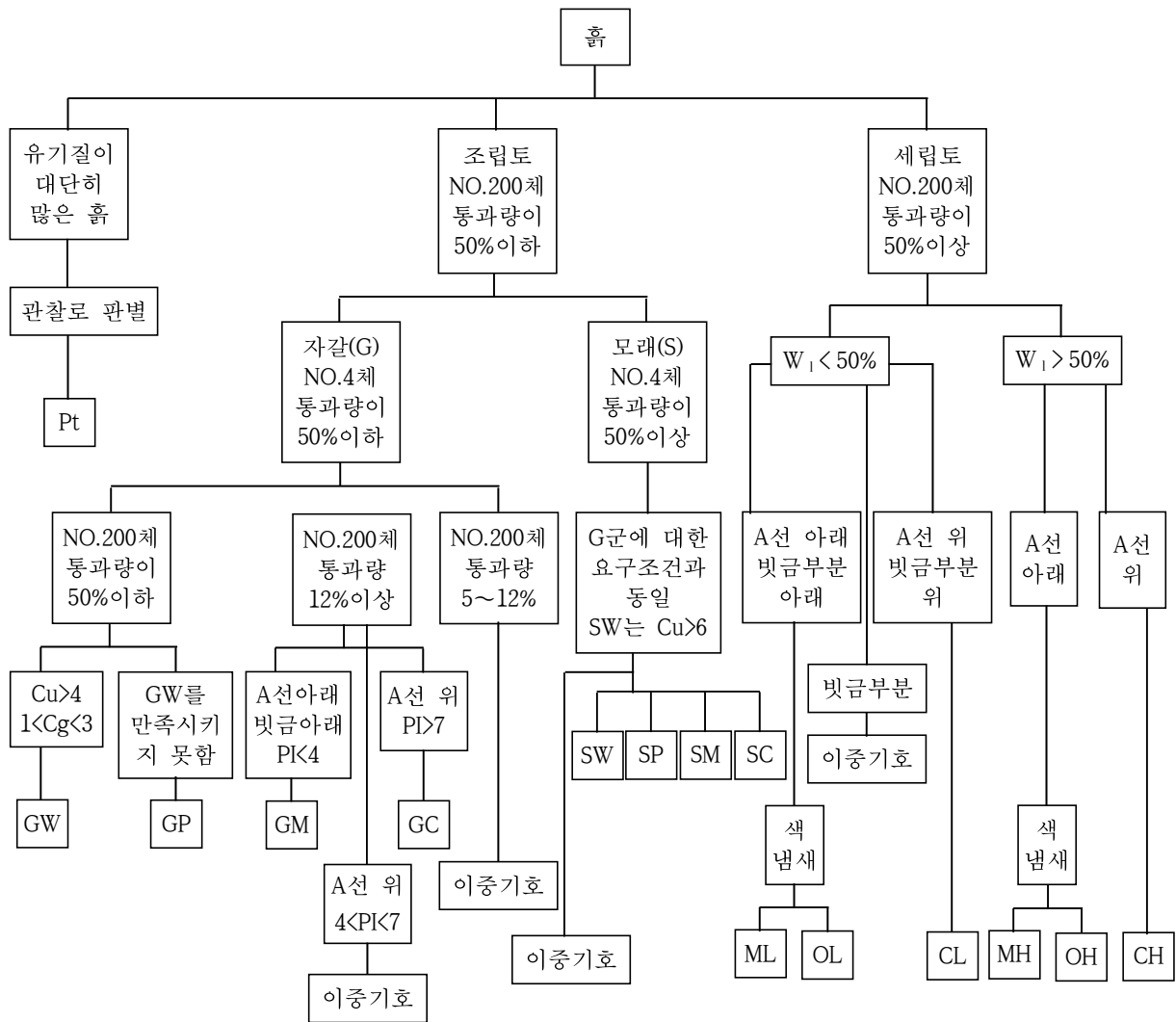
분류기호로 사용되는 영문기호와 각 기호의 의미는 참고 표 (2.2-3)에 나타나 있다.

참고 표 (2.2-3) 흙의 분류기호

앞 기호(Primary letter)	뒤 기호(Secondary letter)
G : 자갈(Gravel)	W : 입도분포 양호(Well-graded)
S : 모래(Sand)	P : 입도분포 불량(Poorly-graded)
M : 실트(Silt)	M : 소성성이 없는 세립토(Non-plastic fines)
C : 점토(Clay)	C : 소성성이 있는 세립토(Plastic fines)
O : 유기질토(Organic soil)	L : 소성성이 낮음(Low plasticity), (LL<50)
Pt : 이탄(Peat)	H : 소성성이 높음(High plasticity), (LL>50)



참고 그림 (2.2-2) 소성도표



참고 그림 (2.2-3) 통일분류법에 의한 흙의 분류

### (3) 입도와 토성

점토 및 실트의 함유량 또는 모래의 함유량이 어느 정도 이상이 되면 그 흙은 점토 또는 모래로서의 특성이 강하고 그 특성이 현저하게 나타나게 된다. 흙의 성질은 구성한 입자의 성질에 의하여 결정되며 조립부분 또는 세립부분의 함유량을 알게 되면 이에 따라 설계방향도 결정된다.

### (4) 모래의 분사 현상

점착력이 없는 사질토에서 상향 침투수압이 수중에서의 흙 무게와 같아지면 흙의 유효응력은 0이 되어서 물의 흐름 방향으로 물과 같이 유동하는 현상을 분사현상이라 한다. 이때의 동수경사가 한계동수경사이며 참고 식 (2.2-8)과 같이 나타내며 터파기, 교량의 피어, 기초 등에서 자주 일어나는 문제이다.

$$i_{cr} = \frac{Gs - 1}{1 + e}$$

참고 식 (2.2-8)

여기서,  $\Delta H$  : 흙속으로 물이 흐르는 동안 발생한 수두손실  
 $L$  : 흙속으로 물이 흐른 거리  
 $i_{cr}$  : 한계동수경사  
 $G_s$  : 흙입자의 비중  
 $e$  : 간극비

#### (5) 모래의 액상화 현상

물로 포화된 모래가 충격이나 진동에 의하여 간극수압이 순간적으로 상승하여 유효응력이 감소하여 전단강도를 잃는 것을 액상화라 한다. 이와 같은 현상은 간극비가 어느 정도 이상인 모래에서 일어나며, 액상화가 발생하는 한계간극비는 입도, 투수계수, 유효하중, 진동조건 등과 관계가 있다. 일반적으로 투수성이 작은 세사일 때 액상화 현상이 많이 일어난다.

#### (6) 점성토의 물리적 특성과 역학적 특성의 관계

입경이 작은 토립자는 비표면적이 커지게 되므로 입자 표면의 성질이 흙 전체의 성질에 큰 영향을 주게 되며, 피상적으로 소성의 크기로 나타나게 된다. 그리고 점성토의 공학적 성질인 컨시스턴시는 KS F 2303(흙의 액성한계시험), KS F 2304(흙의 소성한계시험) 등에 의하여 구한다.

스켄프톤(Skempton)은 정규압밀을 받고 있는 포화점토지반에 유효응력 증가로 인한 점착력의 증가를 참고 식 (2.2-9)과 같이 나타낼 수 있다고 했다.

$$\frac{\Delta c}{\Delta p} = 0.11 + 0.0037 \cdot I_p$$

참고 식 (2.2-9)

여기서,  $\Delta c$  : 유효응력의 증가로 인한 점착력의 증가분  
 $\Delta p$  : 유효응력의 증가분  
 $I_p$  : 소성지수

한편 한스보(Hansbo)에 의하면 유효응력 증가로 인한 점착력의 증가를 다음과 같이 나타냈다.

$$\frac{\Delta c}{\Delta p} = 0.45 \cdot LL$$

참고 식 (2.2-10)

여기서,  $LL$  : 액성한계

예민비가 중 이하인 정규압밀점토의 압축지수는 스켄프톤(Skempton)이 제안한 다음과 같은 경험식으로 구할 수 있다.

## 지반

비교란 시료  $C_c = 0.009 \cdot (LL - 10)$  참고 식 (2.2-11)

재성형 시료  $C_c = 0.007 \cdot (LL - 10)$  참고 식 (2.2-12)

여기서,  $C_c$  : 압축지수

### 2.2.3 투수계수

- (1) 완전히 물로 포화된 흙 속을 흐르는 물이 정상적인 층류일 때 투수계수는 다시 (Darcy)의 법칙 등에 기초하여 구한다.
- (2) 투수계수를 구하기 위한 시험법은 현장에서 채취한 시료를 사용하여 실내에서 실시하는 실내투수계수 시험법과 현장에서 직접 실시하는 현장투수계수 시험법을 사용한다.

#### [해설]

다르시(Darcy)의 법칙에 의한 투수계수의 산정은 해설 식 (2.2-1)을 이용하여 계산한다.

$$k = \frac{Q}{i \cdot A \cdot t} \quad \text{해설 식 (2.2-1)}$$

여기서,  $Q$  : 흙속으로 흐르는 유량(cm<sup>3</sup>)  
 $k$  : 투수계수 (cm/sec)  
 $i$  : 동수경사( $i = \frac{h}{L}$ )  
 $h$  : 수두손실(cm)  
 $L$  : 흙속으로 물이 흐른 거리(cm)  
 $A$  : 흙의 단면적(cm<sup>2</sup>)  
 $t$  : 시간(sec)

#### [참고]

(1) 해설 식 (2.2-1)의 투수계수의 개략적인 값은 참고 표 (2.2-4)와 같다.

하젠(Hazen)은 여과사에 대한 시험에서  $D_{10}$ 이 0.1~0.3mm, 균등계수가 5 이하인 경우 투수계수를 다음 참고 식 (2.2-13)과 같이 나타냈다.

$$k = C \cdot D_{10}^2 \quad \text{참고 식 (2.2-13)}$$

여기서,  $k$  : 투수계수 (cm/sec)  
 $C$  : 41~146 범위의 상수(평균 100)  
 $D_{10}$  : 입도분포곡선에서 통과중량백분율 10%에 해당하는 입경(유효경, cm)

참고 식 (2.2-13)은 여과사인 경우에 국한한 것이고, 정확한 값을 구하기 위하여서는 실험을 해야 한다.

참고 표 (2.2-4) 투수계수의 개략적인 값

흙의 종류	투수계수 $k(\text{cm/sec})$
깨끗한 자갈	1.0~100
굵은 모래	0.01~1.0
가는 모래	0.001~0.01
실트	0.00001~0.001
점토	0.000001 이하

참고 표 (2.2-5) 다르시(Darcy)의 법칙이 적용되는 범위

재료	자 갈			모 래			실 트	
	굵은	중간	가는	굵은	중간	가는	굵은	가는
$D_{10}(\text{mm})$	76.2	25.4	9.52	2.0	0.59	0.25	0.074	0.03
침투류의 상태	실제적으로 항상 난류 상태			느슨한 모래 $h/L < 0.2 \sim 0.3$ 조밀한 모래 $h/L < 0.3 \sim 0.5$			보통의 $h/L$ 에서는 항상 층류 상태	

$D_{10}$ 은 통과중량백분율이 10% 해당하는 입경.

## (2) 실내에서의 투수시험

현장에서 채취된 호트러지지 않은 시료에 대해서 투수시험을 실시한다.

세립의 퇴적토인 경우, 토립자의 배열상태에 의존하여 방향에 따라 시료의 투수성이 다르기 때문에 측정시 시료의 방향성을 명확히 하여야 한다. 시험기기는 투수계수의 대소에 따라 적합한 것을 택하여 사용해야 한다. 원상태로의 시료 채취가 곤란할 때는 교란시료로 단위중량을 변경시켜 시험하여 필요한 단위중량에 대한 값을 추정할 수 있다.

## (3) 현장투수시험

실험실 시험은 자연상태의 경우와 다르므로 필요에 따라 현장시험을 실시한다. 1개소 내지 수 개소에 관측정을 설치하고 1개소에서 주수 또는 양수하여 지하수위의 변동을 측정한다.

## 2.3 흙의 역학적 성질

### 2.3.1 탄성계수

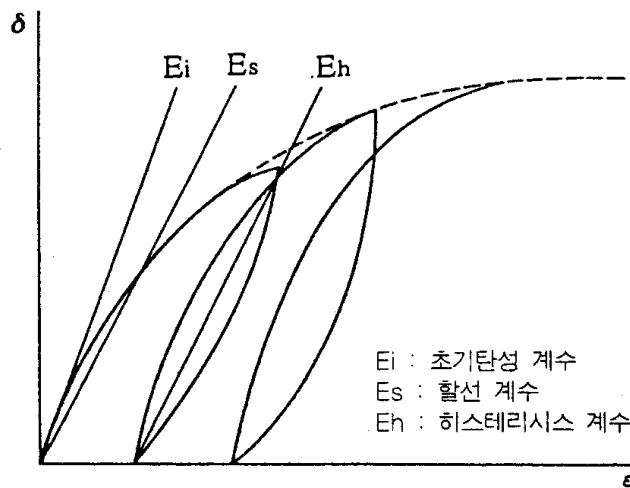
흙을 탄성체로 해석을 실시할 경우에는 흙의 비선형성을 고려해서 탄성계수를 적절히 설정하여야 한다.

#### [해설]

흙을 탄성체로 해석할 경우, 일반적으로 변형계수와 포아송비(Poisson's ratio)가 사용된다. 흙의 변형계수는 강도-변형특성에 의존하므로 지반을 탄성해석 하는 경우에는 대상지반의 변형수준을 감안하여 그에 대응되는 탄성계수를 설정할 필요가 있다.

#### [참고]

- (1) 변형계수를 실내 시험으로 구하는 경우, 보통 일축압축시험 또는 삼축압축시험으로부터 얻은 응력-변형률 곡선에서 참고 그림 (2.3-1)에서 보는 바와 같이 3종류의 값을 구할 수 있다.



참고 그림 (2.3-1) 변형계수의 종류

초기탄성계수( $E_i$ )는 재하속도가 크고, 한계변형량이 작은 포장, 또는 동적문제 해석 등에 사용되고, 히스테리시스 계수( $E_h$ )는 반복하중이 재하되는 흙 구조물의 경우에 사용된다. 또한 할선계수( $E_s$ )는 일반 흙 구조물의 탄성해석에 사용되는 경우가 있으나,  $E_s$ 를 결정하는 한계변형량을 정하는 방법이 통일되어 있지 않기 때문에  $E_s$ 를 사용할 때는 주의해야 한다.

변형계수는 다음과 같은 원위치 시험에서 구할 수 있다.

즉, ① 평판재하시험 ② CBR 시험 ③ 보링 공내 재하시험



통상 사용되는 변형계수 중에 초기탄성계수  $E_i$  및 할선계수  $E_s$  ( $E_{50}$ )의 개략값이 참고 식 (2.3-1), 참고 식 (2.3-2)와 같이 구해지므로 참고로 나타내었다.

$$E_i = 210 \cdot C_u \quad \text{참고 식 (2.3-1)}$$

$$E_{50} = 180 \cdot C_u \quad \text{참고 식 (2.3-2)}$$

여기서,  $E_i$  : 초기탄성계수(kN/m<sup>2</sup>)  
 $E_{50}$  : 할선계수(kN/m<sup>2</sup>)  
 $C_u$  : 비압밀 비배수시험에 의해서 구한 비배수 전단강도(kN/m<sup>2</sup>)

위 식에서 초기탄성계수의 관계는 소성성이 높은 해성점토와 같은 구조가 발달한 경우에 성립하는 것으로, 이 때  $E_i$ 는 변형률이 0.2~0.5% 이내의 점선경사에서 구한 것이다.

## (2) 포아송비(Poisson's ratio)

포아송비를 구하는 방법은 여러 가지가 제안되어 있으나, 현재 확립된 시험법은 없는 상태이다. 하나의 기준을 나타내면 포화토의 비배수조건에서는  $\nu = 1/2$ , 기타는  $\nu = 1/3 \sim 1/2$ 의 범위에서 적당히 선택하여 결정한다.

## 2.3.2 압밀특성

- (1) 압밀은 포화된 점토가 하중을 받아 간극수의 간극수가 빠져 나감으로서 간극비의 감소로 압축되는 현상이며, 압밀로 인한 간극비의 감소로 지반침하가 일어나고, 침하량은 압축지수( $C_c$ )에 비례하며, 진행속도는 압밀계수( $c_v$ )에 비례한다.
- (2) 흙의 압밀특성을 나타내는 정수인 압축지수( $C_c$ ), 체적압축계수( $m_v$ ), 압밀계수( $c_v$ )를 구하기 위한 압밀시험은 KS F 2316(흙의 압밀시험방법)에 규정된 방법에 따라 실시한다.

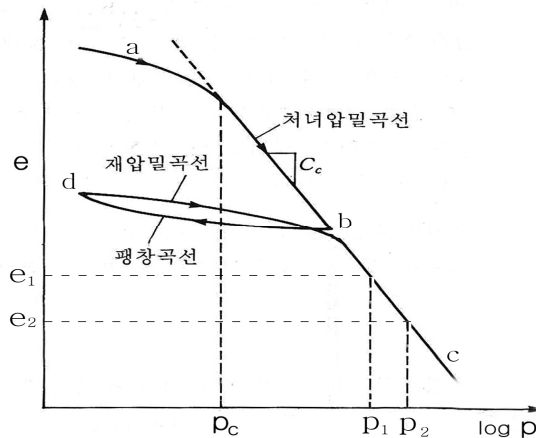
### [해설]

흙이 일차원적으로 재하되었을 때 흙입자에 의한 골격이 압축하여 침하하는 성질을 압축이라고 한다. 흙의 간극이 물로 포화되어 있을 때 흙입자의 골격이 압축됨으로서 간극수가 빠져 나가게 된다. 흙입자가 투수성이 큰 사질토에서는 배수가 신속히 진행되어 재하 직후 압축이 시작되고 곧 완료되지만, 점성토 지반에서는 투수성이 현저하게 작기 때문에 많은 시간이 필요하게 되며 압축침하는 서서히 진행된다. 이와 같이 점성토 지반의 압축침하가 오랜 시간에 걸쳐서 진행되는 현상을 압밀이라고 한다. 흙의 압밀특성은 단순히 재하에 수반하는 침하계산에 사용될 뿐만 아니라 지반개량공사에서 흙의 전단강도 증가를 추정하는 데에도 사용될 수 있다.

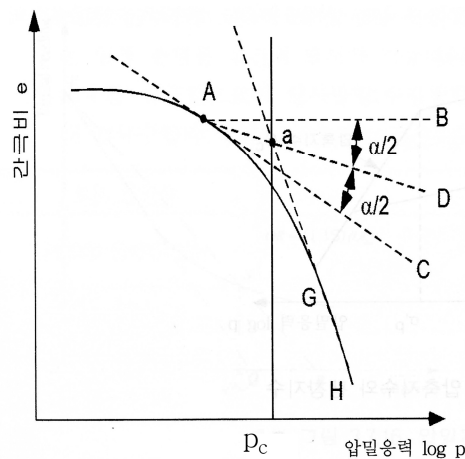
## [참 고]

## (1) 일 반

압밀시험 결과를 반대수지에 그리면 참고 그림 (2.3-2)과 같이  $e-\log p$  곡선이 얻어진다.  $e-\log p$  곡선의  $abc$  부분은 재하 과정을 나타내며 거의 직선이 된다. 이  $abc$  부분으로 표시되는 압밀상태를 정규압밀상태라고 한다. 한편  $b$ 점의 상태에서 하중을 제거하여 감소한 압력 하에서 평형상태에 도달했을 때의 간극비와 압력의 관계는  $bd$  부분과 같이 되며, 또 다시 압력을 증가하면  $bdc$  부분과 같이 된다.  $bd$  부분으로 표시되는 상태를 과압밀상태라 하고,  $b$ 점에 상응하는 압력을 선행압밀하중이라 한다. 카사그랜드(Casagrande, 1936)는 실험실에서의  $e-\log p$  관계곡선으로부터 선행압밀하중을 결정하는 작도법을 참고 그림 (2.3-3)과 같이 제안하였다.



참고 그림 (2.3-2) 압밀시험에 의한 간극비-압력 곡선



참고 그림 (2.3-3) 선행압밀하중의 결정 방법

참고 그림 (2.3-2)에서  $abc$  부분의 간극비( $e$ )와 압력( $p$ )의 관계는 참고 식 (2.3-3)으로 표시된다.

$$e_2 = e_1 - C_c \log_{10} \frac{p_2}{p_1} \quad \text{참고 식 (2.3-3)}$$

단,  $C_c$ 는  $abc$  부분의 기울기를 나타내는 무차원수이며 압축지수라고 한다. 참고 식 (2.3-3)을 사용하여 압력이  $p_1$  에서  $p_2$  로 증가할 때의 간극비 감소량( $\Delta e$ )은 참고 식 (2.3-4)과 같이 표시할 수 있다.

$$\Delta e = e_1 - e_2 = C_c \log_{10} \frac{p_2}{p_1} \quad \text{참고 식 (2.3-4)}$$

## (2) 압밀침하량

압밀침하량은 압밀하중에 의한 간극비의 감소량을 이용하여 참고 식 (2.3-5)과 같이 계산한다.

$$S = H \cdot \frac{\Delta e}{1 + e_o} \quad \text{참고 식 (2.3-5)}$$

여기서,  $S$  : 압밀침하량(m)  
 $e_o$  : 유효연직압력  $p_o$ 에서의 초기 간극비  
 $H$  : 압밀층 두께(m)

또한, 체적압축계수를 사용하여 압밀침하량을 구하려면, 압력이  $p_0$  에서  $p_0 + \Delta p$  로 증가했을 때,  $p_0 + \frac{1}{2} \Delta p$ 에서의  $m_v$  값을 구하여 참고 식 (2.3-6)로 계산한다.

$$S = H \cdot m_v \cdot \Delta p \quad \text{참고 식 (2.3-6)}$$

여기서,  $p_o$  : 원지반 상태의 유효연직압력( $\text{m}^2/\text{kN}$ )  
 $m_v$  : 압밀하중( $p_0 + \frac{1}{2} \Delta p$ )에서의 체적압축계수( $\text{m}^2/\text{kN}$ )  
 $\Delta p$  : 압력 증가량( $\text{kN}/\text{m}^2$ )  
 $H$  : 압밀층 두께(m)

$m_v$  값은 압밀압력이 증가함에 따라 감소하며, 정규압밀상태에서는  $p$ 와  $m_v$ 의 관계는 양대수지에서 직선이 된다.

한편, 압밀시험에 의한 간극비와 하중과의 관계에서 침하량  $S$ 를 구하는 것은 압력  $p_o$  일 때, 간극비가  $e_o$ 인 흙에  $\Delta p$ 의 압력을 가했을 때, 두께  $H$ 인 점토층의 압밀침하량  $S$ 는 참고 식 (2.3-7)과 같다.

$$S = \frac{H}{1 + e_o} \cdot C_c \cdot \log_{10} \frac{p_o + \Delta p}{p_o} \quad \text{참고 식 (2.3-7)}$$

위 이론은 테르자기(Terzaghi)의 1차원 압밀이론에 의한 것으로 포화된 점토에 대한 것이지만 불포화 점토일지라도 참고 그림 (2.3-2)의  $e-\log p$  곡선을 시험에 의해 구하여 참고 식 (2.3-7)에서 침하량을 추정할 수 있다.

### (3) 침하 속도

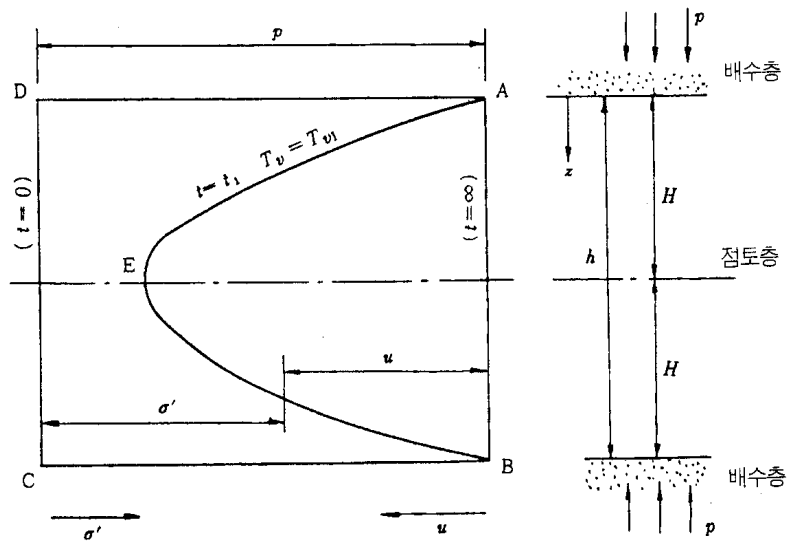
포화된 점토지반의 비배수 조건하에서 압력( $p$ )를 가하면  $p$ 와 같은 크기만큼 간극수압이 증가한다. 배수를 허용한다면 압밀이 시작되며 간극수압은 시간과 더불어 감소하고 동시에 흙입자 사이의 응력(유효응력)은 증가하지만, 간극수압( $u$ )은 감소하여 흙입자 사이의 증가한 유효응력( $\sigma'$ )과 간극수압의 합은 참고 식 (2.3-8)과 같이 항상 재하 압력( $p$ )과 같게 된다.

$$p = \sigma' + u \quad \text{참고 식 (2.3-8)}$$

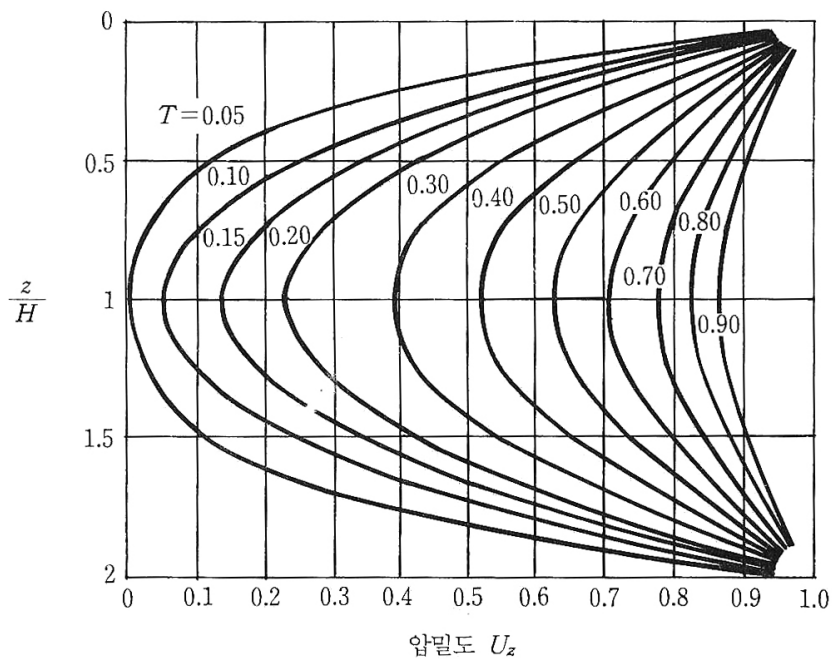
두께  $H$  인 점토층의 상하면에 투수성이 큰 모래층이 있는 경우를 생각하면, 압밀압력( $p$ )를 가하였을 때  $\sigma'$  또는  $u$  의 시간 경과에 따른 깊이별 변화 양상은 참고 그림 (2.3-4) (a), (b)와 같다. 즉, 압밀이 시작되는 시점에서  $u = p$ ,  $\sigma' = 0$ 이므로 참고 그림 (2.3-4) (a)의 DC선과 같은 상태가 되고 압밀이 완료되는 시점에서  $u = 0$ ,  $\sigma' = p$  가 되므로 AB선과 같은 상태가 된다. 압밀이 시작되어  $t_1$  시간 경과후의 상태는 곡선 AEB와 같다. 이와 같이 배수층에서 먼 곳에서는 압밀 진행이 상대적으로 늦어짐을 알 수 있다. 임의의 깊이에서 유효응력과 압밀압력의 비  $\sigma'/p$  를 그 깊이에서의 압밀도( $U_z$ )라고 한다. 임의의 시간이 경과했을 때 전체 깊이에 대한 압밀도의 평균값을 평균압밀도( $U$ )라고 한다. 참고 그림 (2.3-4)에서 임의의 시간( $t$ )이 경과된 후의 평균압밀도는 면적 AEBCD에 대한 전체면적 ABCD의 비율에 해당하는 값이다.  $t = 0$ 일 때 면적 AEBCD에 해당하는 것은 0 이므로  $U = 0$  이고,  $t = \infty$ 일 때  $U = 1$  이 된다. 공학적인 관점에서 압밀의 진행정도는 평균압밀도( $U$ )의 값을 많이 사용하고 있다. 압밀시간을 나타내는 값으로 무차원의 시간계수( $T_v$ )를 사용한다. 시간계수와 설계시간 사이의 관계는 참고 식 (2.3-9)로 나타낼 수 있다.

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \quad \text{참고 식 (2.3-9)}$$

여기서, $T_v$	: 시간계수
$C_v$	: 압밀계수(cm <sup>2</sup> /min, 혹은 cm <sup>2</sup> /sec)
$t$	: 압밀시간( $C_v$ 와 같은 시간단위)
$H$	: 압밀층의 최대배수거리( $C_v$ 와 같은 길이의 단위)



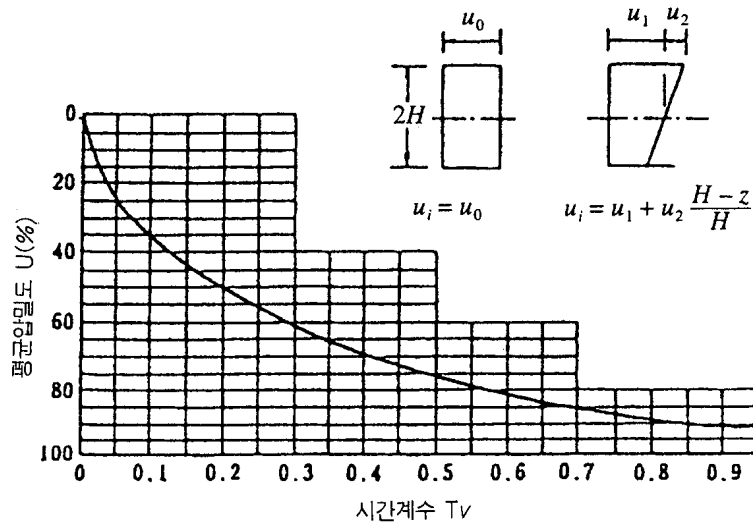
(a) 간극수압의 깊이별 분포도



(b) 압밀등시선

참고 그림 (2.3-4) 압밀도-시간계수-깊이 사이의 관계도

참고 그림 (2.3-4)에서와 같이 상하 양면 모두 배수층일 때에는  $H = \frac{1}{2} h$ 이고 배수층이 한쪽에만 있을 때는  $H = h$ 이다. 초기 과잉간극수압이 토층 내에서 일정하게 분포되어 있지 않을 때 실제로 연약지반에서 완속공법(緩速工法)으로 성토하는 경우, 간극수압-시간계수-깊이의 관계는 참고 그림 (2.3-4)과 같이 간단하게 나타낼 수 없다. 초기 과잉간극수압의 분포를 참고 그림 (2.3-4)과 같이 가정하면 시간계수와 평균압밀도 사이의 관계는 참고 그림 (2.3-5)의 곡선과 같게 된다.

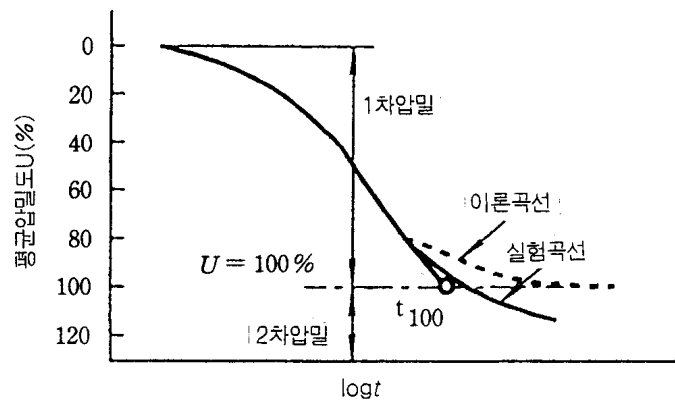


참고 그림 (2.3-5) 평균압밀도와 시간계수 관계도(일차원의 경우)

#### (4) 1차압밀과 2차 압밀

압밀시험에서 측정된 압축량과 시간과의 관계를 반대수지에 그리면 참고 그림 (2.3-6)과 같이 되며 압밀이 완료된 후, 즉 간극수압이 0이 된 후에도 약간의 압축이 일어난다. 간극수압이 0이 될 때까지의 압축을 1차 압밀이라 하고, 과잉간극수압이 완전히 소산된 후 흙 구조의 소성적 재배열로 인하여 발생하는 압축을 2차 압밀이라고 한다. 참고 그림 (2.3-6)은 테르자기(Terzaghi)의 압밀이론에 의한 시간-평균압밀도 관계와 실험에 의한 결과를 비교한 것이다.

2차 압밀은 토립자 조직(Soil skeleton)의 크리프(Creep) 현상 중의 하나로 생각되며, 압축진행상태는 참고 그림 (2.3-6)에서와 같이 반대수지 상에서 직선적이다. 즉 2차 압밀속도는 시간에 반비례해서 감소한다. 보통의 흙에서 2차 압밀량은 전체 압밀침하량에 비해서 작으며 1차 압밀이 완료될 때까지의 시간도 상당히 길기 때문에 특수한 흙을 제외하고는 2차 압밀에 의한 침하는 무시하는 경우가 많으나, 유기질 흙과 높은 압축성의 무기질 흙에서는 2차 압밀침하가 중요하다.



참고 그림 (2.3-6) 1차 압밀과 2차 압밀

## (5) 초연약 점토의 압밀침하

준설에 의한 매립에서 초연약한 지반의 압밀침하가 문제되는 경우가 있다. 이러한 문제에 적용되는 압밀이론에는 三層의 압밀이론이 있으며, 통상의 점토 압밀침하에는 무시되는 자중과 층 두께 변화의 영향을 고려한다. 이 경우의 침하량과 침하속도는 차분법 등의 해석적인 방법을 통해 구할 수 있다. 처음의 층 두께에 비해 침하에 의한 감소량이 큰 경우에는 통상의 압밀침하 계산법에서는 오차가 크게 발생한다. 예로서 층 두께의 감소량이 10~50%의 경우 통상의 계산법과 층 두께 변화의 영향을 고려한 계산의 오차는 3~30%이다. 자중의 영향은 준설 매립 후 방치된 경우에 최대이며, 재하하중의 증대에 따른 영향은 상대적으로 감소한다. 연약층의 평균 중량의 두 배 정도 이상의 재하하중에 대하여는 자중의 영향은 무시한다. 초연약 점토의 압밀정수를 추정하는데 있어서 일정변형률 압밀시험이 제안되고 있다.

## 2.3.3 전단특성

- (1) 흙의 전단강도는 사질토와 점성토로 나누어서 취급한다.
- (2) 사질토의 전단강도는 배수조건에서 구하고, 점성토의 전단강도는 비배수조건에서 구하는 것을 표준으로 한다.
- (3) 사질토와 점성토의 중간정도의 투수성을 가지는 지반에서는 투수계수나 시공조건으로부터 사질토 또는 점성토로만 보지 않고 적절한 시험방법으로 전단강도를 결정하여야 한다.

## [해설]

일반적으로 사질토의 투수계수는 점성토의 103~105배이다. 사질토 지반에서는 시공 중에 간극수가 완전히 배수된다고 할 수 있다. 그러나 점성토 지반에서는 투수성이 낮아 시공 중 배수가 거의 일어나지 않는다. 따라서 사질토 지반의 전단강도는 배수조건에서의 전단저항각  $\phi_d$  와 점착력  $C_d$  에 의해서 평가하지만, 일반적으로 점착력은 적으므로  $C_d = 0$  으로 보고  $\phi_d$  만 강도정수로 하여 전단강도를 평가하는 경우가 많다. 포화된 점성토 지반에서는 배수가 발생하지 않으므로 전단강도는 시공전후에 거의 변화하지 않는다. 따라서 시공 전의 비배수 전단강도를 강도정수로 사용한다.

## [참고]

$$\text{사질토} \quad \tau_f = (\sigma - u) \tan \phi' \quad \text{참고 식 (2.3-10)}$$

$$\text{점성토} \quad \tau_f = c_u \quad \text{참고 식 (2.3-11)}$$

여기서,  $\tau_f$  : 전단강도 ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma$  : 전단면상의 수직응력 ( $\text{kN/m}^2$ )

$u$  : 간극수압 ( $\text{kN/m}^2$ )

$\phi'$  : 유효응력으로 표시한 전단저항각 ( $^\circ$ )

$c_u$  : 비배수 점착력 ( $\text{kN/m}^2$ )

## 지반

흙의 전단강도( $\tau_f$ )는 일반적으로 참고 식 (2.3-12)로 표시된다.

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi' \quad \text{참고 식 (2.3-12)}$$

여기서,  $c$  : 점착력 ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma'$  : 전단면상의 유효수직응력 ( $\text{kN/m}^2$ )

흙에 외력이 가해지면 토립자 골격 내에 응력 (유효응력)과 간극수압의 변화가 생긴다. 흙에 가해진 외력을  $\sigma$ , 유효응력을  $\sigma'$ , 간극수압을  $u$  라고 하면 참고 식 (2.3-13) 또는 참고 식 (2.3-14)과 같은 관계가 있다.

$$\sigma = \sigma' + u \quad \text{참고 식 (2.3-13)}$$

$$\sigma' = \sigma - u \quad \text{참고 식 (2.3-14)}$$

보통 흙의 전단강도는 유효응력의 크기에 따라 증가하므로 참고 식 (2.3-12)의 쿨롱(Coulomb)의 파괴규준은 참고 식 (2.3-15)과 같이 된다.

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \phi' = c' + \sigma' \tan \phi' \quad \text{참고 식 (2.3-15)}$$

여기서,  $c'$  : 유효응력으로 표시한 점착력 ( $\text{kN/m}^2$ )

$\phi'$  : 유효응력으로 표시한 전단저항각( $^\circ$ )

일반적으로 모래, 무기질 실트 및 정규압밀점토에서는  $c' \approx 0$ , 과압밀점토에서는  $c' > 0$  이 된다.

모래의 전단저항각  $\phi'$ 는 점토의  $\phi'$ 보다 크다. 강도정수는 전단시험할 때의 여러 가지 조건에 따라 달라지지만 가장 큰 영향을 미치는 것은 흙의 배수조건이다. 배수조건에 따른 시험은 다음과 같이 3종류로 분류된다.

### (1) 배수조건에 따른 전단시험

#### ① 비압밀비배수 시험(UU test 혹은 quick test)

흙 시료에서 물이 빠져 나가지 못하도록 하고 공시체에 구속압력(Confining pressure)을 가한 다음 비배수(非排水) 상태로 시료를 전단시키는 시험이다.

#### ② 압밀비배수 시험(CU Test)

시료에 구속압력을 가하고 간극수압이 영이 될 때까지 압밀시킨 다음, 비배수 상태로 전단시키는 시험이며, 전단 때에는 간극수압의 변화를 측정할 수 있다. 실험결과 해석 시 전응력 향으로 전단강도정수를 결정하면 CU시험이라 하고 유효응력의 향으로 강도정수를 결정하면  $\overline{\text{CU}}$  시험이라 한다.



## ③ 압밀배수 시험(CD Test)

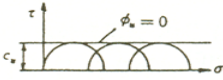

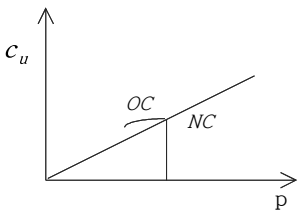
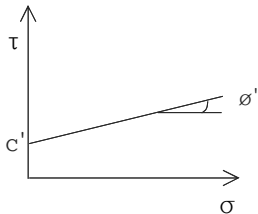

공시체내의 물 혹은 공기가 자유로이 유출할 수 있는 상태에서 흙 시료를 압밀시킨 다음, 전단 때에는 간극수압이 전혀 발생하지 않도록 천천히 하중을 증가시켜서 시료를 파괴 시키는 시험이다.

삼축압축시험 결과는 일반적으로 모어(Mohr)의 응력도를 이용하여 강도정수를 정하는데, 어떤 배수조건으로 시험방법을 선택하느냐 하는 것은 전단강도를 요구하는 목적에 달려 있다. 전단 때의 배수조건은 실제로 흙이 응력을 받는 조건과 일치시켜야 한다. 비압밀비배수시험의 결과는 응력이 변화하더라도 즉각적인 함수비의 변화가 없고, 따라서 체적의 변화가 없는 경우에 이용된다. 점토지반에 제방을 쌓거나 기초를 설치할 때 시공기간 중에는 압밀이 거의 발생하지 않으므로 함수비의 변화를 무시할 수 있다. 이러한 경우에 초기 안정해석이나 지지력 계산 시에는 UU시험 결과를 이용하여야 한다.

압밀비배수시험으로 얻은 강도정수는 지반이 완전히 하중을 받기 전에 압밀로 인하여 함수비의 변화가 상당히 크다고 예상되는 경우에 사용된다. 이 시험에서는 일반적으로 간극수압을 측정하여  $c'$ ,  $\phi'$ 의 값을 구한다. CU시험에 의한 강도정수는 수위급강하 때의 흙댐의 안정문제 등에 적용할 수 있다.

압밀배수시험은 전단에 소요되는 시간이 너무 길고, 그 결과는  $\overline{CU}$  시험의 결과와 거의 같으므로 간극수압의 측정이 어려울 때 또는 중요한 공사에 대한 시험 이외에는 거의 사용되지 않는다.

강도정수와 전단시험조건과의 관계는 참고 그림 (2.3-7)에 표시되어 있다.

시험조건	전응력	유효응력	비고
비압밀 비배수 시험			유효응력으로 표시되는 파괴원은 하나로 구해진다.
압 밀 비배수 시험			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전응력의 <math>c_u</math>, <math>\phi_u</math>는 동일</li> <li>• 압밀응력하에서 비압밀비배수 시험 결과와 동일</li> <li>• 정규압밀점토의 <math>c_u</math>는 압밀 응력과 비례관계, 압밀비배수시험에 의한 <math>c_u</math> 값을 과대평가되는 경향</li> <li>• 유효응력 평면의 크기가 다른 Mohr원을 각각 다른 압밀응력하에서 얻어짐</li> </ul>
배 수 시험			측정응력은 유효응력

주 : 흙은 모두 포화상태, 불포화 상태의 경우는 대체로 배수시험 결과 도출

참고 그림 (2.3-7) 시험조건에 따른 결보기 전단강도정수

## (2) 모래의 전단강도

모래의 전단강도는 참고 식 (2.3-16)와 같이 계산한다.

$$\tau_f = (\sigma - u) \tan \phi' = (\sigma - u) \tan \phi_d \quad \text{참고 식 (2.3-16)}$$

여기서,  $\tau_f$  : 전단강도(kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 전단면상의 수직응력(kN/m<sup>2</sup>)

$u$  : 간극수압(kN/m<sup>2</sup>)

$\phi'$  : 유효응력에 대한 전단저항각 (°)

$\phi_d$  : 배수 조건에서의 전단저항각 (°)

느슨한 상태의 모래에서는  $\phi' = \phi_d$  이지만 조밀한 상태의 모래에서는 일반적으로  $\phi_d > \phi'$  가 된다.  $\phi_d$ 를 산정하는 일반적인 시험은 압밀비배수 시험이다.  $\phi_d > \phi'$  가 되는 이유는 전단 시 다이러턴시(Dilatancy) 현상으로 겉보기 전단저항이 크게 나타나기 때문이다.

모래의 전단시험에서  $\phi_d$ 를 측정할 때는 시험전의 초기간극비를 파악하여야 한다. 초기 간극비가 작을수록  $\phi_d$ 는 크고, 모래의 전단저항각  $\phi_d$ 는 삼축압축시험보다 직접전단시험에 의한 결과가 크게 나타나는 경향이 있다.

한편 표준관입시험에서 얻어진  $N$ 값과  $\phi_d$  사이에는 상관관계가 있으므로, 전단시험이 불가능한 경우에는 표준관입시험 결과에서 추정할 수도 있다. 모래의 전단저항각은 간극비의 크기에 따라 변화하므로 전단시험결과를 실제 문제에 적용시키기 위해서는 원지반 모래의 간극비를 알 필요가 있다. 그러나 현재 흐트러지지 않은 원지반 상태에서 모래의 간극비를 측정하는 방법이 확립되어 있지 않기 때문에 전단시험결과의 적용은 곤란한 실정이다. 또 모래의 전단저항각은 다이러턴시의 정도에 따라 달라질 뿐만 아니라, 실제 구조물이 파괴할 때 전단 파괴면에서 발생하는 다이러턴시 현상을 추정하는 것은 현재로서는 불가능하다.

이러한 이유 때문에 모래의 전단시험결과를 직접 실제 문제에 적용하는 것은 현 단계로서는 곤란한 실정이다. 상대밀도가 작은 느슨한 모래지반의 경우 일반적으로 설계에 적용되는 전단저항각은 전단시험에서 구한 값보다 5~10° 정도 적은 것이 보통이다. 그러나 설계가 여러 가지 가정을 조합하고 기왕의 경험을 감안하여 이루어진다는 것을 감안하면, 앞에서 제시한 모래의 전단특성이 완전히 해명되었다 하더라도 그의 적용에 있어서는 다른 많은 요소와의 관련을 고려하여 가장 적합한 값으로 결정해야 한다.

## (3) 점토의 전단강도

입도분석에서 점토와 실트의 함유량이 50% 이상일 때 보통 점토라고 한다. 그러나 흙의 역학적 성질이 점토의 성질을 보유하고 있을 때, 점토분의 함유량에 관계없이 편의상 점토라고 호칭한다.

점토의 전단강도는 참고 식 (2.3-17)과 같다.

$$\tau_f = c_u = q_u/2$$

참고 식 (2.3-17)

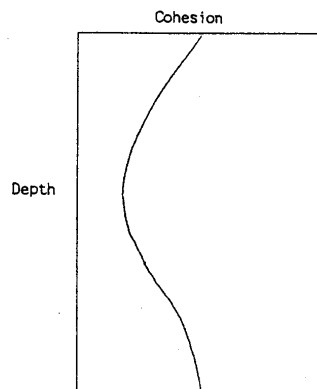
비압밀비배수 시험에 의하여 구한 겉보기 점착력( $c_u$ )은 점토에 대하여 많이 사용하며, 비배수강도라 한다. 변형특성에도 나타난다. 충분히 교란시킨 후 재성형한 공시체나 연약한 점토의 경우 일축압축시험에서 파괴가 일어나지 않고 축변형과 함께 강도도 서서히 증가하는 경우가 많다. 이경우의 일축압축강도라 함은 축방향의 압축변형율이 15%에 도달할 때까지의 최대압축응력을 말한다.

점토의 비배수강도( $c_u$ )는 압밀도에 따라 커진다. 그리고 압밀하중의 크기가 클수록 압밀완료 후 비배수강도의 값도 커진다. 따라서 점토지반에 있어서는 심도가 깊을수록 토피하중 즉, 압밀하중이 커지기 때문에 비배수강도는 깊이에 따라 커지는 것이 보통이다. 경험에 의하면  $c_u$  값은 지표부근에서 수분 증발효과로 큰 값을 보이다가 지하로 내려가면서 이 효과의 감소로 얼마간 감소한 다음 일정 깊이에서부터 직선적으로 증가하며 참고 그림 (2.3-8)와 같다. 실제설계에 사용할 때는 참고 식 (2.3-18)과 같다.

$$c_u = c_o + k \cdot z$$

참고 식 (2.3-18)

여기서,  $c_u$  : 지표면에서 깊이  $z$ 에서의 비배수강도( $\text{kN/m}^2$ )  
 $c_o$  : 지표에서의  $c_u$ 의 값( $\text{kN/m}^2$ )  
 $k$  : 깊이에 대한  $c_u$ 의 증가율  
 $z$  : 지표부터의 깊이(m)



참고 그림 (2.3-8) 심도와 점착력과의 관계

지하수 아래 흙의 단위중량을  $\gamma'$  ( $\text{kN/m}^3$ )라 하면 참고 식 (2.3-18)의  $k$ 는  $\gamma' \cdot (c_u/\bar{p})$ 가 된다.

스캤프톤(Skempton)은 정규압밀점토의 비배수강도와 유효응력( $\bar{p}$ )의 비가 소성지수 ( $I_p = LL - PL$ )의 일차함수로 참고 식 (2.3-19)와 같이 나타낼 수 있다고 하였다.

## 지반

$$c_u/\bar{p} = 0.11 + 0.0037 \cdot I_p \quad \text{참고 식 (2.3-19)}$$

여기서,  $c_u$  : 비배수강도(kN/m<sup>2</sup>)  
 $\bar{p}$  : 압밀(유효)응력(kN/m<sup>2</sup>)  
 $I_p$  : 소성지수

한편 모어(Mohr)의 응력원의 기하학적 성질에 의하여 지반 내에서 연직유효하중  $\bar{p}$ 를 받는 정규압밀점토의  $c_u$ 는 참고 식 (2.3-20)으로 표시할 수 있다.

$$c_u = \frac{\bar{p}}{p} \frac{[K_H + (1 - K_H) A] \sin \phi'}{1 + (2A - 1) \sin \phi'} \quad \text{참고 식 (2.3-20)}$$

여기서,  $\phi'$  : 유효응력에 관한 전단저항각(°)  
 $K_H$  : 수평응력에 대한 연직응력의 비(정지토압계수)  
 $A$  : 스캠프톤(Skempton)의 간극수압계수

압밀로 인한 비배수강도의 증가율( $c_u/\bar{p}$ )은 연약지반 개량공사에 있어서 중요한 요소가 된다. 그 이유는  $c_u/\bar{p}$ 의 값이 큰 흙일수록 강도의 증가가 커져서 지반개량공사에 유리하기 때문이다. 지중의 어떤 위치에 있는 점토를 생각할 때, 그 위치에서 연직하중의 증가분을  $\Delta p$  (kN/m<sup>2</sup>)로 하고, 그 흙의  $c_u/\bar{p}$ 의 값을  $\beta$ 라 하면, 압밀종료시의 비배수강도의 증가분( $\Delta c$ )은  $\Delta p \cdot \beta$ 가 된다. 압밀 중 일 때, 임의의 깊이와 시점에서의 압밀도를  $U_z$ 라고 했을 때  $c_u$ 의 증가분은  $\Delta p \cdot \beta \cdot U_z$ 가 된다.

예를 들어  $\phi' = 30^\circ$ ,  $A = 0.8$ ,  $K_H = 1 - \sin \phi'$ 이면, 참고 식 (2.3-20)에서  $c_u/\bar{p} = 0.35$ 이 된다. 이 값은 압밀이 100% 진행되었을 때이고, 실제 공사에서는 압밀도 80%로 설계하는 것이 보통이므로  $c_u/\bar{p} = 0.35 \times 0.8 = 0.28$ 이 된다.

점토지반 위에 매립하여 공장부지를 조성하는 경우, 특히 점토층의 두께에 비해 재하면적이 클 때, 지중의 연직응력 증가분은 깊이에 관계없이 재하하중과 같은 일정한 값으로 볼 수 있으므로, 참고 식 (2.3-20)의  $c_u/\bar{p}$  값을 사용하여 설계할 수 있다. 일반적으로 재하면적이 무한히 클 수는 없으므로 지중의 응력은 깊이가 증가함에 따라 감소하는 것이 보통이다. 이와 같은 지중응력의 분포를 고려하여  $c_u/\bar{p}$ 의 설계값은 평균압밀도 80%로 가정할 때, 0.25 정도로 보는 경우가 많다. 샌드 드레인(Sand drain) 공법에서 압밀도는 깊이에 관계없이 시간의 함수로 생각할 수 있으나, 자연압밀인 경우 시간과 그 위치(토층의 임의의 깊이)의 함수임을 주의해야 한다.

실험실에서  $c_u/\bar{p}$ 의 값을 구하기 위하여 압밀비배수 시험을 하는데, 보통 셀(cell) 내의 수압을 이용하여 압밀시키기 때문에  $K = 1.0$ 이고, 압밀압력과 최대 주응력차의 절반 값을 그대로 사용하면  $c_u/\bar{p}$ 가 과다하게 클 수가 있다. 따라서 삼축압축시험시  $p_H = K_o \cdot p_V$ 로 압밀시킨 후, 비배수전단강도 시험을 실시하여  $c_u/\bar{p}$ 의 값을 구한다 (보통 정규 압밀 상태에서  $K_o = 0.5$ 이다).

- (4) 입도분석 결과에서 모래의 함유량이 50~80%인 흙은 모래와 점토의 중간적 성질을 갖는 것으로 간주할 때가 있다. 이러한 모래와 점토의 중간 정도인 흙의 전단강도는 일반적으로  $c = 0$ 로 보고 참고 식 (2.3-21)과 같이 나타낸다.

$$\tau_f = (\sigma - u) \tan \phi'$$

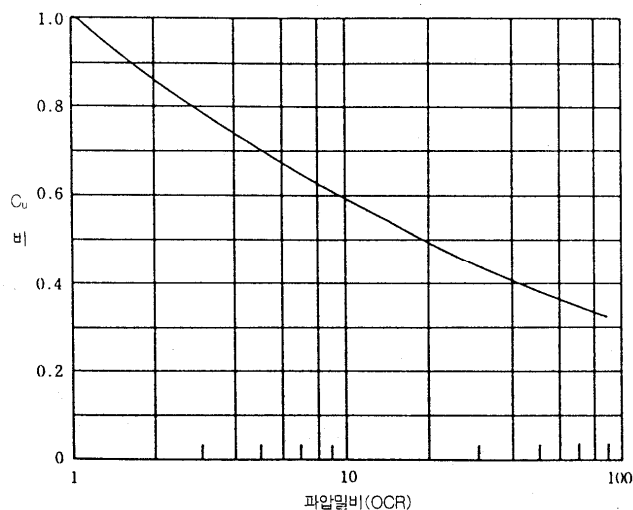
참고 식 (2.3-21)

모래의 경우에는 투수성이 크기 때문에 외부하중으로 발생하는 간극수압의 증가분은 단시간 내에 소멸하므로 참고 식 (2.3-21)의  $(\sigma - u)$ 는 수중중량을 생각한 토피압으로 생각할 수 있다.

한편, 점토인 경우 투수성이 매우 작기 때문에 외부하중으로 인한 간극수압의 증가분은 시공기간 중에 소산되지 않고 일정한 값으로 있다고 간주한다. 따라서 시공기간 중에는 압밀로 인한 전단강도의 증가는 없다고 보아도 좋으므로, 재하 전 점토의 비배수전단강도를 설계에 사용할 수 있다.

앞에서 설명한 모래 또는 점토의 경우는, 흙의 유효응력의 시간적 변화에 대한 극단적인 예이다. 소위 모래와 점토의 중간 성질을 가진 흙은 시공기간 중에 유효응력의 변화가 상당히 발생하므로 전단강도도 이에 따라 증가한다. 이와 같은 경우에도 재하 직후에는 간극수압의 소산이 없다고 가정하여  $c_u$  또는  $q_u/2$ 를 전단강도로 생각하는 것이 안전측이 된다.

압밀 후에 하중의 일부 또는 전부를 제거하면, 시간의 경과와 함께 점성토는 흡수, 팽창하고  $c_u$  값은 감소한다. 점토지반에서 준설할 경우 또는 선행하중재하공법 적용 시 하중을 제거하는 경우에는 이러한 점을 고려할 필요가 있다. 점성토의 팽창에 의한  $c_u$ 의 감소비율은 과압밀비(OCR)에 의존하며, 과압밀비는 하중제거 이전의 압력과 하중제거 이후의 압력의 비이다. 참고 그림 (2.3-9)은 과압밀비와  $c_u$ 비 사이의 관계를 나타낸 것이다.



참고 그림 (2.3-9) 점성토의 팽창에 의한  $c_u$ 의 감소비와 과압밀비와의 관계

## 2.4 사운딩(Sounding)

### 2.4.1 표준관입시험

표준관입시험은 KS F 2318의 규정에 따라 실시하며  $N$ 값을 결정할 때에는 다음의 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 시험 방법의 자세한 기술(리프팅 방법, 시추공 직경, 해머의 종류, 케이싱과 로드의 지름, 타격에너지 등)
- (2) 지하수 상태
- (3) 상재하중의 영향
- (4) 자갈이나 조립질 자갈이 나타나는 지역의 지반 상태

#### [해설]

표준관입시험(SPT, Standard Penetration Test)은 63.5kg의 해머를 76cm 높이에서 자유 낙하시켜 원통분리형 시료채취기(Split spoon sampler)를 30cm 관입시키는데 필요한 해머의 타격횟수( $N$  값)를 측정하는 시험으로서, 그 결과를 이용하여 지반을 분류하거나 연경도를 평가하고, 지반강도, 상대밀도, 내부마찰각 등의 지반정수를 추정하며, 교란된 시료의 채취가 가능한 원위치 시험방법이다.

국내에서는 모든 종류의 흙, 심지어 암석(암반) 일부에까지 관행적으로 표준관입시험을 적용하고 있으나, 이 시험은 사질토에 한정하여 적용하여야 한다. 그러므로 점성토, 자갈 질 흙, 암석층(암반)에서의  $N$ 값을 설계에 적용하는 것은 신뢰성이 매우 낮기 때문에 추정 값으로만 사용하여야 하며, 설계에 직접 반영하는 것은 주의하여야 한다.

$N$  값은 시험장비의 종류와 주변 환경과 밀접한 연관을 가지고 있다. KS에서는 시험장비의 각 부분에 대하여 구체적으로 규정하고 있지 않으므로, 실제 현장에서는 여러 가지 종류의 시험장치가 사용되며, 해머의 형태, 해머의 인양 및 낙하방식, 타격방법, 동력원 등이 상이 하여 시험결과의 일관성이 보장되지 않는다. 따라서 표준관입시험의 정상화를 위해서는  $N$  값의 합리적인 보정 노력과 시험장비를 포함한 시험환경의 개선이 동반되어야 한다.

우리나라에서는 사운딩(Sounding) 시험 중에서 표준관입시험이 가장 많이 사용된다. 표준 관입시험은 KS F 2318 스프릿 배럴 샘플러에 의한 현장관입시험 및 시료채취방법에 따라 실시하며 그 결과로  $N$ 값이 측정된다.

표준관입시험은 암반, 옥석 또는 굵은 자갈 등을 많이 포함하는 흙 이외의 비교적 광범위한 토질에 대하여 적용되지만, 연약한 점토나 입경이 10mm 이상의 자갈에 대하여는 정도가 나쁘다.

보통 층적점성토의 경우는 불교란 시료의 채취와 베인(Vane) 전단시험 등의 원위치시험에 의한 적절한 시험방법이 있으므로 표준관입시험의  $N$ 값으로 지반의 특성을 평가하지 않는 것이 좋다.

## [참 고]

### (1) $N$ 값에 영향을 주는 요소

$N$  값에 영향을 주는 요소는 해머의 에너지 효율을 비롯한 여러 가지가 있으며, 에너지 효율도 해머 종류, 해머의 인양 및 낙하방식, 로프 및 강선 등 부속도구의 상태 등 시험장비에 의한 요인과 시험자의 숙련도, 시험에 임하는 자세, 시험환경 등 인위적인 요인으로 구분할 수 있다.

인위적인 요인을 제외한 정상적인 조건에서 표준관입시험을 수행할 경우  $N$  값에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 해머의 타격 에너지비(比)라고 할 수 있으며 이외에도 시추공 바닥면 상태, 샘플러의 위치, 시추공 내 지하수위, 슈의 상태, 룯드의 무게, 라이너 및 볼 밸브 유무, 관입지반의 배수조건, 상재압력 등의 영향을 받는다. 국제토질공학회가 정한 기준으로는 자유낙하 에너지의 60%가 선단에 전달될 때의  $N$  값을 국제 표준값으로 하고 있다.

표준관입시험에서 에너지 효율에 관한 연구는 Schmertmann(1978), Kovacs와 Salomone(1982), Seed 등(1985), Riggs(1986), Skempton(1986), Bowles(1988), Clayton(1990), Robertson와 Woeller(1991) 등 많은 연구자들에 의하여 수행되었으며, 국내외의 관련연구 및 그 결과를 참고 표 (2.4-1) ~ 참고 표 (2.4-3)에 정리하였다. 최근 국내에서도 기존의 연구 성과들에도 불구하고, 현장에서 장비별 측정값의 편차가 매우 크기 때문에 장비 종류별로 일률적인 에너지 효율을 적용하는 것은 합리적이지 못하며, 수동식 장비의 경우 조사 시 마다 에너지 효율을 측정하여 확인하는 것이 필요하고, 궁극적으로는 장비의 자동화 및 시험환경의 개선이 선행되어야 할 것으로 지적되고 있다.

## 지반

참고 표 (2.4-1) 미국에서 룯드의 평균에너지 비(2종류 해머, 앤빌, 로프 2회 감음)

도넛해머		안전해머		비 고	참 고 문 헌
$ER_r$ (%)	시험회수	$ER_r$ (%)	시험회수		
53	4	72	9	실내시험	Kovacs와 Salomone(1982)
48	8	52	9	현장시험	Kovacs와 Salomone(1982)
-	-	55	24	-	Schmertmann과 Palacios(1979)
-	-	52	5	-	Schmertmann과 Palacios(1979)
48	23	-	-	$N=15\sim45$	Robertson 등(1983)
43	8	62	8	-	Robertson 등(1983)
45	-	55	-	현장시험	-

참고 표 (2.4-2) 해머 종류에 따른 룯드 에너지 비의 변화(외국 자료)

국 가	해머 종류	낙하 방식	룰드의 평균 에너지 비 $ER_r$ (%)	참 고 문 헌
아르헨티나	도넛	로프-폴리(R-P)	45	Seed 등(1985)
브라질	핀형	손으로 낙하	72	Decourt(1989)
중국	자동	트립	60	Seed 등(1985)
	도넛	손으로 낙하	55	Skempton(1986)
	도넛	R-P	50	Seed 등(1985)
콜롬비아	도넛	R-P	50	Decourt(1989)
일본	도넛	툼비	78~85	Seed 등(1985) Riggs(1986)
	도넛	R-P(자아틀 2회 감음) + 특수 장치	65, 67	Seed 등(1985) Skempton(1986)
영국	자동	트립	73	CRI. Clayton(1990)
미국	안전	R-P(자아틀 2회 감음)	55~60	Seed 등(1985) Skempton(1986)
	도넛	R-P(자아틀 2회 감음)	45	Seed 등(1985)
베네수엘라	도넛	R-P	43	Decourt(1989)



참고 표 (2.4-3) 해머의 에너지 효율에 대한 국내 연구 결과 개요

연 구 자	해머	효율(%)	비 고
박용원 등 (1993)	도넛	52	동적효율( $\eta_d$ )가정, $\eta_d = 0.78$
박용원 등 (1994)	도넛	50	동적효율( $\eta_d$ )가정, $\eta_d = 0.78$
	자동	59	동적효율( $\eta_d$ )가정, $\eta_d = 0.78$ (자동트립해머)
이호춘 등 (1996)	도넛	46.2	동적효율( $\eta_d$ ) 실내실험·수치해석, $\eta_d = 0.72$
	자동	54	동적효율( $\eta_d$ ) 실내실험·수치해석, $\eta_d = 0.72$
이우진 등(1998)	도넛	39.2	로트에너지 전달율( $ER_r$ ) 직접측정
	안전	65.8	로트에너지 전달율( $ER_r$ ) 직접측정
	자동	54.7	로트에너지 전달율( $ER_r$ ) 직접측정
조성민 등(2001, 2002) 한국도로공사 (2000, 2001, 2002)	국내 사용 중인 8 종류의 장비에 대하여 해머형태, 낙하방식, 시험조건 등에 따라 로트 에너지 전달율( $ER_r$ )과 속도에너지 전달율( $ER_v$ )을 직접 측정하여 분석하고 동적효율을 산정함.		

(2)  $N$  값의 보정

$N$  값에 영향을 미치는 요소들은 매우 다양하여 이것들을 충분히 반영하는 것은 쉽지 않지만 설계의 내실화와 최적화를 위해서는 각 영향요소에 대한  $N$  값의 보정이 필수적이다. 일반적으로  $N$  값의 보정항목으로는 가장 큰 영향을 미치는 해머 종류별 에너지 효율을 포함하여 유효상재하중, 로트 길이, 샘플러 종류, 시추공 직경 등 5가지가 대표적이며 보정식은 다음과 같다.

$$N_{60}' = N \cdot C_N \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \quad \text{참고 식 (2.4-1)}$$

여기서,  $N_{60}'$  : 보정한  $N$  값  
 $N$  : 각 장비별 표준관입시험 결과  
 $C_N$  : 유효응력에 대한 보정  
 $\eta_1$  : 해머의 에너지 효율 보정계수  
 $\eta_2$  : 로트 길이 보정계수  
 $\eta_3$  : 샘플러 종류에 대한 보정계수  
 $\eta_4$  : 공경에 대한 보정계수

장비의 에너지 효율이 정해지면 그 때의 보정계수는 에너지 효율과  $N$  값이 선형 관계를 유지한다는 연구 결과를 바탕으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\eta_1 = \frac{\text{사용한 해머의 에너지 비}}{60} \quad \text{참고 식 (2.4-2)}$$

유효상재하중에 대한 보정은 시험 위치의 유효상재압력을  $100\text{kN/m}^2$ 에 대한 값으로 다음의 참고 식 (2.4-3)과 같이 보정한다(Liao와 Withman, 1986).

## 지반

$$C_N = \left( \frac{100}{\sigma_o'} \right)^{1/2} \quad \text{참고 식 (2.4-3)}$$

여기서,  $\sigma_o'$  : 시험위치에서의 유효상재압력(kN/m<sup>2</sup>)

한편, 스켄프톤(Skempton, 1986)이 제안한 유효상재압력에 대한 보정계수는 다음과 같다.

$$C_N = \frac{2}{1 + \frac{\sigma_o'}{95.6}} \quad (\text{중간 정도 상대밀도의 세립질 모래}) \quad \text{참고 식 (2.4-4)}$$

$$C_N = \frac{3}{2 + \frac{\sigma_o'}{95.6}} \quad (\text{조밀한 조립질 모래}) \quad \text{참고 식 (2.4-5)}$$

$$C_N = \frac{1.7}{0.7 + \frac{\sigma_o'}{95.6}} \quad (\text{과압밀된 세립질 모래}) \quad \text{참고 식 (2.4-6)}$$

기타 보정 계수들은 다음의 참고 표 (2.4-4) ~ 참고 표 (2.4-6)과 같다.

참고 표 (2.4-4) 룯드 길이에 따른 보정계수(Skempton, 1986)

엔빌 아래의 룯드 길이(m)	보정계수( $\eta_2$ )
3~4	0.75
4~6	0.85
6~10	0.95
>10	1.00

참고 표 (2.4-5) 샘플러 종류별 보정계수(Skempton, 1986)

샘플러 종류	효율( $\eta_3$ )
라이너가 없는 경우	1.2
라이너가 있는 경우	1.0

참고 표 (2.4-6) 시추공의 직경에 따른 보정계수(Skempton, 1986)

굴착홀 직경(mm)	효율( $\eta_4$ )
65~115	1.00
150	1.05
200	1.15

(3)  $N$  값과 지반의 물성치 관계

표준관입시험 결과에 의한  $N$  값과 지반 물성치 사이의 관계는 많은 연구자들에 의해 제시되었다. 참고 표 (2.4-7)에는 지금까지 제시된  $N$  값과 사질토의 내부마찰각, 상대 밀도, 점성토의 비배수전단강도 사이의 관계를 정리하였다. 이외에도  $N$  값을 이용하여 지반의 지지력, 말뚝의 연직지지력, 지반반력계수, 액상화 가능성 등 여러 가지 공학적 특성을 추정할 수 있다.

참고 표 (2.4-7)  $N$  값과 지반 물성치 사이의 상관관계

물성치	$N$ 값과의 상관관계		제안자
사질토의 내부마찰각	입자가 등글고 입도분포가 균일한 모래 : $\phi = \sqrt{12N} + 15$ 입자가 등글고 입도분포가 좋은 모래 : $\phi = \sqrt{12N} + 20$ 입자가 모나고 입도분포가 균일한 모래 : $\phi = \sqrt{12N} + 20$ 입자가 모나고 입도분포가 좋은 모래 : $\phi = \sqrt{12N} + 25$		Dunham(1954)
	$\phi = 27.1 + 0.3 N_{60}' - 0.00054 N_{60}'^2$ ( $N_{60}'$ : 보정한 $N$ 값)		Peck 등(1974)
	$\phi = \tan^{-1} \left[ \frac{N}{12.2 + 20.3 \left( \frac{\sigma_o'}{p_a} \right)} \right]^{0.34}$ ( $p_a$ : 대기압)		Schmertmann(1975)
	$\phi = \sqrt{20 N_{60}'} + 20$		Hatanaka와 Uchida(1996)
사질토의 상대밀도	$D_r(\%) = 11.7 + 0.76(222 N_{60}' + 1600 - 53 \sigma_o' - 50 C_u^2)^{0.5}$ ( $\sigma_o'$ : 유효상재하중, $C_u$ : 균등계수)		Marcuson과 Bieganski(1977)
	$D_r(\%) = 12.2 + 0.75(222 N_{60}' + 2311 - 711 OCR - 779 \frac{\sigma_o'}{p_a} - 50 C_u^2)^{0.5}$ ( $OCR$ : 과압밀비, $p_a$ : 대기압)		Kulhawy와 Mayne(1990)
	$D_r(\%) = \left[ \frac{N_{60}' (0.23 + \frac{0.06}{D_{50}})^{1.7}}{9} \left( \frac{1}{\sigma_o'/p_a} \right) \right]^{0.5}$ ( $D_{50}$ : 통과중량백분율 50%에 해당하는 입자의 직경)		Cubrinovski와 Ishihara(1999)
	$N_{60}'$	$D_r(\%)$	
	0~5 5~10 10~30 30~50	0~5 5~30 30~60 60~95	
점성토의 비배수전단강도	$S_u = K N_{60}'$ ( $K$ 는 상수로 3.5~6.5kPa, 평균 4.4kPa)		Stroud(1974)
	$S_u = 29 N_{60}'^{0.72}$ (kPa)		Hara 등(1971)

## 2.4.2 표준관입시험 이외의 사운딩

표준관입시험 이외의 사운딩(Sounding)을 하는 경우에 있어서는 지반의 특성, 필요로 하는 지반정수의 종류 또는 정도에 따라 적절히 그 방법을 선정하여야 한다.

## [참고]

## (1) 사운딩의 종류

사운딩은 룯드 하단에 부착된 저항체를 지반 속에 관입, 회전, 인발할 때의 저항에 의하여 지반토층의 성상을 조사하는 것으로서, 그 결과를 이용한 경험공식에 의하여 상대밀도, 전단강도, 그 외의 여러 가지 지반정수를 추정하는데 사용된다. 사운딩의 종류에는 참고 표 (2.4-8)에 나타나는 것과 같이 여러 가지가 있다. 대상으로 하는 지반의 특징이나 설계 또는 시공 시 필요한 지반정수와 정도를 충분히 고려하여 실내시험과 사운딩을 잘 조합하여 지반조사의 계획을 세울 필요가 있다.

참고 표 (2.4-8) 사운딩의 종류와 특징

시험법	적용 지반조건		측정결과	결과 이용
	최적	부적당		
표준관입시험	모래층	연약한 점토층, 자갈 섞인 층	$N$ 값	층서와 성층 파악, 교란시료 채취, 상대밀도, 전단강도, 변형특성, 지지력 등의 추정
동적 콘관입시험	모래층, 자갈층	점토층	$N_d$ 값	층서파악, 상대밀도, 전단강도
정적 콘관입시험	모래층, 실트층, 점토층	자갈층	$q_c, f_s$	콘관입저항력, 상대밀도, 전단강도, 지지력의 연속측정, 변형특성, 층서, 성층파악
스웨덴식 관입시험	약간 굳거나 단단한 점토층, 모래층	연약한 점토층, 자갈 섞인 층	관입하중, 반회전수	지반굳기, 지지력
베인시험	약간 굳은 점토층	모래층	비배수점착력, 예민비	지지력, 안정해석

## (2) 현장 베인전단시험

현장 베인전단시험(FVT, Field Vane Shear Test)은 룯드와 연결된 십자모양의 날개인 베인을 지중에 관입시켜 0.1 deg/s 이하의 속도로 회전시켜 베인 주변의 원통형 토체가 전단되는 데 필요한 회전력(토크, Torque)을 측정하는 원위치시험으로 포화된 점성토의 비배수전단강도와 예민비를 파악할 수 있다. 시험 중 기록된 최대회전력을 이용하여 참고 식 (2.4-7)으로부터 점성토의 비배수전단력( $c_u$ )을 산정할 수 있으며, 이 결과는 신뢰성이 매우 높은 것으로 알려져 있다.

$$c_u = \frac{M_{\max}}{\frac{\pi D^2 H}{2} + \frac{\pi D^3}{6}}$$

참고 식 (2.4-7)

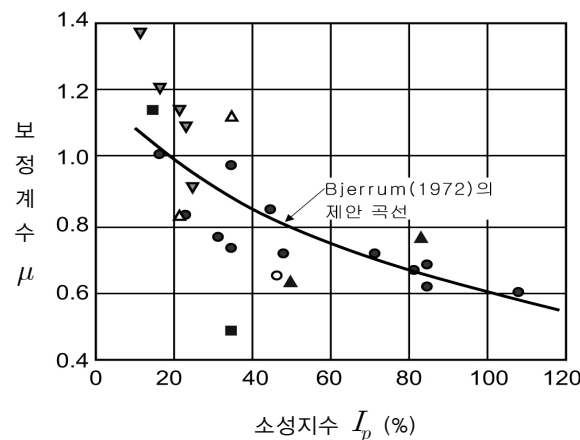
여기서,  $M_{\max}$  : 최대회전모멘트  
 $D$  : 베인의 폭(원통형 토체의 직경)  
 $H$  : 베인의 높이

압축성이 큰 점성토층에서는 위 식으로 구한 비배수전단강도가 실제 강도보다 클 수 있으며, 이 경우에는 흙의 소성지수( $I_p$ )를 이용하는 Bjerrum(1972)의 방법을 이용하여 결과를 보정하여 사용한다. 이 방법은 흙의 소성지수를 이용하여 참고 그림 (2.4-1)에서 보정계수를 구하여 참고 식 (2.4-8)로부터 비배수전단강도를 보정한다.

$$c_u' = \mu \cdot c_{u0}$$

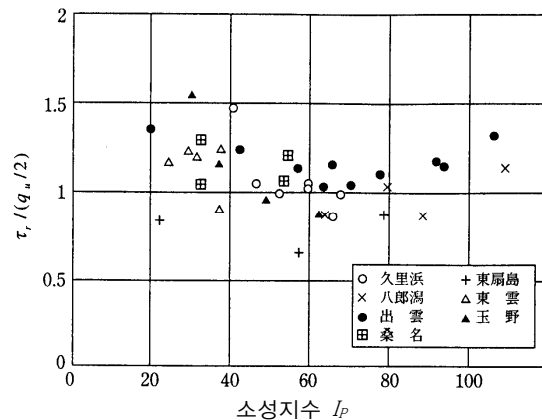
참고 식 (2.4-8)

여기서,  $c_u'$  : 보정한 비배수전단강도  
 $c_{u0}$  : 보정하기 전의 비배수전단강도  
 $\mu$  : 보정계수 ( $= f(I_p)$ )



참고 그림 (2.4-1) 베인시험 결과의 보정

베인전단시험은 공시체가 자립할 수 없는 연약한 점성토의 강도를 구하는데 적합하다. 우리나라에서는 비배수 전단강도를 구하는 방법으로 일축압축시험이 일반적으로 쓰이고 있으나, 외국에서는 베인전단시험이 널리 사용되고 있다. 참고 그림 (2.4-2)는 일본의 해성점성토에 대해서  $\frac{q_u}{2}$ 와 베인전단시험에서 구한  $c_u$ 와의 비교를 나타낸다. 소성지수에 따라 두 값은 약간의 차이가 있지만, 소성지수가 낮은 흙을 제외하면 두 값은 거의 같다고 볼 수 있다. 소성지수가 작으면  $\frac{q_u}{2}$  값이 작게 되는데, 그 이유는 모래를 많이 포함하기 때문에 중간 정도 흙의 성질이 강하게 되고, 일축압축시험으로는 적절히 강도를 평가하기 어렵기 때문이다.



참고 그림 (2.4-2) 일본의 해성점토에 대한 베인(Vane) 전단강도와  $q_u/2$ 의 비교

### (3) 정적 콘관입시험

정적 콘관입시험(CPT, Cone Penetration Test)은 원추모양의 콘을 2cm/s의 일정한 속도로 지중에 압입하면서 깊이별로 관입저항력과 간극수압을 연속적으로 측정하는 원위치시험(In-situ test)으로서, 더치콘시험으로도 불린다. 간극수압 측정장치가 부착된 피에조콘을 사용할 경우는 관입 도중 간극수압 소산시험을 실시할 수도 있다. 시험도중의 주요 측정값은 원추관입저항력(Tip resistance,  $q_c$ ), 주변마찰력(Sleeve friction,  $f_s$ ), 간극수압(Pore water pressure,  $u$ ) 등이며, 이 값들을 이용하여 마찰비(Friction ratio,  $R_f$ )와 간극수압계수( $B_q$ )를 계산해서 지반의 공학적 특성값들을 산정한다. 이 시험의 가장 큰 특징은 지반심도에 따라 연속적으로 지반의 저항력을 측정하여 지반의 구성을 정확히 알 수 있는 지반조사방법으로 주로 연약 점성토나 실트층 또는 세립자의 사질토 지반에 사용된다.

시험장비의 주요 구성품은 콘, 관입 장치, 데이터 기록 및 저장 장치, 로트 등이다. 콘은 원추형 선단, 마찰 슬리브, 몸통 및 덮개(Housing) 등으로 구성되며, 표준형 콘은 원추의 선단각이 60°, 투영단면적이 10cm<sup>2</sup>, 또는 15cm<sup>2</sup>이다. 과거에는 관입저항력을 기계적으로 측정하던 마찰 맨틀 콘(흔히 더치콘으로 부름)을 사용하였으나, 근래에는 콘 내부에 로드셀 등 각종 계측장치를 내장한 전자식 콘(전기식 콘이라고도 함)이 일반적이며, 간극수압 측정장치(Piezo element)를 갖춘 피에조콘도 많이 사용한다. 최근에는 수소이온농도 및 산화환원전위를 측정할 수 있는 환경 콘(Environmental cone), 수진기(Geophone)를 내장하여 탄성파를 감지하는 탄성파 콘(Seismic cone), 소형 카메라를 내장한 영상 콘(Visual cone) 등도 사용한다.

원추관입저항력은 콘 관입 도중 시험기의 끝 부분인 원추에 작용하는 지반의 반력으로서, 흙의 분류, 지반정수 결정 및 지지력 산정 등에 직접 이용한다. 피에조콘의 경우는 일반적으로 다공질 필터가 콘 바로 뒤에 위치하게 되는데, 이 때 참고 그림 (2.4-3)과 같이 관입 중 원추 배면에 간극수압( $u_b$ )이 작용하게 되므로, 측정된 원추관입저항력이 실제(일반 콘)보다 작을 수 있다. 이를 부등단면적효과(Unequal area effect)라고 한다[참고 그림 (2.4-3) 참조].

따라서 피에조콘을 이용할 경우 원추 배면에서 측정한 간극수압을 이용하여, 아래 식과 같이 보정하여 부등단면적 효과를 배제한 수정 원추관입저항력(Corrected tip resistance,  $q_t$ )을 결과해석에 활용한다.

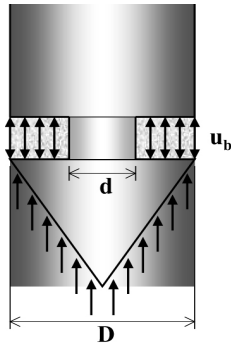
$$q_t = q_c = u(1 - a)$$

참고 식 (2.4-9)

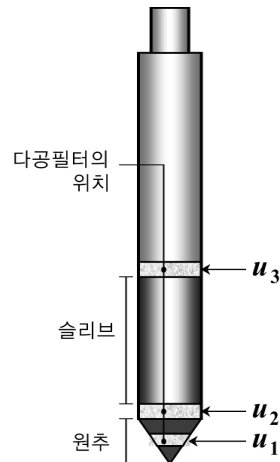
여기서,  $a$  : 부등단면적 비 ( $= d^2/D^2$ )

$u$  : 원추 배면에서 측정한 간극수압 ( $= u_c$ )

주면마찰력은 콘의 원추형 선단에 연결된 원통형 슬리브 표면에서 측정한 관입 저항력으로서, 슬리브에 작용하는 마찰 전단력을 슬리브 표면적( $150\text{cm}^2$ )으로 나눈 값이다. 원추관입저항력과 조합하여 흙의 분류 및 제반 지반정수 산정에 이용하거나, 말뚝의 주면마찰력 산정에 활용한다.



참고 그림 (2.4-3) 부등단면적 효과



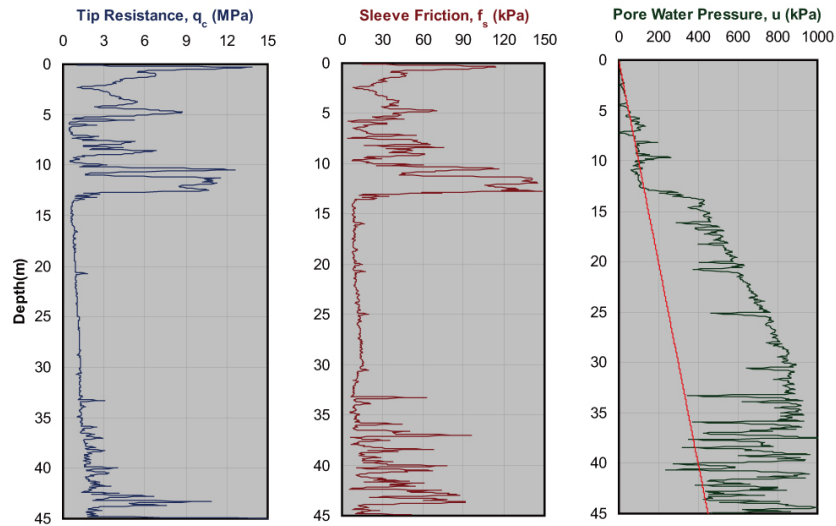
참고 그림 (2.4-4) 간극수압 측정 위치

주면마찰력의 측정 방식에 따라 콘을 차감식 콘(Subtraction cone)과 독립 인장식 콘(Independent tension cone)으로 구분한다. 전자는 전체 관입저항력과 원추관입저항력을 각각 측정하여 두 값의 차로써 주면마찰력을 표시하는데, 콘의 구조를 단순화할 수 있어 대부분의 상용제품이 이 방식을 택하고 있다. 후자는 독립된 로드 셀을 이용하여 원추관입저항력과 별개로 주면마찰력을 직접 측정하며, 전자에 비하여 마찰력 측정 결과의 정밀도가 매우 높으나, 경우에 따라 극한하중 상태에서 쉽게 손상되는 단점이 있다. 피에조콘을 사용하면 콘 관입 도중 간극수압을 측정할 수 있으며, 측정한 간극수압은 흙의 분류 및 여러 가지 지반정수 산정에 유용하게 이용된다. 또한 간극수압 소산 시험의 결과로부터 지반의 압밀정수를 산정하거나 투수특성을 평가하는데 활용할 수도 있다. 간극수압은 다공필터의 위치에 따라 그 값에 다소 차이가 있는데, 참고 그림 (2.4-4)과 같이  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$  등 세 가지로 구분하는 것이 보통이다. 이 중에서 원추 배면에서 간극수압( $u_2$ )을 측정하는 경우가 가장 일반적이다. 참고 그림 (2.4-5)은 관입 시험 결과의 한 예를 보여준다. 시험으로 측정한 값들을 이용하여 흙을 분류하고 각종 지반정수를 산정하기 위하여 마찰비( $R_f$ )와 간극수압계수( $B_q$ )를 다음과 같이 구한다.

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} \times 100\% \quad \text{참고 식 (2.4-10)}$$

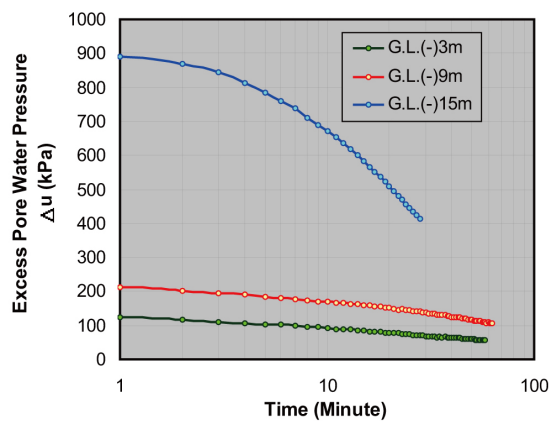
$$B_q = \frac{u_b - u_o}{q_c - \sigma_{vo}} \quad \text{참고 식 (2.4-11)}$$

여기서,  $u_o$  : 정수압  
 $\sigma_{vo}$  : 전연직응력



참고 그림 (2.4-5) 전형적인 피에조콘 관입시험 결과

간극수압 소산시험(Dissipation test)은 피에조콘을 사용하며, 시험 깊이에서 콘 관입을 일시 멈추고 관입에 의해 발생한 과잉간극수압의 시간 경과에 따른 변화를 기록하여 흙의 압밀 특성을 평가하는 과정으로서(즉, 압밀계수를 결정하는 시험), 초기 간극수압을 기준으로 압밀도가 50% 이상에 이를 때까지 실시하는 것이 일반적이다. 참고 그림 (2.4-6)은 간극수압 소산시험 결과의 예이다.



참고 그림 (2.4-6) 과잉간극수압 소산 곡선

간극수압 소산시험으로부터 압밀도( $U$ )를 다음과 같이 산정할 수 있다.

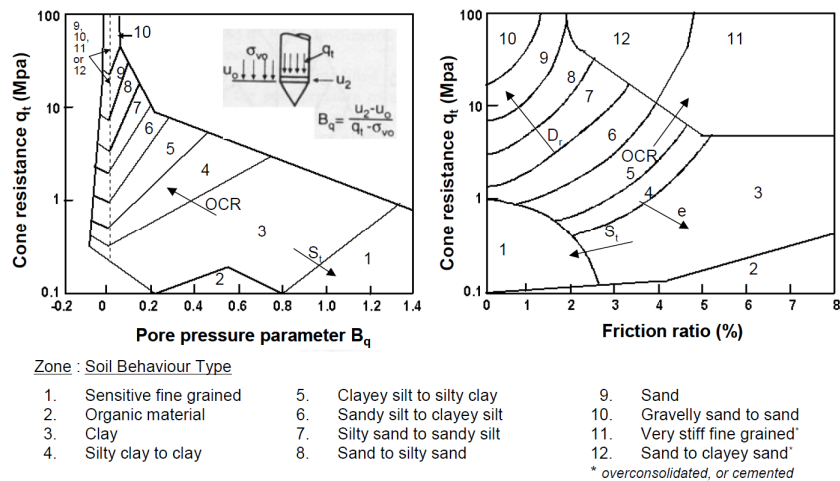


$$U = \frac{u_t - u_o}{u_i - u_o}$$

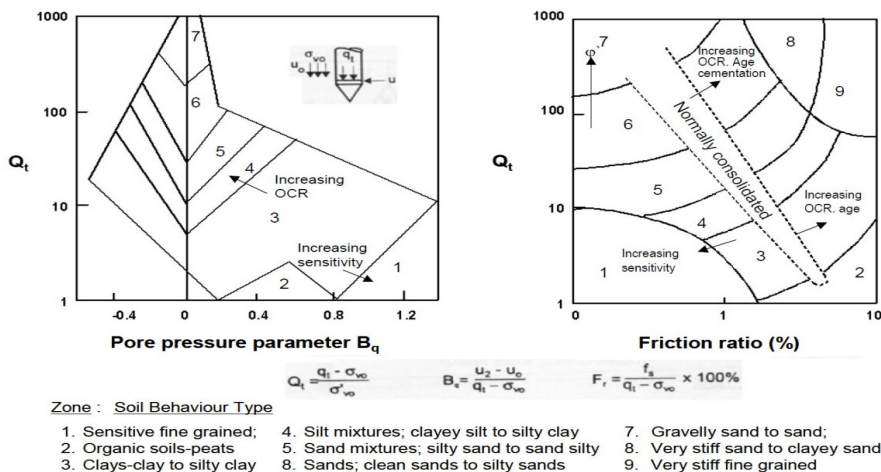
참고 식 (2.4-12)

여기서,  $u_i$  : 소산시험 시작 전의 간극수압(초기 값)  
 $u_t$  : 시간  $t$  경과후의 간극수압  
 $u_o$  : 현장의 정수압

정적 콘관입시험(CPT)으로부터 점성토의 비배수강도와 횡방향 압밀계수, 과압밀비, 예민비, 변형계수, 사질토의 내부마찰각과 상대밀도 등을 산정할 수 있다. 지반공학적 설계값으로서 기초의 지지력과 액상화 가능성, 연약지반의 개량 확인 및 침하량 추정 등을 평가할 수 있다. 또한 흙의 분류도 가능하며, Schmertmann(1978), Douglas와 Olsen(1981), Robertson과 Campanella(1983, 1986), Olsen과 Farr(1986), Robertson(1990), Jefferies와 Davies(1991) 등이 제안한 방법이 많이 사용된다. 참고 그림 (2.4-7)과 참고 그림 (2.4-8)은 각각 Robertson과 Campanella(1986) 방법과 Robertson(1990) 방법을 보여준다.



참고 그림 (2.4-7) Robertson &amp; Campanella(1986)의 분류 도표



참고 그림 (2.4-8) Robertson(1990)의 분류 도표

## 지반

점성토의 비배수전단강도( $S_u$ )는 측정한 원추관입저항력, 또는 과잉간극수압으로부터 다음 식을 이용하여 산정한다.

$$S_u = \frac{q_T - \sigma_{v0}}{N_{Kt}} \quad (\text{Schmertmann(1978), Lunne 등(1985)}) \quad \text{참고 식 (2.4-13)}$$

$$S_u = \frac{q_T - u}{N_{KE}} \quad (\text{Senneset 등(1982), Campanella 등(1982)}) \quad \text{참고 식 (2.4-14)}$$

$$S_u = \frac{\Delta u}{N_{\Delta u}} \quad (\text{Lunne 등(1985)}) \quad \text{참고 식 (2.4-15)}$$

여기서,  $\sigma_{v0}$  : 전체 연직응력  
 $u, \Delta u$  : 콘 선단 바로 위에서 측정한 간극수압, 과잉간극수압  
 $N_{Kt}$  : 지지력 이론을 토대로 제시된 콘 계수  
 $N_{KE}$  : 유효응력을 토대로 제시된 콘 계수  
 $N_{\Delta u}$  : 측정 과잉간극수압을 토대로 제시된 콘 계수

콘 계수(Cone factor)는 연구자, 기준이 되는 강도의 산정방법, 지역에 따라 다음 참고 표 (2.4-9)와 같이 다양한 값이 제안되어 있다. 이는 대상 흙의 특성에 따라 콘 계수 값들이 크게 영향을 받는다는 것을 의미하며, 따라서 신뢰성 있는 결과 도출을 위해서는 대상 지역 마다 베인시험 또는 실내 강도시험을 추가로 실시하고, 그 결과와 비교하여 콘 계수 값들을 확인, 또는 결정하는 것이 바람직하다.

참고 표 (2.4-9) 지역과 강도의 산정방법에 따른 콘 계수

지역	기준 $s_u$ 측정방법	피에조콘 계수
영국 북부	CIUC	$N_{KT} = 12 \sim 20$
노르웨이 일부지역	FVT	$N_{KT} = 12 \sim 19$
이탈리아	FVT	$N_{KT} = 8 \sim 16$
	$CK_0$ UC	$N_{KT} = 8 \sim 10$
캐나다 밴쿠버	FVT	$N_{KT} = 8 \sim 10$
	SBPT	
일본	UCT	$N_{KT} = 8 \sim 16$
	FVT	$N_{KT} = 9 \sim 14$
대만	CIUC	$N_{qu} = 5.0 \sim 6.8$
	CAUC	$N_{qu} = 6.0 \sim 7.2$
캐나다 일부지역	FVT	$N_{\Delta u} = 6.2 \sim 7.0$
국내	UU	$N_{KT} = 10 \sim 25$ $N_{\Delta u} = 1.7 \sim 4.4$ $N_{qu} = 9.3 \sim 17.2$
	CIUC	
	CAUC	
	FVT	

(주) FVT : 현장베인시험 ; CIUC,  $CK_0$ UC, CAUC : 등방압밀,  $K_0$  압밀, 이방압밀  
비배수 삼축압축시험 ; UCT : 일축압축시험

간극수압 소산시험의 결과로부터 점성토의 횡방향 압밀계수( $c_h$ )를 결정할 수 있다.

$$c_h = \frac{R^2 \cdot T_{50}}{t_{50}} \quad (\text{Torstensson}(1975, 1977)) \quad \text{참고 식 (2.4-16)}$$

여기서,  $R$  : 원주 반지름  
 $t_{50}$  : 압밀도 50% 도달 시간  
 $T_{50}$  :  $t_{50}$ 에 대한 시간계수

$$c_h = \frac{R^2 \cdot T}{t} \quad (\text{Baligh \& Levadoux}(1980)) \quad \text{참고 식 (2.4-17)}$$

여기서,  $t$  : 임의의 압밀도 도달 시간  
 $T$  :  $t$ 에 대한 시간계수  
 $N_{Kt}$  : 지지력 이론을 토대로 제시된 콘 계수

$$c_{h(NC)} = \frac{C_{ur}}{C_c} \times c_{h(CPTU)} \quad \text{참고 식 (2.4-18)}$$

여기서,  $c_{h(NC)}$  : 정규압밀 영역에서의 압밀계수  
 $c_{h(CPTU)}$  : 간극수압 소산시험을 통해 구한 압밀계수  
 $C_c$  : 처녀압축지수  
 $C_{ur}$  : 재압축지수

$$c_h = \frac{R^2 \cdot T^*}{t} \sqrt{I_R} \quad (\text{Teh \& Houlsby}(1991)) \quad \text{참고 식 (2.4-19)}$$

여기서,  $T^*$  : 수정시간계수  
 $I_R$  : 강성지수(=  $G/S_u$ )

참고 표 (2.4-10) 압밀도에 따른 시간계수( $T$ , 또는  $T^*$ )

압 밀 도 (%)	A								B	C
	구형				실린더형					
	$I_R=30$	$I_R=70$	$I_R=100$	$I_R=130$	$I_R=30$	$I_R=70$	$I_R=100$	$I_R=130$		
40	0.18	0.26	0.34	0.40	0.74	1.14	1.48	1.78	3.0	0.142
50	0.29	0.44	0.58	0.69	1.47	2.19	2.90	3.55	5.6	0.245
60	0.46	0.73	0.98	1.17	2.49	3.83	5.36	6.63	10	0.439

(주) A : Torstensson(1975), B : Baligh와 Levadoux(1986), C : Teh와 Houlsby(1991)

## 지반

사질토의 내부마찰각( $\phi$ )은 Robertson과 Campanella(1983)이 제안한 다음 식으로 구한다.

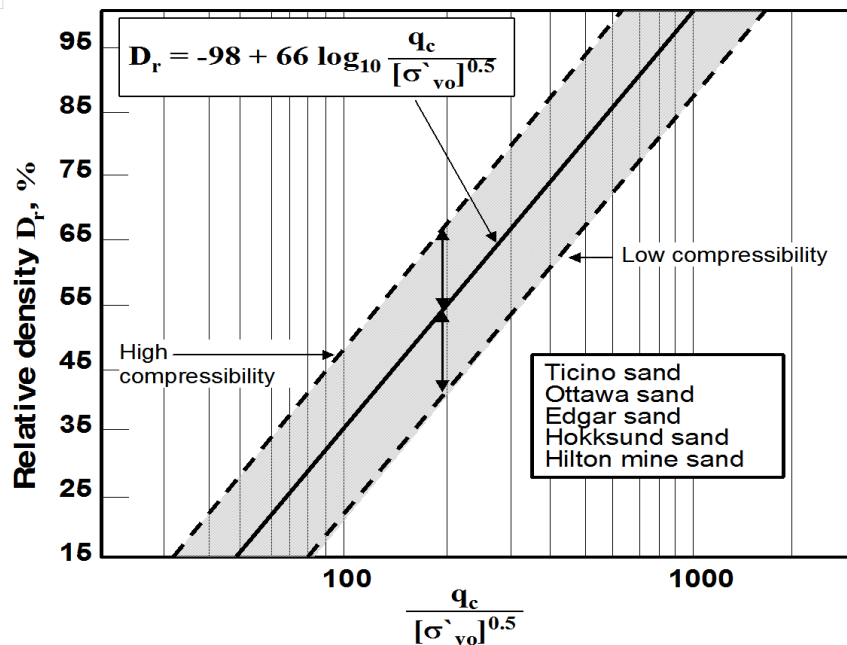
$$\phi = \tan^{-1} \left[ 0.1 + 0.38 \log \left( \frac{q_c}{\sigma'_{v0}} \right) \right] \quad \text{참고 식 (2.4-20)}$$

참고 표 (2.4-11) CPT로 구한 사질토의 내부마찰각

$q_c / \sigma'_{v0}$	조밀한 상태	내부마찰각( $\phi'$ )
< 20	매우 느슨	< 30
20 ~ 40	느슨	30 ~ 35
40 ~ 120	중간	35 ~ 40
120 ~ 200	조밀	40 ~ 45
> 200	매우 조밀	> 45

Jamolkovski 등(1985)은 CPT결과로부터 사질토의 상대밀도( $D_r$ )를 구하는 식을 제안하였으며, 참고 그림 (2.4-9)는  $q_c$ 와 상대밀도 사이의 관계를 나타낸 그림이다.

$$D_r(\%) = 66 \log \left[ \frac{q_c}{\sqrt{\sigma'_{v0}}} \right] - 98 \quad \text{참고 식 (2.4-21)}$$



참고 그림 (2.4-9)  $q_c$  와 상대밀도의 관계

### 3. 재료

내용 없음

## 4. 설계

### 4.1 설계일반

- (1) 항만시설을 설계할 때는 구조물의 중요도와 기초지반의 토질조건을 충분히 고려하고 구조형식을 신중히 선정하여야 한다.
- (2) 기초지반이 연약한 점성토 지반의 경우는 기초의 안정과 침하를 검토하고 느슨한 모래지반의 경우는 지진 시 액상화 등의 영향을 검토하여야 한다.
- (3) 기초구조의 안정에 지장이 있을 경우 필요에 따라 말뚝기초, 지반의 개량 등 대책 공법을 채택하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 기초 지반이 불량할 때, 지반의 파괴가 우려되거나 구조물의 기능을 충분히 발휘할 수 없을 정도의 과대한 침하가 발생할 수 있다. 이러한 경우 구조물 중량에 의해 발생하는 지중응력을 감소시키든지 기초지반 자체를 개량 강화하여 안정성을 높게 해야 한다.
- (2) 기초 지반의 지지력을 확보하는 방법
  - ① 구조물 자체의 중량 감소
  - ② 구조물 기초 저면적의 확대
  - ③ 말뚝기초 등의 이용
  - ④ 압성토(押盛土) 공법
- (3) 지반개량공법
- (4) 기초의 안정에 대해서는 이 기준의 4.3 얇은 기초, 4.4 깊은 기초, 4.6 사면의 안정을 참조하고, 기초침하에 대해서는 4.7 기초의 침하를, 말뚝기초에 대해서는 4.5 말뚝기초를, 지진시의 액상화에 대하여는 KDS 64 17 00 내진의 지반의 액상화를 참조한다.
- (5) 구조물의 중요도와 지지력의 안전율

## 4.2 토압과 수압

### 4.2.1 토압

- (1) 구조물에 작용하는 토압은 사질토, 점성토 등의 토질과 구조물의 종류 또는 거동에 따른 주동, 정지, 수동 등의 상태에 따라 산정한다.
- (2) 토압과 토압분포는 구조물과 지반과의 상대적인 변위, 구조물의 형태, 토질종류, 토층상태, 배면지형, 상재하중조건 등을 고려하여 산정한다.

#### [해설]

흙은 입도, 간극비, 함수비 등의 물리적 조건, 그 흙이 과거에 겪은 이력이나 경계조건에 의해 거동이 달라지고 토압에도 영향이 있다. 여기서 취급하는 토압은 일반적인 흙을 대상으로 하고 지반개량에 의해서 개량된 흙이나 보강된 흙을 대상으로 할 경우는 별도로 검토한다. 지진시의 토압은 구조물, 흙, 물의 동적 상호작용에 의해 발생하는 것이므로 여기서는 취급하지 않는다.

#### (1) 평상시 토압

##### ① 사질토의 토압

가. 주동토압 (해설 그림 (4.2-1) 참조)

벽면에 작용하는 토압은 해설 식 (4.2-1)로, 또 붕괴면이 수평과 이루는 각은 해설 식 (4.2-2)로 산출한다.

$$P_{ai} = K_{ai} \cdot \left[ \sum \gamma_i h_i + \frac{w \cos \Psi}{\cos(\Psi - \beta)} \right] \cdot \cos \Psi \quad \text{해설 식 (4.2-1)}$$

$$K_{ai} = \frac{\cos^2(\phi_i - \Psi)}{\cos^2 \Psi \cos(\delta + \Psi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_i + \delta) \sin(\phi_i - \beta)}{\cos(\delta + \Psi) \cos(\Psi - \beta)}} \right]^2}$$

$$\cot(\zeta_i - \beta) = -\tan(\phi_i + \delta + \Psi - \beta) \quad \text{해설 식 (4.2-2)}$$

$$+ \sec(\phi_i + \delta + \Psi - \beta) \cdot \sqrt{\frac{\cos(\Psi + \delta) \sin(\phi_i + \delta)}{\cos(\Psi - \beta) \sin(\phi_i - \beta)}}$$

##### 나. 수동토압

벽면에 작용하는 토압은 해설 식 (4.2-3), 붕괴면이 수평과 이루는 각은 해설 식 (4.2-4)에 의하여 산출한다.

$$P_{pi} = K_{pi} \cdot \left[ \sum \gamma_i h_i + \frac{w \cos \Psi}{\cos(\Psi - \beta)} \right] \cdot \cos \Psi \quad \text{해설 식 (4.2-3)}$$

$$K_{pi} = \frac{\cos^2(\phi_i + \Psi)}{\cos^2 \Psi \cos(\delta + \Psi) \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi_i - \delta) \sin(\phi_i + \beta)}{\cos(\delta + \Psi) \cos(\Psi - \beta)}} \right]^2}$$

$$\cot(\zeta_i - \beta) = \tan(\phi_i - \delta - \Psi + \beta) \quad \text{해설 식 (4.2-4)}$$

$$+ \sec(\phi_i - \delta - \Psi + \beta) \sqrt{\frac{\cos(\Psi + \delta) \sin(\phi_i - \delta)}{\cos(\Psi - \beta) \sin(\phi_i + \beta)}}$$

여기서,  $P_{ai}$ , ( $P_{pi}$ ) : i층하면의 벽면에 작용하는 주동 및 수동 토압 (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi_i$  : i층의 흙의 내부마찰각 (°)

$\gamma_i$  : i층의 흙의 단위체적중량 (kN/m<sup>3</sup>)

$h_i$  : i층의 두께 (m)

$P_{ai}$ , ( $K_{pi}$ ) : i층의 주동 및 수동 토압계수

$\Psi$  : 벽면이 연직과 이루는 각도 (°)

$\beta$  : 지표면이 수평과 이루는 각 (°)

$\delta$  : 흙과 벽면과의 마찰각 (°)

$\zeta_i$  : i층의 붕괴면이 수평과 이루는 각도 (°)

$w$  : 지표면에 작용하는 단위면적당 재하하중 (kN/m<sup>2</sup>)

#### 다. 정지토압

벽체가 구속되어 변위가 작은 경우에는 정지토압으로 간주해서 계산한다.

$$P_0 = K_o \sum \gamma_i h_i \quad \text{해설 식 (4.2-5)}$$

여기서,  $P_0$  : 정지토압 (kN/m<sup>2</sup>)

$K_o$  : 정지토압계수

$\gamma_i$  : i층의 흙의 단위체적중량 (kN/m<sup>3</sup>)

$h_i$  : i층의 두께 (m)

#### 라. 흙의 내부마찰각

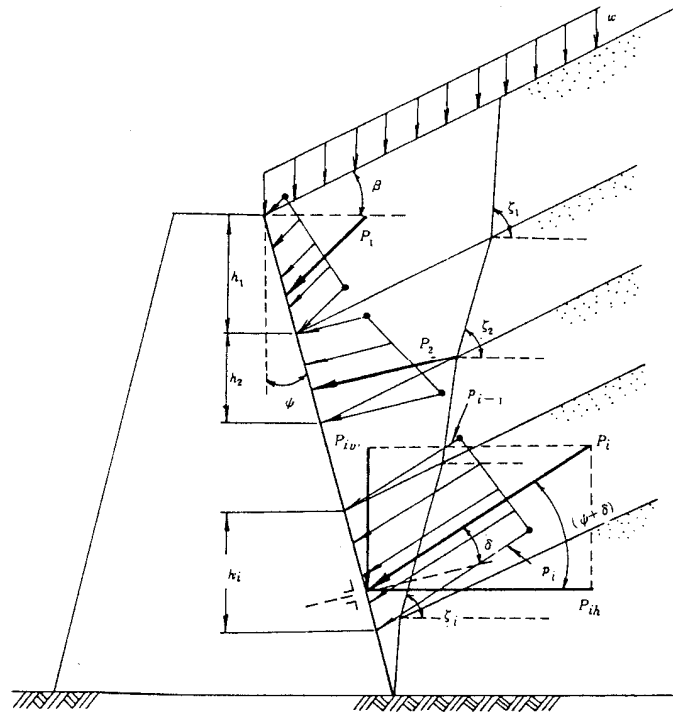
흙의 내부마찰각은 시험 결과 값을 사용한다. 사질토의 내부마찰각은 30°~40°의 범위이다.

#### 마. 흙과 벽면과의 마찰각

통상 ±15~20°의 값을 사용한다. 뒤채움재의 내부마찰각의 1/2 정도가 적당하다.

#### 바. 흙의 단위체적중량

흙의 단위체적중량을 실험에 의하여 구한다.



해설 그림 (4.2-1) 토 압

사. 토압의 크기는 구조물의 종류, 토질에 따라 좌우된다. 구조물이 강성체로서, 회전하거나 전면으로 활동하는 경우, 토압의 분포는 일반적으로 3각형 분포를 한다고 생각하면 된다. 토압공식에는 쿨롬, 랭킨, 테르자기(Coulomb, Rankine, Terzaghi)의 토압공식 등 여러 식이 있지만 쿨롬(Coulomb)의 토압공식은 실내와 야외에서의 실험의 결과, 비교적 측정치에 가까운 값을 보이기 때문에 쿨롬(Coulomb)의 토압공식을 사용하기로 한다.

그러나 강널말뚝 등 변형하기 쉬운 구조물에 작용하는 토압은 복잡한 곡선분포를 보이므로 이 경우에는 쿨롬(Coulomb)의 토압을 사용해서는 안 된다. 그 이유는 옹벽구조물이 회전하거나 활동하는 경우에도 이 가상면을 따라서 전단이 일어나지 않기 때문이다.

그리고 역 T형 옹벽 또는 부벽식 옹벽과 같이 토압이 뒷굽으로부터 위로 연직하게 세운 가상면에 작용하는 것으로 가정할 때에는 랭킨(Rankine) 토압을 사용한다.

아. 일반적으로 흙이 수평방향으로 인장변형이 생겨서 지반내의 각 점에서 활동이 일어날 수 있는 곳에서의 최대압력이 주동토압이며, 또 수평방향으로 압축이 일어나는 경우의 최소토압이 수동토압이 된다. 활동을 일으키는데 충분한 인장 또는 압축이 없는 경우에는 토압계수는 불확실하며 흙의 변형상태에 따라  $K_A < K_0 < K_P$ 와 같은 값을 나타낼 것이다.



- 자. 해설 식 (4.2-3)에서 해설 식 (4.2-4)까지 토압은 평면붕괴면으로 가정하고 붕괴면에서 쿨롬(Coulomb)의 법칙이 성립된다고 하여 구한 토압이다. 이 방법은 이론적으로 엄밀한 것은 아니나, 계산이 간단하고 실제 적용에 편리한 장점이 있다.
- 차. 벽체의 변위가 작고 흙에 충분한 전단저항이 작용하지 않는 경우에는 정지토압 계수를 사용하는 것이 합리적이다. 항만구조물에서는 이와 같은 경우는 드문 예이다. 정지토압계수  $K_0$ 의 값은 모래에 있어서는  $K_0 = 1 - \sin\psi$ 식을 많이 사용한다.
- 카. 벽면마찰각의 부호는 주동토압인 경우에는 정(+), 수동토압인 경우에는 부(-)를 취하기로 한다. 쿨롬(Coulomb)의 수동토압은  $(-\psi)$ ,  $\beta(-\delta)$ 의 값이 크면 과대하게 되므로, 수동토압 계산의 제공식의 적용에는 다음과 같은 제한을 둔다. 즉  $(-\delta)$ 의 값은 배면토압의 전단저항각의 1/3로 하고  $\beta$ 와  $(-\psi)$ 의 값은 최대  $20^\circ$ 로 한다.
- 타. 점성토의 경우에는 주동토압과 수동토압 계산 시에 점착력의 영향을 고려한다. 일반적으로 점성토는 함수비에 의해 현저하게 그 성질이 변화한다. 따라서 구조물이 설치된 후, 배면의 점성토의 성질을 정확히 추정하기 어렵다. 즉, 설계 시에 원위치시험 혹은 채취시료에 의한 실내시험의 결과에서 점착력을 구해도 그 당시의 값을 아는 것에 불과하다. 이러한 이유 때문에 흙의 점착력을 정확히 추정할 수 없는 경우에는 점착력의 영향을 무시하고 전단저항각을 작게 잡아 토압 계수를 구하는 것이 좋다.
- 파. 토압의 합력은 각층마다 구한다.  $i$ 층에서는 해설 식 (4.2-6)에 의하여 산정하고, 토압합력의 수평, 연직 성분은 각각 해설 식 (4.2-7)에서 구한다.

$$P_i = \frac{p_{i-1} + p_i}{2} \cdot \frac{h_i}{\cos\psi} \quad \text{해설 식 (4.2-6)}$$

$$P_{ih} = P_i \cos(\psi + \delta) \quad \text{해설 식 (4.2-7)}$$

$$P_{iv} = P_i \sin(\psi + \delta)$$

## ② 점성토의 토압

### 가. 주동토압

주동토압은 해설 식 (4.2-8)에 의하여 산출하며, 구조물에 대해 가장 위험한 토압분포를 가정하여 설계한다. 단, 해설 식 (4.2-8)을 사용했을 때 생기는 부의 토압은 고려하지 아니한다.

$$p_{ai} = \sum \gamma_i h_i + w - 2c_i \quad \text{해설 식 (4.2-8)}$$

여기서,  $w$  : 상재하중 ( $\text{kN/m}^2$ )

$p_{ai}$  : 각 토층 하부에서 벽면에 작용하는 주동 토압 ( $\text{kN/m}^2$ )

$c_i$  : 각 토층의 점착력 ( $\text{kN/m}^2$ )

나. 수동토압

수동토압은 해설 식 (4.2-9)을 사용하여 산출한다.

$$p_{pi} = \Sigma \gamma_i h_i + w + 2c_i \quad \text{해설 식 (4.2-9)}$$

여기서,  $p_{pi}$  : 각 토층 하부에서 벽면에 작용하는 수동 토압 ( $\text{kN/m}^2$ )

다. 정지토압

$$p_0 = K_o \cdot \gamma_i \cdot h_i \quad \text{해설 식 (4.2-10)}$$

여기서,  $K_o$  : 정지토압계수

라. 벽면마찰

점성토의 경우에는 흙과 벽면과의 점착력을 무시한다.

마. 흙의 단위체적중량

점성토의 단위체적중량은 토질시험에 의해서 결정한다.

바. 주동토압의 분포는 해설 식 (4.2-8)에 의해서 산출하며, 중력식 구조물에서는 토압의 합력이 큰 경우를 취하면 되지만, 널말뚝식 구조물에서는 널말뚝의 근입깊이, 널말뚝의 응력, 타이로드의 응력이 위험측이 되는 토압분포가 각각 다르기 때문에 주의하여야 한다.

사. 점성토의 정지토압계수는 보통 0.6~1.0 정도라고 하지만, 과압밀점토에서는 2~4에 달하는 경우도 있다.  $K_o$ 와  $K_c$ 와는 구별해야 한다고 한다.

아. 지표면 경사, 벽면 경사 및 벽면과 흙과의 부착력 등을 고려할 때 쿨롱(Coulomb)의 토압식을 이용하여 계산할 수 있으나, 도표가 만들어져 있으므로 이것을 이용하면 편리하다. 그러나 점착력은 압밀진행에 따라 변화하며, 토압은 크립(Creep)등 흙의 변형의 영향을 받으므로 충분히 검토하여야 한다.

자. 흙의 점착력은 적절한 방법에 의해 산정되어야 하며, 예로서 일축압축시험 결과를 사용하는 경우에는 해설 식 (4.2-11)을 이용한다.

$$c = \frac{q_u}{2} \quad \text{해설 식 (4.2-11)}$$

여기서  $q_u$  : 일축압축강도( $\text{kN/m}^2$ )

차. 점성토의 경우에는 흙과 벽 사이에 작용하는 점착력은 무시

## 4.2.2 수압

### (1) 잔류수압

안벽 뒤채움 내의 수위와 전면수위간의 수위차가 생길 때 설계를 할 경우 잔류수압을 고려하여 안정계산을 해야 한다.

#### [해설]

- (1) 안벽 뒤채움 내의 수위와 전면수위간의 수위차가 생길 때 잔류수압은 해설 식 (4.2-12), 해설 식 (4.2-13)에 의해 구하는 것을 표준으로 한다.

$$0 \leq y < h_w \text{ 일 때 : } P_w = \gamma_w \cdot y \quad \text{해설 식 (4.2-12)}$$

$$h_w \leq y \text{ 일 때 : } P_w = \gamma_w \cdot h_w \quad \text{해설 식 (4.2-13)}$$

여기서,  $p_w$  : 잔류수압 ( $\text{kN/m}^2$ )

$h_w$  : 잔류수위차, 뒤채움 내의 수위가 전면의 수위보다 높을 때 최고의 수위차 (m)

$y$  : 뒤채움 내의 수면에서 잔류수압을 구하는 점까지의 높이 (m)

$\gamma_w$  : 물의 단위체적중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

\*  $h_w$ 의 크기는 벽체의 배수상태, 조위차 등을 고려해서 정하나, 통상, 전면 조위차의 1/3 ~ 2/3을 표준으로 한다.

- (2) 안벽이 수밀한 구조인 경우나 뒤채움토의 투수성이 적은 경우에는 전면의 수위의 변화에 대해서 뒤채움토 중의 수위 변화가 늦어 수위차가 일어난다. 이 때문에 안벽의 전면면에 작용하는 수압과 배면에 작용하는 수압에 차이가 발생되고, 안벽의 전면과 배면과는 상이한 수압이 작용하는 대신, 양자의 차에 상당하는 수압이 안벽 등에 작용하고 있다고 생각할 수가 있다.

안벽 등의 설계에 있어서는 매립토 내의 수위가 전면의 수위보다도 높고, 게다가 수위차가 최대가 되는 경우를 고려하는 것이 좋으며, 이때에 안벽 등에 작용하는 수압이 본문의 잔류수압이다.

- (3) 잔류수위차의 크기는 안벽 등을 구성하는 벽체 또는 그 주변의 투수성, 조위차 등에 의해서 다르다. 부근의 유사한 구조물의 잔류수위차를 조사하거나 벽체 또는 그 주변 지반의 투수성의 검토하여, 잔류수위차를 정할 경우에는 본문에 표시하는 표준치 이외의 값을 쓸 수가 있다.

- (4) 벽체 또는 그 주변의 투수성이 구조물 완성 후, 시간이 경과함에 따라 감소되는 경우에는, 전면조위차가 클 때에는 그것을 고려해서 잔류수위차를 정하여야 한다.

### 4.2.3 침투

- (1) 이 기준은 조차의 영향을 받는 해역에 준설토 투기를 위해 축조되는 사석경사식 해안구조물의 배면매립재 설계에 적용한다.
- (2) 침투류에 의한 침투해석 시 적용되는 설계조위는 최대유속과 최대동수경사를 산정할 수 있도록 내·외수위차가 최대로 발생하는 조위를 적용한다.
- (3) 사석경사식 해안 구조물의 배면매립에 따른 침투해석 시 고려해야 할 사항으로는 다음과 같다.
  - ① 적용조위
  - ② 전요소 크기(Approximate global element size)
- (4) 침투해석은 정상류 해석을 기본으로 한다. 단, 실험과 문헌조사 등을 통하여 입력 변수(물성치)가 결정되면 비정상류 해석을 할 수 있다.
- (5) 사석경사식 해안 구조물 배면매립재의 침투류에 의한 파이프 안정성 평가방법은 다음과 같은 방법을 사용한다.
  - ① 한계유속법
  - ② 한계동수경사법
- (6) 조차의 영향을 받는 구조물의 파이프 안정성 평가를 위해서는 한계유속법과 한계동수경사법 두 가지 방법에 대하여 모두 평가를 수행하는 것을 표준으로 한다.
- (7) 침투해석을 위한 투수계수는 실내시험을 통한 재료별 물성치를 적용하는 것으로 한다. 단, 실내시험을 통한 재료별 물성치가 없을 경우 기존 자료를 조사하여 적용할 수 있다.
- (8) 투수계수 입력 시 수평함수 적용은 재료의 완전포화상태를 나타내므로 실내시험을 통한 일반함수를 적용하여 침투류에 대한 침투해석을 수행하는 것을 표준으로 한다.

#### [해설]

- (1) 배면매립재는 해안 구조물 필터사석 배면에 축조되는 구조물로 사용재료는 토사, 모래, 사석이 있으며, 재료의 선택은 현장에서 재료의 구득 용이성과 시공성을 고려하여 선정한다.
- (2) 침투해석은 조위차로 인해 발생하는 내·외수위차로 인하여 체체내부에 수위가 높은 곳에서 수위가 낮은 곳으로 흐르는 침투류가 발생되는데 그 침투류에 대한 체체내부에서 발생하는 최대유속과 최대동수경사를 산정하여 재료의 한계유속과 한계동수경사와의 비로 파이프에 대한 안전율을 산정할 수 있는 방법을 말한다.
- (3) 침투해석 시 단면해석을 위해 결정하는 해석격자망은 전요소 크기(Approximate global element size)의 한번 길이에 따라 단면내에 생성되는 격자망의 개수가 달라지며 격자망의 개수에 따라 최대유속과 최대동수경사가 다르게 산정된다. 해석격자망의 수가 작을수록 최대유속 및 최대동수경사가 커지며 이는 파이프 안정성 평가 시 격자망이 많

을 경우보다 안전율이 낮게 산정되므로 전요소 크기에 따라 과대 및 축소설계가 될 수 있다. 따라서 해당 공사에 적용되는 단면에 따라 적정 크기의 전요소 크기를 적용하여 신뢰성 있는 침투해석 결과를 산정해야 한다.

- (4) 파이핑 안정성 평가방법은 단면을 형상하는 재료에 대한 투수계수( $k$ ), 비중( $G_s$ ), 유효 입경( $D_{10}$ ), 중력가속도( $g$ ), 간극비( $e$ )에 대한 영향으로 재료에 대한 한계유속과 한계동수경사를 산정한 값에 침투해석으로 산정된 최대유속과 최대동수경사와의 비로 안전율을 산정하는 방법을 말한다.
- (5) 파이핑 안정성 평가방법 중 한계유속법은 Justin법, Sughii법, Schmieder법이 있으며, 이론식에 대하여 투수계수( $k$ )에 1/4승 만큼 작은값을 제안하여 다른 평가방법보다 낮은 안전율이 산정되는 Schmieder법을 적용하는 것을 표준으로 한다. 한계유속법으로 파이핑 안정성 평가 시 기준안전율( $F.S = 1.0$ )보다 과하게 큰 값이 산정되므로 한계유속법 한가지만으로 파이핑 안정성 평가는 검토 실효성이 없으므로 항상 한계동수경사법 또는 크리프(Creep)비법(특별한 경우 적용)과 병행하여 사용하도록 한다.
- (6) 한계동수경사법은 파이핑 안정성 평가시 한계유속법과 크리프비법에 비해 신뢰성 있는 평가결과가 산정되나 침투해석시 해석격자망의 개수에 영향을 많이 받으므로 침투해석에 의한 최대동수경사 산정시 적용되는 전요소 크기(Approximate global element size)는 침투해석에서 제시하는 값을 사용한다.
  - \* 전요소 크기(Approximate global element size)는 단면의 형상 및 침투해석 값의 신뢰성 등을 고려해서 제체높이( $h$ )의 1/10을 적용하는 것으로 한다.(단 1.0m를 초과할 수 없음)
- (7) 침투해석 시 실내시험을 통한 재료별 물성치가 없을 경우 사유를 보고서에 상세히 수록하고 시공 시 보완할 수 있도록 산정비용을 반영하여야 한다.

#### [참고]

배면매립재는 조차가 큰 해역에 축조되는 해안 구조물의 내·외수위차에 의한 침투류로 인해 발생하는 피해를 방지하는 시설로 호안 축조 후 즉시 매립이 시행될 경우 적용한다. 장기 매립계획이 없을 경우 유지관리를 목적으로 해수소통구 설치 등 내·외수위차 저감방안을 수립하여 배면매립재를 미설치하는 방안이 있으나, 해수소통구 설치에 따른 주변해역의 영향 및 호안구조물 주변 지형변화에 대한 연구성과가 없음을 고려하여 장기 투기계획 미 수립 시에도 배면매립재 축조를 표준으로 하며 해수소통구 설치의 주변여건 변화에 대한 면밀한 검토 후 설치하도록 한다.

### 4.3 얇은 기초

이 기준에서 정하는 사항을 제외하고는 얇은 기초에 대한 사항은 KDS 11 50 05 얇은 기초 설계기준(일반설계법)을 따른다.

#### [해설]

이 기준에서 정하는 사항 이외의 내용은 KDS 11 50 05 얇은 기초 설계기준(일반설계법)의 내용과 동일하여 관련 내용은 KDS 11 50 05에 따르도록 하였으며, KDS 11 50 05에서 정하지 아니한 사항은 구조물기초 설계기준(국토교통부, 2016)을 참고할 수 있다.

#### 4.3.1 연직하중에 대한 지지력

- (1) 사질토지반에 대한 지지력 검토는 KDS 11 50 05의 해당 기준에 따른다.
- (2) 점성토지반에 대한 지지력 검토는 KDS 11 50 05의 해당 기준에 따른다.
- (3) 다층지반에 대한 지지력 검토는 KDS 11 50 05의 해당 기준에 따른다.

#### 4.3.2 편심·경사하중에 대한 지지력

중력식 구조물의 기초지반에 작용하는 편심·경사하중에 대한 지지력 검토는 비숍(Bishop)법에 의한 원호활동 해석법에 의하여 산정하는 것을 표준으로 한다. 단, 같은 설계조건에 대해서 확실한 지지력 계산의 실적이 확인되어 있는 산정법에 대해서는 그에 따를 수 있다. 안전율은 구조물의 특성에 따른 적절한 수치로 하며 지반의 강도 정수, 외력 및 하중의 작용형태 등에 대하여 시설의 구조특성 등을 감안하여 적절히 설정해야 한다.

#### [해설]

##### (1) 지지력의 검토방법

중력식 안벽 및 중력식 방파제에는 자중, 토압, 지진력 및 파력 등의 외력이 작용하고, 이들의 합력은 보통 편심 또한 경사로 작용되어 진다. 이 때문에 기초 지지력의 검토에 있어서는, 편심경사 하중에 대한 지지력을 검토하지 않으면 안 된다. 이 경우 보통 중력식 구조물은 기초지반 위에 사석 마운드가 있는 이층구조로 되어 있으며, 검토방법은 이 특성을 충분히 반영하는 것이 필요하다.

종래에는 각종 지지력 산정법을 조합해서 검토하는 방법이 채용되어 왔다. 그러나 실험 내모형실험, 현장실험과 기존의 방파제 및 계선안(繫船岸)의 안정성을 종합적으로 해석한 결과에 의하면, 비숍법에 의한 원호활동 계산이 실제 현상을 잘 재현할 수 있는

것으로 확인되었기에 여기서는 비숍법을 표준으로 하였다(小林正樹, 1987).

(2) 비숍법에 의한 원호활동에 따른 안전율

$$F_s = \frac{1}{\Sigma W \sin \alpha + \left(\frac{1}{R}\right) \Sigma H a} \Sigma \frac{(cb + W' \tan \phi) \sec \alpha}{1 + (\tan \alpha \tan \phi) / F_s} \quad \text{해설 식 (4.3-1)}$$

여기서,  $F_s$  : 비숍법에 의한 원호활동에 따른 안전율

$W$  : 단위길이 당 절편의 전체 중량 (kN/m)

$\alpha$  : 절편 저면이 수평면과 이루는 각도 (°)

$R$  : 원호 활동원의 반지름 (m)

$H$  : 원호 활동원 내의 토괴에 작용하는 수평외력 (kN/m)

$a$  : 수평외력 의 작용점에서 원호 활동의 중심까지의 거리 (m)

$c$  : 점성토 지반에서는 비배수 전단강도, 사질토 지반에서는 배수 조건하에서 겉보기 점착력 (kN/m<sup>2</sup>)

$b$  : 절편의 폭 (m)

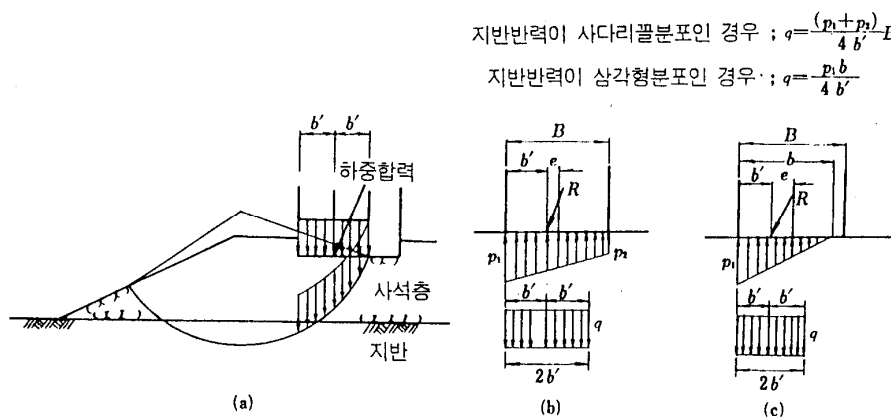
$W'$  : 단위 길이당 절편의 유효중량(흙의 중량과 재하 하중의 합, 수면 아래 부분은 수중 단위 중량) (kN/m)

$\phi$  : 점성토 지반에서는 무시하고 사질토 지반에는 배수 조건하의 내부 마찰각 (°)

## [참 고]

### (1) 비숍법에 의한 원호활동 계산

비숍법은 절편분할법에 의한 원호활동 계산법의 하나이고, 보통 원호활동 계산에서 무시되고 있는 분할편 사이의 절편력을 고려하고 있는 것이다. 이 방법은 보통 원호활동 계산법에 비교하면 정도가 높다. 단 수평인 모래지반에 연직하중이 작용하는 경우에는, 비숍법에 의한 안전율은 과대하게 된다. 이런 점을 고려하여 편심·경사하중이 작용하는 경우에는 비숍법을 적용하는 것을 표준으로 한다. 여기서 편심·경사하중이란 하중경사율이 0.1 이상의 것을 말한다. 활동의 시점은 참고 그림 (4.3-1)(a)와 같이 하중의 합력점에 대해서 가까운 쪽 기초의 끝단과 대칭의 점으로 가정한다.



참고 그림 (4.3-1) 비숍법에 의한 지지력 해석

이 경우 벽체 저면에 작용하는 연직하중은 참고 그림 (4.3-1)(b), (c)와 같이 벽체 저면의 앞과 활동면의 시점 사이에 작용하는 등분포하중으로 환산한다. 수평력은 벽체 저면에 작용시킨다. 단, 지진 시의 계산에 있어서 마운드 및 지반에는 지진력은 작용하지 않는 것으로 한다. 안전율은 보통 원호활동 계산과 같이 전단저항력에 의한 저항모멘트와 외력 및 흙의 중량에 의한 활동모멘트의 비로 나타낸다.

(2) 안전율

보통의 흙구조물에서 설계에 이용되는 안전율은 1.0보다 큰 값을 사용한다. 그러나 기존의 방파제와 안벽의 무사고 및 사고 예를 수집해서 해석한 결과에 의하면, 파압 시의 방파제 및 지진 시의 안벽, 어느 것도 비습법에 의한 안전율이 1.0보다 크게 되면, 마운드 및 지반의 안정은 충분히 확보되는 것으로 확인되었다. 편심경사하중에 대한 비습법 원호 활동계산에 의한 지지력 평가 방법은 정적인 시험에 의해 그 타당성이 확인되었지만, 동적인 하중이 가해지는 파압 시나 지진 시의 경우에 대해서는 여유 있는 안전율의 산정이 필요하다고 할 수 있다. 이와 같은 이유로 파압 시 및 지진 시에 대해서는 안전율의 표준치는 1.0 이상으로 한다. 그러나 현장실험의 결과에 의하면 편심경사하중이 장기간 가해지는 경우, 시간이 경과함에 따라 기초의 변형이 현저히 증가하는 현상을 보여 장기간 하중이 재하될 시 지반 변위가 크게 발생하는 것이 예상된다. 이와 같은 변위의 증가를 피하기 위해서 장기하중이 작용하는 안벽은 평상시에 안전율 1.2 이상을 표준으로 하고 있다[참고 표 (4.3-1) 참조].

방파제는 지진 시 사고 예가 적고 또한 피해의 정도도 적다. 그 이유는 항의 내측과 외측에서 방파제에 작용하는 지진력이 동일하게 발생하는 경우가 많으며, 더구나 하중이 단기간에만 작용하기 때문에 큰 변위가 발생하지 않는 것으로 밝혀졌다. 따라서 보통 방파제에서는 지진 시의 지지력 검토를 하지 않아도 좋다. 다만, 지진 시에 안정이 큰 문제가 되는 방파제에 대해서는 동적 해석에 의한 상세한 검토가 바람직하다.

참고 표 (4.3-1) 편심경사하중의 지지력에 대한 안전율(비습법)

구 분	안벽 등	방파제
평 상 시	1.2 이상	1.2 이상
지 진 시	1.0 이상	1.0 이상
파 압 시	—	1.0 이상

(3) 마운드재 및 기초지반의 강도정수

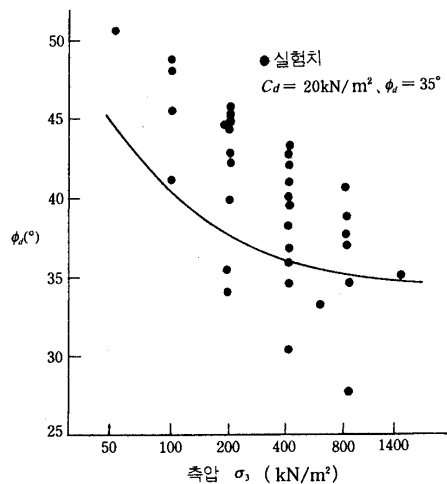
① 마운드재

편심.경사하중을 받는 지지력의 모형실험 및 현장실험의 결과에 의하면, 삼축압축시험에서 구한 강도정수를 사용하여, 비습법에 따른 원호활동해석을 하면 정도 높은 결과를 얻을 수 있다.

또한, 쇄석의 대형 삼축시험에서 입경이 큰 입상체의 강도정수는 균등계수가 같은



유사입도의 재료로부터 구한 강도정수와 대체적으로 같은 것이 확인되고 있다. 따라서 사석의 강도정수를 정확히 추정하기 위해서는 유사입도의 시료를 이용한 삼축시험을 실시하는 것이 바람직하지만, 강도시험을 하지 않을 경우에는 일반적으로 쓰이고 있는 사석의 표준적인 강도정수로서  $C_d=20\text{kN/m}^2$ ,  $\phi_d=35^\circ$ 의 값이 사용된다. 실제의 사석에 있어서는 석재의 품질이나 현장 사석밀도에 따라서 강도에 차이가 발생하는 것이 예상된다.



참고 그림 (4.3-2) 결보기 점착력을 고려한 경우의  $\phi_d$ 와  $\sigma_3$ 의 관계

그러나 사석의 강도정수의 값은 현장에서 보통 쓰이고 있는 사석의 표준 값이므로, 특히 품질에 문제가 있는 석재에 대하여 강도정수를 선정할 때에는 주의가 필요하다. 그리고 여기서 표준치는 쇄석의 대형삼축시험 결과에서 약간 안전측으로 구한 값이고, 기존 방파제 및 안벽의 해석결과로 보아도 타당한 값이다. 이 경우의 강도정수로서 점착력  $C_d=20\text{kN/m}^2$ 가 고려된 것은, 쇄석의 역학시험결과에 의하면 석재의 강도는 참고 그림 (4.3-2)에서 삼축시험의 구속압축압에 따라 변화하여 구속압이 크게 되면 입자파쇄가 발생하고 강도가 감소하는 경향이 명확하게 나타나기 때문이다.

이 그림은 각종 쇄석에 관한 실험결과를 종합한 것이지만, 그림 중에 실선으로 표시되어 있는 값은 결보기의 점착력  $C_d=20\text{kN/m}^2$ ,  $\phi_d=35^\circ$ 로 한 값이다. 이 그림에서 나타난 것과 같이 결보기의 점착력을 고려함에 따라  $\phi_d$ 의 구속압 의존성을 반영할 수가 있다.

## ② 기초지반

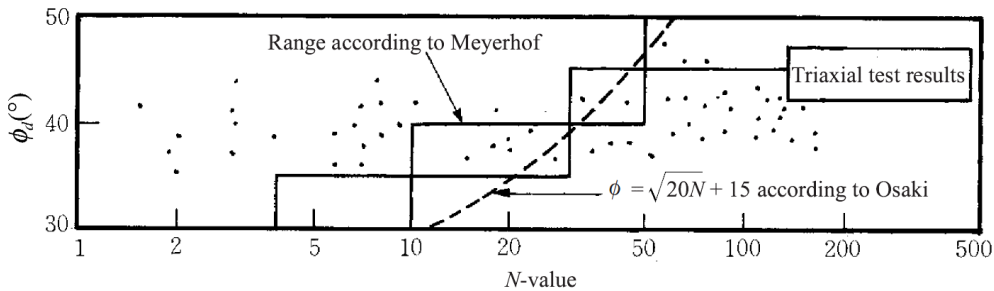
편심 경사하중을 받는 기초의 경우에는 활동면의 깊이가 얕은 경우가 많기 때문에, 기초지반의 표면 부근의 강도가 문제가 된다. 기초지반이 모래인 경우 일반적으로  $N$ 값에서 강도정수를 추정하지만, 지금까지의 추정식은 유효상재압에 대한 보정이 이루어지지 않기 때문에 심도가 얕은 모래지반의  $N$ 값에 의해 구해진 마찰각  $\phi_d$ 는 과소평가되는 경향이 있었다.

참고 그림 (4.3-3)은 일본의 교란되지 않은 모래의 삼축압축시험 결과를 정리하여 기존 제안식과 비교 검토한 것으로,  $N$ 값 10이하의 경우에도  $\phi_d$ 의 값은  $40^\circ$  정도를

얻을수 있다. 또한, 기존 피해사례의 역해석결과, 대다수의 편심경사하중 작용시의 지지력이 평상시가 아닌 파랑이나 지진 등의 동적외력 작용시에 문제가 되는 것을 고려하여 일반적으로 다음의 값이 기초지반의 설계값으로 이용되고 있다.

$N$ 값이 10 미만인 사질토지반  $\phi_d=40^\circ$

$N$ 값이 10 이상인 사질토지반  $\phi_d=45^\circ$



참고 그림 (4.3-3) 교란되지 않은 모래시료의 삼축시험 결과와  $N$ 값의 관계

#### (4) 종래의 지지력 산정식의 적용

종래는 각종의 지지력 산정법을 조합해서 지지력을 검토하는 것이 일반적이었다. 이제 까지 많이 사용되어진 것은 하중분산법과 원호활동계산에 의한 방법의 조합이었다. 상기 조합의 경우도 사석 및 기초지반의 강도정수를 조정함에 따라 구조물의 거동을 재현하는 방법이므로 이제까지 실적이 없는 것을 구조물에 적용하는 것은 부적당하다. 따라서 이제까지 충분히 지지력에 관한 실적이 있는 설계조건에 대해서만 종래의 방법을 적용할 수가 있다.

##### ① 하중분산법

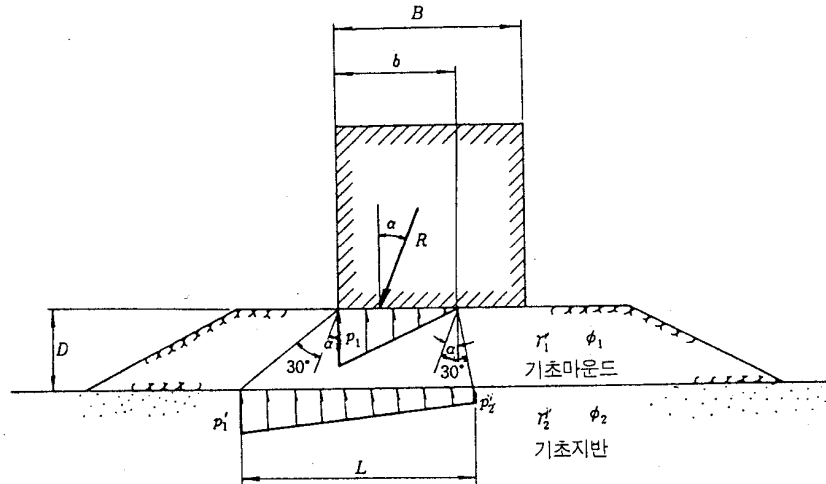
이 방법에서 비탈 어깨폭의 영향을 고려하지 않는 검토방법이지만, 종래부터 두 개 층으로 된 지반지지력의 검토방법으로서 가장 빈번히 사용되어 왔으며 적절한 비탈 어깨폭을 갖는 마운드의 예로서 제체 폭이 약 20m 정도의 범위에서 많이 적용 하였던 방법이다. 다만, 제체 폭이 10m 보다도 작은 경우에는 위험 측의 결과를 갖는다.

이 검토방법은 2단계로 성립된다. 제1단계는 사석 마운드 윗면에서의 검토로 먼저 KDS 64 14 20 프리캐스트 콘크리트 부재(4.1.4.6 완성후의 외력)에 서술된 방법에 의해 사석 마운드 윗면에서의 기초저면 반력분포를 구한다. 이 분포의 최대응력도  $p_1$ (최대접지압이라 한다.  $\text{kN/m}^2$ )과 허용지반지지력  $q_{ta}(\text{kN/m}^2)$ 을 비교하고,  $p_1 \leq q_{ta}$  이면 좋다. 보통 허용지반지지력  $q_{ta}$ 로서 400~500( $\text{kN/m}^2$ )의 일정한 값이 쓰이는 예가 많다.

제2단계로서 기초지반의 지지력 검토를 한다. 먼저, 기초지반 윗면에서의 하중분포를 얻기 위해서는 제1단계에서 구한 기초저면의 반력을 분포시킨다. 이 방법은 참고 그림 (4.3-4)와 같이 분산각도는  $30^\circ$ 를 취한다. 이 경우 기초지반 윗면의 하중분포는 사다리꼴이 되며, 그 최대응력도  $p_1(\text{kN/m}^2)$ 은 참고 식 (4.3-2)에 의해 구하여진다.

$$p_1' = \frac{b}{L} p_1 + \gamma_1 D$$

참고 식 (4.3-2)



참고 그림 (4.3-4) 하중분포

- 여기서,  $R$  : 하중의 합력(kN/m)  
 $\alpha$  :  $R$ 의 경사각( $^\circ$ )  
 $e$  :  $R$ 의 편심량(m)  
 $\gamma_1'$  : 사석의 수중단위중량(kN/m<sup>3</sup>)  
 $D$  : 사석 마운드의 두께(m)  
 $B$  : 사석 마운드 윗면의 제체 폭(m)  
 $b$  : 사석 마운드 윗면에서의 저면반력분포 폭(m)  
삼각형 분포 :  $b = 3 (B/2 - e)$   
사다리꼴 분포 :  $b = B$   
 $L$  : 기초지반 윗면 하중분포 폭(m)  
 $L = b + D[\tan(30^\circ + \alpha) + \tan(30^\circ - \alpha)]$

기초지반이 사질토인 경우에는 이  $p_1'$ 와 사질토 지반에서의 식  $q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D N_q)$  +  $\gamma_2 D$ 의  $q_a$ 를 비교해서  $p_1' \leq q_a$ 가 되면 좋다.

식  $q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D N_q) + \gamma_2 D$ 로  $q_a$ 를 계산할 때 제체 폭  $B$ 로서  $L$ 을 쓰고, 어깨폭이 충분히 큰 경우에는 기초의 근입깊이로 마운드 두께  $D$ 를 사용하며 그 외의 경우는 근입의 효과는 무시한다.

또한, 기초지반의 내부마찰각  $\phi_2$ 는 보통 토압계산에서 쓰이는 값과 같은 값을 쓴다.

기초지반이 점성토인 경우에는, 식  $q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D N_q) + \gamma_2 D$  대신에 점성토

지반에서의 식  $q_a = N_{co} (1 + n \frac{B}{L}) \frac{c_o}{F_s} + \gamma_2 D$ 를 써서 같은 방법으로 검토한다.

이상의 제1단계와 제2단계는 양자를 동시에 만족시켜야 된다. 그리고 제체 폭이 큰 방과제의 경우, 케이슨 저면의 단위 허용지지력  $q_{ta}$ 로서 600 kN/m<sup>2</sup>가 쓰인 예도 있다.

## ② 원호활동계산에 의한 방법

이 방법은 참고 그림 (4.3-1)(a)의 원호활동면을 가정하고 절편분할법에 의해서 원호 활동 계산을 한 것이다. 활동면의 시점은 비숍법과 같이 하중의 합력점에 대해서 가까운 쪽의 기초 끝과 대칭되는 점으로 가정한다. 이 경우, 벽체 저면에 작용하는 연직하중은 참고 그림 (4.3-1)(b), (c)와 같이 벽체 저면의 전면과 활동면 시점의 사이에 작용하는 등분포하중으로 환산한다. 그 하중은 지반 내에 연직으로 활동면까지 전달된다고 생각한다. 수평력은 벽체 저면에 작용시킨다. 또한, 이 원호활동면의 시점을 상기와 같이 가정한 경우에는 다른 어느 곳을 시점으로 하는 원호활동면보다도 최소의 안전율을 나타내는 것이 확인되고 있다. 지반의 내부마찰각은 일반적으로 보통 토압계산에 쓰이는 내부마찰각보다 5° 큰 값을 쓴다.

안전율은 보통 원호활동 계산과 같이 전단저항력에 의한 저항모멘트와 외력 및 토괴 중량에 의한 활동모멘트의 비로 표시된다.

안전율은 평상시, 이상시 모두 1.0 이상이면 된다.

## (5) 침하량에 대해서

안벽과 방과제에서는 침하량에 대해 생각하는 방법이 다르다.

안벽에서는 그 위에 침하가 일어나서는 안 되는 크레인 등의 구조물이 설치되는 일도 있으며, 지진시의 외력에 의한 침하량은 되도록 작게 할 필요가 있다. 방과제에서는 약간의 침하는 기능상 문제가 되지 않는다. 그러나 현실에서는 반복되는 하중에 의해 잔류변위가 뒤따르는 것으로 생각되며, 이때의 잔류변위가 누적됨에 따라 큰 부등침하로 이어지는 위험이 있다. 이 때문에 제체의 손상도 생각된다. 이상과 같이 대형의 안벽 및 방과제 등의 구조물에서는 필요에 따라서 침하에 대한 검토를 할 필요가 있다.

기초지반이 모래층만으로 된 경우에는 즉시침하가 문제되지만, 이런 종류의 침하는 대부분이 시공 중에 일어나고, 기초지반이 점성토인 경우에는 완성 후에도 압밀에 의해서 침하가 진행된다. 어느 경우라도 구조물이 대형이 되면 이들 침하가 크게 되고, 구조물로서의 기능이 손상된다.

특히 침하와 함께 구조물의 경사가 과대하게 될 경우에는 결국 그 기능을 상실하게 된다. 즉시침하에 의한 구조물의 경사량은 지반의 스프링 계수를 가정하거나 지반을 탄성체로 가정하여 검토하는 방법이 있고, 압밀침하에 의한 구조물의 경사량은 압밀 이론에 근거한 계산방법으로 검토하여야 한다. 또한, 상세한 해석을 할 경우에는 유한 요소법에 의한 수치해석을 하는 것이 좋다.

## 4.4 깊은 기초

이 기준에서 정하는 사항을 제외하고는 깊은 기초에 대한 사항은 KDS 11 50 15 깊은 기초 설계기준(일반설계법)을 따른다.

### [해설]

이 기준에서 정하는 사항 이외의 내용은 KDS 11 50 15 깊은 기초 설계기준(일반설계법)의 내용과 동일하여 관련 내용은 KDS 11 50 15에 따르도록 하였으며, KDS 11 50 15에서 정하지 아니한 사항은 구조물기초 설계기준(국토교통부, 2016)을 참고할 수 있다.

## 4.5 말뚝 기초

이 기준에서 정하는 사항을 제외하고는 말뚝 기초에 관한 사항은 KDS 11 50 15 깊은 기초 설계기준(일반설계법)을 따른다.

### [해설]

이 기준에서 정하는 사항 이외의 내용은 KDS 11 50 15 깊은 기초 설계기준(일반설계법)의 내용과 동일하여 관련 내용은 KDS 11 50 15에 따르도록 하였으며, KDS 11 50 15에서 정하지 아니한 사항은 구조물기초 설계기준(국토교통부, 2016)을 참고할 수 있다.

## 4.6 기초의 침하

이 기준에서 정하는 사항을 제외하고는 KDS 11 30 05 연약지반 설계기준을 따른다.

### [해설]

이 기준에서 정하는 사항 이외의 내용은 KDS 11 30 05 연약지반 설계기준의 내용과 동일하여 관련 내용은 KDS 11 30 05에 따르도록 하였으며, KDS 11 30 05에서 정하지 아니한 사항은 항만 및 어항 설계기준·해설(해양수산부, 2014) 및 구조물기초 설계기준(국토교통부, 2016)을 참고할 수 있다.

## 4.7 사면의 안정

### 4.7.1 설계일반

- (1) 자중 또는 재하하중에 의한 사면활동파괴에 관한 안정성은 원호 또는 직선의 활동면을 가정하여 2차원 문제로서 해석한다.
- (2) 사면의 안정해석은 사면의 안정성이 가장 낮아지는 경우에 대하여 실시하는 것으로 한다.

#### [해설]

##### (1) 일 반

사면의 안정해석이란 사면을 구성하는 흙덩어리가 흙의 자중 또는 재하하중 등에 의해서 안정성을 감소하는 경우에 극한 평형의 상태에 대한 안전율을 구하는 것이다. 사면의 안정해석에 쓰이는 계산방법은 흙덩어리의 안정성을 조사하는 것이므로 사면의 안정 외에 기초의 지지력계산에도 사용할 수 있다.

##### (2) 활동면의 형상

###### ① 활동면의 형상의 종류

사면안정해석에 있어서 활동면의 형상에 대해서는, 이론적으로는 직선, 대수선 및 원호의 조합된 형상이 생기는 것이 인정되고 있으나, 실용적으로는 원호활동면 또는 직선 활동면을 쓴다. 또 특히 약한 층이 있고 그곳을 통과하는 활동이 예상되는 경우에는 그 활동면 또는 적당한 형의 활동면을 가정하는 것도 있다.

일반으로 활동면의 형을 가정하는 경우에는 복합활동면에 따라서 흙덩어리가 원활히 미끄러질 수 있는 것이 필요하고, 흙덩어리의 운동이 부자연하게 생각되는 곡선이나 급한 절곡선등을 가정해서는 안 된다.

###### ② 사질토지반의 사면활동

건조된 모래 또는 포화된 모래의 사면의 활동파괴는 보통 사면이 허물어져서 기울기가 감소하는 형을 취하고 원호활동면 보다도 직선활동면을 생각하는 편이 좋다. 원호활동면을 생각하는 경우에도 직선에 가까운 것이 된다. 모래의 사면이 평형상태로 있는 경우 사면의 기울기를 안식각이라고 한다.

이 안식각은 그 사면의 모래 간극비에 대응한 내부마찰각과 같다. 불포화모래의 경우에는 모래중의 물의 표면장력에 의해서 겉보기 점착력을 갖는 것으로 이때 안식각은 건조된 모래나 포화된 모래의 경우보다 크다.

###### ③ 점성토 지반의 활동

점성토의 경우에는 실제의 활동면의 형은 원호에 가깝다. 모래의 사면에서는 활동면이 사면의 표층에 가깝고 얕은 것이 많은데 반하여, 점성토의 경우에는 저부활동 또는 깊은 활동이 많이 생긴다. 사면안정해석은 보통 2차원문제으로써 취급한다. 연장이

긴 사면에 실제로 발생하는 활동면은 3차원의 곡면이 되나 2차원 문제로 하는 편이 안전측이다.

단 유한길이 재하에 의하여 안정성이 감소한다고 생각되는 것과 같은 경우에는 원통형 활동면으로서 측면의 저항을 고려하기도 한다.

### (3) 사면안정해석에 있어서 외력

활동이 생기는 원인 중에 중요한 것은 흙의 자중, 재하하중, 수압 등이다. 이외에는 지진력, 파력 등의 반복하중을 생각할 수 있다.

활동에 저항하는 요소에는 흙의 전단저항, 압성토하중 등이다. 전단강도의 시간적 변화에 관하여 흙의 안정성 문제는 2개의 경우로 분류된다.

즉 정규압밀의 상태에 있는 지반에 재하를 하는 경우와 굴착등 하중의 제거를 하는 경우이고, 전자를 단기 안정문제, 후자를 장기안정문제라고 한다.

제 각기의 경우에 있어서 적절한 강도정수를 쓸 필요가 있다.

## [참 고]

사면안정문제에 있어서 안전율이란 흙의 전단강도와 어느 가정한 활동면에서 생기는 전단응력과의 비를 말한다.

이 안전율의 값은 가정한 활동면에 따라 틀리나, 주어진 조건하에서 몇 개의 활동면을 가정하고 구한 안전율 중에 최소의 것을 그 사면의 활동파괴에 대한 안전율이라 한다.

사면안정해석에 있어서 설계상 확보하여야 할 안전율은 상시 1.3 이상을 표준으로 하나, 동일지반에 있어서 실적 등에서 설계정수의 신뢰성이 높다고 생각되는 경우나 시공 중에 지반의 변위 또는 응력을 관측하는 계측시공을 실시하는 경우에는 1.1 이상 1.3 미만의 안전율로 설계하여도 좋다(土田 孝, 1996).

## 4.7.2 원호활동면에 의한 안정해석

사면의 안정성 검토는 지반의 특성에 따라 간이 Bishop법에 의한 원호활동해석 또는 이 기준의 4.3.2 편심·경사 하중에 대한 지지력에 준한 적절한 방법에 의하여 행하는 것을 표준으로 한다. 이 경우에 있어서 안전율은 지반의 특성, 구조물의 특성 등에 의한 적절한 수치로 하여야 한다.

## [해 설]

사면안정해석에 있어서 활동을 생기게 하는 원인이 되는 것은 흙의 자중, 상재하중, 수압, 파압 또는 지진력 등이고, 활동에 저항하는 요소는 흙의 전단저항 또는 압성토 하중 등이다. 사면의 파괴에 대한 안전율은 흙의 전단강도와 전단력으로 가정한 활동면에 생기는 전단

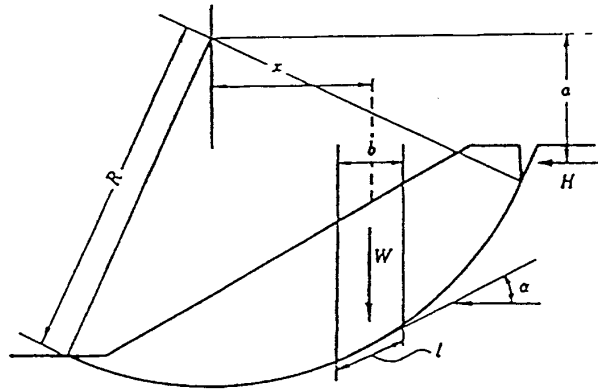
응력의 비로써 정의되나, 원호활동면을 가정한 경우도 원의 중심에 관해서 활동에 저항하도록 활동하는 모멘트(Moment)에 대한 활동을 생기게 하는 모멘트(Moment)의 비로써 계산된다. 원호활동면에 쓰이는 분할법은 활동원내의 흙덩어리를 몇 개의 연직면에 의해서 분할편으로 나뉘, 각 분할편의 저면에 있어서 전단응력과 흙의 저항응력을 계산하고, 전체의 분할편에 대해서 이들의 응력을 가하여 안전율을 쓰는 것이다. 분할법으로는 분할편 사이의 힘의 균형을 해석하기 위해서 정정화조건을 가정할 필요가 있고, 사용되는 가정에 의하여 각종의 방법이 제안되고 있으나 일반적으로 Fellenius법과 간이 Bishop법이 쓰이고 있다.

### [참 고]

(1) Fellenius법에 의한 안정해석법(Scott, 1972; 山口栢樹, 1985; 中瀬明男, 1967)

분할법으로는 각 분할편사이의 연직면에 작용하는 힘의 합력의 방향이 분할편 저변과 평행이라고 가정하는 방법으로, 간편법 또는 Tschebotarioff법이라고도 한다.

원호와 분할편을 참고 그림 (4.7-1)과 같이 나타내면, 수정 Fellenius법에 의한 안전율은 식 참고 (4.7-1)로 구한다.



참고 그림 (4.7-1) 분할법에 의한 원호활동해석

$$F_s = \frac{R\Sigma(cl + W' \cos \alpha \tan \phi)}{\Sigma W \chi + \Sigma H a} = \frac{\Sigma(cb + W' \cos^2 \alpha \tan \phi) \sec \alpha}{\Sigma W \sin \alpha + \frac{1}{R} \Sigma H a} \quad \text{참고 식 (4.7-1)}$$

여기에서 사용되는 기호는 참고 식 (4.7-2)을 따르며,  $l$ 과  $x$ 는 다음과 같다.

$l$  : 각 분할편의 저변의 길이(m)

$x$  : 분할편의 중심과 원호활동의 활동원 중심점과의 수평거리(m)

사면의 안전계산을 하는 데는 먼저 활동원의 중심점을 정하고 이점을 중심으로 하는 활동원 중에 최소의 안전율을 나타내는 것을 구하고, 안전율의 등치선에서 구한 최솟값을 갖고 사면활동파괴에 대한 안전율로 한다.



## (2) 간이 Bishop법에 의한 안정해석법(Bishop, 1955; 山口栢樹, 1985)

Bishop(1955)은 분할편의 연직면내에 활동하는 연직방향 전단력과 수평력을 고려한 안전율의 산정식을 제안하고 있다. 실제의 계산으로는 연직방향 전단력이 균형을 이루고 있다고 가정한 계산법이 자주 사용되고, 수정 Bishop법이라고도 한다.

간이 Bishop법의 안전율  $F_s$ 는 참고 식 (4.7-2)로 계산된다.

$$F_s = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha + \frac{1}{R} \sum H \cdot a} \sum \frac{(cb + W' \tan \phi) \cdot \sec \alpha}{1 + (\tan \alpha \tan \phi) / F_s} \quad \text{참고 식 (4.7-2)}$$

이 식에 있어서  $F_s$ ,  $R$ ,  $c$ ,  $\ell$ ,  $W'$ ,  $\alpha$ ,  $\phi$ ,  $W$ ,  $\chi$ ,  $H$ ,  $a$  또는  $b$ 는 제각기 다음 수치를 말한다.

- $F_s$  : 간이 Bishop법에 의한 원호활동에 대한 안전율
- $R$  : 원호활동의 활동원의 반경(m)
- $c$  : 점성토지반의 경우에 있어서는 비배수전단강도, 사질토지반의 경우에 있어서는 배수조건에 있어서 겉보기 접착력(kN/m<sup>2</sup>)
- $W'$  : 단위길이당 분할편의 유효중량(흙의 중량과 상재하중의 합이며 수면 아래인 경우 수중단위체적중량) (kN/m)
- $\alpha$  : 분할편저면이 수평면과 이루는 각도(°)
- $\phi$  : 점성토지반의 경우에 있어서는 0, 사질토지반의 경우에 있어서는 배수조건에 있어서 내부마찰각(°)
- $W$  : 단위길이당의 분할편의 전중량(kN/m)
- $H$  : 원호활동의 활동원내의 흩덩어리에 작용하는 수평외력(kN/m)
- $a$  : 외력H의 작용점과 원호활동의 활동원점과의 팔(arm)의 길이(m)
- $b$  : 분할편의 폭(m)

## (3) 안정해석법의 적용성(野村健司 등, 1968; 小林正樹, 1976)

간이 Bishop법은 수평에 가까운 사질토지반에 있어서 하중이 연직으로 재하되는 경우에는 과도한 안전율을 준다는 문제가 있다.

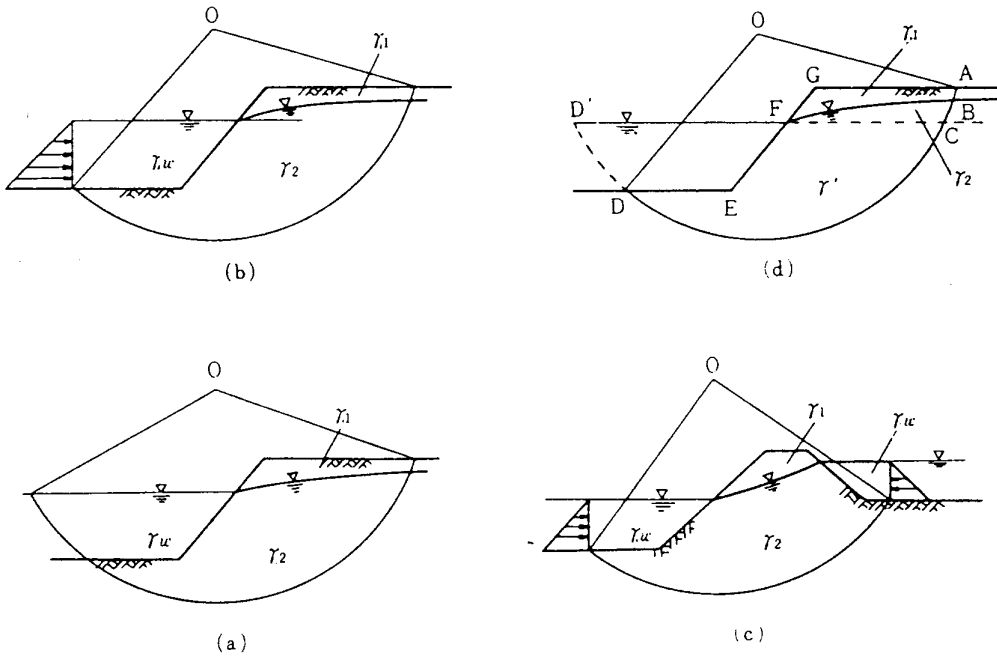
또한  $\phi \neq 0$ 인 기초지반의 경우 기초의 Toe부근에서 활동원의 절편경사가 급한 경우에는  $m_d$  값이 0에 수렴하거나 음(-)의 값이 되는 계산오류(numerical error)가 발생할 수도 있으므로, 힘의 평형 방법에 의한 평형 조건을 모두 만족시키는 방법이나 FEM 등의 다른 방법과 병용하는 것이 필요하다.

## (4) 사면 안정에 영향을 주는 요소

## ① 흙의 중량 및 침투압

안정 계산에 쓰이는 흙의 중량은, 사면에 있어서의 수압조건과 밀접한 관계를 갖고 있다. 지반을 통해서 정상적인 침투류가 있는 경우, 지반에는 중력 이외에 침투압이 작용하여, 이양자가 합성되어서 지층에 작용하는 물체력이 되기 때문이다. 정상적인

침투가 흐르고 있을 때 요소가 받는 물체력은 중력과 침투압이며, 이 양자를 합성하는 방법은 요소의 수중 중량과 침투수압을 합성하거나 혹은, 요소의 흙과 물의 전 중량과 요소의 전 경계면에 작용하는 수압을 합성하는 두 가지 방법이 있다.



참고 그림 (4.7-2) 정상적인 침투수가 있는 경우의 활동 모멘트의 계산

참고 그림 (4.7-2)(d)의 경우는 CDD'FC의 물의 중량은 좌우에 균형이 잡혀 있으므로 토괴 CDEFC에 있어서는 흙의 수중 중량을 취하는 것도 있다. 그러나 이 경우에는 토괴 BCFB 부분은 포화된 흙의 전 중량을 고려한다.

참고 그림 (4.7-2)를 참조해서 안정계산으로 생각되는 흙의 단위중량은 참고 식 (4.7-3)과 같다.

유수표면 상부의 불포화토의 단위중량

$$\gamma_1 = G_s + \frac{S_r \cdot e}{100} \cdot \gamma_w \quad \text{참고 식 (4.7-3)}$$

유수표면 하부의 포화토의 단위중량

$$\gamma_2 = \frac{G_s + e}{1 + e} \cdot \gamma_w = \frac{1 + \frac{W}{100}}{1 + e} \cdot G_s \cdot \gamma_w \quad \text{참고 식 (4.7-4)}$$

유수표면 하부의 포화토에 있어서 부력을 고려할 경우

$$\gamma' = \frac{G_s - 1}{1 + e} \cdot \gamma_w = \gamma_2 - \gamma_w \quad \text{참고 식 (4.7-5)}$$

여기서, $\gamma'$	: 불포화토의 단위중량(kN/cm <sup>3</sup> )
$\gamma_2$	: 포화토의 단위중량(kN/cm <sup>3</sup> )
$G_s$	: 토립자 비중
$S_r$	: 포화도(%)
$e$	: 간극비
$w$	: 함수비(%)
$\gamma_w$	: 물의 단위중량(kN/cm <sup>3</sup> )

흙의 중량은 활동을 일으키는 원인 중 최대의 것이므로, 그 단위중량의 값은 중요하고 정밀한 측정을 요한다.

일반 불포화토의 경우에는  $\gamma' > \gamma_1 - \gamma_w$ 가 되는 것에 주의하여야 한다.

## ② 파력

방파제의 경우와 같이 파력이 제방의 안정성을 감소하는 방향으로 작용하는 경우, 파력을 고려하여 안정계산을 실시하여야 한다. 이 경우 안전율은 KDS 64 45 20의 제체 전체의 안정계산을 참조한다.

## ③ 지진력

지진 시에는 지진가속도에 의한 관성이 사면지층에 가해져 안정성을 감소시키게 된다. 참고 그림 (4.7-3)에 보여준 모래 사면의 요소에 있어서는 수평진도  $k$ 인 지진을 생각하면 모래의 내부 마찰각을  $\phi$ , 안전율을  $F$  라 하면, 사면 경사도  $\beta$ 는 참고 식 (4.7-4)와 같이 된다.

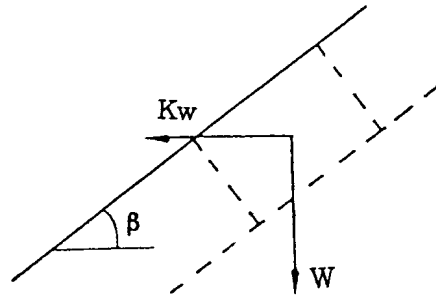
$$\tan \beta = \frac{\frac{\tan \phi}{F} - k}{1 + \frac{k \tan \phi}{F}} \quad \text{참고 식 (4.7-4)}$$

또는

$$F = \frac{\tan \phi \cdot (1 - k \cdot \tan \beta)}{k + \tan \beta} \quad \text{참고 식 (4.7-5)}$$

$F = 1$  이면

$$\tan \beta = \frac{\tan \phi - k}{1 + k \cdot \tan \phi} \quad \text{참고 식 (4.7-6)}$$



참고 그림 (4.7-3) 지진력

따라서 이 경우에는  $F = 1$ 로 안정되는 사면경사도  $\beta$ 는 상시보다 적게 되어  $\tan^{-1}k = \theta$ 로 두면 다음과 같이 된다.

$$\tan\beta = \tan(\phi - \theta)$$

참고 식 (4.7-7)

이상과 같이 모래사면의 경우에는 사면의 경사도가 감소하는 것이 된다. 그러나 지진 시 모래사면의 경사도 감소에 의한 영향은 실제로는 활동파괴 보다는 오히려 모래입자가 흩어져 흘러내린다는 표현에 가까운 것이다. 한편 포화된 모래의 지진 시 액상화 현상을 생각하면 안정계산은 전혀 성립하지 않는 것이 된다. 따라서 모래사면에 있어서 설계진도를 적용할 때에는 우선 액상화 현상이 발생하지 않는다는 가정과 같은 조건이 존재해야 한다. 액상화 현상이 발생하지 않는다고 생각되는 지반에 있는 모래 또는 모래질 자갈 제방구조물에서는 설계진도를 써서 지진력을 계산한 안정계산을 실시한다. 모래 또는 모래질 자갈의 사면 안정해석에서는 다음에 기술할 직선 활동면 해석을 실시할 필요가 있다. 흙이 사질토에서 점성토에 가깝게 됨에 따라서 액상화 현상이 일어나기 어렵게 되어, 지진시의 사면 활동면도 직선에서 곡선으로 변화하는 것으로 생각할 수 있다. 점성토 지반에서는 깊은 활동면이 발생하는 것이 많기 때문에 지진시의 안정해석에서는 지진력이 지배적인 요소가 되는 것이 보통이다. 그러나 이와 같은 경우에는 진도법을 그대로 사면 안정계산에 적용하는 것은 문제가 있다. 즉, 일반적인 점성토 지반에서는 지진가속도가 심도에 따라 감소하며 기계적으로 진도법을 적용한 경우에 위험하게 되는 사면에서도 지진시의 활동파괴의 예가 없는 것이 경험적으로 알려지고 있다. 따라서 지진 시에 사면안정 문제에서 설계진도를 그대로 적용하는 것은 지나치게 안전측이라고 생각된다. 단지 실제의 진도에서 약 200gal의 지진가속도가 발생한 경우, 사질토의 사면 또는 점성토 지반 위에 있는 호안에 활동파괴가 발생한 예도 있다. 모래 및 사질점토로 만들어진 실물 크기의 제체에 대한 진동실험에 의하면 200~300gal의 가속도를 받은 경우에도 활동파괴는 발생하지 않으나, 천단이나 사면 상부에서 진동이 증폭되고 침하와 현저한 균열이 발생하고 있는 점은 내진상 무시할 수 없는 현상으로 생각된다. 이와 같이 사면의 지진 시 안정문제에 있어서는 불명확한 점이 많고 해석방법은 아직 확립되지 않고 있다. 그러나 지진 시에는 안전율을 저하되는 것이 확실하므로 큰 설계진도를 적용하는 경우에는 상시의 안전율을 되도록 크게 하여 두는 것이 필요하다.

## 4.7.3 원호활동면 이외의 활동면을 가정하는 안정해석

지반의 조건에 의하여 원호활동면 이외의 면을 가정하는 것이 적절한 경우는 직선활동면이나 복합활동면을 고려한 안정해석을 실시한다.

## [참 고]

직선면을 가정하는 경우 직선활동면의 사면활동 파괴에 대한 안전율은 다음 식에 의하여 산정한다[참고 그림 (4.7-4) 참조].

$$F = \frac{\Sigma(c\ell + W' \cos\alpha - H \sin\alpha) \tan\phi}{\sin\alpha \Sigma W' + \cos\alpha \Sigma H} \quad \text{참고 식 (4.7-8)}$$

여기서, F : 활동에 대한 안전율

c : 흙의 점착력(kN/m)

$\phi$  : 흙의 내부마찰각(°)

$\ell$  : 분할편의 저변장(m)

W' : 단위길이당의 분할편의 유효중량(수중부분에 대하여는 수중단위체적중량)(kN/m)

$\alpha$  : 분할편 저변의 기울기[참고 그림 (4.7-4)에 나타나는 경우는 정으로 한다](°).

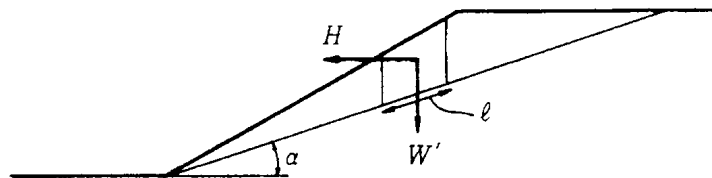
H : 사면에 가해지는 단위길이당의 수평외력(수압, 지진력, 파압 등)(kN/m)

활동파괴에 관한 안전율은 상시는 1.2 이상, 지진 시는 1.0 이상을 표준으로 한다.

(1) 모래질 자갈의 사면 안정해석에는 직선 활동면을 가정하는 것이 많다. 특히, 지진시의 모래질 자갈의 사면에서는 직선 활동면 방법이 활동파괴의 실정에 적합하다고 생각하고 있다.

(2) 토압을 고려한 안정 문제

제체 구조물의 안정문제나 근입되어 있는 구조물의 전체 안정을 검토할 경우에는 토압 등에 의한 경사지반의 수평방향의 안정성을 검토한다. 토압의 문제는 수동 또는 주동 파괴면으로써 직선활동을 고려하게 되는데 경사지반 전체의 안정성을 생각하는 경우에는 일종의 복합 활동문제로서 처리할 필요가 있다.



참고 그림 (4.7-4) 평면활동면에 의한 사면의 안정해석

## 4.8 지반개량공법

이 기준에서 정하는 사항을 제외하고는 KDS 11 30 05 연약지반 설계기준을 따른다.

### [해설]

이 기준에서 정하는 사항 이외의 내용은 KDS 11 30 05 연약지반 설계기준의 내용과 동일하여 관련 내용은 KDS 11 30 05에 따르도록 하였으며, KDS 11 30 05에서 정하지 아니한 사항은 구조물기초 설계기준(국토교통부, 2016)을 참고할 수 있다.

집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전무
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사·연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	상무
	재료·프리스트레스콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전무
	계류시설	이욱한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문맞기·타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전무
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케앤이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총괄	주재욱	(주)평화엔지니어링	고문
	파랑및파력	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	조석	강석구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이윤환	(주)도화엔지니어링	부회장
	지반	임종철	부산대학교	교수
	콘크리트	김우	전남대학교	교수
	방식·도장	라윤강	(주)한국국토안전연구원	원장
	외곽시설	전인식	건국대학교	교수
	표사·연안보전시설	김효섭	국민대학교	교수
	표사·연안보전시설	전인식	건국대학교	교수
	재료·계류시설	이진용	(주)세광종합기술단	사장
	재료·계류시설	정대연	(주)대영엔지니어링	대표이사
	부두포장	정진훈	인하대학교	교수
	내진	박두희	한양대학교	교수
	전문및기타부두	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	어항	이상기	(주)건일	부사장
	마리나	지삼엽	부경대학교	교수
	항로표지시설	이승재	대기해양(주)	상임고문
	항만하역시설	함성진	(사)인천항시설관리센터	소장
	항만전기설비	김세동	두원공과대학교	교수



기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	쿨크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기·타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기·타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 11 00 : 2017

## 지반

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 14 20 : 2017

# 프리캐스트 콘크리트 부재

2017년 8월

### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	• 항만설계기준 제정 • 설계조건, 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록	제정 (1971.12)
항만설계기준	• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정	개정 (2014.04)

제정 : 2017년 8월 16일	개정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호의 정의 .....	2
1.6 시설물의 구성 .....	2
1.7 해석과 설계원칙 .....	2
2. 조사 및 계획 .....	3
3. 재료 .....	3
4. 설계 .....	3
4.1 케이스 .....	3
4.2 직립소파 케이스 .....	34
4.3 하이브리드 케이스 .....	46
4.4 L형 블록 .....	52
4.5 셀룰러 블록 .....	60
부 록 .....	73



## KDS 64 14 20 프리캐스트 콘크리트 부재

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 항만 및 어항시설에 사용되는 프리캐스트 콘크리트 부재에 대한 설계, 시공 및 유지관리 단계에서 필요한 기술적 사항을 기술함으로써 구조물의 안전성, 사용성 및 내구성을 확보하는 것을 그 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

- (1) 이 기준의 규정은 프리캐스트 콘크리트 구조물의 설계, 시공 및 유지관리 단계에서 필요한 일반적이고 기본적인 요구사항을 규정한 것이다.
- (2) 설계는 이 기준에서 제시한 강도설계법을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

#### 1.3 참고기준

KDS 11 44 00 공동구  
 KDS 14 20 10 콘크리트구조 해석과 설계 원칙  
 KDS 14 20 62 프리캐스트 콘크리트 구조설계 기준  
 KDS 24 12 10 교량 설계하중조합(일반설계법)  
 KDS 41 10 15 건축구조기준 설계하중

#### 1.4 용어의 정의

- 들고리(Lifting bar) : 케이슨, 콘크리트블록 등을 기중기로 인양하기 위해 강봉이나 케이블 등으로 만든 고리를 말한다.
- 반사율 : 입사파고에 대한 반사파고의 비를 말한다.
- 방충재 : 선박 계류시 구조물 및 선체 손상을 방지하기 위해 설치하는 목재, 고무 등의 완충설비를 말한다.
- 밸러스트(Ballast) : 부유체의 운항시 안정성을 위해 내부에 적재하는 물, 골재 등의 중량물을 말한다.

## 프리캐스트 콘크리트 부재

- 소파블록 : 주로 파력의 감쇠나 반사파의 저감을 목적으로 한 T.T.P와 같은 이형 콘크리트블록을 말한다.
- 슬릿(Slit) : 반사파 저감을 위해 케이슨 벽체에 일정부분 파랑이 통과할 수 있도록 뚫어놓은 개구부를 말한다.
- 유수실 : 소파케이슨의 Slit(개구부)을 통해 해수 및 파랑의 출입이 가능한 격실중 속채움재가 없는 공간을 말한다.
- 홀수(Draft) : 부유체의 정수면에서 부유체 저면까지 물에 잠긴 연직높이를 말한다.
- 기타 용어의 정의는 KDS 14 20 62 프리캐스트 콘크리트구조 설계기준(1.3 용어의 정의)을 따른다.

### 1.5 기호의 정의

내용 없음

### 1.6 시설물의 구성

- (1) 케이슨
- (2) 직립소파케이슨
- (3) 하이브리드케이슨
- (4) L형 블록
- (5) 셀룰러블록

### 1.7 해석과 설계원칙

- (1) 강도설계법으로 프리캐스트콘크리트 부재를 설계할 때 강도감소계수는 KDS 14 20 10 콘크리트구조 해석과 설계원칙(3.3 설계강도)을 따른다.
- (2) 강도설계법을 적용하는 프리캐스트콘크리트의 주요 하중조합의 하중계수는 다음을 따른다.

$$U = 1.4(D + F)$$

$$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + \alpha_H H_v + H_h)$$

$$+ 0.5(L_r \text{ 또는 } S \text{ 또는 } R)$$

$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ 또는 } S \text{ 또는 } R)$$

$$+ (1.0L \text{ 또는 } 0.65W)$$



$$U = 1.2D + 1.3W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ 또는 } S \text{ 또는 } R)$$

$$U = 1.2(D + H_v) + 1.0E + 1.0L + 0.2S$$

$$+ (1.0H_h \text{ 또는 } 0.5H_h)$$

$$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + \alpha_H H_v) + 0.8H_h$$

$$+ 0.5(L_r \text{ 또는 } S \text{ 또는 } R)$$

$$U = 0.9(D + H_v) + 1.3W + (1.6H_h \text{ 또는 } 0.8H_h)$$

$$U = 0.9(D + H_v) + 1.0E + (1.0H_h \text{ 또는 } 0.5H_h)$$

다만,  $\alpha_H$ 는 연직방향 하중  $H_v$ 에 대한 보정계수로서,  $h \leq 2\text{m}$ 에 대해서  $\alpha_H = 1.0$ 이며,  $h > 2\text{m}$ 에 대해서  $\alpha_H = 1.05 - 0.025h \geq 0.875$ 이다.

- (3) 본 기준에 취급하지 않는 프리캐스트콘크리트 부재에 대한 일반적인 설계원칙은 KDS 14 20 62 규정에 따른다.

## 2. 조사 및 계획

내용 없음

## 3. 재료

KDS 14 20 01 콘크리트 구조설계(강도설계법), KDS 64 10 20 재료를 따른다.

## 4. 설계

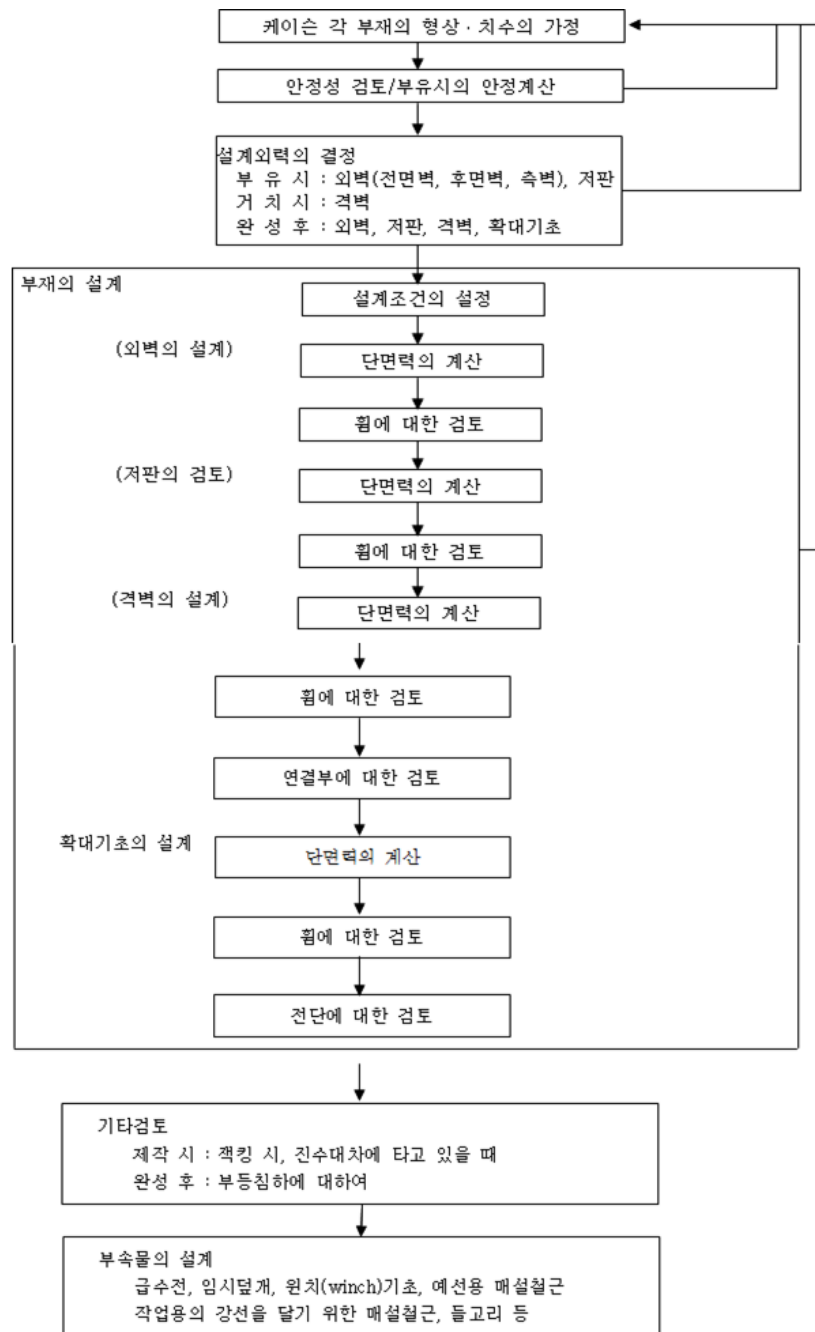
### 4.1 케이슨

#### 4.1.1 케이슨 설계일반

- (1) 이 기준은 통상의 철근콘크리트 케이슨의 설계에 적용한다.
- (2) 설계는 강도설계법에 따르는 것을 표준으로 한다.

[참 고]

- (1) 한계상태설계법이 강도설계법에 비해 합리적인 설계법이나 국내 항만구조물에 적용하기에는 아직 미흡한 부분이 있어 한계상태설계법을 근간으로 하는 콘크리트구조기준이 제정될 때까지는 현행 강도설계법을 따른다. 추가로 한계상태 설계법으로 검토가 필요한 경우에는 설계원칙 및 하중의 조합에 대하여 본 설계기준 부록에 제시된 한계상태설계법을 참고할 수 있다.
- (2) 케이슨의 설계는 일반적으로 참고 그림 (4.1-1)의 순서에 따라 하는 것이 좋다.



참고 그림 (4.1-1) 케이슨의 설계순서

#### 4.1.2 제원의 결정

케이슨 각 부재의 형상, 치수는 다음 사항을 고려하여 설계한다.

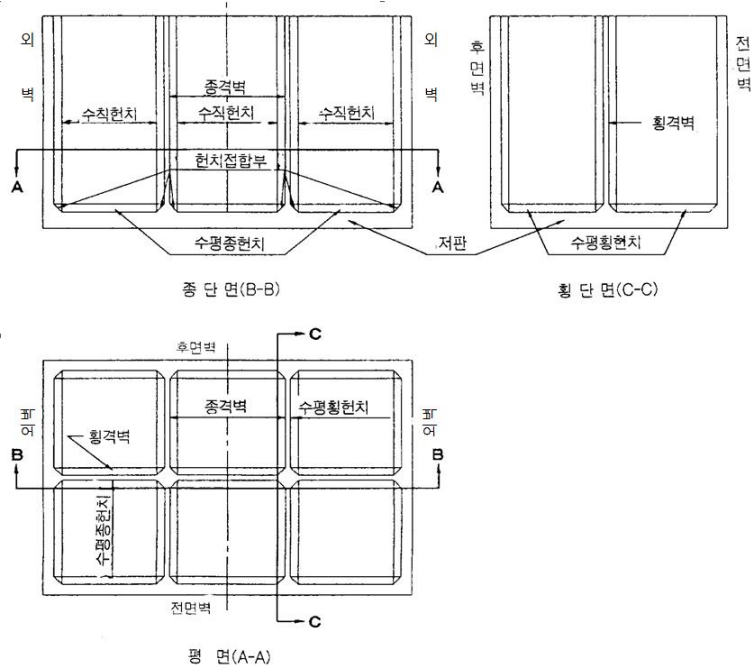
- (1) 케이슨을 제작하는 시설의 능력
- (2) 케이슨의 흡수와 거치장소의 수심[마운드(Mound)마루의 수심]
- (3) 자력으로 부유하는 케이슨의 경우에는 부유시의 안정
- (4) 예항 및 거치시의 작업조건 : 조류, 파랑, 바람 등
- (5) 케이슨 거치후의 작업조건 : 속채움 및 상부공의 시공
- (6) 부등침하의 검토
- (7) 케이슨이 받는 휨, 비틀림의 검토

#### [해설]

- (1) 설계 시는 KDS 64 10 20의 4.1.2 설계계산에 사용하는 강재의 선정, 4.1.3 강재의 허용응력, 4.2 콘크리트 및 이 기준 4.1.4 설계외력 및 4.1.5 부재의 설계에 규정된 사항을 고려한다.
- (2) 케이슨의 길이가 길어지면 잭업(Jack up)이나 부등침하의 경우에 케이슨이 받는 휨, 비틀림 등의 영향이 커지므로 이들에 대하여 검토할 필요가 있다.

#### [참고]

- (1) 케이슨 각부의 명칭을 참고 그림 (4.1-2)에 보여준다. 외벽의 두께는 30~60cm(격벽 간격 5m 이내), 저판 40~80cm, 격벽은 20~30cm정도로 하는 경우가 많다.



참고 그림 (4.1-2) 케이슨 각부의 명칭

## 프리캐스트 콘크리트 부재

- (2) 케이슨의 길이는 길수록 경제적이거나 너무 장대한 케이슨이 되면 조류, 파랑 등이 큰 곳에서는 예항 및 거치가 곤란하고 또 속채움을 단시일에 완료할 수 없어 재해를 입기 쉬우므로 주의를 요한다.
- (3) 거치시의 여유수심은 통상 케이슨의 홀수와 마운드(Mound) 마루와의 차를 0.5m이상으로 하고 있다. 이것은 케이슨의 기울어짐, 요동, 작은 파랑, 홀수 계산상의 오차 등을 반영한 것이다. 이때의 조위는 조수대기에 의한 야간작업 등을 가급적 피하여 시공 시간의 제한을 없애기 위하여 M.S.L 정도로 하는 것이 보통이다.

### 4.1.3 부유시의 안정

자력으로 부유하는 케이슨에 대하여는 전복 또는 기울어지지 않도록 부유시의 안정을 계산한다.

$$\frac{I}{V} - \overline{CG} = \overline{GM} > 0 \quad \text{식 (4.1-1)}$$

여기서,  $V$  : 배수용적( $\text{m}^3$ )

$I$  : 홀수면의 장축에 대한 단면 2차 모멘트 ( $\text{m}^4$ )

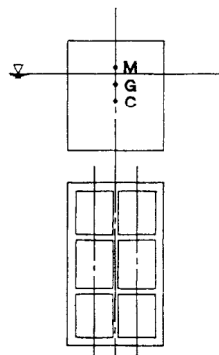
$C$  : 부심

$G$  : 중심

$M$  : 경심

#### [참 고]

안전을 위하여  $\overline{GM}$ 은 홀수(吃水)의 5% 이상으로 한다.



참고 그림 (4.1-3) 케이슨의 안정

- (1) 식 (4.1-1)은 케이슨 단면이 대략 좌우 대칭이고 케이슨에 비교적 작은 기울임 밖에 일어나지 않는다고 생각되는 경우에 적용되는 것이다.
- (2) 카운터 밸러스트(Counter ballast)를 사용하여 예항하는 경우에는 참고 식 (4.1-1)을 따른다.

- ① 카운터 밸러스트(Counter ballast)로 물을 사용할 때

$$\frac{1}{V'}(I' - \sum i) - \overline{C'G'} > 0 \quad \text{참고 식 (4.1-1)}$$

- ② 카운터 밸러스트(Counter ballast)에 모래, 돌, 콘크리트 등을 사용할 때

$$\frac{I'}{V'} - \overline{C'G'} > 0$$

여기서,  $i$  : 각 격실내의 수면에서 케이슨의 회전축에 평행한 중심선에 관한 단면 2차 모멘트 ( $\text{m}^4$ )

$V', I', C', G'$  : 카운터 밸러스트(Counter ballast)시에 각각의 값, 또는 위치

- (3) 한쪽에 확대기초가 있고 밸러스트(Ballast)를 넣어서 평행을 유지하는 경우의 계산식은 참고 식 (4.1-2)에 따른다. (참고 그림 (4.1-4) 참조)

$$W_1 \ell_1 + W \ell_w = F \ell_f \quad \text{참고 식 (4.1-2)}$$

여기서,  $W_1$  : 밸러스트(Ballast)중량 (kN)

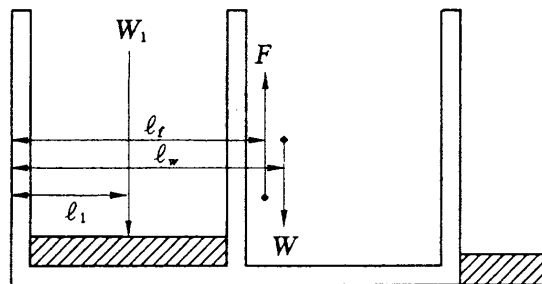
$W$  : 케이슨중량(확대기초 중량포함)(kN)

$F$  : 케이슨(확대기초포함)에 작용하는 부력 (kN)

$\ell_1$  : 케이슨 외벽 외측으로부터  $W_1$ 의 작용점까지의 거리 (m)

$\ell_w$  : 케이슨 외벽 외측으로부터  $W$ 의 작용점까지의 거리 (m)

$\ell_f$  : 케이슨 외벽 외측으로부터  $F$ 의 작용점까지의 거리 (m)



참고 그림 (4.1-4) 카운터 밸러스트(Counter ballast)를 넣은 경우의 안정

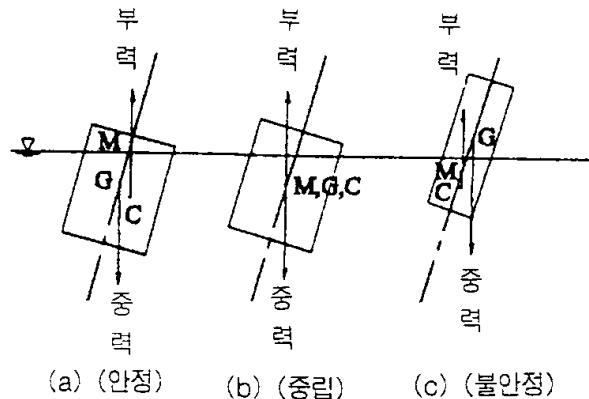
- (4) 일반적으로 이 기준에 기술한 바와 같은 조건을 만족시키는 부체의 평형에는 다음의 3가지 상태가 있다. 참고 식 (4.1-1)은 ①의 안정의 경우에 해당하는 식이다.

①  $\frac{I}{V} - \overline{CG} = \overline{GM} > 0$  안정 [참고 그림 (4.1-5)(a) 참조]

②  $\frac{I}{V} - \overline{CG} = \overline{GM} = 0$  중립 [참고 그림 (4.1-5)(b) 참조]

③  $\frac{I}{V} - \overline{CG} = \overline{GM} < 0$  불안정 [참고 그림 (4.1-5)(c) 참조]

## 프리캐스트 콘크리트 부재



참고 그림 (4.1-5) 부재의 평형

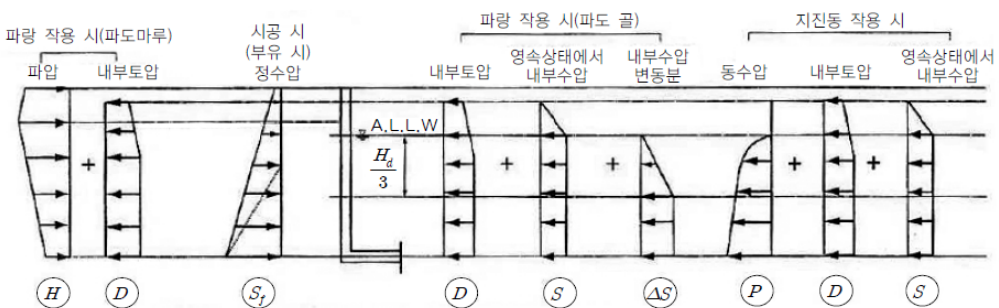
### 4.1.4 설계외력

#### 4.1.4.1 하중의 조합

- (1) 하중의 조합은 방파제에 있어서는 평상시, 파력작용 시, 지진 시, 시공 시에 대하여, 그리고 안벽에서는 평상시, 지진 시, 시공 시에 대하여 검토한다.
- (2) 강도설계법에 대한 강도감소계수(부재계수) 값은 기준 KDS 14 20 10을 따른다.
- (3) 하중조합에서 하중계수값은 이 기준 1.7 해석과 설계원칙을 따른다.

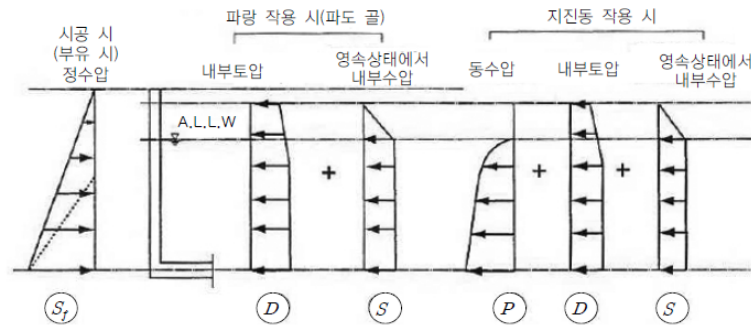
### [참 고]

- (1) 설계에 있어서 고려할 하중의 조합은 참고 그림 (4.1-6)~(4.1-11)과 같다.  
확대기초에 대하여는 저판과 같이 취급해도 좋다.
- (2) 방파제용 케이슨 외벽의 설계하중을 참고 그림 (4.1-6)~(4.1-8)에 나타낸다.
  - ① 전면벽(기준선평행방향 향의 측)



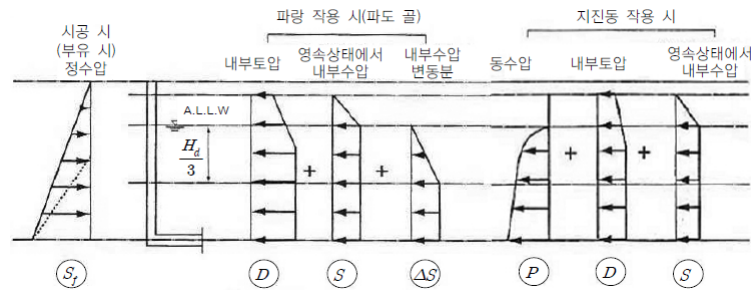
참고 그림 (4.1-6) 전면벽의 설계하중(방파제)

## ② 후면벽(기준선평행방향 향내 측)



참고 그림 (4.1-7) 후면벽의 설계하중(방파제)

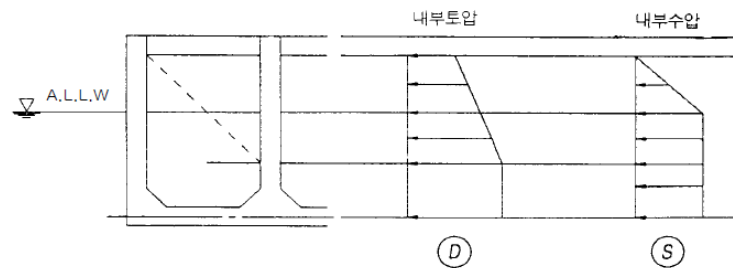
## ③ 측벽(기준선직각방향)

여기서,  $H_d$  : 설계파고

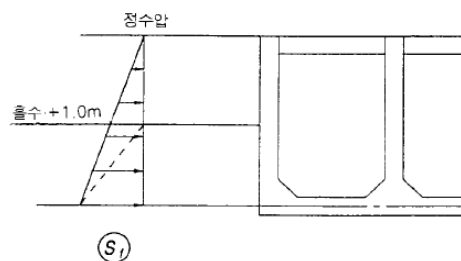
참고 그림 (4.1-8) 측벽의 설계하중(방파제)

(3) 안벽용 케이슨의 외벽의 설계하중을 참고 그림 (4.1-9)에 나타낸다.

## ① 평상시(내부로부터의 하중)

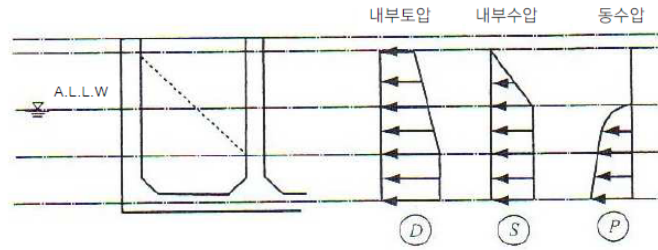


## ② 부유 시(외부로부터의 하중)



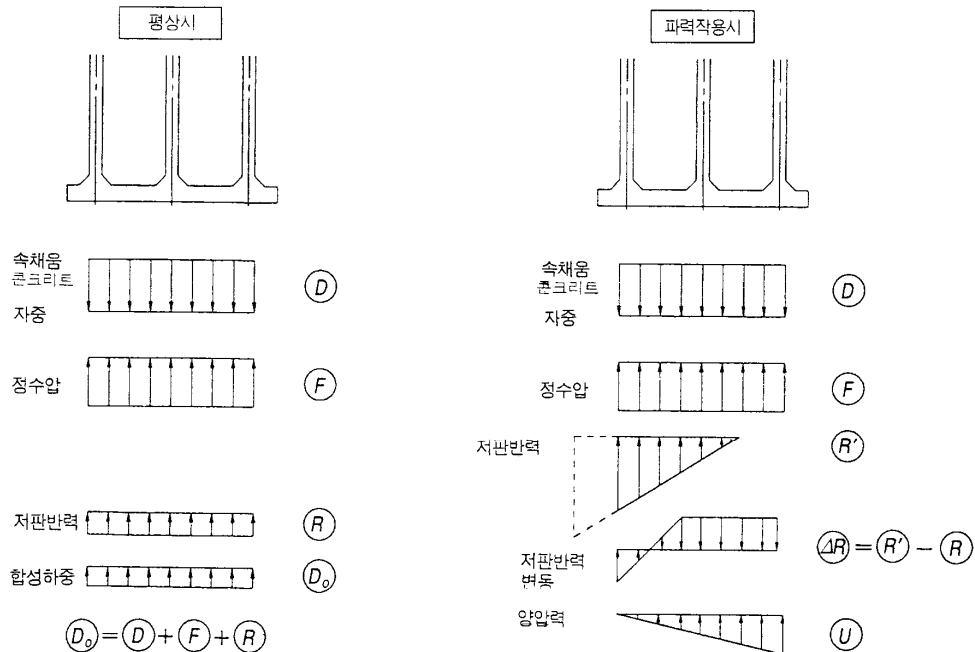
## 프리캐스트 콘크리트 부재

### ③ 지진 시(바다 쪽으로의 작용)



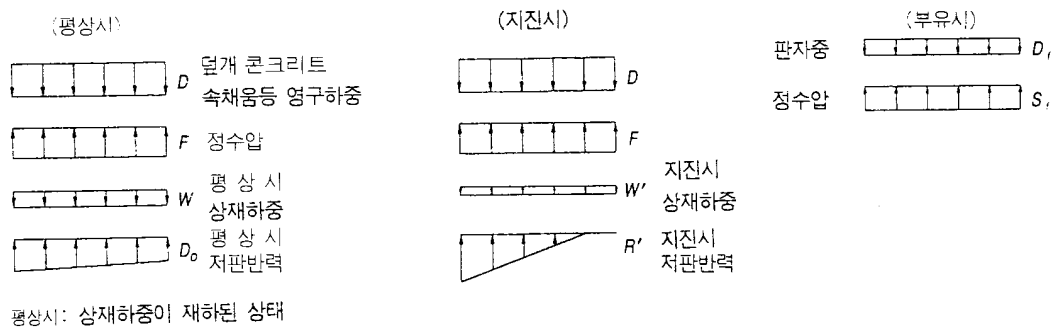
참고 그림 (4.1-9) 외벽의 설계하중(안벽)

### (4) 방파제용 케이슨의 저판설계하중을 참고 그림 (4.1-10)에 나타낸다.



참고 그림 (4.1-10) 저판의 설계하중(방파제)

### (5) 안벽용 케이슨의 저판의 설계하중을 참고 그림 (4.1-11)에 나타낸다.



평상시: 상재하중이 재하된 상태

참고 그림 (4.1-11) 저판의 설계하중(안벽)



#### 4.1.4.2 제작시의 외력

건선거(Dry dock), 부선거(Floating dock)등에서 제작할 경우에는 특별히 제작시의 외력에 대하여 검토할 필요는 없다. 그러나 사로, 케이슨 제작장에서 이동하기 위하여 작업하거나 진수대차에 케이슨을 태우는 경우에는 하중은 집중하중으로 작용시킨다.

#### [참 고]

케이슨 전체를 보로 생각하여 제작시의 검토를 한다. 검토방법에 대하여는 이 기준 4.2.5.5 기타설계를 참조한다.

#### 4.1.4.3 진수 및 부유시의 외력

건선거(Dry dock), 부선거(Floating dock), 통상의 사로(활로 및 대차)의 경우에는 진수 및 부유시의 외력으로서 계산상의 홀수에 여유를 본 정수압을 사용한다. 일시적으로 이 이상의 정수압이 걸릴 염려가 있는 경우에는 별도로 검토한다.

#### [참 고]

- (1) 케이슨을 사로등에서 활주(Slide)시켜 진수하는 경우에는 정수압 외에 동수압이 작용한다. 윈치(Winch) 또는 제동 위치(Post)에 의하여 진수대차에 실은 케이슨을 진수시키는 경우에는 통상 그 속도는 3~5m/min이며 이 정도이면 큰 동수압은 작용하지 않는다. 그러나 케이슨의 앞측은 사로의 경사에 따라서 1~1.5m정도 홀수보다 깊은 정수압을 단시간이지만 받는다.

활로에 의한 진수의 경우는 동수압이 걸리지만 그 값에 대하여는 실측한 예가 없고 일시적 하중이므로 홀수에 1.0m정도의 여유를 보는 것으로 대처한다.

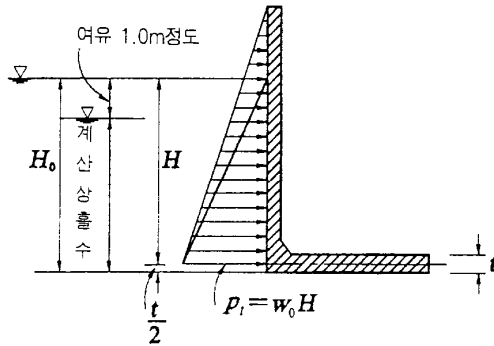
건선거(Dry dock), 부선거(Floating dock)등에서 진수하는 경우에는 함대로부터 저판이 분리될 때 여분의 정수압이 걸린다. 이 양은 통상 10~40cm이다.

또, 케이슨의 콘크리트 타설 중에 거푸집의 팽창으로 인한 홀수의 증대, 철근 콘크리트의 단위체적중량의 계산과 실제 간의 차이에 의한 홀수의 증감도 20~30cm정도이다. 이상을 종합하여 홀수의 여유를 1.0m로 하였다.

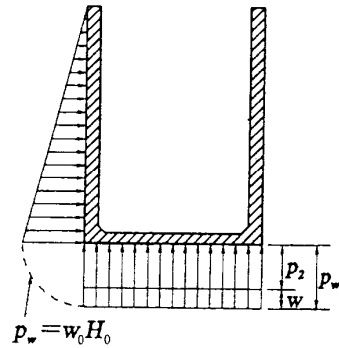
- (2) 외 벽

외벽에 작용하는 수압은 저판중심선에서 상기 정수압을 높이로 하고 마루까지의 거리를 저면으로 하는 삼각형 하중으로 볼 수 있다.(참고 그림 (4.1-12) 참조)

## 프리캐스트 콘크리트 부재



참고 그림 (4.1-12) 외벽에 작용하는 수압



참고 그림 (4.1-13) 저판에 작용하는 외력

외벽계산 시 3변 고정 1변 자유의 계산수표를 사용하거나 프로그램(Program)을 사용하며 이때 부분하중의 계산은 편의상 삼각형하중으로 하였다.

### (3) 저 판

저판에 작용하는 외력은 저판하단에 상기 정수압에서 저판의 자중을 뺀 값을 사용한다 [참고 그림 (4.1-13) 참조].

$$P_2 = P_w - w = w_o H_o - w$$

참고 식 (4.1-3)

여기서,  $P_2$  : 저판에 작용하는 외력(kN/m<sup>2</sup>)

$P_w$  : 계산상의 홀수에 1.0m 정도의 여유를 볼 때에 저판에 작용하는 정수압(kN/m<sup>2</sup>)

$w$  : 저판자중(카운터 밸리스트(Counter ballast)용 속채움 토사 등이 있는 경우 그 중량 포함)(kN/m<sup>2</sup>)

$w_o$  : 해수의 단위체적중량(kN/m<sup>3</sup>)

$H_o$  : 계산상의 홀수에 1.0m 정도의 여유를 본 길이(m)

### (4) 격 벽

통상, 격벽의 두께가 20cm 이상이면 기둥으로서의 지압에 충분히 견딜 수 있으므로 검토를 생략한다.

(5) 활로(滑路)에 의한 진수의 경우 사로의 최종경사가 큰 경우에는 케이슨 전체가 수중에 침몰하므로 임시 뚜껑을 설치할 필요가 있는 경우도 있다.

(6) 기중기로 케이슨을 들어 올려 진수시키는 경우에는 조금구(Lifting device)의 유무에 따라 케이슨 외벽에 걸리는 외력의 상황이 달라지므로 각 경우에 따라 하중에 대하여 검토할 필요가 있다.

## 4.1.4.4 예항시(曳航時)의 외력

케이슨 예항시의 인장력을 고려한다.

## [참 고]

(1) 정수압, 동수압, 파압에 대하여는 검토를 생략할 수 있다.

(2) 예항시의 인장력

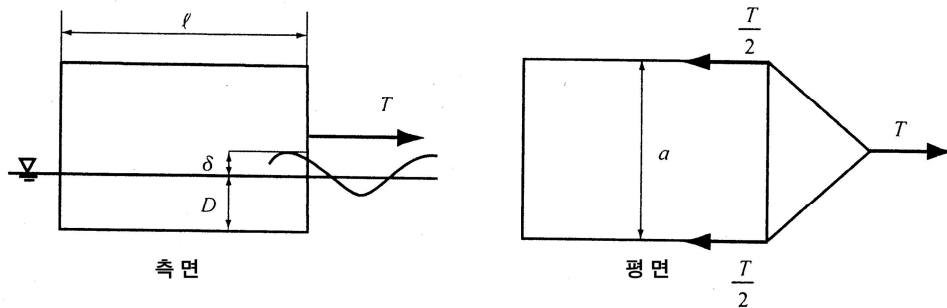
- ① 케이슨 예항시의 인장력은 참고 식 (4.1-4)에 의하여 계산할 수 있다.(참고 그림 (4.1-14) 참조)

$$T = \frac{1}{2g} \rho_0 C_D V^2 A$$

참고 식 (4.1-4)

여기서,  $T$  : 견인력(牽引力)(kN) $C_D$  : 저항계수 $V$  : 예항속도(曳航速度)(m/s) $A$  : 케이슨의 전진방향의 침수면적(浸水面積)(m<sup>2</sup>)

$$A = a \times (D + \delta)$$

 $D$  : 흘수(吃水)(m) $\delta$  : 전면수위(m) $\ell$  : 케이슨 길이(m) $a$  : 케이슨 폭(m) $\rho_0$  : 해수의 밀도(kN/m<sup>3</sup>)

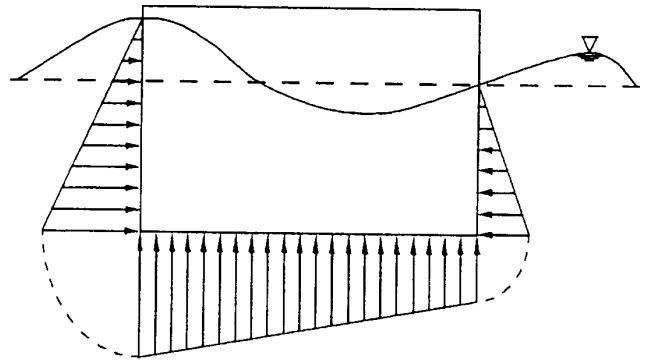
참고 그림 (4.1-14) 예항시의 인장력

- ② 케이슨은 선박과 같은 상부구조가 없고 또, 바람이 극단적으로 강한 경우에는 예항을 하지 않으므로 바람의 저항은 무시하고 유체저항만을 고려한다.
- ③ 항력계수는 흐름에 직각인 면적의 형상에 따라 변동하나 구형판에 대한 것을 채용한다.
- ④ 예항속도는 2~3knot의 경우가 많다.

## 프리캐스트 콘크리트 부재

### (3) 예항시의 수압

일반적으로 압력저항 및 조파저항을 받으나 상당한 파가 있을 때는 예항하지 않으므로 이 기준 4.1.4.3 진수 및 부유시의 외력에서 흘수에 1.0m의 여유를 본 것으로 충분하다고 생각되므로 특별히 검토하지 않기로 한다.(참고 그림 (4.1-15) 참조)



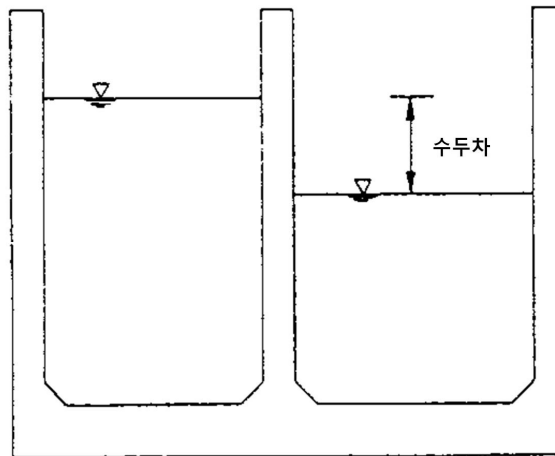
참고 그림 (4.1-15) 예항시의 수압

## 4.1.4.5 거치시의 외력

케이슨 격벽에 대해서는 시공조건을 고려하여 외력을 산정하며 외벽 및 저판에 대한 검토는 생략한다.

## [참 고]

- (1) 외벽 및 저판에 대하여는 거치 시의 외력보다는 부유 시 및 거치 후의 외력 쪽이 더 큰 하중이 되므로 거치 시의 외벽 및 저판의 검토를 생략한다.
- (2) 격벽에 대하여는 시공조건을 고려하여 각 격실간 수두차를 하중으로 한다[참고 그림 (4.1-16) 참조].



참고 그림 (4.1-16) 격실간의 수두차

- (3) 케이슨 침설(沈設)에는 사이폰(Syphon) 또는 펌프로 물을 넣는 방법, 밸브로 물을 넣는 방법이 있으나 밸브로 물을 넣는 경우에는 수두차 1.0m를 보면 충분하다. 사이폰 또는 펌프로 주수하는 경우에도 자주 호스를 이동시키는 등 시공관리를 해서 수두차를 1.0m 이내로 하여야 한다.
- (4) 케이슨 거치는 우선 물을 주수하면서 침설하며 케이슨의 모든 격실의 마루까지 물이 가득 찬 후 속채움재를 투입한다. 이 때 속채움재의 투입 시는 토압차가 생기지 않도록 시공에 배려할 필요가 있다.  
더구나 속채움재는 부력을 받고 있으므로 거치 시의 속채움재에 의하여 격벽에 작용하는 하중으로는 속채움재에 의한 수두차가 주수 시의 수두차의 약 1.6배 이내이면 고려할 필요는 없다.

#### 4.1.4.6 완성후의 외력

##### (1) 외 벽

- ① 외벽에 작용하는 외력에는 속채움 토압과 내부수압을 고려한다.
- ② 방파제용 케이슨의 전면벽에는 파력을 추가로 고려한다.

#### [참 고]

##### (1) 속채움 토압(土壓)

- ① 합계하중 분포는 불규칙한 형상이 되는 경우가 많으므로 설계 시는 이 분포를 등분포하중 및 3각형 분포하중으로 환산하여 계산한다.

- ② 모래의 정지토압계수는 0.6으로 한다.

단 속채움이 블록, 콘크리트 채움인 때는 고려하지 않는다. 속채움이 슬래그 및 쇄석인 경우 지금까지의 연구결과 토압계수가 반드시 저하된다고만 볼 수 없으므로 슬래그 및 쇄석의 경우에도 0.6으로 한다.

- ③ 토압은 벽 안쪽 폭  $b$ 만큼의 깊이까지는 증가하나 그 아래에서는 증가하지 않는다고 본다.[참고 그림 (4.1-17) 참조].

속채움 토압의 증가를 벽의 안쪽 폭과 같은 깊이까지로 한 것은 이전에 토압을 고려하지 않고 설계해 온 사례로부터 속채움 토압을 그대로 적용하는 것은 좋은 방법이 아니라는 생각에서 정한 것이다.

단, 참고 그림 (4.1-17)에서의 기호는 다음과 같다.

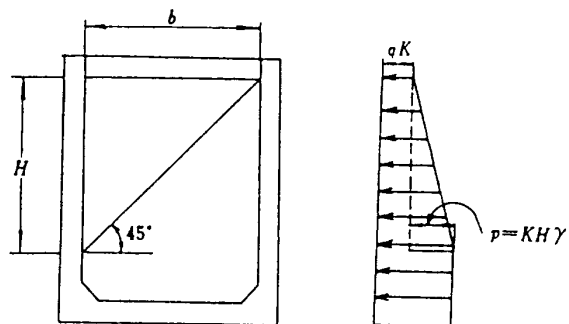
$q$  : 위에서 속채움에 전달되는 상재하중( $\text{kN/m}^2$ )

$\gamma'$  : 속채움재의 수중 단위체적중량( $\text{kN/m}^3$ )

일반적으로  $\gamma'$ 의 설계치는  $10\text{kN/m}^3$ 로 해도 좋다.

$K$  : 속채움 토압계수  $K=0.6$

$b$  : 벽의 내면 폭(m)



참고 그림 (4.1-17) 속채움 토압의 계산 방법

- ④ 케이슨위에 견고한 현장타설 콘크리트 등이 있어 케이슨내부에 재하하중의 영향이 미치지 않는다고 볼 경우에는 재하하중은 고려하지 않는다. 단 현장타설콘크리트의 자중은 고려한다.

(2) 내부수압

내부수압은 케이슨내의 수위와 약최저저조위(A.L.L.W)시의 수두차를 취한다.

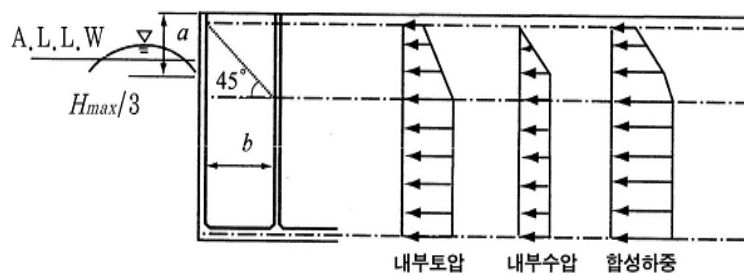
단 방파제에서 기준선평행방향 항외 측 및 기준선 직각방향의 측벽의 벽면에 파곡이 있는 경우에는 외부수위를 A.L.L.W- $(H_{max})/3$ 로 한다. 기준선평행방향 항외 측의 측벽의 벽면에 파봉이 있는 경우에는 내부수압은 고려하지 않는다. 기준선 평행방향 항내 측의 측벽에 대하여는 외부수위를 A.L.L.W로 한다.

- (3) 방파제 케이슨의 기준선 평행방향 항외측의 측벽에 대하여는 벽면에 파봉이 있는 경우에는 파력을 고려한다.

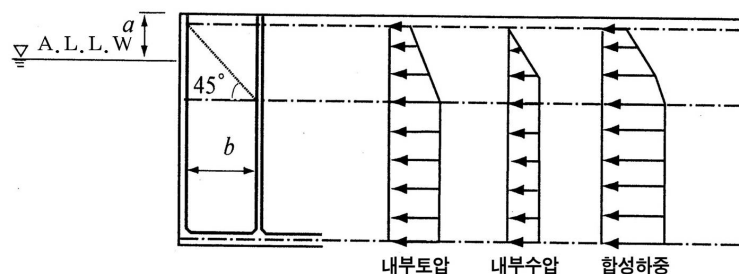
(4) 일 반

구조형식별 내부토압과 내부수압을 취하는 방법은 참고 그림 (4.1-18)에 나타난 바와 같다. 또한 파압 외에 소파블록 피복제에 있어서는 소파블록의 외벽에 대한 충돌, 지역에 따라서는 유빙, 유목 등의 충격력 및 결빙의 영향을 받으나 이들에 대하여는 속채움한 케이슨에 대한 영향이 분명치 않으므로 배근 시 두부를 보장하는 것으로 대처한다.

① 방파제(기준선 평행방향 및 기준선 직각방향)



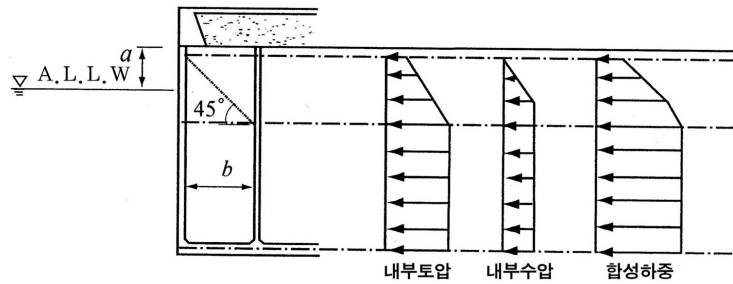
② 방파제(기준선 평행방향 항내 측)



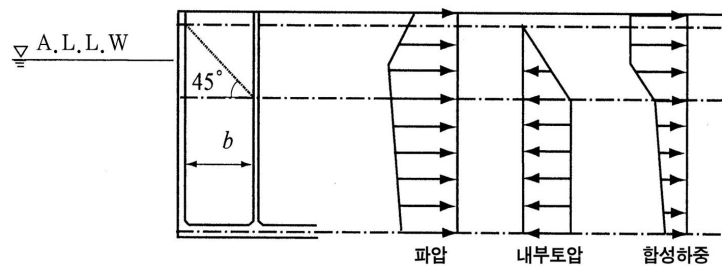
참고 그림 (4.1-18) 내부토압과 내부수압의 취하는 방법

## 프리카스트 콘크리트 부재

### ③ 안벽(기준선 평행 및 직각방향)



### ④ 파력에 의한 외력



참고 그림 (4.1-18) 내부토압과 내부수압의 취하는 방법 (계속)

#### (2) 저판

- ① 외벽, 격벽으로 둘러싸인 고정부에는 저면반력, 정수압, 양압력, 속채움재 중량, 덮개 콘크리트 중량, 저판중량 및 재하하중을 고려한다.
- ② 확대기초에 작용하는 하중에는 저면반력, 확대기초중량(부력을 고려) 및 확대 기초상의 재하하중을 고려한다.

## [참 고]

### (1) 저 판

- ① 합계 하중 분포는 불규칙한 형상이 되는 경우가 많으므로 설계 시는 이 분포를 등 분포 하중 및 3각형 분포하중으로 환산하여 계산할 수 있다.
- ② 저면반력  
제체 또는 벽체에 작용하는 저면반력은 참고 식 (4.1-5), 참고 식 (4.1-6)에 의하여 산정한다[참고 그림 (4.1-19) 참조].

가.  $e \leq \frac{1}{6} b$ 의 경우

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \left( \frac{1+6e}{b} \right) \frac{V}{b} \\ P_2 &= \left( \frac{1-6e}{b} \right) \frac{V}{b} \end{aligned} \right\} \quad \text{참고 식 (4.1-5)}$$

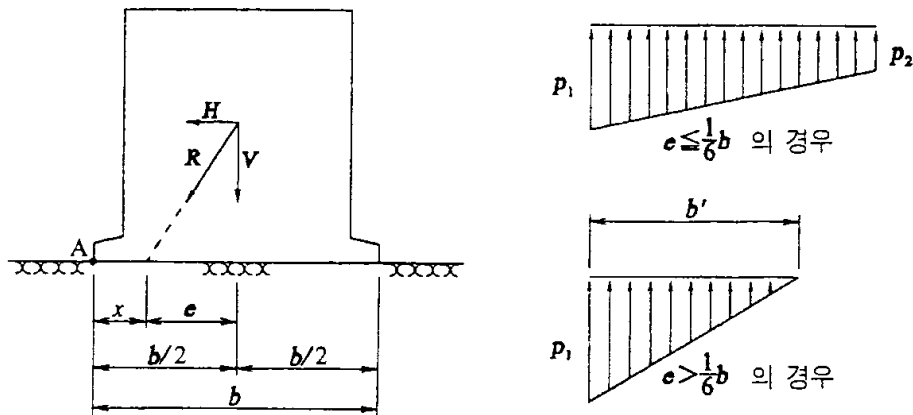


나.  $e > \frac{1}{6}b$ 의 경우

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \frac{2}{3} \frac{V}{\left(\frac{b}{2} - e\right)} \\ b' &= 3\left(\frac{b}{2} - e\right) \end{aligned} \right\} \quad \text{참고 식 (4.1-6)}$$

$e$ 는 식(1.4.5)에 의해 구한다.

$$\left. \begin{aligned} e &= \frac{b}{2} - x \\ x &= \frac{M_w - M_h}{V} \end{aligned} \right\} \quad \text{참고 식 (4.1-7)}$$



참고 그림 (4.1-19) 저판 반력

여기서,	$P_1$	: 앞굽(Toe)에서의 반력의 특성값(kN/m <sup>2</sup> )
	$P_2$	: 힐(Heel)에서의 반력의 특성값(kN/m <sup>2</sup> )
	$V$	: 케이슨 기준선방향 단위길이당의 연직합력 (kN/m)
	$H$	: 케이슨 기준선방향 단위길이당의 수평합력 (kN/m)
	$e$	: 전합력의 편심량(m)
	$b$	: 저부의 폭(m)
	$b'$	: $e > \frac{1}{6}b$ 경우의 저면반력의 작용폭(m)
	$M_w$	: 연직합력에 의한 A점 주위의 모멘트 (kN.m/m)
	$M_h$	: 수평합력에 의한 A점 주위의 모멘트 (kN.m/m)

### ③ 정수압

설계조위에 의하여 케이슨저판에 작용하는 정수압으로 한다.

### ④ 양압력

제체 또는 벽체에 파력이 작용하는 경우에는 양압력을 고려한다. 양압력의 계산에는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3 파랑 및 파력)을 참조한다.

## 프리캐스트 콘크리트 부재

### ⑤ 속채움재 중량

속채움재의 단위체적중량은 사용하는 재료를 시험에 의하여 구한 값을 사용하는 것이 일반적이다.

### ⑥ 덮개 콘크리트 중량

덮개 콘크리트 중량은 부력이 작용하지 않는 대기중량으로 한다.

### ⑦ 저판중량

저판중량은 부력이 작용하지 않는 대기중량으로 한다.

### ⑧ 재하하중

저판에 작용하는 재하하중으로는 케이슨상의 토피중량, 적재하중 등을 고려한다.

단 케이슨위에 현장타설 콘크리트가 있어 케이슨내부에 재하하중의 영향이 미치지 않는다고 생각되는 경우에는 재하하중은 고려하지 않는다.

## (2) 확대기초

① 확대기초에 작용하는 설계하중은 참고 그림 (4.1-20)에 나타난 바와 같은 하중분포를 참고한다.

### ② 저면반력

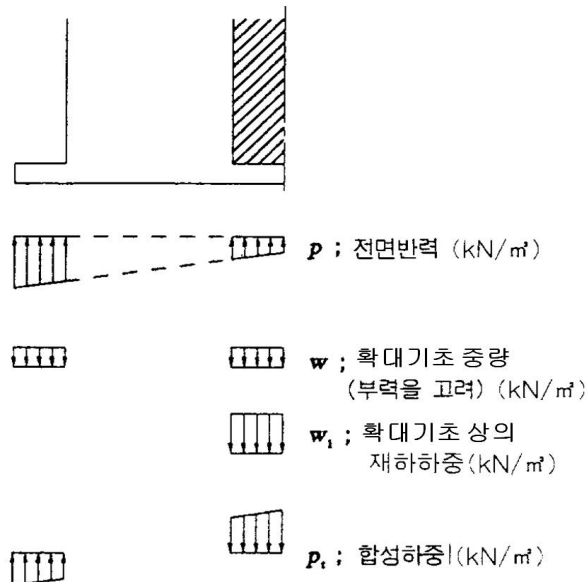
확대기초부에 작용하는 저면반력은 참고 식 (4.1-5) 또는 참고 식 (4.1-6)으로 산출한 확대기초부의 값을 사용한다.

### ③ 확대기초 중량

확대기초의 중량에는 부력을 고려한 수중 중량을 사용한다.

### ④ 재하하중

확대기초상에 작용하는 재하하중으로는 설계수위 이하의 부력을 고려한 방파제 등의 소파블록중량, 안벽 육지 측의 토피중량, 적재하중 등을 고려한다.



참고 그림 (4.1-20) 확대기초에 작용하는 설계하중

## (3) 격벽 및 기타

## ① 격 벽

가. 외벽이 격벽으로부터 떨어져 나가는 것을 방지하기 위한 검토에서 외벽에 작용하는 속채움 토압 및 내부수압을 고려하고 이들이 격벽과 외벽의 접합부에 작용하는 것으로 한다.

나. 저판이 격벽으로부터 떨어져 나가는 것을 방지하기 위한 검토를 할 때 하중으로는 저판에 작용하는 속채움 중량, 재하중, 저판중량, 덮개 콘크리트 중량, 저면반력, 양압력 및 정수압을 고려하며 이들의 격벽과 저판의 접합부에 작용하는 것으로 한다.

② 지반 지지력의 불균형에 의한 하중이 작용할 우려가 있는 경우에는 이에 대한 검토를 한다.

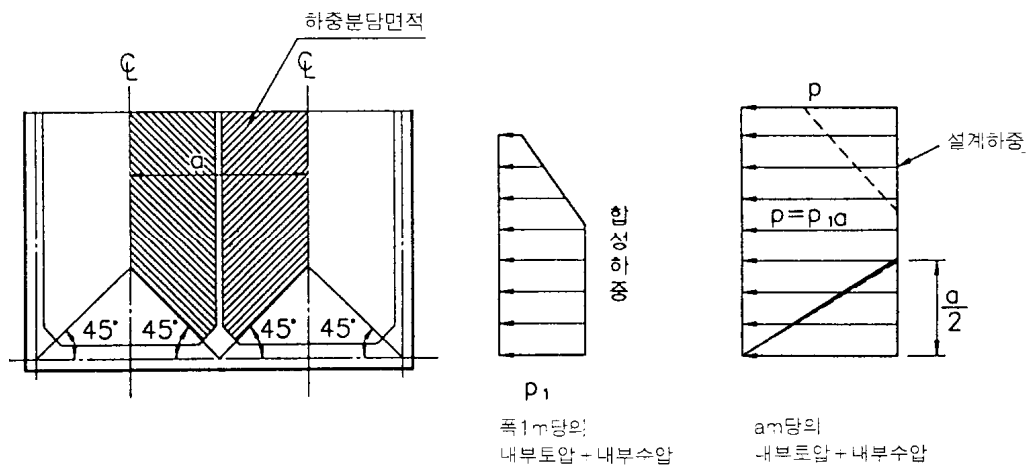
## [참 고]

(1) 외벽이 격벽으로부터 떨어져 나가는 것을 방지하기 위한 검토를 할 때 하중으로는 참고 그림 (4.1-21)에 나타난 바와 같은 하중분포를 참고한다.

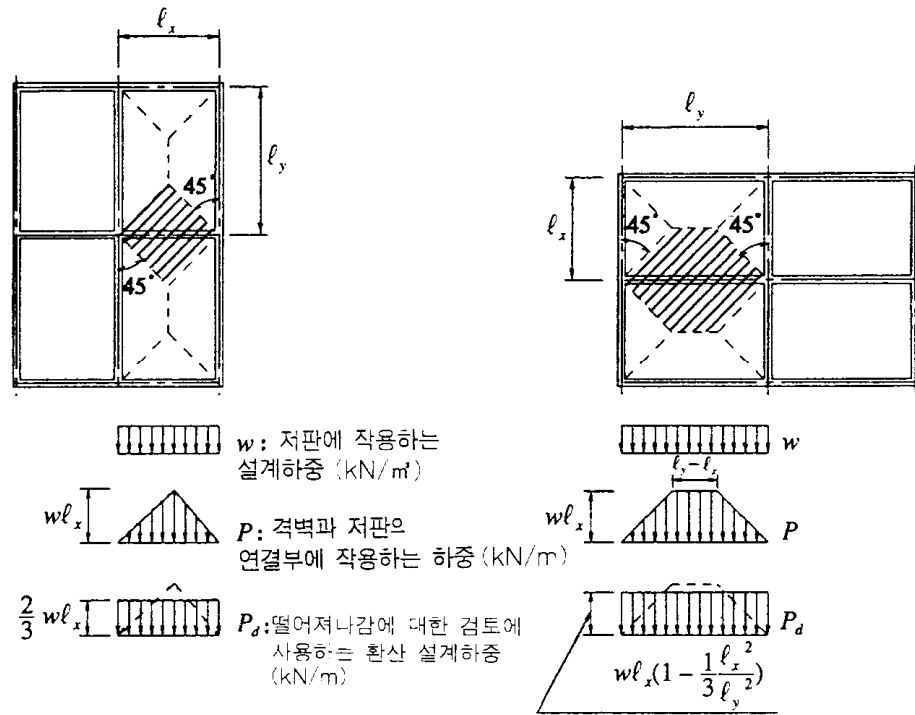
(2) 저판의 격벽으로부터 떨어져 나가는 것을 방지하기 위한 검토를 할 때 하중은 참고 그림 (4.1-22)에 나타난 바와 같은 하중분포를 참고한다.

## (3) 격 벽

하중분담 구분은 통상의 보를 갖는 상판의 하중분담 구분에 따른다.



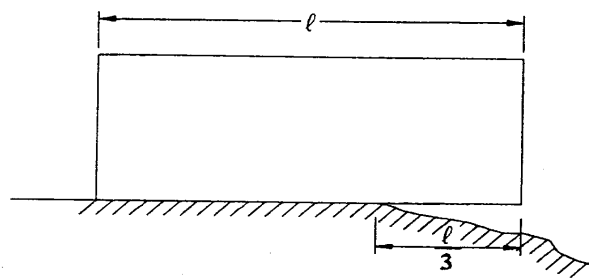
참고 그림 (4.1-21) 외벽의 격벽으로부터의 떨어져 나가는 것에 대한 검토시의 설계하중



참고 그림 (4.1-22) 저판의 격벽으로부터의 떨어져 나가는 것에 대한 검토시의 설계하중

(4) 지반지지력의 불균형에 의한 하중이 작용할 경우의 검토

이 경우에는 케이슨의 길이 또는 폭의 1/3을 캔틸레버로 보고 케이슨 자체의 보의 일체성에 대하여 검토한다. 또한, 지반지지를 기대할 수 있는 부분만을 용수철로 치환하여 구조해석 모델로 적용하여도 된다[참고 그림 (4.1-23) 참조].



참고 그림 (4.1-23) 지반지지력의 불균등에 의한 하중이 작용하는 경우의 검토

지반지지력의 불균등에 의한 하중상태는 여러 가지 경우를 생각할 수 있다. 지반지지력이 불균등한 경우에 있어서의 케이슨의 응력해석이 시도되고 있으나 아직 설계법이 확립되어 있지 않으므로 여기서는 관용적 설계법을 참고로 보여준다.

## 4.1.5 부재의 설계

### 4.1.5.1 부재의 설계일반

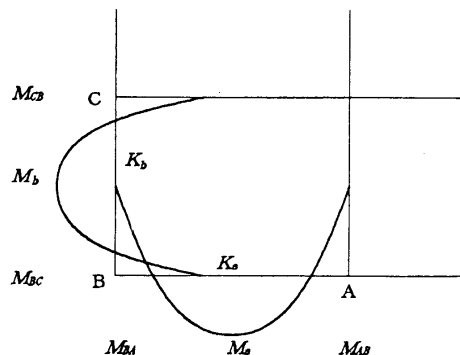
- (1) 부재의 작용모멘트를 구할 경우 케이스 전체를 모델화하여 유한요소법 등에 의한 구조해석 수법을 적용하는 것을 표준으로 한다.
- (2) 단, 부재별 검토가 필요할 경우 휨모멘트 계산표에 의하여 구할 수 있다.
- (3) 설계방법은 강도설계법에 따르는 것을 표준으로 한다.
- (4) 판의 휨모멘트 계산표 이용 시 4.1.5.2 외벽설계, 4.1.5.3 격벽설계, 4.1.5.4 저판설계, 4.1.5.5 기타설계 기준을 적용한다.

### 4.1.5.2 외벽 설계

외벽의 설계는 3변 고정 1변 자유판으로 계산한다. 단, 접합부에 충분한 철근을 배치하고 덮개콘크리트와의 사이에 단면력 전달이 원활하게 이루어질 수 있는 경우에는 4변 고정판으로 계산할 수 있다.

#### [참 고]

- (1) 길이의 비가 1 : 5 이상의 외벽에 대해서는 1 : 5의 판의 값을 사용할 수 있다.
- (2) 외벽과 저판간의 불균형 모멘트는 분배하지 않고 그대로의 값을 사용할 수 있다.
- (3) 계산에 사용하는 지간은 격벽간의 중심 간격으로 한다.
- (4) 외벽간에 고정부로 본 개소에 생기는 불균형 모멘트가 현저하게 큰 경우에는 외벽단부는 판의 강비의 비율로 휨 모멘트를 분배하고 다시 지간 모멘트에 대하여도 분배한 모멘트의 0.5배를 더하여 보정하여야 한다. 또한, 내부의 지점 및 제 1경간 이외에 대하여는 불균형 모멘트분배의 영향이 적으므로 특별히 분배할 필요가 없다[참고 그림 (4.1-24) 참조].
- (5) 외벽간에 생긴 불균형 모멘트의 분배 예  
외벽의 휨 모멘트를 참고 그림 (4.1-24)와 같은 경우 분배후의 모멘트는 참고 식 (4.1-8)과 같이 된다.



참고 그림 (4.1-24) 불균형 모멘트의 분배

## 프리캐스트 콘크리트 부재

$$\left. \begin{aligned} M'_{BA} &= M_{BA} - (M_{BA} - M_{BC}) \frac{K_a}{K_a + K_b} \\ M'_{BC} &= M_{BC} - (M_{BA} - M_{BC}) \frac{K_b}{K_a + K_b} \\ M'_a &= M_a - \frac{1}{2} (M_{BA} - M_{BC}) \frac{K_a}{K_a + K_b} \\ M'_b &= M_b + \frac{1}{2} (M_{BA} - M_{BC}) \frac{K_b}{K_a + K_b} \\ M'_{AB} &= M_{AB} \\ M'_{CB} &= M_{CB} \end{aligned} \right\} \quad \text{참고 식 (4.1-8)}$$

여기서,  $M'_{AB}, M'_{BA}, M'_{BC}, M'_{CB}, M'_a, M'_b$  : 불균형 모멘트 분배후의 휨 모멘트

$M_{AB}, M_{BA}, M_{BC}, M_{CB}, M_a, M_b$  : 불균형 모멘트 분배전의 휨 모멘트

$K_a, K_b$  : 외벽의 강도(강성,  $K = E \cdot I$ )

단, 모멘트는 (+)(-)의 부호를 갖고 있다.

### 4.1.5.3 격벽 설계

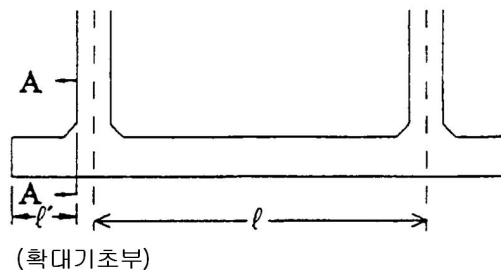
- (1) 거치 시에는 3변 고정 1변 자유판으로 계산한다.
- (2) 거치 후에는 외벽 및 저판의 부재돌출에 대하여 인장하중에 대한 안전성을 확인한다.
- (3) 계산시의 지간은 격벽의 중심간격으로 한다.

### 4.1.5.4 저판 설계

- (1) 외벽, 격벽으로 둘러싸인 부분은 4변 고정판으로 계산한다.
- (2) 확대기초부는 캔틸레버로 계산한다.

#### [참 고]

- (1) 4변 고정부의 계산에 쓰이는 지간은 중심간격으로 한다[참고 그림 (4.1-25) 참조].



참고 그림 (4.1-25) 저판의 설계의 사용하는 지간(Span)

- (2) 확대기초부의 휨 및 전단에 관한 계산에 이용하는 단면은 벽 전면(全面)으로 한다.  
단 사인장형 전단파괴의 검토 단면은 벽 전면이 붙어있는 부분을 단면으로 해도 된다.  
이 경우, 벽 전면에서 부재고의 산정은 현치 부분의 1 : 3보다 완만한 부분을 유효하다고 본다.
- (3) 일반적인 형상의 철근콘크리트 확대 기초의 경우에는 케이슨 본체를 강체로 보아서 확대기초에 걸리는 모멘트의 영향은 본체부에는 미치지 않는 것으로 한다.

#### 4.1.5.5 기타 설계

케이슨을 이동시키기 위하여 잭 등으로 들어 올리는 경우 또는, 거치 후의 부등침하 등에 대하여는 케이슨 전체를 보로 보고 검토 한다.

#### [참 고]

- (1) 이 경우에는 다음의 방법 중 하나를 써서 검토할 수 있다.
- ① 철근을 고려한 유효환산 단면적을 기본으로 하며 철근 콘크리트의 응력을 검토하는 방법
  - ② 콘크리트도 인장하중을 받는 것으로 하여 검토하는 방법 또한, 저판에 대하여는 편칭전단에 대하여 검토.
- (2) (1), ①의 방법  
유효환산 단면의 중립축의 위치 및 중립축에 대한 유효환산단면의 단면 2차 모멘트를 도식적으로 구하여 균등질 재료의 보, 휨 응력계산에 사용하는 식 참고 (4.1-9)에 의하여 검토한다.

$$\sigma = \frac{M}{I}y$$

참고 식 (4.1-9)

여기서,  $\sigma$  : 휨 응력(N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 휨 모멘트(N.mm)

$I$  : 중립축에 대한 유효환산 단면의 단면 2차 모멘트(mm<sup>4</sup>)

$y$  : 중립축으로부터의 거리(mm)

#### 4.1.5.6 판의 휨모멘트 계산표

판의 휨 모멘트 계산수표에 대하여는 이 기준 부록을 참조한다.

#### 4.1.6 리프팅(Lifting)부의 설계

##### 4.1.6.1 리프팅(Lifting)부에 작용하는 하중

들고리(Lifting bar)에 작용하는 하중은 케이슨의 중량, 저면에 작용하는 부착력 등을 고려하여 정한다.

#### [참 고]

- (1) 조금구(Lifting frame)를 사용하여 진수하는 경우의 리프팅부의 설계에 사용하는 하중은 참고 식 (4.1-10)에 의하여 구한다.

$$P = \frac{(W + W' + F)}{N \sin \theta} k \quad \text{참고 식 (4.1-10)}$$

여기서,  $P$  : 들고리에 작용하는 하중(kN/본)

$W$  : 케이슨의 중량(kN)

$W'$  : 케이슨 1함당의 부가중량(kN)

$F$  : 케이슨 1함당 저면부착력(kN)

$k$  : 불균등계수

$N$  : 들고리 수

$\theta$  : 들고리와 케이슨 상부면이 이루는 각도. 단, 들고리 매입길이 산정에 이용하는 경우 또는 조금구를 설치하는 경우에는  $\theta=90^\circ$ 로 할 수 있다.

단,  $W, W', F$  은 참고 식 (4.1-11) ~ 참고 식 (4.1-13)에 의하여 구한다.

$$W = 24 V \quad \text{참고 식 (4.1-11)}$$

$$W' = 0.05 W \quad \text{참고 식 (4.1-12)}$$

$$F = 3.0 A F \quad \text{참고 식 (4.1-13)}$$

여기서,  $V$  : 케이슨 콘크리트의 설계체적(m<sup>3</sup>)

$A$  : 케이슨의 저면적(m<sup>2</sup>)

- (2) 들고리에 발생하는 하중산정은 일반적으로 사용되고 있는 방법을 나타냈다. 실제 케이슨을 올릴 때 발생하는 하중의 측정결과에 따르면, 불균등계수, 케이슨의 부가중량, 저면 부착력 등 개개의 값에서는 문제가 있지만, 전체적으로는 거의 타당한 값이 실측되고 있기 때문에 참고 식(4.1-11,12,13)으로 산정할 수 있다.
- (3) 불균등계수  $k$ 는 1.8을 표준으로 한다. 실물 케이슨의 리프팅시의 하중측정 결과에 의하면 3,300kN형(8점 리프팅), 9,800kN형(16점 리프팅)의 케이슨에서 최대 불균등계수가 각기 1.24, 1.56으로서 전체의 평균은 1.36이었다.



또한 채용치 1.8은 이것을 초과할 확률이 0.3% 정도인 경우의 값이다. 리프팅 개소수가 적은 경우에는 큰 값을 나타내므로 리프팅 시험으로 판단하고 감소시킬 수가 있다.

실제 측정결과에 따르면 케이슨의 팽창과 내부의 유수(留水)로 케이슨 중량은 설계치보다 약간 크나, 저면부착력이 설계치보다 약간 작기 때문에 전체적으로는 실측된 하중과 설계치는 거의 일치하고 있다.

- ① 케이슨의 단위체적중량을  $24.0\text{kN/m}^3$ 으로 보고 여기에 다시 케이슨 내의 유수를 고려한 경우 케이슨의 팽창량은 3300kN형에서 평균 4.5%, 9800kN형에서 평균 5.8%, 표준편차 2.2%, 전체적으로는 평균 5.5%, 표준편차 2.1%였다. 그래서 케이슨의 부가중량을 케이슨 중량 설계치의 5%로 했다.
- ② 케이슨 저면에 모래를 깔고 거기에 노반지(Underlay)를 부설한 상태에서 저면부착력은  $0\sim 1.2\text{kN/m}^2$ 이고, 평균  $450\text{N/m}^2$ , 표준편차  $470\text{N/m}^2$ 이었다. 그러나 실제로는 저면의 표면형상이나 재료의 영향을 크게 받을 것으로 예상되기 때문에 저면부착력의 설계치를  $3.0\text{kN/m}^2$ 로 했다.

#### 4.1.6.2 일반 강봉(Round bar)을 사용하는 경우

들고리(Lifting bar)에 작용하는 하중은 들고리의 허용전단강도, 매입부 부착강도 등을 고려하여 정한다.

#### [참 고]

- (1) 들고리 설계는 들고리의 허용전단강도 및 들고리의 매입부 부착강도 중에 작은 쪽의 값으로 해서 참고 식 (4.1-14)로 실시할 수 있다[참고 그림 (4.1-26) 참조].

$$\gamma_i \frac{P_d}{\min(T_{1d}, T_{2d})} \leq 1.0 \quad \text{참고 식 (4.1-14)}$$

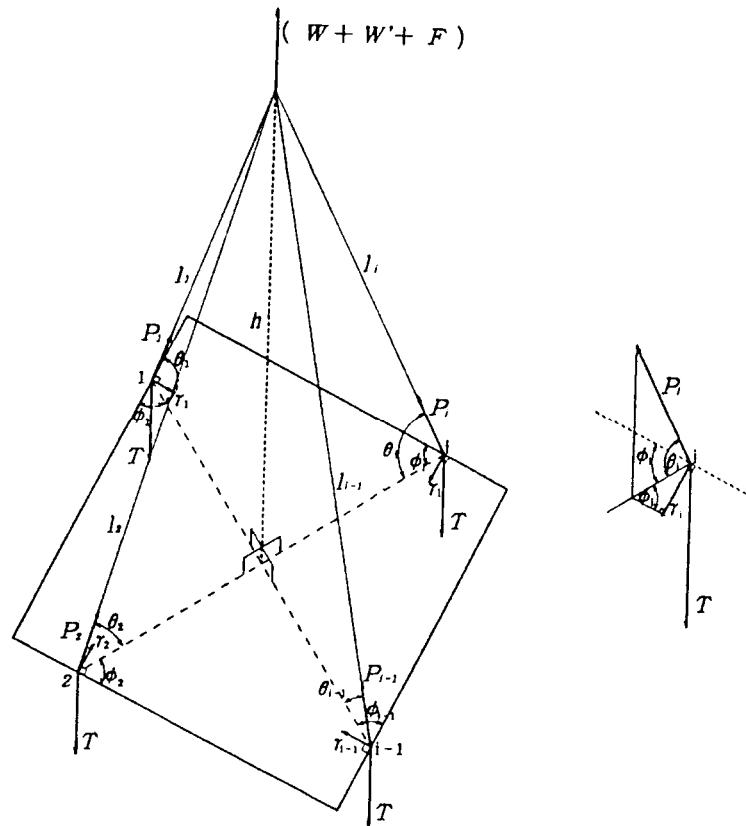
$$T_{1d} = \frac{\pi D^2 f_{vyd}}{2 \times 10^3 \gamma_b}$$

$$T_{2d} = \frac{2\pi D^2 f_{bod} m \alpha l}{10^3 \gamma_b}$$

여기서, $\gamma_i$	: 구조물계수
$T_{1d}$	: 들고리의 허용전단강도(kN)
$T_{2d}$	: 들고리의 부착강도(kN)
$P_d$	: 들고리 1개당 작용하중(kN)
$D$	: 들고리의 지름(mm)

## 프리캐스트 콘크리트 부재

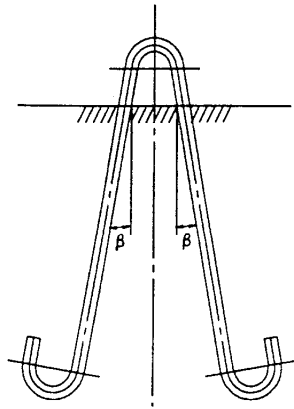
$f_{vyd}$	: 들고리의 전단항복강도(N/mm <sup>2</sup> )
$f_{bod}$	: 콘크리트의 부착강도(N/mm <sup>2</sup> )
$m$	: 후크(Hook) 효과(=1.5)
$\alpha$	: 일반 강봉에 의한 부착 강도를 고려한 계수(=1.1)
$\gamma_b$	: 부재계수(=1.1)



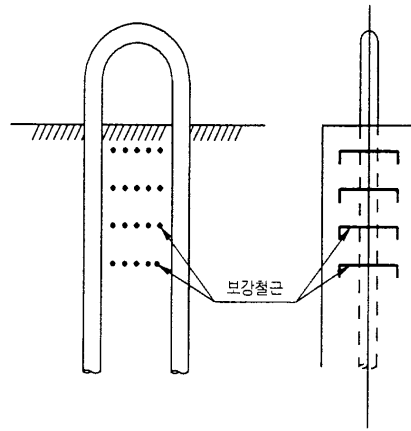
참고 그림 (4.1-26) 직접 매달아 들어 올릴 경우 들고리에 작용하는 하중

- (2) 케이슨의 들고리의 실물대파괴실험에 의하면 케이슨벽에는 파괴하중에 달할 때까지 여러 가지의 균열의 발생이 확인되었다. 그러나 설계하중의 범위에서는 충분히 안전하다는 것이 판명되었으므로 케이슨벽의 파괴에 대한 검토는 생략한다.
- (3) 들고리에 작용하는 하중은 들고리의 직선부와 콘크리트와의 부착력 및 고리(Hook) 정착효과에 의하여 하중이 전달된다. 또, 실험결과로부터 고리시점 하중의 3배가 들고리에 작용하는 하중이 되며 이는 거의 설계하중과 일치한다. 또한 설계하중은 최종적 파괴 하중의 40~60% 정도의 하중이었다. 또, 실험결과에 의하면 파괴하중은 들고리와 콘크리트와의 부착에 의하는 것이 아니라 고리부근 콘크리트의 인장강도에 의하여 지배되고 있었다. 이와 같은 극한 파괴의 메커니즘과 파괴하중의 결과로부터 고리효과로서 하중의 1/3을 분담한다고 해도 충분히 안전이 확보된다고 판단하였다.

- (4) 케이슨의 리프팅시의 부착강도에 관한 실험결과에 의하면 압축강도가  $24.0\text{N/mm}^2$  최대 부착강도는 11일 강도가  $1.2\sim 1.4\text{N/mm}^2$ 이었다.
- (5) 들고리의 강도는 실험결과에 의하면 인장력 외에 휨 모멘트와 전단력의 영향이 크고 상당히 적은 하중에서 항복점에 달하고 있으나 들고리는 일시적으로 사용하는 것이며 또 설계하중의 범위에서는 들고리 파괴의 원인이 되지 않는다는 것이 판명되었으므로  $f_{yd}$ ,  $f_{vyd}$ 의 계산에 의하여 들고리의 직경을 선정하여도 된다.
- (6) 조금구를 사용한 경우 균열을 방지하기 위해서는 참고 그림 (4.1-27)에 나타낸 바와 같이 구조상 발생하는 수평력을 감하는 들고리 형상으로 하는 방법, 및 참고 그림 (4.1-28)에 나타낸 바와 같이 들고리 사이를 보강근으로 보강하여 균열(Crack)의 성장을 억제하는 방법을 취하면 균열의 발생하중은  $880\sim 980\text{kN}$ 으로 되어 효과가 있다.

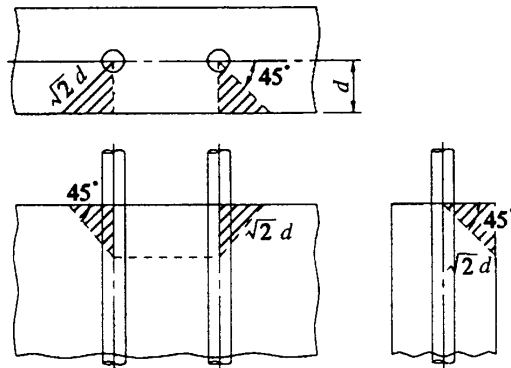


참고 그림 (4.1-27) 들고리의 형상



참고 그림 (4.1-28) 들고리간의 보강방법

- (7) 직접 매달아 들어 올릴 경우에는 들고리 매입부에서 측벽 두부의 전단파괴에 대한 안전성을 검토한다. 측벽 두부의 파괴는 참고 그림 (4.1-29)에 나타난 형상으로 된다고 보고, 측벽 두부의 전단파괴에 대한 안전성 검토는 참고 식 (4.1-15)으로 할 수 있다.



참고 그림 (4.1-29) 외벽의 파괴상황

$$\gamma_i \frac{R_d}{V_{cd}} \leq 1.0 \quad \text{참고 식 (4.1-15)}$$

$$R_d = P_d \cos \theta \sin \phi$$

$$V_{cd} = f_{V_{cd}} A_\tau$$

여기서,  $\gamma_i$  : 구조물계수

$R_d$  : 들고리에 작용하는 측벽 직각방향의 수평력(kN)

$V_{cd}$  : 설계 전단내력(kN)

$\theta$  : 들고리와 케이슨 상부면이 이루는 각도

$\phi$  : 들고리와 케이슨 상부면에 대한 투영선과 외벽이 이루는 각도

$$f_{V_{cd}} : \frac{0.20 \beta_d \beta_p \beta_r \sqrt{f'_{cd}}}{\gamma_b}$$

$$\beta_d : \sqrt[4]{1000/d} \leq 1.5$$

$$\beta_p : \sqrt[3]{100/p} \leq 1.5, p = \frac{A_s}{b \sqrt{2} d}$$

$$\beta_r : 1.0$$

$f_{cd}$  : 콘크리트의 압축강도(N/mm<sup>2</sup>)

$d$  : 들고리 중심부터 수평방향 철근까지의 거리(mm)

$A_s$  : 전단면 내 수평방향 철근의 양(mm<sup>2</sup>)

$b$  : 들고리 간격에  $d$ 를 더한 길이(mm). 단, 들고리 간격은 일반적으로 5D를 넘지 않도록 한다.

$D$  : 들고리의 직경(mm)

$A_r$  : 전단저항면적(mm<sup>2</sup>),  $A_r = b \sqrt{2} d$

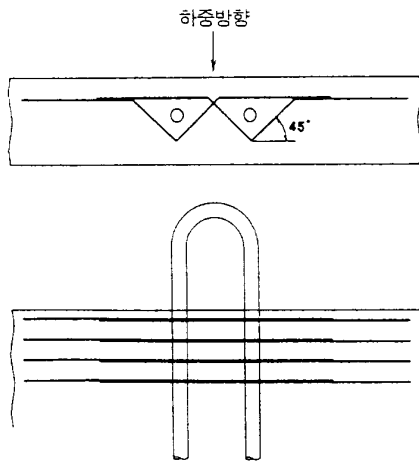
$\gamma_b$  : 부재계수(=1.3)

- (8) 참고 식 (4.1-15)에 의한 설계전단강도가 설계수평하중에 못 미치는 경우에는 외벽두부의 철근량을 증가시키거나 또는 참고 그림 (4.1-30)과 같은 보강방법에 의하여 필요한 전단내력을 확보한다.

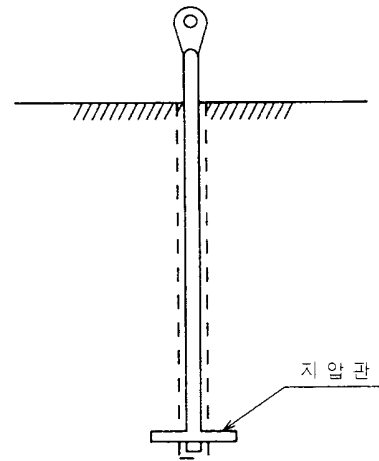
들고리가 수평력을 받는 경우 실험결과에 의하면 케이슨벽의 상면으로부터 들고리의 직경의 3~4배 밑으로 내려간 범위까지 들고리에 휨 응력이 생기므로 보강철근도 이 범위에 2~3단 배근한다.

- (9) 현재 사용되고 있는 참고 그림 (4.1-27)과 같은 들고리는 케이슨 리프팅시(약 15분)에만 필요한 것임에도 불구하고 철거가 불가능하여 비경제적이라 생각되므로 리프팅 후 철거가 가능한 구조의 것이 고안되어 있다.

너트형(참고 그림 (4.1-31) 참조) 및 비너형 고정방법 등 부착력에 의하지 않는 들고리(개량 들고리)의 인장실험에 의하면 시험벽의 두께 40cm, 콘크리트 압축강도 24N/mm<sup>2</sup>, 들고리(재질 SV70, 직경 80mm 및 70mm, 콘크리트 양생일 수 10~11일, 들고리 매입길이 2m의 조건하에서 균열발생 하중은 780~1,200kN, 최대하중은 2,200~2,800kN이며 시험 후 철거가능하고 충분히 사용가능하다는 결과를 얻고 있다.



참고 그림 (4.1-30) 외벽두부의 보강방법



참고 그림 (4.1-31) 개량 들고리의 형상(너트형)

#### 4.1.6.3 고장력 이형강봉을 사용하는 경우

들고리(Lifting bar)에 작용하는 하중은 들고리의 인장항복강도, 매입부 부착정착강도 등을 고려하여 정한다.

#### [참 고]

- (1) 최근 케이슨 등의 들고리에 고장력 이형강봉(異形鋼棒)을 사용하는 경우가 있다. 이런 경우에는 다음과 같은 방법에 의하여 들고리의 계산을 행한다.
- (2) 고장력 이형강봉의 계산은 들고리의 인장항복강도 및 들고리 매입부 부착정착강도 중에 작은 쪽의 값을 이용해서 참고 식 (4.1-16)에 따라 구한다.

$$\gamma_i \frac{P_d}{\min(T_{1d}, T_{2d})} \leq 1.0$$

참고 식 (4.1-16)

$$T_{1d} = \frac{\pi D^2 f_{yd}}{4 \times 10^3 \gamma_b}$$

$$T_{2d} = \frac{\pi D f_{bod} \alpha l}{10^3 \gamma_b}$$

여기서,  $\gamma_i$  : 구조물계수 $T_{1d}$  : 들고리의 허용전단강도(kN) $T_{2d}$  : 들고리의 부착강도(kN) $P_d$  : 들고리 1본당 작용하중(kN)

## 프리캐스트 콘크리트 부재

$D$  : 들고리의 직경(mm)

$f_{yd}$  : 들고리의 전단항복강도(N/mm<sup>2</sup>)

$f_{bod}$  : 콘크리트의 부착강도(N/mm<sup>2</sup>)

$\alpha$  : 이형봉강에 의한 부착 강도를 고려한 계수(=0.9)

$\gamma_b$  : 부재계수(=1.1)

(3) 들고리의 매입길이는 일반적으로 참고 식 (4.1-17)에 따라 구한 길이 이상으로 한다.

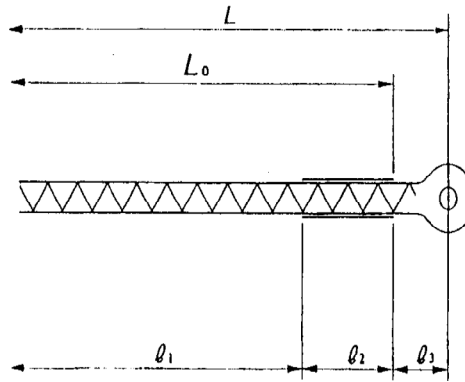
$$L = l_1 + l_2 + l_3$$

참고 식 (4.1-17)

여기서,  $l_1$  : 들고리의 부착 길이(mm)

$l_2$  : 비접착부의 길이  $\geq 6D$ (mm)

$l_3$  : 돌출부 길이(2D~200mm)



참고 그림 (4.1-32) 들고리 매입길이

(4) 들고리의 힌지(Hinge)부에서의 인장항복강도 및 전단강도의 검토를 참고 식 (4.1-18)에 따라 행한다[참고 그림 (4.1-33) 참조].

$$\gamma_i \frac{P_d}{T_{3d}} \leq 1.0\gamma_i, \quad \frac{P_d}{V_{1d}} \leq 1.0$$

참고 식 (4.1-18)

$$T_{3d} = \frac{f_{yd}(2R - dH)t}{10^3\gamma_b}$$

$$V_{1d} = \frac{2f_{vyd} \left\{ 10 + \sqrt{R^2 - \left( \frac{dH}{2} \right)^2} \right\}}{10^3\gamma_b}$$

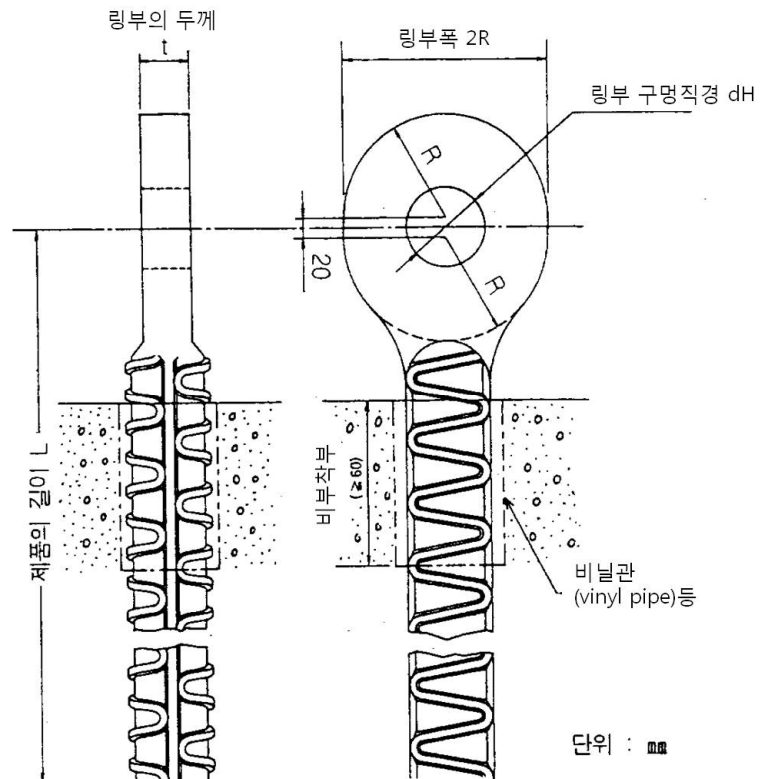
여기서,  $\gamma_1$  : 구조물계수

$P_d$  : 들고리 1본당에 작용하는 하중(N)

$T_{3d}$  : 들고리 힌지(hinge)부의 인장항복강도

$V_{1d}$  : 들고리 힌지(hinge)부의 전단강도

- $R$  : 링(Ring)부 반경(mm)  
 $dH$  : 링(Ring)부 구멍직경(mm)  
 $t$  : 링(Ring)부 두께(mm)  
 $f_{yd}$  : 들고리의 인장항복강도(N/mm<sup>2</sup>)  
 $f_{vyd}$  : 들고리의 전단항복강도(N/mm<sup>2</sup>)  
 $\gamma_b$  : 부재계수(=1.1)



## 4.2 직립소파 케이스

### 4.2.1 직립소파 케이스 설계일반

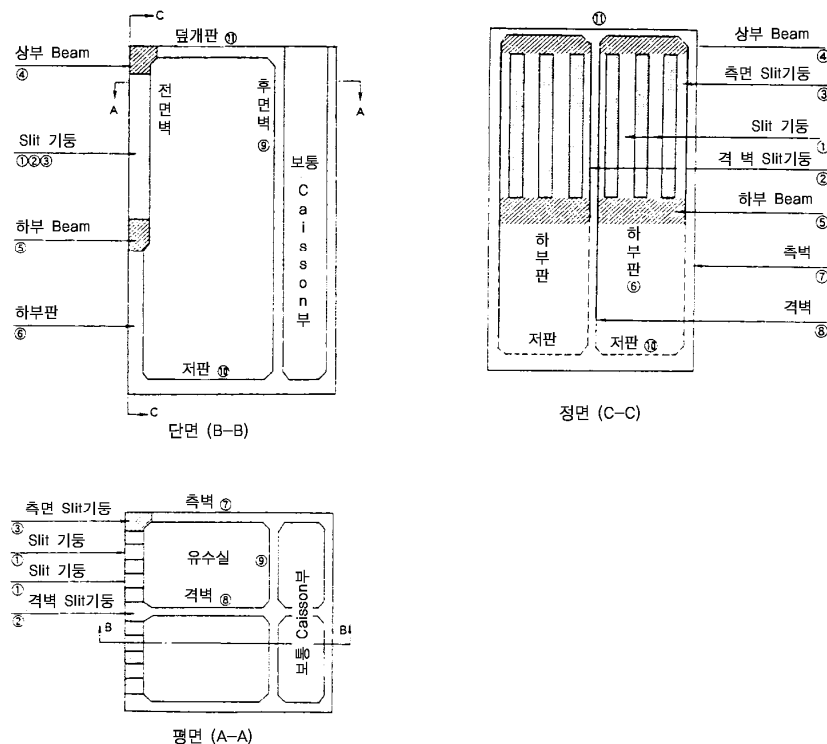
- (1) 이 기준은 안벽, 방파제 및 호안 등에 사용되는 직립소파 케이스의 설계에 적용한다.
- (2) 설계는 이 기준의 4.1 케이스에서 제시된 설계법에 의한 내용을 따른다.

#### [해설]

전면이 슬릿(Slit)형 벽이고 내부에 유수실을 갖고 있어 이에 의하여 소파기능을 갖는 직립소파 케이스가 안벽 및 방파제에 사용되고 있다. 직립소파 케이스의 형상은 현재 여러 가지 구조가 고안되고 있으나 불투과형, 투과형으로 대별되며 슬릿(Slit)의 형상으로는 종 슬릿(Slit)형이 가장 많이 사용되고 있다. 이 이외에도 횡 슬릿(Slit)형, 다공벽형 등의 실시 예가 있다. 부재의 설계 시에는 각종 구조물의 특성을 충분히 조사하여 조건에 부합되는 수리모형실험 등을 한 뒤에 설계를 하여야 한다.

#### [참고]

- (1) 직립소파 케이스의 설계수준은 이 기준 4.1.1 케이스 일반사항 [참고](1)에 준한다.
- (2) 비교적 실시 예가 많은 종 슬릿(Slit) 케이스의 부재 명칭을 참고 그림 (4.2-1)에 보여준다.



참고 그림 (4.2-1) 종 슬릿(Slit) 케이스 각부의 명칭



- (3) 종 슬릿 폭(개구부)은 40~50cm정도가 많다. 슬릿(Slit)폭은 반사율을 극소화하는 개구율을 구하여 정하지만 조개, 조류 등이 부착하여 개구율이 감소하는 일이 있으므로 부근의 기설구조물 등을 사전에 충분히 조사하여 이들 부착물의 두께를 감안하여 슬릿(Slit)폭을 결정해야 한다.
- (4) 일반적으로 슬릿(Slit) 케이슨의 단면은 비대칭이 되고 중심이 편심되는 것이 많기 때문에 크레인에 의한 리프팅(Lifting)시 및 부유 시에 미리 밸러스트(Ballast)를 넣어서 평형을 유지하도록 검토해야 한다. 또 자력으로 케이슨을 부유시키기 위하여 슬릿(Slit)부에 지수관을 설치하는 경우에는 지수효과가 충분히 얻어지도록 지수공의 검토를 해둘 필요가 있다.

#### 4.2.2 부재에 작용하는 외력

- (1) 부재에 작용하는 외력은 상시, 이상 시에 대하여 필요에 따라 다음 것을 고려한다.
- ① 토 압
  - ② 속채움토압
  - ③ 잔류수압
  - ④ 파 력
  - ⑤ 양압력
  - ⑥ 표류물(漂流物)의 충돌력
  - ⑦ 케이슨 및 속채움의 중량
  - ⑧ 상부구조의 중량
  - ⑨ 재하하중
  - ⑩ 방충공반력
  - ⑪ 저면반력
  - ⑫ 시공시의 하중
- (2) 이중 속채움 토압, 파력, 양압력, 방충공반력 및 시공시의 외력에 대하여는 지진의 영향은 고려하지 않아도 된다.

#### [해설]

직립소파 케이슨 부재에 작용하는 파력은 유수실 덮개 판의 유무, 구조에 따라 현저하게 달라진다. 따라서 실제의 설계에 있어서는 과거의 실시 예를 참고하여 검토하는 외에 필요에 따라서 각각의 조건에 대응하는 적절한 모형실험을 행하여 검토하여야 한다.

#### [참고]

- (1) 하중의 조합과 하중계수는 이 기준 4.1.4.1 하중의 조합에 준한다.
- (2) 부재에 작용하는 외력은 KDS 64 10 10 설계조건 4.3 파랑 및 파력을 참조한다.

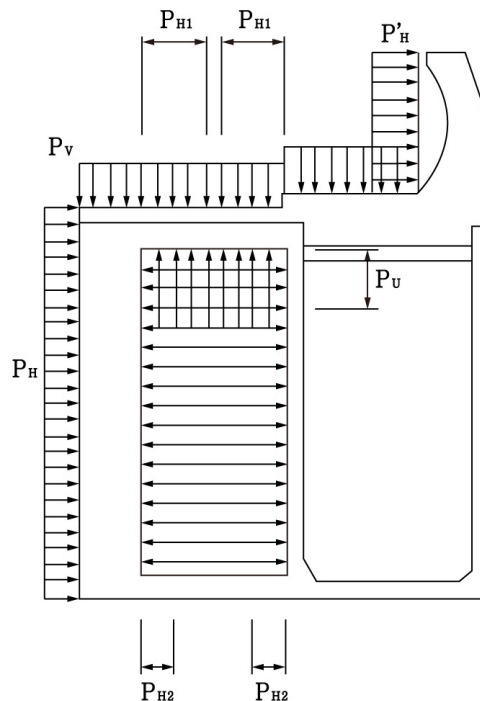
## 프리캐스트 콘크리트 부재

- (3) 직립소파 케이스 부재에 작용하는 파력을 모형실험에 의하여 구한 예를 참고 그림 (4.2-2)에 보여준다.

$$\left. \begin{aligned} P_H &= 1.0 w_0 H_{\max} \\ P'_H &= 1.5 w_0 H_{\max} \\ P_V &= 1.5 w_0 H_{\max} \\ P_U &= 2.0 w_0 H_{\max} \\ P_{H_1} &= 2.0 w_0 H_{\max} \\ P_{H_2} &= 1.0 w_0 H_{\max} \end{aligned} \right\}$$

참고 식 (4.2-1)

- $P_H$  : 전면벽에 작용하는 파압강도( $\text{kN/m}^2$ )  
 $P'_H$  : 상부 파라펫(Parapet)에 작용하는 파압강도( $\text{kN/m}^2$ )  
 $P_V$  : 덮개 판의 하향으로 작용하는 파압강도( $\text{kN/m}^2$ )  
 $P_U$  : 덮개 판의 상향으로 작용하는 파압강도( $\text{kN/m}^2$ )  
 $P_{H_1}$  : 유수실 상부에 작용하는 파압강도( $\text{kN/m}^2$ )  
 $P_{H_2}$  : 유수실 하부에 작용하는 파압강도( $\text{kN/m}^2$ )  
 $H_{\max}$  : 최대파고(m)  
 $w_0$  : 해수의 단위체적중량( $\text{kN/m}^3$ )

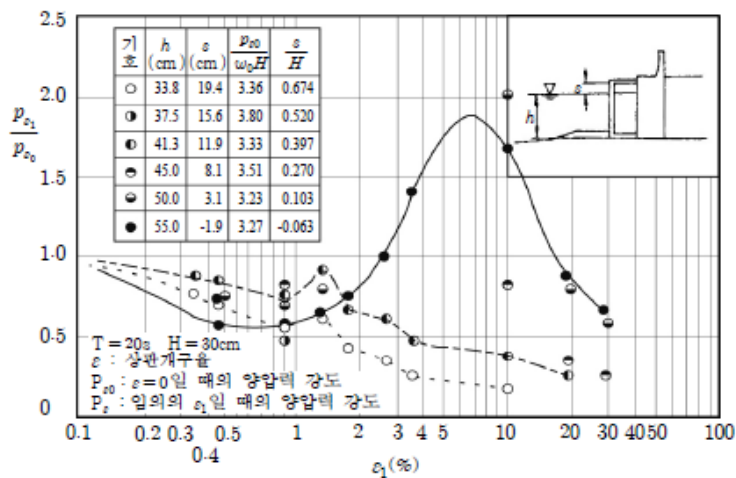


참고 그림 (4.2-2) 부재설계파력 분포의 예

- (4) 유수실 천정부가 상판에 의하여 완전히 폐합된 경우에는 파에 의하여 상부에 공기층이 압축되는 경우가 많고 그 순간에 충격압이 작용한다.

한편 공기압축에 의한 충격압은 덮개 판에 개구율의 공기구멍을 설치함으로써 저감시킬 수가 있다. 그러나 이 개구율의 크기에 따라서는 상상판에 파면이 직접 충돌하게 되어 무공상판의 경우보다 큰 충격 양압력이 작용하는 일도 있으므로 주의를 요한다. 또한, 이에 대한 상세한 내용은 참고문헌을 참조한다.

- (5) 참고 그림 (4.2-3)은 모형실험에서 상판의 개구율  $\epsilon_1$ 을 변화시켰을 때의 양압력 강도의 실험치  $P_{\epsilon_1}$ 의 변화의 예를 나타낸 것이다. 일반적으로 0.5~1.0% 정도의 공기구멍을 설치하면 덮개 판에 작용하는 공기압은 무공상판의 경우의 공기압의 50%~70%로 저감된다.



참고 그림 (4.2-3) 상판 개구율에 의한 압력강도의 변화 실험 예

- (6) 전벽 슬릿(Slit)기둥은 70×70cm 정도의 세장한 기둥이고 슬릿(Slit)기둥의 중앙부에 표류물(漂流物)등이 충돌하여 집중하중이 작용하면 지점부에는 큰 단면력이 발생하므로 주의를 요한다. 표류물의 충돌력은 실시 예에서 78.4kN정도를 고려하여 이상시 하중으로 취급한 예가 많다.

또한, 표류물의 충격하중 78.4kN은 슬릿(Slit)기둥을 탄성지지판으로 보아 다음과 같이 가정하여 해석하였다.

- ① 표류물의 형상 : 길이 10m, 직경 0.5m, 비중 0.75
  - ② 충돌 시 속도 : 0.5m/s(약 1kt)
  - ③ 슬릿(Slit) 기둥의 형상 : 길이 4m, 단면형 0.5×0.7m
- (7) 직립소파 케이슨 안벽의 경우에는 고무 방충재 등의 방충공을 케이슨 중앙부의 격벽 슬릿(Slit)기둥의 전면에 설치하는 일이 많고 이 경우에는 선박접안력을 격벽 부재에 작용시켜서 격벽의 부재응력을 검토해야 한다.
- (8) 직립소파 케이슨의 유수실 각 부재의 설계에 고려할 외력을 참고 표 (4.2-1)에 보여 준다. 이들 외력은 다음에 기술하는 방법으로 각 부재에 작용시킨다.

## 프리캐스트 콘크리트 부재

참고 표 (4.2-1) 직립소파 케이스 유수실 부재에 고려할 외력

부 재		부재번호	계 산 하 중	비 고
전 면 벽	슬릿기둥	①	유수 시 수압 파압(기준선직각방향, 평행방향) 표류물에 의한 충격력 전면벽 상부로부터 전달하는 축력	
	격벽 슬릿기둥	②	파압(격벽으로부터 전달되는 파력포함)	
	측벽 슬릿기둥	③	유수 시 수압(측벽으로부터 전달되는 파력포함) 파압(상동)	
	상부 보	④	상측 및 하측으로부터의 연직하중 부유 시 수압(슬릿 기둥으로부터 전달되는 반력) 파압(보 자체에 작용하는 파력, 슬릿 기둥반력)	측벽슬릿기둥의 파압 시 반력이 작용한 경우의 인발을 검토한다.
	하부 보	⑤	부유 시 수압(슬릿기둥 및 하부 판의 반력, 보자체에 작용하는 하중) 파 압(상동)	상동
	하 부 판	⑥	부유 시 수압 파 압	
측 벽		⑦	부유 시 수압 파 압	
격 벽		⑧	설계파압의 기준선방향으로 각각 작용 방충재 반력	내부파압이 슬릿 기둥에 작용하는 경우의 인발을 검토한다.
후 면 벽		⑨	파압 토압, 잔류수압	상동
저 판		⑩	각하중 경우의 저면반력과 저판자중, 수압차, 부유 시 수압	
덮 개 판		⑪	파 압(상방향, 하방향) 상재하중 자 중	

주) 부재번호는 참고 그림 (4.2-1)에 따른다.

### ① 슬릿(Slit) 기둥

가. 슬릿(Slit) 기둥의 단면력을 검토하는 하중은 (i) 부유 시 수압, (ii) 파압, (iii) 표류물 등에 의한 충격력을 고려한다. 부재에 작용하는 설계하중은 참고 그림 4.2-4(a)~(c)에 나타난 하중분포를 참고한다.

(가) 부유 시 수압[참고 그림 (4.2-4)(a) 및 참고 식 (4.2-2) 참조]

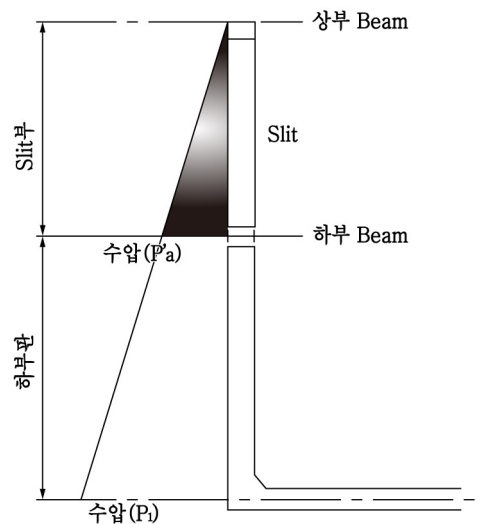
$$P_a = P'_a \ell$$

참고 식 (4.2-2)

여기서,  $P_a$  : 슬릿(Slit)기둥 1본당 작용하는 하중(kN/m)

$P'_a$  : 부유 시에 작용하는 수압(kN/m<sup>2</sup>)

$\ell$  : 슬릿(Slit)기둥의 중심선 간격(m)



참고 그림 (4.2-4)(a) 슬릿(Slit) 기둥에 작용하는 부유 시 수압하중

(나) 파압[참고 그림 (4.2-4)(b), 참고 식 (4.2-3) 및 참고 식 (4.2-4) 참조]

㉠ 기준선직각방향으로 파압이 작용하는 경우

$$P_{H1} = P_{H1}' B_1$$

참고 식 (4.2-3)

여기서,  $P_{H1}$  : 슬릿기둥(기준선직각방향) 1본당에 작용하는 하중(kN/m)

$P_{H1}'$  : 기준선직각방향에 작용하는 파압강도(kN/m<sup>2</sup>)

$B_1$  : 기준선평행방향의 슬릿(Slit)기둥 폭(m)

㉡ 기준선평행방향으로 파압이 작용하는 경우

$$P_{H2} = P_{H2}' B_2$$

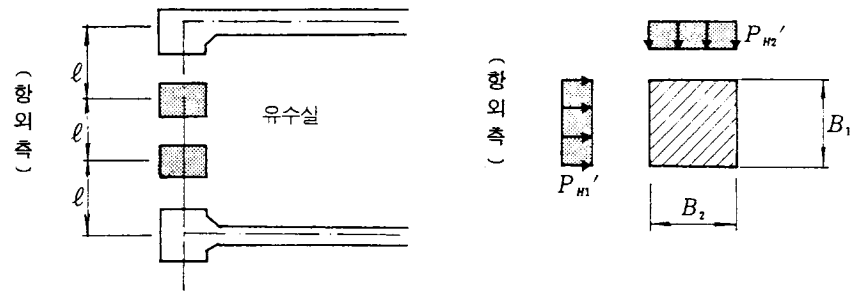
참고 식 (4.2-4)

여기서,  $P_{H2}$  : 슬릿(Slit)기둥 1본당에 작용하는 하중(kN/m)

$P_{H2}'$  : 작용파압(kN/m<sup>2</sup>)

$B_2$  : 슬릿(Slit)기둥 폭(m)

## 프리캐스트 콘크리트 부재



참고 그림 (4.2-4)(b) 슬릿(Slit) 기둥에 작용하는 파압하중

나. 표류물에 의한 충격하중[참고 그림 (4.2-4)(c) 참조]

표류물 등에 의한 충격하중의 크기에 대하여는 불명확한 점이 많으나 다음과 같은 검토를 한 예도 있다.

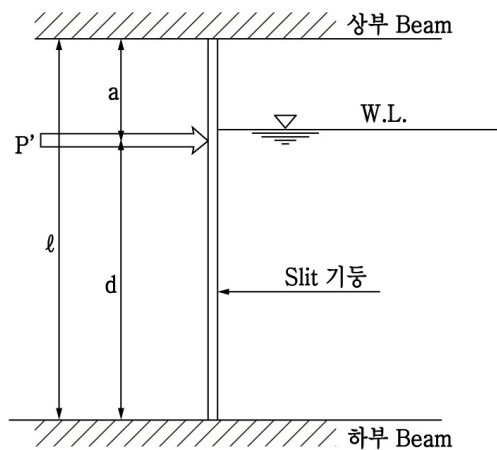
$$P = 78.4(\text{kN/분}) \text{ (이상시 하중)} \quad \text{참고 식 (4.2-5)}$$

여기서,  $P$  : 표류물이 전면 슬릿(Slit)기둥에 미치는 충격력에 의한 기둥 1분당 작용하는 하중

상시하중으로 환산하면 참고 식 (4.1-6)과 같이 된다.

$$P' = \frac{P}{F} = \frac{78.4}{1.5} = 52.3 (\text{kN/분}) \quad \text{참고 식 (4.2-6)}$$

또한, 하중의 작용위치는 A.L.L.W 시 및 A.H.H.W 시 두 경우에 대하여 검토해야 한다.



참고 그림 (4.2-4)(c) 표류물 등에 의한 충격하중

다. 슬릿(Slit)기둥의 축방향력은 참고 식 (4.2-7), 참고 식 (4.2-8)을 참고하여 구한다.

$$P_C = P_V + w_1 + w_2 \quad \text{참고 식 (4.2-7)}$$

$$P_t = P_U - w_1 - w_2 \quad \text{참고 식 (4.2-8)}$$

여기서,  $P_C$  : 슬릿(Slit)기둥에 작용하는 축방향 압축력(kN)

$P_t$  : 슬릿(Slit)기둥에 작용하는 축방향 인장력(kN)

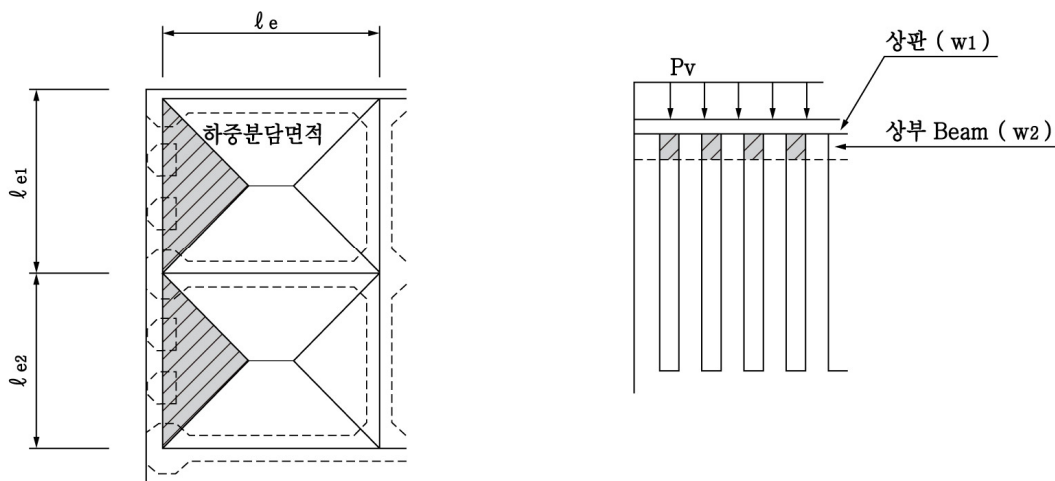
$P_V$  : 상판에 작용하는 하향파력중 상부보가 부담하는 하중(kN)

$P_U$  : 상판에 작용하는 양압력중 상부보가 부담하는 하중(kN)

$w_1$  : 상판 자중(kN)

$w_2$  : 상부보 자중(kN)

또, 상부 보에 작용하는 연직하중은 참고 그림 (4.2-5)를 참고한다.



참고 그림 (4.2-5) 슬릿(Slit)기둥에 작용하는 축방향 하중

## ② 격벽 슬릿(Slit)기둥

격벽 슬릿(Slit)기둥의 단면력을 검토하는 하중은 유수실(遊水室)내부에 작용하는 파압을 고려한다. 설계하중에 대하여는 참고 그림 (4.2-6)의 하중분포를 참고하여 참고 식 (4.2-9)에 의하여 구한다.

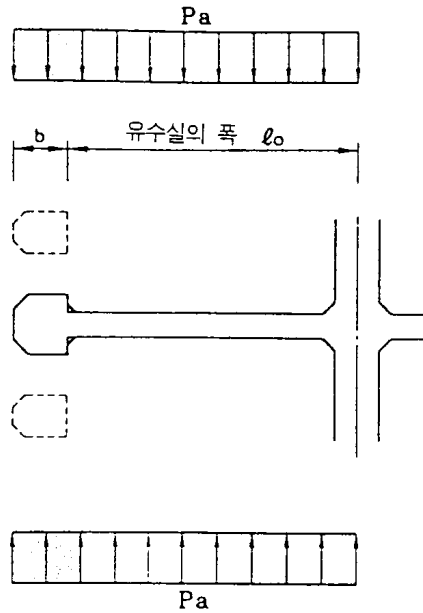
$$P_p = P_a (b + \ell_0 / 2) \quad \text{참고 식 (4.2-9)}$$

여기서,  $P_p$  : 격벽 슬릿(Slit)기둥에 작용하는 하중(kN/m)

$P_a$  : 파압(kN/m<sup>2</sup>)

$b$  : 슬릿(Slit) 기둥의 폭(m)

$\ell_0$  : 유수실의 폭(m)



참고 그림 (4.2-6) 격벽 슬릿(Slit)기둥에 작용하는 하중

③ 측벽 슬릿(Slit)기둥

측벽 슬릿(Slit)기둥의 단면력을 검토하는 하중은 부유시의 수압 및 유수실내부에 작용하는 파압을 고려한다. 설계하중에 대하여는 참고 그림 (4.2-7)의 하중분포를 참고하여 참고 식 (4.2-10)에 의하여 구한다.

$$P_s = P_a (b + \ell_0/2)$$

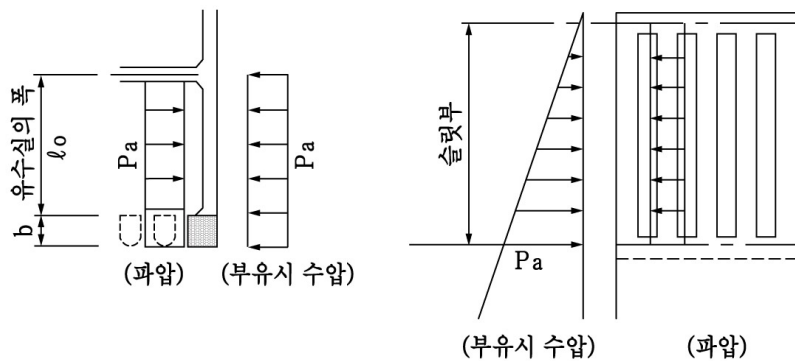
참고 식 (4.2-10)

여기서,  $P_s$  : 측벽 슬릿(Slit)기둥에 작용하는 하중(kN/m)

$P_a$  : 수압 또는 파압(kN/m<sup>2</sup>)

$b$  : 슬릿(Slit) 기둥의 폭(m)

$\ell_0$  : 유수실의 폭(m)



참고 그림 (4.2-7) 측벽 슬릿(Slit)기둥에 작용하는 파압



## ④ 상부 보

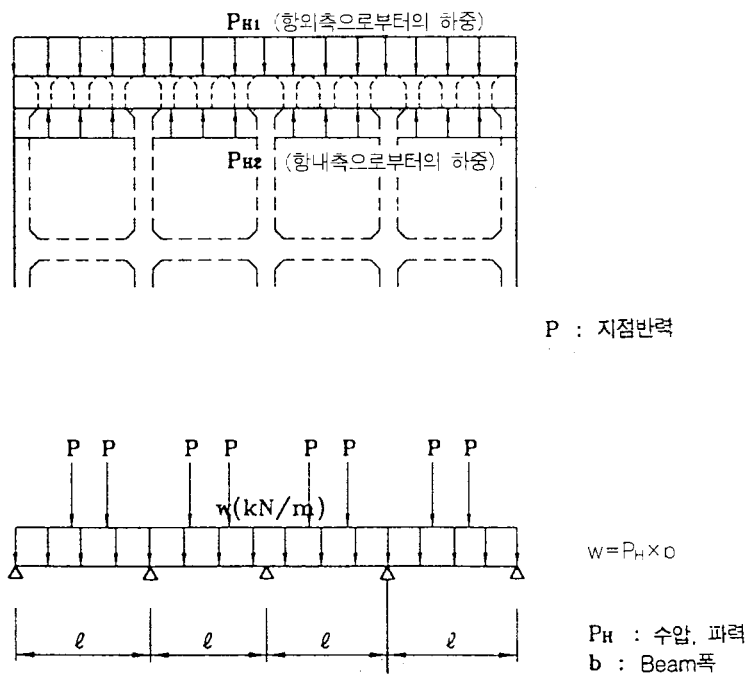
## 가. 수평하중

상부 보의 단면력을 검토하는 수평하중으로는 슬릿(Slit)기둥으로부터 전달되는 지점반력 및 보 자체에 직접 작용하는 하중으로 하고 그 하중 외력으로는 부유시의 수압 및 파압을 고려한다. 설계하중에 대하여는 참고 그림 (4.2-8)의 하중분포를 참고한다.

또한, 상부 보에 대하여는 측벽 및 격실에 지지된 연속보로 하고 단면력이 최대가 되는 하중경우를 고려한다.

## 나. 연직하중

상부 보에 작용하는 연직하중은 상판에 작용하는 파압, 상판 및 상부 보의 자중을 고려한다. 단면력의 검토에 있어서는 슬릿(Slit)기둥의 중심간격을 지간으로 하는 고정 보로 생각하고 슬릿(Slit)기둥의 측방향력과 동일한 방법으로 연직방향의 하중을 구한다.



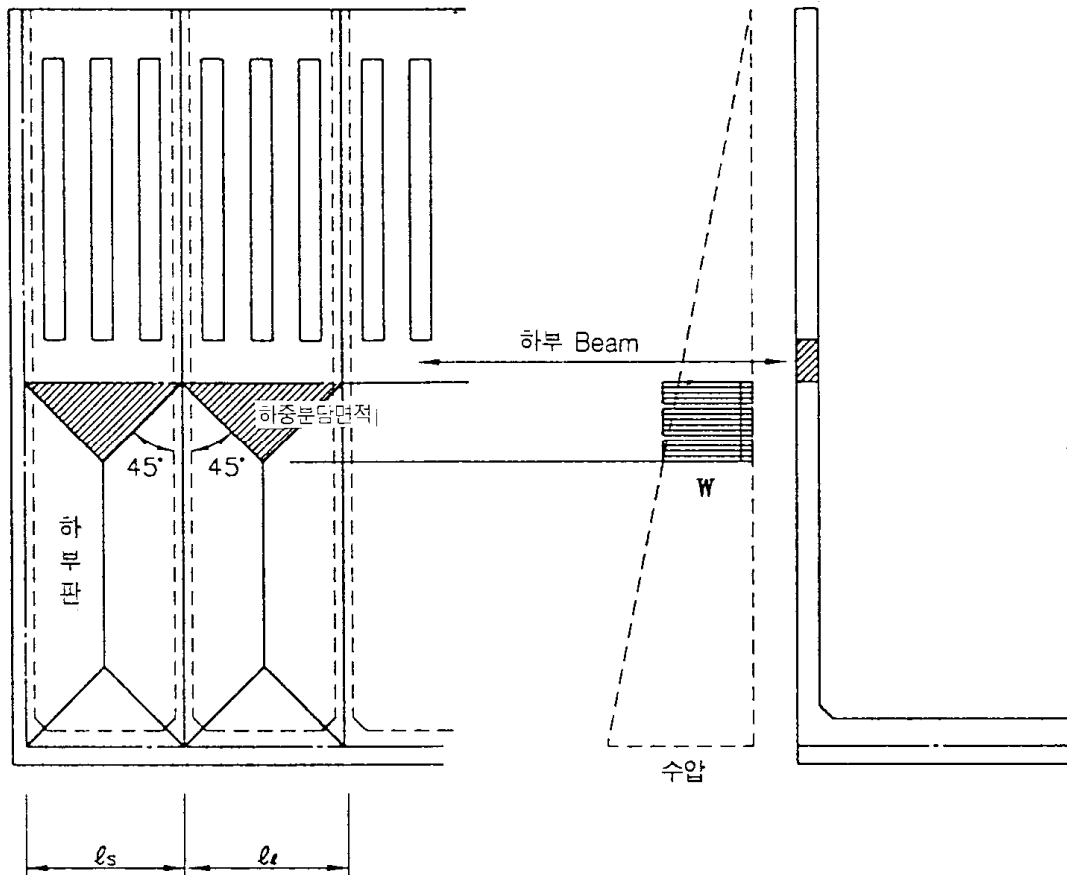
참고 그림 (4.2-8) 상부 보에 작용하는 하중

## ⑤ 하부 보

하부 보의 단면력을 검토하는 하중으로는 슬릿(Slit)기둥 및 하부 판으로부터 전달되는 지점반력 및 보 자체에 직접 작용하는 하중에 의한 것으로 보고 그 하중 외력으로는 부유시의 수압 및 파력을 고려한다. 하부 판으로부터 전달되는 설계하중에 대하여는 참고 그림 (4.2-9)의 하중분포를 참고한다.

## 프리캐스트 콘크리트 부재

또한, 슬릿(Slit)기둥으로부터 전달되는 지점반력 및 보 자체에 작용하는 하중에 대하여는 상부 보와 같은 방법으로 설계하중을 구한다.



참고 그림 (4.2-9) 하부 판으로 하부 보에 작용하는 하중

- (9) 기타부재에 작용하는 외력과 설계하중에 대하여는 이 기준 4.1 케이스 및 유사한 구조에 대하여 규정한 부분을 참조한다.

### 4.2.3 부재의 설계

슬릿(Slit) 케이스 각 부재별 해법에 따라 단면력을 산정한다.

#### [참 고]

- (1) 계산에 사용하는 부재 길이는 지지부재의 중심간격으로 한다.
- (2) 유수실 각 부재의 단면력의 계산법을 참고 표 (4.2-2)에 보여준다.

참고 표 (4.2-2) 슬릿(Slit) 케이스 유수실 부재의 해법

부 재		부재번호	해 법	비 고
전 면 벽	Slit 기둥	①	양단고정 보	축방향력에 대해서도 검토
	격벽 Slit기둥	②	양단고정 보	
	측벽 Slit기둥	③	양단고정 보	
	상부 보	④	연속 보 양단고정 보	중간보가 있는 경우에는 중간보도 포함해서 성능의 경시변화에 대한 검토도 실시한다.
	하부 보	⑤	연속 보 양단고정 보	혹독한 해양환경에 노출될 가능성이 있는 하부 보는 성능의 경시변화에 대한 검토도 실시한다.
	하 부 판	⑥	4변 고정판	
측 벽		⑦	3변 고정 1변 자유판 4변 고정판	상상판과 일체인 경우
격 벽		⑧	3변 고정 1변 자유판 4변 고정판	상상판과 일체인 경우
후 벽		⑨	3변 고정 1변 자유판 4변 고정판	상상판과 일체인 경우
저 판		⑩	4변 고정판	
유수실덮개판		⑪	4변 자유판 4변 고정판 3변 고정 1변 자유판	상상판구조와 지지조건체 따른다.

주) 부재번호는 참고 그림 (4.1-1)에 따른다.

## 4.3 하이브리드 케이슨

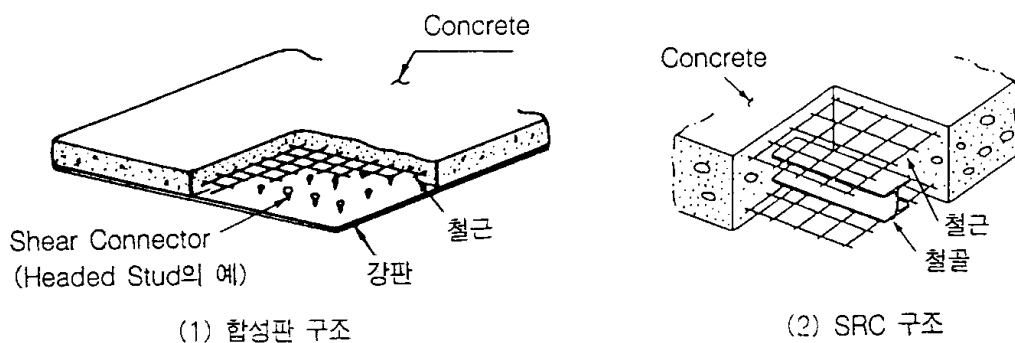
### 4.3.1 하이브리드 케이슨 설계일반

이 기준은 강판과 콘크리트의 합성구조인 하이브리드 케이슨의 설계에 적용한다.

#### [해설]

본 장에서는 강, 콘크리트 복합구조의 일종인 강판과 콘크리트의 합성구조 형식의 케이슨을 하이브리드 케이슨이라 정의한다. 복합구조란, 복수의 다른 종류의 재료를 합성함으로써 단일 재료만으로는 얻기 어려운 우수한 역학특성을 지닌 구조를 말하며, 합성구조란 부재 단면이 종류가 다른 재료의 조합으로 구성되어 있고 이것이 일체화되어 기능하는 구조를 말한다.

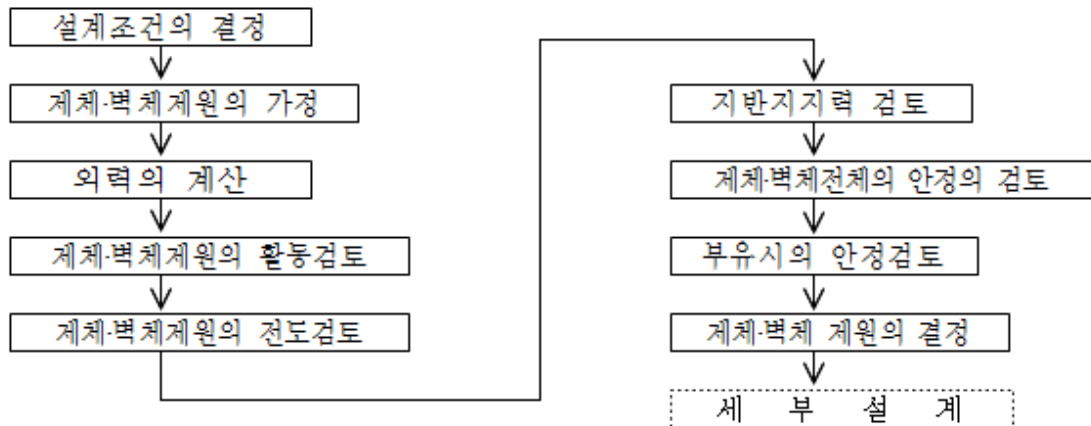
하이브리드 케이슨은 재래의 철근 콘크리트 케이슨등과 같이 방파제, 안벽, 호안 등에서 사용되는 것이다. 이를 항만구조물에 사용되는 하이브리드 케이슨은 해설 그림 (4.3-1)에 나타낸 바와 같이 강판을 한쪽에 배치한 합성판 구조와 H형강을 내부에 매설한 철골철근 콘크리트(Steel framed reinforced concrete-SRC) 구조의 2종류가 사용되는 것이 일반적이며 본장의 하이브리드 케이슨이란 이 양자의 구조형식을 사용한 케이슨의 총칭으로 사용된다. 이 이외에 이종재료로 이루어지는 부재를 조합한 구조형식인 혼합구조에 대하여도 복합구조의 하나이므로 광의의 하이브리드 구조로서 취급하는 일이 있으므로 유의할 필요가 있다.



해설 그림 (4.3-1) 하이브리드 구조부재

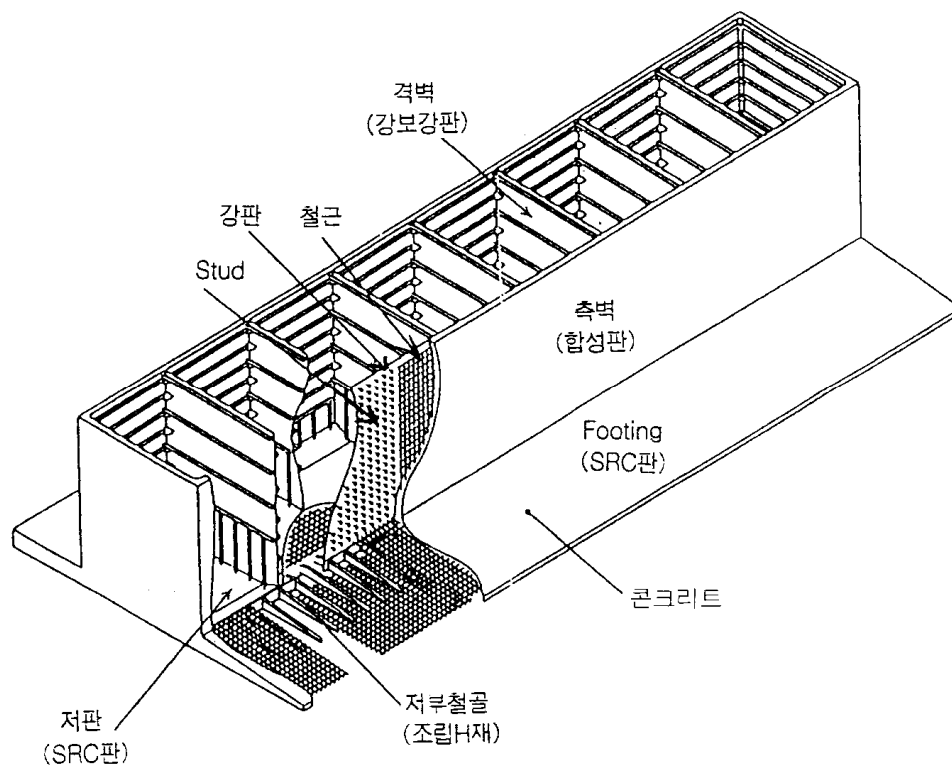
#### [참고]

- (1) 하이브리드 케이슨의 설계에 있어서는 하이브리드 케이슨 설계매뉴얼 등 각종자료를 참고할 수 있다.
- (2) 하이브리드 케이슨의 설계는 일반적으로 참고 그림 (4.3-1)의 순서로 하여야 한다.



참고 그림 (4.3-1) 하이브리드 케이슨의 설계순서

(3) 하이브리드 케이슨의 구조 예를 참고 그림 (4.3-2)에 보여준다.



참고 그림 (4.3-2) 하이브리드 케이슨의 구조 예

(4) 하이브리드 케이슨에 대하여는 다음과 같은 구조·기능상의 특징이 있으므로 충분히 유의하여 검토해야 한다.

① 사용재료

가. 강판, 형강, 전단연결재, 철근 및 콘크리트를 사용하는 일이 많다.

## 프리캐스트 콘크리트 부재

나. 강판 방식(防蝕)에 대한 고려가 필요하다.

다. 철근 대신에 강판이 2차원적으로 배치되므로 역학적 성능이 향상되고 부재가 얇아도 소정의 내하력이나 변형성능(變形性能, Ductility)을 가질 수 있어 구조의 자유도를 증가시킬 수 있다.

### ② 단면형상

일반적으로 재래의 철근 콘크리트와 비교하여 확대기초를 크게 벌릴 수 있으므로 확대기초를 넓혀서 케이슨 저면에 생기는 지반반력(地盤反力)을 적게 할 수가 있다.

### ③ 케이슨 자중

합성부재와 강재의 격벽으로 구성되어 있으므로 합체는 경량이고 홀수를 적게 할 수가 있다.

### ④ 기타

가. 강판의 존재에 의하여 콘크리트의 균열 발생 후에도 충분한 수밀성이 보증된다.

나. 공장에서 자동용접의 방법에 의하여 배근작업이 완화된과 동시에 강판을 콘크리트 타설 시의 거푸집으로 활용할 수 있고, 지보, 거푸집공사 및 콘크리트 타설 조인트(Joint)의 처리작업이 축소된다.

다. 구조물의 경량화가 달성되어 시공성을 향상시킨다.

## 4.3.2 제원의 결정

제원을 결정할 때에는 이 기준의 4.1.2를 따른다.

## 4.3.3 설계외력

설계외력은 이 기준의 4.1.4를 따른다.

### [참 고]

하이브리드 케이슨의 격벽이 강격벽인 경우 격벽의 설계하중에는 부유 시 및 거치 시에 케이슨 내외 수압차에 의한 하중, 파압 등의 수평하중 및 저판, 확대기초의 저면반력에 의한 하중을 고려해야 한다.

## 4.3.4 부재의 설계

### 4.3.4.1 단면력

부재의 설계에 사용하는 단면력은 이 기준의 4.1.5를 따른다.

**[참 고]**

- (1) 단면력의 검토는 확대기초, 저판, 외벽, 격벽, 오목부 등에 대하여 실시한다.
- (2) 확대기초를 크게 돌출시키는 경우 확대기초기부의 휨 모멘트가 큰 경우에는 이 휨 모멘트의 저판 및 외벽에 대한 영향을 고려하는 것이 일반적이다.
- (3) 케이슨의 격벽은 탄성체이므로 하중을 받으면 약간 면내변형이 일어난다. 이 면내변형에 의하여 발생하는 단면력의 영향은 외벽에 고정판으로서의 휨 모멘트뿐 아니라 격벽의 변형에 의하여 외벽-외벽오목부에 부가 휨 모멘트가 발생한다는 사실이다. 그러나 통상의 하이브리드 케이슨의 합체 치수제원이라면 이 영향은 설계상 고려하지 않아도 된다. 합체의 치수나 하중의 크기에 따라서는 이 영향을 무시할 수 없는 경우도 있으며 이런 경우에는 하이브리드 케이슨 설계매뉴얼에 제시한 방법으로 검토하는 것이 좋다.
- (4) 압축응력을 받는 강판에 대하여는 좌굴에 대한 검토가 중요하므로 사용하는 전단연결재의 강도(剛度)등에 따른 좌굴장의 취하는 방법이나 경계조건의 설정에 유의하여야 한다.
- (5) 케이슨의 대형화를 꾀하는 경우에는 비틀림의 검토를 하여야 한다.

**4.3.4.2 합성판의 설계**

합성판의 다음사항을 고려하여 설계한다.

- (1) 휨 모멘트
- (2) 전단력
- (3) 강(鋼)·콘크리트의 일체성

**[참 고]**

- (1) 휨 모멘트  
합성판의 휨 모멘트는 강판, 인장 또는 압축철근으로 이루어진 복철근 단면으로 계산할 수가 있다.
- (2) 전단력  
합성판의 전단력은 철근 콘크리트판과 같이 계산할 수가 있다.
- (3) 강·콘크리트의 일체화  
전단연결재는 하이브리드구조에서 재료의 일체성에 특별히 중요한 구조 요소이다. 합성판에서는 전단연결재로서 볼트형 스티드(Headed stud)나 형강이 일반적으로 사용되거나 강판과 콘크리트의 경계면에 발생하는 수평 전단력의 전달 및 강판의 콘크리트면으로부터 면외방향으로 박리방지(특히 압축응력 작용 시)에 대하여 충분히 기능하도록 필요한 전단연결재량과 그 배치를 설계해야 한다.

#### 4.3.4.3 철골철근콘크리트(Steel framed reinforced concrete-SRC) 부재의 설계

SRC 부재는 철골의 구조형식의 종류에 따른 역학적 특성을 충분히 고려하여 휨모멘트 및 전단에 대하여 설계한다.

##### [참 고]

- (1) 철골철근콘크리트(SRC) 부재는 일반적으로 철골의 구조형식에 따라 다음과 같이 분류한다.
  - ① 복부가 충복형(充腹形)인 경우
  - ② 복부가 트러스(Truss) 형식인 경우
- (2) 휨 모멘트에 대하여는 철골을 철근으로 환산하여 철근 콘크리트 부재로 보고 단면계산을 할 수가 있다. 단, 복부가 충복형이고 철골단부가 정착이 불충분한 경우에는 독립된 철골부분과 철근 콘크리트 부분의 합으로 계산할 필요가 있다.
- (3) 전단력에 대하여 복부가 트러스 형식인 경우에는 철골을 철근으로 환산하여 철근 콘크리트 부재로 보고 단면계산을 할 수가 있다. 또, 복부가 충복형인 경우에는 철골자신으로 전단력에 저항하므로 이것을 고려한 설계가 가능하다.

#### 4.3.4.4 격벽의 설계

격벽은 격벽에 작용하는 외력에 대하여 충분히 안전하고 또 외벽,저판을 지지하는 부재로서 기능을 발휘하도록 설계한다.

##### [해 설]

격벽은 외벽,저판의 지지면으로써 기능이 있으므로 격벽의 단면은 이들의 지지면에 작용하는 하중으로부터 계산되는 단면력에 대하여 충분히 안전하게 설계한다.

##### [참 고]

격벽의 설계 수순은 일반적으로 부유 시 및 거치 시로 설계하고 그 결과를 완성 시에 대하여 조사해야 한다.

- (1) 부유 시에는 부재의 좌굴에 대하여 설계해야 한다.
- (2) 거치 시에는 부재의 좌굴 및 면의 휨에 대하여 설계해야 한다.
- (3) 완성 시에는 부재의 면내응력에 대하여 격벽을 조사해야 한다.



#### 4.3.4.5 오목부·접합부의 설계

오목부·접합부는 단면력을 원활하고 확실하게 전달할 수 있고 시공이 용이한 구조로 한다.

##### [참 고]

오목부나 접합부에서 충분한 강도를 확보하기 위하여 인장 측의 강재를 압축 측의 강재에 확실히 정착시키고 또, 접합부내에 생기는 콘크리트의 인장응력에 대한 전단보강재(Haunch)를 부여해야 한다.

#### 4.3.4.6 피로파괴에 대한 안정성

하이브리드 케이슨은 피로파괴에 대하여 안전하게 하여야 한다.

##### [참 고]

하이브리드 케이슨에서는 강판간의 접합이나 전단연결재, 전단보강재 등의 설치에 용접접합을 많이 쓰므로 부재가 반복하중을 많이 받는 구조의 경우 그 용접부에서의 부재의 피로강도를 조사할 필요가 있다.

호안·안벽에서는 이와 같은 반복하중의 영향은 적으나 방파제의 설계에는 반복하중으로서 파랑에 대한 부재응력의 변동 폭이 큰 경우 하이브리드 케이슨의 피로강도에 대한 안정성의 검토를 할 필요가 있다.

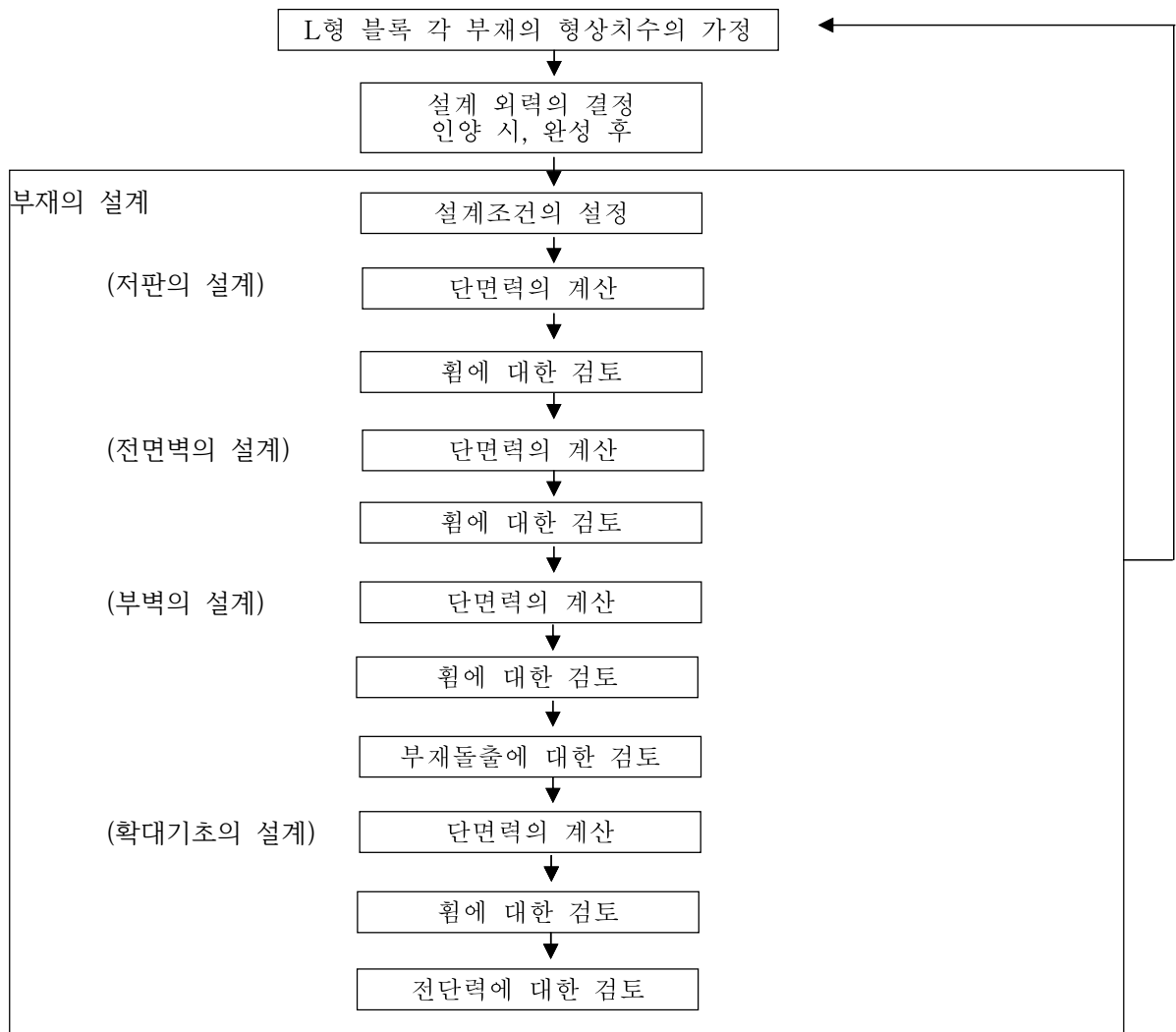
## 4.4 L형 블록

### 4.4.1 L형 블록 설계일반

- (1) 이 기준은 통상의 철근콘크리트 L형 블록의 설계에 적용한다.
- (2) 설계는 강도설계법에 따르는 것을 표준으로 한다.

#### [참 고]

L형 블록설계는 일반적으로 참고 그림 (4.4-1)의 순서로 하는 것이 좋다.



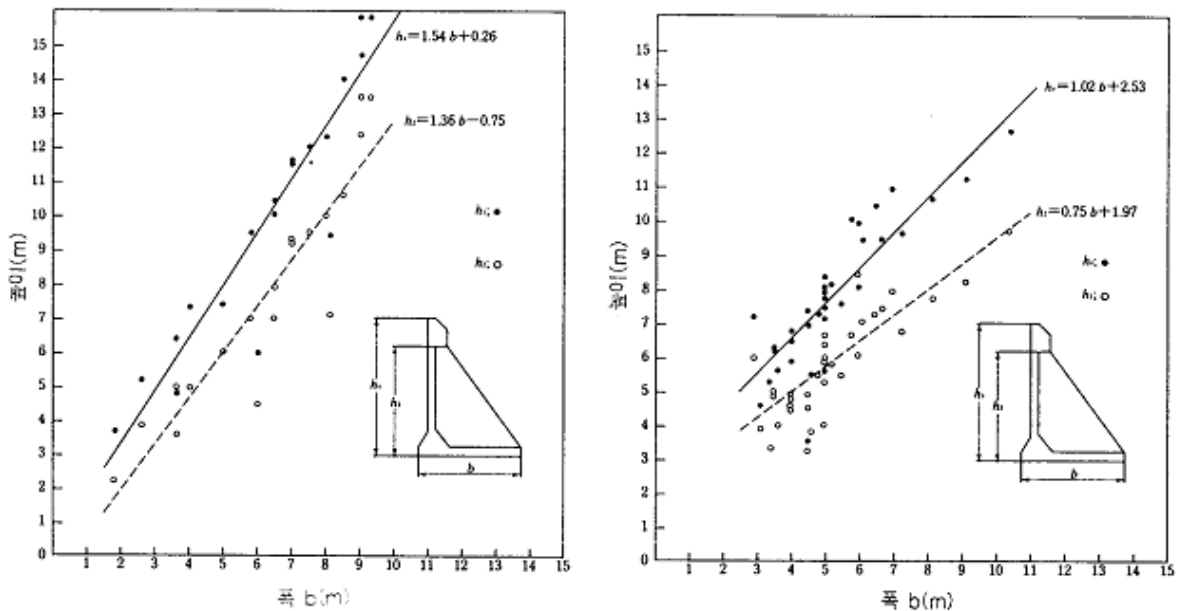
참고 그림 (4.4-1) L형 블록의 설계순서

#### 4.4.2 제원의 결정

- (1) L형 블록의 각 부재의 형상, 치수는 다음 사항을 고려하여 결정한다.
- ① L형 블록을 제작하는 시설의 능력
  - ② 기중기의 인양 능력
  - ③ 벽체로서 전면의 수심
  - ④ 조위차
  - ⑤ L형블록의 설치 후의 작업조건(뒤채움, 상부공 시공)
- (2) L형 블록의 벽체고는 L형 블록이 벽체가 된 경우의 전면수심과 조차를 고려하여 상부공의 시공이 용이하도록 결정한다.

#### [참 고]

참고 그림 (4.4-2)는 시공 예로부터 L형 블록 폭에 대한 블록높이와 벽높이의 관계를 나타낸 것으로, 설계진도 0.05와 0.10의 경우이다. 설계진도가 증대되면 높이에 비하여 폭이 크게 된다.



(a) 설계진도  $k_h=0.05$

(b) 설계진도  $k_h=0.10$

참고 그림 (4.4-2) L형 블록의 폭과 높이와의 관계

### 4.4.3 부재에 작용하는 하중

#### 4.4.3.1 부재하중 설계일반

L형 블록에 작용하중으로는 다음의 것을 고려한다.

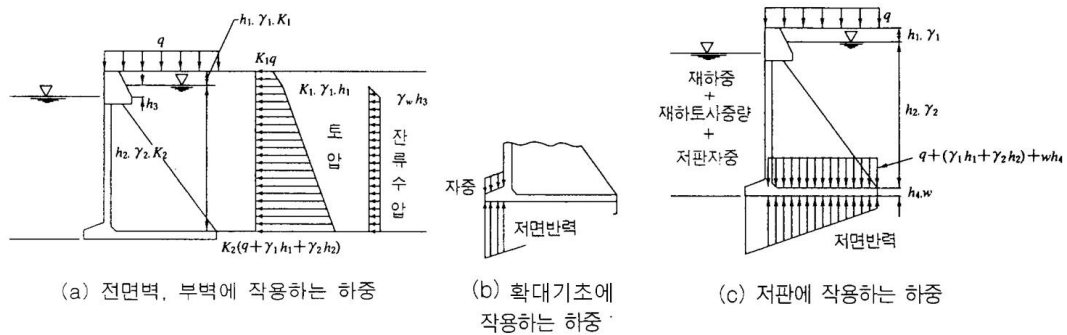
- (1) 전면벽체
  - ① 채하하중 및 뒤채움사석 또는 토사에 의한 토압
  - ② 잔류수압
- (2) 확대기초
  - ① 저면반력
  - ② 확대기초의 자중
- (3) 저 판
  - ① 채하하중
  - ② 채하(뒤채움) 토사중량
  - ③ 저판자중
  - ④ 저면반력
- (4) 부 벽
  - ① 전면벽체의 지지부로서의 반력
  - ② 저판의 지지부로서의 반력
  - ③ 부벽 배면에 작용하는 토압, 잔류수압

또, 시공 시 작용하는 하중으로서 다음 하중을 고려한다.

  - ④ 인양하중
  - ⑤ 거치시의 하중

#### [참 고]

- (1) 하중의 조합은 이 기준 4.1.4.1 하중의 조합에 준한다.
- (2) L형 블록의 각 부재에 작용하는 하중은 참고 그림 (4.4-3)과 같다.
- (3) L형 블록의 각 부재에 작용하는 토압의 계산은 KDS 64 11 00 지반을 참조한다.
- (4) 저면 반력의 계산은 이 기준 4.1.4.6 완성후의 외력을 참조한다.
- (5) L형 블록제작의 콘크리트 타설법에는 종타공법(縱打工法)과 횡타공법(橫打工法)이 있으나 횡타공법의 경우에는 거치공사까지 블록을 일으켜 세우는 작업이 따르므로 설계에서는 이때의 하중에 대하여 검토할 필요가 있다.



- 여기서,  $q$  : 상재하중(kN/m<sup>2</sup>)  
 $\gamma_1$  : 잔류수위면상의 흙의 단위체적중량(kN/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma_2$  : 잔류수위면하의 흙의 단위체적중량(kN/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma_w$  : 해수의 단위체적중량(kN/m<sup>3</sup>)  
 $h_1$  : 잔류수위면상의 흙의 토층두께(m)  
 $h_2$  : 잔류수위면하의 흙의 토층두께(m)  
 $h_3$  : 조차(m)  
 $h_4$  : 저판두께(m)  
 $K_1$  : 잔류수위면상의 흙의 토압계수  
 $K_2$  : 잔류수위면하의 흙의 토압계수  
 $w$  : 저판자중(kN/m<sup>2</sup>)

참고 그림 (4.4-3) L형 블록에 작용하는 하중

#### 4.4.3.2 부재에 작용하는 토압

부재에 작용하는 토압으로는 벽체의 안정계산에 사용한 토압을 사용한다.

#### [해설]

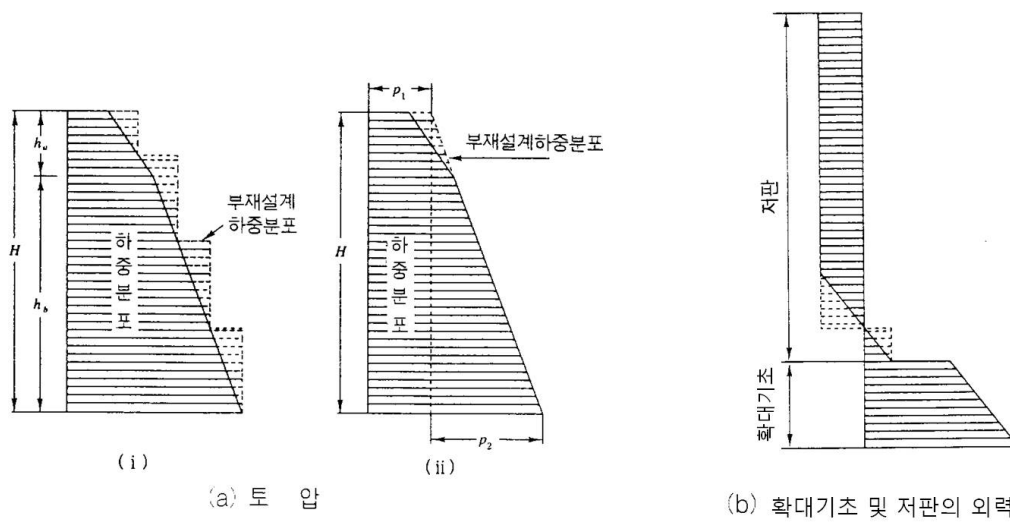
L형 블록은 벽체에 미소변위를 일으켜도 저판이 있기 때문에 전면벽과 뒤채움재 간에 상대적 변위가 생기기 어렵고 따라서 벽면마찰각은 0°로 볼 수 있으며 오히려 정지토압에 가까운 토압이 작용한다는 생각도 있다. 또, 뒤채움을 한 경우에는 뒤채움재와 배후매립 토사의 내부마찰각이 다른 경우도 있으나 L형 벽체에 작용하는 외력의 현장측정 결과와 종래의 설계 예에서의 실적을 고려하여 부재에 작용하는 토압으로는 벽체의 안정계산에 사용한 토압을 사용하도록 하였다.

#### 4.4.3.3 하중의 분할방법

L형 블록에 작용하는 하중은 계산의 편의상 이를 적당히 분할할 수가 있다. 하중을 분할하는 경우에는 부재설계상의 안전성을 고려한다.

[참 고]

L형 블록에 작용하는 하중은 일반적으로 등분포로 되지는 않는다. 이대로는 부재설계상 불편하므로 이를 적당히 분할하여 등분포 하중으로 해도 좋다. 이 경우에도 부재강도상으로 약점이 생기지 않도록 해야 한다. 하중분할의 일예를 참고 그림 (4.4-4)에 보여준다.



참고 그림 (4.4-4) 하중분할의 방법

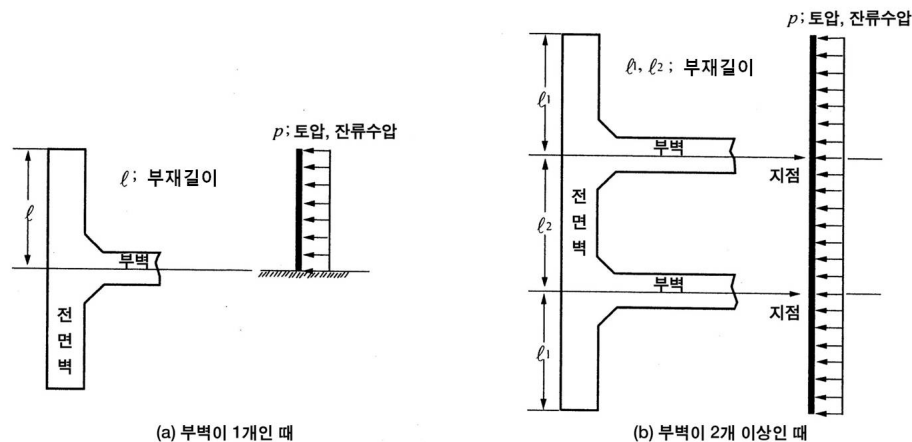
#### 4.4.4 부재의 설계

##### 4.4.4.1 부재의 설계일반

- (1) 전면벽은 부벽에 의하여 지지된 판으로 설계한다.
- (2) 부벽이 하나인 경우에는 부벽부에서 지지된 캔틸레버판, 2개인 경우에는 연속판으로 설계하는 것을 표준으로 한다.

#### [참 고]

- (1) 전면벽의 부재 길이는 부벽 중심으로부터의 거리로 한다.
- (2) 전면벽 배후로부터의 하중은 부재 전 길이에 작용하는 것으로 한다.
- (3) 전면벽의 부재 길이 및 하중은 참고 그림 (4.4-5)와 같이 하면 된다.



참고 그림 (4.4-5) 전면벽의 부재 길이 및 하중

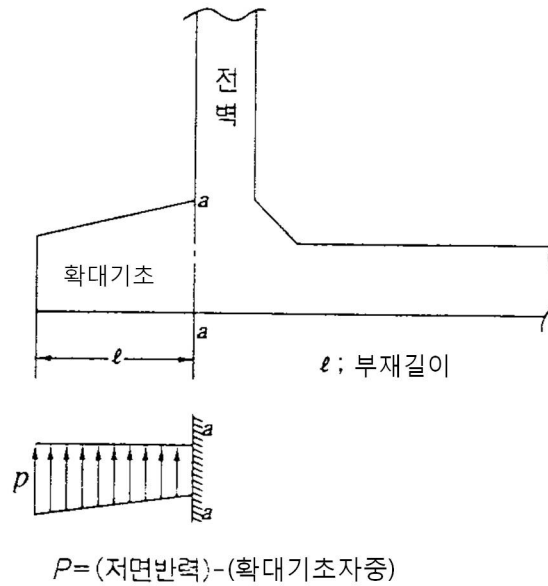
- (4) 전면벽은 부벽에 의하여 지지되는 외에 구조상 저판에 의하여도 지지되어 있다. 이 때문에 전면벽은 2번 또는 3번에 지지된 판으로 봐도 좋지만 일반적으로 높은 L형 블록에서는 저판에 지지된 부분의 영향이 적고 저판 연결부의 배근이 복잡해지는 것을 배려하여 캔틸레버판 또는 연속판으로 설계한다. 따라서 2번 또는 3번 지지판으로 본 쪽이 설계상 유리한 경우에는 본문에 따르지 않아도 된다.

##### 4.4.4.2 확대기초(Footing)

확대기초는 전면벽의 위치에 의하여 지지된 캔틸레버와 판으로 설계한다.

#### [참 고]

- (1) 확대기초의 부재 길이는 이 기준 4.1.5.4 저판설계에 준한다.
- (2) 확대기초의 부재 길이 및 하중은 참고 그림 (4.4-6)과 같이 하면 된다.



참고 그림 (4.4-6) 확대기초(Footing)의 부재 길이 및 하중

#### 4.4.4.3 저 판

- (1) 저판은 부벽부에 의하여 지지된 판으로 설계한다.
- (2) 부벽이 한 개인 경우는 부벽부에 지지된 캔틸레버판, 2개 이상의 경우는 연속판으로 설계하는 것을 표준으로 한다.

#### [참 고]

- (1) 저판의 부재길이는 부벽 중심으로부터의 거리로 한다.
- (2) 저판 상면으로부터의 하중은 부재 전길이에 작용한다고 본다.
- (3) 저판의 주철근의 덮개는 다음 값 이상으로 부벽에 의하여 지지되는 외에 전면벽부에 의하여도 지지되어 있는 구조로 생각할 수가 있다. 이 때문에 저판은 2변 또는 3변 지지판으로 설계할 수 있으나 이 기준 4.3.1 일반 [참고] (5)에 기술한 이유와 같이 캔틸레버판 또는 연속판으로 설계한다. 따라서 2변 또는 3변 지지판으로 생각하는 편이 설계상 유리한 경우에는 (1)에 따르지 않아도 된다.
- (4) 저판에 작용하는 하중 중에 저면반력은 전 부재 길이에 대하여 작용하나 뒤채움에 의하여 전달되는 저판상면으로부터의 하중은 저판의 순경간(Net span)에 대하여 작용한다. 그러나 이렇게 계산하는 것은 번잡하고 또 부재설계상 큰 영향이 없으므로 이것도 전 부재 길이에 대하여 작용시킨다.

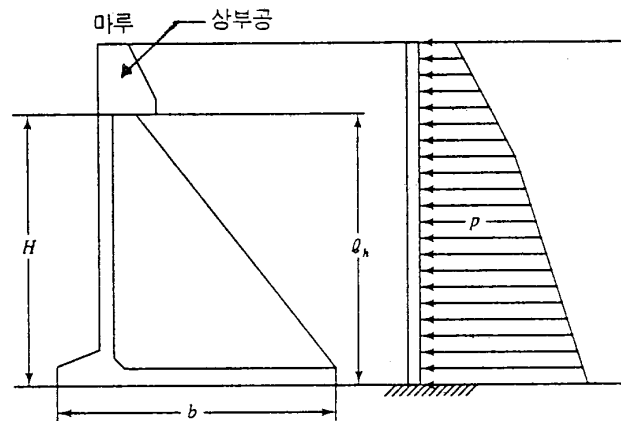


## 4.4.4.4 부 벽

- (1) 부벽은 전면벽과 일체가 된 T형 보로 설계한다.
- (2) 부벽은 전면벽으로부터의 반력에 대하여 저판부에서 지지된 캔틸레버 보로 설계한다.

## [참 고]

- (1) 부벽의 설계는 저판에 평행인 단면에 대하여 검토한다.
- (2) 부벽, 전면벽 및 저판은 튼튼히 연결하는 것으로 하고 이를 위하여 철근은 전단력에 대하여 스테럽(Stirrup)과는 별도로 소요량을 계산한다.
- (3) 전면벽과 저판의 설계를 본장에 따라서 하는 경우에는 부벽 배후로부터의 하중은 고려할 필요가 없다.
- (4) 부벽의 부재장은 참고 그림 (4.4-7)에 나타난 바와 같이 저판을 포함하는 전체높이를 취한다. 단, 작용하는 하중은 상부구조를 포함한 것까지 고려한다.
- (5) 부벽을 T형-보로 보고 단면을 산정함에 있어서는 중립축의 위치가 전면벽과 부벽 중 어느 쪽에 있는지 주의하여 시행하여야 한다.



여기서,  $p$  : 토압강도와 잔류수압의 합 ( $\text{kN/m}^2$ )

$l_h$  : 부벽의 부재 길이(m)

$b$  : 블록 폭(m)

$H$  : 블록 높이(m)

참고 그림 (4.4-7) 부벽의 부재 길이 및 하중

#### 4.4.5 리프팅(Lifting)부의 설계

리프팅부의 설계는 이 기준의 4.1.6을 따른다.

##### [참 고]

- (1) 이 기준 4.1.6 리프팅부의 설계에 나타난 불균등계수 1.8은 다점 리프팅의 경우이다. 리프팅 개소(Lifting point)가 적은 경우에는 이보다 적은 값을 취할 수가 있다. 리프팅 개소가 적은 경우의 실측치는 없으나 5점 리프팅이상에서는 1.8, 4점 리프팅이상에서는 1.33, 3점 리프팅과 2점 리프팅에서는 1.2정도 보면 된다.
- (2) 대형 케이슨과 같은 경우에는 기중기선도 대형이고 정온한 때에 리프팅 하는 일이 많으므로 충격력을 고려하지 않지만 다소 파가 있을 때 리프팅하는 경우나 소형 L형 블록이나 기타 소형 블록 등을 소형 기중기선으로 리프팅하는 경우에는 선체 동요도 크므로 충격력을 고려할 필요가 있다. 기중기선에 의한 경우의 충격력은 블록 중량의 20%정도를 보면 된다. 이 경우, 저면부착력과 충격력은 동시에 작용하지 않는다고 봐도 된다.

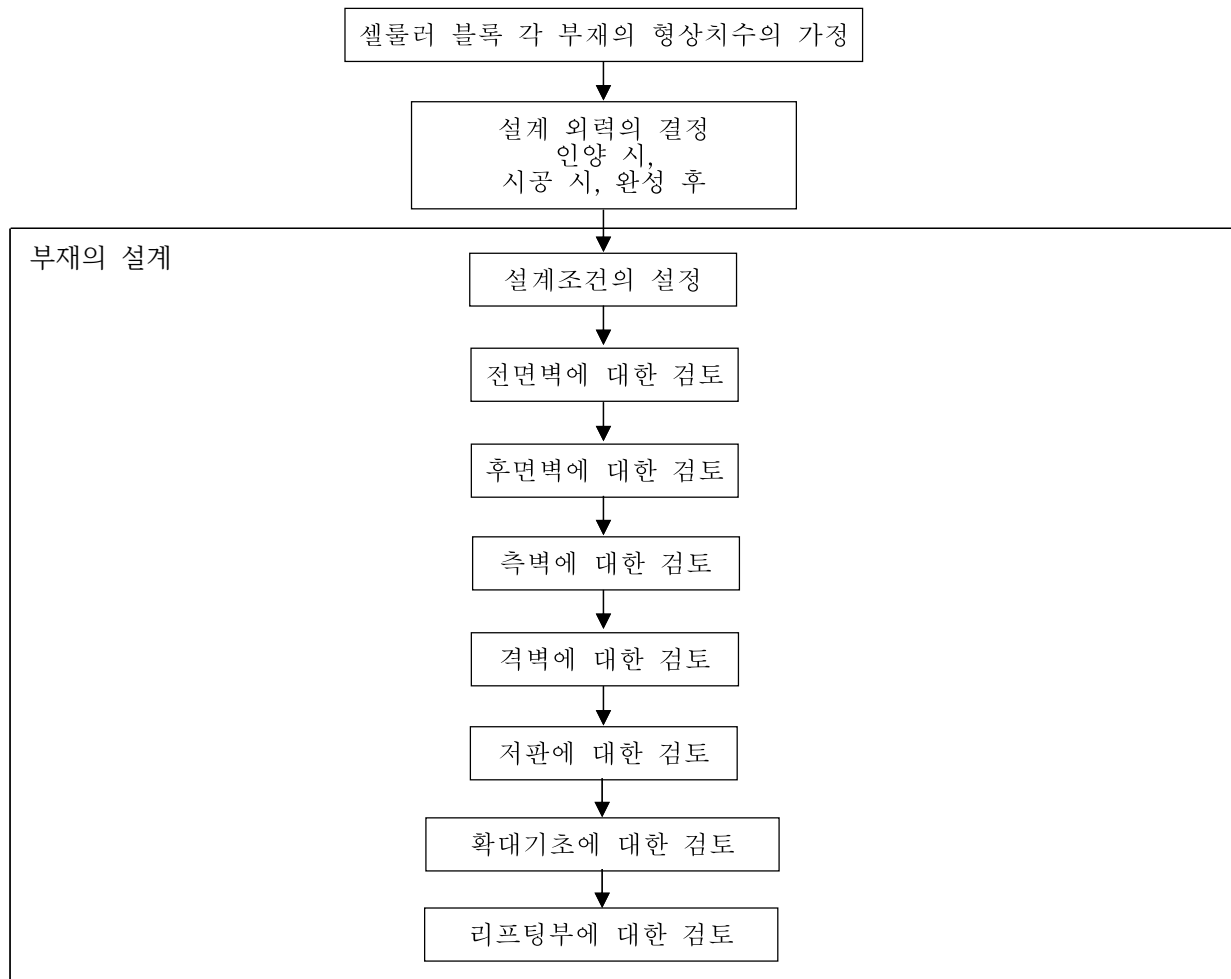
## 4.5 셀룰러 블록

### 4.5.1 셀룰러 블록 설계일반

- (1) 이 기준은 통상의 철근콘크리트 셀룰러 블록의 설계에 적용한다.
- (2) 설계는 강도설계법에 따르는 것을 표준으로 한다.
- (3) 셀룰러 블록에는 여러 가지 형태가 있으므로 개개의 부재설계에 있어서는 형태에 따라서 이 기준의 4.1 케이스, 4.4 L형 블록을 참조하여 결정한다.

#### [참 고]

셀룰러 블록의 설계는 일반적으로 다음의 순서로 하는 것이 좋다.



참고 그림 (4.5-1) 셀룰러 블록의 설계순서

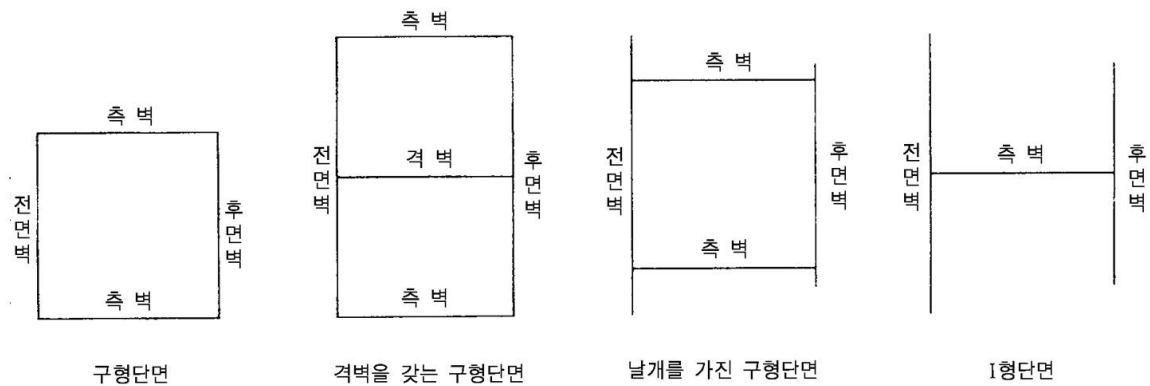
## 4.5.2 제원의 결정

### 4.5.2.1 셀룰러 블록(Cellular block)의 단면형상

- (1) 셀룰러 블록의 형상은 일반적으로 측벽 등으로 구성된 저판이 없는 블록을 말한다.
- (2) 단체 또는 복수의 블록을 쌓아 올려서 벽체를 이루는 기능을 가진다.
- (3) 특수한 형태로서 저판이 있는 것도 있다.
- (4) 실제 설계에 있어서는 블록의 형상의 특징을 파악하여 설계법을 채용하여야 한다.

#### [참 고]

셀룰러 블록의 단면형상은 여러 가지가 있으나 비교적 사용 예가 많은 블록의 단면형상은 참고 그림 (4.5-2)와 같다.



참고 그림 (4.5-2) 셀룰러 블록의 단면형상 예 (모식도)

### 4.5.2.2 제원의 결정

셀룰러 블록의 각 부재의 형상, 치수는 다음사항을 고려하여 설계한다.

- (1) 셀룰러 블록을 제작하는 시설의 능력
- (2) 기중기의 인양능력
- (3) 벽체의 전면수심
- (4) 조위차
- (5) 셀룰러 블록 설치 후 작업조건(뒤채움, 상부공 시공)
- (6) 다단 쌓기의 경우 블록 상호의 일체화

### 4.5.3 부재에 작용하는 하중

#### 4.5.3.1 부재하중 설계일반

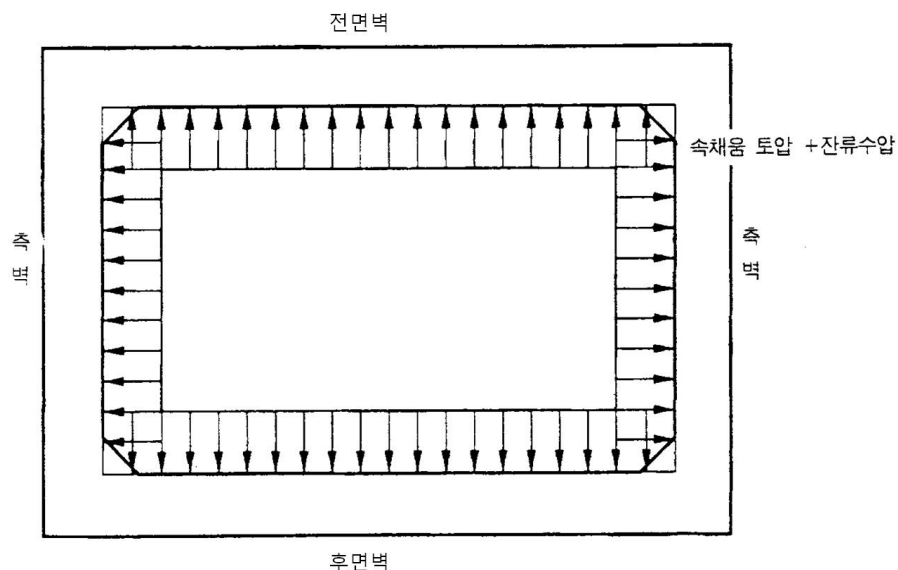
(1) 셀룰러 블록에 작용하는 하중은 다음 것을 고려한다.

- ① 속채움 토압
- ② 잔류수압
- ③ 블록자중
- ④ 상부구조의 중량
- ⑤ 재하하중
- ⑥ 저면반력
- ⑦ 시공 시 하중
- ⑧ 파력

(2) 단 속채움토압, 시공 시 하중에 대하여는 상시 및 시공 시에 대한 안전성을 확인하는 것을 표준으로 한다.

#### [참 고]

- (1) 후면벽에는 뒤채움토압, 잔류수압 등이 외측으로부터 작용하나 속채움 토압과 상쇄되므로 일반적인 경우 이런 하중에 대하여는 검토하지 않아도 된다.
- (2) 셀룰러 블록에 작용하는 속채움 토압, 잔류수압은 참고 그림 (4.5-3)과 같이 고려한다. 벽체로서 뒤채움이 있는 경우에는 뒤채움 공사 종료 후 주동토압, 잔류수압 등에 의하여 측벽과 후벽의 속채움에 의한 응력은 상당히 경감되지만 시공 도중에 속채움이 진행되는 경우가 많으므로 부재의 설계는 이 상태에서 행하면 된다.



참고 그림 (4.5-3) 셀룰러 블록에 작용하는 하중

## 프리캐스트 콘크리트 부재

- (3) 파력은 일반적으로 고려하지 않지만 특히 강한 충격과압이 작용하는 경우에는 이를 고려한다.
- (4) 시공시의 하중에 대하여는 L형 블록과 공통되는 부분이 많으므로 이 기준 4.4 L형 블록을 참조한다.
- (5) 설계에서 고려하는 일반적인 하중의 조합 및 각 하중의 특성값에 곱할 하중계수는 이 기준 4.1.4.1 하중의 조합에 준한다.

### 4.5.3.2 속채움 토압과 잔류수압

#### (1) 전면벽, 후면벽 및 측벽

- ① 전면벽, 후면벽 및 측벽에 작용하는 외력은 속채움 토압과 잔류수압을 고려한다.
- ② 단 셀룰러(Cellular) 블록 내부에 대하여 재하영향을 주지 않을 정도의 현장타설 콘크리트가 셀룰러 블록 상에 있는 경우에는 현장타설 콘크리트위에 있는 하중은 재하하중으로 보지 않는다.

#### (2) 격벽

격벽은 속채움 토압 및 잔류수압에 의하여 측벽이 안전하도록 검토한다.

## [참 고]

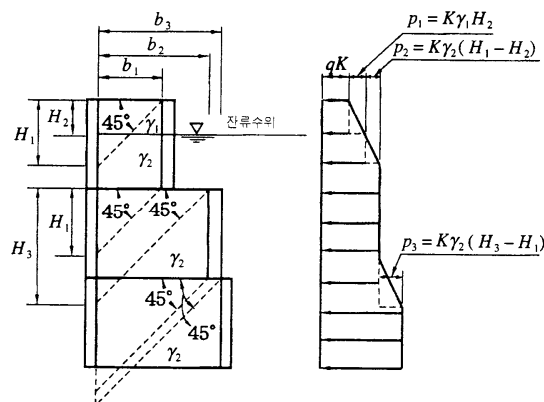
#### (1) 전면벽, 후면벽 및 측벽

##### ① 속채움 토압

가. 토압계수는 0.6으로 한다. 단, 속채움이 블록 또는 콘크리트인 경우에는 속채움 토압을 고려하지 않는다.

나. 토압은 벽의 마루로부터 벽의 안쪽  $b_1$ 의 높이만큼은 증가하나 그 이하에서는 증가하지 않는다고 본다.

다. 다만 쌓기 셀룰러 블록의 토압은 참고 그림 (4.5-4)에 나타난 바와 같다. 단, 상단 블록보다 하단 블록의 벽내 폭이 작은 경우(격벽으로 나누어진 경우)에는 상단 블록에서 구한 토압을 증가시키지 않고 연장하면 된다.



참고 그림 (4.5-4) 속채움 토압을 구하는 방법

참고 그림 (4.5-4)에서의 기호는 다음과 같다.

$q$  : 재하하중( $\text{kN/m}^2$ )

$\gamma_1$  : 속채움의 잔류수위상의 단위체적중량( $\text{kN/m}^3$ )

$\gamma_2$  : 속채움의 잔류수위하의 단위체적중량( $\text{kN/m}^3$ )

일반적으로  $\gamma_1=18.0\text{kN/m}^3$ ,  $\gamma_2=10.0\text{kN/m}^3$ 로 하면 된다.

$K$  : 속채움 토압계수,  $K=0.6$

$b_1$  : 벽의 안폭(m),  $b_1 = H_1$

② 셀룰러 블록의 속채움 토압은 틀 안에 구속되어 케이슨의 속채움과 비슷한 메커니즘이라고 생각되므로 케이슨의 경우에 준한다.

③ 잔류수압

가. 안벽의 경우

잔류수압은 잔류수위와 A.L.L.W시의 수위의 수두차로 한다.

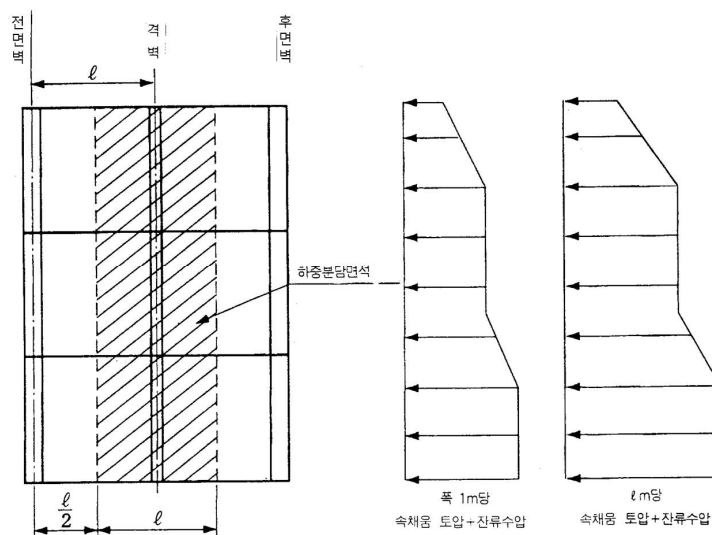
나. 방파제의 경우

잔류수압(셀룰러 블록 내부의 수압)은 블록 내 수위와 A.L.L.W와의 수두차를 취한다. 단, 방파제 전면면 파곡이 있을 때 내부수압이 커지므로 상황에 따라 그것을 고려한다.

④ 방파제, 방파호안 등에 사용한 경우 블록전면에 파곡이 온 경우에는 잔류수위차가 증가하므로 그에 대하여 검토할 필요가 있다. 이 경우의 수압의 계산에 대하여는 KDS 64 10 10 (4.3 파랑 및 파력)을 참조한다.

(2) 격벽

격벽과 측벽의 부재돌출에 대한 하중은 참고 그림 (4.5-5)에 나타난 사선부에 작용하는 토압을 고려한다.



참고 그림 (4.5-5) 격벽과 측벽의 부재돌출에 대한 하중을 구하는 방법

### 4.5.3.3 하중의 분할방법

셀룰러 블록의 부재에 작용하는 하중의 계산의 편의상 분할하는 경우에는 이 기준 4.4.3.3 하중의 분할 방법에 준한다.

## 4.5.4 부재의 설계

### 4.5.4.1 장방향 셀룰러 블록(Cellular block)

- (1) 장방향 셀룰러 블록 각 부재는 구조형식을 고려하여 설계한다.
- (2) 측벽의 계산은 하중을 단계별로 나누어 벽면의 단위 폭에 대하여 상자형라멘으로 해석할 수 있다. 상자형라멘의 해법에는 처짐각법, 모멘트 분배법 등이 있다.
- (3) 격벽에 작용하는 부재력은 측벽에 준하면 된다.
- (4) 확대기초는 측벽에 의하여 지지된 캔틸레버판으로 설계한다.

## [참 고]

### (1) 측 벽

- ① 계산에 사용하는 지간은 중심 간격으로 한다.
- ② 참고 그림 (4.5-6)과 같은 상자형 라멘의 경우 축선위치에서의 모멘트 특성 값은 참고 식 (4.5-1)에 의하여 구할 수가 있다.

$$\left. \begin{aligned}
 M_{CB} &= 2E K_3 (\theta_B) + \frac{w_3 \ell_1^2}{12} \\
 M_{BC} &= 2E K_3 (2\theta_B) - \frac{w_3 \ell_1^2}{12} \\
 M_{BA} &= 2E K_2 (2\theta_B + \theta_A) + \frac{w_2 \ell_2^2}{12} \\
 M_{AB} &= 2E K_2 (\theta_B + 2\theta_A) - \frac{w_2 \ell_2^2}{12} \\
 M_{AD} &= 2E K_1 (2\theta_A) + \frac{w_1 \ell_1^2}{12} \\
 M_{DA} &= 2E K_1 (\theta_A) - \frac{w_1 \ell_1^2}{12} \\
 K_1 &= \frac{I_1}{\ell_1} \\
 K_2 &= \frac{I_2}{\ell_2} \\
 K_3 &= \frac{I_3}{\ell_1}
 \end{aligned} \right\} \text{참고 식 (4.5-1)}$$



단,  $\theta_A, \theta_B$  는 참고 식 (4.5-2)에 의하여 구한다.

$$M_{BC} + M_{BA} = 0$$

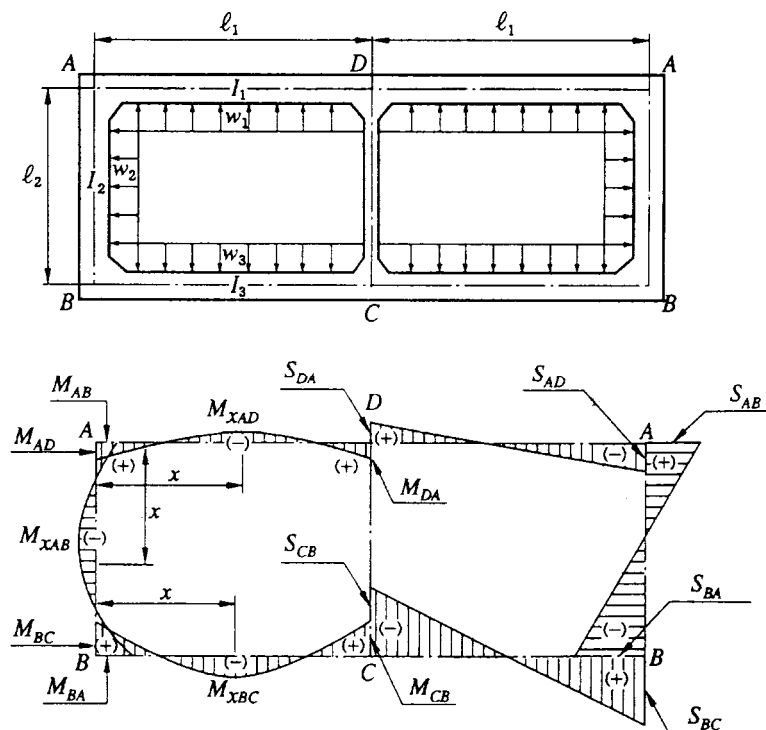
참고 식 (4.5-2)

$$M_{AB} + M_{AD} = 0$$

부재단부의 전단력은 식 참고 (4.5-3)에 의하여 구한다.

$$\left. \begin{aligned} S_{AD} &= -\frac{w_1 \ell_1}{2} - \frac{M_{AD} + M_{DA}}{\ell_1} \\ S_{AB} &= -\frac{w_2 \ell_2}{2} - \frac{M_{AB} + M_{BA}}{\ell_2} \\ S_{BA} &= -\frac{w_2 \ell_2}{2} - \frac{M_{BA} + M_{AB}}{\ell_2} \\ S_{BC} &= -\frac{w_3 \ell_1}{2} - \frac{M_{BC} + M_{CB}}{\ell_1} \\ S_{CB} &= -\frac{w_3 \ell_1}{2} - \frac{M_{CB} + M_{BC}}{\ell_1} \\ S_{DA} &= -\frac{w_1 \ell_1}{2} - \frac{M_{DA} + M_{AD}}{\ell_1} \end{aligned} \right\}$$

참고 식 (4.5-3)



참고 그림 (4.5-6) 상자형 라멘의 하중 적용방법 및 응력도

## 프리캐스트 콘크리트 부재

각 부재의 임의 점에서의 휨 모멘트는 참고 식 (4.5-4)에 의하여 구한다.

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{BC부재의 휨 모멘트 (B점으로부터 } x \text{의} \\
 &\text{거리의 점의 휨모멘트 } M_{xBC} \text{ )} \\
 &M_{xBC} = M_{BC} + S_{BC}x + \frac{w_3}{2}x^2 \\
 &\text{AB부재의 휨 모멘트 (A점으로부터 } x \text{의} \\
 &\text{거리의 점의 휨 모멘트 } M_{xAB} \text{ )} \\
 &M_{xAB} = M_{AB} + S_{AB}x + \frac{w_2}{2}x^2 \\
 &\text{AD부재의 휨 모멘트 (A점으로부터 } x \text{의} \\
 &\text{거리의 점의 휨 모멘트 } M_{xAD} \text{ )} \\
 &M_{xAD} = M_{AD} + S_{AD}x + \frac{w_1}{2}x^2
 \end{aligned} \right\} \quad \text{참고 식 (4.5-4)}$$

또한, 참고 그림 (4.5-6) 및 참고 식 (4.5-1)~참고 식 (4.5-4)에서 기호는 다음과 같다.

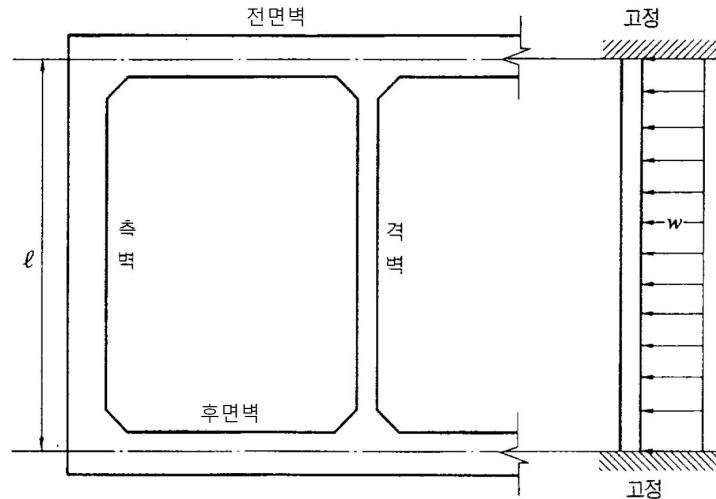
$M_i$  : 부재단부 모멘트(kN.m)  
 $S_i$  : 부재단부 전단력(kN)  
 $M_{xi}$  : 지점간의  $x$ 점에서의 휨 모멘트(kN.m)  
 $E$  : 탄성계수(kN.m<sup>2</sup>)  
 $K_i$  : 강비(m<sup>3</sup>)  
 $I_i$  : 단면 2차 모멘트(m<sup>4</sup>)  
 $\ell_i$  : 지점간거리(m)  
 $w_i$  : 하중강도(kN/m)  
 $\theta_i$  : 부재단부의 편향각(Deflectionangle)(rad)

### (2) 격 벽

- ① 시공도중의 속채움 높이차에 의하여 토압이 생기는 경우에는 그것에 대하여 격벽의 강도를 검토한다. 이 때 부재 길이 및 하중 적용방법은 참고 그림 (4.5-7)과 같다. 휨 모멘트는 양단고정 보로 보고 해석할 수 있다[참고 식 (4.5-5) 참조].

$$\left. \begin{aligned}
 M_C &= -\frac{w\ell^2}{12} \\
 M_B &= \frac{w\ell^2}{24}
 \end{aligned} \right\} \quad \text{참고 식 (4.5-5)}$$

여기서,  $M_C$  : 단부의 모멘트 특성값(kN.m)  
 $M_B$  : 중앙의 모멘트 특성값(kN.m)  
 $w$  : 하중강도(kN/m)  
 $\ell$  : 지점간 거리(m)



참고 그림 (4.5-7) 격벽의 부재 길이 및 하중 적용방법

② 계산에 사용하는 지간은 벽체간의 중심 간격으로 한다.

(3) 확대기초

확대기초 부재길이는 앞굽(Toe)선단으로 부터 측벽전면까지로 한다.

#### 4.5.4.2 기타 셀룰러 블록(Cellular block)

기타 셀룰러 블록의 각 부재는 구조형식을 고려하여 설계한다.

#### [참 고]

(1) 전면벽

① 전면벽은 측벽에 의하여 지지된 판으로 설계해도 좋다.

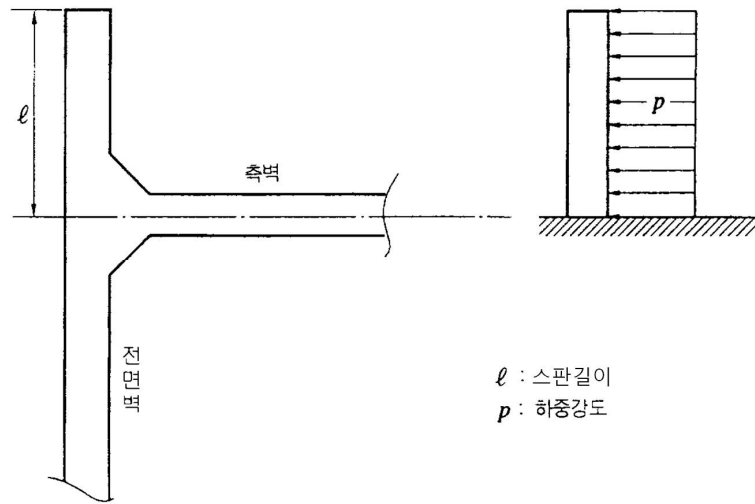
전면벽이 틀의 좌우로 돌출되어 있는 경우 지점의 불균형 모멘트는 측벽으로 전달된다고 본다.

② 전면벽의 부재 길이는 측벽의 중심 간격으로 한다.

③ 전면벽 배후로부터의 하중의 작용방법은 참고 그림 (4.5-8)과 같이 한다.

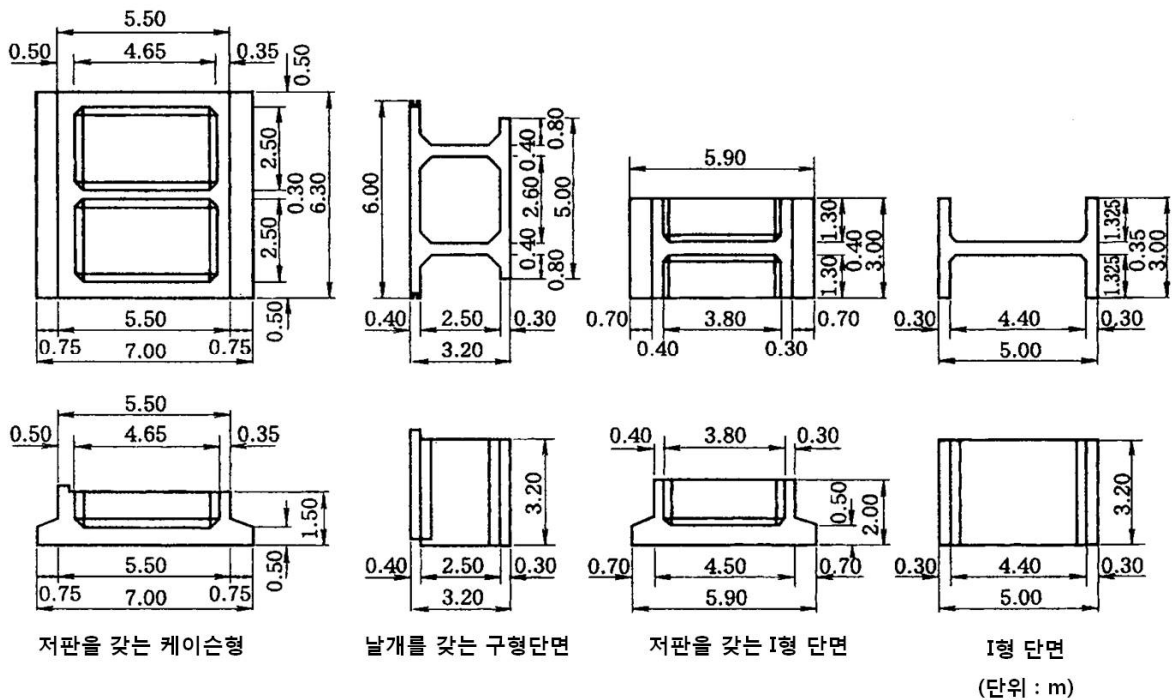
하중은 연직방향에도 등분포 하중으로 계산해도 좋다.

## 프리캐스트 콘크리트 부재



참고 그림 (4.5-8) 날개를 갖는 단면에서 전면벽의 부재 길이 및 하중 적용방법

- ④ 기타 셀룰러 블록의 실시 예로서 참고 그림 (4.5-9)에 나타난 것과 같은 형상이 있다.



참고 그림 (4.5-9) 셀룰러 블록의 실시 예

### (2) 후면벽

- ① 셀룰러 블록을 안벽이나 호안으로서 사용하는 경우에 후면벽이 전면벽과 다른 점은 전면벽의 전면이 노출상태로 있는데 반하여 후면벽 벽면에 배후토사에 의한 토압이

작용한다는 것이다. 그러나 시공 도중에 속채움에 선행하는 경우가 보통이므로 전면 벽과 동일한 조건이 되기 때문에 후면벽의 설계는 전면벽에 준하여도 된다.

② 외력은 속채움에 의한 토압으로 하고 배후의 주동토압은 고려하지 않는다.

### (3) 측 벽

① 측벽은 전면벽 및 후면벽의 반력 및 전달 모멘트에 대하여 설계한다. 측벽의 부재 길이 및 하중 적용방법은 참고 그림 (4.5-10)과 같다.

참고 그림 (4.5-10)의 기호는 다음과 같다.

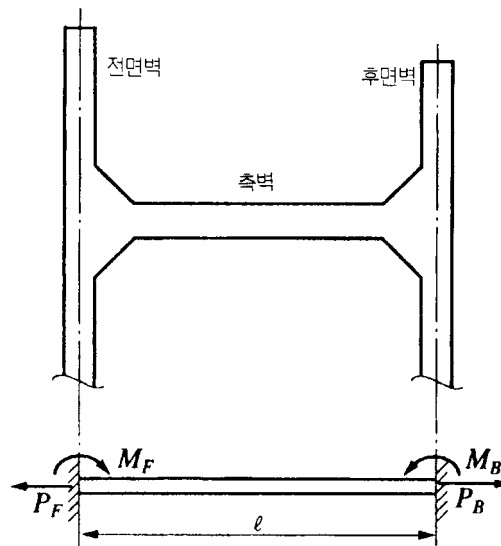
$P_F$  : 전벽으로부터의 반력 특성값(kN)

$M_F$  : 전벽에서 전달되는 모멘트 특성값(kN. m)

$P_B$  : 후벽으로부터의 반력 특성값(kN)

$M_B$  : 후벽에서 전달되는 모멘트 특성값(kN. m)

$\ell$  : 지점간 거리(m)



참고 그림 (4.5-10) 날개를 가진 단면에서 측벽부재의 길이 및 하중 적용방법

② 측벽의 부재 길이는 전면벽과 후면벽의 중심간거리로 한다.

③ 시공도중의 속채움 높이의 차에 의하여 토압이 발생하는 경우에는 그에 대하여 측벽의 강도를 검토한다.

### (4) 저 판

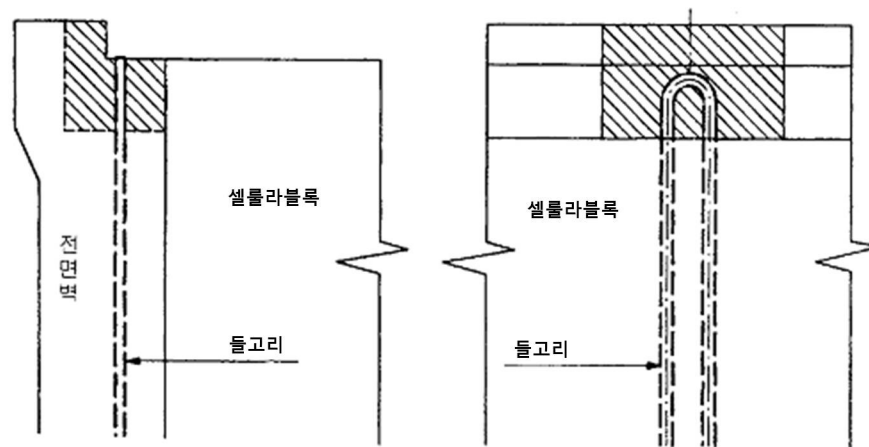
셀룰러 블록의 최하면에 저판이 있는 경우에는 저판 상면에 상재하는 하중, 저판의 자중 및 하면에 작용하는 저면반력에 대하여 설계하면 된다.

#### 4.5.5 리프팅(Lifting)부의 설계

리프팅부의 설계는 이 기준의 4.4.5를 따른다.

##### [참 고]

- (1) 리프팅부는 케이슨과 공통되므로 그것을 준용하나 경우에 따라서는 L형 블록(이 기준 4.5.5 리프팅부의 설계)를 준용한다. 셀룰러 블록의 경우에는 특별히 리프팅부의 배치에 주의하여 부재의 중앙부분을 가급적 피하도록 해야 한다.
- (2) 다단계로 셀룰러 블록을 쌓아올리는 경우 들고리가 쌓는데 장애가 되지 않도록 미리 들고리의 매설면을 낮춰 놓은 등의 처치를 하여야 한다. 참고 그림 (4.5-11)에 그 예를 보여준다.



참고 그림 (4.5-11) 매설면을 낮춘 들고리의 예

##### [참고문헌]

- 1) 국토해양부(2001), 항만 구조물의 내진성능 평가 지침서
- 2) 국토해양부(2012), 도로교 설계기준
- 3) 한국콘크리트학회(2007), 콘크리트 구조설계기준
- 4) 日本港湾協會(1999), 港湾の施設の技術上の基準.同解説
- 5) 日本港湾協會(2007), 港湾の施設の技術上の基準.同解説

## 부 록

### 1. 판의 휨 모멘트 계산수표

#### (1) 설계일반

판의 휨모멘트 계산수표는 등분포하중 또는 3각형 분포하중을 받는 3변 고정 1변자유 판 및 4변고정판의 휨모멘트를 구하기 위한 것이다.

계산법은 부록 식 (1-1)에 의한 얇은 판의 기초방정식을 해석적으로 풀 것이다. 즉, 수 종류의 Levy형의 해를 종합하여 소요 지지조건을 만족하도록 적분정수를 정하는 방법이다. 적분정수는 조건식을 후리에 급수로 전개하여 구하였다.

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{P}{D} \quad \text{부록 식 (1-1)}$$

여기서,  $w$  : 변위(Deflection) (m)

$P$  : 하중강도 (kN/m<sup>2</sup>)

$D$  : 판의강도 (kN.m)

$$D = \frac{E_t^3}{12(1-\nu^2)}$$

$E$  : 판의 탄성계수

$t$  : 판 두께 (m)

$\nu$  : 포아송(Poisson)비  $\nu = \frac{1}{6}$

#### (2) 3변고정 1변자유판의 계산수표

계산수표는 부록 그림 (1-1)(a)~(b)와 같이 자유변의 방향을 y좌표, 이에 직각인 방향을 x좌표로 하고 y방향의 변을 4등분, x방향의 변을 6등분 및 8등분하고 있다.

각 격자점에서의 휨모멘트는 부록 식 (1-2), 부록 식 (1-3)에 의하여 구한다.

##### ① $\lambda \leq 1$ 의 경우

$$M_x = Xq\ell_x^2 \quad \text{부록 식 (1-2)}$$

$$M_y = Yq\ell_x^2$$

##### ② $\lambda > 1$ 의 경우

$$M_x = Xq\ell_y^2 \quad \text{부록 식 (1-3)}$$

$$M_y = Yq\ell_y^2$$

## 프리카스트 콘크리트 부재

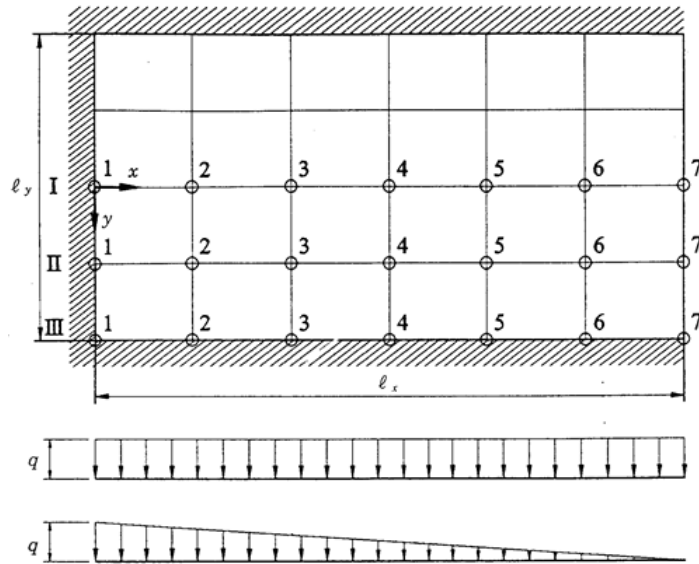
여기서,  $\lambda$  : 변장비  $\lambda = \ell_x / \ell_y$

$M_x, M_y$  : 구하는 점에서 x방향, y방향의 휨모멘트 (kN.m/m)

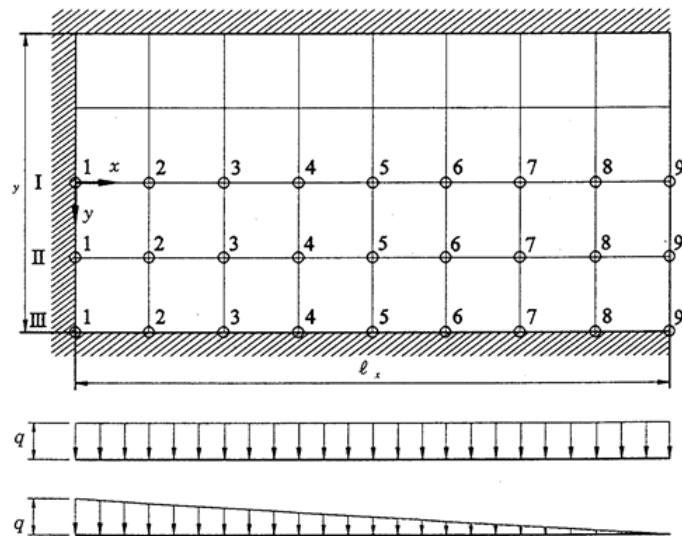
$X, Y$  : 구하는 점에서 x방향, y방향의 휨모멘트 계수

$\ell_x, \ell_y$  : x방향, y방향의 길이

$q$  : 등분포하중의 경우는 하중강도, 3각형 분포하중의 경우는 최대하중강도



부록 그림 (1-1)(a) 3변고정1변자유판

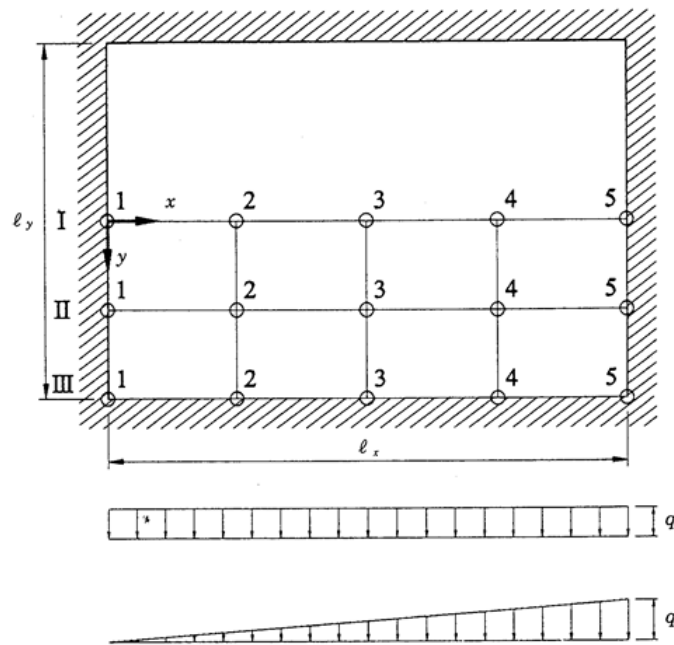


부록 그림 (1-1)(b) 4변고정판

### (3) 4변고정판의 계산수표

계산수표는 부록 그림 (1-2)와 같이 x방향, y방향을 정하고 격자는 일변을 4등분하고 있다. 각 격자점에서의 휨모멘트는 부록 식 (1-2), 부록 식 (1-3)에 의하여 구한다.





부록 그림 (1-2) 4변고정판

## (4) 계산수표

3변고정1변자유판의 휨모멘트계수에 대하여는 x방향변을 6등분한 경우는 부록 표 (1-1) ①~⑦을, 8등분한 경우는 부록 표 (1-2) ①~⑦을 참조할 것.  
또, 4변고정판에 대하여는 부록 표 (1-3) ①~⑤를 참조할 것.

## 프리캐스트 콘크리트 부재

부록 표 (1-1) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 6등분, y방향 4등분)

①  $\lambda = 0.30, 0.40, 0.50$

$\lambda$	하중	휨모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7
0.30	등분포하중	X	I	-0.3819	-0.2308	-0.1193	-0.0434	0.0002	0.0143	0
			II	-0.2656	-0.1504	-0.0723	-0.0230	0.0035	0.0108	0
			III	0	-0.0031	-0.0128	-0.0249	-0.0379	-0.0533	0
		Y	I	-0.0636	-0.0347	-0.0061	0.0204	0.0436	0.0625	0.0762
			II	-0.0443	-0.0206	0.0024	0.0226	0.0391	0.0519	0.0614
			III	0	-0.0186	-0.0770	-0.1495	-0.2277	-0.3196	-0.4201
	삼각형분포하중	X	I	-0.1353	-0.0654	-0.0219	0.0009	0.0086	0.0067	0
			II	-0.1021	-0.0427	-0.0095	0.0053	0.0082	0.0049	0
			III	0	-0.0023	-0.0061	-0.0092	-0.0116	-0.0141	0
		Y	I	-0.0225	-0.0098	0.0002	0.0078	0.0134	0.0175	0.0207
			II	-0.0170	-0.0056	0.0032	0.0091	0.0127	0.0148	0.0164
			III	0	-0.0137	-0.0366	-0.0554	-0.0697	-0.0845	-0.0981
0.40	등분포하중	X	I	-0.2840	-0.1497	-0.0596	-0.0051	0.0207	0.0220	0
			II	-0.1819	-0.0908	-0.0342	-0.0024	0.0111	0.0113	0
			III	0	-0.0033	-0.0127	-0.0236	-0.0346	-0.0468	0
		Y	I	-0.0473	-0.0188	0.0112	0.0397	0.0645	0.0848	0.1004
			II	-0.0303	-0.0109	0.0074	0.0229	0.0353	0.0448	0.0523
			III	0	-0.0195	-0.0761	-0.1419	-0.2078	-0.2811	-0.3553
	삼각형분포하중	X	I	-0.1084	-0.0431	-0.0058	0.0109	0.0136	0.0084	0
			II	-0.0770	-0.0257	0.0002	0.0094	0.0090	0.0044	0
			III	0	-0.0023	-0.0061	-0.0089	-0.0107	-0.0124	0
		Y	I	-0.0181	-0.0054	0.0052	0.0135	0.0196	0.0239	0.0274
			II	-0.0128	-0.0025	0.0051	0.0096	0.0117	0.0126	0.0133
			III	0	-0.0140	-0.0364	-0.0533	-0.0644	-0.0743	-0.0810
0.50	등분포하중	X	I	-0.2053	-0.0916	-0.0229	0.0136	0.0269	0.0220	0
			II	-0.1269	-0.0538	-0.0124	0.0075	0.0131	0.0098	0
			III	0	-0.0034	-0.0122	-0.0216	-0.0301	-0.0389	0
		Y	I	-0.0342	-0.0079	0.0203	0.0465	0.0688	0.0866	0.1005
			II	-0.0212	-0.0051	0.0093	0.0207	0.0293	0.0356	0.0410
			III	0	-0.0205	-0.0733	-0.1294	-0.1806	-0.2334	-0.2818
	삼각형분포하중	X	I	-0.0858	-0.0267	0.0040	0.0151	0.0144	0.0078	0
			II	-0.0594	-0.0149	0.0051	0.0106	0.0084	0.0035	0
			III	0	-0.0024	-0.0059	-0.0083	-0.0095	-0.0102	0
		Y	I	-0.0143	-0.0021	0.0082	0.0160	0.0212	0.0246	0.0273
			II	-0.0099	-0.0006	0.0059	0.0091	0.0100	0.0097	0.0098
			III	0	-0.0143	-0.0356	-0.0499	-0.0570	-0.0615	-0.0613

부록 표 (1-1) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 6등분, y방향 4등분) (계속)

②  $\lambda=0.75, 1.00, 1.25$ 

$\lambda$	하중	휨모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7
0.75	등분포하중	X	I	-0.0990	-0.0258	0.0080	0.0197	0.0198	0.0132	0
			II	-0.0602	-0.0145	0.0049	0.0103	0.0088	0.0048	0
			III	0	-0.0035	-0.0101	-0.0156	-0.0195	-0.0227	0
		Y	I	-0.0165	0.0032	0.0236	0.0406	0.0531	0.0619	0.0688
			II	-0.0100	0.0009	0.0093	0.0144	0.0173	0.0189	0.0205
			III	0	-0.0209	-0.0606	-0.0939	-0.1172	-0.1361	-0.1477
	삼각형분포하중	X	I	-0.0519	-0.0067	0.0110	0.0137	0.0095	0.0038	0
			II	-0.0348	-0.0030	0.0075	0.0080	0.0048	0.0013	0
			III	0	-0.0024	-0.0053	-0.0066	-0.0065	-0.0058	0
		Y	I	-0.0087	0.0020	0.0105	0.0155	0.0173	0.0174	0.0175
			II	-0.0058	0.0016	0.0059	0.0070	0.0061	0.0047	0.0037
			III	0	-0.0143	-0.0317	-0.0394	-0.0389	-0.0347	-0.0260
1.00	등분포하중	X	I	-0.0565	-0.0063	0.0106	0.0133	0.0110	0.0069	0
			II	-0.0343	-0.0034	0.0058	0.0064	0.0044	0.0020	0
			III	0	-0.0032	-0.0080	-0.0111	-0.0127	-0.0137	0
		Y	I	-0.0094	0.0059	0.0203	0.0304	0.0364	0.0398	0.0428
			II	-0.0057	0.0023	0.0075	0.0098	0.0105	0.0108	0.0111
			III	0	-0.0195	-0.0478	-0.0655	-0.0763	-0.0822	-0.0838
	삼각형분포하중	X	I	-0.0350	-0.0001	0.0097	0.0089	0.0049	0.0013	0
			II	-0.0229	0.0006	0.0058	0.0047	0.0022	0.0002	0
			III	0	-0.0023	-0.0045	-0.0050	-0.0044	-0.0033	0
		Y	I	-0.0058	0.0035	0.0103	0.0129	0.0124	0.0106	0.0094
			II	-0.0038	0.0021	0.0049	0.0049	0.0038	0.0024	0.0013
			III	0	-0.0137	-0.0270	-0.0300	-0.0261	-0.0196	-0.0833
1.25	등분포하중	X	I	-0.0567	0	0.0133	0.0128	0.0096	0.0061	0
			II	-0.0344	0.0003	0.0069	0.0056	0.0033	0.0014	0
			III	0	-0.0046	-0.0098	-0.0125	-0.0135	-0.0139	0
		Y	I	-0.0095	0.0098	0.0261	0.0354	0.0395	0.0413	0.0435
			II	-0.0057	0.0039	0.0090	0.0106	0.0107	0.0106	0.0107
			III	0	-0.0273	-0.0587	-0.0749	-0.0810	-0.0835	-0.0833
	삼각형분포하중	X	I	-0.0391	0.0035	0.0112	0.0083	0.0038	0.0005	0
			II	-0.0251	0.0026	0.0063	0.0041	0.0014	-0.0002	0
			III	0	-0.0033	-0.0059	-0.0059	-0.0047	-0.0030	0
		Y	I	-0.0065	0.0064	0.0146	0.0162	0.0137	0.0101	0.0079
			II	-0.0042	0.0033	0.0060	0.0054	0.0038	0.0021	0.0008
			III	0	-0.0199	-0.0352	-0.0356	-0.0279	-0.0183	-0.0078

# 프리카스트 콘크리트 부재

부록 표 (1-1) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 6등분, y방향 4등분) (계속)

③  $\lambda = 1.50, 1.75, 2.00$

$\lambda$	하중	힘모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7
1.50	등분포하중	X	I	-0.0568	0.0048	0.0139	0.0113	0.0083	0.0058	0
			II	-0.0344	0.0029	0.0068	0.0045	0.0025	0.0011	0
			III	0	-0.0058	-0.0112	-0.0133	-0.0138	-0.0139	0
		Y	I	-0.0095	0.0136	0.0307	0.0384	0.0409	0.0416	0.0434
			II	-0.0057	0.0053	0.0100	0.0108	0.0106	0.0104	0.0105
			III	0	-0.0350	-0.0669	-0.0797	-0.0829	-0.0835	-0.0834
	삼각형분포하중	X	I	-0.0420	0.0065	0.0114	0.0071	0.0029	0.0001	0
			II	-0.0266	0.0042	0.0060	0.0031	0.0009	-0.0004	0
			III	0	-0.0044	-0.0070	-0.0065	-0.0047	-0.0028	0
		Y	I	-0.0070	0.0094	0.0183	0.0184	0.0142	0.0094	0.0065
			II	-0.0044	0.0045	0.0067	0.0056	0.0037	0.0019	0.0006
			III	0	-0.0263	-0.0419	-0.0390	-0.0284	-0.0168	-0.0060
1.75	등분포하중	X	I	-0.0568	0.0082	0.0135	0.0099	0.0075	0.0058	0
			II	-0.0344	0.0047	0.0062	0.0035	0.0020	0.0010	0
			III	0	-0.0070	-0.0122	-0.0137	-0.0139	-0.0139	0
		Y	I	-0.0095	0.0172	0.0342	0.0402	0.0414	0.0415	0.0433
			II	-0.0057	0.0065	0.0105	0.0108	0.0105	0.0104	0.0104
			III	0	-0.0421	-0.0730	-0.0823	-0.0836	-0.0833	-0.0840
	삼각형분포하중	X	I	-0.0441	0.0088	0.0108	0.0059	0.0024	0.0001	0
			II	-0.0277	0.0053	0.0053	0.0023	0.0006	-0.0004	0
			III	0	-0.0054	-0.0078	-0.0068	-0.0047	-0.0026	0
		Y	I	-0.0074	0.0124	0.0212	0.0197	0.0142	0.0087	0.0055
			II	-0.0046	0.0054	0.0071	0.0055	0.0036	0.0018	0.0004
			III	0	-0.0324	-0.0470	-0.0410	-0.0283	-0.0155	-0.0049
2.00	등분포하중	X	I	-0.0568	0.0107	0.0125	0.0087	0.0071	0.0060	0
			II	-0.0344	0.0058	0.0054	0.0028	0.0018	0.0011	0
			III	0	-0.0081	-0.0129	-0.0139	-0.0140	-0.0139	0
		Y	I	-0.0095	0.0205	0.0367	0.0411	0.0416	0.0415	0.0432
			II	-0.0057	0.0076	0.0107	0.0107	0.0105	0.0103	0.0104
			III	0	-0.0487	-0.0773	-0.0836	-0.0838	-0.0833	-0.0846
	삼각형분포하중	X	I	-0.0457	0.0105	0.0099	0.0050	0.0022	-0.0002	0
			II	-0.0285	0.0060	0.0045	0.0017	0.0004	-0.0003	0
			III	0	-0.0064	-0.0085	-0.0070	-0.0047	-0.0024	0
		Y	I	-0.0076	0.0153	0.0234	0.0204	0.0142	0.0082	0.0047
			II	-0.0048	0.0063	0.0073	0.0055	0.0035	0.0017	0.0004
			III	0	-0.0382	-0.0508	-0.0420	-0.0280	-0.0145	-0.0041

부록 표 (1-1) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 6등분, y방향 4등분) (계속)

④  $\lambda = 2.25, 2.50, 2.75$ 

$\lambda$	하중	휨모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7
2.25	등분포하중	X	I	-0.0567	0.0122	0.0114	0.0080	0.0070	0.0062	0
			II	-0.0343	0.0065	0.0046	0.0023	0.0017	0.0012	0
			III	0	-0.0091	-0.0134	-0.0140	-0.0140	-0.0139	0
	삼각형분포하중	Y	I	-0.0095	0.0235	0.0386	0.0416	0.0416	0.0414	0.0432
			II	-0.0057	0.0084	0.0108	0.0106	0.0104	0.0103	0.0105
			III	0	-0.0546	-0.0802	-0.0842	-0.0839	-0.0834	-0.0852
	삼각형분포하중	X	I	-0.0469	0.0117	0.0089	0.0043	0.0021	0.0003	0
			II	-0.0291	0.0064	0.0038	0.0013	0.0004	-0.0002	0
			III	0	-0.0072	-0.0089	-0.0071	-0.0046	-0.0023	0
2.50	등분포하중	X	I	-0.0567	0.0132	0.0104	0.0075	0.0069	0.0063	0
			II	-0.0342	0.0067	0.0039	0.0020	0.0017	0.0013	0
			III	0	-0.0100	-0.0137	-0.0141	-0.0140	-0.0139	0
	삼각형분포하중	Y	I	-0.0094	0.0262	0.0398	0.0417	0.0416	0.0414	0.0432
			II	-0.0057	0.0090	0.0109	0.0106	0.0104	0.0103	0.0105
			III	0	-0.0598	-0.0822	-0.0844	-0.0840	-0.0837	-0.0858
	삼각형분포하중	X	I	-0.0478	0.0123	0.0079	0.0039	0.0021	0.0005	0
			II	-0.0296	0.0065	0.0031	0.0011	0.0004	-0.0001	0
			III	0	-0.0080	-0.0092	-0.0071	-0.0046	-0.0022	0
2.75	등분포하중	X	I	-0.0566	0.0136	0.0096	0.0072	0.0069	0.0065	0
			II	-0.0341	0.0067	0.0033	0.0018	0.0016	0.0014	0
			III	0	-0.0107	-0.0139	-0.0141	-0.0140	-0.0140	0
	삼각형분포하중	Y	I	-0.0094	0.0286	0.0407	0.0418	0.0416	0.0414	0.0432
			II	-0.0057	0.0096	0.0108	0.0105	0.0104	0.0103	0.0105
			III	0	-0.0644	-0.0836	-0.0845	-0.0841	-0.0840	-0.0863
	삼각형분포하중	X	I	-0.0486	0.0126	0.0071	0.0037	0.0021	0.0006	0
			II	-0.0299	0.0064	0.0026	0.0009	0.0005	0	0
			III	0	-0.0087	-0.0094	-0.0071	-0.0046	-0.0021	0
2.75	삼각형분포하중	Y	I	-0.0081	0.0226	0.0269	0.0209	0.0139	0.0074	0.0034
			II	-0.0050	0.0080	0.0073	0.0053	0.0034	0.0017	0.0003
			III	0	-0.0524	-0.0566	-0.0427	-0.0273	-0.0126	-0.0021

# 프리캐스트 콘크리트 부재

부록 표 (1-1) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 6등분, y방향 4등분) (계속)

⑤  $\lambda=3.00, 3.25, 3.50$

$\lambda$	하중	힘모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7
3.00	등분포하중	X	I	-0.0565	0.0137	0.0089	0.0070	0.0069	0.0066	0
			II	-0.0339	0.0065	0.0028	0.0017	0.0016	0.0015	0
			III	0	-0.0114	-0.0141	-0.0141	-0.0140	-0.141	0
		Y	I	-0.0094	0.0308	0.0412	0.0418	0.0416	0.0414	0.0432
			II	-0.0057	0.0100	0.0108	0.0105	0.0104	0.0103	0.0105
			III	0	-0.0685	-0.0845	-0.0845	-0.0843	-0.0843	-0.0868
	삼각형분포하중	X	I	-0.0492	0.0126	0.0064	0.0036	0.0021	0.0007	0
			II	-0.0301	0.0062	0.0021	0.0009	0.0005	0.0001	0
			III	0	-0.0094	-0.0096	-0.0071	-0.0045	-0.0020	0
		Y	I	-0.0082	0.0245	0.0274	0.0209	0.0139	0.0072	0.0031
			II	-0.0050	0.0084	0.0073	0.0053	0.0034	0.0017	0.0003
			III	0	-0.0561	-0.0576	-0.0428	-0.0272	-0.0121	-0.0015
3.25	등분포하중	X	I	-0.0565	0.0136	0.0083	0.0070	0.0068	0.0067	0
			II	-0.0338	0.0062	0.0025	0.0017	0.0015	0.0015	0
			III	0	-0.0120	-0.0142	-0.0141	-0.0141	-0.0141	0
		Y	I	-0.0094	0.0326	0.0415	0.0418	0.0416	0.0414	0.0432
			II	-0.0056	0.0103	0.0107	0.0105	0.0104	0.0104	0.0105
			III	0	-0.0720	-0.0851	-0.0846	-0.0845	-0.0847	-0.0872
	삼각형분포하중	X	I	-0.0496	0.0123	0.0059	0.0035	0.0022	0.0008	0
			II	-0.0302	0.0058	0.0018	0.0008	0.0005	0.0002	0
			III	0	-0.0099	-0.0097	-0.0071	-0.0045	-0.0019	0
		Y	I	-0.0083	0.0263	0.0277	0.0209	0.0139	0.0071	0.0029
			II	-0.0050	0.0086	0.0072	0.0052	0.0034	0.0017	0.0003
			III	0	-0.0594	-0.0583	-0.0428	-0.0271	-0.0116	-0.0008
3.50	등분포하중	X	I	-0.0564	0.0132	0.0079	0.0069	0.0068	0.0067	0
			II	-0.0335	0.0058	0.0022	0.0016	0.0015	0.0015	0
			III	0	-0.0125	-0.0143	-0.0141	-0.0141	-0.0142	0
		Y	I	-0.0094	0.0343	0.0417	0.0417	0.0416	0.0415	0.0432
			II	-0.0056	0.0105	0.0107	0.0104	0.0104	0.0104	0.0105
			III	0	-0.0750	-0.0855	-0.0846	-0.0847	-0.0851	-0.0877
	삼각형분포하중	X	I	-0.0500	0.0119	0.0055	0.0035	0.0022	0.0009	0
			II	-0.0303	0.0054	0.0015	0.0008	0.0005	0.0003	0
			III	0	-0.0104	-0.0098	-0.0072	-0.0045	-0.0019	0
		Y	I	-0.0083	0.0278	0.0279	0.0209	0.0139	0.0071	0.0027
			II	-0.0050	0.0088	0.0072	0.0052	0.0034	0.0017	0.0003
			III	0	-0.0622	-0.0588	-0.0429	-0.0269	-0.0112	-0.0002

부록 표 (1-1) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 6등분, y방향 4등분) (계속)

⑥  $\lambda=3.75, 4.00, 4.25$ 

$\lambda$	하중	힘모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7
3.75	등분 포하중	X	I	-0.0564	0.0127	0.0076	0.0069	0.0068	0.0068	0
			II	-0.0331	0.0053	0.0020	0.0016	0.0014	0.0014	0
			III	0	-0.0129	-0.0143	-0.0141	-0.0141	-0.0143	0
	Y		I	-0.0094	0.0356	0.0418	0.0417	0.0416	0.0415	0.0434
			II	-0.0055	0.0106	0.0106	0.0104	0.0104	0.0104	0.0104
			III	0	-0.0775	-0.0859	-0.0848	-0.0848	-0.0856	-0.0881
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0505	0.0114	0.0052	0.0034	0.0022	0.0010	0
			II	-0.0302	0.0049	0.0013	0.0008	0.0005	0.0004	0
			III	0	-0.0108	-0.0099	-0.0072	-0.0045	-0.0018	0
4.00	등분 포하중	X	I	-0.0568	0.0121	0.0075	0.0069	0.0067	0.0068	0
			II	-0.0324	0.0048	0.0019	0.0016	0.0014	0.0014	0
			III	0	-0.0133	-0.0144	-0.0142	-0.0142	-0.0143	0
	Y		I	-0.0095	0.0368	0.0419	0.0417	0.0417	0.0415	0.0433
			II	-0.0054	0.0107	0.0106	0.0104	0.0104	0.0104	0.0105
			III	0	-0.0797	-0.0862	-0.0850	-0.0850	-0.0860	-0.0886
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0505	0.0108	0.0050	0.0034	0.0022	0.0011	0
			II	-0.0302	0.0044	0.0011	0.0007	0.0005	0.0005	0
			III	0	-0.0111	-0.0100	-0.0072	-0.0044	-0.0017	0
4.25	등분 포하중	X	I	-0.0560	0.0115	0.0073	0.0069	0.0067	0.0068	0
			II	-0.0325	0.0044	0.0018	0.0015	0.0013	0.0013	0
			III	0	-0.0136	-0.0144	-0.0142	-0.0142	-0.0144	0
	Y		I	-0.0093	0.0378	0.0419	0.0417	0.0417	0.0416	0.0433
			II	-0.0054	0.0108	0.0106	0.0104	0.0104	0.0104	0.0105
			III	0	-0.0816	-0.0866	-0.0852	-0.0852	-0.0865	-0.0891
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0507	0.0102	0.0049	0.0034	0.0021	0.0012	0
			II	-0.0301	0.0039	0.0010	0.0007	0.0005	0.0007	0
			III	0	-0.0114	-0.0100	-0.0072	-0.0044	-0.0016	0
4.25	삼각 형분 포하중	Y	I	-0.0085	0.0311	0.0280	0.0209	0.0138	0.0069	0.0022
			II	-0.0050	0.0090	0.0070	0.0052	0.0034	0.0017	0.0004
			III	0	-0.0687	-0.0603	-0.0434	-0.0265	-0.0098	0.0018

## 프리캐스트 콘크리트 부재

부록 표 (1-1) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 6등분, y방향 4등분) (계속)

⑦  $\lambda=4.50, 4.75, 5.00$

$\lambda$	하중	힘모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7
4.50	등분 포하중	X	I	-0.0560	0.0109	0.0072	0.0068	0.0066	0.0067	0
			II	-0.0322	0.0039	0.0017	0.0015	0.0013	0.0013	0
			III	0	-0.0139	-0.0145	-0.0142	-0.0142	-0.0145	0
	Y		I	-0.0093	0.0387	0.0419	0.0417	0.0417	0.0416	0.0435
			II	-0.0054	0.0108	0.0105	0.0104	0.0103	0.0104	0.0106
			III	0	-0.0832	-0.0869	-0.0854	-0.0854	-0.0869	-0.0896
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0510	0.0096	0.0048	0.0034	0.0021	0.0012	0
			II	-0.0300	0.0034	0.0009	0.0006	0.0005	0.0008	0
			III	0	-0.0117	-0.0101	-0.0073	-0.0044	-0.0016	0
4.75	등분 포하중	X	I	-0.0555	0.0103	0.0072	0.0068	0.0065	0.0067	0
			II	-0.0315	0.0034	0.0016	0.0014	0.0012	0.0012	0
			III	0	-0.0141	-0.0146	-0.0143	-0.0143	-0.0146	0
	Y		I	-0.0092	0.0394	0.0419	0.0417	0.0417	0.0417	0.0433
			II	-0.0052	0.0107	0.0105	0.0104	0.0103	0.0103	0.0104
			III	0	-0.0846	-0.0873	-0.0856	-0.0856	-0.0874	-0.0901
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0508	0.0090	0.0047	0.0034	0.0021	0.0014	0
			II	-0.0296	0.0029	0.0007	0.0006	0.0006	0.0009	0
			III	0	-0.0120	-0.0102	-0.0073	-0.0044	-0.0015	0
5.00	등분 포하중	X	I	-0.0552	0.0097	0.0071	0.0068	0.0065	0.0066	0
			II	-0.0309	0.0030	0.0015	0.0014	0.0011	0.0011	0
			III	0	-0.0143	-0.0146	-0.0143	-0.0143	-0.0147	0
	Y		I	-0.0092	0.0399	0.0419	0.0417	0.0417	0.0417	0.0433
			II	-0.0052	0.0107	0.0105	0.0103	0.0103	0.0103	0.0103
			III	0	-0.0858	-0.0877	-0.0858	-0.0858	-0.0879	-0.0906
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0508	0.0084	0.0046	0.0033	0.0021	0.0015	0
			II	-0.0292	0.0025	0.0006	0.0006	0.0006	0.0010	0
			III	0	-0.0122	-0.0103	-0.0073	-0.0043	-0.0014	0
5.00	삼각 형분 포하중	Y	I	-0.0085	0.0331	0.0281	0.0209	0.0138	0.0068	0.0019
			II	-0.0049	0.0090	0.0069	0.0052	0.0034	0.0018	0.0007
			III	0	-0.0729	-0.0619	-0.0440	-0.0259	-0.0083	0.0039



부록 표 (1-2) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 8등분, y방향 4등분)

①  $\lambda = 0.30, 0.40, 0.50$ 

$\lambda$	하중	휨모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.30	등분포하중	X	I	-0.3819	-0.2648	-0.1704	-0.0972	-0.0434	-0.0078	0.0109	0.0133	0
			II	0.2656	-0.1754	-0.1074	-0.0576	-0.0230	-0.0012	0.0094	0.0098	0
			III	0	-0.0014	-0.0075	-0.0157	-0.0249	-0.0346	-0.0451	-0.0582	0
		Y	I	-0.0636	-0.0419	-0.0202	0.0007	0.0204	0.0382	0.0536	0.0665	0.0762
			II	-0.0443	-0.0266	-0.0089	0.0077	0.0226	0.0353	0.0459	0.0545	0.0614
			III	0	-0.0086	-0.0447	-0.0945	-0.1495	-0.2074	-0.2708	-0.3493	-0.4201
	삼각형분포하중	X	I	-0.1353	-0.0802	-0.0407	-0.0145	0.0009	0.0078	0.0086	0.0053	0
			II	-0.1021	-0.0548	-0.0233	-0.0043	0.0053	0.0083	0.0071	0.0037	0
III	0		-0.0014	-0.0042	-0.0069	-0.0092	-0.0111	-0.0129	-0.0151	0		
0.40	등분포하중	X	I	-0.2840	-0.1787	-0.0997	-0.0430	-0.0051	0.0167	0.0243	0.0187	0
			II	-0.1819	-0.1099	-0.0589	-0.0242	-0.0024	0.0091	0.0127	0.0096	0
			III	0	-0.0016	-0.0076	-0.0154	-0.0236	-0.0319	-0.0406	-0.0511	0
		Y	I	-0.0473	-0.0262	-0.0037	0.0186	0.0397	0.0587	0.0752	0.0892	0.1004
			II	-0.0303	-0.0157	-0.0014	0.0115	0.0229	0.0325	0.0404	0.0468	0.0523
			III	0	-0.0097	-0.0457	-0.0925	-0.1419	-0.1914	-0.2434	-0.3064	-0.3553
	삼각형분포하중	X	I	-0.1084	-0.0566	-0.0215	0	0.0109	0.0139	0.0117	0.0064	0
			II	-0.0770	-0.0357	-0.0102	0.0037	0.0094	0.0097	0.0070	0.0031	0
III	0		-0.0014	-0.0042	-0.0068	-0.0089	-0.0104	-0.0117	-0.0132	0		
0.50	등분포하중	X	I	-0.2053	-0.1153	-0.0526	-0.0112	0.0136	0.0254	0.0265	0.0181	0
			II	-0.1269	-0.0686	-0.0299	-0.0058	0.0075	0.0127	0.0123	0.0080	0
			III	0	-0.0018	-0.0076	-0.0146	-0.0216	-0.0281	-0.0345	-0.0421	0
		Y	I	-0.0342	-0.0149	0.0062	0.0271	0.0465	0.0637	0.0782	0.0904	0.1005
			II	-0.0212	-0.0090	0.0024	0.0124	0.0207	0.0273	0.0327	0.0370	0.0410
			III	0	-0.108	-0.0457	-0.0878	-0.1294	-0.1684	-0.2072	-0.2527	-0.2818
	삼각형분포하중	X	I	-0.0858	-0.0385	-0.0084	0.0083	0.0151	0.0153	0.0115	0.0058	0
			II	-0.0594	-0.0233	-0.0026	0.0075	0.0106	0.0094	0.0060	0.0024	0
III	0		-0.0015	-0.0042	-0.0066	-0.0083	-0.0093	-0.0100	-0.0108	0		
	Y	I	-0.0143	-0.0050	0.0033	0.0104	0.0160	0.0201	0.0231	0.0253	0.0273	
		II	-0.0099	-0.0027	0.0031	0.0070	0.0091	0.0099	0.0099	0.0097	0.0098	
III		0	-0.0088	-0.0253	-0.0398	-0.0499	-0.0561	-0.0602	-0.0648	-0.0613		

## 프리캐스트 콘크리트 부재

부록 표 (1-2) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 8등분, y방향 4등분) (계속)

②  $\lambda=0.75, 1.00, 1.25$

$\lambda$	하중	힘모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.75	등분포하중	X	I	-0.0990	-0.0395	-0.0053	0.0124	0.0197	0.0205	0.0172	0.0106	0
			II	-0.0602	0.0229	-0.0025	0.0071	0.0103	0.0096	0.0070	0.0037	0
			III	0	-0.0020	-0.0068	-0.0117	-0.0156	-0.0187	-0.0213	-0.0240	0
		Y	I	-0.0165	-0.0020	0.0137	0.0283	0.0406	0.0504	0.0578	0.0637	0.0688
			II	-0.0100	-0.0017	0.0055	0.0109	0.0144	0.0167	0.0182	0.0192	0.0205
			III	0	-0.0121	-0.0410	-0.0700	-0.0939	-0.1123	-0.1276	-0.1442	-0.1477
	삼각형분포하중	X	I	-0.0519	-0.0149	0.0047	0.0127	0.0137	0.0109	0.0066	0.0025	0
			II	-0.0348	-0.0083	0.0040	0.0082	0.0080	0.0058	0.0030	0.0007	0
			III	0	-0.0015	-0.0040	-0.0057	-0.0066	-0.0066	-0.0063	-0.0059	0
		Y	I	-0.0087	-0.0006	0.0066	0.0121	0.0155	0.0171	0.0175	0.0173	0.0175
			II	-0.0058	0	0.0042	0.0064	0.0070	0.0065	0.0054	0.0044	0.0037
			III	0	-0.0091	-0.0238	-0.0344	-0.0394	-0.0399	-0.0378	-0.0351	-0.0260
1.00	등분포하중	X	I	-0.0565	-0.0147	0.0048	0.0121	0.0133	0.0118	0.0092	0.0056	0
			II	-0.0343	-0.0083	0.0029	0.0064	0.0064	0.0050	0.0032	0.0015	0
			III	0	-0.0020	-0.0058	-0.0089	-0.0111	-0.0124	-0.0133	-0.0143	0
		Y	I	-0.0094	0.0018	0.0135	0.0233	0.0304	0.0352	0.0383	0.0405	0.0428
			II	-0.0057	0.0005	0.0053	0.0083	0.0098	0.0104	0.0107	0.0108	0.0111
			III	0	-0.0119	-0.0345	-0.0535	-0.0665	-0.0745	-0.0799	-0.0856	-0.0838
	삼각형분포하중	X	I	-0.0350	-0.0057	0.0068	0.0101	0.0089	0.0060	0.0030	0.0006	0
			II	-0.0229	-0.0029	0.0045	0.0058	0.0047	0.0029	0.0011	0.0001	0
			III	0	-0.0015	-0.0036	-0.0047	-0.0050	-0.0046	-0.0039	-0.0032	0
		Y	I	-0.0058	0.0013	0.0074	0.0113	0.0129	0.0127	0.0115	0.0102	0.0094
			II	-0.0038	0.0009	0.0039	0.0051	0.0049	0.0041	0.0031	0.0020	0.0013
			III	0	-0.0090	-0.0213	-0.0284	-0.0300	-0.0277	-0.0236	-0.0191	-0.0108
1.25	등분포하중	X	I	-0.0567	-0.0083	0.0096	0.0138	0.0128	0.0104	0.0080	0.0051	0
			II	-0.0344	-0.0045	0.0054	0.0069	0.0056	0.0039	0.0023	0.0010	0
			III	0	-0.0029	-0.0075	-0.107	-0.0125	-0.0133	-0.0138	-0.0143	0
		Y	I	-0.0095	0.0049	0.0188	0.0290	0.0354	0.0388	0.0406	0.0417	0.0435
			II	-0.0057	0.0019	0.0071	0.0096	0.0106	0.0107	0.0106	0.0106	0.0107
			III	0	-0.0174	-0.0447	-0.0641	-0.0749	-0.0799	-0.0826	-0.0859	-0.0833
	삼각형분포하중	X	I	-0.0391	-0.0025	0.0097	0.0109	0.0083	0.0049	0.0020	0	0
			II	-0.0251	-0.0009	0.0058	0.0059	0.0041	0.0021	0.0005	-0.0004	0
			III	0	-0.0022	-0.0048	-0.0060	-0.0059	-0.0051	-0.0040	-0.0029	0
		Y	I	-0.0065	0.0033	0.0114	0.0155	0.0162	0.0145	0.0119	0.0094	0.0079
			II	-0.0042	0.0019	0.0052	0.0060	0.0054	0.0042	0.0029	0.0017	0.0008
			III	0	-0.0135	-0.0291	-0.0361	-0.0356	-0.0305	-0.0239	-0.0172	-0.0078

부록 표 (1-2) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 8등분, y방향 4등분) (계속)

③  $\lambda = 1.50, 1.75, 2.00$ 

$\lambda$	하중	힘모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.50	등분포 하중	X	I	-0.0568	-0.0030	0.0123	0.0136	0.0113	0.0090	0.0071	0.0050	0
			II	-0.0344	-0.0015	0.0065	0.0063	0.0045	0.0030	0.0018	0.0008	0
			III	0	-0.0038	-0.0089	-0.0119	-0.0133	-0.0137	-0.0139	-0.0142	0
		Y	I	-0.0095	0.0079	0.0235	0.0333	0.0384	0.0406	0.0413	0.0418	0.0434
			II	-0.0057	0.0031	0.0084	0.0104	0.0108	0.0107	0.0105	0.0104	0.0105
			III	0	-0.0231	-0.0534	-0.0716	-0.0797	-0.0823	-0.0831	-0.0852	-0.0834
	삼각형분포 하중	X	I	-0.0420	0.0007	0.0114	0.0106	0.0071	0.0039	0.0014	-0.0003	0
			II	-0.0266	0.0009	0.0064	0.0053	0.0031	0.0014	0.0001	-0.0005	0
			III	0	-0.0030	-0.0060	-0.0070	-0.0065	-0.0053	-0.0039	-0.0026	0
		Y	I	-0.0070	0.0056	0.0151	0.0189	0.0184	0.0154	0.0117	0.0084	0.0065
			II	-0.004	0.0029	0.0062	0.0066	0.0056	0.0042	0.0027	0.0015	0.0006
			III	0	-0.0182	-0.0361	-0.0419	-0.0390	-0.0317	-0.0234	-0.0155	-0.0060
1.75	등분포 하중	X	I	-0.0568	0.0013	0.0135	0.0126	0.0099	0.0080	0.0068	0.0051	0
			II	-0.0344	0.0009	0.0069	0.0054	0.0035	0.0024	0.0016	0.0008	0
			III	0	-0.0048	-0.0101	-0.0128	-0.0137	-0.0138	-0.0138	-0.0141	0
		Y	I	-0.0095	0.0108	0.0274	0.0364	0.0402	0.0413	0.0415	0.0416	0.0433
			II	-0.0057	0.0043	0.0093	0.0107	0.0108	0.0106	0.0104	0.0104	0.0104
			III	0	-0.0287	-0.0605	-0.0767	-0.0823	-0.0831	-0.0830	-0.0845	-0.0840
	삼각형분포 하중	X	I	-0.0441	0.0035	0.0120	0.0096	0.0059	0.0032	0.0012	-0.0003	0
			II	-0.0277	0.0025	0.0064	0.0045	0.0023	0.0010	0	-0.0005	0
			III	0	-0.0039	-0.0070	-0.0077	-0.0068	-0.0054	-0.0038	-0.0024	0
		Y	I	-0.0074	0.0081	0.0185	0.0215	0.0197	0.0157	0.0113	0.0076	0.0055
			II	-0.0046	0.0038	0.0070	0.0068	0.0055	0.0041	0.0026	0.0014	0.0004
			III	0	-0.0231	-0.0420	-0.0459	-0.0410	-0.0321	-0.0227	-0.0141	-0.0049
2.00	등분포 하중	X	I	-0.0568	0.0047	0.0138	0.0113	0.0087	0.0075	0.0067	0.0054	0
			II	-0.0344	0.0028	0.0067	0.0045	0.0028	0.0020	0.0016	0.0009	0
			III	01	-0.0057	-0.0110	-0.0133	-0.0139	-0.0139	-0.0138	-0.0140	0
		Y	I	-0.0095	0.0137	0.0307	0.0385	0.0411	0.0416	0.0415	0.0415	0.0432
			II	-0.0057	0.0053	0.0099	0.0108	0.0107	0.0105	0.0104	0.0103	0.0104
			III	0	-0.0340	-0.0662	-0.0800	-0.0836	-0.0832	-0.0827	-0.0841	-0.0846
	삼각형분포 하중	X	I	-0.0457	0.0060	0.0120	0.0084	0.0050	0.0028	0.0012	-0.0002	0
			II	-0.0285	0.0038	0.0061	0.0036	0.0017	0.0007	0.0001	-0.0005	0
			III	0	-0.0046	-0.0078	-0.0081	-0.0070	-0.0054	-0.0037	-0.0022	0
		Y	I	-0.0076	0.0105	0.0214	0.0233	0.0204	0.0158	0.0110	0.0070	0.0047
			II	-0.0048	0.0047	0.0075	0.0069	0.0055	0.0040	0.0026	0.0013	0.0004
			III	0	-0.0279	-0.0468	-0.0486	-0.0420	-0.0322	-0.0223	-0.0132	-0.0041

# 프리캐스트 콘크리트 부재

부록 표 (1-2) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 8등분, y방향 4등분) (계속)

④  $\lambda = 2.25, 2.50, 2.75$

$\lambda$	하중	힘모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.25	등분포하중	X	I	-0.0567	0.0074	0.0135	0.0102	0.0080	0.0072	0.0068	0.0056	0
			II	-0.0343	0.0042	0.0062	0.0037	0.0023	0.0019	0.0017	0.0010	0
			III	0	-0.0065	-0.0118	-0.0137	-0.0140	-0.0138	-0.0137	-0.0140	0
		Y	I	-0.0095	0.0163	0.0334	0.0399	0.0416	0.0417	0.0415	0.0414	0.0432
			II	-0.0057	0.0062	0.0104	0.0108	0.0106	0.0105	0.0104	0.0103	0.0105
			III	0	-0.0390	-0.0706	-0.0820	-0.0842	-0.0831	-0.0824	-0.0838	-0.0852
	삼각형분포하중	X	I	-0.0469	0.0080	0.0116	0.0073	0.0043	0.0026	0.0013	-0.0001	0
			II	-0.0291	0.0048	0.0056	0.0029	0.0013	0.0007	0.0002	-0.0004	0
III	0		-0.0054	-0.0084	-0.0084	-0.0071	-0.0054	-0.0037	0.0021	0		
2.50	등분포하중	X	I	-0.0567	0.0094	0.0128	0.0092	0.0075	0.0071	0.0069	0.0059	0
			II	-0.0342	0.0052	0.0056	0.0030	0.0020	0.0018	0.0017	0.0011	0
			III	0	-0.0073	-0.0123	-0.0139	-0.0141	-0.0138	-0.0137	-0.0139	0
		Y	I	-0.0094	0.0189	0.0356	0.0408	0.0417	0.0417	0.0415	0.0414	0.0432
			II	-0.0057	0.0070	0.0106	0.0108	0.0106	0.0104	0.0104	0.0103	0.0105
			III	0	-0.0437	-0.0739	-0.0832	-0.0844	-0.0829	-0.0822	-0.0836	-0.0858
	삼각형분포하중	X	I	-0.0478	0.0096	0.0109	0.0064	0.0039	0.0026	0.0014	0.0001	0
			II	-0.0296	0.0055	0.0051	0.0023	0.0011	0.0006	0.0002	-0.0003	0
III	0		-0.0061	-0.0089	-0.0085	-0.0071	-0.0054	-0.0037	-0.0020	0		
2.75	등분포하중	X	I	-0.0566	0.0110	0.0121	0.0084	0.0072	0.0070	0.0069	0.0061	0
			II	-0.0341	0.0059	0.0050	0.0025	0.0018	0.0018	0.0018	0.0012	0
			III	0	-0.0080	-0.0127	-0.0140	-0.0141	-0.0138	-0.0137	-0.0139	0
		Y	I	-0.0094	0.0213	0.0373	0.0413	0.0418	0.0417	0.0415	0.0414	0.0432
			II	-0.0057	0.0077	0.0107	0.0107	0.0105	0.0104	0.0104	0.0403	0.0105
			III	0	-0.0480	-0.0763	-0.0839	-0.0845	-0.0827	-0.0820	-0.0836	-0.0863
	삼각형분포하중	X	I	-0.0486	0.0108	0.0101	0.0057	0.0037	0.0026	0.0015	0.0002	0
			II	-0.0299	0.0060	0.0045	0.0019	0.0009	0.0006	0.0003	-0.0002	0
III	0		-0.0068	-0.0093	-0.0086	-0.0071	-0.0054	-0.0037	-0.0019	0		
	삼각형분포하중	Y	I	-0.0081	0.0173	0.0272	0.0257	0.0209	0.0157	0.0105	0.0060	0.0034
			II	-0.0050	0.0068	0.0081	0.0068	0.0053	0.0039	0.0026	0.0013	0.0003
			III	0	-0.0409	-0.0555	-0.0515	-0.0427	-0.0322	-0.0220	-0.0117	-0.0021

부록 표 (1-2) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 8등분, y방향 4등분) (계속)

⑤  $\lambda=3.00, 3.25, 3.50$ 

$\lambda$	하중	힘모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.00	등분포하중	X	I	-0.0565	0.0121	0.0112	0.0079	0.0070	0.0070	0.0070	0.0063	0
			II	-0.0339	0.0064	0.0044	0.0022	0.0017	0.0018	0.0019	0.0013	0
			III	0	-0.0086	-0.0130	-0.0140	-0.0141	-0.0138	-0.0136	-0.0139	0
		Y	I	-0.0094	0.0235	0.0386	0.0416	0.0418	0.0417	0.0415	0.0414	0.0432
			II	-0.0057	0.0083	0.0108	0.0106	0.0105	0.0104	0.0104	0.0103	0.0105
			III	0	-0.0518	-0.0780	-0.0843	-0.0845	-0.0825	-0.0818	-0.0836	-0.0868
	삼각형분포하중	X	I	-0.0492	0.0116	0.0093	0.0052	0.0036	0.0026	0.0016	0.0003	0
			II	-0.0301	0.0063	0.0039	0.0016	0.0009	0.0006	0.0003	-0.0002	0
			III	0	-0.0074	-0.0095	-0.0086	-0.0071	-0.0054	-0.0037	-0.0019	0
		Y	I	-0.0082	0.0193	0.0284	0.0260	0.0209	0.0157	0.0105	0.0058	0.0031
			II	-0.0050	0.0073	0.0082	0.0067	0.0053	0.0039	0.0026	0.0013	0.0003
			III	0	-0.0446	-0.0569	-0.0516	-0.0428	-0.0323	0.0222	-0.0114	-0.0015
3.25	등분포하중	X	I	-0.0565	0.0128	0.0104	0.0075	0.0070	0.0070	0.0071	0.0064	0
			II	-0.0338	0.0067	0.0039	0.0019	0.0017	0.0019	0.0019	0.0014	0
			III	0	-0.0092	-0.0132	-0.0141	-0.0141	-0.0137	-0.0136	-0.0140	0
		Y	I	-0.0094	0.0256	0.0395	0.0417	0.0418	0.0417	0.0416	0.0414	0.0432
			II	-0.0056	0.0088	0.0108	0.0106	0.0105	0.0104	0.0104	0.0103	0.0105
			III	0	-0.0553	-0.0791	-0.0845	-0.0846	-0.0823	-0.0816	-0.0837	-0.0872
	삼각형분포하중	X	I	-0.0496	0.0122	0.0085	0.0048	0.0035	0.0026	0.0017	0.0004	0
			II	-0.0302	0.0064	0.0034	0.0014	0.0008	0.0006	0.0004	-0.0001	0
			III	0	-0.0080	-0.0096	-0.0086	-0.0071	-0.0054	-0.0037	-0.0019	0
		Y	I	-0.0083	0.0212	0.0293	0.0261	0.0209	0.0156	0.0105	0.0057	0.0029
			II	0.0050	0.0077	0.0082	0.0066	0.0052	0.0039	0.0026	0.0013	0.0003
			III	0	-0.0479	-0.0578	-0.0516	-0.0428	-0.0325	-0.0224	-0.0112	-0.0008
3.50	등분포하중	X	I	-0.0564	0.0133	0.0097	0.0072	0.0069	0.0070	0.0071	0.0065	0
			II	0.0335	0.0068	0.0035	0.0018	0.0016	0.0019	0.0020	0.0015	0
			III	0	-0.0097	-0.0133	-0.0141	-0.141	-0.0137	-0.0136	-0.0140	0
		Y	I	-0.0094	0.0275	0.0402	0.0418	0.0417	0.0417	0.0416	0.0414	0.0432
			II	-0.0056	0.0092	0.0107	0.0105	0.0104	0.0104	0.0104	0.0104	0.0105
			III	0	-0.0583	-0.0798	-0.0846	-0.0847	-0.0821	-0.0814	-0.0838	-0.0877
	삼각형분포하중	X	I	-0.0500	0.0125	0.0079	0.0046	0.0035	0.0026	0.0017	0.0004	0
			II	-0.0303	0.0064	0.0030	0.0012	0.0008	0.0006	0.0004	-0.0001	0
			III	0	-0.0085	-0.0097	-0.0086	-0.0072	-0.0054	-0.0038	-0.0018	0
		Y	I	-0.0083	0.0230	0.0299	0.0261	0.0209	0.0156	0.0104	0.0056	0.0027
			II	-0.0050	0.0081	0.0081	0.0066	0.0052	0.0039	0.0026	0.0013	0.0003
			III	0	-0.0509	-0.0583	-0.0514	-0.0429	-0.0327	-0.0226	-0.0111	-0.0002

# 프리캐스트 콘크리트 부재

부록 표 (1-2) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 8등분, y방향 4등분) (계속)

⑥  $\lambda=3.75, 4.00, 4.25$

$\lambda$	하중	힘모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.75	등분포하중	X	I	-0.0564	0.0135	0.0091	0.0070	0.0069	0.0071	0.0071	0.0066	0
			II	-0.0331	0.0068	0.0031	0.0016	0.0016	0.0019	0.0021	0.0015	0
			III	0	-0.0102	-0.0134	-0.0141	-0.0141	-0.0137	-0.0135	-0.0140	0
		Y	I	-0.0094	0.0292	0.0407	0.0418	0.0417	0.0417	0.0416	0.0414	0.0434
			II	-0.0055	0.0096	0.0107	0.0105	0.0104	0.0104	0.0104	0.0104	0.0104
			III	0	-0.0609	-0.0802	-0.0847	-0.0848	-0.0820	-0.0812	-0.0840	-0.0881
	삼각형분포하중	X	I	-0.0505	0.0126	0.0073	0.0045	0.0034	0.0027	0.0018	0.0005	0
			II	-0.0302	0.0063	0.0027	0.0012	0.0008	0.0006	0.0004	0	0
			III	0	-0.0089	-0.0097	-0.0085	-0.0072	-0.0055	-0.0038	-0.0018	0
		Y	I	-0.0084	0.0246	0.0304	0.0261	0.0209	0.0156	0.0104	0.0055	0.0025
			II	-0.0050	0.0084	0.0081	0.0065	0.0052	0.0039	0.0027	-0.0012	0.0003
			III	0	-0.0536	-0.0584	-0.0512	-0.0431	-0.0329	-0.0228	-0.0110	0.0005
4.00	등분포하중	X	I	-0.0568	0.0135	0.0086	0.0069	0.0069	0.0071	0.0072	0.0067	0
			II	0.0324	0.0067	0.0028	0.0015	0.0016	0.0020	0.0021	0.0016	0
			III	0	-0.0105	-0.0134	-0.0141	-0.0142	-0.0136	-0.0136	-0.0140	0
		Y	I	-0.0095	0.0307	0.0411	0.0418	0.0417	0.0417	0.0416	0.0415	0.0433
			II	-0.0054	0.0099	0.0106	0.0104	0.0104	0.0104	0.0104	0.0104	0.0105
			III	0	-0.0632	-0.0802	-0.0847	-0.0850	-0.0818	-0.0810	-0.0842	-0.0886
	삼각형분포하중	X	I	-0.0505	0.0125	0.0068	0.0044	0.0034	0.0027	0.0018	0.0005	0
			II	-0.0302	0.0061	0.0025	0.0011	0.0007	0.0006	0.0003	0	0
			III	0	-0.0093	-0.0097	-0.0085	-0.0072	-0.0055	-0.0039	-0.0018	0
		Y	I	-0.0084	0.0261	0.0307	0.0261	0.0209	0.0156	0.0105	0.0054	0.0023
			II	-0.0050	0.0086	0.0080	0.0065	0.0052	0.0039	0.0027	0.0012	0.0003
			III	0	-0.0560	-0.0583	-0.0510	-0.0432	-0.0331	-0.0231	-0.0109	0.0012
4.25	등분포하중	X	I	-0.0560	0.0134	0.0081	0.0068	0.0069	0.0071	0.0072	0.0068	0
			II	-0.0325	0.0065	0.0026	0.0015	0.0015	0.0020	0.0022	0.0016	0
			III	0	-0.0108	-0.0133	-0.0141	-0.0142	-0.0136	-0.0135	-0.0141	0
		Y	I	-0.0093	0.0321	0.0413	0.0418	0.0417	0.0417	0.0416	0.0415	0.0433
			II	-0.0054	0.0101	0.0106	0.0104	0.0104	0.0104	0.0105	0.0104	0.0105
			III	0	-0.0651	-0.0801	-0.0848	-0.0852	-0.0816	-0.0807	-0.0844	-0.0891
	삼각형분포하중	X	I	-0.0507	0.0123	0.0064	0.0043	0.0034	0.0027	0.0018	0.0066	0
			II	-0.0301	0.0059	0.0023	0.0011	0.0007	0.0005	0.0003	0	0
			III	0	-0.0097	-0.0097	-0.0085	-0.0852	-0.0056	-0.0039	-0.0018	0
		Y	I	-0.0085	0.0274	0.0309	0.0261	0.0209	0.0157	0.0105	0.0054	0.0022
			II	-0.0050	0.0088	0.0080	0.0065	0.0052	0.0039	0.0027	0.0012	0.0004
			III	0	-0.0580	-0.0580	-0.0507	-0.0434	-0.0334	-0.0234	-0.0108	0.0018

부록 표 (1-2) 3변고정 1변자유판의 계산수표(x방향 8등분, y방향 4등분) (계속)

⑦  $\lambda=4.50, 4.75, 5.00$ 

$\lambda$	하중	힘모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.50	등분포하중	X	I	-0.0560	0.0132	0.0078	0.0067	0.0068	0.0071	0.0073	0.0069	0
			II	-0.0322	0.0063	0.0025	0.0014	0.0015	0.0021	0.0023	0.0016	0
			III	0	-0.0111	-0.0133	-0.0141	-0.0142	-0.0136	-0.0134	-0.0141	0
		Y	I	-0.0093	0.0334	0.0415	0.0418	0.0417	0.0416	0.0416	0.0415	0.0435
			II	-0.0054	0.0103	0.0106	0.0104	0.0104	0.0105	0.0105	0.0104	0.0106
			III	0	-0.0667	-0.0798	-0.0849	-0.0854	-0.0814	-0.0804	-0.0847	-0.0896
	삼각형분포하중	X	I	-0.0510	0.0120	0.0061	0.0043	0.0034	0.0026	0.0018	0.0006	0
			II	-0.0300	0.0056	0.0022	0.0012	0.0006	0.0005	0.0002	0.0001	0
			III	0	-0.0100	-0.0096	-0.0084	-0.0073	-0.0056	-0.0040	-0.0018	0
		Y	I	-0.0085	0.0286	0.0311	0.0261	0.0209	0.0157	0.0105	0.0053	0.0021
			II	-0.0050	0.0090	0.0080	0.0065	0.0052	0.0039	0.0027	0.0012	0.0005
			III	0	-0.0598	-0.0576	-0.0505	-0.0436	-0.0336	-0.0238	-0.0108	0.0025
4.75	등분포하중	X	I	-0.0555	0.0129	0.0076	0.0067	0.0068	0.0072	0.0073	0.0069	0
			II	-0.0315	0.0061	0.0024	0.0014	0.0014	0.0021	0.0023	0.0016	0
			III	0	-0.0113	-0.0132	-0.0142	-0.0143	-0.0135	-0.0134	-0.0142	0
		Y	I	-0.0092	0.0345	0.0416	0.0417	0.0417	0.0416	0.0416	0.0415	0.0433
			II	-0.0052	0.0105	0.0105	0.0103	0.0104	0.0105	0.0105	0.0104	0.0104
			III	0	-0.0679	-0.0794	-0.0850	-0.0856	-0.0811	-0.0801	-0.0849	-0.0901
	삼각형분포하중	X	I	-0.0508	0.0117	0.0059	0.0043	0.0034	0.0026	0.0018	0.0007	0
			II	-0.0296	0.0053	0.0022	0.0012	0.0006	0.0005	0.0002	0.0001	0
			III	0	-0.0102	-0.0095	-0.0084	-0.0073	-0.0056	-0.0040	-0.0018	0
		Y	I	-0.0085	0.0297	0.0311	0.0260	0.0209	0.0157	0.0105	0.0053	0.0020
			II	-0.0049	0.0091	0.0080	0.0065	0.0052	0.0039	0.0027	0.0012	0.0006
			III	0	-0.0612	-0.0571	-0.0502	-0.0438	-0.0339	-0.0241	-0.0108	0.0032
5.00	등분포하중	X	I	-0.0552	0.0126	0.0074	0.0066	0.0068	0.0072	0.0074	0.0069	0
			II	-0.0309	0.0059	0.0023	0.0013	0.0014	0.0022	0.0024	0.0016	0
			III	0	-0.0115	-0.0132	-0.0142	-0.0143	-0.0135	-0.0133	-0.0142	0
		Y	I	-0.0092	0.0355	0.0416	0.0417	0.0417	0.0416	0.0416	0.0416	0.0433
			II	-0.0052	0.0106	0.0105	0.0103	0.0103	0.0105	0.0106	0.0104	0.0103
			III	0	-0.0689	-0.0790	-0.0851	-0.0858	-0.0809	-0.0798	-0.0852	-0.0906
	삼각형분포하중	X	I	-0.0508	0.0113	0.0058	0.0043	0.0033	0.0026	0.0017	0.0007	0
			II	-0.0292	0.0050	0.0022	0.0012	0.0006	0.0004	0.0001	0.0001	0
			III	0	-0.0104	-0.0094	-0.0083	-0.0073	-0.0057	-0.0041	-0.0018	0
		Y	I	-0.0085	0.0306	0.0311	0.0260	0.0209	0.0157	0.0105	0.0053	0.0019
			II	-0.0049	0.0092	0.0080	0.0065	0.0052	0.0039	0.0026	0.0012	0.0007
			III	0	-0.0625	-0.0565	-0.0500	-0.0440	-0.0342	-0.0245	-0.0107	0.0039

## 프리캐스트 콘크리트 부재

부록 표 (1-3) 4변고정판의 계산수표(x, y방향 4등분)

①  $\lambda = 0.30, 0.40, 0.50$

$\lambda$	하중	휨모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5
0.30	등분포하중	X	I	-0.0835	0.0104	0.0418	0.0104	-0.0835
			II	-0.0813	0.0108	0.0398	0.0108	-0.0813
			III	0	-0.0058	-0.0095	-0.0058	0
	Y	Y	I	-0.0139	0.0017	0.0070	0.0017	-0.0139
			II	-0.0136	0.0038	0.0103	0.0038	-0.0136
			III	0	-0.0345	-0.0569	-0.0345	0
	삼각형분포하중	X	I	-0.0334	0.0016	0.0209	0.0089	-0.0501
			II	-0.0323	0.0018	0.0199	0.0091	-0.0490
			III	0	-0.0021	-0.0047	-0.0036	0
0.40	등분포하중	X	I	-0.0839	0.0107	0.0418	0.0107	-0.0839
			II	-0.0749	0.0106	0.0356	0.0106	-0.0749
			III	0	-0.0058	-0.0095	-0.0058	0
	Y	Y	I	-0.0140	0.0023	0.0080	0.0023	-0.0140
			II	-0.0125	0.0057	0.0129	0.0057	-0.0125
			III	0	-0.0345	-0.0569	-0.0345	0
	삼각형분포하중	X	I	-0.0336	0.0017	0.0209	0.0090	-0.0503
			II	-0.0292	0.0017	0.0178	0.0089	-0.0457
			III	0	-0.0021	-0.0048	-0.0036	0
0.50	등분포하중	X	I	-0.0828	0.0110	0.0407	0.0110	-0.0828
			II	-0.0669	0.0100	0.0308	0.0100	-0.0669
			III	0	-0.0058	-0.0095	-0.0058	0
	Y	Y	I	-0.0138	0.0038	0.0105	0.0038	-0.0138
			II	-0.0112	0.0068	0.0139	0.0068	-0.0112
			III	0	-0.0345	-0.0570	-0.0345	0
	삼각형분포하중	X	I	-0.0331	0.0019	0.0203	0.0092	-0.0497
			II	-0.0254	0.0015	0.0154	0.0084	-0.0415
			III	0	-0.0021	-0.0048	-0.0037	0
0.50	삼각형분포하중	Y	I	-0.0055	0.0013	0.0052	0.0025	-0.0083
			II	-0.0042	0.0025	0.0070	0.0042	-0.0069
			III	0	-0.0127	-0.0285	-0.0219	0



부록 표 (1-3) 4변고정판의 계산수표(x, y방향 4등분) (계속)

②  $\lambda = 0.75, 1.00, 1.25$ 

$\lambda$	하중	휨모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5
0.75	등분 포하중	X	I	-0.0701	0.0110	0.0318	0.0110	-0.0701
			II	-0.0477	0.0078	0.0200	0.0078	-0.0477
			III	0	-0.0058	-0.0094	-0.0058	0
	Y	Y	I	-0.0117	0.0089	0.0179	0.0089	-0.0117
			II	-0.0080	0.0069	0.0125	0.0069	-0.0080
			III	0	-0.0345	-0.0565	-0.0345	0
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0268	0.0020	0.0159	0.0091	-0.0433
			II	-0.0167	0.0010	0.0100	0.0068	-0.0310
			III	0	-0.0021	-0.0047	-0.0036	0
1.00	등분 포하중	X	I	-0.0513	0.0096	0.0206	0.0096	-0.0513
			II	-0.0324	0.0059	-0.0116	0.0059	-0.0324
			III	0	-0.0324	-0.0086	-0.0054	0
	Y	Y	I	-0.0086	0.0116	0.0206	0.0116	-0.0086
			II	-0.0054	0.0059	0.0096	0.0059	-0.0054
			III	0	-0.0324	-0.0513	-0.0324	0
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0179	0.0015	0.0103	0.0080	-0.0334
			II	-0.0101	0.0006	0.0058	0.0052	-0.0223
			III	0	-0.0019	-0.0043	-0.0036	0
1.25	등분 포하중	X	I	-0.0559	0.0119	0.0189	0.0119	-0.0559
			II	-0.0343	0.0067	0.0097	0.0067	-0.0343
			III	0	-0.0074	-0.0111	-0.0074	0
	Y	Y	I	-0.0093	0.0181	0.0295	0.0181	-0.0093
			II	-0.0057	0.0074	0.0108	0.0074	-0.0057
			III	0	-0.0442	-0.0664	-0.0442	0
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0171	0.0017	0.0095	0.0102	-0.0389
			II	-0.0092	0.0006	0.0048	0.0061	-0.0251
			III	0	-0.0025	-0.0055	-0.0049	0
1.25	삼각 형분 포하중	Y	I	-0.0029	0.0069	0.0147	0.0111	-0.0065
			II	-0.0015	0.0021	0.0054	0.0053	-0.0042
			III	0	-0.0151	-0.0332	-0.0291	0

## 프리캐스트 콘크리트 부재

부록 표 (1-3) 4변고정판의 계산수표(x, y방향 4등분) (계속)

③  $\lambda=1.50$  1.75, 2.00

$\lambda$	하중	휨모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5
1.50	등분포하중	X	I	-0.0570	0.0133	0.0158	0.0133	-0.0570
			II	-0.0346	0.0071	0.0073	0.0071	-0.0346
			III	0	-0.0090	-0.0126	-0.0090	0
	삼각형분포하중	Y	I	-0.0095	0.0234	0.0354	0.0234	-0.0095
			II	-0.0058	0.0086	0.0112	0.0086	-0.0058
			III	0	-0.0538	-0.0756	-0.0538	0
	삼각형분포하중	X	I	-0.0149	0.0017	0.0079	0.0116	-0.0421
			II	-0.0079	0.0006	0.0036	0.0065	-0.0267
			III	0	-0.0029	-0.0063	-0.0061	0
1.75	등분포하중	X	I	-0.0571	0.0139	0.0128	0.0139	-0.0571
			II	-0.0346	0.0071	0.0052	0.0071	-0.0346
			III	0	-0.0102	-0.0135	-0.0102	0
	삼각형분포하중	Y	I	-0.0095	0.0275	0.0389	0.0275	-0.0095
			II	-0.0058	0.0094	0.0112	0.0094	-0.0058
			III	0	-0.0611	-0.0805	-0.0611	0
	삼각형분포하중	X	I	-0.0128	0.0018	0.0064	0.0121	-0.0442
			II	-0.0068	0.0006	0.0026	0.0065	-0.0278
			III	0	-0.0031	-0.0067	-0.0071	0
2.00	등분포하중	X	I	-0.0570	0.0139	0.0105	0.0139	-0.0570
			II	-0.0345	0.0068	0.0038	0.0068	-0.0345
			III	0	-0.0112	-0.0138	-0.0112	0
	삼각형분포하중	Y	I	-0.0095	0.0308	0.0407	0.0308	-0.0095
			II	-0.0058	0.0100	0.0110	0.0100	-0.0058
			III	0	-0.0669	-0.0828	-0.0699	0
	삼각형분포하중	X	I	-0.0112	0.0018	0.0052	0.0121	-0.0458
			II	-0.0059	0.0006	0.0019	0.0062	-0.0287
			III	0	-0.0032	-0.0069	-0.0080	0
2.00	삼각형분포하중	Y	I	-0.0019	0.0094	0.0203	0.0214	-0.0077
			II	-0.0010	0.0025	0.0055	0.0075	-0.0048
			III	0	-0.0192	-0.0414	-0.0477	0

부록 표 (1-3) 4변고정판의 계산수표(x, y방향 4등분) (계속)

④  $\lambda = 2.25, 2.50, 2.75$ 

$\lambda$	하중	휨모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5
2.25	등분 포하중	X	I	-0.0569	0.0136	0.0089	0.0136	-0.0569
			II	-0.0345	0.0063	0.0028	0.0063	-0.0345
			III	0	-0.0119	-0.0140	-0.0119	0
	Y	Y	I	-0.0095	0.0335	0.0415	0.0335	-0.0095
			II	-0.0058	0.0104	0.0108	0.0104	-0.0058
			III	0	-0.0714	-0.0837	-0.0714	0
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0099	0.0019	0.0045	0.0117	-0.0470
			II	-0.0052	0.0006	0.0014	0.0057	-0.0293
			III	0	-0.0033	-0.0070	-0.0086	0
2.50	등분 포하중	X	I	-0.0569	0.0129	0.0080	0.0129	-0.0569
			II	-0.0345	0.0057	0.0023	0.0057	-0.0345
			III	0	-0.0125	-0.0140	-0.0125	0
	Y	Y	I	-0.0095	0.0356	0.0418	0.0356	-0.0095
			II	-0.0058	0.0106	0.0107	0.0106	-0.0058
			III	0	-0.0749	-0.0839	-0.0749	0
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0089	0.0019	0.0040	0.0110	-0.0480
			II	-0.0047	0.0006	0.0011	0.0051	-0.0298
			III	0	-0.0033	-0.0070	-0.0092	0
2.75	등분 포하중	X	I	-0.0568	0.0122	0.0074	0.0122	-0.0568
			II	-0.0344	0.0051	0.0020	0.0051	-0.0344
			III	0	-0.0130	-0.0140	-0.0130	0
	Y	Y	I	-0.0095	0.0373	0.0419	0.0373	-0.0095
			II	-0.0058	0.0108	0.0106	0.0108	-0.0058
			III	0	-0.0775	-0.0839	-0.0775	0
	삼각 형분 포하중	X	I	-0.0080	0.0019	0.0037	0.0102	-0.0488
			II	-0.0042	0.0006	0.0010	0.0045	-0.0302
			III	0	-0.0034	-0.0070	-0.0096	0
2.75	삼각 형분 포하중	Y	I	-0.0013	0.0100	0.0210	0.0272	-0.0081
			II	-0.0007	0.0026	0.0053	0.0082	-0.0050
			III	0	-0.0202	-0.0419	-0.0573	0

## 프리캐스트 콘크리트 부재

부록 표 (1-3) 4변고정판의 계산수표(x, y방향 4등분) (계속)

⑤  $\lambda = 3.00$

$\lambda$	하중	휨모멘트 계수	좌표	1	2	3	4	5
3.00	등분포하중	X	I	-0.0568	0.0113	0.0071	0.0113	-0.0568
			II	-0.0344	0.0045	0.0018	0.0045	-0.0344
			III	0	-0.0133	-0.0140	-0.0133	0
		Y	I	-0.0095	0.0386	0.0419	0.0386	-0.0095
			II	-0.0058	0.0108	0.0105	0.0108	-0.0058
			III	0	-0.0795	-0.0837	-0.0795	0
	삼각형분포하중	X	I	-0.0074	0.0019	0.0036	0.0094	-0.0495
			II	-0.0039	0.0006	0.0009	0.0039	-0.0306
			III	0	-0.0034	-0.0070	-0.0099	0
		Y	I	-0.0012	0.0102	0.0209	0.0284	-0.0083
			II	-0.0006	0.0026	0.0052	0.0082	-0.0051
			III	0	-0.0204	-0.0419	-0.0591	0

집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전무
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사·연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	상무
	재료·프리스트레스콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전무
	계류시설	이육한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문맞기·타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전무
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케앤이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총 괄	주 재 욱	(주)평화엔지니어링	고 문
	파랑및파력	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	조 석	강 석 구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이 윤 한	(주)도화엔지니어링	부 회 장
	지 반	임 중 철	부 산 대 학 교	교 수
	콘 크 리 트	김 우	전 남 대 학 교	교 수
	방식·도장	라 윤 강	(주)한국국토안전연구원	원 장
	외 괄 시 설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	표사·연안보전시설	김 효 섭	국 민 대 학 교	교 수
	표사·연안보전시설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	재료·계류시설	이 진 용	(주)세광종합기술단	사 장
	재료·계류시설	정 대 연	(주)대영엔지니어링	대 표 이 사
	부 두 포 장	정 진 훈	인 하 대 학 교	교 수
	내 진	박 두 희	한 양 대 학 교	교 수
	전문및기타부두	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	어 항	이 상 기	(주)건 일	부 사 장
	마 리 나	지 삼 업	부 경 대 학 교	교 수
	항로표지시설	이 승 재	대 기 해 양 (주)	상 임 고 문
	항만하역시설	함 성 진	(사)인천항시설관리센터	소 장
	항만전기설비	김 세 동	두 원 공 과 대 학 교	교 수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	쿨크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기·타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기·타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준

KDS 64 14 20 : 2017

## 프리캐스트 콘크리트 부재

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>



KDS 64 17 00 : 2017

# 내진

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	• 항만설계기준 제정 • 설계조건, 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록	제정 (1971.12)
항만설계기준	• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	• 항만의 재개발, 워터프론트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계품속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정	개정 (2014.04)

제정 : 2017년 8월 16일	개정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호의 정의 .....	4
1.6 시설물의 구성 .....	4
1.7 설계원칙 .....	4
2. 조사 및 계획 .....	7
2.1 입지조건 .....	7
2.2 지반조사 .....	7
3. 재료 .....	11
4. 설계 .....	12
4.1 설계일반 .....	12
4.2 항만시설 .....	55



## KDS 64 17 00 내진

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 지진 시 항만 및 어항시설의 설계, 시공 및 유지관리 단계에서 필요한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

항만 및 어항시설의 지반 및 기초, 방파제, 호안, 안벽, 하역기계의 기초, 해저파이프라인, 해상저유시설 등의 설계에 적용한다.

#### 1.3 참고기준

##### 1.3.1 관련법규

지진·화산재해대책법

##### 1.3.2 관련기준

KDS 17 10 00 내진 설계기준 공통  
KDS 17 20 00 시설물별 내진성능수준  
KDS 17 30 00 추가 고려사항

##### 1.3.3 관련표준

내용 없음

### 1.4 용어의 정의

- 감쇠(Damping) : 점성, 소성 또는 마찰에 의해 구조물에 입력된 에너지가 소산되는 현상을 말한다.
- 감쇠시스템(Damping system) : 모든 개별감쇠장치와 그 연결부(감쇠장치에서 구조물, 기초 혹은 지진력저항시스템으로 힘을 전달하는 구조부재)로 이루어진 집합체를 말한다.

- 내진등급(Seismic classification) : 시설물의 중요도에 따라 내진설계수준을 분류한 범주·내진 II등급, I등급, 특등급으로 구분하는 것을 말한다.
- 내진설계(Seismic design) : 설계지진에 의해 입력된 에너지를 충분히 견디거나 소산시키거나 저감시키도록 하여 시설물에 요구되는 내진성능수준을 유지하도록 구조요소의 제원 및 상세를 결정하는 작업을 말한다.
- 내진성능목표(Target seismic performance) : 설계지반운동수준에 대해 내진성능수준을 만족하도록 요구하는 내진설계의 목표를 말한다.
- 내진성능수준(Seismic performance level) : 설계지진에 대해 시설물에 요구되는 최소 성능·기능수행수준, 즉시복구수준, 장기복구수준/인명보호와 붕괴방지수준으로 구분하는 것을 말한다.
- 다중모드스펙트럼해석법(Multi-mode spectral analysis) : 여러 개의 진동모드를 사용하는 스펙트럼해석법을 말한다.
- 단일모드스펙트럼해석법(Single-mode spectral analysis) : 하나의 진동모드만을 사용하는 스펙트럼해석법을 말한다.
- 동수압(Hydrodynamic pressure) : 유체의 동적작용에 의해 구조물에 작용하는 동적압력을 말한다.
- 등가정적하중법(Equivalent static load method) (=등가정적해석법, Equivalent static analysis method) : 지진의 영향을 정적하중으로 환산한 후에 이를 이용하여 정적해석을 수행함으로써 지진에 의한 구조물의 거동을 예측하는 방법을 말한다.
- 등가선형해석(Equivalent linear analysis) : 재료의 비선형 하중-변위 이력 거동을 유효강성과 유효감쇠로 치환하여 선형으로 해석하는 방법을 말한다.
- 모드중첩법(Mode superposition method) : 지진에 대한 구조물의 동적응답을 서로 직교성을 갖는 진동모드의 선형조합 형태로 구하는 방법을 말한다.
- 변형에너지 : 지진력에 의해 변형이 발생하게 되는 일 또는 에너지를 말한다.
- 설계지반운동(Design ground motion) : 내진설계를 위해 정의된 지반운동을 말한다.
- 설계지반운동수준(Level of design ground motion) : 설계지진을 정의하기 위해 제시한 지진지반운동 평균재현주기의 수준을 말한다.
- 설계지진(Design earthquake) : 설계지반운동수준을 갖는 지진을 말한다.
- 성능기반 내진설계(Performance-based seismic design) : 엄격한 규정 및 절차에 따라 설계하는 사양기반설계에서 벗어나서 시설물별 목표로 하는 내진성능수준을 달성할 수 있는 다양한 설계기법을 허용하는 설계를 말한다.
- 소성거동(Plastic behavior) : 구조부재의 응답이 탄성상태를 초과하여 하중이 제거되더라도 원래 형상으로 되돌아가지 않는 거동을 말한다.
- 시간영역해석(Time-domain analysis) : 계기지진과 또는 인공으로 합성된 지진파를 입력운동으로 하여 구조물의 동적응답을 시간영역 직접적분법으로 구하는 방법을 말한다.

- 액상화(Liquefaction) : 포화된 사질토 등에서 지진동, 발파하중 등과 같은 충격하중에 의하여 지반 내에 과잉간극수압이 발생하여 지반의 전단강도가 상실되어 물처럼 거동하는 현상을 말한다.
- 연성거동(Ductile behavior) : 구조물 또는 부재가 갑자기 파괴되지 않고 파괴에 이르기까지 상당한 크기의 소성 변형이 동반하는 거동을 말한다.
- 위험도계수(Risk factor): 평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적으로 나타낸 비율을 말한다.
- 응답변위법(Response displacement method) : 기반면으로부터 발생된 지반운동으로 인하여 지중구조물에 발생된 가상의 변위와 주변전단력을 이용하여 지진해석을 수행하는 방법을 말한다.
- 응답수정계수(Response modification factor) (=반응수정계수) : 시스템 초과강도와 연성거동을 전제로 탄성지진력을 저감하는 계수를 말한다.
- 응답스펙트럼(Response spectrum) : 지반운동에 대한 단자유도 시스템의 최대응답을 고유주기 또는 고유진동수의 함수로 표현한 스펙트럼을 말한다.
- 응답이력해석(Response history analysis) (=시간이력해석) : 지진의 지속시간 동안 각 시간단계에서의 구조물의 동적응답을 구하는 방법을 말한다.
- 응답스펙트럼해석(Response spectrum analysis) : 응답스펙트럼을 사용하여 구조물 진동모드의 최대응답을 계산하는 방법을 말한다.
- 인공합성지진 (Synthetic ground-motion) : 목표로 하는 파워스펙트럼이나 응답스펙트럼을 만족하도록 무작위 운동을 조합하여 만든 지진을 말한다.
- 재현주기 (Return period) : 지진과 같은 자연재해가 특정한 크기 이상으로 발생할 주기를 확률적으로 계산한 값으로 일 년 동안에 특정한 크기 이상의 자연재해가 발생할 확률의 역수를 말한다.
- 제3자 내진설계검토(Third-party seismic design review) : 검토자가 설계초기단계부터 설계자와 함께 협의하여 성능기반 내진설계의 다양한 기술적 문제를 해결하는 과정을 말한다.
- 지반-구조물 상호작용(Soil-structure interaction) : 구조물과 이를 지지하는 지반 사이의 동적상호작용을 말한다.
- 지반종류(Soil profile type) : 지반의 지진증폭특성을 나타내기 위해 분류하는 지반의 종류를 말한다.
- 지진구역(Seismic zone) : 유사한 지진위험도를 갖는 행정구역 구분을 말한다.
- 지진구역계수(Seismic zone factor) : 지진구역 I과 II의 암반지반( $S_1$ ) 상에서 평균재현주기 500년 지진의 지반운동 가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값을 말한다.
- 지진력저항시스템(Seismic load resistant system) : 지진력에 저항하도록 구성된 구조시스템을 말한다.

- 지진보호장치(Seismic protection device) : 시설물을 지진으로부터 보호하기 위한 모든 장치를 말한다.
- 지진위험도 (Seismic hazard) (=지진재해도) : 내진설계의 기초가 되는 지진구역을 설정하기 위하여 과거의 지진기록과 지질 및 지반특성 등을 종합적으로 분석하여 산정한 지진재해의 발생확률을 말한다.
- 지진위험지도 (Seismic hazard map) (=지진재해지도) : 내진설계 등에 활용하기 위하여 정밀한 지진위험도(또는 지진재해도) 분석결과를 표시한 지도를 말한다.
- 부지응답해석(Site response analysis) : 지진 시 시간영역 또는 주파수영역에서의 지반의 응답을 수치해석적으로 예측하는 것을 말한다.
- 진동대실험(Shaking table test) : 구조물이나 구조부재를 진동대 위에 올려놓고 지진파를 입력하여 동적 거동특성을 확인하는 구조 실험을 말한다.
- 주파수영역해석(Frequency-domain analysis) : 구조물과 지반의 동적응답을 주파수 영역에서 선형 또는 등가선형해석을 수행하는 것을 말한다.
- 최대응답(Peak response) : 응답의 절댓값의 최댓값을 말한다.
- 파워스펙트럼(Power spectrum) : 진동의 각 진동수 성분이 가지는 파워를 나타내는 스펙트럼을 말한다.
- 표준설계응답스펙트럼 : 하부지반 조건별로 5% 감쇠비 단자유도 시스템의 설계 응답스펙트럼을 말한다.

### 1.5 기호의 정의

내용 없음

### 1.6 시설물의 구성

- (1) 외곽시설 : 방파제, 호안
- (2) 계류시설 : 중력식 안벽, 잔교식 안벽, 널말뚝식 안벽, 하역기계의 기초
- (3) 해저파이프라인
- (4) 해상저유시설

### 1.7 설계원칙

#### 1.7.1 내진성능 등급

- (1) 항만시설의 내진등급은 I 등급 및 II 등급으로 구분한다.



- (2) 내진 I 등급은 다음과 같은 경우의 항만시설물에 적용한다.
- ① 시설물이 피해를 입으면 많은 인명과 재산상의 손실을 줄 염려가 있는 시설물
  - ② 시설물이 피해를 입으면 심각한 환경오염을 줄 염려가 있는 시설물
  - ③ 지진재해 복구에 중요한 역할을 담당하는 시설물(지진재해 복구용 시설물)
  - ④ 국방상 필요성에 의하여 분류된 시설물
  - ⑤ 지진피해 발생 시 구조물의 복구가 곤란한 시설
- (3) 내진 I 등급으로 분류되지 않은 항만시설물은 내진Ⅱ 등급으로 간주하여 내진설계를 한다.
- (4) 항만시설물의 내진등급은 시설물의 용도, 구조, 규모 등에 따라 다를 수 있으므로 일률적으로 적용될 성격이 아니며, 시설물의 사회적, 경제적 성격에 따라 기능측면을 고려하여 결정하여야 한다.
- (5) 다만 항만시설물 중 지진피해에 대한 사회, 경제적 손실을 최소화할 수 있거나, 시설물의 기능상 재해복구 시까지 그 기능이 중단되어도 큰 무리가 없다고 판단되는 경우 내진설계를 생략할 수 있다.

#### [해설]

- (1) 항만의 내진성능 등급은 KDS 17 20 00 시설물별 내진성능기준 (4.7절 항만시설물)을 참조하여 선정할 수 있으나, 특등급 시설물에 대한 규정이 명확히 정의되어 있지 않은 점을 고려하여 내진 1등급 및 내진 2등급을 중심으로 구분한다. 다만, 항만시설물의 경우 모든 시설물에 대해 동일한 내진성능 등급을 적용하기에는 무리가 있으므로 시설물의 사회적, 경제적 성격에 따라 기능측면을 고려하여 결정하는 것이 바람직하다.
- (2) 내진 I 등급 시설로는 다음과 같은 시설물을 예시할 수 있다.
- ① 유해물이나 위험물부두
  - ② 컨테이너부두
  - ③ 군용시설로서 이용자의 판단에 따라 I 등급으로 분류된 시설
  - ④ 침매터널, 해저 파이프라인 시설
  - ⑤ 갑문시설
- (3) 내진설계를 생략할 수 있는 시설물로는 다음 같은 시설을 예시할 수 있다.
- ① 외곽시설 중 침식대책시설, 매몰대책시설
  - ② 부잔교 및 부유식 항로표지시설(단, 연락교, 도교, 조절탑 등은 제외)
  - ③ 기타 본문(3)에 해당된다고 인정되는 시설물
  - ④ 소형선 부두시설
- (4) 매립용 호안은 배면 매립지의 이용성, 인접시설물과의 연관성 등에 따라 내진등급을 결정하여야 한다.
- (5) 지진재해 복구에 중요한 역할을 담당하는 시설물(지진재해 복구용 시설물)은 국가지진재해 복구계획 등을 감안하여 내진 I등급시설물에 적용하는 지진력을 상회하는 지진력 하에서의 안전성, 복구성 및 사용성을 검토할 수 있다.

[참 고]

항만구조물의 경우 큰 규모의 지진이 발생하여 구조물이 붕괴되어도 대규모 인명피해가 우려되지 않는 반면, 수출입 물류의 기능을 수행하는 항만의 경우에는 국가방재기본계획상 필요한 복구중심항으로서의 기능을 즉시 수행할 수 있도록 지진재해 복구용 시설이 설치될 필요가 있다. 예를 들어, 일본의 경우 1995년 고베지진 후 설계기준을 정비하여(港灣の施設物の技術上の基準・同解説(日本港湾協會, 1999 & 2007)) 큰 규모의 지진(L2)시 중요 항만의 계류시설, 하역장비, 하역장 등 내륙의 복구지원에 필요한 시설은 지진발생시 수행할 역할에 따라 아래와 같은 내진성능을 요구하고 있다.

(1) 상시 긴급물자수송대응을 위한 내진강화시설

지진 후 긴급물자의 수송 등이 가능한 상태. 지진 후 신속히 선박의 이용, 사람의 승강 및 긴급물자 등의 하역이 가능한 상태(상시 사용성 확보)

(2) 간선회물수송대응을 위한 내진강화시설

지진 후 간선회물의 수송을 가능토록 하는 상태. 지진 후 경미한 복구 후 일정기간 중에 선박의 이용 및 간선회물의 하역이 가능한 상태(복구성 확보)

(3) 긴급물자수송대응을 위한 내진강화시설

지진 후 경미한 복구 후 긴급물자의 수송이 가능한 상태. 지진 후 일주일 정도 후에 긴급물자 등의 하역이 가능한 상태(복구성 확보)

1.7.2 내진등급에 따른 설계 성능수준

- (1) 항만시설의 내진설계 성능수준은 기능수행 수준과 붕괴방지 수준으로 분류한다.
- (2) 항만시설은 표 1.7-1에서 규정한 평균재현주기를 갖는 설계 지반운동에 대하여 기능수행 수준과 붕괴방지 수준에서 요구하는 성능목표를 만족할 수 있도록 하여야 한다.

표 (1.7-1) 지반운동 수준

성능 목표	내진 I 등급	내진 II 등급
기능수행 수준	평균재현주기 100년	평균재현주기 50년
붕괴방지 수준	평균재현주기 1000년	평균재현주기 500년

[해설]

- (1) 항만시설은 지진 시의 거동과 연계하여 흙 구조물, 벽체 구조물, 말뚝 구조물, 건축물 등으로 분류할 수 있다. 흙 구조물은 제방과 호안의 기초 또는 전 구조체를 흙과 사석으로 시공한 구조체이다. 벽체 구조물은 중력식 안벽, 널말뚝식 안벽, 셀식 안벽 및 갑문시설의 벽체 등을 포함한다. 말뚝 구조물은 잔교식 안벽, 돌핀, 도교, 연락교 등을 들 수 있다.

- (2) KDS 17 10 00 공통사항(4.1.4 내진성능목표)에서 규정한 시설물별 내진성능목표는 4가지 내진성능수준에 대한 내용을 포함하고 있으나 항만시설의 경우, 붕괴방지수준이외의 시설물 내진성능에 대해서는 정량적인 규명이 선행되어야 하므로 이러한 내용이 추가되기 전까지는 기능수행 수준과 붕괴방지 수준 2가지 내진성능을 준용하는 것으로 한다.
- (3) 기능수행 수준의 거동한계(舉動限界) 규정은 다음과 같다.
- ① 흙 구조물이나 벽체 구조물은 구조물의 부분적인 항복과 영구변형을 허용할 수 있으나, 주변구조물 및 부속시설들이 탄성 또는 탄성에 준하는 거동을 할 정도의 변형만이 허용되도록 하여야 한다.
  - ② 말뚝 구조물은 지진 시 그 주변지반의 소성거동은 허용할 수 있으나 말뚝 구조물 자체와 그 위에 놓여있는 모든 구조물 및 부속시설이 탄성 또는 탄성에 준하는 거동을 하여야 한다.
  - ③ 항만 부지내의 지반에는 과도한 변형이 발생하여서는 안 되며 액상화로 인하여 항만의 기능수행에 지장이 초래되어서는 안 된다.
- (4) 붕괴방지 수준의 거동한계 규정은 다음과 같다.
- ① 흙 구조물이나 벽체 구조물의 구조적 손상은 경미한 수준으로 제한되어야 하며, 영구 변형으로 인하여 주변구조물 및 부속시설들이 탄성한계를 초과하는 소성거동은 허용되나 취성파괴가 발생하여서는 안 된다.
  - ② 말뚝 구조물은 지진하중 작용 시 탄성한계를 초과하는 소성거동을 허용하나, 이로 인하여 말뚝 구조물 자체나 상부 구조물에 취성파괴가 유발되어서는 안 된다.
  - ③ 항만 부지내의 지반에는 과도한 변형이 발생하여서는 안 되며 액상화로 인하여 항만 시설이 수리불능의 피해를 입어서는 안 된다.

## 2. 조사 및 계획

### 2.1 입지조건

항만의 입지조건은 지진에 의한 사면파괴, 지반침하, 액상화 및 지진해일에 의한 항만 시설의 피해 등을 고려하여 결정한다. 활성단층에 극히 인접한 지역이나 활성단층이 지나가는 지역이나 지진해일로 인해 피해가 발생한 지역에는 가능한 건설하지 않으며 부득이한 경우, 이에 대한 영향을 반영한다. 액상화 및 과도한 지반침하 등의 발생가능성이 높은 곳은 가급적 피하고 부득이한 경우에는 액상화 방지대책을 마련한다.

### 2.2 지반조사

항만 내진설계를 위해서는 지반의 동적물성이 파악되어야 하므로 이를 위해 원위치조사 및 실내시험에 사용되는 시료의 채취 등을 포함한 지반조사가 수행되어야 한다.

## 내진

### [해설]

- (1) 내진설계 시 지반물성을 파악하기 위해 다음과 같은 지반조사 및 실내시험을 수행하여야 한다.
- ① 액상화 간편예측 및 지층층상구조와 입도분포 파악 등을 위한 표준관입시험, 콘관입시험, 탄성과탐사시험 및 교란시료 채취·분석
    - ※ 표준관입시험에 사용되는 장비는 반드시 에너지 효율이 검증되어야 한다.
  - ② 저 변형률에서의 하부지반의 전단탄성계수 등 동적거동특성 결정을 위한 탄성과 탐사
  - ③ 액상화 강도 결정을 위한 실내시험
  - ④ 중간~대 변형률에서 전단탄성계수 등 변형 및 강도특성을 결정하기 위한 실내시험
  - ⑤ 유효상재하중의 계산을 위한 실내시험
  - ⑥ 기타 특별히 필요하다고 판단되는 조사
- (2) 내진 I등급 시설물은 상기 지반조사와 실내시험을 모두 실시하여야 하나 대상지역의 지반특성이나 시설물 특성상 불필요하다고 판단되는 항목은 제외할 수 있다.
- 내진 II등급 시설물은 지반조사는 반드시 실시하여야 하나, 부득이하거나 불필요한 경우는 위의 ②항을 제외할 수 있다. 단, 액상화 상세평가가 필요한 경우는 ③항을 포함한다.
- 또한, 내진설계 시 필요한 지반조사의 시기, 위치, 범위 및 수량 등은 대상지역의 지반특성, 시설물의 규모 및 형식, 시험장비의 가용성 및 지반조사 비용 등을 종합적으로 판단하여 결정하며 대상지역 지반특성은 현장 및 실내시험 결과, 현장시험 결과 및 관련문헌 및 경험에 의한 방법 등을 적용하여 평가한다.

### [참고]

- (1) 지반조사의 내용은 내진설계 시 필요한 일반적인 지반조사 내용을 반영한 것으로 특별한 조사가 필요할 경우를 대비하여 예외조항[해설 (1)의 ⑥]을 두었다.
- (2) 관입시험으로는 표준관입시험과 콘관입시험을 사용할 수 있다. 표준관입시험을 통하여 관입저항값(N값), 입도분포 및 지반분류 등 물리적 시험을 위한 교란 시료 채취 등을 수행한다.
- (3) 콘관입시험은 연속적인 지반주상도를 얻는 장점이 있으며, 시험장비에 진동감지기를 설치하여 다운홀시험이 가능한 탄성과 콘관입시험(Seismic cone penetration test)을 활용할 수 있다.
- (4) 지진 시 지반거동평가를 위하여 각 층의 전단탄성계수, 감쇠비, 단위중량의 결정이 중요하다. 지반은 변형률 크기에 따라 탄성계수가 감소하는 비선형 거동을 보인다. 선형한계 변형률 이하의 저변형률 영역( $\gamma < 10^{-4}\%$ )에서 지반의 선형거동을 측정하기 위하여 현장 탄성과기법이 사용되나, 비선형 거동 및 감쇠비 측정이 불가능하므로 변형률 변화에 따른 탄성계수의 비선형성과 감쇠비 측정을 위해서는 실내시험이 필요하다.

참고 표 (2.2-1) 지반조사 항목 및 간격

조사방법	조사 항목		지반 종류	조사간격	조사목표
사운드링	표준관입시험	SPT N 값	sand/sandysoil	1~2m	입도분포와 SPT N값을 이용한 액상화 예측
		교란시료채취	sand/sandysoil	1~2m	층상구조 및 입도분포 획득
현장조사	탄성과 탐사	P파 속도 S파 속도	sand-clay	1~2m	지진응답해석 저변형률에서의 전단탄성계수
비교관 시 료	액상화시험	액상화 강도	sand/sandy soil	1.5~2m	반복삼축시험에서 액상화 강도
	동적변형 시험	전단탄성계수 감쇠비	sand-clay	각 층	지진응답해석 중간-대변형률에서 변형특성
	밀도시험	단위중량	sand-clay	각 층	유효상재하중의 계산

(5) 저변형률 영역의 지반의 전단파속도 주상도를 측정하기 위하여 시추공 내에서 수행되는 탄성파시험(크로스홀, 다운홀시험, SPS 검층 등)과 표면파시험을 사용한다.

I 등급 구조물의 경우에는 시추공 내에서 수행되는 탄성파시험을 반드시 수행하여야 한다. 2개 이상의 탄성파시험을 이용하여 지반조사가 수행되었을 경우 대표 전단파속도 주상도를 결정한다. 탄성파시험이 수행된 지반조사 이후에 구조물이나 성토체의 시공에 의해 지반의 유효상재하중의 변화가 예상되는 경우는 유효상재하중의 변화를 고려하여 전단파속도의 크기를 수정하여 사용한다.

(6) 원위치 시험은 10-6 정도의 전단변형률 진폭에 대응하는 전단탄성계수만을 측정하는 경우에 한정된다. 전단변형 진폭이 큰 영역에서의 전단탄성계수 및 감쇠비를 측정하기까지는 아직 실용화되어 있지 않으나, 10-6의 경우는 원지반의 값을 직접 측정할 수 있다는 이점이 있다. 지반의 탄성계수는 보링공을 이용한 탄성과 탐사에 의해 측정된 탄성파속도로부터 다음과 같이 산정한다.

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{g} V_s^2 \quad \text{참고 식 (2.2-1)}$$

$$E = 2(1 + \nu) G_0 \quad \text{참고 식 (2.2-2)}$$

$$\nu = \frac{2\left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2 - 1}{2\left\{\left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2 - 1\right\}} \quad (\text{포화사질토}) \quad \text{참고 식 (2.2-3)}$$

여기서,  $V_p$  = 압축파속도 (m/s)

$V_s$  = 전단파속도 (m/s)

$G_0$  = 미소변형 전단탄성계수 (kN/m<sup>2</sup>)

## 내진

$$\begin{aligned} E &= \text{영 계수 (kN/m}^2\text{)} \\ \nu &= \text{포아송비} \\ \gamma_t &= \text{습윤단위체적중량 (kN/m}^3\text{)} \\ g &= \text{중력가속도 (m/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

- ① 전단파속도 산정에 있어서 국내 지반을 대상으로 한 경험식(선창국, 2006)을 이용할 수 있다.

$$\text{사질토 : } V_s = 6.046 q_t^{0.387}$$

$$\text{점성토 : } V_s = 24.289 q_t^{0.273}$$

- (7) 전단파속도를 측정하는 현장 탄성파시험이 불가능할 경우에는 경험식들을 적용할 수 있다. 그러나 이들 경험식은 데이터의 상당한 분산을 감수하고 제안된 식이므로 적용 시 주의하여야 한다.

- ① Hardin은 최대 전단탄성계수 예측식을 참고 식 (2.2-4)와 같이 모델화 하였다.

$$G_{\max} = A \cdot F(e) \cdot OCR^K \cdot P_a^{n-1} \cdot \overline{\sigma_n^n} \quad \text{참고 식 (2.2-4)}$$

$G_{\max}$  : 최대 전단탄성계수

$$F(e) = \frac{1}{0.3 + 0.7e^2}$$

$OCR$  : 과압밀비,

$$\overline{\sigma_n} : \text{유효 평균주응력} = \frac{\overline{\sigma_1} + \overline{\sigma_2} + \overline{\sigma_3}}{3} = \frac{1+2\overline{K_0}}{3} \overline{\sigma_v}$$

$A$  : 무차원 계수  $\approx 625$

$n$  : 구속압 영향계수  $\approx 0.5$

$P_a$  : 대기압( $\sigma_o'$ 와 동일한 단위)

$K$  : 소성지수계수[참고 표 (2.2-2)]

참고 표 (2.2-2) 소성지수계수

P1	K
0	0
20	0.18
40	0.30
60	0.41
80	0.48
> 100	0.50

- ② Seed 등은 표준관입시험 N치로부터 사질토 지반의 최대 전단탄성계수의 추정을 참고 식 (2.2-5)와 같이 제안하였다.

$$G_{\max} = 35 \times 1000 N_{60}^{0.34} \cdot (\bar{\sigma}_n)^{0.4} \quad \text{참고 식 (2.2-5)}$$

여기서,  $G_{\max}$  : 최대 전단탄성계수(psf)

$N_{60}$  : 에너지비 60%로 보정된 N값

$\bar{\sigma}_n$  : 유효 평균주응력(psf)이다.

- ③ 일본 향만기술연구소는 점성토 지반에서 1축 압축강도와의 상관식 참고 식 (2.2-6)을 이용하며 사질토 지반에서 N값과의 상관식 참고 식 (2.2-7)을 이용한다.

$$G_{\max} = 170 q_u \quad \text{참고 식 (2.2-6)}$$

$$G_{\max} = 144 N^{0.68} \quad \text{참고 식 (2.2-7)}$$

여기서,  $G_{\max}$ 의 단위는 kgf/cm<sup>2</sup>

- ④ 국내 화강풍화토 지반의 최대전단탄성 계수의 예측은 추연욱(2001)이 제안한 아래의 식을 참고하여 결정 할 수 있다.

$$G_{\max} = 7933 (\sigma_0')^{0.65} \quad \text{참고 식 (2.2-8)}$$

여기서,  $G_{\max}$ 는 최대전단탄성계수(kPa),  $\sigma_0'$ 은 평균유효응력 (kPa)이다.

참고) 공진주시험을 이용한 국내 비점성토 지반의 동적변형특성, 한국지반공학회논문집 17권 5호 pp.115-128

- (8) 내진 I 등급 향만구조물의 설계 시에는 지반의 비선형 거동을 측정하여야 한다. 이를 위하여 각 층에서 비교란 시료를 채취하고, 변형률 크기에 따른 전단탄성계수와 감쇠비를 측정한다. 이때, 변형률 범위는 10-4%~1% 영역을 추천하며 시료가 채취된 깊이에서의 구속압 효과를 고려하기 위하여, 최소 3가지 구속압단계(현장 지반 평균주응력의 1/2, 현장 지반의 평균주응력, 현장 지반 평균주응력의 2배)에서 시험을 실시하고 시공 후에 구속압 정도를 고려하여 사용한다. 또한, 지반의 비선형 거동의 측정이 불가능할 경우에는, 경험식을 적용할 수 있다.
- (9) 정적하중에 대한 전통적인 향만구조물의 설계 시에는 지지층의 위치를 확인하는 것이 중요하였으나, 내진설계에서는 지진 시 설계지반운동을 결정하기 위한 기준면의 위치를 확인하는 것이 중요하다. 일반적으로 설계지반운동은 보통암 지반의 지표면 자유장운동으로 정의되며 보통암 지반은 전단파속도 기준으로 760~1500m/s 범위로 표준관입시험의 N값을 이용한 경험식의 이용은 적절치 않다고 알려져 있다. 따라서 향만구조물의 설계를 위해서는 풍화암 지역을 통과하여 보통암 지반까지 시추 및 지반조사가 수행되어야 한다. 그러나 모든 시추를 보통암 지반까지 수행할 필요는 없으며 상세지반조사 초기에 설계 지반운동 결정을 위한 대표적 시추 위치를 선정하고, 선정된 시추공에서는 보통암 깊이까지 표준관입시험, 탄성파시험, 실내시험을 위한 시료 채취 등을 수행한다.
- (10) 내진설계 시 필요한 지반조사의 시기, 위치, 범위 및 수량 등은 일률적으로 정의하기 어려우므로 여러 가지 여건을 종합하여 판단한다.

### 3. 재료

내용 없음

### 4. 설계

#### 4.1 설계일반

##### 4.1.1 설계지반운동

내진설계 일반사항에서 설계지반운동과 관계된 내용은 KDS 17 10 00 공통사항(4.2.1 지반운동)을 따른다.

##### 4.1.2 지진 가속도 시간이력

- (1) 항만구조물의 동적해석을 위한 가속도 시간이력은 국내 또는 외국의 실지진기록과 인공지진파를 사용할 수 있다.
- (2) 암반지반의 실지진 기록은 국내여건과 유사한 판 내부(intra-plate) 지역에서 계측된 기록을 선정한다. 이때, 관측소 하부지반이 S1 지반 혹은 이에 준하는 보통암 지반에서 계측된, 고려하는 설계지진과 유사규모의 기록을 선정하여야 한다.
- (3) 토사 지반의 지진이력은 선정된 기반암 지진기록을 활용하여 부지응답해석을 수행하여 결정한다.
- (4) 인공지진파는 인공합성 가속도 시간이력 작성방법에 따라 작성한다.

#### [해설]

- (1) 내진설계기준 연구(Ⅱ)(1998, 건설교통부)에서 정의하고 있는 가속도 시간이력의 기본요건은 다음과 같다.
  - ① 지반가속도 또는 속도나 변위의 시간이력으로 지반운동이 표현될 수 있다.
  - ② 공간적인 모형이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 가속도 성분으로 구성되어야 한다.
  - ③ 대상 부지에서 계측된 시간이력이 사용되나, 필요시에는 대상 부지에서 기대되는 시간이력과 유사하다고 판단되는 다른 지역에서 계측된 가속도 시간이력 또는 인공가속도 시간이력을 사용할 수 있다.

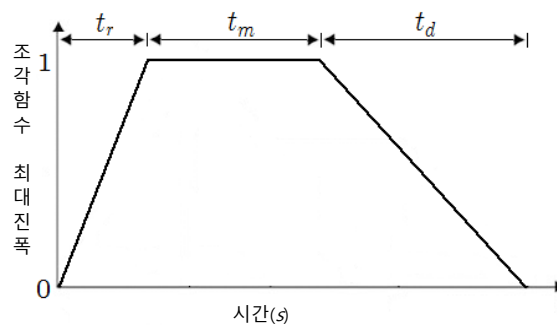


(2) 국내 또는 외국의 다양한 실지진 기록을 이용할 경우의 요건은 다음과 같다.

- ① 실지진 기록은 국내여건과 유사한 판 내부(intra-plate) 지역에서 계측된 기록을 선정한다. 이때, 관측소 하부지반이 S1 지반 혹은 이에 준하는 보통암 지반에서 계측된 실시되는 내진설계와 유사규모의 기록을 선정하여야 한다.
- ② 선정된 지진기록은 S1 지반의 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼에 맞추어 수정 적용한다. 수정 시, 원본파형의 왜곡을 최소화하기 위해 기존파형의 응답스펙트럼을 설계응답스펙트럼에 맞추어 보정(Spectral Matching)하는 것을 추천한다. 이때, 설계 대상구조물의 탁월주기(dominant period)를 주 대상으로 보정하는 것이 바람직하다.
- ③ 입력 지진기록 최대지반가속도(PGA; Peak Ground Acceleration)의 절대크기가 중요한 경우, 상기 절차로 보정된 지진기록에 대하여 최대지반가속도를 보정할 수 있다.

(3) 인공합성 가속도시간이력 작성

- ① 인공가속도 시간이력은 응답스펙트럼과 잘 부합되도록 생성되어야 한다.
- ② 지반운동의 장주기 성분이 구조물의 거동에 중요하게 영향을 미친다고 판단될 경우에는 지진원의 발진기구 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.
- ③ 인공가속도의 지속시간은 지진의 규모와 발진기구 특성, 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여 합리적으로 결정되어야 한다.
- ④ 인공합성가속도시간이력의 포락함수에 대한 최소 요구조건은 다음과 같다.  
가. 시간이력의 절단(Cut off) 진동수는 최소 50Hz 이상이어야 한다.  
나. 규모에 따른 구간선형 포락함수의 형상과 지속시간은 해설 그림 (4.1-1) 및 해설 표 (4.1-1)과 같다.



해설 그림 (4.1-1) 가속도시간이력의 구간선형 포락함수

해설 표 (4.1-1) 가속도시간이력 구간선형 포락함수에 대한 지진규모별 지속시간

지진규모	상승시간 ( $t_r$ )	강진동 지속시간 ( $t_m$ )	하강시간 ( $t_d$ )
7.0~7.5	2	12.5	13.5
6.5~7.0	1.5	9	10.5
6.0~6.5	1	7	9
5.5~6.0	1	5.5	8.0
5.0~5.5	1	5	7.5

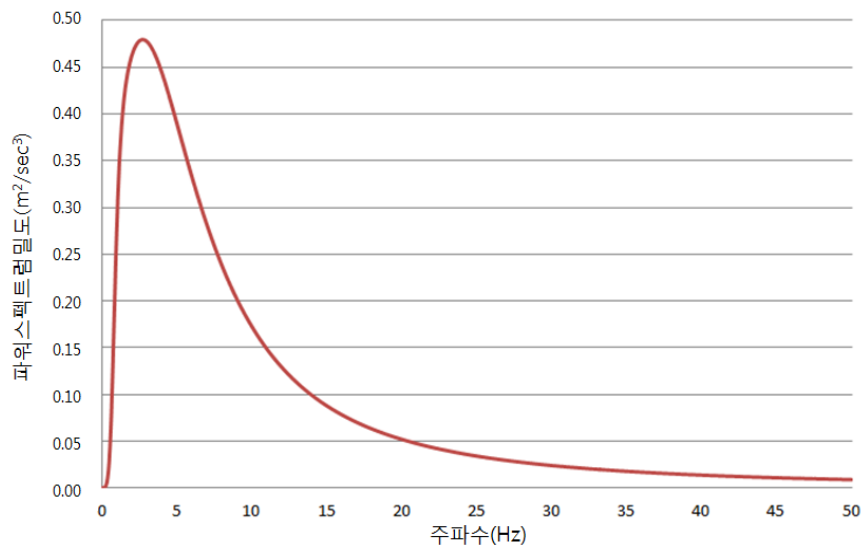
## 내진

다. 강진동지속시간( $t_m$ )의 한쪽 파워스펙트럼밀도(PSD; Power Spectral Density)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S(f) = \frac{|F(f)|^2}{\pi t_m} \quad \text{해설 식 (4.1-1)}$$

$F(f)$ : 강진동지속시간의 푸리에 변환

- ⑤ 다수의 인공합성가속도시간이력으로부터 계산된 5% 감쇠비 응답스펙트럼의 평균은 전체 주기 영역에서 표준설계응답스펙트럼의 10%보다 작아서는 안 된다.
- ⑥ 다수의 인공합성가속도시간이력으로부터 계산된 5% 감쇠비 응답스펙트럼의 평균은 0.04초와 10초 주기 영역에서 표준설계응답스펙트럼의 30%를 초과해서는 안 된다.
- ⑦ 어떤 두 개의 가속도시간이력 간의 상관계수는 0.16을 초과할 수 없다.
- ⑧ 시간이력 생성을 위해 표준설계응답스펙트럼에 대응하는 파워스펙트럼이 필요한 경우 수정 Kanai-Tajimi 모델로 정해지는 파워스펙트럼 형상을 사용할 수 있다.



해설 그림 (4.1-2) 수정 Kanai-Tajimi 모델

해설 표 (4.1-2) 수정 Kanai-Tajimi 모델 파라미터 (제공평균제공근 가속도 0.5g)

수정 Kanai-Tajimi 파라미터	$S_o$	$\omega_g$	$\xi_g$	$\omega_{cp}$	$\xi_{cp}$
값	0.35 $\text{m}^2/\text{s}^3$	25.02 rad/s	1.00	5.63 rad/s	0.64

$$S_g^{1-sided}(\omega) = S_o^{1-sided} \frac{1 + 4\xi_g^2(\omega/\omega_g)^2}{[1 - (\omega/\omega_g)^2]^2 + 4\xi_g^2(\omega/\omega_g)^2} \times \frac{(\omega/\omega_{cp})^4}{[1 - (\omega/\omega_{cp})^2]^2 + 4\xi_{cp}^2(\omega/\omega_{cp})^2} \quad \text{해설 식 (4.1-2)}$$

## [참 고]

- (1) 해당부지 관측기록이 아닌 관측기록을 이용하여 기반암 지진기록을 결정할 때에는 항만 시설의 지역적 특성에 따른 지진규모, 주파수 특성, 부지 특성 등을 고려하여 실지진파를 선정한다. 해외 실지진 기록의 선정은 PEER Ground motion D/B의 사용을 추천한다. 해외 실지진 기록은 진원의 단층형태는 특정하지 않으나, 국내여건과 유사한 판 내부 (intra-plate) 지역에서 발생한 규모 6.0 ~ 7.0 지진 및 계측지점 하부지반의 VS<sub>30</sub>이 760 m/s 이상인 지반(암반)에서 계측된 기록을 선정한다.
- (2) 선정된 지진기록은 설계지역의 기반암(S1)에 해당하는 설계응답스펙트럼에 맞추어 수정해야 한다. 원본파형의 왜곡을 최소화하기 위해 기존파형의 응답스펙트럼을 설계응답스펙트럼에 맞추어 보정 (RSP Matching)하여 사용한다.
  - ① 이때 설계 대상구조물의 탁월주기(Dominant period)를 주 대상으로 보정하는 것이 바람직하다.
  - ② 입력 지진기록 최대지반가속도(PGA)의 절대크기가 중요한 경우, 상기 절차로 보정된 지진기록에 대하여 최대지반가속도를 보정할 수 있다.
- (3) 토사 지반 지표면의 지진 기록은 부지의 강성, 비선형 특성, 기반암 지진파의 세기 등 다양한 부지 특성에 따라서 달라 질 수 있다. 따라서 토사 지반 지표면 지진 기록을 결정할 때에는 선정된 기반암지진기록을 활용하여 부지응답해석을 수행하여 결정하여야 한다. 부지응답해석을 통해서 도출된 토사 지반 지진기록은 항만 구조물의 탁월주기 및 최대가속도 수준을 고려하여 보정한 후 사용하는 것이 바람직하다.
- (4) 생성된 인공지진의 지진동은 목표로 하는 표준설계응답스펙트럼과 비교하여 잘 맞아야 하며, 그 오차가 10%이내여야 한다.  
 가속도 시간이력을 사용하여 내진동적해석을 수행하는 경우 장주기, 단주기 성분의 실지진 기록을 수정한 지진기록을 포함하여 7가지 이상의 기록을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 비선형 해석은 실지진기록을 사용하여 실시하는 것이 바람직하다. 인공지진기록을 생성하여 사용할 경우, 표준설계응답스펙트럼에 준하여 생성된 가속도 시간이력은 실지진기록과 비교하여 주파수 특성에는 문제가 없으나 그 파형이나 하중반복횟수가 실지진기록과는 다르게 나타난다. 이로 인하여 에너지가 과도하게 삽입될 우려가 있어 주의할 필요가 있다. 따라서 인공지진기록을 생성하여 사용할 경우, 실지진파로부터 표준응답스펙트럼에 맞추어 변형한 인공지진기록을 사용할 것을 권장한다.

### 4.1.3 지반의 동적물성

항만시설의 내진설계를 위해 필요한 지반 정수로는 해석부지의 층상구조와 전단파속도 주상도, 지하수위와 각층의 두께, 포화단위중량, 전단변형률에 따른 전단탄성계수 및 감쇠비, 액상화 평가에 관련된 현장지반조사 결과가 필요하다.

#### [해 설]

- (1) 부지응답특성 평가에 필요한 지반의 동적 물성인 변형률 크기에 따른 전단탄성계수와 감쇠비의 변화를 얻기 위하여 공진주시험, 진동삼축시험, 비틀전단시험을 사용한다.  
이들 시험은 현장에서 채취된 비교란 시료를 이용하여 수행하나 비교란 시료 채취가 어려운 경우에는 현장밀도를 고려하여 재 성형된 시료를 사용할 수도 있다.  
시험시 변형률 크기가 크지 않은 경우( $\gamma < 10\sim 1\%$ ), 시료에 가해지는 교란 정도가 미미하므로, 1개의 시료를 이용하여 여러 개의 구속압 단계의 시험을 실시하는 단계적 시험 (Staged-testing)이 가능하다.

#### [참 고]

- (1) 부지응답특성 평가시 실내시험을 실시하지 않을 경우 문헌의 자료를 이용할 수 있다.  
이 기준에서는 국내 지반의 실트 및 실트질 모래, 조립질 모래, 풍화토에 대한 동적 변형특성을 예시한다. 아래의 자료를 이용할 경우 현장 지반의 종류와 구속압을 고려하여 적절한 자료를 이용해야 한다.
- (2) 부지특성평가를 위해 필요한 지반 물성치를 획득하는 방법은 다음과 같이 3가지 방법이 있다.
  - ① 현장 및 실내시험 결과를 이용하는 방법  
이 방법은 가장 신뢰성 있는 방법으로 1등급 구조물이나 중요구조물 설계 시 적용한다.  
가. 현장시험을 통하여 대상지반의 깊이별 전단파속도( $V_s$ ) 주상도를 결정한다.  
이때, 크로스홀시험, 다운홀시험, SPS 검층 및 표면파기법 등이 사용될 수 있다.  
나. 대상지반을 층으로 나누고 각층의 밀도를 추정하여 현장시험에서 결정된 전단파속도로부터 저변형률 최대전단탄성계수( $G_{max}$ )를 결정한다.  
다. 각층의 중앙에서 비교란 시료를 채취한다. 이때 시료에 교란이 발생되지 않도록 시료채취 및 운반 시 주의하여야 한다. 비교란 시료의 채취가 매우 어려운 경우에는 교란 시료로 채취한다.  
라. 실내 변형특성 평가시험을 수행하여 변형률 크기에 따른 전단탄성계수와 감쇠비를 얻는다. 이때, 공진주시험, 반복삼축시험, 비틀전단시험을 사용할 수 있으며 변형률 범위는  $10^{-4} \sim 1\%$ 를 추천한다.  
마. 실내시험 결과로부터 현장 구속압 상태를 고려하여 각 층에 대표적인 변형률

크기에 따른 정규화전단탄성계수( $G/G_{max}$ )관계를 도출한다.

- 바. 현장에서 구한 최대전단탄성계수( $G_{max}$ )와 실내시험에서 구한 비선형관계( $G/G_{max} \sim \log \gamma$ )를 결합하여 각 층에서의 현장 비선형 전단탄성계수를 참고 식 (4.1-1)을 통해 결정한다.

$$G_{field} = (G/G_{max})_{\gamma, lab} \times (G_{max})_{field} \quad \text{참고 식 (4.1-1)}$$

- 사. 현장시험으로부터 감쇠비 측정이 불가능하므로, 실내시험에서 얻은 변형률 크기에 따른 감쇠비( $D \sim \log \gamma$ )관계를 사용한다.

② 현장시험 결과를 이용하는 방법

2등급 구조물의 경우, 시험장비의 가용성 및 지반조사 비용의 제한 등으로 인하여 현장시험만이 가능할 경우, 부지특성을 평가하기 위한 단계별 방법을 정리하면 다음과 같다.

- 가. ① 현장 및 실내시험을 이용하는 방법의 가, 나. 단계를 수행한다.

이때 SASW 기법도 적용할 수 있다.

- 나. 각 층의 정규화 전단탄성계수 감소곡선( $G/G_{max} \sim \log \gamma$ )을 구하기 위하여 대상 지반의 층상구조와 종류를 분류하여 문헌조사를 통한 상관관계로 적용할 수 있다.

- 다. 현장에서 구한 최대전단탄성계수와 문헌에서 구한 지반의 비선형 관계를 결합하여 각 층에서의 비선형 전단탄성계수를 참고 식 (4.1-1)을 적용하여 결정한다.

- 라. 변형률 크기에 따른 감쇠비( $D \sim \log \gamma$ ) 관계를 결정하기 위하여 문헌조사를 이용한 상관관계를 사용한다.

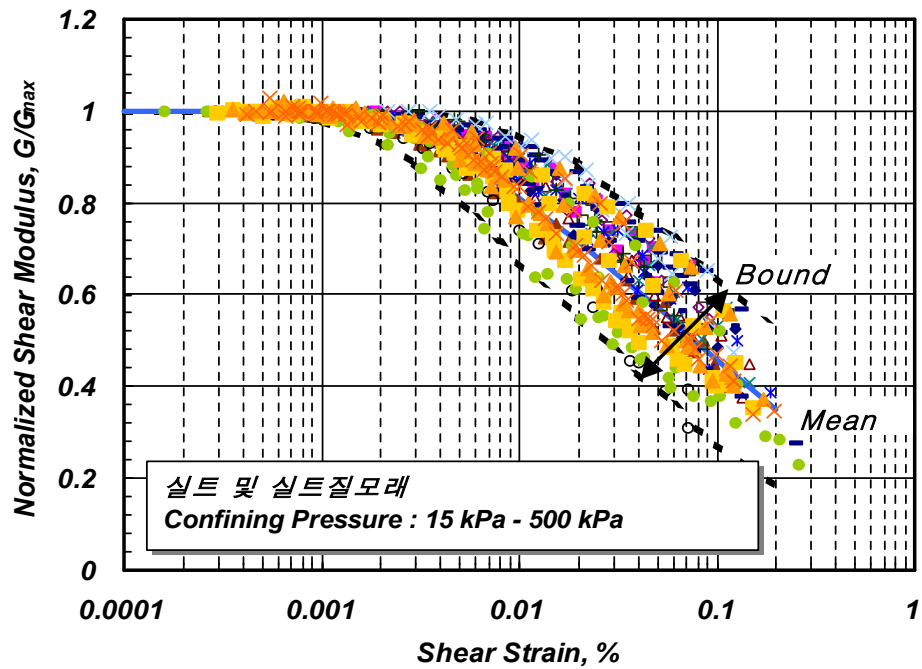
③ 경험에 의한 방법

소규모 2등급 구조물의 경우 시험장비의 가용성 및 지반조사 비용의 제한 등으로 인하여 현장 탄성파시험 및 실내 변형특성시험을 수행할 수 없는 경우에는 경험적 방법에 의해 지반의 비선형 거동을 평가한다. 이 방법은 상당히 큰 오차를 유발할 수 있는 등 신뢰도에 문제가 있으며, 모든 경험적 상관식이 외국지반에 대한 시험결과로부터 유도되어 있으므로 국내지반에 대한 연구를 수행하여 이에 대한 검증을 통해 방법의 신뢰도를 증가시켜야 한다.

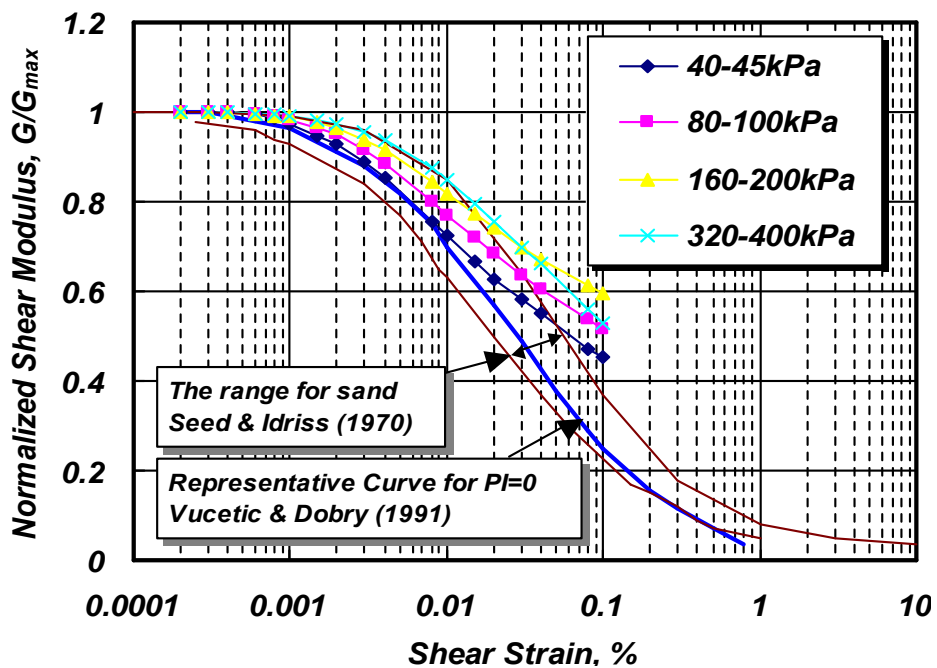
- 가. 지반조사 자료를 바탕으로 지반의 층상구조를 확인하고 각 층에서 지반자료(N값, 단위중량, 지하수위, 간극비, 액.소성한계, 입도분포, 비중 등)를 얻는다.

- 나. 지반자료와의 경험적 상관관계를 이용하여 각 층의 최대전단탄성계수를 결정한다.

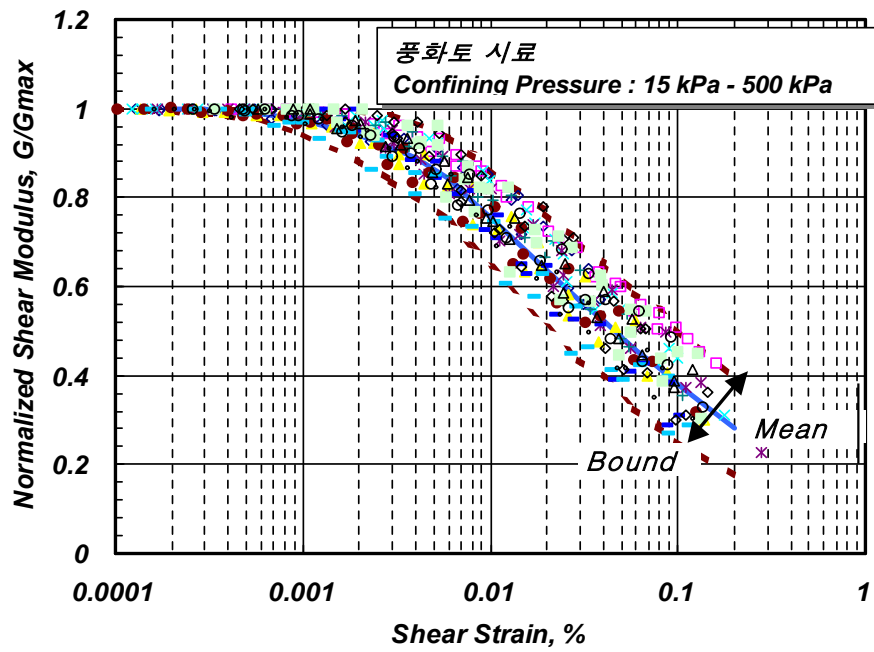
- 다. ② 현장시험 결과를 이용하는 방법의 나, 다, 라의 단계를 수행한다.



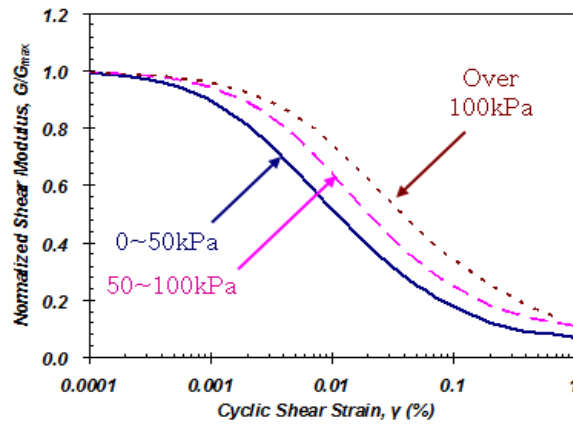
참고 그림 (4.1-1) 국내 실트 및 실트질 모래의 대표적인 정규화 전단탄성계수 감소곡선  
(김동수와 추연옥, 2001)



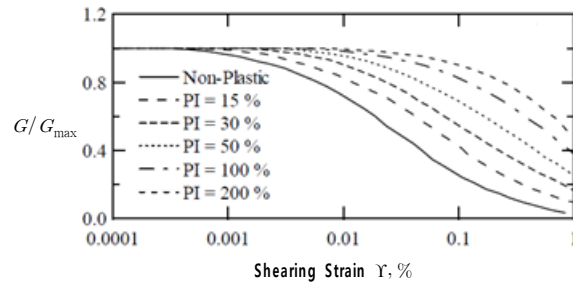
참고 그림 (4.1-2) 국내 조립질 사질토의 대표적인 정규화 전단탄성계수 감소곡선  
(김동수와 추연옥, 2001)



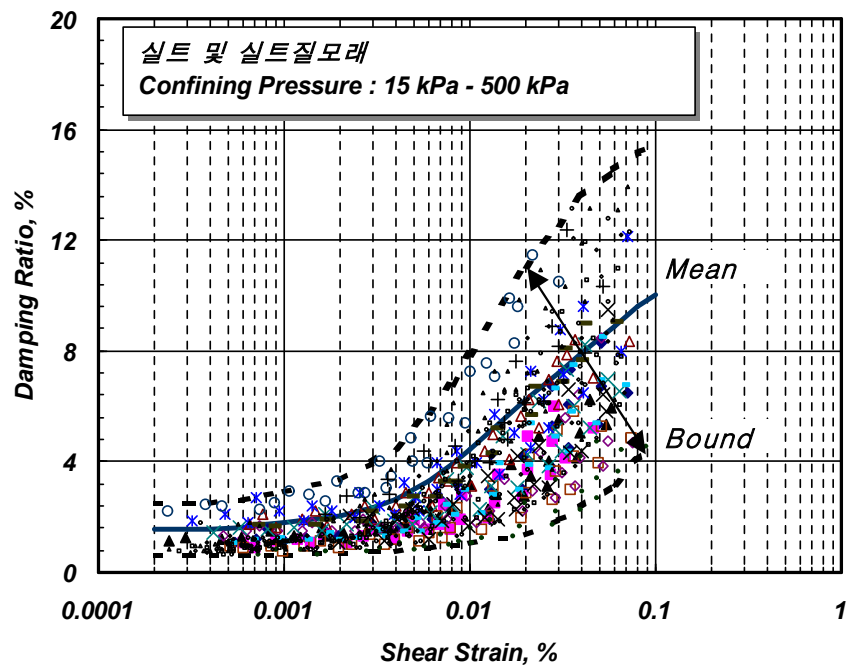
참고 그림 (4.1-3) 국내 풍화토의 대표적인 정규화 전단탄성계수 감소곡선  
(김동수와 추연옥, 2001)



참고 그림 (4.1-4) 사력부 재료의 대표적인 정규화 전단탄성계수 감소곡선  
(이세현 등, 2009)

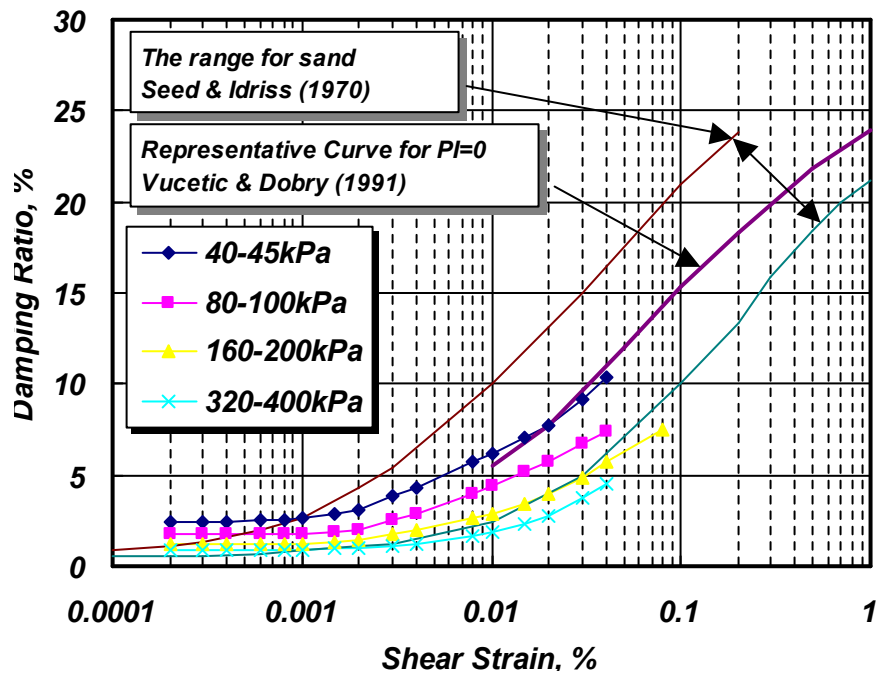


참고 그림 (4.1-5) 소성지수에 따른 대표적인 정규화 전단탄성계수 감소곡선  
(Vucetic과 Dobry, 1991)

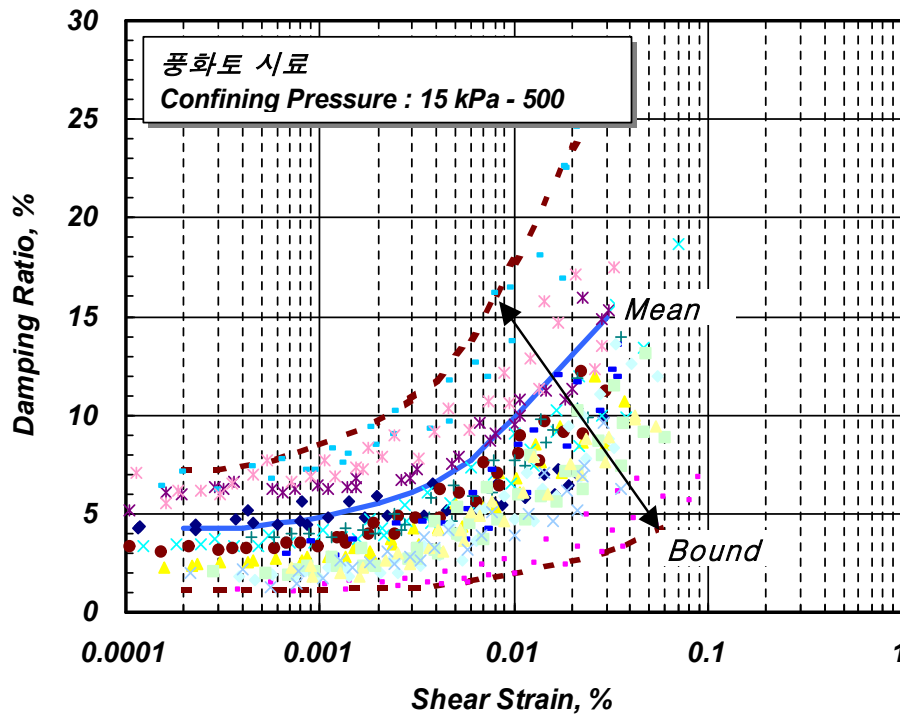


참고 그림 (4.1-6) 국내 실트 및 실트질 모래의 대표적인 감쇠비  
곡선 (김동수와 추연옥, 2001)

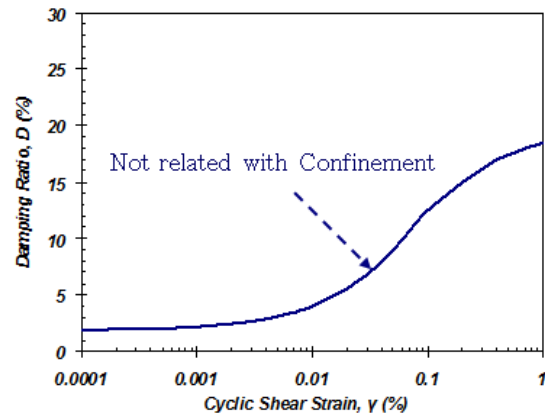




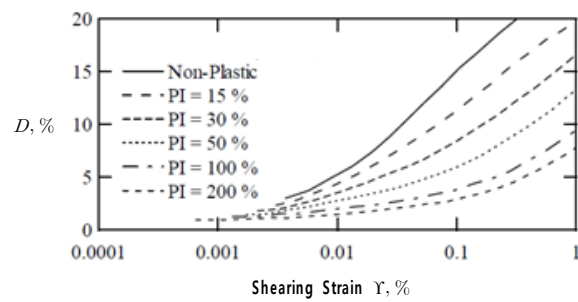
참고 그림 (4.1-7) 국내 조립질 사질토의 대표적인 감쇠비 곡선  
(김동수와 추연욱, 2001)



참고 그림 (4.1-8) 국내 풍화토의 대표적인 감쇠비 곡선  
(김동수와 추연욱, 2001)



참고 그림 (4.1-9) 사력부 재료의 대표적인 감쇠비 곡선  
(이세현 등, 2009)



참고 그림 (4.1-10) 소성지수에 따른 대표적인 감쇠비 곡선  
(Vucetic과 Dorby, 1991)

#### 4.1.4 내진 해석법

항만시설물은 설계지반운동 수준을 만족하는 내진성능을 갖도록 하여야 한다. 단 도로, 철도 및 이와 관련된 교량 등의 부속시설과 건축물은 해당 시설물 기준에 준하여 내진 설계를 수행한다. 이때 내진 해석법은 내진성능 수준 및 내진등급에 따라 등가 정적 해석법, 변위를 고려한 해석법, 동적 해석법을 적용할 수 있다.

#### [해설]

내진설계 시에는 다음의 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 대상시설의 내진성능을 검토하는 경우
  - ① 대상지역의 지진활동 정도, 대상으로 하는 지진, 지진동 등
  - ② 건설지점의 지반조건
  - ③ 시설물의 내진등급 및 내진성능 목표
  - ④ 시설물 이용상 지진 시 성능수준 한계
- (2) 기초지반, 구조물 부재, 시설 간 연결부의 내진성능을 검토하는 경우
  - ① 지반 구조물 시스템의 전체 안정성
  - ② 구조물의 기초지반 활동, 전도 등에 대한 안정성
  - ③ 액상화 현상이 기초지반의 안정성 및 상부구조물에 미치는 영향
  - ④ 구조물의 부재응력
  - ⑤ 기능상으로 본 구조물의 각 부분, 인접하는 구조물이나 지반과의 상대변위
- (3) 내진설계법에는 등가정적 설계법과 동적 설계법이 있으며 진도법으로 대표되는 등가 정적 설계법은 지진력을 정적인 관성력으로 간주하여 지반이나 구조물에 작용시켜 힘의 평형조건으로부터 안정성을 검토하는 방법으로 변위를 고려하여 지지력을 산정하기도 한다. 또한 동적 설계법은 구조물, 기초, 지반을 포함한 해석대상에 대해 시간영역 또는 주파수 영역에서 실지진기록을 입력하여 이에 대한 지반, 기초, 구조물의 응답을 분석하여 지진시 안전성을 검토하는 방법이다.
- (4) 내진 I 등급 시설물
  - ① 기능수행 수준 및 붕괴방지 수준에서 동적해석방법에 의하여 시설물의 안전이나 부재력을 검토함이 바람직하나 다음의 경우는 예외로 할 수 있다.
    - 가. 배면이 토사로 매립되었거나 내부 속채움이 포함된 시설물로서 지진 시 토압 및 동수압이 시설물의 안전이나 부재력에 지배적인 경우 또는 일반적인 잔교 구조물 등은 등가정적 해석법을 적용할 수 있다.
    - 나. 지진 시 하중조건이나 재료의 특성 등에 따라 기능수행 수준에서의 시설물 안전이나 부재력이 붕괴방지 수준에서의 경우보다 덜 위험하다고 판단되는 경우는 기능수행 수준에서의 검토를 생략할 수 있다.

## 내진

- ② 지반에 매설되는 관구조물 등의 변형은 지진 시 주변지반의 변위에 지배되므로 이를 고려하여 검토한다.
- (5) 내진Ⅱ등급 시설물
- ① 기능수행 수준 및 붕괴방지 수준에서 등가정적 해석법에 의하여 시설물의 안전이나 부재력을 검토한다.
- ② 지진 시 하중조건이나 재료의 특성 등에 따라 기능수행 수준에서의 시설물 안전이나 부재력이 붕괴방지 수준에서의 경우보다 덜 위험하다고 판단되는 경우는 기능수행 수준에서의 검토를 생략할 수 있다.
- ③ 고유진동주기가 비교적 짧고 감쇠성이 큰 시설물이 아닌 경우로 지진동의 탁월주기와 비교하여 시설물의 고유진동주기가 긴 경우나 높이 방향으로 진동이 증폭하기 쉬운 경우는 내진Ⅱ등급 시설의 경우에도 시설물의 동적거동을 판단하여 설계지반운동을 결정한다.
- (6) 내진Ⅰ등급 시설물의 경우에도 타당성 조사나 기본계획 단계에서는 등가정적 해석법을 적용하고, 기본설계 단계에서는 중요 시설부분에 대해서만 (4)항의 규정을 적용할 수 있다.
- (7) 이 기준에서 규정하는 항만시설물의 내진성능수준은 최소한의 요구조건으로 시설물에 따라서는 보다 강화된 내진성능수준을 요구할 수 있다. 이 경우 설계자는 이론적 또는 실험적으로 신뢰성이 확보된 보다 발전된 설계기법으로 성능기반 내진설계를 수행할 수 있으며 이에 대한 내용은 KDS 17 30 00 추가고려사항 (4.1 성능기반 내진설계)에 따른다.
- (8) 등가정적 해석법에서의 설계지진력은 다음의 ① 및 ②항 중 시설물에 불리하게 되는 지진력을 시설물의 중심에 작용시키는 것으로 한다.
- ① 지진력 = 자중 × 지진계수
- ② 지진력 = (자중 + 재하하중) × 지진계수
- 여기서, 지진계수 = 지역별 진도 × 지반종별 증폭계수로부터 구하며, 이때, 지반종별 증폭계수는 지반조건에 따른 지진응답해석을 수행하여 결정하거나 KDS 17 10 00 공통기준(4.2.1 지반운동)에 따른다.
- (9) 항만시설물의 내진성능을 검토함에 있어서 동적해석방법을 적용하는 경우는 해석의 목적에 부합되는 적절한 방법을 선택하여야 하며, 동적해석법을 적용할 경우 구조물의 모델링, 재료정수의 설정, 입력지진동 선정 등은 실제의 현상을 적절히 재현할 수 있어야 한다.

## [참고]

- (1) 성능기반 내진설계 수행시의 허용변위
- ① 항만시설물의 허용변위는 시설물의 운영측면이나 안전측면이 모두 고려되어 결정되어야 하며, 허용변위량의 대소에 따라 건설비용 등에 큰 영향을 미칠 것이므로 신중하게 검토되어야 한다.
- ② 외국의 관련문헌에 따르면 일반적으로 다음과 같은 기준을 예시할 수 있다.

- 가. Design criteria for earthquake hazard mitigation of navy piers and wharfs(1997. US Navy)  
 잔교하부 호안구조물의 경우(Newmark법 사용 시)  
 붕괴방지 수준에서의 허용범위 : 30cm (수평방향)  
 기능수행 수준에서의 허용범위 : 10cm (수평방향)
- 나. 港灣の施設の技術上の基準.同解説(平成11年 4月, 사단법인 일본항만협회) : 붕괴  
 방지 지진작용 시에 크레인 미설치 부지의 경우

참고 표 (4.1-1) 공용의 관점에서 본 안벽 변형량 허용값

구 분	피해변형량 ; 최대 측방 변위량 또는 최대 에이프런 침하량			
구조형식	중력식 계선안		널말뚝식 계선안	
안벽수심	(-) 7.5m 이상	(-) 7.5m 미만	(-) 7.5m 이상	(-) 7.5m 미만
공용가능	0 ~ 30cm	0 ~ 20cm	0 ~ 30cm	0 ~ 20cm
공용제한	30 ~ 100cm	20 ~ 50cm	30 ~ 50cm	20 ~ 30cm

참고 표 (4.1-2) 기능상의 관점에서 본 안벽 변형량 상한 허용값

구조물 본체	에이프런 전체 침하량	: 20~30cm
	경사	: 3~5°
	측방의 변위 (出入)	: 20~30cm
에이프런	침하 :	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div>           에이프런상의 단차 : 3~10cm  <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div>           에이프런과 배후지의 단차 : 30~70cm         </div>
	경사 :	순경사 3~5%, 역경사 0%

- 다. Seismic design guidelines for port structures(2001, international navigation association)

참고 표 (4.1-3) 피해 허용수준(Acceptable level of damage) 분류

피해 정도	구조물 피해	기능적 피해
수준Ⅰ : 사용가능 (Serviceable)	최소 또는 피해 전무	최소의 기능피해
수준Ⅱ : 복구가능 (Repairable)	복구 가능한 피해	단기간 기능수행 불가
수준Ⅲ : 붕괴임박 (Near collapse)	붕괴에 가까운 피해	장기간 기능수행 불가
수준Ⅳ : 붕괴 (Collapse)	붕괴	붕괴에 따른 기능수행 불가

## 내진

참고 표 (4.1-4) 중력식 안벽의 파괴 기준

피해구분		수준 I	수준 II	수준 III	수준 IV
중력식 안벽	정규화된 잔류 수평변위 (d/H)*	1.5%** 이하	1.5~5%	5~10%	10% 이상
	바다 방향 잔류 기울기	3° 이하	3~5°	5~8°	8° 이상
에이 프런	에이프런 상의 단차	0.03 ~ 0.1m 이하	N/A ***	N/A	N/A
	에이프런과 배후지의 단차	0.3 ~ 0.7m 이하	N/A	N/A	N/A
	바다 방향 잔류 기울기	2 ~ 3° 이하	N/A	N/A	N/A

\* d : 벽 상단에서의 잔류 수평 변위 H : 중력벽의 높이

\*\* 대체 규정은 부등 수평변위의 측면에서 30cm 이하로 제한됨

\*\*\* 적용할 수 없을 때 생략

참고 표 (4.1-5) 말뚝지지 안벽의 파괴 기준

피해구분	수준 I	수준 II	수준 III	수준 IV
상판(Deck)과 배후지 사이의 부등침하	0.1 ~ 0.3m 이하	N/A	N/A	N/A
바다 방향 잔류 기울기	2 ~ 3° 이하	N/A	N/A	N/A

참고 표 (4.1-6) 중공블록식 안벽의 파괴 기준

피해구분		수준 I	수준 II	수준 III	수준 IV
중공 블록식 안벽	정규화된 잔류 수평변위 (d/H)*	1.5%** 이하	1.5 ~ 5%	5 ~ 10%	10% 이상
	바다 방향 잔류 기울기	3° 이하	3 ~ 5°	5 ~ 8°	8° 이상
에이 프런	에이프런 상의 단차	0.03 ~ 0.1m 이하	N/A	N/A	N/A
	에이프런과 배후지의 단차	0.03 ~ 0.7m 이하	N/A	N/A	N/A
	바다 방향 잔류 기울기	2 ~ 3° 이하	N/A	N/A	N/A

(2) 내진 I 등급 시설물의 시설물 안전이나 부재력 검토 시 예외조항은 다음과 같은 경우에 해당한다.

- ① 중력식 안벽, 널말뚝식 안벽 등이나 직립식 혹은 혼성식 방파제와 같은 경우는 등가정적 해석법을 허용하며, 잔교식 안벽 등은 설계자의 판단에 따른다.
- ② 붕괴방지 수준 및 기능수행 수준에서의 상재하중 (특히 운영하중)은 발생빈도가 상이하므로 달리 적용할 수 있다.
- ③ 지진발생 시 강제운동으로 보기 어려운 잔교식 안벽의 경우, 내진 II 등급 시설물도 시설물의 동적거동을 상세하게 판단하는 것이 바람직하다.
- ④ 재료의 특성에 따른 해석방법을 감안할 때, 콘크리트 구조물은 붕괴방지 수준의 경우만 검토하여도 시설물의 안전이나 부재력에 문제가 없는 경우가 발생 가능할 것으로 예상되므로 기능수행 수준에서의 검토를 생략 가능하도록 예외 조항을 두었다. 강재시설물(특히, 말뚝식구조)의 경우 허용응력설계법으로 하고, 기능수행 수준의 경우는 허용응력할증을 감안하여 검토하고, 붕괴방지 수준의 경우는 연성계수를 적용하여 부재력을 검토한다.

(3) 내진 II 등급 시설물의 경우는 기본적으로 등가정적 해석법으로 하였으므로 시설물의 변위검토는 하지 않는 것으로 하였다.

(4) 안벽과 같은 항만구조물에 대한 내진설계에 있어서는 일반적인 토목구조물에서와 같이 등가정적 해석법이 적용된다. 즉, 지진동의 탁월진동주기에 비하면 이들 구조물의 고유진동주기는 짧다고 보여 짐으로 지진동에 이들 구조물은 강체와 같이 거동한다고 본다.

(5) 등가정적 해석법에 의하면 지진 시 발생하는 최대 지진력이 마치 정적인 힘으로 정상적으로 작용하는 것으로 설계되므로, 이와 같은 설계법과 실제에 일어나는 현상과의 차이를 감안하여 지진 시에는 이상시 하중에 대한 재료의 안전율, 허용응력도 등을 상시와 달리 하고 있다.

(6) 지역별 진도는 보통암 지반을 기준으로 하고 있는 바, 대상지역의 지반종류별 특성을 감안하기 위한 지반계수는 일반적으로 1차원 등가선형 지반응답해석(사용가능모델 사례 ; SHAKE)을 수행하면 결정가능하다.

(7) 지반종별 지진계수를 이용하는 경우에는 KDS 17 10 00 공통기준 (4.2.1 지반운동)에 따른다.

(8) 변위를 고려한 해석방법

과거 지진하중 조건에만 의존하여 설계하던 방법 대신, 벽체구조물의 허용변위를 고려하여 설계하는 방법이 점점 일반화되고 있다. 등가정적 해석법 해석에서 사용되는 Mononobe-Okabe 방법과 Eurocode 방법들은 벽체구조물에 가해지는 지진하중을 산정하는데 유용하게 이용될 수 있으나 변위에 대한 정보는 알 수 없다.

지진발생 후 벽체구조물이 제 기능을 발휘할 수 있는 지는, 지진 시 발생된 구조물의 영구변위의 크기에 좌우되는 경우가 많다. 따라서 내진설계 시 허용변위를 고려한 설계기법과 설계지진에 의한 벽체구조물의 영구변형을 예측하기 위한 해석을 수행할 필요가 있다.

## 내진

### ① 영구변위 산정법

#### 가. Richards-Elms 방법

Richards-Elms는 허용변위에 따른 벽체구조물의 내진설계방법을 제안하였다.

이 방법은 지진 시의 사면안정해석 방법으로 Newmark가 제안한 슬라이딩 블록(Sliding block) 방법과 유사한 방법으로 벽체의 영구변위를 평가하는 방법이다. Richards-Elms는 영구변위 및 항복가속도(설계가속도)를 구하는 방법을 다음과 같이 제안하였다.

$$N = A \left( \frac{0.087 V^2}{dAg} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{참고 식 (4.1-2)}$$

$$d = 0.087 \frac{V^2}{Ag(N/A)^4} \quad \text{참고 식 (4.1-3)}$$

여기서,  $d$ : 영구변위(m)

$N$ : 항복가속도(m/sec<sup>2</sup>)

$A$ : 최대지반가속도(m/sec<sup>2</sup>)

$g$ : 중력가속도(m/sec<sup>2</sup>)

$V$ : 최대지반속도(m/sec)

일반적으로 허용변위는 구조물의 중요도(등급) 및 종류에 따라 설계시방서에 주어진다. 허용변위가 결정되면 벽체에 가해지는 지진계수를 수정하여 등가정적 해석법 해석을 수행한다.

또한 활동을 유발하는 항복가속도를 한계평형법에 의하여 계산하고, 설계지진력에 대한 영구변위를 참고 식 (4.1-3)를 이용하여 계산할 수 있다.

#### 나. Whitman-Liao 방법

Richards-Elms 방법은 중력식 벽체구조물의 변위를 산정하는데 유용하나, 개발 과정에서 동적토압 문제에서 고려되어야 할 뒷채움재의 진동응답, 운동학적 요소들, 회전거동, 수직 가속도 등의 사항들을 무시하고 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 Whitman-Liao는 Richards-Elms 방법의 모델링 오류를 통계학적인 방법을 이용해 95%의 신뢰수준으로 영구변위를 초과하지 않는 항복가속도를 구하는 법을 다음과 같이 제안하였다.

$$N = A \left\{ 0.66 - \frac{1}{9.4} \ln \left( \frac{dAg}{V^2} \right) \right\} \quad (\text{단면설계시}) \quad \text{참고 식 (4.1-4)}$$

$$d = \frac{495 V^2}{Ag} \exp \left( -9.4 \frac{N}{A} \right) \quad (\text{단면설계시}) \quad \text{참고 식 (4.1-5)}$$



Richards-Elms 방법과 Whitman-Liao 방법을 비교해보면, Whitman-Liao 방법은 지진 시 벽체구조물에 발생한 변위의 사례연구의 최적(Best-fit) 곡선을 나타내고 Richards-Elms 방법은 상한값을 나타낸다.

따라서 내진설계 시 Whitman-Liao 방법을 이용할 것을 추천하며, 보조수단으로 Richards-Elms 방법에서 계산된 영구변위는 중력식 벽체구조물이 경험할 수 있는 영구변위의 상한계 값으로 참고할 수 있다.

## ② 설계방법

허용변위를 고려하여 내진설계를 하는 방법은 다음과 같이 요약할 수 있다.

가. 허용변위  $d$ 를 결정한다.  $d$ 는 구조물의 종류 및 중요도(등급)에 따라 결정한다.

나. 항복가속도(설계가속도)  $N$ 을 허용변위로부터 계산한다.

다. 지진 시 작용되는 하중조합을 계산한다. 위에서 구한 항복가속도  $N$ 을 수평지진 계수 ( $kh$ )로 사용한다.

라. 위 다.항에서 계산된 하중조합을 지탱할 수 있는 중력식 벽체구조물을 등가정적 해석법과 동일하게 설계한다. 이 방법에서는 활동이 유발되는 것으로 가정하기 때문에 활동 이외의 검토사항에 대한 검토를 수행한다.

설계된 벽체의 영구변위를 예측하기 위해서는 중력식 벽체에 활동을 유발하는 항복가속도를 한계평형방법에 의하여 결정하고 Richards-Elms 방법과 Whitman-Liao 방법을 적용한다. 이때 Whitman-Liao의 방법은 평균값을 Richards-Elms 방법은 상한값을 제공한다.

## ③ 상기의 방법 사용 시의 허용변위, 안전율산정방법 및 필요한 안전율은 미국의 항만 설계기준(The seismic design of waterfront retaining structures, 1992. US Navy) 등을 참조한다.

- (9) 동적해석방법은 일반적으로 응답스펙트럼법, 시간이력해석법 등이 적용되나 재료의 특성, 모델형식 등에 따라 매우 다양하므로 실제 현상을 적절히 재현할 수 있는 방법을 선택하여야 한다.

참고 표 (4.1-7) 해석모델의 분류

해 석 법 (포화지반의 취급)	유효응력해석법, 전응력해석법
계산대상지역(차원)	1차원, 2차원, 3차원
재료특성	선형, 등가선형, 비선형
계산영역	시간영역해석법, 주파수영역해석법

① 수치계산에 의한 해석

가. 유효응력해석법과 전응력해석법

액상화의 예측·판정이라는 목적의 관점에서 보면, 동적해석은 유효응력법에 근거한 것과 전응력법에 근거한 것으로 나눌 수 있다. 지반이 액상화 되면 과잉간극수압이 발생하여, 유효응력이 감소한다. 그 결과 흙의 응력상태가 변화하기 때문에 흙의 복원력 특성이나 감쇠특성이 변화하고 지반의 응답특성도 변화한다.

유효응력해석법은 이와 같은 상태를 표현할 수 있어 지반에 발생하는 과잉간극수압을 계산에 의해 직접 구할 수 있다. 한편, 전응력해석법에서는 계산과정에서 과잉간극수압이 계산되지 않기 때문에, 유효응력의 변화에 의한 지진응답 변화가 고려될 수가 없다. 따라서 어느 정도 이상의 과잉간극수압비로 대략 0.5 이상이 발생하는 경우에는 전응력법에 의한 계산결과는 실제의 지진응답과 꽤 다를 가능성이 크다. 따라서 설계실무에는 간편한 전응력해석법이 이용되는 경우가 많다. 일반적으로 유효응력해석에 의한 응답값(전단응력이나 가속도)은 전응력해석에 의한 응답값보다 전반적으로 작다고 알려져 있다. 이 경우에는 전응력해석은 설계상 안전 측의 결과를 주고 있다.

나. 계산대상 영역에 의한 분류

계산의 대상으로 하는 영역에 의한 해석에는 1차원에서 3차원까지의 해석법이 있다. 일반적으로, 평면적으로 넓은 곳에 수평으로 퇴적된 지층구조를 가지는 자연지반을 대상으로 하는 경우에는 1차원 해석법이 이용되고 있다. 또, 안벽 등과 같이 안쪽 길이 방향으로 똑같다고 간주하는 구조물-지반계를 대상으로 하는 경우에는 2차원 해석법이 이용되고 있는 것이 일반적이다. 교대기초-지반계와 같은 경우, 3차원적 취급을 하는 것이 생각될 수 있으나, 모델화나 계산시간의 제약으로 인하여 3차원 해석은 중요구조물이나 연구목적으로 이용되는 것이 일반적이다.

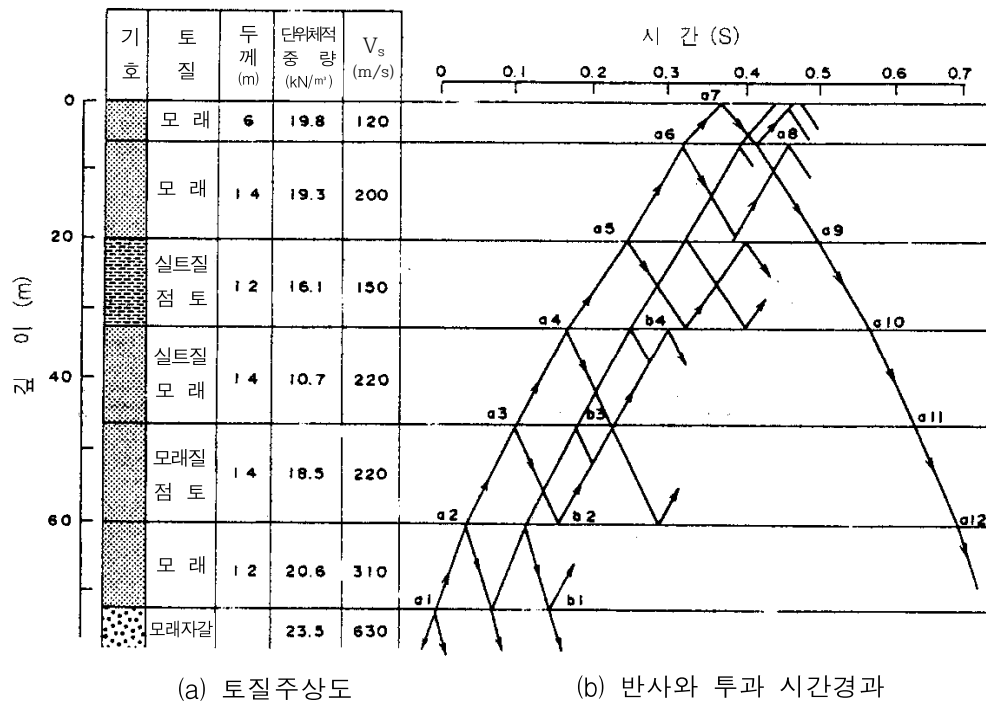
다. 일반적인 계산모델의 종류

(가) 1차원 부지응답 해석

이 방법은 지반을 수평한 토층의 겹침으로 간주하고, 지반에서부터 수직으로 입사한 전단파가 상방으로 진행하여 각 층의 경계에서 투과와 반사를 반복하게 하는 것이다. 이 방법에는 흙의 응력-뒤틀림 관계를 선형으로 취급하나, 의사적(擬似的)으로 비선형성을 고려할 수 있는 등가선형해석법에 의해 1차원 부지응답해석(SHAKE해석)이 널리 이용되고 있다.

(나) 유한요소모델

이 해석법은 지반을 유한개수의 요소로 분할하여 해석하는 것으로 지반분야뿐 아니라 엔지니어링 각 분야에서 이용되고 있다. 이 방법의 특징은 지반의 층후나 물성의 2차원적인 변화를 용이하게 표현할 수 있다.



참고 그림 (4.1-11) 중복반사 모델에 의한 지진파의 전파

- (10) 동적해석모델을 선정함에 있어서 중요한 점은 해석의 목적에 부합되고, 실제의 현상을 적절히 재현할 수 있는가 하는 점이다. 이는 일률적으로 정의하기 어려우므로 각각의 경우에 따라 평가되어야 한다.
- (11) 동적해석법을 적용할 경우 항만시설물의 물에 의한 영향을 고려하는 것이 바람직하다.

#### 4.1.5 지진 시 토압

지진 시 토압은 흙의 종류에 따라 주동 및 수동 상태의 토압을 산정한다.

##### [해설]

##### (1) 겉보기 진도

수면 아래 흙의 지진 시 토압은 다음 식에 의해 구해지는 겉보기 진도를 이용하여 사질토 및 점성토의 토압을 산정한다.

$$k' = \frac{2(\sum \gamma_t h_i + \sum \gamma h_i + w) + \gamma h}{2[\sum \gamma_t h_i + \sum (\gamma - 10)h_j + w] + (\gamma - 10)h} k \quad \text{해설 식 (4.1-3)}$$

여기서,  $k'$  : 겉보기 진도

$\gamma_t$  : 잔류수위 위 흙의 단위체적중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$h_i$  : 잔류수위 위  $i$ 층의 토층의 두께 (m)

$\gamma$  : 물에 의해 포화된 흙의 공기 중 단위체적중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$h_j$  : 잔류수위 아래에서 토압을 산정하는 층보다 위인  $j$ 층의 토층 두께 (m)

$w$  : 지표면의 단위면적당 재하하량 ( $\text{kN/m}^2$ )

$h$  : 잔류수위 아래 토압을 산정하는 토층두께 (m)

$k$  : 진도

##### (2) 사질토의 토압

##### ① 주동토압

벽면에 작용하는 지진 시의 주동토압은 붕괴면이 수평면과 이루는 각을 통해 산정한다.

$$P_{ai} = K_{ai} \left[ \sum \gamma_i h_i + \frac{w \cos \Psi}{\cos(\Psi - \beta)} \right] \cdot \cos \Psi \quad \text{해설 식 (4.1-4)}$$

$$K_{ai} = \frac{\cos^2(\phi_i - \Psi - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \Psi \cos(\delta + \Psi + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_i + \delta) \sin(\phi_i - \beta - \theta)}{\cos(\delta + \Psi + \theta) \cos(\Psi - \beta)}} \right]^2}$$

$$\cot(\zeta_i - \beta) =$$

$$- \tan(\phi_i + \delta + \Psi - \beta) + \sec(\phi_i + \delta + \Psi - \beta) \sqrt{\frac{\cos(\Psi + \delta + \theta) \sin(\phi_i + \delta)}{\cos(\Psi - \delta) \sin(\phi_i - \beta - \theta)}} \quad \text{해설 식 (4.1-5)}$$

##### ② 수동토압

벽면에 작용하는 지진 시의 수동토압은 붕괴면이 수평면과 이루는 각을 통해 산정한다.

$$P_{pi} = K_{pi} \left[ \sum \gamma_i h_i + \frac{w \cos \Psi}{\cos(\Psi - \beta)} \right] \cos \Psi \quad \text{해설 식 (4.1-6)}$$

$$K_{pi} = \frac{\cos^2(\phi_i + \Psi - \theta)}{\cos^2 \Psi \cos \theta \cos(\delta + \Psi - \theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi_i - \delta) \sin(\phi_i + \beta - \theta)}{\cos(\delta + \Psi - \theta) \cos(\Psi - \beta)}} \right]^2}$$

$$\cot(\zeta_i - \beta) =$$

$$\tan(\phi_i - \delta - \Psi + \beta) + \sec(\phi_i - \delta - \Psi + \beta) \sqrt{\frac{\cos(\Psi + \delta - \theta) \sin(\phi_i - \delta)}{\cos(\Psi - \delta) \sin(\phi_i + \beta - \theta)}} \quad \text{해설 식 (4.1-7)}$$

$P_{ai}, (P_{pi})$  : i층하면의 벽면에 작용하는 주동 및 수동 토압 (kN/m<sup>2</sup>)

$\Psi_i$  : i층의 흙의 내부마찰각 (°)

$\gamma_i$  : i층의 흙의 단위체적중량 (kN/m<sup>3</sup>)

$h_i$  : i층의 두께 (m)

$K_{ai}, (K_{pi})$  : i층의 주동 및 수동 토압계수

$\Psi$  : 벽면이 연직과 이루는 각도 (°)

$\beta$  : 지표면이 수평과 이루는 각 (°)

$\delta$  : 흙과 벽면과의 마찰각 (°)

$\zeta_i$  : i층의 붕괴면이 수평과 이루는 각도 (°)

$w$  : 지표면에 단위면적당 재하하중 (kN/m<sup>2</sup>)

$\theta$  : 다음의 (가), (나)로 표시되는 지진합성각(°)

(가)  $\theta = \tan^{-1} k$  (나)  $\theta = \tan^{-1} k'$  이고,

$k$  : 진도

$k'$  : 겉보기 진도

### (3) 점성토의 토압

구조물의 벽면에 작용하는 지진 시의 토압 및 붕괴면이 수평면과 이루는 각도는 다음에 제시된 바와 같이 산정하는 것을 표준으로 한다.

#### ① 주동토압

지진 시 구조적 안정이 확보될 수 있도록 설계지반운동 수준에 대해 붕괴면과 수평이 이루는 각도를 이용하여 주동토압을 산정한다.

$$P_a = \frac{(\sum \gamma_i h_i + w) \sin(\zeta_a + \theta)}{\cos \theta \sin \zeta_a} - \frac{c}{\cos \zeta_a \sin \zeta_a} \quad \text{해설 식 (4.1-8)}$$

$$\zeta_a = \tan^{-1} \sqrt{1 - \frac{(\sum \gamma_i h_i + 2w)}{2c} \tan \theta} \quad \text{해설 식 (4.1-9)}$$

- $P_a$  : 주동토압 (kN/m)  
 $\gamma_i$  : 흙의 단위체적중량 (kN/m<sup>3</sup>)  
 $h_i$  : 층의 두께 (m)  
 $w$  : 수평단위면적당 재하하중(kN/m<sup>2</sup>)  
 $c$  : 흙의 점착력 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $\theta$  : 지진합성각  $\theta=\tan^{-1}k(^{\circ})$  또는  $\theta=\tan^{-1}k'(^{\circ})$ 로 표시한다.  
 $k$  : 진도  
 $k'$  : 겉보기 진도  
 $\zeta_a$  : 붕괴면이 수평과 이루는 각도( $^{\circ}$ )

## ② 수동토압

지진 시 구조적 안정이 확보될 수 있도록 적절한 토압식에 의해 산정한다. 다만, 점성토의 지진 시 수동토압을 구하는 방법에 대해서는 불명확한 점이 많으므로 정적상태(평상시)의 토압산정식을 이용하는 것도 현 단계에서 가능하다.

- ③ 해저면 아래에서의 점성토의 지진 시 토압을 산출하는 경우 해저면에서는 겉보기 진도를 이용하여 토압을 구하지만 해저면 아래 10m 이하에서는 진도를 0으로 하여 토압을 구하여도 좋다. 단, 해저면 아래 10m에서의 토압이 해저면에서의 값보다 작은 경우에는 해저면에서의 값을 이용한다.

## [참 고]

- (1) 현시점에서 지진 시 토압의 산정에 관하여 경량성토재 등 신재료의 적용성을 갖는 합리적인 식은 해설 식 (4.1-3)이고 자유수면에 면한 벽체의 안정을 검토할 때에도 이를 이용하여 산출한 토압에 벽체 전면에 작용하는 동수압을 바다 쪽으로 작용시킨다.
- (2) 지진 시 수면 아래의 흙은 토립자와 물이 일체로 되어 운동한다고 가정하면 흙에 작용하는 지진력은 흙의 포화중량에 진도를 곱한 것으로 된다. 또한 수면하의 흙은 부력을 받으므로 흙에 작용하는 수직력은 흙의 수중중량이다. 따라서 수면 아래의 흙에 작용하는 지진 시 합력은 공기 중과 다르게 된다. 지진 시 토압을 산출하는 경우 수면 아래의 흙에 대해서는 지진합성각으로 도출한 겉보기 진도를 이용하면, 공기 중의 흙에 대해 도출된 지진 시 토압식에 의해 토압을 구하는 것이 가능하다. 또한, 수면 아래의 흙에 대한 수직력에는 토압을 구하고자 하는 토층보다 위인 흙의 토층중량 및 재하하중이 들어가므로 겉보기 진도는 이들의 영향을 받는다.
- (3) 지진 시의 토압은 모노베(物部)·오까베(岡部)가 제안한 이론의 사용을 우선하며 이와 다른 국내외 연구사례가 적용사례를 포함하여 있는 경우, 이를 적용할 수 있다.
- (4) 벽면마찰각은 일반적으로  $\pm 15^{\circ}$  이하 또는 뒤채움재의 내부마찰각( $\phi$ )의 1/2 정도를 기준으로 한다.
- (5) 위의 토압식은 흙과 간극수가 일체가 되어 운동한다고 가정하에 제안된 식으로 액상화가 일어난 지반에는 적용할 수 없다. 이러한 경우에는 유효응력해석법을 이용한 동적해석 또는 모형실험 등으로 지진 시 안정성을 평가한다.

## 4.1.6 지진 시 동수압

지진 시 토압은 흙의 종류에 따라 주동 및 수동 상태의 토압을 산정한다.

## [해설]

- (1) 수중에 있는 구조물 및 시설의 내부공간의 일부 또는 전체를 물이 점하는 경우에는 지진 시의 동수압은 다음의 식을 이용하여 산정한다.

$$P_{dw} = \pm \frac{7}{8} k \gamma_w \sqrt{H \cdot y} \quad \text{해설 식 (4.1-10)}$$

$P_{dw}$  : 동수압 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $k$  : 진도  
 $\gamma_w$  : 물의 단위체적중량 (kN/m<sup>3</sup>)  
 $H$  : 수심 (m)  
 $y$  : 수면으로부터 동수압을 산정하는 점까지의 깊이 (m)

- (2) 동수압의 합력 및 작용점의 위치는 다음의 식을 이용하여 산정한다.

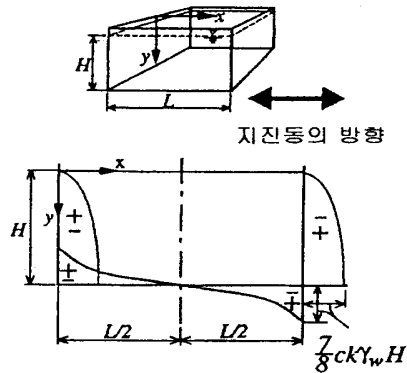
$$P_{dw} = \pm \frac{7}{12} k \gamma_w H^2 \quad \text{해설 식 (4.1-11)}$$

$$h_{dw} = \frac{3}{5} H$$

$P_{dw}$  : 동수압의 합력 (kN)  
 $h_{dw}$  : 수면에서 동수압 합력의 작용점까지 거리(m)

## [참고]

- (1) 동수압의 산정은 구조물의 강성, 전체로서의 안정조건 등 구조물의 특성을 고려하여야 한다.
- (2) 액체가 구조물 내부의 공간을 점하고 있는 경우에도 이 액체에 의한 동적 압력을 고려한다.
- (3) 현재 이용되고 있는 동수압 산정방법은 정상진동에 대한 동수압을 기준으로 한 것이다. 다른 외력 등의 위상관계를 고려하여 특히 필요한 경우에는 불규칙 진동에 대한 동수압을 산정하여 설계에 이용한다.
- (4) 구조물의 양측에 동수압이 작용하는 경우에는 동수압 합력의 합계는 2배로 된다.
- (5) 정방형의 공간을 점하는 물이 이 공간의 한 변과 평행한 방향으로 진동하는 지진동을 받는 때에 그 진동방향에 수직한 벽면에 작용하는 동수압은 참고 식 (4.1-6)에 의해 계산한다.[참고 그림 (4.1-12) 참조]



참고 그림 (4.1-12) 장방형 중공부의 물에 의한 동수압

$$P_{dw} = \pm \frac{7}{8} c k \gamma_w \sqrt{H} y$$

참고 식 (4.1-6)

$P_{dw}$  : 동수압 ( $\text{kN/m}^2$ )

$k$  : 설계진도

$\gamma_w$  : 해수의 단위체적중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$y$  : 수면부터 동수압을 구하는 점까지의 깊이 (m)

$H$  : 수심 (m)

$L$  : 물이 접하는 공간의 진동방향의 길이 (m)

$c$  : 보정계수

$$\frac{L}{H} < 1.5 \text{ 일 때 } c = \frac{L}{1.5H}$$

$$\frac{L}{H} \geq 1.5 \text{ 일 때 } c = 1.0$$

이 때, 저면에 작용하는 동수압은 다음의 식을 이용하여 산정한다.

$$P_{dw} = \pm \frac{7}{8} c k \gamma_w H \frac{\cosh\left(\frac{\pi}{2} \frac{x}{H}\right) - \cosh\left(\frac{\pi}{2} \frac{L-x}{H}\right)}{1 - \cosh\left(\frac{\pi}{2} \frac{L}{H}\right)}$$

참고 식 (4.1-7)

$x$  : 진동방향에 수직한 벽면으로부터 동수압을 구하는 점까지의 거리(m)

#### (6) 동수압을 고려하지 않아도 되는 사례

- ① 구조물의 특성이 직접적으로 동수압을 고려하지 않고 설계해도 되는 경우
- ② 직접 동수압을 고려하지 않는 설계법을 이용하는 경우(충분한 실적을 필요로 한다)

구체적으로는 아래의 경우이다.

가. 케이슨 속채움의 간극수에 의한 동수압

나. 계선안벽 등의 뒤채움 및 매립토의 간극수에 의한 동수압

다. 케이슨의 측벽 및 저판의 배근설계 시 동수압



#### 4.1.7 하중조합 및 지진하중에 대한 기타사항

##### 4.1.7.1 하중조합

항만시설의 내진설계를 위한 설계지반운동의 재현주기가 50~1,000년 인 점을 고려하여 발생빈도가 적은 하중은 동시에 작용하지 않는 것으로 한다.

##### [해 설]

- (1) 지진하중은 다음 하중과 동시에 작용하지 않는 것으로 한다.
  - ① 선박 접안력
  - ② 폭풍 시 풍압
  - ③ 파력
  - ④ 충돌하중 및 충격하중
  - ⑤ 기타 발생빈도가 적어서 지진하중과 동시에 작용할 확률이 적은 하중
- (2) 지진 시 상재하중은 정상운영시의 상재하중을 운영실태 등을 고려하여 조정하여 사용한다.
- (3) 지진하중은 상재하중이 있는 경우와 없는 경우에 대하여 조합되어야 한다.
- (4) 안벽 등의 상부의 궤도하중은 지진 시 구조물에 미치는 영향을 감안하여 검토되어야 한다.

##### [참 고]

- (1) 지진 시 기능수행 수준 및 붕괴방지 수준에 따른 상재하중의 크기는 대상시설물의 운영 형태, 시설물의 중요도 등에 따라 결정될 요소이다. 기능수행 수준에서는 평상시 하중의 50%, 붕괴방지수준에서는 평상시 하중의 25%를 적용하는 것을 표준으로 한다.
- (2) 안벽 등의 상부에 놓이는 크레인과 같은 궤도하중은 안벽구조물의 강성에 비하여 크레인 각주의 강성이 적으므로 지진발생 시 미치는 영향이 적은 경우가 있다. 이는 크레인의 구조특성 상 장주기 거동으로 안벽구조물과 공진하지 않기 때문이다.

##### 4.1.7.2 허용응력의 할증 및 연성계수

허용응력 설계법을 적용하여 지진 시 항만시설의 설계를 하는 경우에는 KDS 17 30 00 추가고려사항의 내용을 고려하여 허용응력 할증 및 붕괴방지 수준에서의 연성계수의 적용이 가능하다.

##### [해 설]

- (1) 붕괴방지 수준에서의 설계지진력은 탄성해석에서 구한 지진력을 연성계수로 나눈 값으로 한다. 다만, 축방향력과 전단력은 연성계수로 나누지 않는다.
- (2) 말뚝이 단주인 경우나 단주와 같이 거동하는 경우는 적절히 수정된 연성계수를 사용한다.

## 내진

### [참 고]

(1) 도로교 표준시방서(1996. 건설교통부 제정)의 경우 응답수정계수(R)는 다음과 같다.

참고 표 (4.1-8) 응답수정계수, R

하부구조	R	연결부분	R
벽식교각	2	상부구조와 교대	0.8
철근콘크리트 말뚝 가구(Bent) 1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개 이상의 경사 말뚝을 사용한 경우	3 2	상부구조의 한 지간내의 신축이음	0.8
단주	3	기둥, 교각 또는 말뚝가구와 캡빔 (Cap beam) 또는 상부구조	1.0
강재 또는 합성강재와 콘크리트 말뚝 가구 1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	5 3	기둥 또는 교각과 기초	1.0
다주가구	5		

(2) Design criteria for earthquake hazard mitigation of navy piers and wharfs(1997. US Navy)에 의하면 붕괴방지 수준에서의 부재력 검토 시 적용되는 연성계수는 다음과 같다.

참고 표 (4.1-9) 붕괴방지 수준에서의 연성계수

항만구조물	말뚝의 종류	허용변위 연성계수				
		콘크리트 말뚝			강말뚝	
		지반에서의 말뚝모멘트	말뚝 두부	경사 말뚝 두부	수직말뚝만 사용시	수직말뚝과 경사말뚝 혼용시
돌출잔교 (Finger pier) 및 디태치드 피어 (Detached pier)	PS콘크리트	1.5	3.0	1.5	-	-
	강재 또는 강재와 콘크리트 합성	-	-	-	5.0	3.0
횡잔교 (Marginal wharf)	PS콘크리트	2.0	5.0	2.5	-	-
	강재 또는 강재와 콘크리트 합성	-	-	-	5.0	3.0

## (3) 연성계수

기능수행 수준의 지진은 대상구조물에 발생하는 변형을 탄성한도 내에서 거동하도록 규정하지만, 붕괴방지 수준의 지진은 구조물에서 발생하는 소성변형을 허용한다.

구조물이 비탄성 거동을 하게 되면 탄성거동을 하는 경우보다 부재력이 작아진다.

말뚝구조물의 경우 이를 고려하기 위하여 부재 설계 시 탄성해석으로 구한 탄성부재력을 연성계수를 사용하여 수정하게 된다. 즉 지진에 의한 탄성부재력을 연성계수로 나눈 값이 지진에 대한 설계부재력이 되며 다른 하중(사하중, 활하중 등)에 의한 부재력과 조합하여 부재의 안전성을 검토하면 된다.

연성계수는 두 가지 측면에서 고려할 수 있는데 하나는 말뚝의 최대곡률과 항복응력 상태의 곡률의 비이고, 또 다른 하나는 말뚝의 최대 변위와 항복응력상태의 변위의 비이다. 이를 각각 곡률연성계수와 변위연성계수로 정의할 수 있으며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

## ① 곡률연성계수

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_{max}}{\phi_y} \quad \text{참고 식 (4.1-8)}$$

여기서,  $\phi_{max}$ 는 최대소성변형에 대한 곡률이고  $\phi_y$ 는 항복상태의 곡률이다.

## ② 변위연성계수

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad \text{참고 식 (4.1-9)}$$

여기서,  $\Delta_{max}$ 는 소성변형과 탄성변형의 합을 의미하고  $\Delta_y$ 는 탄성변형을 의미한다. 해석적인 방법으로 연성계수를 구할 때  $\Delta_y$ 는 콘크리트 말뚝의 경우 철근이 최초로 항복하는 시점에서의 변위이고, 강말뚝인 경우는 부재가 최초로 항복을 하는 시점에서의 변위이다. 곡률연성계수와 변위연성계수 중 후자가 구조적인 접근에 더 용이하기 때문에 연성계수로는 변위연성계수를 사용하는 것이 일반적이다. 이 방법으로 각 구조물에 적합한 연성계수를 결정할 수 있으나 이 방법은 복잡한 절차를 필요로 하므로 참고 표 (4.1-9)와 같이 제시된 연성계수를 사용하여 설계에 적용할 수 있다.

특히, 지반 내에서 말뚝의 소성변형이 크게 일어나게 되면 보수가 어려워진다.

따라서 연성계수를 작게 하여 설계하여야 하고 말뚝두부에서의 소성변형은 보수가 용이하므로 큰 값의 연성계수를 사용할 수 있다. 돌출잔교 및 디태치드 피어의 연성계수가 횡잔교의 연성계수보다 작은 값을 가지는데 이는 돌출잔교 및 디태치드 피어의 말뚝 길이가 횡잔교의 말뚝길이보다 길기 때문이다. 연성계수는 말뚝의 길이에 반비례하기 때문에 말뚝의 길이가 길어지게 되면 연성계수의 값을 작게 제한하며, 경사 말뚝의 경우 연성을 감소시키는 경향이 있으므로 그 유무에 따라서 값이 달라질 수 있다. 따라서 경사말뚝을 설계할 때에는 말뚝두부의 연성이 충분히 확보되었는지부터 확인한다.

#### 4.1.8 지반의 액상화

항만시설이 위치한 연안지역의 지반은 지진 시 지반 액상화가 발생하여 시설물에 피해를 줄 수 있으므로 이에 대한 영향을 고려하여야 한다.

##### [해설]

이 기준에 기술되지 않은 사항에 대해서는 항만 및 어항시설의 내진설계 표준서(1999.3. 해양수산부)를 참고하여 내진성능을 검토하는 것이 바람직하다.

##### (1) 액상화의 예측 판정을 위한 액상화 평가

- ① 액상화의 예측 판정은 붕괴방지 수준에서 행한다.
- ② 설계지진 규모는 지진구역 I, II모두에 대하여 리히터 규모 6.5를 적용한다.
- ③ 액상화의 예측 판정은 항만시설물의 내진등급에 관계없이 예비평가, 간이평가(간편 예측법), 상세평가의 3단계로 구분하여 수행한다.
- ④ 액상화 예비평가는 수집한 관련 자료에 근거하여 지반의 액상화 가능성에 대해 개괄적으로 판단하고 액상화 가능성이 거의 없을 경우에는 액상화 평가를 생략하는 것으로 한다. 즉, 다음 경우에는 액상화에 대해 안전한 것으로 보고 액상화 평가를 생략한다.
  - 가. 지하수위 위의 지반
  - 나. 대상지반심도가 20m 이상인 지반(단, 20m 이상인 지반이더라도 액상화가 발생하는 경우에 구조물에 중대한 손상이 생긴다고 판단되거나, 분명히 상부 20m 토층과 연관이 있는 층이라고 판단되는 경우는 액상화 예측.판정을 시행한다.)
  - 다. 상대밀도가 80% 이상인 지반
  - 라. 주상도상의 표준관입저항치( $N$ )에 기초하여 산정된  $(N_1)_{60}$ 이 25 이상인 지반
  - 마. 주상도상의 콘관입저항치에 기초하여 산정된  $q_{c1}$ 이 13 MPa 이상인 지반
  - 바. 주상도상의 전단파속도에 기초하여 산정된  $V_{s1}$ 이 200 m/sec 이상인 지반
- ⑤ 지반조사 결과로부터 세립토 함유량(#200체 통과중량백분율)이 35% 이상인 경우, 원위치시험법에 따른 액상화 평가 생략조건은 다음과 같다.
  - 가.  $(N_1)_{60}$ 이 20 이상인 지반
  - 나.  $q_{c1}$ 이 7 MPa 이상인 지반
  - 다.  $V_{s1}$ 이 180 m/sec 이상인 지반

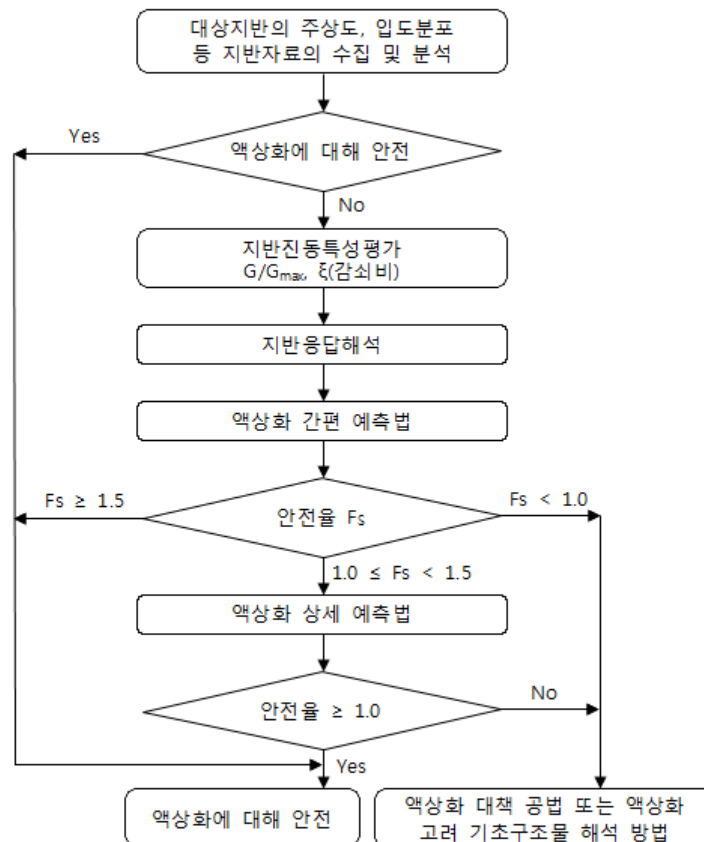
##### (2) 액상화 평가 시 고려사항

- ① 액상화 검토에 필요한 기본 자료는 다음과 같다.
  - 가. 지질 및 지형에 대한 자료
  - 나. 입도분포, 밀도, 지하수위
  - 다. 변형률 수준에 따른 각 지층의 전단탄성계수와 감쇠비
  - 라. 현장시험(예, 표준관입 시험값)이나 실내시험(진동전단시험)자료
  - 마. 설계 지진규모(최대 지반가속도와 지속시간)

- ② 대상지반의 주상도와 입도분포자료로부터 액상화 평가가 필요한 지역으로 판단되면 대상지반에 대해 지진응답해석을 수행한다. 지진응답해석은 변형률 수준별 전단탄성 계수( $G/G_{max}$ ) 및 감쇠비( $h$ )를 이용하며 장주기 및 단주기를 포함한 실지진 및 인공 지진 가속도 시간이력에 대하여 수행하여야 한다.
- ③ 지진응답해석을 통해서 대상지층의 최대 지반가속도를 산정하며 지진응답해석 시, 가속도 시간이력곡선이 재하되는 기반암 및 가속도 수준은 KDS 17 00 00을 따른다.
- ④ 액상화 상세평가가 필요하다고 판단되는 경우에는 반드시 실내 변형특성 평가시험 결과를 이용하여 지진응답해석을 수행하고, 액상화 전단저항능력비는 진동삼축시험 결과를 이용한다.
- ⑤ 기초지반위에 성토구조물이 놓인 경우, 성토부에 대한 액상화 평가는 반드시 실시한다.
- (3) 액상화 대책
- 액상화 예측판정결과 액상화 대책이 필요한 경우에는 구조물의 기능유지를 위한 적절한 대책공법을 수행한다. 이 때, 연약지반 처리가 선행되는 경우, 이를 고려하여 대책 공법을 선정한다.

## [참 고]

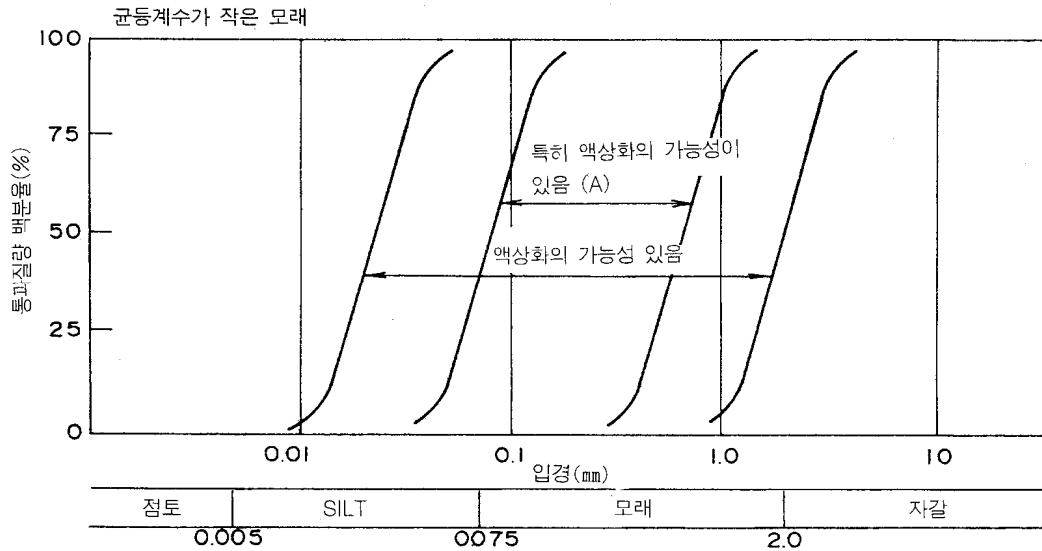
- (1) 액상화 예측판정은 다음 과정에 따라 실시한다.



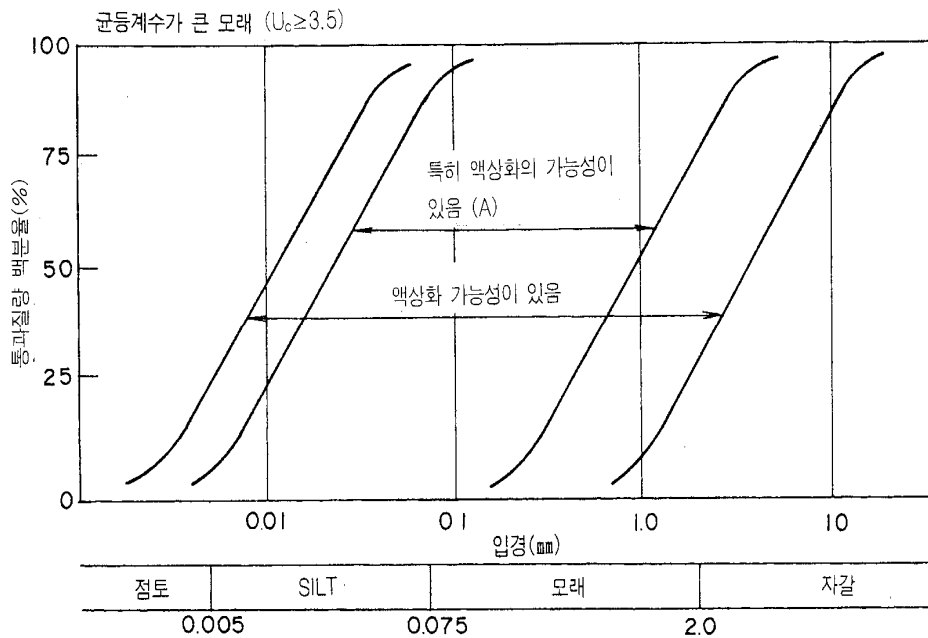
참고 그림 (4.1-13) 액상화 평가 흐름도 안전율 명시

(2) 입도에 의한 예측판정

참고 그림 (4.1-14)를 이용하여 입도에 의한 흙의 분류를 한다. 이때, 균등계수의 대소에 따라 그림 (a), (b)로 구분한다. 균등계수의 대소는  $C_u = D_{60}/D_{10} = 3.5$ 가 기준이 된다.



참고 그림 (4.1-14)(a) 균등계수가 3.5보다 작은 사질토( $C_u < 3.5$ )



참고 그림 (4.1-14)(b) 균등계수가 3.5보다 큰 사질토( $C_u \geq 3.5$ )

여기서,  $C_u$  : 균등계수,  $D_{60}$  : 60%직경,  $D_{10}$  : 10%직경(유효경)이다.

입도분포곡선이 액상화의 가능성이 있음의 범위 밖이면 액상화하지 않는 것으로 판정한다.

## (3) SPT-N 값을 이용한 액상화 간편예측법

액상화 지역의 지반거동을 해석적이나 물리적으로 모형화하기 어려우므로 Seed와 Idriss(1971)의 간편법을 국내 실정에 맞게 수정한 방법을 통해 액상화에 대한 안전율을 산정한다.

- ① 액상화에 대한 안전율은 지진 시 발생하는 지반 내 한 점의 진동전단응력비( $\tau_d/\sigma_v'$ )와 액상화 전단저항응력비( $\tau_l/\sigma_v'$ )를 비교하여 산정한다.
- ② 지진력을 표현한 진동전단응력비( $\tau_d/\sigma_v'$ )는 다음과 같이 산정한다.

$$\frac{\tau_d}{\sigma_v} = 0.65 \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \right) \quad \text{참고 식 (4.1-10)}$$

$a_{\max}$  : 액상화 평가 대상지반의 최대 지반가속도

$g$  : 중력가속도

$\sigma_v$  : 액상화 평가 깊이에서의 총 상재압

$\sigma_v'$  : 액상화 평가 깊이에서의 유효 상재압

수정 Seed와 Idriss의 방법은 지진응답해석을 수행하여 지반의 각층별 최대가속도 ( $a_{\max}$ )를 산정함으로써, 지반계수와 응력감소계수를 사용하지 않고 지반의 동적특성을 반영한 최대전단응력비를 필요한 깊이에서 직접 구하는 것이 특징이다. 단, 지진응답 해석 시 사용할 수 있는 지진파는 장주기 성분과 단주기 성분이 우세한 지진 모두를 고려할 수 있도록 선택하여야 한다.

- ③ 액상화 전단저항응력비( $\tau_l/\sigma_v'$ ) 산정 시에는 표준관입시험(SPT) 결과인 N값을 이용하는데 그 방법을 살펴보면 다음과 같다.
- 가. 상재하중에 대한 보정( $C_N$ )

$$C_N = (P_a/\sigma_{vo}')^{0.5} \quad (\text{Liao and Whitman, 1986}) \quad \text{참고 식 (4.1-11)}$$

$$C_N = \frac{2.2}{(1.2 + \sigma_{vo}'/P_a)} \quad (\text{Kayen et al., 1992}) \quad \text{참고 식 (4.1-12)}$$

여기서,  $P_a$  : 1 atm (100kPa)

$\sigma_{vo}'$  : 액상화 평가대상 깊이에서의 유효상재하중(kPa)

나. SPT 에너지비 60%에 대한 보정( $C_E$ )

$$C_E = \frac{ER}{60} \quad \text{참고 식 (4.1-13)}$$

여기서,  $ER$  = 시험 시 에너지 효율

다. 룯드의 길이에 대한 보정( $C_R$ )

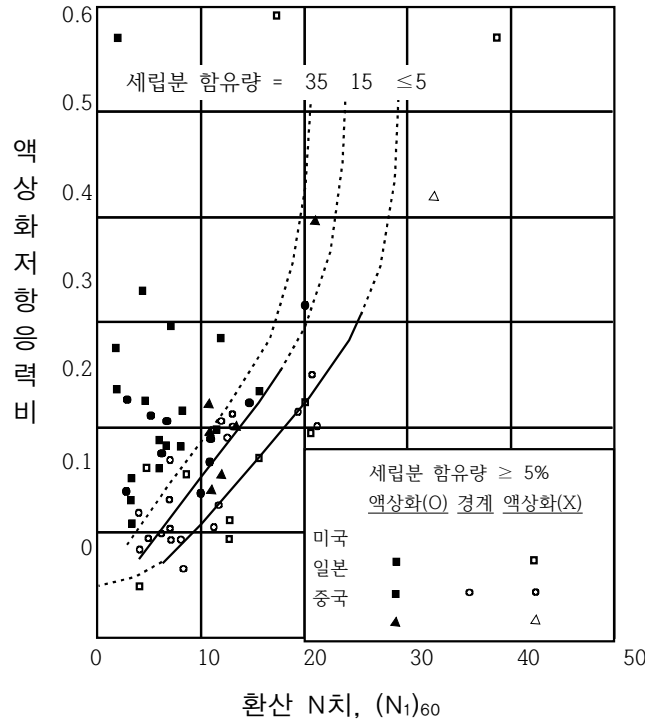
룯드의 길이가 3m 미만일 경우 0.75를 사용(Robertson and Wride, 1998)하며, 룯드의 길이가 3~10m의 경우 기존의 SPT 결과를 이용한 액상화 간이평가 방법 개발 시 이 깊이에 대한  $C_R$ 값을 고려하지 않았으므로 무시한다. 그 밖의 경우 참고 표 (4.1-10)을 참고한다.

라. 굴착홀 직경에 대한 보정( $C_B$ ) 및 샘플링 방법에 따른 보정( $C_S$ )

표준관입시험의  $N$ 치에 대한 보정계수는 참고 표 (4.1-10)을 참고할 수 있다.

마. 가.~라. 에서 구한 보정계수를 이용하여 환산  $N$ 치,  $(N_1)_{60}$ 을 구하는 식은 KCS 64 11 00 지반(2.4.1 표준관입시험)의 참고 식 (2.41)을 참고할 수 있다.

바. 산정된 환산  $N$ 값으로부터 지진규모 7.5기준의 참고 그림 (4.1-15)을 이용하여 액상화 전단저항응력비를 산정한다. 참고 그림 (4.1-15)에서 액상화 전단저항응력비 산정 시 세립질 함유량을 고려할 수 있다.



참고 그림 (4.1-15) 환산 SPT-N치에 기초한 액상화 전단저항응력비 산정곡선 (지진 규모 = 7.5)

사. 산정식을 이용한 액상화 전단저항응력비를 산정할 경우 다음 참고 식 (4.1-14)을 이용한다.

$$\left( \frac{\tau_{dl}}{\sigma'_{vc}} \right)_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10(N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad \text{참고 식 (4.1-14)}$$



세립분 함유량이 5% 이상인 경우, 참고 식 (4.1-15)을 이용하여 산정된  $(N_1)_{60CS}$  값을  $(N_1)_{60}$  부분에 대입하여 액상화 전단저항응력비를 산정한다. 이 때, 산정된 액상화 전단저항응력비는 지진규모 7.5에 대한 값이다.

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad \text{참고 식 (4.1-15)}$$

여기서, 세립질 함유량을 고려한  $\alpha$ 와  $\beta$ 값은 참고 표 (4.1-12)에 제시되어 있으며 FC는 200번째 통과율이다.

아. 지진의 규모  $M=7.5$ 에서 구한 값에 지진의 규모에 대한 보정값(MSF)을 곱하여  $M=6.5$ 로 환산한다. 지진 규모에 따라 제안된 보정값(MSF)은 참고 표 (4.1-11)에 나타내었다. 본 설계기준에서는 보정값(MSF)으로 1.5를 추천한다.

자. 지반의 액상화 전단저항응력비와 지진 시 발생하는 진동전단응력비의 비교를 통해 참고 식 (4.1-16)과 같이 안전율을 산정함으로써 액상화를 평가한다.

$$F = \frac{\tau_l / \sigma_v'}{\tau_d / \sigma_v'} \quad \text{참고 식 (4.1-16)}$$

여기서,  $\tau_d / \sigma_v'$ 는 진동전단응력비,  $\tau_l / \sigma_v'$ 는 액상화 전단저항응력비이고 F는 안전율로 간편법을 통한 액상화 평가 시 다음의 기준이 사용된다.

(간편법을 통한 액상화 평가 안전율)

$F \geq 1.5$  : 액상화에 대하여 안전

$1.0 \leq F < 1.5$  : 액상화 상세예측 수행

$F < 1.0$  : 액상화 대책공법을 수행 후 재평가

## 내진

참고 표 (4.1-10) 표준관입시험 N치에 대한 보정계수

계 수	이용 장치	항 목	수 정
상재압	-	$C_N$	$C_N = (P_a / \sigma'_{vo})^{0.5}$
상재압	-	$C_N$	$C_N \leq 1.7$
에너지 비	도넛 해머	$C_E$	0.5-1.0
에너지 비	안전 해머	$C_E$	0.7-1.2
에너지 비	자동 선단 도넛 해머	$C_E$	0.8-1.3
관입 직경	65-115mm	$C_B$	1.0
관입 직경	150mm	$C_B$	1.05
관입 직경	200mm	$C_B$	1.15
롯데 길이	<3m	$C_R$	0.75
롯데 길이	3-4m	$C_R$	0.8
롯데 길이	4-6m	$C_R$	0.85
롯데 길이	6-10m	$C_R$	0.95
롯데 길이	10-30m	$C_R$	1.0
샘플링 방법	표준 샘플러	$C_S$	1.0
샘플링 방법	선 없는 샘플러	$C_S$	1.1-1.3

참고 표 (4.1-11) 지진의 규모에 대한 보정을 위한 보정값(MSF)

Mw	규모에 대한 보정계수				
	Seed and Idriss (1982)	Idriss (1996)	Ambraseys (1988)	Youd and Nobel P<32%	Arango (1996)
5.5	1.43	2.20	2.86	3.42	3.00
6.0	1.32	1.76	2.20	2.35	2.00
6.5	1.19	1.44	1.69	1.66	1.60
7.0	1.08	1.19	1.30	1.20	1.25
7.5	1.00	1.00	1.00	-	1.00
8.0	0.94	0.84	0.67	-	0.75
8.5	0.89	0.72	0.44	-	

참고 표 (4.1-12) 세립질 함유량을 고려한 보정계수 (Youd et al., 2001)

구분	$FC \leq 5\%$	$5\% \leq FC \leq 35\%$	$FC \geq 35\%$
$\alpha$	0	$\exp[1.76 - (190/FC^2)]$	5
$\beta$	1	$[0.99 + (FC^{1.5}/1,000)]$	1.2

(4) CPT- $q_c$  값을 이용한 액상화 간편예측법

액상화 평가 이전에 시료채취가 이루어져, 평가하고자 하는 흙에 대한 입도분포 및 세립분 함량에 대한 자료를 이미 가지고 있는 경우에 스타크와 올슨(Stark and Olson, 1995)의 방법을 이용하여 다음과 같은 순서로 액상화 저항전단응력비(CRR)를 산정한다.

- ① 유효상재압에 대한 보정을 위해 유효상재압 보정계수를 참고 식 (4.1-17)을 이용하여 산정한다.

$$C_q = \frac{1.8}{0.8 + \sigma'_0 / \sigma'_{ref}} \quad \text{참고 식 (4.1-17)}$$

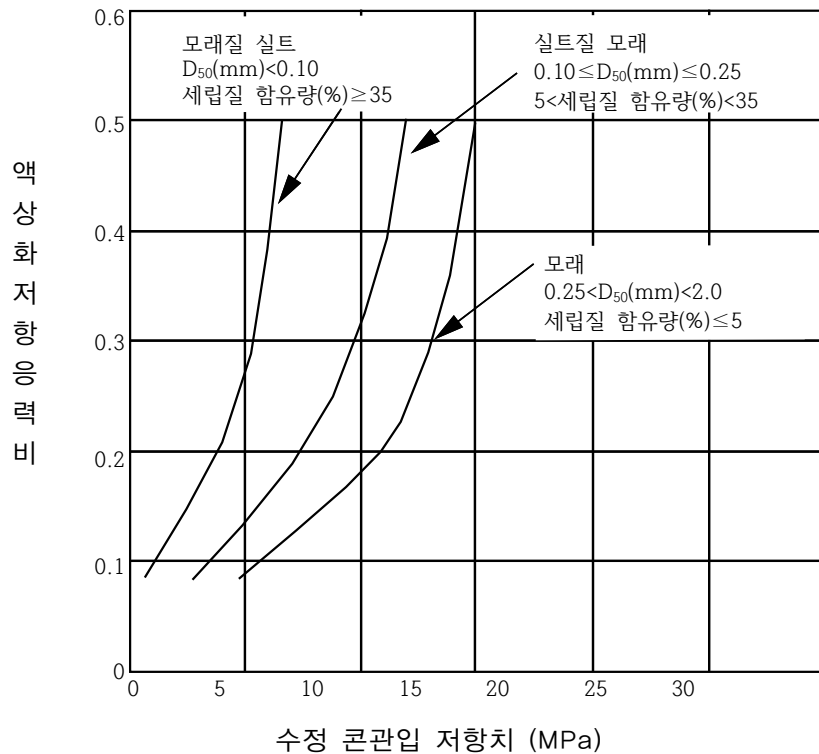
여기서,  $\sigma'_0$  : 액상화 평가깊이에서의 총 상재압

$\sigma'_{ref}$  : 대기압(100kPa)

- ② 보정계수를 사용하여 콘의 선단지지력  $q_c$  값을 보정한  $q_{c1}$  값을 다음과 같이 산정한다.

$$q_{c1} = C_q \cdot q_c \quad \text{참고 식 (4.1-18)}$$

- ③ 주어져 있는 세립분 함유량 및 입도 분포 특성과 위에서 산정된  $q_{c1}$  값을 스타크와 올슨(Stark and Olson)의 도표에 적용하여  $M=7.5$ 에 대한 액상화 전단저항응력비를 산정한다. 스타크와 올슨(Stark and Olson)의 도표는 참고 그림 (4.1-16)과 같다.
- ④ 지진의 규모  $M=7.5$ 에서 구한 값에 지진의 규모에 대한 보정값(MSF)를 곱하여  $M=6.5$ 로 환산한다. 이때 환산은 참고 식 (4.1-16)과 참고 표 (4.1-11)을 이용한다.
- ⑤ 지반의 액상화 저항전단응력비가 산출되면 참고 식 (4.1-10)을 이용하여 지진 시 발생하는 전단응력비를 산정하고, 안전율을 참고 식 (4.1-16)로부터 구하고 액상화를 평가한다.



참고 그림 (4.1-16) 수정 콘관입저항치에 기초한 액상화 전단저항응력비 산정곡선  
(Stark and Olson 방법, M=7.5)

(5) 전단파속도를 이용한 액상화 간편예측법

지반의 전단파 속도를 이용하여 액상화 전단저항응력비 산정은 다음과 같이 수행할 수 있다.

- ① 유효상재압에 대해 보정된  $V_s$  값인  $V_{s1}$  을 다음과 같이 계산한다.

$$V_{s1} = V_s \left( \frac{P_a}{\sigma_0'} \right)^{0.25} \quad \text{참고 식 (4.1-19)}$$

여기서,  $\sigma_0'$  : 액상화 평가대상 깊이에서의 총 유효상재압

$P_a$  : 대기압(100 kPa)

- ② 주어진 세립분 함량에 따라  $V_{s1C}$  값을 산정한다.

세립분 함량 < 5% 인 경우,  $V_{s1C} = 215$  m/s

세립분 함량 ≥ 35% 인 경우,  $V_{s1C} = 200$  m/s

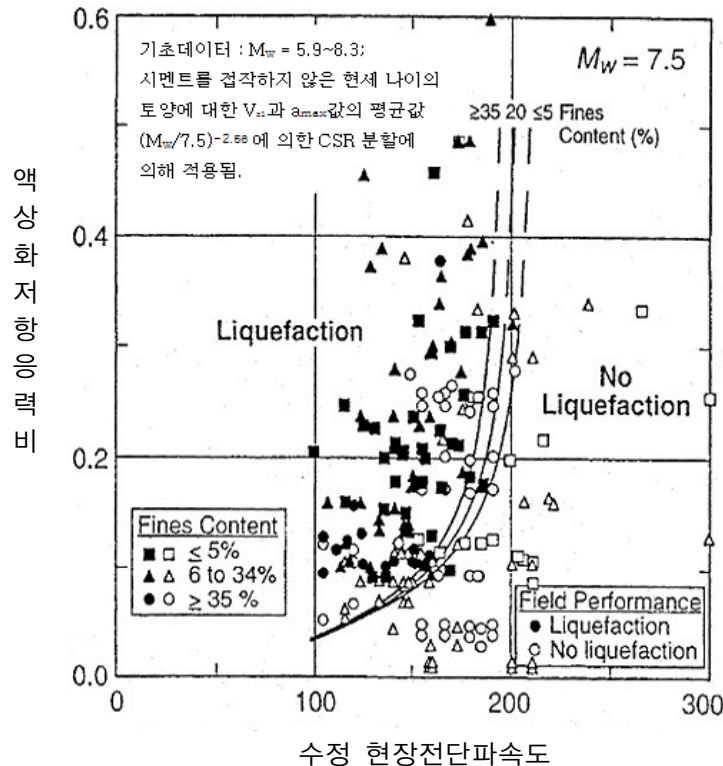
이 사이구간에서는 선형 보간을 실시한다.

- ③ 다음의 식에  $V_{s1}$  과  $V_{s1C}$  값을 대입하여  $M = 7.5$ 에 대한 액상화 전단저항응력비를 산정한다.

$$CRR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_0} = a \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + b \left[ \frac{1}{V_{s1C} - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1C}} \right] \quad \text{참고 식 (4.1-20)}$$

여기서, a와 b는 곡선적합계수(Curve fitting parameter)이며 a=0.022, b=2.8을 사용한다.

- ④ 참고 식 (4.1-19)에 기초하여 보정한 수정 현장전단파속도와 참고 그림 (4.1-17)을 이용하여 M=7.5에 대한 액상화 전단저항능력비를 산정할 수 있다.
- ⑤ 지진의 규모 M=7.5에서 구한 값에 지진의 규모에 대한 보정값(MSF)을 곱하여 M=6.5로 환산한다. 이때, 참고 표 (4.1-11)을 이용한다.
- ⑥ 지반의 액상화 전단저항능력비가 산출되면 참고 식 (4.1-10)을 이용하여 지진 시 발생하는 전단응력비를 산정하고, 안전율을 참고 식 (4.1-16)로부터 구하고 액상화를 평가한다.

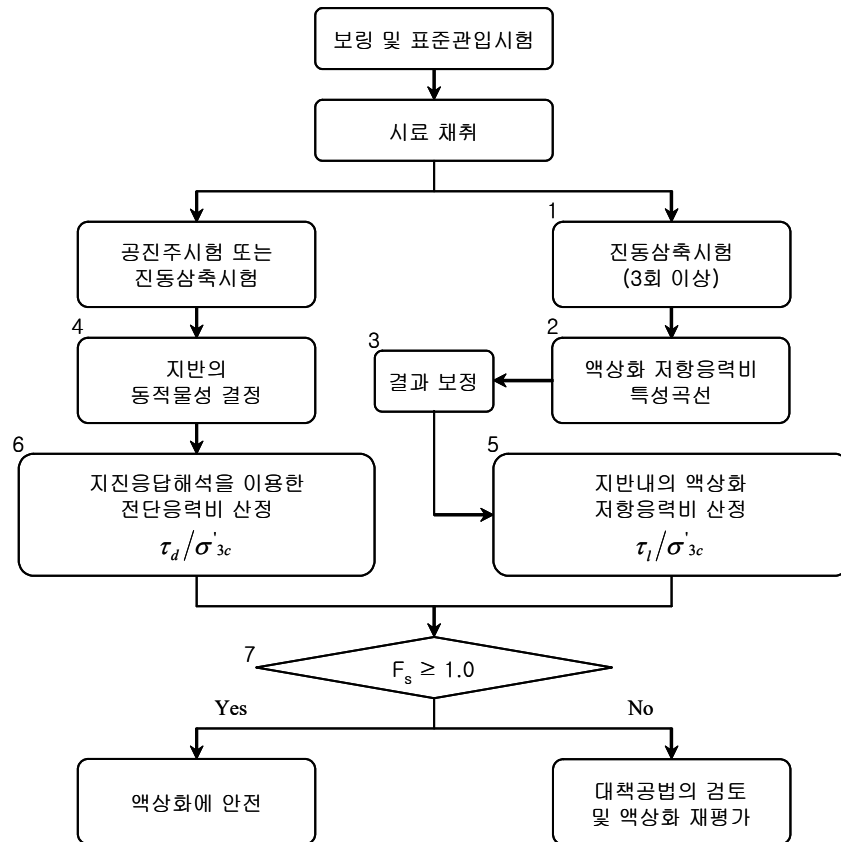


참고 그림 (4.1-17) 수정 현장전단파속도에 기초한 액상화 전단저항능력비 산정곡선 (M=7.5)

- (6) 액상화 간편법을 통한 액상화 평가 결과 안전율이 1.5 이상인 지반은 액상화에 대해 안전하다고 판단하며, 안전율이 1.0 이상 1.5 미만인 경우에는 상세평가를 후속하여 수행하고, 안전율이 1 미만인 경우에는 액상화 대책공법을 수행하고 대책공법시행 후 액상화 발생 가능성 여부를 재평가하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 안전율이 1 미만인 경우, 평가대상지반의 세립분 함유정도나 액상화 발생지층이 전체 대상지역의 일부에 국한되는 등의 경우에는 액상화 상세예측을 수행할 수 있다.

(7) 액상화 상세예측법

대상지반의 액상화 간편예측법에 의한 안전율이 1.0 이상 1.5 미만인 경우에는 참고 그림 (4.1-18)과 같이 지진응답해석과 실내 진동삼축시험을 이용하여 액상화 상세평가를 수행한다.



참고 그림 (4.1-18) 상세예측법에 따른 액상화 평가방법의 순서도

① 액상화 상세예측법은 참고 식 (4.1-10)을 이용하여 산정한 진동전단응력비와 진동삼축시험을 이용하여 산정한 액상화 전단저항응력비를 비교한 액상화 평가안전율을 그 기준을 삼는다. 특히 지진응답해석 시에는 공진주시험 또는 진동삼축시험 등의 실내시험을 이용하여 동적물성을 산정하고 이를 이용하도록 한다.

② 진동삼축시험을 수행하여 다음과 같이 전단저항응력비를 구한다.

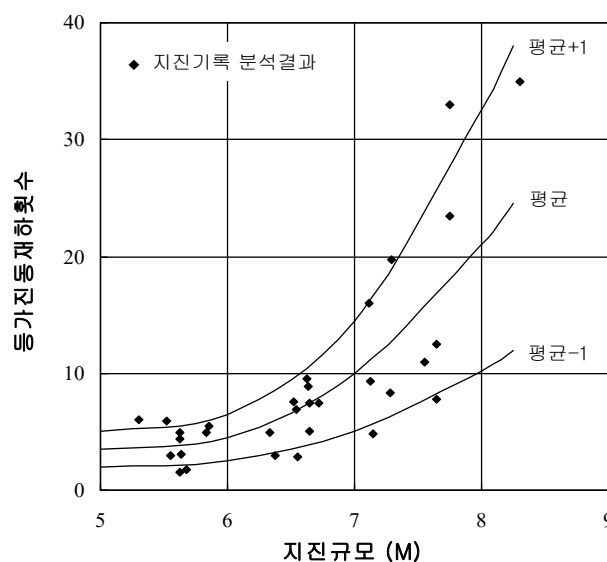
가. 진동삼축시험 과정은 크게 네 단계로 구분한다. 첫 번째 단계는 현장상태를 그대로 재현할 수 있는 공시체를 제작하는 과정이다. 이러한 현장지반의 동적물성은 상대 밀도, 응력상태, 결합구조, 변형률 이력 등의 여러 가지 여건에 의해 영향을 받는다. 그러나 액상화 평가를 위한 시험의 경우, 비교란 사질토의 채취가 어렵고 경제적 부담이 요구된다. 시료가 교란된 경우, 상대밀도나 응력상태는 실험실에서 재현이 가능하지만 그 밖의 여러 가지 요소들은 재현이 불가능하게 된다.

따라서 실험으로부터 정확한 동적물성을 얻기 위해서는 시료를 대상지반으로부터 채취할 때 교란이 되지 않게 채취하는 것이 바람직하다. 그러나 비교란 시료 채취가

어려운 경우에는 원하는 상대밀도와 입도분포 그리고 No.200체 통과 함유량에 맞춰서 재성형된 시료를 사용할 수 있다. 두 번째 단계는 시료의 포화단계로서 시료의 포화도는 간극수압계수, B값을 확인하여 0.97 이상의 값을 가질 때 완전 포화된 것으로 간주하도록 한다. 세 번째 단계로 완전 포화된 시료에 등방 압밀 과정을 통해 초기 유효구속압을 설정하여 주며, 체적 변형률이 일정해지는 시기까지 압밀 과정을 수행한다. 네 번째 단계는 완전 포화된 시료에 축응력을 반복적으로 가하는 단계이다. 가해진 축응력은 시료에 전단력을 가하게 되며, 이와 같은 원리로 지진력을 재현하게 된다. 이와 같은 시험과정을 통해 시료의 시간에 따른 간극수압, 변위, 응력 및 응력-변형률관계 곡선 등에 대한 자료를 얻도록 한다. 하중비를 변화시키면서 시험을 반복하며 세 가지 수준 이상의 하중비를 변화시키며, 시험을 수행하여 재하 횟수-하중비 관계곡선을 구해야 대상 지반의 지진에 대한 전단저항강도비를 획득할 수 있다.

- 나. 액상화 전단저항응력비를 계산하기 위해 진동삼축시험 결과로부터 진동재하횟수에 따른 액상화 전단저항응력비 특성곡선을 산정한다. 진동삼축시험 결과를 이용하여 액상화 상세평가를 할 때에는 지진규모와 등가진동재하횟수와 관계의 관계를 산정한다. 이와 관련하여 시드와 아드리스(Seed and Idriss)는 지진규모와 등가진동재하횟수와 관계를 참고 그림 (4.1-19)과 참고 표 (4.1-13)에 각각 나타내었다. 참고 표 (4.1-13)에 나타난  $0.65\tau_{max}$  는 불규칙한 지진하중을 실내시험에 사용하는 정현하중으로 변환하는 방법으로 여기서  $\tau_{max}$  는 실제 지진의 최대전단응력을 나타낸다(Seed et al, 1975).

진동삼축시험에서는 일반적으로 정현파의 진동하중을 주기적으로 재하하며 응력 수준에 따라 액상화 발생시기가 변화한다. 따라서 지진규모를 고려한 액상화 저항응력비는 적정수준의 전단응력비(축차응력의 0.5/초기유효구속압)를 포함한 3회 이상의 진동삼축시험을 통해 산정하도록 한다[참고 그림 (4.1-20)].



참고 그림 (4.1-19) 지진규모와 가진동재하횟수 (Seed et al, 1975)

참고 표 (4.1-13) 지진규모별 등가진동재하횟수 (Seed et al, 1975)

지진규모	$0.65\tau_{\max}$ 에 대한 등가진동재하횟수
8.5	26
7.5	15
6.75	10
6.0	5-6
5.25	2-3

다. 진동삼축시험에서는 지진 및 현장상태의 표현을 위해 몇 가지 사항을 가정하고 시험을 수행하므로 특성곡선에 이용되는 진동삼축시험 결과에 지진방향성과 현장 응력 상태를 고려하기 위한 보정작업이 필요하다. 보정방법의 내용을 요약하면 참고 표 (4.1-14)와 같다. 참고 표 (4.1-14)에 나타난 것과 같이 보정계수는 제안한 사람에 따라 식의 차이는 있지만, 궁극적으로 구하는 액상화 전단저항응력비 산정을 위한 보정내용은 유사하므로 이 기준에서는 참고 표 (4.1-14)에 나타난 바와 같이 국내 액상화 평가의 경우, 정현하중을 이용한 진동삼축시험이 일반적인 점을 고려하여 현장응력상태에 대한 보정과 주응력방향의 변화에 대한 보정만을 적용한다. 설계자는 현장여건에 맞는 보정계수를 산정하여 전단저항응력비 산출 후 참고 식 (4.1-10)과 비교하여야 한다.

참고 표 (4.1-14) 진동삼축시험결과 보정 (PHRI, 1997)

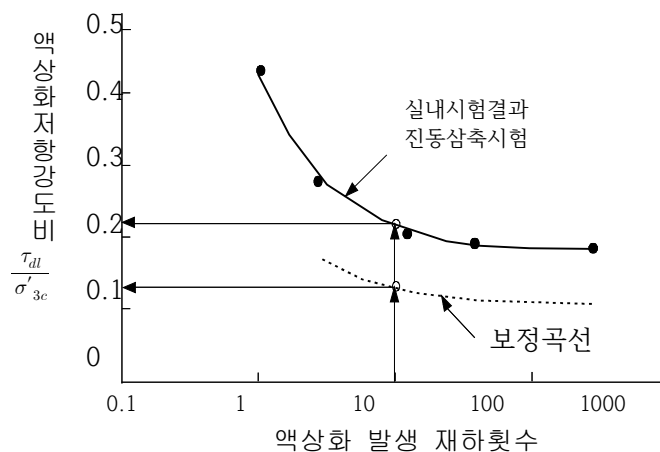
구분	Seed와 Idriss	Cumulative damage theory	일본 (Ishihara & Iwasaki)
보정 계수	보정계수 = $C_r/0.65$ ( $C_r:0.57(K_0=0.4) \sim 0.9$ or $1.0(K_0=1.0)$ )	보정계수 = $0.9 \times (1+2K_0)/3$	보정계수 = $0.9/C_k \times (1+2K_0)/3$ 1. Ishihara $C_k = 0.55$ (충격형 : 최대전단응력의 60% 수준의 파가 3회 미만) or 0.7 (진동형 : 3회 이상) 2. Iwasaki $C_k = 0.63$
내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현장응력상태에 따른 보정계수 : <math>(1+2K_0)/3</math></li> <li>- 지진파형에 따른 보정계수 : <math>C_k</math></li> <li>- 주응력방향의 변화에 따른 보정 : 0.9</li> </ul>		

※ Jacky 식 :  $K_0 = 1 - \sin \phi$  ( $\phi$ : 내부마찰각, 사질토의 내부마찰각은  $25^\circ \sim 35^\circ$ )

라. 액상화 상세평가 시에는 간이평가와는 달리 신뢰성 있는 정규화 전단탄성계수 (G/Gmax)와 감쇠비(Damping)값들을 사용한다. 즉, 문헌에 의한 경험식을 이용하는 간이평가와는 달리 공진주시험 등의 실내시험에 의해 지반의 동적 물성을 결정한다.



마. 액상화 전단저항능력비는 액상화 저항능력비 특성곡선에서 규정된 지진규모에 해당하는 진동재하횟수의 값으로부터 산정한다. 액상화 전단저항능력비를 산정하는 내용을 도시하면 참고 그림 (4.1-20)과 같다. 참고 그림 (4.1-20)은 정현하중이 재하된 진동삼축시험 결과를 바탕으로 액상화 평가를 위한 보정을 수행한 예이다. 참고 그림 (4.1-20)에서 5회의 진동삼축시험이 수행된 결과는 실선으로 표현되었으며 점선은 시험결과에 대해 보정계수를 적용하여 보정한 내용을 나타내고 있다. 최종 액상화 전단저항강도비는 국내 액상화 평가시 기준이 되는 지진규모 6.5에 해당하는 액상화 발생 재하횟수를 이용하여 산정하며 액상화 발생재하횟수는 10회를 통상적으로 사용한다.



참고 그림 (4.1-20) 진동삼축시험에 기초한 액상화 평가 예 (PHRI, 1997)

바. 상세평가 시에도 간이평가와 마찬가지로 지진력에 의한 전단응력비를 산정하는데에는 지진응답해석을 이용한 방법을 사용한다. 이 때, 시험에 의해 결정된 동적 물성을 사용한다.

사. 상세예측법 평가 시 기준 안전율은 1.0이다. 이 때, 안전율이 1.0 이상인 경우, 액상화에 대해 안전한 것으로 판정하며 1.0 미만인 경우, 대책공법을 수행하거나 감소된 지반 물성 상태하에서의 지반-구조물 상호작용에 따른 거동분석을 실시하여 상부구조물이 액상화 지반상에서 안전성을 검토하여야 한다.

또한, 대책공법이 결정되면 공법시행 후의 지반을 대상으로 액상화 평가를 재수행하여야 한다.

(8) 액상화 대책공법을 설계할 경우는 다음 사항을 결정할 필요가 있다.

- ① 대책공법
- ② 대책공법의 시공범위(평면 및 단면)
- ③ 대책공법의 구체적 설계

(9) 액상화 대책공법으로는 다음과 같은 방법이 있다.

- ① 과잉간극수압의 발생을 방지하는 방법

## 내진

가. 다짐

나. 고결

다. 치환

② 과잉간극수압을 소산하는 방법

가. 배수공법(Drain재 설치)

나. 치환

③ ① 및 ②방법을 병행 시행하는 방법

(10) 구조물의 기능을 유지하기 위하여 필요한 액상화 대책용 지반개량 범위의 결정에 있어서 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다.

① 중력식 안벽

가. 지지력에 대한 안정

나. 배후의 토압에 의한 안정

다. 에이프런의 침하

② 널말뚝식 안벽

가. 널말뚝 본체의 안정

나. 버팀공의 안정

다. 에이프런의 침하

③ 잔교식 안벽 (직항식)

가. 잔교본체의 안정

나. 토류부의 안정

다. 에이프런의 침하

(11) (10)에 나타난 안정 등의 검토 외에 원호활동에 대한 안정검토 시, 이를 확보하기 위한 개량범위를 검토해야 하는 경우, 원호활동해석은 KDS 64 11 00 지반(4.7 사면의 안정)에 따른다.

## 4.2 항만시설

### 4.2.1 항만시설의 내진설계일반

- (1) 일반적으로 항만시설에 있어서 흙구조물은 방파제, 방조제 및 호안 등이 있으며 구조물이 놓인 사면은 우선 정적하중 하에서 설계기준을 만족하여야 한다.
- (2) 지진에 의한 사면안정 해석 시 기준은 전단파괴에 대한 안전율이 허용안전율보다 커야 하며 과도한 변형이 발생하지 않아야 하고 사면 제체 내에 액상화가 발생하지 않아야 한다.
- (3) 지진 시 안벽은 미끄러짐(활동) 파괴, 지지력 파괴, 전도 파괴, 전체 활동파괴 등에 대하여 안전해야 하며 앵커시스템은 지진 시 유발되는 토압 및 지반변형에 견딜 수 있도록 설계되어야 한다.
- (4) 지진 시 벽체 구조물 배후 지반에 설치된 시설물에는 과도한 변형이 발생하지 않아야 하고 벽체의 구조적 요소들의 파괴도 일어나지 않아야 한다.

#### [해 설]

- (1) 지진하중에 대한 사면안정해석은 등가정적하중법, 동적해석법, 액상화에 따른 유동파괴 해석방법 등을 사용한다.
- (2) 벽체구조물의 설계를 위한 방법으로는 등가정적하중법, 벽체의 변위를 고려한 해석방법, 동적해석방법 등이 있다.
- (3) 지진 시 벽체의 이동가능성에 따라 항복벽체와 비항복벽체로 나눈다.
- (4) 동적 토압의 크기와 합력의 작용점은 벽체의 항복형태에 영향을 받으며 정적 토압과 분리하여 고려한다.
- (5) 물과 접해있는 벽체에는 정수압, 지진발생에 의한 동수압을 고려하여야 하며 뒤채움재에 과잉간극수압이 발생할 수 있으므로 설계 시 이를 고려하여야 한다.
- (6) 지진 시 독립기초는 지지력, 전도, 활동에 대하여 안전하여야 하며 기초의 변위가 허용 변위량 이내여야 한다. 이때 기초지반의 액상화, 지반강도 및 기초강성의 변화 등을 반영하여야 한다.
- (7) 말뚝기초의 내진설계 시에는 주변지반의 액상화 가능성, 말뚝머리의 횡방향 변위 및 침하, 말뚝재료의 파괴 가능성 등을 검토하여야 한다.

### 4.2.2 방파제

지진 시의 방파제의 안정성 검토는 방파제의 구조특성과 지진해일의 영향 여부를 고려하여 수행여부를 결정한다.

#### [해설]

- (1) 제체의 단면이 활동안전성에 의하여 결정되는 방파제의 경우, 지진에 의하여 안정성이 저하되는 일은 거의 없으므로 지진 시의 안정성 검토는 생략할 수 있다.
  - (2) 설치수심이 깊고 또 설계파고가 적어 세장(Slender) 한 구조가 되는 경우에는 지진 시의 동수압에 의한 전도에 대하여 안정계산을 할 필요가 있다.
- 또한, 지진해일(쓰나미) 방파제의 경우 지진에 의하여 제체가 변형한 후에 지진해일이 내습할 가능성이 높으므로 지진 시의 안정성이 중요할 경우가 있다. 따라서 지진 시의 동수압에 의한 활동 및 전도에 대한 안정 계산 또는 동적해석의 수행을 통한 안정성 검토가 필요할 수 있다. 이 때, 지진 시의 동수압의 결정은 KDS 64 17 00 내진 (4.1.6 지진 시 동수압)에 따른다.

### 4.2.3 호안

지진 시의 호안의 안정성 검토는 주변 환경 및 시설물의 영향을 고려해야 하며 적용 공법의 특성도 반영되어야 한다.

#### [해설]

호안의 설계조건으로는 일반적으로 다음사항을 고려한다.

- (1) 파랑, 조위, 조류, 수심
- (2) 기초지반의 토질
- (3) 지진 및 지진력
- (4) 지진시의 동수압
- (5) 매립토 등의 성상
- (6) 매립지 및 호안의 이용조건
- (7) 월파의 허용도
- (8) 주변수역의 상황
- (9) 시공법(특히 체절공법)
- (10) 매립공법

#### 4.2.4 중력식 안벽

- (1) 지진 시 중력식 안벽은 미끄러짐(활동) 파괴, 지지력 파괴, 전도 파괴, 전체 활동 파괴 등에 대하여 안전해야 한다.
- (2) 내진 2등급 중력식벽체에 대한 설계는 붕괴방지수준에서 등가정적해석법을 사용한다.

#### [해설]

- (1) 중력식 안벽 벽체구조물의 설계를 위한 방법으로는 등가정적 해석법, 변위를 고려한 해석법, 동적 해석법 등이 있으며 해석절차는 이 기준의 4.2.4에 따른다.
- (2) 일반적으로 구조물의 중요도에 따라 내진등급을 부여하고 내진등급에 따라 설계방법을 달리한다. 항만구조물의 등급은 이 기준의 1.7 설계원칙에 따르며 해설 표 (4.2-1)에 구조물의 내진등급별 설계방법 및 설계기준을 요약하였다.

해설 표 (4.2-1) 중력식 벽체구조물의 내진등급별 설계방법 및 설계기준

내진등급	내진성능수준	해석방법	설계기준
1등급	붕괴방지수준	등가정적해석법	안전율
		동적해석법	허용 변위
	기능수행수준	동적해석법	허용변위
2등급	붕괴방지수준	등가정적해석법	안전율
		변위를 고려한 해석법	허용변위안전율

#### (3) 하중 산정

- ① 등가정적해석법으로 벽체구조물의 안정을 평가하기 위하여 정적하중, 지진 시 토압 증가, 지진 시 수압증가, 관성력 등을 결정하여야 하며, 이들 하중이 동일한 방향으로 (In phase) 작용된다고 가정한다.

- ② 지진 시 중력식 안벽 벽체에 작용하는 추가 외력과 하중은 4.1.4, 4.1.5, 4.1.6에 따른다.

#### (4) 설계지진 가속도의 결정

- ① 등가정적해석법 설계 시 설계지진가속도는 내진 2등급 구조물의 붕괴방지수준으로 결정하며, 4.1.1을 따른다.
- ② 등가정적해석법을 이용한 중력식 안벽의 안정계산 시 연직지진계수( $k_v$ )는 고려하지 않는다.
- ③ 등가정적해석법을 이용한 중력식 안벽의 안정계산 시 수평지진계수( $k_h$ )는 해설 식 (4.2-1)을 이용하여 계산한다.

- ④ 항만 및 어항시설의 내진설계 표준서(1999.3. 해양수산부) 제정 이후 내진설계가 적용된 중력식 안벽에 대한 내진성능 평가 시 수평지진계수( $k_h$ )는 해설 식 (4.2-1)을 이용할 것을 권장한다.

$$k_h = \frac{1}{2} \frac{a_{max}}{g} \quad \text{해설 식 (4.2-1)}$$

가. 벽체의 높이가 10 m보다 작은 경우 ( $a_{max}$ )는 지반 조사자료를 바탕으로 지진응답 해석에 의한 중력식 안벽 기초지반에서의 최대지반가속도로 결정한다.

나. 벽체의 높이가 10 m보다 큰 경우 ( $a_{max}$ )는 중력식 안벽 뒷채움 부를 포함한 지진 응답해석에 의한 뒷채움 지표면에서의 최대지반가속도로 결정한다.

#### (5) 합력의 작용점

- ① 정적토압( $k_h$ ,  $k_v = 0$ )에 의한 힘의 작용점은, 뒷채움부의 흙이 건조 사질토일 경우 벽체구조물의 상부에서부터 벽체 높이의 2/3아래 깊이에는 있다. 지하수위가 있는 경우 수중단위중량과 지하수위를 고려하여 힘의 합력의 작용점을 계산해야 한다.
- ② 동적토압에 의한 힘의 작용점은, 벽체구조물과 뒷채움부의 상대강성, 상대질량, 상대변위(이동)에 대한 상세 연구를 바탕으로 결정할 수 있으나, 이에 대한 연구 결과가 없을 경우에는 벽체의 중간 높이에 작용하는 것으로 가정할 수 있다.
- ③ 정수압에 의한 합력의 작용점은 지하수위 위치에서부터 포화층 높이의 2/3 아래 깊이에는 있다.
- ④ 동수압에 의한 합력의 작용점은 지하수위 위치에서부터 포화층 높이의 60% 아래 깊이에는 있다.
- ⑤ 관성력은 케이슨과 케이슨 채움재의 중량 중심에 작용한다.

#### (6) 액상화 평가

- ① 외국의 항만구조물 지진피해사례를 보면, 피해상황의 주원인이 지반의 액상화임을 알 수 있다. 따라서 우선적으로 액상화 평가수행을 통해 기초지반과 배면지반의 안정성을 확보해야 한다. 상세내용은 4.1.8을 따른다.

### [참 고]

- (1) 최근 국내 연구진은 국내외 항만구조물 내진설계기준을 검토한 결과 중력식 안벽의 등가정적해석에 이용되는 수평지진계수 산정 시 주요 고려 요소를 도출하였다(이문교 등, 2017).

#### ① 검토 설계기준 목록

- 가. 항만 및 어항시설의 내진설계 표준서(1999.3. 해양수산부)
- 나. 기존 시설물(항만) 내진성능 평가요령(안)(2011.12. 국토해양부)
- 다. Seismic design guidelines for port structures(2001. PIANC)
- 라. Eurocode 8 part 5(2004. CEN)
- 마. Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan(2009. OCIDI)

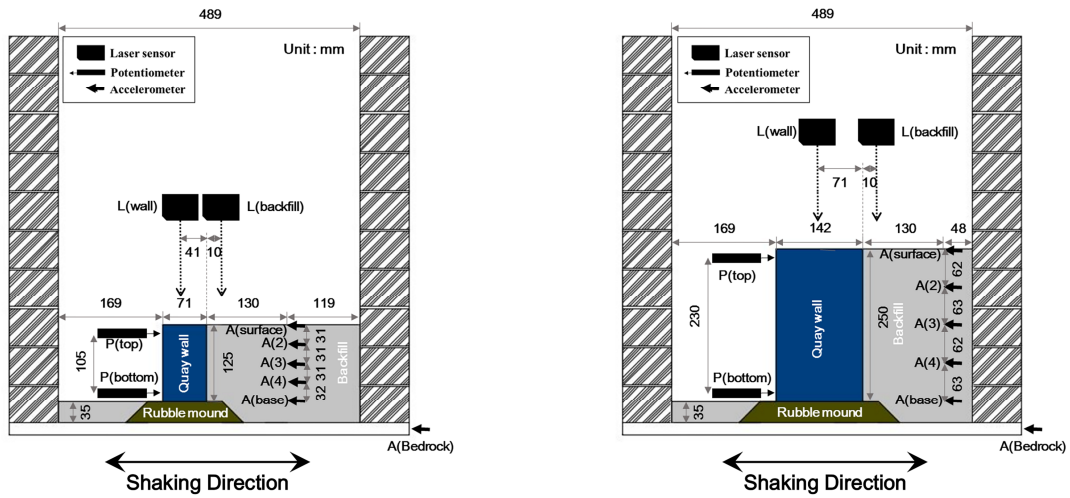
- ② 수평지진계수 산정 시 주요 고려요소  
 가. 최대지반가속도에 보정계수 적용  
 나. 안벽 높이의 영향 고려  
 다. 허용변위 고려
- ③ 참고 표 (4.2-1)에 검토 설계기준 별 주요 고려요소 적용 현황을 정리하였다.
- ④ 항만 및 어항시설의 내진설계 표준서(1999.3. 해양수산부)에 제시된 해설 식 (4.2-1)은 주요 고려요소를 모두 적용하고 있음을 확인하였다.

참고 표 (4.2-1) 국내외 설계기준 별 주요 고려요소 적용 현황

설계기준	보정계수 적용	안벽높이 고려	허용변위 고려
항만 및 어항시설의 내진설계 표준서	○	○	○
기존 시설물(항만) 내진성능 평가요령(안)	○	N/A	N/A
Seismic design guidelines for port structures	○	N/A	N/A
Eurocode 8 part 5	○	○	○
Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan	○	○	○

(2) 최근 국내 연구진은 동적원심모형실험을 이용하여 중력식 안벽의 등가정적해석에 이용되는 수평지진계수 산정방법을 검증하였다(이문교 등, 2017).

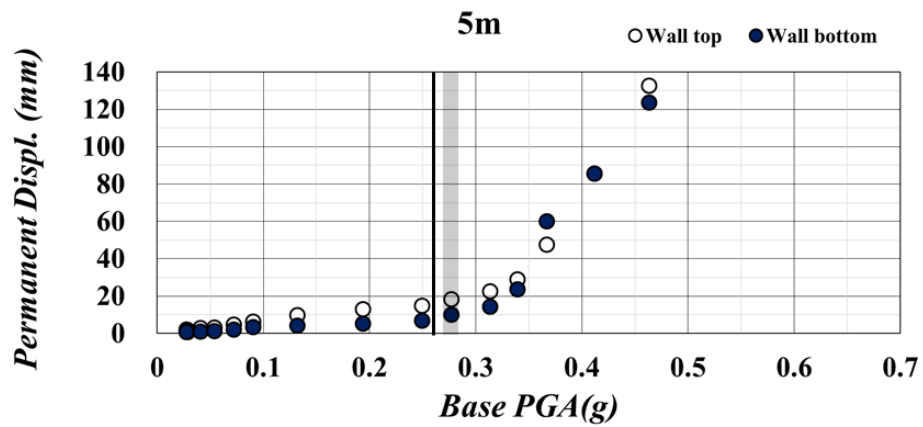
- ① 동적원심모형실험을 통한  $k_h$  산정 시 이용되는 최대지반가속도의 선정위치와 적용 보정계수 평가방법은 다음과 같다. 활동파괴에 대한 안전율 1을 적용하여  $k_h$ 를 0.13으로 설계한 중력식 안벽 모형이 지진하중에 의해 활동파괴가 일어나는 시점의 안벽 뒤채움 지반에서의 깊이 별 최대지반가속도를 획득하여 이를 해설 식 (4.2-1)에 대입한 계산 값과 설계 값 (0.13)을 비교하였다.
- ② 실험은 5m, 15m의 두 가지 높이를 가지는 중력식 안벽을 대상으로 하였으며, 두 안벽 모두 높이(H)에 대한 너비(B)의 비는 0.57이다. 안벽 모형은 알루미늄(T-6061)으로 제작하였으며,  $k_h$ 를 0.13으로 설계하기 위하여 항만 및 어항시설의 내진설계 표준서(1999.3. 해양수산부)에 제시된 활동에 대한 안전율 평가 식에 안전율(1),  $k_h$ (0.13), 기타 실험조건을 대입하여 안벽의 무게를 도출하였고, 알루미늄의 두께 조절을 통해 무게를 만족하였다. 이를 바탕으로 높이 5 m, 15 m에 대해 각각 실험 목표 가속도 수준인 40g, 60g에 대한 상사비를 적용하여 축소 모델링 하였다.
- ③ 참고 그림 (4.2-1)은 동적원심모형실험 모형의 구조물 및 계측기 배치를 나타내고 있다. 실험용 토조로는 등가전단보 박스(Equivalent Shear beam Box, ESB)를 사용하였다. 그림과 같이 안벽의 횡방향 변위 및 전도 발생 여부를 확인하기 위해 안벽 상하부에 변위계(Potentiometer)를 수평 방향으로 설치하였다. 안벽과 뒤채움 지반의 침하량을 계측하기 위해 변위계(Laser sensor) 2개를 추가로 설치하였으며, 뒤채움 지반의 침하 계측을 위해 설치한 변위계는 안벽에 근접하게 설치하였다. 뒤채움 지반의 깊이 별 최대지반가속도를 계측하기 위해 뒤채움 지반 표면으로부터 등 간격으로 5개의 가속도계를 매설 하였다.



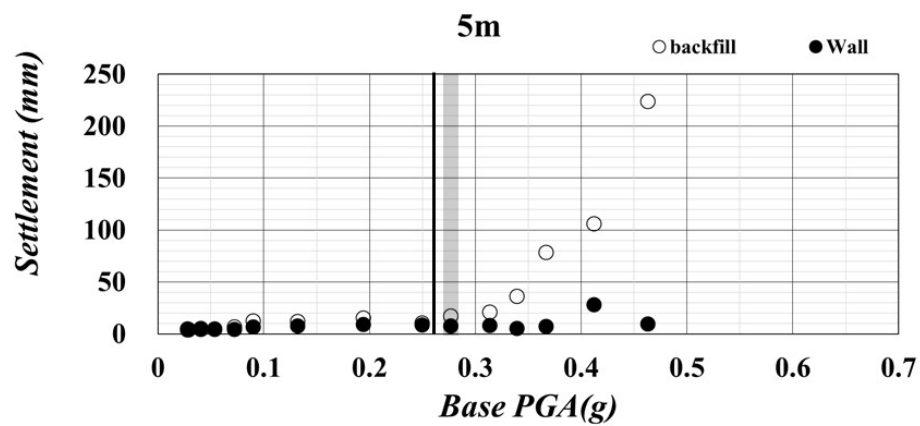
(a) 5m 안벽에 대한 실험 도면

(b) 15m 안벽에 대한 실험 도면

참고 그림 (4.2-1) 중력식 안벽 동적원심모형실험 도면 (이문교 등, 2017)



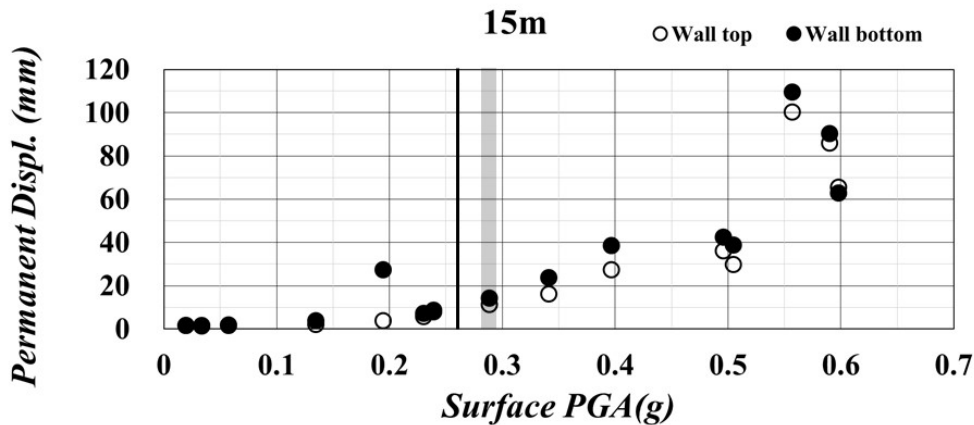
(a) 5m 안벽의 기초지반 최대지반가속도에 따른 벽체 상하단부 변위량



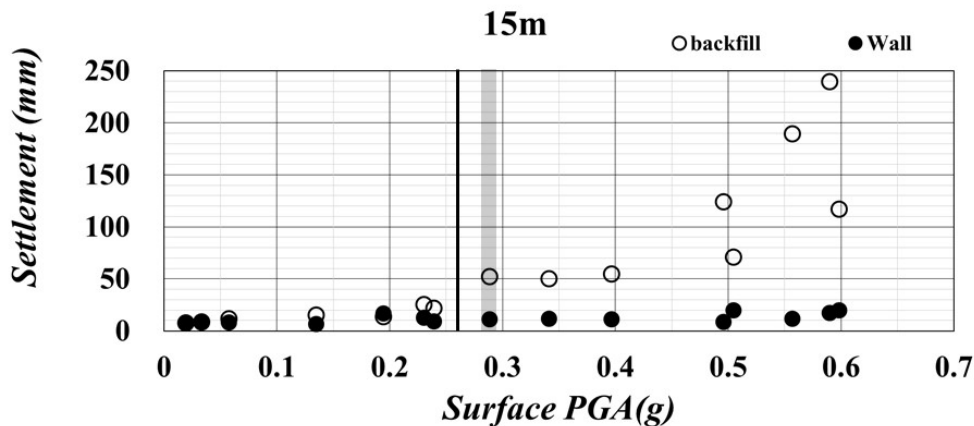
(b) 5m 안벽의 기초지반 최대지반가속도에 따른 벽체 및 뒷채움지반 침하량

참고 그림 (4.2-2) 중력식 안벽 동적 원심모형 실험결과 (이문교 등, 2017) (계속)





(c) 15m 안벽의 뒤채움지반 최대지반가속도에 따른 벽체 상하단부 변위량



(d) 15m 안벽의 뒤채움지반 최대지반가속도에 따른 벽체 및 뒤채움지반 침하량

## 참고 그림 (4.2-2) 중력식 안벽 동적 원심모형 실험결과 (이문교 등, 2017)

- ④ 참고 그림 (4.2-2)의 (a), (b)는 5m안벽에 대한 실험결과이며, 10 m보다 작은 안벽에 적용하는  $k_h$  산정식에 따라 안벽의 기초지반 최대지반가속도(Base PGA)가 증가함에 따른 안벽의 상하단부 횡방향 변위량과 안벽 및 뒤채움 지반의 침하량을 각각 보여주고 있다.

참고 그림 (4.2-2)의 (c), (d)는 15 m안벽에 대한 실험결과이며, 10m 보다 큰 안벽에 적용하는  $k_h$  산정식에 따라 안벽의 뒤채움 지반 지표면 최대지반가속도(Surface PGA)가 증가함에 따른 안벽의 상하단부 횡방향 변위량과 안벽 및 뒤채움 지반의 침하량을 각각 보여주고 있다.

- ⑤ 참고 그림 (4.2-2)의 (a), (b)에서의 실선은  $k_h(0.13)$ 으로 설계된 5 m안벽의 예상 활동파괴 시점(Base PGA =  $2 k_h$ , 0.26 g)을 의미하며, (c), (d)에서의 실선은  $k_h(0.13)$ 으로 설계된 15 m안벽의 예상 활동파괴 시점(Surface PGA =  $2 k_h$ , 0.26 g)을 의미한다.

참고 그림 (4.2-2)의 모든 음영선은 계측결과에서 확인 한 벽체의 활동 시작 구간이다. 안벽의 활동 시작점은 Mononobe-Okabe 방법의 가정사항에 근거하여, 횡방향 변위가 급증하기 시작하는 시점과 안벽과 뒤채움 지반 사이의 상대 침하량이 유발되는 시점을 고려하여 선정하였다.

- ⑥ 참고 그림 (4.2-2)과 같이 중력식 안벽의 예상 활동과괴 시점과 계측된 활동 파괴 시점이 매우 유사함을 확인함으로써 해설 식 (4.2-1)에 이용되는 최대지반가속도의 선정위치와 적용 보정계수의 적정성을 확인하였다.

#### 4.2.5 잔교식 안벽

지진 시 잔교식 안벽의 안정성 검토 시 본 구조물의 가용성을 고려하기 위해 지진력과 같은 동적외력의 설계에 대한 동역학적인 검토가 필요하다.

##### [해 설]

- (1) 1등급(내진보강) 구조물의 경우 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 나누어 내진설계를 수행하여야 한다. 예비 설계 방법으로는 단일모드 스펙트럼해석을 사용하며, 본 설계 방법으로 다중모드 스펙트럼해석(본설계) 및 시간이력해석(본설계)중 적절한 방법을 선택하여 탄성해석 혹은 비탄성해석을 한다.
- (2) 1등급 구조물의 경우에도 1등급(내진보강) 구조물과 같은 방법으로 해석을 수행한다.
- (3) 2등급 구조물의 경우 기능수행과 붕괴방지수준으로 나누어 설계를 하면 된다. 예비설계 방법으로는 단일모드 스펙트럼해석을 사용하며, 본 설계 방법으로 다중모드 스펙트럼 해석을 사용한다.
- (4) 1등급(내진보강) 시설 및 1등급시설의 경우, 붕괴방지수준의 경우 구조부재의 소성 변형을 적절히 고려할 수 있는 해석방법을 사용하여야 한다. 즉 비탄성해석을 직접 수행하여 설계 지진력을 구하거나 탄성해석에서 구한 부재력을 연성계수로 나누어 설계 지진력으로 사용한다. 연성계수는 참고 표 (4.1-9) 붕괴방지 수준에서의 연성계수의 값을 따른다. 다만, 정확한 해석을 하려면 비탄성해석을 수행하여야 하며 이 경우의 해석 방법으로 단일모드 스펙트럼해석 및 동적 해석법을 사용할 수 있다.
- (5) 해석 방법은 구조물의 형태 및 구조물의 중요도에 따라서 결정하며 해설 표 (4.2-2)에 요약하였다.

해설 표 (4.2-2) 잔교식 안벽의 해석 방법

내진등급	해석방법	구조물 형태
1등급 (내진보강)	단일모드 스펙트럼해석 (탄성해석, 비탄성해석)	질량분포가 일정하고 일정한 정형구조를 가진 구조물로서 첫 번째 진동모드가 동적응답을 지배하는 경우(예비 설계)
	다중모드 스펙트럼해석 (탄성해석)	비정형 구조물로서 진동모드간의 연계효과가 큰 구조물(본 설계)
	시간이력해석 (탄성해석, 비탄성해석)	기하학적인 형태가 복잡한 구조물중 규모면이나 건설비면에서 중요한 구조물(본 설계)
1등급	단일모드 스펙트럼해석 (탄성해석, 비탄성해석)	질량분포가 일정하고 일정한 정형구조를 가진 구조물로서 첫 번째 진동모드가 동적응답을 지배하는 경우(예비 설계)
	다중모드 스펙트럼해석 (탄성해석)	비정형 구조물로서 진동모드간의 연계효과가 큰 구조물(본 설계)
	시간이력해석 (탄성해석, 비탄성해석)	기하학적인 형태가 복잡한 구조물중 규모면이나 건설비면에서 중요한 구조물 (본 설계)
2등급	등가정적해석법 (탄성해석)	질량분포가 일정하고 일정한 정형구조를 가진 구조물로서 첫 번째 진동모드가 동적응답을 지배하는 경우(예비 설계)
	다중모드 스펙트럼해석 (탄성해석)	비정형 구조물로서 진동모드간의 연계효과가 큰 구조물(본 설계)

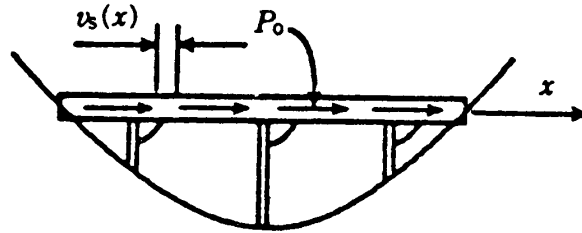
## [참 고]

## (1) 단일모드 스펙트럼 해석

- ① 단일모드 스펙트럼 해석법은 등가정적해석방법이라고도 하며 구조물의 1번째 진동모드가 응답을 지배하는 구조물의 설계지진력을 계산하는데 사용한다.
- ② 구조물의 진동주기를 구한 후 응답스펙트럼으로부터 탄성지진응답계수를 구하며 이로부터 등가정적하중을 구한다.
- ③ 단일모드 스펙트럼해석법은 질량이나 강성이 급격히 변화하지 않는 구조물에 대하여 적용하는 방법이다.
- ④ 이 방법은 구조물의 기본주기(T)만을 가지고 지진력을 산정할 수 있는 간단한 방법으로서 구조형상이 불규칙하지 않을 경우에는 신뢰할 수 있는 방법이다.
- ⑤ 이 기준에서는 AASHTO의 단일모드 스펙트럼 해석법을 준용하였다. 단, 말뚝지향만구조물인 경우에는 말뚝이 조밀하고 균등하게 배열되어 있으므로 상부구조에 균등한 수평변위가 발생한다. 따라서 지간내에 부등수평 변위가 발생하는 교량과 같은 구조물에서의 변위 적분과정을 생략할 수 있어 계산이 비교적 간단하다. 등가 지진하중을 구하는 방법은 다음과 같다.

가. 정적변위  $V_s(x)$  의 계산

참고 그림 (4.2-3)에서와 같이 분포하중  $p_0$ 를 말뚝지지 구조물의 상판에 수평 방향으로 재하하여 정적변위  $V_s(x)$ 를 구한다. 여기서 분포하중  $p_0$ 는 구조물의 총연장에 재하되며 단위는 힘/단위길이라고 하고 크기는 임의로 할 수 있다. 정적변위  $V_s(x)$ 는 길이 단위이다.



참고 그림 (4.2-3) 정적변위의 계산

나.  $\alpha$ ,  $\beta$  및  $\gamma$  계산

구조물의 주기계산에 사용되는  $\alpha$ , 등가정적지진하중의 계산에 사용되는  $\beta$ , 및  $\gamma$  는 안벽이나 잔교가 종방향 및 횡방향으로 말뚝이 조밀하게 배치되어 있는 점을 고려하면 다음 식으로 간단히 구할 수 있다.

$$\alpha = v_s L \quad \text{참고 식 (4.2-1)}$$

$$\beta = w v_s L \quad \text{참고 식 (4.2-2)}$$

$$\gamma = w v_s^2 L \quad \text{참고 식 (4.2-3)}$$

여기서,  $w$ 는 구조물상부구조와 이의 동적거동에 영향을 주는 하부구조의 단위 길이당 사하중이다.  $\alpha$ ,  $\beta$  및  $\gamma$ 의 단위는 각각 (길이<sup>2</sup>), (힘×길이), 및 (힘×길이<sup>2</sup>)이다. 구조물의 사하중은 상부구조 및 하부구조체 뿐만 아니라 각종 부착물 등을 포함한다.

다. 구조물의 주기 계산

구조물의 주기  $T$ 는 다음 식으로 구한다.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\gamma}{p_0 g \alpha}} \quad \text{참고 식 (4.2-4)}$$

여기서,  $g$  : 중력가속도 (길이/시간<sup>2</sup>)

## 라. 등가정적하중 계산

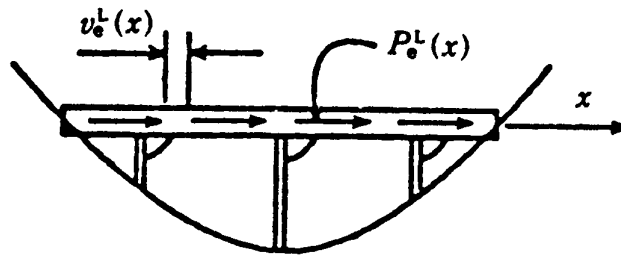
구조물의 기본진동모드에 상응하는 등가정적하중  $p_e(x)$ 은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$p_e = \frac{\beta C_s}{\gamma} w v_s \quad \text{참고 식 (4.2-5)}$$

여기서,  $C_s$ 는 스펙트럼 가속도( $2.5C_a$  혹은  $C_v/T$ )를 중력가속도  $g$ 로 나눈 무차원 값이다.

## 마. 구조물의 부재력 및 변위

참고 식 (4.2-5)에서 구한 등가정적하중  $p_e$ 를 구조물에 재하하여 구조물의 부재력과 변위를 구한다[참고 그림 (4.2-4)].



참고 그림 (4.2-4) 등가정적하중

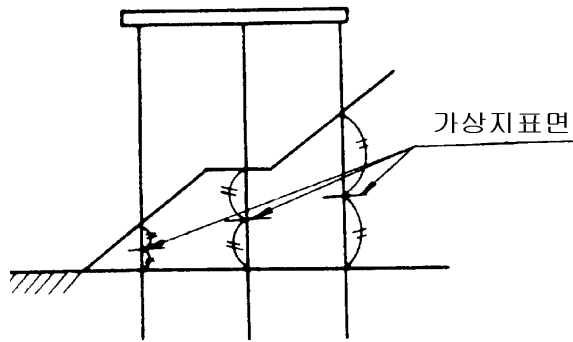
## (2) 다중모드 스펙트럼해석

- ① 다중모드 스펙트럼 해석법은 동적해석 컴퓨터 프로그램을 사용하여야 한다.
- ② 이 방법은 각 진동모드에서 세 직교좌표계의 상관거동을 유발하는 불규칙한 형상의 구조물에 적용한다.
- ③ 이러한 구조물은 여러 개의 진동모드가 구조물의 총 거동에 복합적으로 영향을 주기 때문에 구조물의 종방향 및 횡방향에 영향을 주는 진동모드를 간단히 구별하기 어렵다. 따라서 공간 뼈대구조물의 동적해석 프로그램을 사용하여 구조물의 거동에 영향을 주는 다중모드의 상관효과를 고려하여야 한다.

## 가. 구조물의 모형화

구조물이 종방향 및 횡방향으로 완전 대칭일 경우에는 2차원 뼈대구조로 도형화할 수 있다. 완전 대칭이 아닌 구조물인 경우 3차원 공간뼈대로 모형화하는 것이 바람직하다. 구조물의 강성과 관성효과를 실제와 가깝게 이상화할 수 있도록 절점을 선정하여야 한다. 각 절점은 6개의 자유도 즉 3개의 변위와 3개의 회전 자유도를 가지고 있어야 한다. 구조물의 질량은 상부구조 및 말뚝 등 관련하중을 포함하며 절점당 최소한 3개의 변위에 대한 집중질량으로 모형화하여야 한다. 집중질량을 절점에 적절히 분배함으로써 관성효과가 실제와 가깝게 반영되도록 하여야 한다.

말뚝도 공간 뼈대부재로 이상화하여야 한다. 일반적으로 기둥의 길이가 짧고 강성이 강한 기둥에 대해서는 중간 절점이 필요하지 않다. 길이가 길고 강성이 적은 기둥의 경우에는 3등분점에 절점을 두어야 한다. 말뚝의 하단은 가상지표면 아래 가상고정점 ( $1/\beta$ )에서 고정단으로 모형화할 수 있다. 가상지표면은 각 말뚝 축선 위의 위치에서 전면수심과 실경사면의 1/2 높이의 곳으로 본다[참고 그림 (4.2-5)].



참고 그림 (4.2-5) 가상지표면 결정

$\beta$ 는 참고 식 (4.2-6)에 의하여 산정한다.

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_H D}{4EI}} \quad (cm^{-1}) \quad \text{참고 식 (4.2-6)}$$

여기서,  $K_H$  : 횡방향 지반반력계수 ( $kgf/cm^3$ )

$D$  : 말뚝의 직경 또는 폭 (cm)

$EI$  : 말뚝의 휨강성 ( $kgf \cdot cm^3$ )

횡방향 지반반력계수( $K_H$ )는 횡방향 재하시험에 의해 구하는 것을 원칙으로 하나 실측할 수가 없을 때는 참고 식 (4.2-7)에 의하여 구할 수 있다.

$$K_H = 0.15N \quad \text{참고 식 (4.2-7)}$$

여기서  $N$ 은 지반의  $1/\beta$  근처까지의 평균  $N$ 치이다.

말뚝 주변 지반을 스프링으로 모형화하여 지반-구조물 상호작용을 고려한 보다 정밀한 해석을 수행할 수 있다. 그러나 잔교 전체의 모형화시에 말뚝에 지반 스프링을 추가하면 절점 수가 너무 많아지므로 지반스프링은 매우 특수한 경우에만 사용하는 것이 바람직하다.

#### 나. 진동모드의 수

3차원 구조물의 주기, 진동형상 및 모드기여질량은 동적해석 프로그램을 사용하여 고려하고자 하는 방향에 대하여 구할 수 있다. 구조물의 해석시에 고려하여야 할 진동모드의 수를 결정하는 방법으로는 각 모드에서 질량이 차지하는 비를 계산하여 세 방향에 대하여 각각 질량비가 90% 이상이 되도록 하는 것이다. 구조물의 전체모드를 사용하여도 동적해석 프로그램을 사용하면 계산시간이 많이 걸리지 않으므로 설계실무자는 전체모드를 사용하는 것이 편리할 것이다.

#### 다. 모드 부재력과 변위의 조합

부재력과 변위는 동적해석 프로그램을 사용하여 각 모드별 응답성분을 조합하여 구할 수 있다. 대부분의 프로그램에는 조합하는 방법으로 제곱합평방근(Square Root of Sum of Square : SRSS) 및 완전 2차 조합(Complete Quadratic Combination : CQC)등이 사용되고 있다.

### (3) 시간이력해석

- ① 시간이력해석방법은 시간과 노력이 많이 필요하기 때문에 구조물의 형태가 복잡하고 그 중요도가 매우 높은 구조물에 적용한다.
- ② 시간이력해석에 사용되는 구조물의 모형은 다중모드 스펙트럼해석에 사용한 모형과 동일한 모형을 사용하면 된다.
- ③ 입력지진으로 인공가속도 시간이력을 사용하되 응답스펙트럼과 잘 부합하는 가속도를 생성 사용하여야 한다.
- ④ 인공지진 외에도 장주기 및 단주기 성분의 실지진기록을 포함한 최소 3가지 이상의 기록을 사용하여 동적해석을 수행하여야 한다.
- ⑤ 구체적인 요구조건은 항만 및 어항시설의 내진설계표준서(1999)의 4.5절 가속도 시간이력의 규정을 참조할 수 있다. 구조물의 부재력과 변위는 동적해석이 가능한 상용 프로그램을 사용하여 자동적으로 구할 수 있다.

### (4) 등가정적해석법

예비 설계법으로 등가정적해석을 사용할 수 있다. 위에서 기술한 단일모드 스펙트럼 해석법이 엄밀한 의미로 등가정적해석법이나 여기서는 실무에서 사용하기 편리한 단순화한 등가정적해석법을 기술하고자 한다. 즉 등가정적하중은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$p_e = 2.5 \times C_a \times I \times W$$

참고 식 (4.2-8)

여기서,  $C_a$  : 무차원화한 지진계수

$I$  : 중요도 계수 (2등급 붕괴방지수준이므로  $I=1.0$ )

$W$  : 구조물의 자중 (=상부구조물자중+말뚝자중 $\times 0.5$ )

상기 식으로 구한 등가정적하중은 단일모드 스펙트럼해석으로 구한 등가정적하중보다 항상 큰 값을 주는 것에 유의하여야 한다. 그 이유는 구조물의 지진계수를 구조물의

기본주기의 크기와 관계없이 최대치인 2.5를 사용하였기 때문이다. 보다 정확한 해석을 하기 위해서는 구조물의 기본주기를 산정한 후 기본주기에 상응하는 지진계수를 구하여야 한다. 다만, 수직 말뚝만 사용된 구조물인 경우 구조물의 주기를 다음 식으로 약산할 수 있다.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{w/g}{K_h}} \quad \text{참고 식 (4.2-9)}$$

여기서,  $w$ 는 구조물의 자중(tf)이며  $g$ 는 중력가속도 ( $=9.8\text{m/s}^2$ )이다.  $K_h$ 는 말뚝의 수평 방향 강성도(tf/m)의 합으로서 다음 식으로 구할 수 있다.

$$K_h = \sum \frac{12EI_i}{L_i^3} \quad \text{참고 식 (4.2-10)}$$

여기서,  $EI_i$  : 말뚝의 휨강성(tf/m<sup>2</sup>)  
 $L_i$  : 말뚝의 상단에서 가상고정점까지의 길이(m)  
 $= h_i + 1/\beta_i$   
 $h_i$  : 말뚝의 상단에서 가상지표면까지의 길이(m)  
 $\beta_i$  : 각 말뚝의  $\beta$ 값(m<sup>-1</sup>)

수직말뚝과 경사말뚝을 함께 사용한 구조물인 경우, 주기를 약산식으로 구하기는 어려우나 참고 식 (4.2-9)로 구한 주기보다 훨씬 짧은 것으로 예상되어 구조물의 지진계수는 최대치인 2.5에 근접할 것이라고 예측할 수 있다. 따라서 이 경우에는 참고 식 (4.2-8)을 사용하여 등가정적하중을 구하여도 무방하다. 다만 보다 정확한 결과를 구하기 위해서는 단일모드 스펙트럼해석법 등을 사용하여야 한다.

#### (5) 설계요구사항

안벽구조물은 교량의 지진거동과 그 특성이 유사하고 사회적 기반시설로서의 중요성도 유사하다. 따라서 본 설계요구사항에서는 교량의 설계기준인 AASHTO의 하중조합과 설계절차를 준용하였다. 다만 안벽구조물의 특성에 따른 설계요구사항을 추가하였다. 또한 말뚝지지구조물의 경우, 타 항만구조물의 경우와 동일하게 각 등급별로 붕괴방지 수준만에 의한 설계로 내진설계가 만족됨을 잠정적으로 허용한다.

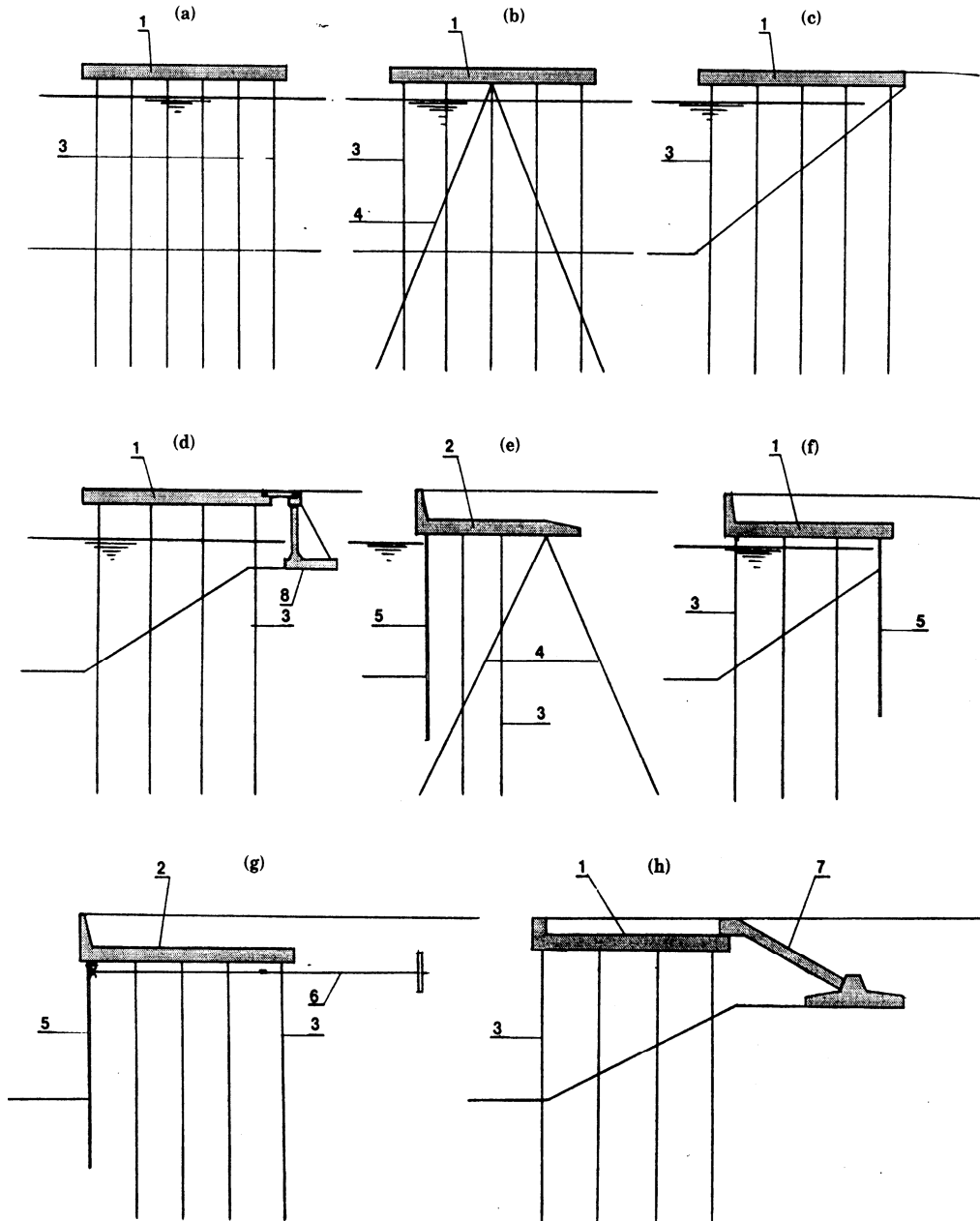
##### ① 구조시스템

내진 1등급 안벽은 수직말뚝으로 지지되는 모멘트 저항골조로 설계하는 것이 바람직하다. 수직말뚝으로 지지된 안벽은 유연하며 연성이 좋으며 육지쪽의 짧은 말뚝이 안벽에 작용하는 수평력을 주로 받게 된다. 경사말뚝으로 지지된 안벽의 경우 지진 시 경사말뚝과 상판의 연결부에서 파손이 쉽게 일어날 수 있으므로 경사말뚝의 설치는 가능한 지양되어야 한다.

잔교의 경우에는 말뚝의 비지지장이 길어지므로 횡방향 강성이 취약하다. 이 경우 필요에 따라서 부득이하게 경사말뚝을 설치할 수 있다. 이 때 말뚝과 상판과의 연결부의 배근과 상세는 안벽이 내진성능을 발휘할 수 있도록 충분한 강성과 연성을



확보하여야 한다. 수직말뚝 및 경사말뚝으로 지지된 안벽과 잔교를 참고 그림 (4.2-6)에 예시하였다.



(a) 수직말뚝으로 지지된 잔교; (b) 수직말뚝 및 경사말뚝으로 지지된 잔교;  
 (c) 수직말뚝으로 지지된 안벽; (d) 수직말뚝으로 지지된 안벽; (e) 수직말뚝, 경사말뚝, 및 널말뚝으로 지지된 안벽;  
 (f) 수직말뚝과 널말뚝으로 지지된 안벽; (g) 수직말뚝과 앵커로 지지된 안벽, (h) 수직말뚝과 앵커슬래브로 지지된 안벽.  
 1-상판, 2-상부구조, 3-수직말뚝, 4-경사말뚝, 5-널말뚝, 6-앵커, 7-앵커슬래브, 8-토류벽

참고 그림 (4.2-6) 수직말뚝 및 경사말뚝으로 지지된 안벽과 잔교

② 활하중

지진해석 시 구조물의 사하중외에 크레인 등의 활하중을 고려할 수 있다. 일반적으로 크레인은 장주기를 갖고 있기 때문에 구조물의 운동과 공진하지 않는다.

따라서 활하중은 구조물의 수평 지진력에 중요한 영향을 미치지 못하며 그 질량은 무시할 수 있다.

③ 연성계수

붕괴방지수준의 지진에 대해서는 소성변형을 허용하므로 연성계수를 사용하여 설계하중을 감소시킬 수 있다.

④ 액상화

상부구조를 지지하고 있는 말뚝을 설계할 경우 말뚝주변 지반의 액상화 발생가능성을 평가하여야 한다.

⑤ 제방의 변위

안벽 아래의 제방은 영구수평변위에 대하여 설계하여야 한다. 영구수평변위는 Newmark 방법이나 그 외의 해석방법을 사용하여 구할 수 있다. 미국의 경우, 허용변위는 기능수행수준의 경우 10cm, 붕괴방지수준의 경우 30cm를 채택하고 있다.

⑥ 크레인 레일

안벽에 직접 지지되어 있지 않은 크레인 레일은 독립적인 말뚝기초로 지지되어야 한다. 독립된 레일 기초는 안벽과 연결하여 지진 시 레일간 상대 변위에 의한 크레인의 운영에 차질이 발생하지 않도록 하여야 한다.

⑦ 구조부재와 연결부의 설계력

부재요소에 작용하는 붕괴방지수준의 설계지진력은 탄성지진력을 적절한 연성계수로 나눈 값을 사용한다. 여기서 탄성지진력은 종방향 및 횡방향 탄성지진력을 조합하여 구한 값이다. 지진력을 조합하여 안전측으로 만드는 이유는 지진운동의 불확실한 방향성으로 인하여 지진력이 동시에 두 방향으로 작용할 수 있기 때문이다.

위에서 구한 설계지진력은 다른 설계력과 함께 각각의 하중경우에 대하여 독립적으로 조합되어야 한다. 이 때 설계지진력의 부호는 양 또는 음중 하중이 최대가 되도록 취한다.

$$\text{최대하중} = 1.0(D + B + F + H + E_M)$$

참고 식 (4.2-11)

여기서,  $D$  : 사하중

$B$  : 부력

$F$  : 유체압

$H$  : 횡토압

$E_M$  : 탄성지진력을 연성계수로 나눈 값

⑧ 강말뚝의 설계요구사항

허용응력설계법에서는 강말뚝의 허용응력을 50% 증가시킬 수 있다. 지진변위와 말뚝의 축력으로 인한 2차모멘트 즉  $P-\Delta$  효과를 고려하여 말뚝을 설계하여야 한다.

## ⑨ 콘크리트말뚝의 설계요구사항

허용응력설계법에서는 콘크리트 말뚝의 허용응력을 33% 증가시킬 수 있다. 말뚝의 상부와 하부에서 횡방향 철근을 다음 규정에 따라 배근하여야 한다. 소성힌지가 예상되는 말뚝 및 말뚝 상하부의 심부(core)는 횡방향 철근으로 구속하여야 한다. 이 때 횡방향철근의 항복강도는 축방향철근의 항복강도보다 작아야 한다. 원형철근의 나선철근비는 다음 식에 의한 값 중 큰 값을 취한다.

$$p_s = 0.45 \left[ \frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \frac{\sigma_{ck}}{\sigma_y} \quad \text{참고 식 (4.2-12)}$$

$$p_s = 0.12 \frac{\sigma_{ck}}{\sigma_y} \quad \text{참고 식 (4.2-13)}$$

사각말뚝에서 횡방향 철근의 총 단면적은 다음 식 중 큰 값을 취한다.

$$A_{sh} = 0.30 a h_c \frac{\sigma_{ck}}{\sigma_y} \left[ \frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \quad \text{참고 식 (4.2-14)}$$

$$A_{sh} = 0.12 a h_c \frac{\sigma_{ck}}{\sigma_y} \quad \text{참고 식 (4.2-15)}$$

$a$  : 띠철근의 수직간격, 최대 15cm

$A_c$  : 횡방향 나선철근의 바깥쪽까지의 콘크리트말뚝 심부의 면적

$A_g$  : 말뚝의 총면적

$A_{sh}$  : 띠철근의 수직간격  $a$ 에 걸친 보강철근 (Cross Tie)을 포함하는 횡방향 철근의 총 단면적으로서 직사각형 말뚝의 두 주축에 대하여 별도로 계산하여야 함

$\sigma_{ck}$  : 콘크리트의 설계기준 강도

$\sigma_y$  : 띠철근 혹은 나선철근의 항복강도

$h_c$  : 고려하는 방향으로 띠철근 말뚝 심부의 단면치수

$p_s$  : 콘크리트 심부의 총 부피에 대한 나선철근 부피의 비

횡방향 철근은 하나 또는 중복된 띠로 구성할 수 있다. 띠철근은 135°의 갈고리로 축방향 철근에 걸리게 하여야 한다. 이 때 갈고리는 띠철근 지름의 6배와 8cm중 큰 값 이상의 연장길이를 가져야 한다.

보강철근(Cross tie)은 띠철근과 같은 크기의 철근을 사용할 수 있다. 보강철근의 한쪽 단은 135° 보다 작지 않도록 및 다른 한단은 90° 보다 작지 않도록 축방향 철근에 갈고리로 걸어야 하며 이때 갈고리의 길이는 띠철근 지름의 6배와 8cm중 큰 값 이상의 연장길이를 가져야 한다.

심부구속을 위한 횡방향철근은 말뚝의 상하단에 설치하되 그 구간은 말뚝의 최대치수, 말뚝의 순높이의 1/6, 및 45cm중 최대치 이상으로 한다.

## 내진

횡방향철근은 인접부재와의 연결면으로부터 말뚝치수의 0.5배까지 연장해서 설치하여야 하며 그 길이가 38cm보다 작아서는 안 된다.

말뚝상단에서의 구속을 위한 횡방향 철근은 말뚝에 대해 규정된 것과 같은 구간에 설치한다. 말뚝하단에서는 모멘트 고정점에서 말뚝지름의 3배 길이만큼 내려간 위치로부터 진흙선에서 말뚝지름의 1배와 45cm중 최대치 이상 올라간 위치까지에 횡방향 철근을 설치하여야 한다. 철근의 최대간격은 부재최소치수의 1/4 및 15cm를 초과해서는 안 된다. 위에서 규정된 횡방향으로 구속된 부분에서 나선철근의 겹이음은 허용되지 않으며 완전용접겹이음을 하여야 한다.

- (6) 이 기준에서 규정하는 항만시설물의 내진성능수준은 최소한의 요구조건으로 시설물에 따라서는 보다 강화된 내진성능수준을 요구할 수 있다. 이 경우 설계자는 이론적 또는 실험적으로 신뢰성이 확보된 보다 발전된 설계기법으로 성능기반 내진설계를 수행할 수 있으며 KDS 17 30 00 추가고려사항(4.1 성능기반 내진설계)에 따른다.

### 4.2.6 널말뚝식 안벽

지진 시 널말뚝식 안벽의 안정성을 검토하는 경우 널말뚝, 타이재, 띠장에 발생하는 응력을 검토하여야 한다.

#### [해설]

벽체구조물에 대한 내진해석.설계방법으로는 등가정적해석법, 변위를 고려한 해석방법, 동적해석법 등이 있다. 등가정적해석법은 지진하중에 의해 작용되는 토압 및 수압을 등가정적하중으로 대치하여 정적해석을 수행하는 방법이고, 변위를 고려한 해석방법은 지진 후 벽체가 제 기능을 발휘할 수 있도록 허용영구변위의 범위를 산정해 설계 시 반영할 수 있도록 한 방법이다. 동적해석법은 지진 시 벽체구조물의 변형을 산정하기 위하여 시간이력 해석을 수행하는 방법이다. 일반적으로 구조물의 중요도에 따라 내진등급을 부여하고, 내진등급에 따라 설계방법을 달리한다. 널말뚝식 안벽 구조물의 내진등급별 설계방법 및 설계기준은 해설 표 (4.2-3)와 같다.

해설 표 (4.2-3) 널말뚝식 안벽의 내진등급별 설계방법 및 설계기준

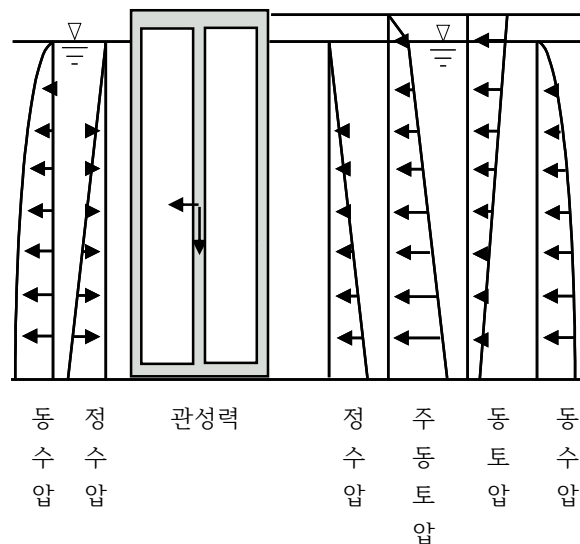
내진등급	내진성능수준	해석방법	설계기준
1등급	붕괴방지수준	등가정적해석법	안전율
		동적해석법	허용 변위
	기능수행수준	동적해석법	허용변위
2등급	붕괴방지수준	등가정적해석법	안전율

## [참 고]

## (1) 등가정적해석법

## ① 하중산정

등가정적해석법으로 벽체구조물의 안정을 평가하기 위하여 정적하중, 지진 시 토압 증가, 지진 시 수압증가, 관성력 등을 결정하여야 하며, 이들 하중이 동일한 방향으로 (In phase) 작용된다고 가정한다. 참고 그림 (4.2-7)에 중력식 벽체에 작용하는 하중 조합을 나타내었으며, 널말뚝식 안벽의 경우에도 같은 하중조합을 사용한다. 지진에 의한 토압 및 수압 증가는 부록 I에 기술한 하중 산정기법을 이용하여 결정할 수 있다.



참고 그림 (4.2-7) 수직말뚝 및 경사말뚝으로 지지된 안벽과 잔교

## ② 설계지진 가속도 결정

등가정적해석법 설계에서 설계지진가속도는 내진 2등급 구조물의 붕괴방지구준으로 결정한다. 이때, 설계지반가속도는 보통암 지반에서의 지표면 자유장 운동으로 정의되며 가속도 수준은 KDS 17 10 00 공통기준사항을 참고한다.

일반적으로 벽체구조물(중력식, 널말뚝식)은 기초 위에 놓여있고 기초와 암반사이에는 일정 깊이의 토층이 존재한다. 일반적으로 암반에 도달된 지진가속도는 지반을 따라 전파되어 벽체구조물에 도달될 때까지 상당한 증폭을 경험하는 것으로 알려져 있다. 따라서 지반 조사 자료를 바탕으로 지진응답해석(1차원 자유장 거동해석)에 의한 벽체구조물 기초지반에서의 최대지반가속도  $a_{max}$  를 결정하고 수평지진계수는 참고식 (4.2-16)을 이용하여 계산한다.

$$k_h = \frac{1}{2} a_{max}$$

참고 식 (4.2-16)

벽체구조물이 말뚝으로 지지되거나 변위가 억제되는 구조물일 경우 수평지진계수는 참고 식 (4.2-17)를 이용하여 계산한다.

$$k_h = a_{max} \quad \text{참고 식 (4.2-17)}$$

만약 벽체의 높이가 10m 이상인 경우에는 벽체 뒤채움부를 포함한 지진응답해석을 수행하고 최대지반가속도를  $a_{max}$  로 결정하여 사용한다.

### ③ 액상화 평가

외국의 항만구조물 지진피해사례를 보면, 피해상황의 주원인이 지반의 액상화임을 알 수 있다. 따라서 우선적으로 액상화 평가수행을 통해 지반의 안정성을 확보해야 한다.

### ④ 등가정적해석법 설계

앵커지지식 널말뚝을 등가정적해석법으로 설계하는 방법은 자유단 지지법과 Rowe의 모멘트 감소법의 병행시행을 추천하며, 설계 과정은 아래와 같다.

- 가. 정적하중조건에 대하여 앵커지지식 널말뚝은 안정해야 한다.
- 나. 부록 I의 방법을 이용하여 벽체 배면 지반과 전면지반의 하중조합(동토압, 정수압, 동수압 등)을 계산한다. 이때 주동 및 수동영역의 원점은 벽체의 바닥으로 가정한다.
- 다. 벽체의 Tie-rod의 연결점에 대한 휨모멘트를 계산하여 벽체의 최소관입깊이를 계산한다.
- 라. 벽체에 작용하는 수평방향 힘의 평형을 고려하여 앵커가 부담하여야 할 저항력을 계산한다. 계산된 앵커의 저항력은 자유단지지 앵커 저항력이라고 한다.
- 마. 벽체의 깊이별 휨모멘트의 분포를 계산한다. 이때 계산된 최대 휨모멘트를 자유단지지 모멘트라고 한다.
- 바. 자유단지지 모멘트와 Rowe가 제안한 모멘트 감소계수의 곱으로 설계 휨모멘트를 계산한다.
- 사. 계산된 자유단지지 앵커 저항력에 안전율을 고려하여 설계하중을 결정한다.
- 아. 앵커블록의 양측에 걸리는 수동토압, 주동토압 및 수압을 고려한 수평방향 힘의 평형 방정식을 만족시키는 앵커 블록의 최소 크기를 결정한다.
- 자. Eurocode에 의하면 벽체 배면 지반의 주동썰기가 앵커 블록의 전면에서 작용하는 수동썰기와 만나지 않도록 벽체로부터 충분한 거리를 두고 앵커 블록을 설치한다. 지진하중조건인 주동 및 수동 파괴면이 정적하중조건에서보다 편평하기 때문에 Tie-rod는 설계 시 정적하중조건에 의한 설계보다 상당히 길게 계산되어야 한다. 벽체로부터 앵커까지의 거리  $L_e$ 는 정적하중을 위해 요구되는 거리  $L_s$ 보다 커야 한다. 이 거리는 아래의 식으로 산정할 수 있다.

$$L_e = L_s (1 + 1.5 a_{max}) \quad \text{참고 식 (4.2-18)}$$

차. 등가정적해석법 설계가 수행된 후 Gazetas 등의 방법을 이용하여 설계결과를 평가할 수 있다.

## (2) 동적해석법

- ① 동적해석법은 해석 시 모형이 복잡하고, 시간이 오래 걸리는 단점이 있지만 다양한 수치해석 모델의 적용이 가능하고 지진파의 시간이력 특성을 고려한 변형 해석이 가능하므로 중요구조물인 1등급 구조물에서는 동적해석이 수행되어야 한다.
- ② 입력지진은 4.1.2를 참고하여 산정한다.
- ③ 동적해석 시 기반암 상부의 모든 지반과 구조물을 모델링하여 해석하거나 기반암에서 기초지반까지는 1차원 동적응답해석을 수행한 후 기초지반 상부를 모델링하여 해석할 수 있다.
- ④ 지반의 모델은 지반재료의 투수성을 고려하여 적용한다. 투수성이 좋은 지반이라도, 지진 시 지반내의 간극수압 증가와 액상화 현상이 예상되는 경우에는, 간극수압의 증가에 따른 유효응력 감소 및 액상화 이후의 거동을 평가할 수 있는 모델이 적용되어야 한다.
- ⑤ 동적해석 프로그램을 이용하여 벽체구조물의 변위를 산정하고 허용변위와 비교하여 안정성을 검토한다.

## (3) 설계요구사항

벽체구조물의 경우 타 항만구조물의 경우와 동일하게 각 등급별로 붕괴방지수준에 대한 설계만으로 내진설계가 만족됨을 잠정적으로 허용하도록 한다.

우선, 정적 설계기준을 만족하여야 하며, 각 등급별로 다음의 기준을 만족하여야 한다.

### ① 내진 2등급 구조물

가. 정적하중에 대하여 설계를 실시한다.

나. 등가정적해석법을 적용하여 붕괴방지수준에 대하여 내진설계를 수행한다.

다. 정적하중과 동적하중에 대한 안전율은 참고 표 (4.2-2)와 같다.

참고 표 (4.2-2) 정적하중과 동적하중에 대한 안전율 및 설계요구사항 비교

	정적하중	동적하중	비고
근입깊이	1.5	1.2	수동토압 계산시 전단강도에 고려
타이로드	2.5	1.67	부재력에 고려
	$\sigma_{allow} = 0.4 \cdot \sigma_{yield}$	$\sigma_{allow} = 0.6 \cdot \sigma_{yield}$	허용응력에 고려
버팀판	$\sigma_{allow} = 0.65 \cdot \sigma_{yield}$	$\sigma_{allow} = 0.87 \cdot \sigma_{yield}$	Rowe의 모멘트 감소법을 적용한 후 허용응력에 고려
앵커의 위치	$L_s^*$	$L_s(1 + 1.5a_{max})$	타이로드의 길이에 고려

\*  $L_s$ 는 정적하중에 대한 앵커의 위치임

## 내진

### ② 내진 1등급 구조물

가. 정적하중에 대하여 등가정적설계를 실시한다.

나. 등가정적해석법을 적용하여 붕괴방지수준에 대하여 내진설계를 수행한다.

다. 동적해석방법을 적용하여 기능수행수준과 붕괴방지수준에 대하여 내진설계를 수행한다.

라. 액상화 평가를 수행하고 액상화 가능성이 있는 경우에는 벽체구조물의 안전성에 영향을 미치는 지반영역에서 액상화가 발생하지 않도록 지반개량을 실시하여야 한다.

- (3) 이 기준에서 규정하는 항만시설물의 내진성능수준은 최소한의 요구조건으로 시설물에 따라서는 보다 강화된 내진성능수준을 요구할 수 있다. 이 경우 설계자는 이론적 또는 실험적으로 신뢰성이 확보된 보다 발전된 설계기법으로 성능기반 내진설계를 수행할 수 있으며 이에 대한 내용은 KDS 17 30 00 추가고려사항(4.1 성능기반 내진설계)에 따른다.

### 4.2.7 초대형 석유탱커시설

구조물(해저 파이프라인은 제외)의 설계에 있어서는 지진력을 고려한다.

- (1) 고정식 계류시설, 송유도관 등을 지지하는 연락교 등이 붕괴방지 1등급의 내진성능을 갖도록 설계 시 지진의 영향을 고려한다.
- (2) 고정식 계류시설에 있어서 등가정적 해석법에 의한 내진설계를 행하는 경우에는 지진력은 자중 또는 자중과 재하하중의 합에 지진계수를 곱하여 구한다. 이 경우 지진계수는 붕괴방지 1등급 수준의 내진성능에 준하는 값을 적용한다.

#### [해설]

- (1) 고정식 계류시설의 경우, 지진으로 인해 기름의 대량유출 및 화재 등 2차 피해로 연계될 우려가 있으며, 계류시설 상에서는 비계선시에도 작업원이 활동하고 있는 점을 고려하여 붕괴방지 1등급 내진성능수준으로 위험도 계수 1.4를 적용하여 설계지반운동을 선정한다.
- (2) 고정식 계류시설의 기초지반의 액상화 발생검토는 KDS 64 17 00 내진(4.1.8 지반의 액상화)에 따른다.
- (3) 이 기준에서 규정하는 항만시설물의 내진성능수준은 최소한의 요구조건으로 시설물에 따라서는 보다 강화된 내진성능수준을 요구할 수 있다. 이 경우 설계자는 이론적 또는 실험적으로 신뢰성이 확보된 보다 발전된 설계기법으로 성능기반 내진설계를 수행할 수 있으며 이에 대한 내용은 KDS 17 30 00 추가고려사항(4.1 성능기반 내진설계)에 따른다.



#### 4.2.8 하역기계의 기초

지진 시 하역기계의 기초에 작용하는 외력은 크레인의 형식, 사용상황 등을 고려하여 결정하여야 한다.

##### [해설]

- (1) 하역기계의 기초에 작용하는 최대 차륜하중은 KDS 64 90 10 항만하역시설(4.1.2 설계일반, 표 4.1-2)를 참고하여 바다 쪽과 육지 쪽의 최대 차륜하중이 동시 발생하는 것으로 하여 검토할 수 있다. 이 때 작업 시 및 지진 시에 의한 작용은 레일 전체에 작용하는 것으로 한다.
- (2) 하역기계의 강도계산 하중조합 설계기준은 정상 가동, 과하중 및 휴지 시에 예상되는 각종 하중조합에 의한 하역기계 구조물의 응력을 해석해야 하며, 가장 엄격한 하중 조합을 충족시킨다는 것을 입증해야 한다. 강도 하중조합기준에 명시한 하중 외에 하역기계의 강도에 영향을 미치는 다른 하중이 있다면 KDS 64 90 10 항만하역시설(4.1.2 설계일반 표 4.1-3)을 참고하여 그 하중을 포함한 하중조합으로 강도 해석을 하고 설계에 반영해야 한다.
- (3) 이 기준에서 규정하는 항만시설물의 내진성능수준은 최소한의 요구조건으로 시설물에 따라서는 보다 강화된 내진성능수준을 요구할 수 있다. 이 경우 설계자는 이론적 또는 실험적으로 신뢰성이 확보된 보다 발전된 설계기법으로 성능기반 내진설계를 수행할 수 있으며 이에 대한 내용은 KDS 17 30 00 추가고려사항(4.1 성능기반 내진설계)에 따른다.

#### 4.2.9 해저 파이프라인

해수 중에 있는 도관 등에 대하여는 관성력 및 동수압을 고려하고 해저면 하에 매설되는 도관 등에 대하여는 토압 및 지반의 변위에 의한 영향을 고려함과 동시에 필요에 따라 관성력 및 동수압을 고려한다. 또한, 해저지반의 액상화 발생가능성에 대해서도 검토하며 도관의 기립부에 대해서는 지진력을 반드시 고려해야 한다.

##### [해설]

- (1) 지진에 의한 관성력은 구조물, 석유 및 토괴(土塊) 등의 자중에 지진계수를 곱하여 구할 수가 있다. 또한, 관성력의 작용위치는 자중의 중심위치로 한다.
- (2) 내진성의 검토에 사용하는 설계 수평지진계수, 설계 연직지진계수 또는 암반노두에 고려하는 수평 지진구역계수 등에 대하여는 해당지역의 지진의 활동도, 지진 등의 특성 및 지반에서의 지진동의 증폭도 등을 충분히 고려하여 적절히 정하여야 한다.
- (3) 지반의 액상화에 대하여는 해저지반과 주변의 되메운 흙에 대하여 검토를 한다.

## 내진

액상화에 의하여 해저 파이프라인이 부상(浮上)할 것이 우려되며, 부상한 경우에도 파이프가 좌굴 또는 파단(破斷)하지 않도록 검토하여야 한다.

- (4) 기립(Riser)부는 구조상 가장 큰 약점이 되는 부분으로 해면상 직립부가 되어 파랑 작용이나, 선박, 나무 등 표류물의 충돌가능성이 높다.

따라서 기립부 도관 주위를 둘러싼 방호공을 설치하는 것이 바람직하다. 기립부에 작용하는 외력 및 하중의 종류에는 다음과 같은 것이 있으므로 이들 중 필요한 것에 대하여 충분한 강도를 갖는 효과적인 구조로 하여야 한다.

- ① 내 압
- ② 자 중
- ③ 파 력
- ④ 흐름의 힘
- ⑤ 온도변화의 영향
- ⑥ 지진력
- ⑦ 선박 및 표류물 등에 의한 충격력
- ⑧ 지지 구조물 및 기립부에서의 진동현상
- ⑨ 풍압력

- (5) 이 기준에서 규정하는 항만시설물의 내진성능수준은 최소한의 요구조건으로 시설물에 따라서는 보다 강화된 내진성능수준을 요구할 수 있다. 이 경우 설계자는 이론적 또는 실험적으로 신뢰성이 확보된 보다 발전된 설계기법으로 성능기반 내진설계를 수행할 수 있으며 이에 대한 내용은 KDS 17 30 00 추가고려사항(4.1 성능기반 내진설계)에 따른다.

### [참 고]

- (1) 일반적으로 수심에 비하여 도관의 지름이 적으므로 도관에 작용하는 동수압은 배제한 물이 갖는 관성력으로 생각하여 참고 식 (4.2-19)에 의하여 구하고, 작용방향은 관성력의 방향과 일치시킨다.

$$P_w = \frac{\pi}{4} k_i \gamma_w D^2 \quad \text{참고 식 (4.2-19)}$$

여기서,  $P_w$  : 지진동에 의한 동수압 (kN/m)

$k_i$  : 설계 수평지진계수  $k_h$

또는 설계 연직지진계수  $k_v$

$\gamma_w$  : 해수의 단위체적중량 (kN/m<sup>3</sup>)

$D$  : 피복방식 등을 포함한 도관의 외경 (m)

- (2) 도관 정상부(頂上部)에 작용하는 지진 시 토압은 KDS 64 17 00 내진 (4.1.5 지진 시 토압)에 따른다.

- (3) 지반의 지표면에서의 수평변위는 참고 식 (4.2-20)에 의하여 산정할 수가 있다.

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} S_v T k_{oh} \quad \text{참고 식 (4.2-20)}$$

여기서,  $U_h$  : 지표면 수평변위의 최대값 (m)

$S_v$  : 단위지진구역계수당의 응답속도값 (m/s)

$T$  : 표층지반의 고유주기 (s)

$k_{oh}$  : 암반노두에서의 수평지진구역계수

#### 4.2.10 해상저유시설

해상저유기지를 구성하는 시설별로 내진성능수준을 선정한 후 이를 토대로 지진의 안정성을 검토한다.

##### [해 설]

- (1) 해상저유기지를 구성하는 하나의 시설이 지진에 의한 피해를 받는 경우에 어떠한 영향이 있는가는 각각의 그 시설마다 검토가 필요하다. 이 때문에 설계지진계수를 산정하는 때의 위험도계수는 일률적이지 않고, 지진 시에 예상되는 피해의 형태 및 피해의 정도, 피해에 의한 영향, 복구의 난이를 하나의 시설마다 고려한 후에 적절히 설정한다.
- (2) KDS 64 85 00 해상저유시설(4.2 설계외력과 하중)에서는 자연조건의 재현주기는 100년을 표준으로 하였다. 이에 반해 지진구역 계수는 재현주기 500년을 토대로 설정된 것으로 적용상의 차이를 나타내게 된다. 따라서 이들 시설의 설계지진계수의 산정에 있어서는 다음의 방법 등에 따라 다른 자연조건의 설정의 연계성을 확보할 필요가 있다.
  - ① 해당지점의 지진구역 계수를 재현기간 100년으로 하여 산정하고, 설계지진계수를 구한다.
  - ② 내진강화가 필요한 경우에는 KDS 17 10 00 공통사항(4.2.1 지반운동)에 따른다.
- (3) 등가정적해석법에 의한 내진설계의 타당성이 경험적으로 분명하지 않은 구조물에 대하여는 지진응답해석 등에 의한 검토를 수행한다.
- (4) 지반의 액상화(液狀化) 현상을 예측하고, 액상화 발생가능성이 높은 경우에는 적절한 대책을 강구한다.
- (5) 이 기준에서 규정하는 항만시설물의 내진성능수준은 최소한의 요구조건으로 시설물에 따라서는 보다 강화된 내진성능수준을 요구할 수 있다. 이 경우 설계자는 이론적 또는 실험적으로 신뢰성이 확보된 보다 발전된 설계기법으로 성능기반 내진설계를 수행할 수 있으며 이에 대한 내용은 KDS 17 30 00 추가고려사항(4.1 성능기반 내진설계)에 따른다.

[참고문헌]

- 1) 건설교통부(1997), 내진설계기준연구(Ⅱ)
- 2) 김동수, 추연욱(2001), “공진주시험을 이용한 국내 비점성토 지반의 동적변형특성”, 한국지반공학회논문집, 제17권, 제5호
- 3) 선창국(2006), “스프링식 횡방향 발진 크로스홀 탄성과 시험을 통한 지반 동적 특성의 합리적 산정”, 한국지진공학회 논문집, 10월 4호. pp. 1~13
- 4) 이세현, 김동수, 추연욱, 권혁기(2009) “필댐 체체 재료의 동적 물성치 평가 : Ⅱ. 비선형 동적 변형특성”, 한국지반공학회, 제25권, 12호
- 5) 윤종구, 김동수, 방은석(2006) "국내 지반특성에 적합한 지반분류 방법 및 설계응답 스펙트럼 개선에 대한 연구 (Ⅰ) -국내 내진설계기준의 문제점 분석", 한국지진공학회 논문집 제10권, 제2호
- 6) 한국지반공학회(1997), 진동 및 내진설계
- 7) 해양수산부(1999), 항만 및 어항시설의 내진설계표준서
- 8) 해양수산부(2005), 항만 및 어항 설계기준
- 9) 해양수산부(2014), 항만 및 어항 설계기준.해설
- 10) Braja M. Das(1982), "Fundamental of Soil Dynamics"
- 11) International Navigation Association(2001), Seismic design guidelines for port structures
- 12) Kayen, R.E., Mitchell, J.K., Seed, R.B., Lodge, A., Nishio, S., Coutinho, R.(1992) "Evaluation of SPT-, CPT-, and shear wave-based methods for liquefaction potential assessment using Loma Prieta data", Proc., 4th Japan-U.S. Workshop on Earthquake-Resistant Des. of Lifeline Fac. and Countermeasures for Soil Liquefaction, Vol. 1, pp177-204.
- 13) Kim, Dong-Soo, Jong-Ku Yoon(2006) "Development of new site classification system for the regions of shallow bedrock in Korea", Journal of earthquake engineering Vol.10, No.3
- 14) Liao, S.S.C., Whitman, R.V.(1986) "Catalogue of liquefaction and non-liquefaction occurrences during earthquakes", Res. Rep., Dept. of Civ. Engrg., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- 15) Lee, S.H., Sun, C.G., Yoon, J.K., Kim, D.S.(2012) "Development and verification of a new site classification system and site coefficients for regions of shallow bedrock in Korea", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 16, No.6
- 16) Port and Harbour Research Institute(1997), Handbook on Liquefaction Remediation of Reclaimed Land
- 17) Robertson, P.K., Wride, C.E.(1998) "Evaluating cyclic liquefaction potential using

- the cone penetration test", Can. Geotech. J., Ottawa, 35(3), pp442-459.
- 18) Seed, H.B., Idriss, I.M.(1971), "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics Division, ASCE(SM9)
  - 19) Seed, H.B., Idriss, I.M., Makdisi, F., Banerjee, N.(1975) "Representation of irregular stress time histories by equivalent uniform stress series in liquefaction analyses", Rep. No. UCB/EERC 75-29, Earthquake Engrg. Res. Ctr., University of California, Berkeley, Calif.
  - 20) Stark, T.D., Olson, S.M.(1995) "Liquefaction resistance using CPT and field case histories", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 121(12), pp856-869.
  - 21) Sun, C. G.(2004) "Geotechnical information system and site amplification characteristics for earthquake ground motions at inland of the Korean Peninsula", Ph. D. Dissertation, Seoul National University
  - 22) US Navy(1992), The Seismic Design of Waterfront Retaining Structures
  - 23) US Navy(1997), Design Criteria for Earthquake Hazard Mitigation of Navy Piers and Wharfs
  - 24) Youd, T.L., Idriss, I.M.(2001) "Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127(4), pp297-313.
  - 25) Vucetic, M., Dobry R.(1991), "Effect of soil plasticity on cyclic response", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.117, No.1
  - 26) 社團法人 日本港灣協會, 港灣の 施{設の 技術上の 基準.同解説, 平成 11年 4月



집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전무
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	상무
	재료, 파이프, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전무
	계류시설	이욱한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전무
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케앤이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총괄	주재욱	(주)평화엔지니어링	고문
	파랑및파력	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	조석	강석구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이윤환	(주)도화엔지니어링	부회장
	지반	임종철	부산대학교	교수
	콘크리트	김우	전남대학교	교수
	방식·도장	라윤강	(주)한국국토안전연구원	원장
	외곽시설	전인식	건국대학교	교수
	표사, 연안보전시설	김효섭	국민대학교	교수
	표사, 연안보전시설	전인식	건국대학교	교수
	재료·계류시설	이진용	(주)세광종합기술단	사장
	재료·계류시설	정대연	(주)대영엔지니어링	대표이사
	부두포장	정진훈	인하대학교	교수
	내진	박두희	한양대학교	교수
	전문맞기타부두	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	어항	이상기	(주)건일	부사장
	마리나	지삼엽	부경대학교	교수
	항로표지시설	이승재	대기해양(주)	상임고문
	항만하역시설	함성진	(사)인천항시설관리센터	소장
	항만전기설비	김세동	두원공과대학교	교수



기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)혜인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)혜인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두토	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전문

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 17 00 : 2017

## 내진

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 31 10 : 2017

# 항만전기설비

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만설계기준 제정</li> <li>• 설계조건, 구역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록</li> </ul>	제정 (1971.12)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정</li> </ul>	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정</li> </ul>	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정</li> </ul>	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정</li> </ul>	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정</li> </ul>	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	2
1.5 기호의 정의	2
1.6 시설물의 구성	2
2. 조사 및 계획	3
2.1 조사 및 계획 일반	3
2.2 계획	3
3. 재료	3
3.1 재료 일반	3
3.2 품질 및 성능시험	3
4. 설계	4
4.1 수변전설비	4
4.2 예비전원설비	5
4.3 피뢰 및 접지설비	5
4.4 조명설비	6
4.5 감시제어설비	9
4.6 컨테이너부두 육상전기 및 통신설비	10
4.7 감시설비	11
4.8 소방설비	11



## KDS 64 31 10 항만전기설비

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 항만 및 어항의 전기설비가 365일 24시간 안전하고 미래 스마트항만으로 발전할 수 있도록 최신의 전기통신기술을 적용하고 신재생에너지를 활용하여 환경 친화적인 항만을 구현하는데 있다.

#### 1.2 적용범위

이 기준은 항만하역장비, 냉동컨테이너, 조명탑, 전산장비 등 항만운영에 필요한 전기설비의 전력공급설비에 적용한다. 또 장비의 대형화에 따른 전원 신뢰성과 전력품질 및 유지관리 용이성 확보를 위하여 신기술을 적용하는 자동화시스템에 적용하고 미래의 스마트 항만 구현을 위한 전기통신설비와 화재 안전을 위한 소방전기설비에 적용한다.

#### 1.3 참고기준

##### 1.3.1 관련법규

건축법  
산업안전보건법  
산업표준화법  
소방기본법  
전기공사업법  
전기사업법  
전력기술관리법  
정보통신공사업법  
주차장법

##### 1.3.2 관련기준

건축물의 설비기준에 관한 규칙  
건축물의 에너지절약 설계기준

## 항만전기설비

고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정  
국가화재안전기준(NFSC)  
대한전기협회 제정 내선규정  
산업안전보건기준에 관한 규칙  
전기설비기술기준  
KDS 31 10 00 설비설계 일반사항  
KDS 31 60 00 건축물전원설비  
KDS 31 60 30 신전원설비  
KDS 31 65 00 배선 및 부하설비  
KDS 31 70 00 조명설비  
KDS 31 75 00 제어 및 정보통신설비  
KDS 31 80 00 건축물 방재설비

### 1.3.3 관련표준

KS V 3011 조도기준  
KS V 3701 도로조명기준  
KS V IEC/ISO 80005-1 정박중 설비연결-제1부 고전압 선외수전설비-일반요건

## 1.4 용어의 정의

내용 없음

## 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 1.6 시설물의 구성

항만전기설비에는 전력 및 통신회사로부터의 인입설비 이외에 수변전설비, 예비전원설비, 전력간선 및 배선설비, 피뢰 및 접지설비, 조명설비, 감시제어설비, 통신 및 약전설비, 전기음향설비, 소방전기설비, 신전원설비 그리고 컨테이너부두 육상전기 및 통신설비 등으로 이루어진다.



## 2. 조사 및 계획

### 2.1 조사 및 계획 일반

- (1) 전기인입 및 전력공급용량 등의 관련 사항은 전기공급약관 등에서 정하고 있는 사항을 참조하여 한국전력공사와 협의 결정하여야 한다.
- (2) 통신인입 관련 사항은 정보통신 관련 법령에 준하여 관련 기관과 협의 결정하여야 한다.

### 2.2 계획

계획에 관한 사항은 KDS 31 10 00 설비설계 일반사항에 따른다.

## 3. 재료

### 3.1 재료 일반

항만 및 어항의 시설장소를 고려하여야 하며 특히 옥외에 시설되는 재료는 염해대책을 강구하여야 한다.

### 3.2 품질 및 성능시험

재료의 품질 및 성능은 한국산업표준(KS), 관련 법령 및 관계 시험기관에서 정하는 품질 및 성능 이상을 만족하여야 한다.

## 4. 설계

### 4.1 수변전설비

#### 4.1.1 수전설비

- (1) 항만의 전기수급 계획에 따라 한국전력공사 전기공급약관을 검토하여 154 kV 또는 22.9 kV를 수전한다.
- (2) 수변전설 위치
  - ① 전기부하 공급의 중심으로서 유지관리 및 편의성을 고려하여야 한다.
  - ② 수해의 우려가 없고 환기시설이 가능하며 장비 반입이 용이한 장소로 계획하여야 한다.
- (3) 항만의 설치장소에 대한 특성을 고려하여 전기설비의 염해대책 및 부등침하에 따른 영향을 최소화하도록 시설하여야 한다.

#### 4.1.2 변전설비

- (1) 변압기 구성은 부하용도별, 장래 증설을 고려하여 변압기 고장 및 계통사고를 대비하여 Back-up시스템 계획과 합리적이고 효율적인 운전이 가능하도록 하여야 한다.
- (2) 변전설비는 항만의 부하특성과 시설규모에 따라 변압기 뱅크 구성을 검토하여 적용하여야 한다.
- (3) 수변전계통의 전기기기 보호 및 안전성 향상을 위하여 고장사고 시뮬레이션 후 수변전설비의 최적 시스템을 구성하고 보호계전기를 선정하며 유지관리가 용이하도록 하여야 한다.
- (4) 고조파발생기기의 적용에 따른 고조파유출전류를 계산하여 고조파 대책을 강구하도록 하여야 한다.
- (5) 수배전반 큐비클은 전자배전반(디지털화)을 적용하여 유지보수 및 원격감시 제어가 용이하도록 하여야 한다.
- (6) 기타 사항에 대해서는 KDS 31 60 10에 따른다.

## 4.2 예비전원설비

### 4.2.1 예비전원설비 일반

- (1) 예비전원설비는 건축법, 소방법, 승강기 관련법령 등에 준하여 비상시에 대응이 가능하도록 구성하여야 한다.
- (2) 예비전원설비에는 비상용 발전설비, 축전지설비, 무정전전원설비(UPS), 전기저장장치(ESS) 등이 있으며 항만의 부하특성을 고려하여 구성하여야 한다.

### 4.2.2 설계 요건

- (1) 상용전원의 예고정전이나 예고 없는 정전에 대비하여 발전설비를 설치하여야 한다.
- (2) 중요 부하에 전원공급을 10시간 이상 지속할 수 있도록 하여야 한다.
- (3) 상용전원의 순간 정전이나 발전기 가동 후 전압이 확립되기까지 수변전설비의 조작 및 감시, 비상조명부하 등을 위해 직류전원을 확보하기 위한 축전지설비를 설치하여야 한다.
- (4) 부하 특성 중에서 전산기계실 등과 같은 중요한 부하에 전원공급 신뢰도를 확보하기 위해서는 무정전전원장치(UPS)를 설치해야 하며 백업 시간은 30분 이상으로 하여야 한다.
- (5) 기타 사항에 대해서는 KDS 31 60 20 예비전원설비에 따른다.

## 4.3 피뢰 및 접지설비

- (1) 피뢰설비는 관련 법규에 적합하게 시설하여야 하며, 인명 및 시설물을 보호하기 위해 뇌격전류를 신속하고 안전하게 방류시켜 완전 보호될 수 있는 방식으로 하여야 한다.
- (2) 접지설비는 전기설비기술기준에 적합하게 시설하여야 하며 감전사고 및 기기보호를 위해 접지간의 전위차가 발생하지 않도록 하여야 한다.
- (3) 접지선 및 접지극은 토양에 대한 부식방지를 고려하고 내식성이 우수하고 오랜 기간 동안 저항값 변화가 적은 방식을 적용하여야 한다.
- (4) 옥외조명용 등주(Pole)의 피뢰 및 접지설비  
피뢰 및 접지설비는 KDS 31 80 10 및 KDS 31 80 20에 적합하게 설치하여야 한다.
- (5) 기타 사항에 대해서는 KDS 31 80 10 및 KDS 31 80 20에 따른다.

## 4.4 조명설비

### 4.4.1 조명설비 일반사항

- (1) 야간 하역작업, 선박의 이·접안 및 여객 등이 이용하는 부두의 조명설비로서 표 (4.4-1)의 기준조도에서 제시하는 시설의 조명설비의 설치, 개량 또는 유지관리에 적용하여야 한다.
- (2) (1)항에서 제시하는 시설 이외의 조명설비는 KDS 31 70 00 조명설비에 준해서 용도에 적합한 조명을 하여야 한다.
- (3) 친수성 호안, 마리나, 공원, 산책로 등과 같이 항만시설과 연계되어 시민들의 여가 활동이 이루어지는 경우에는 조명의 기능을 검토하여 KDS 31 70 00에 준하여 적절한 조명설비를 설치하도록 하여야 한다.

### 4.4.2 기준조도

- (1) 기준조도란 평균수평면 조도로서 당해시설 이용 시 안전하고 효율적인 작업이 가능한 최저조도를 말한다.
- (2) 조도기준은 다음을 참조하여 정한다.
  - ① 산업안전보건법
  - ② 주차장법
  - ③ KS A 3011 조도기준
  - ④ KS A 3701 도로조명기준
- (3) 옥외 조명  
조명설비의 조도는 작업의 종류 및 형태에 따라 한국산업표준의 규정 또는 이에 유사한 기타 규정에 준하여 시설을 안전하게 이용이 원활하도록 적합하게 정하여야 한다.

표 (4.4-1) 옥외조명의 기준조도

시설 구분			기준조도(lux)
부두	부두뜰 (Apron)	여객, 차량, 플레이저 보트의 계류시설 및 일반화물, 컨테이너 선석	60-100-150
		컨테이너 무인작업	15-20-30
		플레이저 보트의 경사로, 파이프라인으로 위험물을 취급하는 부두뜰	60-100-150
		파이프라인, 벨트컨베이어에 의한 단순한 작업의 부두뜰	30-40-60
	야적장	컨테이너, 일반화물의 적치장 및 하물적하, 이동야적장	15-20-30
		냉동냉장 컨테이너 작업공간	60-100-150

표 (4.4-1) 옥외조명의 기준조도 (계속)

시설 구분			기준조도(lux)
부두	통로	여객 및 차량의 승강구	150-200-300
		여객 및 차량의 통로	30-40-60
		무인자동화 통로	12-20-30
		기타 통로	15-20-30
	보안	모든 시설	3-4-6
도로 공원	도로	주요 도로	30-40-60
		기타 도로	15-20-30
	주차장	페리용	15-20-30
		기타	6-10-15
	공원녹지	공원 산책로	3-4-6

주) 조도범위에서 왼쪽은 최저, 중간은 표준, 오른쪽은 최고 조도임

#### (4) 옥내조명

조명설비의 조도는 작업의 종류 및 형태에 따라 한국산업표준의 규정 또는 이에 유사한 기타 규정에 준하여 시설물을 안전하게 이용이 원활하도록 적합하게 정하여야 한다.

표 (4.4-2) 여객터미널, 창고 등의 기준조도

시설		기준조도[lux]
여객터미널	대합실	200-300-400
	여객승강용 통로 및 승강구	60-100-150
헛간, 창고	어선용 선석의 화물처리소	150-200-300
	컨테이너 화물조작장(C.F.S) 자동차 전용헛간	60-100-150
	거치른 작업이 따르는 헛간 및 창고	60-100-150
	기타의 헛간 및 창고	30-40-60

#### 4.4.3 광원의 선정

부두조명에 사용하는 광원은 LED, 메탈할라이드 램프 등 고효율 광원을 선정하여야 하며 다음 사항을 고려해서 선택하여야 한다.

- (1) 효율이 높고 수명이 길 것
- (2) 주위온도의 변화에 대해 안정되어 있는 것
- (3) 광색과 연색성이 양호한 것
- (4) 점등한 후 밝기가 안정될 때까지의 시간이 짧은 것

#### 4.4.4 조명기구의 선정

(1) 옥외 조명

옥외조명에 사용하는 기구의 선정에 있어서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- ① 옥외에서는 방수 구조이고 또 부근에서 인화성 위험물을 취급하는 경우에는 방폭형의 구조로 하여야 한다.
- ② 본체, 반대면, 조명 커버의 재료는 양질의 제품을 사용하고 내구성이 뛰어나 열화나 부식이 적은 것이어야 한다. 특히 염해에 의한 부식이 적은 것이어야 한다.
- ③ 소켓(Socket)은 각각의 광원에 적합한 것이어야 한다.
- ④ 안정기의 내부배선 등은 기구의 온도상승에 견딜 수 있는 것이어야 한다.
- ⑤ 효율이 높은 것을 사용해야 한다.
- ⑥ 배광은 사용목적에 따라 적절히 제어 되어야 한다.
- ⑦ 기타 사항에 대하여는 KDS 31 70 20, KDS 31 70 40에 따른다.

(2) 옥내 조명

옥내조명에 사용하는 기구의 선정에 있어서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- ① 배광은 사용목적에 따라서 적절히 제어될 수 있어야 한다.
- ② 소켓은 각각의 광원에 적합한 것이어야 한다.
- ③ 안정기, 내부배선 등은 온도상승에 견딜 수 있어야 한다.
- ④ 고효율 인증제품이어야 한다.
- ⑤ 기타 사항에 대하여는 KDS 31 70 10에 따른다.

#### 4.4.5 조명 방법

- (1) 항만하역 작업장, 야적장, 대규모 주차장 등에서의 조명 방법은 승강식 등주, 조명탑 등의 방법을 적용하여야 한다.
- (2) 인근에 건축물이 있는 경우에는 건축물의 지붕 또는 측벽에 조명기구를 설치하여 조명하는 방법을 적용한다.

#### 4.4.6 조명탑 설비

(1) 조명기구

- ① 조명탑 및 등기구는 내식성에 강한 재질로 하여야 한다.
- ② 조명광원 선정은 에너지 절감, 경제성 및 유지보수 등을 비교하여 적용하여야 한다.
- ③ 방전등의 안정기는 한시점등 안정기와 순시점등 안정기의 경제성을 비교하여 적용하여야 한다.

## (2) 부속장치

- ① 이상전압 및 노이즈 등으로부터 소손 방지를 위해 조명용 배전반에 서지 흡수기 (Surge absorber 또는 Surge protection device)를 설치하여야 한다.
- ② 안전과 유지관리를 위해 누전 및 고장진단 기능을 적용하여야 한다.
- ③ 제어시스템의 에러(Error) 또는 고장이 났을 때 비상점등이 가능하도록 하여야 한다.

## (3) 기타

- ① 필요 조도의 확보 및 빛공해 방지를 위해 시뮬레이션을 통하여 쾌적한 조명 설비가 되도록 하여야 한다.
- ② 기타 사항에 대하여는 KDS 31 70 00에 따른다.

## 4.4.7 유지관리

- (1) 조명설비는 다음 사항을 고려하여 6개월에 1회 이상 정기점검을 하여야 한다.

- ① 점등 상태
- ② 조명기기 류의 손상, 파손 상태
- ③ 도장의 벗겨짐 상태

- (2) 조도측정은 각 시설의 대표적인 장소에 있어서 관측점을 수 개소 선정하고 년 1회 이상 측정하여야 한다.

## (3) 청 소

등구 내·외면의 오염은 노면의 조도를 떨어뜨리기 때문에 육안 점검 또는 조도측정 결과에 따라 청소를 하여야 한다.

## 4.5 감시제어설비

- (1) 수변전설비 및 조명설비의 감시제어시스템을 적용하여야 한다.
- (2) 수변전설비 유지관리의 신속 대응과 에너지절약을 위해 원격제어 및 감시시스템을 적용하여 수변전기기의 운전상태 계측, 적산이 가능하도록 하여야 한다.
- (3) 조명제어설비는 에너지 절약과 유지관리를 위해 개별제어 및 조도, 시간대 제어가 가능하도록 하여야 한다.
- (4) 제어, 계측 데이터를 디지털로 기록, 보관, 분석 등이 가능하도록 하여야 한다.
- (5) 기타 사항에 대해서는 KDS 31 75 10 감시제어설비에 따른다.

## 4.6 컨테이너부두 육상전기 및 통신설비

### 4.6.1 수변전설비

- (1) 수변전설비는 컨테이너 터미널 내에서 소비하는 전력을 공급하기 위한 설비이며, 부하설비 용량에 대해서는 사용할 전기기기의 특성, 수량, 사용빈도 등을 감안한 수용률 등을 고려하여 수변전설비 용량을 결정하여야 한다.
- (2) 여름철의 냉동용 전원은 동시에 연속 사용할 확률이 높으므로 충분한 고려를 하여야 한다.
- (3) 정전사고 등에 따라 전력의 공급이 중단되면 컨테이너 터미널의 기능이 마비되므로 불의의 사태에 대한 예비선로(전원) 등을 설치하여야 한다.
- (4) 수전은 주변전실에 2회선(상시1, 예비1)을 수전 받을 수 있도록 변전실 설비를 구성하고, 정전에 대비하여 비상발전기를 설치하도록 하여야 한다.
- (5) 변전소 위치는 부하의 중심에 배치하도록 하며, 일반인의 출입을 통제할 수 있는 곳에 울타리를 설치하고 염해에 대비하여 구성하여야 한다.
- (6) 변전소 설비는 부두 내 전력 현황을 한눈에 파악할 수 있고 원격제어감시가 가능하도록 중앙감시설비를 설치하도록 하여야 한다.
- (7) 기타 필요시 대형선박 육상전력(Alternative Marine Power : AMP) 공급방안을 고려하여 수변전 및 배전 선로를 계획 검토하고, 한국산업표준(KS V IEC/ISO 80005-1)을 참조하여 계획한다.
- (8) 기타 사항은 KDS 31 60 10 및 KDS 31 60 20에 따른다.

### 4.6.2 냉동컨테이너 전원 공급설비

- (1) 냉동컨테이너 장치장 주변에 변전소를 설치하여야 한다.
- (2) 냉동랙(Rack)과 전원콘센트(리셉터클)를 설치하여야 한다.
- (3) 냉동컨테이너 상태를 변전소에서 원격감시 및 제어 가능하도록 하여야 한다.

### 4.6.3 하역장비에 대한 전원 공급설비

- (1) 하역장비에 필요한 전원을 변전소에서 공급하도록 하여야 한다.
- (2) 하역장비의 대형화에 대비하여 충분한 부하용량을 계산하여 공급할 수 있는 변전 설비를 설치하도록 하여야 한다.



#### 4.6.4 조명설비

- (1) 야간 하역을 위하여 컨테이너 야드 면에 20 lx 이상의 조도를 갖는 조명 설비를 터미널의 분류 및 특성에 따라 적절한 위치에 설치한다. 이 경우 설비를 집중시키는 방식과 분산시키는 방식이 있다. 또한, 조명설비의 설치에 있어서는 야간 입·출항 시 항해사의 시야를 혼란시키지 않도록 주의하여야 한다.
- (2) 기타 사항에 대하여는 KDS 31 70 00에 따른다.

#### 4.6.5 전기통신 및 방범설비

- (1) 구내통신설비, LAN설비 등에 관한 사항은 KDS 31 75 20 전기통신설비에 준하여 관련 기준에 적합하도록 시설하여야 한다.
- (2) 방송공동수신설비, 방송설비 등은 KDS 31 75 30 정보설비에 준하여 관련 기준에 적합하도록 시설하여야 한다.
- (3) 표시설비, 인터폰설비 등은 KDS 31 75 40 약전설비에 준하여 관련 기준에 적합하도록 시설하여야 한다.
- (4) 외곽 울타리 방호설비
  - ① 외곽 울타리의 침입에 대비하여 침입자를 상시 모니터링 할 수 있는 CCTV 설비 및 상시 녹화가 가능한 설비를 설치하여 효율적인 전자 방호설비를 갖추어야 한다.
  - ② 외곽 울타리 침입자에 대한 경고 방송 및 통제실에서 원격 제어 감시가 가능하도록 하여야 한다.

#### 4.7 감시설비

- (1) 감시설비는 폐쇄회로텔레비전(CCTV)설비를 말하며 여객의 안전확보, 보안확보, 차량 진입방지 등에 도움이 되도록 필요에 따라 적절히 배치하고 소요 재원을 갖추고 있어야 한다.
- (2) 국제 항해선박 및 국제 항만시설의 보안 확보 등에 관한 법률에 근거하여 보안 확보에 필요한 설비를 설치하고 유지해야 하며, 감시 기록을 보관할 수 있는 소요의 기능을 겸비하여야 한다.
- (3) 기타 사항은 KDS 31 80 40 방범설비에 따른다.

#### 4.8 소방설비

- (1) 소방 관련 법령에 준하여 소방설비를 설치하여야 한다.
- (2) 기타 사항에 대하여는 KDS 31 80 30 소방전기설비에 따른다.

[참고문헌]

- 1) 국가건설기준 관련 코드
- 2) 산업자원통상부의 고시자료, 2016
- 3) 한국산업표준
- 4) 항만 및 어항 설계기준·해설, 2014

집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전무
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사·연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	상무
	재료·프리스트레스콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전무
	계류시설	이육한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문맞기·타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전무
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케앤이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총괄	주재욱	(주)평화엔지니어링	고문
	파랑및파력	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	조석	강석구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이윤환	(주)도화엔지니어링	부회장
	지반	임종철	부산대학교	교수
	콘크리트	김우	전남대학교	교수
	방식·도장	라윤강	(주)한국국토안전연구원	원장
	외곽시설	전인식	건국대학교	교수
	표사·연안보전시설	김효섭	국민대학교	교수
	표사·연안보전시설	전인식	건국대학교	교수
	재료·계류시설	이진용	(주)세광종합기술단	사장
	재료·계류시설	정대연	(주)대영엔지니어링	대표이사
	부두포장	정진훈	인하대학교	교수
	내진	박두희	한양대학교	교수
	전문및기타부두	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	어항	이상기	(주)건일	부사장
	마리나	지삼엽	부경대학교	교수
	항로표지시설	이승재	대기해양(주)	상임고문
	항만하역시설	함성진	(사)인천항시설관리센터	소장
	항만전기설비	김세동	두원공과대학교	교수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	쿨크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전문

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 31 10 : 2017

## 항만전기설비

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 40 10 : 2017

# 수역시설

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.



# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만설계기준 제정</li> <li>• 설계조건, 구역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록</li> </ul>	제정 (1971.12)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정</li> </ul>	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정</li> </ul>	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정</li> </ul>	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계품속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정</li> </ul>	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정</li> </ul>	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호의 정의 .....	2
1.6 시설물의 구성 .....	2
2. 조사 및 계획 .....	2
3. 재료 .....	3
4. 설계 .....	4
4.1 항로 .....	4
4.2 박지 .....	12
4.3 어선용 박지 .....	17
4.4 선회장 .....	21
4.5 소형선 정박지 .....	23
4.6 어선용 슬립 및 기타수역 .....	25
4.7 목재정리장 .....	27
4.8 수역시설의 유지 관리 .....	27



## KDS 64 40 10 수역시설

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 항만 및 어항시설의 기본시설 중 하나인 수역시설의 설계, 시공 및 유지관리 단계에서 필요한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

이 기준은 항만 및 어항시설 중 수역시설인 항로, 박지, 선회장, 소형선 정박지 등의 설계에 적용한다.

#### 1.3 참고기준

항만법  
해사안전법

#### 1.4 용어의 정의

- 끌배(예인선, 曳引船, Tugboat) : 다른 선박을 끌어당기거나 밀어서 이동시키는 선박을 말한다.
- 박지(泊地, Berth) : 선박이 계류 혹은 묘박할 수 있도록 항내나 항외에 설정된 일정한 범위의 수역을 말한다.
- 선박(船舶, Vessel) : 물에서 항행수단으로 사용하거나 사용할 수 있는 모든 종류의 배를 말한다.
- 선박의 길이 : 선체에 고정된 돌출물을 포함하여 선수의 끝단부터 선미의 끝단 사이의 최대 수평거리를 말한다.
- 선박의 폭 : 선박 길이의 횡방향 외판의 외면으로부터 반대쪽 외판의 외면 사이의 최대 수평거리를 말한다.
- 선회장(船回場, Turning basin) : 거의 정지 상태인 선박이 자력 혹은 끌배 등에 의해 회전할 수 있도록 되어 있는 일정한 범위의 수역을 말한다.
- 항로(航路, Fairway) : 선박의 항행안전을 확보하기 위하여 한쪽 혹은 양쪽 방향으로 항행할 수 있도록 되어 있는 일정한 범위의 수역을 말한다.

## 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 1.6 시설물의 구성

- (1) 항로
- (2) 박지
- (3) 어선용 박지
- (4) 선회장
- (5) 소형선 정박지
- (6) 어선용 슬립 및 기타수역
- (7) 목재정리장

## 2. 조사 및 계획

- (1) 항만 및 어항시설의 기본시설 중 하나인 수역시설은 항로(航路), 박지(泊地), 선회장(船回場), 소형선 정박지(小型船 碇泊地) 등으로 계류시설 및 외곽시설과의 관계, 시설 건설 후 부근의 수역, 해저지형, 해수의 흐름, 해상교통 흐름, 기타 환경 등에 미치는 영향과 당해 항만 및 어항의 장래 발전방향을 충분히 고려하여 계획하여야 한다. 또한, 그 수역시설을 이용하게 될 대상선박들의 특성과 조종성능, 적재화물 등에 대한 특수성, 그리고 선박의 대형화 추세 등을 고려하여야 한다.
- (2) 항로, 항입구 등 선박의 조선(操船)수역을 계획할 때에는 운항자, 도선사(導船士, Pilot), 해상교통안전진단사, 해상교통관제센터 등 선박운항 관계자의 의견을 충분히 청취하여 시설계획에 반영하고, 필요시 선박조종시뮬레이션 수행 결과를 반영하여야 한다.

### [해설]

- (1) 위험물전용 적재선박의 박지는 일반선박, 특히 여객선의 박지나 소형선 정박지, 생활 환경을 보전할 필요가 있는 주택, 학교, 병원 등의 시설로부터 충분한 거리를 두어야 하며, 위험물의 유출 등의 사태에 용이하게 대처할 수 있는 위치를 선정할 필요가 있다.
- (2) 여객선, 차도선, 어선, 소형선 등의 박지는 선박의 안전한 항행(航行)이나 하역시의 안정성, 효율성 등의 확보를 위하여 다른 선박의 박지와 분리하여 따로 설정하는 것이 바람직하다.
- (3) 목재전용 취급시설은 전용지구를 지정하고, 일반시설과 분리하는 것이 바람직하다.

- (4) 항내정온도를 확보하기 위한 시설로는 방파제 등의 외곽시설 외에 소파공(消波工), 연파방지공(沿波防止工 : Stem wave) 등이 있다.
- (5) 수역시설이 토사 등에 의하여 매몰되는 것을 방지하는 조치로는 다음과 같은 것이 있다.
  - ① 방파제, 도류제 등의 외곽시설, 또는 이에 준하는 시설의 설치
  - ② 포키투(Silt basin) 준설 등 유하하는 토사를 당해 수역시설 주변에서 방지할 수 있는 조치
  - ③ 항로의 호안, 그 외 항로사면의 붕괴 등을 방지할 수 있는 조치
  - ④ 여굴

### 3. 재료

내용 없음
-------

## 4. 설계

### 4.1 항로

#### 4.1.1 설계일반

항로 설정(設定)은 선박의 안전항행(安全航行)을 보장하고 조선(操船)이 용이하도록 해상교통환경, 지형, 기상·해양조건과 관련시설간의 조화가 이루어지도록 하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 항로는 선박이 안전하게 항행할 수 있는 적정 수심과 폭이 유지되어야 하며, 항행 기능상 다음의 조건을 충족할 때 양호한 항로라 할 수 있다.
  - ① 기준선이 직선에 가깝다.
  - ② 항로의 측벽(側壁)과 해저면의 형상, 항주파(航走波) 영향 등이 고려되고, 폭이 넓으며 수심이 충분하다.
  - ③ 바람, 조류 등 기상·해양조건이 양호하다.
  - ④ 항로표지, 신호설비 등이 잘 정비되어 있다.
- (2) 항로 설정 시에는 기존의 유사한 실례를 참고하고, 입·출항 선박의 선박조종시뮬레이션 등을 통한 항적(航跡) 등의 검토와 해사관계자(海事關係者)의 의견을 참조하여야 한다. 이러한 검토 과정에서는 당해 항만에서의 항로표지 정비상황, 해상교통관제상황, 대형·소형선별, 왕·복별 등 항로분리 운영상황, 해상교통환경, 인접한 박지로부터 떨어진 거리, 항 입구부로의 진입각도, 끝배의 사용 유·무 등을 고려하여야 한다.
- (3) 선박의 항행목적으로만 이용되는 수역은 항로로 지정이 되어있지 않더라도, 이 수역 내에서는 선박이 정박(碇泊)하지 못하도록 하여야 한다.

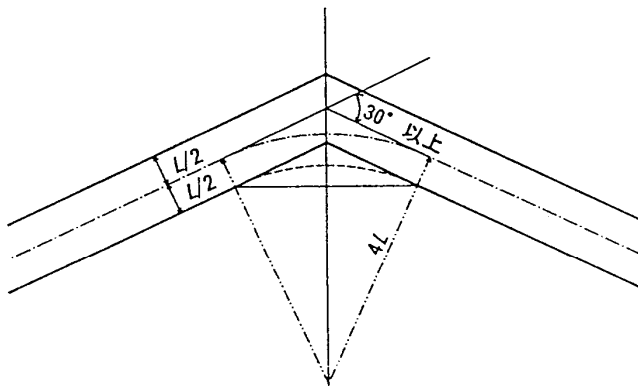
#### 4.1.2 항로 기준선

항로의 굴곡부(屈曲部)는 중심선의 교각(交角)이 되도록 작아야 한다.

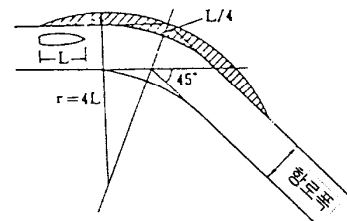
#### [해설]

- (1) 굴곡부의 교각은 선박의 선회경(旋回徑), 속도, 흘수/수심비, 항로표지, 그리고 기상, 해상 등의 항행환경을 고려하고, 선박조종시뮬레이션 항적 등을 분석하여 결정하여야 한다.
- (2) 바람이나 조류의 방향이 항로와 직각에 가까운 방향일 때에는 선박조종에 큰 영향을 미치므로 바람, 조류가 강한 곳에서는 이들의 영향을 충분히 고려하여야 한다.

- (3) 굴곡부 항로 중심선의 교각은  $30^\circ$ 를 넘지 않도록 하며,  $30^\circ$ 를 넘을 경우는 항로 굴곡부 중심선의 곡률 반경은 대상선박 길이의 4배 이상이 되게 하고, 항로 폭은 대상선박의 항적(航跡)을 고려한 소요 폭 이상이 되어야 한다. 다만, 스포츠 또는 레크리에이션용 요트, 모터보트 등 선회성능이 좋은 선박이 대상인 경우나 항로표지 등에 의하여 안전하고 원활한 조선이 가능한 경우는 이에 따르지 않을 수 있다.
- (4) 굴곡부의 중심선 교각이  $30^\circ$  이상이고, 항로 폭이 대상선박길이( $L$ ) 이상인 왕복항로에서는 해설 그림 (4.1-1)(a), 어선이 대상인 항로의 경우는 해설 그림 (4.1-1)(b)와 같이 굴곡부를 확폭할 필요가 있다.
- (5) 항로의 방향은 항로계획 시 천퇴 등의 지형조건을 감안하고 가능하면 조류의 방향과 평행이 되도록 계획한다.



(a) 선박대상



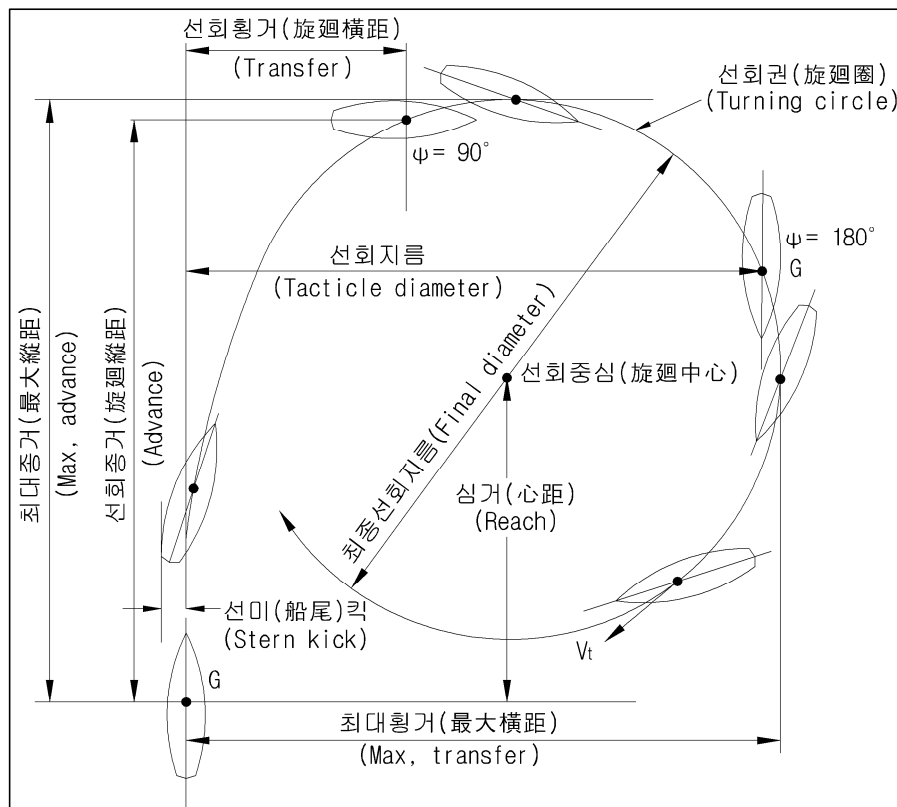
(b) 어선대상

#### 해설 그림 (4.1-1) 항로의 굴곡부 확폭

- (6) 항로의 굴곡부와 굴곡부 사이의 직선거리는 그 항로를 통항할 것으로 예상되는 최대 선박의 길이를 고려하여 가급적 충분하게 확보할 필요가 있으며, 지형적 여건상 이러한 배치가 어려울 경우에는 외부 환경을 고려한 선박조종시물레이션 등을 통해 통항 안전성을 검토하여야 한다.
- 다만, 선속이 감소하는 항만 내 수역시설이나, 조종성능이 우수한 소형 선박이나 어선, 해군/해경 함정이 주로 이용하는 항로는 이에 따르지 않을 수 있다.
- (7) 항로를 횡단하여 교량을 가설하는 경우, 그 항로를 통항할 것으로 예상되는 최대 선박의 제원을 고려하여 높이 및 폭 방향에 충분한 여유를 두어야 하며, 자세한 사항은 KDS 64 90 20 임항교통시설(4.12 교량)에 따른다.

## [참 고]

- (1) 선박이 선회(旋回)하기 위하여 전타시(轉舵時) 선박의 선수각이  $90^\circ$  회전하였을 때 선체중심(船體重心)이 원침로(原針路)에서 벗어나 종방향으로 이동한 거리를 어드밴스(Advance) 또는 선회종거(旋回縱距), 횡방향으로 이동한 거리를 트랜스퍼(Transfer) 또는 선회횡거(旋回橫距)라고 한다. 선회가 계속되어 배가 원침로로부터 종방향으로 가장 멀리 이동한 거리를 최대종거(最大縱距, Max. advance)라고 하는데, 이는 거의 선회직경(Tactical diameter)과 같다. 또 선박의 선수각이  $180^\circ$  회전하였을 때의 횡방향 이동거리를 선회직경, 약간 더 돌아서 원침로로부터 정횡(正橫)방향으로 가장 멀리 이동한 거리를 최대횡거(最大橫距, Max. transfer), 그리고 정상 선회운동(定常 旋回運動) 상태로 들어간 배가 그리는 원의 지름을 정상(定常) 선회지름(Steady turning diameter)이라고 한다. 참고 그림 (4.1-1)을 참조한다.
- (2) 선회하는 배가 그리는 선회권(旋回圈, Turning circle)의 크기는 선종, 타각(舵角), 수심, 선박의 속도 등에 따라 다를 수 있으며, 당시의 바람이나 조류, 파랑 등의 영향에 의해서도 달라질 수 있다.



참고 그림 (4.1-1) 선회권(Turning circle)의 명칭



### 4.1.3 항로 폭

항로 폭은 대상선박의 제원, 항로의 교통상황 및 교통흐름, 항로길이, 해상교통량, 조류의 세기나 방향 등과 같은 기상·해상조건과 그 외의 자연 상황 등을 충분히 고려하여 정하여야 한다.

다만 끝배의 이용, 대피수역의 설치 또는 항로길이가 아주 짧은 경우 등에는 선박의 안전항행에 지장을 미치지 않는 정도 범위 내에서 항로 폭을 줄일 수 있다.

#### [해설]

- (1) 일반항로에서의 항로 폭은 다음 값을 참고하여 정한다. 여기서,  $L$ 은 대상선박의 전장(全長)을 말한다.
  - ① 선박이 운항 중 교행(交行) 가능성이 있는 항로에서는  $1L$  이상의 적절한 폭으로 한다.
    - 가. 항로의 길이가 비교적 긴 경우 :  $1.5L$
    - 나. 대상선박들이 항로 항행 중 빈번하게 교행 할 경우 :  $1.5L$
    - 다. 대상선박들이 항로 항행 중 빈번히 교행하고 항로의 길이가 비교적 긴 경우 :  $2L$
  - ② 선박이 운항 중 교행 가능성이 없는 항로에서는  $0.5L$  이상의 적절한 폭으로 한다. 그러나 항로 폭이  $1L$ 이 되지 않을 경우, 항행지원 시설의 정비 등에 대한 안전상의 충분한 대비를 하여야 한다.
- (2) 통행량이 아주 많은 항로, 항로를 횡단하는 선박이 예상되는 항로, 초대형선을 대상선박으로 하는 항로, 기상·해상조건이 열악하여, 이에 영향을 많이 받는 항로 등 특수한 항로에서는 일반항로의 표준값에 실태에 따라 운항자, 도선사(導船士 : Pilot) 등 선박관계자의 의견을 청취하고 선박조종시뮬레이션 결과를 반영하여 결정하여야 한다.
- (3) 항로의 연장이 아주 짧은 경우란 항로의 전체길이가 아주 짧은 경우와 항로 전체 중 고려할 대상이 되는 부분의 연장이 아주 짧은 경우를 말한다.
- (4) 선박이 나란히 근접하여 항행하거나 추월하는 경우의 항로 폭은 두 선박간의 상호작용(相互作用), 선박의 선수동요, 항로 폭이 조선자에 미치는 심리적인 영향 등을 고려하여 정한다.
- (5) 어선 또는 500G/T 미만인 선박을 대상으로 하는 항로의 폭은 이용실태에 따라 적절하게 정한다. 어선을 대상으로 하는 항로 폭은 대상어선의 크기, 통행량 및 지형, 자연조건 등을 고려하여 다음의 값을 참고하여 정할 수 있다.
 

마리나 선박의 경우에는 KDS 64 70 00 마리나(4.2 수역시설)에 따른다.

## 수역시설

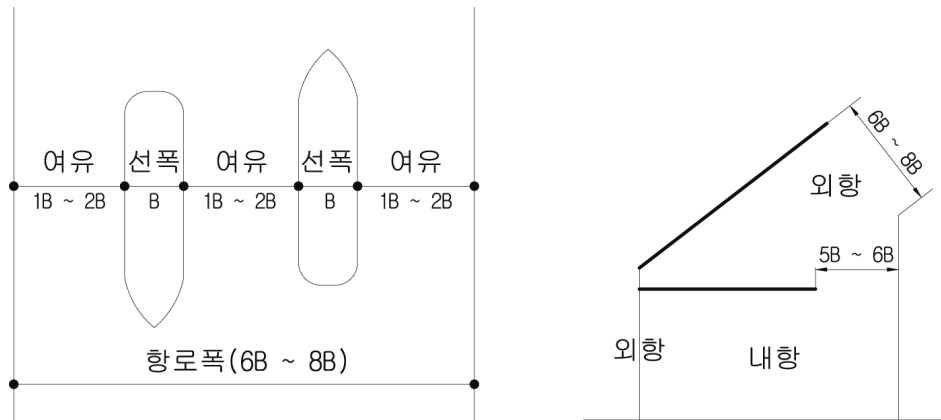
해설 표 (4.1-1) 어선을 대상으로 하는 항로 폭(왕복항로)

항로의 위치	항로 폭	비고
외해에서 외항으로 들어오는 항로	$6B \sim 8B$	악천후 파랑에 대한 여유를 고려
외항에서 내항으로 들어오는 항로	$5B \sim 6B$	

주 : 여기서 “B”는 대상어선의 선평

### [참고]

(1) 어항의 항로 폭을 그림으로 표시하면 다음의 참고 그림 (4.1-2)와 같다.



참고 그림 (4.1-2) 어항의 항로 폭

### 4.1.4 항로 수심

항로 수심은 저질(底質), 선박의 동요(動搖), 트림(Trim), 선체침하(Squat), 해도오차, 측량오차, 준설정도(浚渫精度) 등에 따라 여유를 고려하여야 한다.

### [해설]

(1) 선박이 얇은 수심 해역을 항행할 때에는 다음의 위험한 상태를 예상할 수 있다.

- ① 조종이 어렵거나 항행 시 조타에 의한 보침·변침조작(保針·變針操作) 효과가 극히 저하되고, 때로는 조선평능 상태에 빠질 수 있다.
- ② 계선 또는 정박 조선 시 횡방향 이동에는 아주 큰 저항을 받아 큰 지원을 필요로 할 뿐 아니라 제어(制御)가 어렵게 된다.
- ③ 항행중의 선체침하증대로 선저(船底)가 해저에 접촉함으로써 선체의 손상, 기관이나 추진 장치에 장애를 초래한다.

- (2) 항행의 안전확보를 위해서는 최대흘수시의 선저와 해저와의 사이에 여유 수심(UKC : Under Keel Clearance)을 다음 값 이상으로 충분하게 확보하여야 한다.
- ① 정온이 확보된 항내의 경우는 최대흘수의 10%
  - ② 너울(Swell)이 없는 진입항로 또는 접근해역은 최대흘수의 15%
  - ③ 너울이 존재하거나 비교적 항로가 긴 경우 최대흘수의 20%
- (3) 파랑에 의한 선박의 동요는 선박의 전장, 폭, 속도, 파고, 파장 등에 따라 정해지지만, 동요에 대한 여유수심은 일반적으로 소·중형선의 경우는 파고의 2/3, 대형선에서는 1/2 을 보고 있다. 이 값들의 적용 시는 항행조건이 비슷한 다른 항로의 실적을 참고하는 것이 바람직하다.
- (4) 수심이 얕은 수역이나 항로단면적이 좁은 수역에서는 항행하는 선박의 선체주변의 물이 가속되어 압력이 감소하고, 선체부근의 수위가 저하하여 선체가 침하하며, 많은 경우에 선수트림이 변하는 경우 선회성은 나쁘게 되지만 보침성(保針性)은 좋게 된다.
- (5) 해수와 진흙 등이 혼합된 액상이토층(Fluid mud layer)과 같이 수심을 정확하게 정의하기 어려운 해역에서는 항해 해저(Nautical bottom) 개념을 사용하여 항해수심(Nautical depth)을 정의할 수 있다. 항해 해저(Nautical bottom)란 그 경계 이상으로 선박이 접촉하게 되면 선박의 제어나 조종이 불가능해지는 해저 경계면을 의미한다.



해설 그림 (4.1-2) 항해 해저(Nautical bottom) 개념

#### [참 고]

- (1) 항로의 수심 설계 시 고려사항에 관한 PIANC의 제안 내용을 참고로 하면 참고 표 (4.1-1)과 같다.

## 수역시설

참고 표 (4.1-1) 항로 수심 설계 시 고려사항

Description	Vessel speed	Wave conditions	Channel bottom	Inner channel	Outer channel
Ship Related Factors $F_s$					
Depth $h$	$\leq 10$ kts	None		1.10T	
	10-15 kts			1.12T	
	$> 15$ kts			1.15T	
	All	Low swell ( $H_s < 1m$ )			1.15T to 1.2T
		Moderate swell ( $1m < H_s < 2m$ )			1.2T to 1.3T
		Heavy swell ( $H_s > 2m$ )			1.3T to 1.4T
	Add for channel bottom type				
	All	All	Mud	None	None
			Sand/clay	0.4m	0.5m
			Rock/coral	0.6m	1.0m

Notes:

1. For ship related factors: Assumes  $T > 10m$ . If  $T < 10m$ , use value for  $T = 10m$
2. Swell means waves with peak periods  $T_p$  greater than 10s
3. For Outer channel swell values, use lower value for smaller swell wave periods and higher value for larger swell periods
4. Value of significant wave height  $H_s$  is dependent on required operation, design ship type, level of accessibility, wave period and relative wave direction

주) 여기서 “T”는 대상선박의 최대 흘수

자료출처 : Harbour approach channels design guidelines, PIANC report no.121, 2014

- (2) 어항을 대상으로 하는 항로에서는 대상어선의 만재흘수에 여유수심으로 1m를 계상할 수 있다.
- (3) 화물을 적재하였거나 선박이 항행할 때 생기는 선수·선미간의 흘수차를 트림(Trim)이라고 하고, 화물을 적재한 상태에서 저속으로 운항할 때에는 선수가 침하하고, 고속으로 운항할 때에는 선미가 침하하는 경향이 있다.
- (4) 선박은 해수와 진흙 등이 혼합된 액상이토층(Fluid mud layer) 내에서도 그 밀도가 일정 수준 이하이면 운항이 가능하다. 이러한 수준 이하가 되기 위해서 어느 정도까지 준설을 해야 하는지 결정하기 위해서는 액상이토층의 상태를 지속적으로 모니터링하고 분석할 필요가 있다. 최근에는 액상이토층의 밀도 수준이나 음향 측심기 등을 사용하여 항해 수심(Nautical depth)을 결정한다.(액상이토층에 관한 보다 자세한 사항은 KDS 64 10 10 설계조건(4.6 하구수리)에 따른다.)

#### 4.1.5 항 입구부의 항로 길이

항 입구부의 항로와 이어지는 수역의 넓이는 대상선박의 선회 및 정지성능 등과 같은 조종성능을 고려하여 정하여야 한다.

##### [해설]

선박이 자력으로 입항할 때, 방파제 등으로 차폐된 수역 외측에서는 바람, 조류의 영향을 덜 받도록 어느 정도 이상의 속도를 유지하여야 한다. 이 때문에 방파제의 개구부 등 차폐 수역 경계부로부터 접안시설까지의 항로와 이어지는 수역의 넓이는 대상선박의 정지 가능 거리를 고려하여 충분히 확보하고, 필요시 선박조종시뮬레이션 수행 결과 등을 반영하여 정하여야 한다.

##### [참고]

- (1) 입항·계류조선시에는 해상환경과 대상선박의 조종성능을 감안하여 적절한 속력으로 진입한다. 이후는 정지타력이나 후진력을 사용하여 선박의 선체가 편향되지 않게 안전하게 정지할 수 있는 정도의 타력으로 계류시설에 접근하는 것이 바람직하다.
- (2) 감속에 필요한 거리는 선박의 규모, 선박의 처음 속도 등에 따라 다르다. 특히 초대형선 또는 대형선에서는 관련 자료를 참작하고, 대형선인 경우 끝배의 조력을 받으면서 조선하는 것이 바람직하다.
- (3) 어선의 경우 서행운행(5~7kt)하다가 항 입구부에서 기관을 정지하였을 경우 항 입구부로부터 정지하는 지점까지는 대상어선 길이의 4배의 거리가 필요하고 정지점까지의 항로길이는 선박길이의 약 5배 정도가 필요하다.

#### 4.1.6 항로의 정온도

항로는 이를 이용하는 선박의 안전항행, 도선사(導船士 : Pilot)의 승선, 예선의 이용 등을 감안하여 적절한 정온도를 확보하여야 한다.

##### [해설]

- (1) 항행선박에 대한 파랑의 영향은 소형선의 경우 횡파(橫波)를 받을 때나 추파(追波)를 받을 때에 크고, 대형선의 경우는 추파를 받을 때가 크다. 수역시설 내에서의 파랑은 파의 주기와 선박의 횡방향 동요 고정 주기가 일치하지 않도록, 선체 길이와 같은 정도의 파장은 받지 않도록 하여야 한다. 또한 대형선이 항 입구부에서 저속 운항하는 경우 추파를 받으면 선박과 파랑의 상대속도가 작게 되어 조타성능이 떨어짐으로서 선수(船首)의 동요가 크게 일어날 염려가 있다. 이 때문에 항로의 배치는 항 입구부에서 후방 45° 이내의 추파를 받는 방향은 피하는 것이 바람직하다.
- (2) 항로의 정온도 확보를 위해서는 침입파 외에 방파제나 안벽에서의 반사파 영향에 대하여도 고려할 필요가 있다.

## 수역시설

- (3) 파랑조건이 좋지 않은 장소에서는 대상선박의 입항속도와 정지가능거리를 고려하고, 선박의 조종성에 대응한 정온도 확보가 필요하다.
- (4) 부득이하게 여유수심을 크게 확보할 수 없는 수역에서는 선박의 동요로 인한 선체침하를 방지하고, 정온도를 높이는 조치를 할 필요가 있다.

## 4.2 박지

### 4.2.1 설계일반

박지계획은 선박의 안전한 계류, 조선의 용이, 하역의 효율성, 기상·해상조건, 항내 반사파·항주파 등의 영향 및 관련시설과의 조화가 잘 이루어지도록 한다.

#### [해설]

박지는 정박지, 묘박지(錨泊地), 부표박지(浮漂泊地) 외에 선회장(旋回場) 등의 조선수면(操船水面)을 포함하고, 기능상 다음의 조건이 만족될 때 양호하다고 본다.

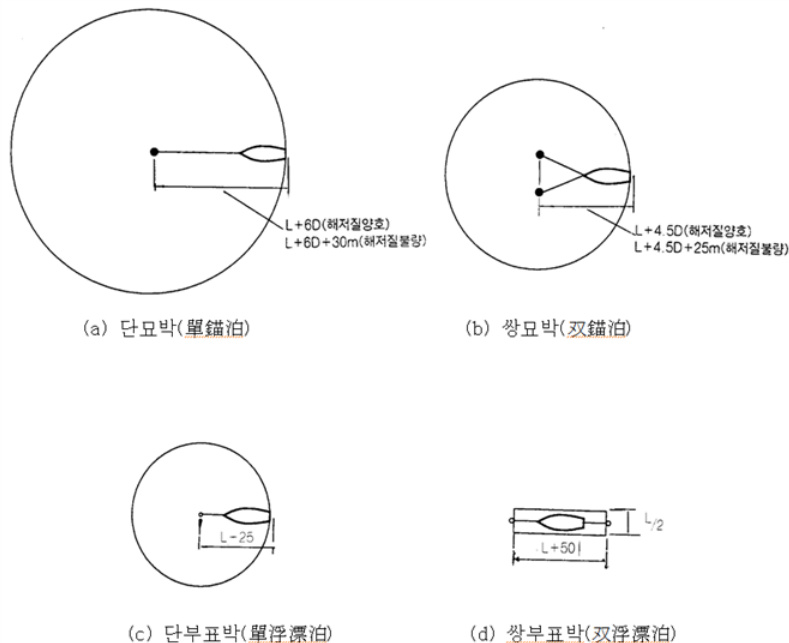
- (1) 정온하고 충분한 수면적
- (2) 닻 놓기에 양호한 저질
- (3) 잘 정비되어 있는 부표
- (4) 바람, 조류 등의 양호한 기상, 해상 조건

### 4.2.2 박지 위치와 면적

- (1) 박지 위치는 방파제, 부두(埠頭), 항로 등의 배치, 정온도를 고려하여 적절한 장소에 정한다.
- (2) 정박지라 함은 안벽, 계선말뚝, 잔교 및 부잔교의 전면에서 사용되는 박지이다. 그 면적은 대상선박의 길이(L)에 수심, 지형, 저질, 기상·해상, 기타 자연조건에 따른 적절한 여유값을 가산한 값 이상으로 하고, 이용목적, 이용방식 등을 충분히 고려하여 정한다.
- (3) 부표박(浮漂泊)의 경우에는 선박의 안전한 정박 및 계류에 지장이 없는 넓이까지 박지의 규모를 축소할 수 있다. 이 경우는 부표박의 이용방식 및 조위차가 큰 경우 등 부표의 수평 이동량을 고려한다.
- (4) 정박지 길이는 대상선박의 전장 이상으로 지형, 기상·해상, 기타 자연조건과 정박 또는 계류형태에 따라 대상선박이 횡접안할 때 필요한 연장으로 하며, 정박지 폭은 이·접안시 안정성을 고려한다.
- (5) 돌제(突堤)와 돌제사이의 박지 폭은 선형, 선석 수, 예선의 사용유무 등을 충분히 고려하여 적절히 정한다.
- (6) 정박지 면적은 선박의 이·접안 및 정박지에서의 출입, 묘박지에서는 투묘오차(投錨誤差), 위험물 적재선박이 이용하는 정박지에서는 보안거리를 고려한다.

## [해설]

- (1) 선박의 묘박방법에서 이용도가 높은 방법은 해설 그림 (4.2-1)(a)의 단묘박(單錨泊)과 해설 그림 (4.2-1)(b)의 쌍묘박(雙錨泊)이 있고, 그 외 2묘박, 선수미묘박(船首·尾錨泊) 등이 있다.
- (2) 묘쇄(錨鎖)의 길이는 선형, 묘박방법, 기상·해상 조건 등에 따라 다르다. 선박에 작용하는 힘에 저항할 수 있는 계류앵커의 파주력(把駐力)에 부가하여 해저에 놓인 체인에 의한 파주력을 확보할 수 있도록 묘쇄를 길게 할 필요가 있다. 다시 말하면 묘쇄는 길게 할수록 안전성이 높아진다.
- (3) 묘박지의 규모는 해저에 놓인 체인을 고려하고, 회전 중심이 되는 점으로부터 선수까지의 수평거리에 자기 배 길이를 합한 값을 반지름으로 하는 원의 크기로 구할 수 있다.
- (4) 묘쇄의 길이 계산에 필요한 체원이 불분명할 때의 묘박지 규모는 다음 해설 표 (4.2-1)을 참고하여 정한다.
- (5) 단부묘박은 해설 그림 (4.2-1)(c), 쌍부묘박은 해설 그림 (4.2-1)(d)를 참조한다.  
쌍부묘박에서 부묘의 배치는 선수미 방향과 바람, 조류방향이 평행이 되도록 한다.  
부묘박지의 규모는 해설 표 (4.2-2)를 참고하여 정한다.
- (6) 여러 개의 돌제가 병렬(並列)하여 있는 경우, 돌제사이의 박지 폭은 다음 값을 참고로 하여 정한다.
  - ① 돌제의 한쪽 선석수가 대체로 3선석 이하인 경우 :  $L$
  - ② 돌제의 한쪽 선석수가 대체로 4선석 이상인 경우 :  $1.5L$
 여기서,  $L$  : 대상선박의 길이  
 돌제의 안쪽을 소형선 정박지로 사용하거나 급유선, 대선 등의 박지로 이용하는 경우에는 그 이용 상황을 고려하여 소요 폭에 여유를 두는 것이 바람직하다.



해설 그림 (4.2-1) 묘박지의 규모(1척당)

## 수역시설

해설 표 (4.2-1) 표박지 규모

이용목적	이용방법	해저질(海底質) 또는 풍속	반경
외해대기 또는 하역	단묘박 (單錨泊)	해저질이 닻 놓기에 양호	$L+6D$
		해저질이 닻 놓기에 불량	$L+6D+30m$
	쌍묘박 (雙錨泊)	해저질이 닻 놓기에 양호	$L+4.5D$
		해저질이 닻 놓기에 불량	$L+4.5D+25m$

(주)  $L$  : 대상선박 전장(m),  $D$  : 수심(m)

해설 표 (4.2-2) 부표박지 규모

이용방식	넓이
단부표박(單浮漂泊)	반경( $L+25m$ )의 원
쌍부표박(雙浮漂泊)	( $L+50m$ )과 $L/2$ 을 변으로 하는 장방형

### 4.2.3 박지 수심

- (1) 박지의 수심은 파랑, 바람, 조류 등에 의한 대상선박의 동요정도를 고려하며, 대상선박의 만재흘수 이상으로 기준면하 만재흘수에 여유수심을 확보한 수심으로 한다. 다만 조선소 등의 의장용(艀裝用)안벽의 박지나 대상선박이 박지를 이용할 때의 흘수가 항상 만재흘수보다 작은 경우에는 이에 따르지 않을 수 있다.
- (2) 박지의 수심에 대하여 대상선박의 만재흘수 등을 잘 알지 못할 경우에는 관련 자료를 조사, 분석하여 적절하게 정할 수 있다.

#### [해설]

- (1) 페리(Ferry) 등을 대상으로 하는 박지에서 사이드 쓰러스터(側開形 : Side thruster)를 사용하는 등 일반적인 선박과 다른 조선형태를 취하는 경우에는 이 영향을 고려할 필요가 있다.
- (2) 천문조(天文潮)에 의한 조위변동에 비하여 평균해면의 계절 간 변동이 크고, 기본수준면보다 낮은 조위가 빈번히 발생하는 경우, 또 파랑이나 너울(Swell)의 진입이 현저한 경우 등은 그 영향을 고려할 필요가 있다.
- (3) 공공항만시설과 같이 대상선박의 명확한 제원을 사전에 정할 수 없는 경우의 박지 수심은 KDS 64 55 10 계류시설 설계일반(4.2 선석의 치수)에 따른다.



#### 4.2.4 정박지 정온도

수역시설을 이용하는 선박의 정박지는 연간 97.5% 이상의 정박 또는 계류가능일수를 얻을 수 있는 정온도를 확보하여야 한다. 단, 계류시설 또는 계류시설 전면의 이용이 특수한 경우는 그렇지 않다.

##### [해설]

- (1) 정박지의 하역한계 파고는 대상선박의 선종, 선형, 하역특성 등을 고려하여 적절히 정할 필요가 있으나 해설 표 (4.2-3)과 같이 평가할 수도 있다.  
정박지의 정온도는 정박지 내의 파고로 평가하는 것이 통례로 되어 있지만 필요에 따라서는 계류 중인 선박 동요량에 영향을 미치는 파향, 주기 등의 영향도 함께 고려하는 것이 바람직하다.

해설 표 (4.2-3) 하역한계파고

선 형	하역한계파고( $H_{1/3}$ )
소형선	0.3m
중·대형선	0.5m
초대형선	0.7~1.5m

주) 소형선이란 대체로 500G/T급 미만의 선박, 초대형선이란 주로 대형돌핀, 시버스(Sea berth)를 이용하는 대체로 50,000G/T급 이상의 선박, 중·대형선이란 소형선이나 초대형선 이외의 선박이다.

※ 자료출처 : Criteria for movements of moored ships in harbours - a practical guide -, PIANC report of working group no.21, 1995

- (2) 대피수역으로서의 항내 한계파고나 풍속은 대상 항만이 외해·내해의 어느 쪽으로 면(面)해 있는지, 대상으로 하는 선박의 선종이나 선형이 어떤지, 계선, 부표박 및 묘박 등의 계류방법은 어떤지 등을 고려하여 적절하게 정하는 것이 바람직하다.

##### [참고]

선체동요와 하역에 관한 PIANC의 제안 내용을 참고로 하면 다음 참고 표 (4.2-1)~(4.2-2)와 같다.

## 수역시설

참고 표 (4.2-1) 안전한 하역작업을 위한 선체 동요<sup>1)</sup> 권고 기준(PIANC 1995)

선 종	하역 장비	전후동요 (Surge) (m)	좌우동요 (Sway) (m)	상하동요 (Heave) (m)	선수동요 (Yaw) (°)	종방향 동요 (Pitch) (°)	횡방향 동요 (Roll) (°)
어선 10~3,000GT <sup>2)</sup>	Elevator crane	0.15	0.15	-	-	-	-
	Lift-on/off	1.00	1.0	0.4	3	3	3
	Suction pump	2.00	1.0	-	-	-	-
연안화물선 <10,000DWT	Ship's gear	1.00	1.2	0.6	1	1	2
	Quarry cranes	1.00	1.2	0.8	2	1	3
페리, 로로선	Side ramp <sup>4)</sup>	0.6	0.6	0.6	1	1	2
	Dew/storm ramp	0.8	0.6	0.8	1	1	4
	Link span	0.4	0.6	0.8	3	2	4
	Rail ramp	0.1	0.1	0.4	-	1	1
일반화물선 5,000~ 10,000DWT <sup>3)</sup>	-	2.0	1.5	1.0	3	2	5
컨테이너선	100% 효율	1.0	0.6	0.8	1	1	3
	50% 효율	2.0	1.2	1.2	1.5	2	6
산적화물선 30,000~ 150,000DWT	Crane elevator	2.0	1.0	1.0	2	2	6
	Bucket wheel	1.0	0.5	1.0	2	2	2
	Conveyor belt	5.0	2.5	-	3	-	-
유조선	Loading arms <sup>5)</sup>	3.0	3.0	-	-	-	-
가스운반선	Loading arms	2.0	2.0	-	2	2	2

주) 1) 여기서 동요는 Peak-to-peak 값을 의미한다.(단, Sway의 경우에는 0-to-peak 값)

2) GT : 선박의 총톤수(Gross tonnage)

3) DWT : 선박의 재화중량(Dead weight tonnage)

4) 롤러(Roller)가 장착된 램프(Ramp)

5) 노출된 위치에 설치된 로딩암은 대개의 경우 5m 정도까지 운동을 허용함.

참고 표 (4.2-2) 어선, 연안선, 화물선, 페리, 로로선 등의 안전 계류를 위한 속도<sup>1)</sup> 권고 기준(PIANC 1995)

선박 크기 (DWT)	전후동요 (Surge) (m/s)	좌우동요 (Sway) (m/s)	상하동요 (Heave) (m/s)	선수동요 (Yaw) (°/s)	종방향동요 (Pitch) (°/s)	횡방향동요 (Roll) (°/s)
1,000	0.6	0.6	-	2.0	-	2.0
2,000	0.4	0.4	-	1.5	-	1.5
8,000	0.3	0.3	-	1.0	-	1.0

## 4.3 어선용 박지

### 4.3.1 설계일반

어선용 박지는 어선의 입·출항과 조선을 원활하게 할 수 있는 충분한 수면적과 수심을 확보하고 어선의 안전한 계류, 양육(揚陸), 보급(補給), 휴식(休息), 출어준비(出漁準備) 등의 작업에 지장이 없도록 정온을 유지하여야 한다. 박지는 어선의 정박 시 닻을 놓는데 적합한 해저질이어야 하고 해저지반이 단단하여 닻을 놓기에 부적절할 경우에는 별도로 대책을 강구하여야 한다.

#### [해설]

어선용 박지는 안전한 계류, 원활한 조선, 양육, 출어준비 등의 작업이 용이하도록 정온하고 충분한 넓이와 수심을 확보하여야 한다.

어선용 박지의 수역을 사용 목적에 따라 분류하면 다음과 같다.

- (1) 양육용 박지(揚陸用 泊地)
- (2) 보급용 박지(補給用 泊地)
- (3) 휴식용 박지(休息用 泊地)
- (4) 특정목적용 박지
- (5) 묘박용 박지
- (6) 그 외 수역

### 4.3.2 박지의 넓이와 형상

어선용 박지의 넓이와 형상은 바람, 파랑, 조류, 조석현상, 지형, 지질 등의 영향과 대상어선의 체원을 고려하여 어선이 원활하고 안전하게 정박 및 계류할 수 있도록 정한다.

#### [해설]

어선용 박지의 넓이와 형상은 박지의 사용목적에 따라 그 규모를 정하고, 특히 필요한 경우에는 활어보관용 수면(가두리 등) 등을 고려한다. 사용목적별 박지의 소요면적은 다음과 같이 정한다.

- (1) 양육용 박지

양육용 박지는 양육용 부두의 전용수역으로 어선이 부두에 횡접안하여 양육하는 것을 기준으로 하며 다음과 같이 계산한다.

## 수역시설

$$\begin{aligned}\circ \text{ 박지면적} &= \text{부두연장} \times (\text{횡접안 폭} + \text{항로 폭} + \text{조선수역 폭}) \\ &= \text{부두연장} \times (0.25L + 0.75L + 1.5L) \\ &= \text{부두연장} \times 2.5L\end{aligned}$$

여기서,  $L$  : 어선의 길이

### (2) 보급용 박지

얼음, 물, 연료 등 보급품을 적재하기 위하여 보급용 부두의 전용수역에 어선을 횡접안하는 소요박지로 다음과 같이 계산 한다.

$$\circ \text{ 박지면적} : \text{양육용 박지와 동일}$$

단, 이용 선박 중 최대선형을 기준으로 하여야 하며, 도서지역의 어항은 유류 운반선을 고려하여야 한다.

### (3) 휴식용 박지

휴식용 박지는 휴식용 부두의 전용수역으로 어선의 접안방법은 1중 종접안을 표준으로 하되, 박지폭 등 항내여건에 따라 8톤 미만 연안어선은 2중 종접안, 8톤 이상 근해어선은 4중 횡접안으로 할 수 있으며, 다음과 같이 소요박지 면적을 계산한다.

$$\begin{aligned}\textcircled{1} \text{ 종접안 시 박지면적} &= \text{부두연장} \times (\text{종접안 폭} + \text{조선수역 폭} + \text{항로 폭}) \\ &= \text{부두연장} \times (1.5L \times \text{종접안수} + 1.5L + 0.75L) \\ &\quad \text{여기서, } L : \text{어선의 길이} \\ \textcircled{2} \text{ 횡접안 시 박지면적} &= \text{부두연장} \times (\text{횡접안 폭} + \text{조선수역 폭} + \text{항로 폭}) \\ &= \text{부두연장} \times (1.15B \times \text{횡접안수} + 1.5L + 0.75L) \\ &\quad \text{여기서, } B : \text{어선의 폭, } L : \text{어선의 길이}\end{aligned}$$

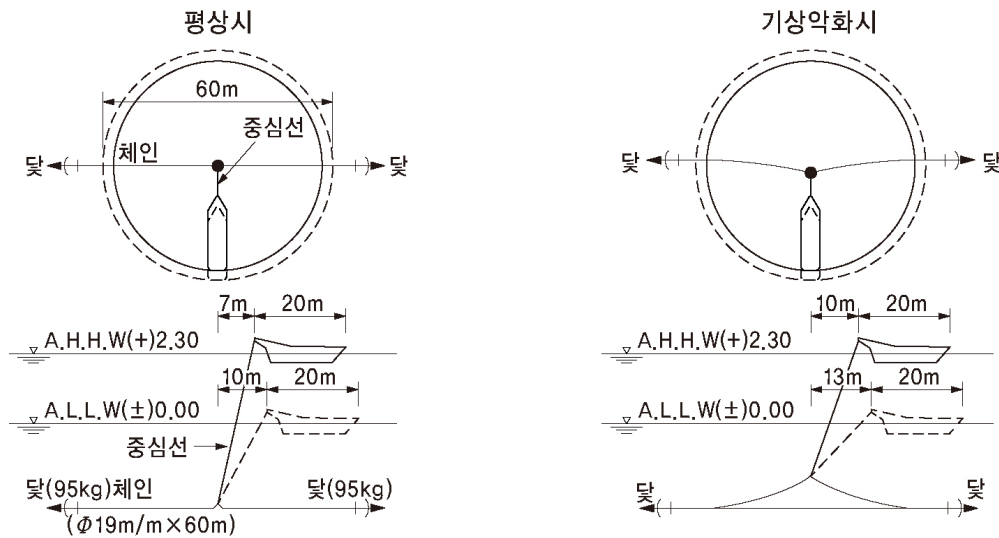
### (4) 특정목적용 박지

특정목적용 박지는 정기여객선의 이·접안, 또는 화물선 및 어선의 수리 등 특정목적에 사용되는 수역으로 사용방법에 따라 횡접안과 종접안으로 구분하여 다음과 같이 계산 한다.

$$\begin{aligned}\textcircled{1} \text{ 횡접안 시 박지면적} &: 1.2L \text{ 및 } (B+1) \text{을 변의 길이로 하는 직사각형의 면적} \\ \textcircled{2} \text{ 종접안 시 박지면적} &: 1.2L \text{ 및 } (B+3) \text{을 변의 길이로 하는 직사각형의 면적} \\ &\quad \text{여기서, } B : \text{어선의 폭, } L : \text{어선의 길이}\end{aligned}$$

### (5) 묘박용 박지

어선이 접안시설을 사용하지 않고 닻이나 부표 등을 사용하여 정박하는 수역으로 안전하게 묘박할 수 있도록 충분한 넓이의 수면적과 소요정온도가 유지되도록 한다. 어선의 정박 방법에 따라 필요한 수면적을 정한다. 소형어선은 해설 그림 (4.3-1)을 참고로 하여 계산한다.



해설 그림 (4.3-1) 묘박지에서의 계류(예)

## (6) 대피용 박지

기상악화 시 대피용 박지의 어선 접안방법은 1중 종접안을 표준으로 하되, 박지폭 등 항내 여건에 따라 8톤 미만 연안어선은 2중 종접안, 8톤 이상 근해어선은 4중 횡접안으로 할 수 있으며, 기상악화 시는 계류방법, 여유길이, 여유 폭이 평상시와 다르므로 다음과 같이 소요박지 면적을 계산한다.

① 종점안시 박지면적 = 부두연장×(종점안 폭+조선수역 폭+항로 폭)  
= 부두연장×(2.0L×2.0L+1.0L)

여기서,  $L$  : 어선의 길이

단, 2중 종접안일 경우 1중 종접안의 박지면적에 어선길이에 해당하는 박지면적을 추가로 고려한다.

② 횡접안 시 박지면적 = 부두연장×(횡접안 폭+조선수역 폭+항로 폭)  
= 부두연장×(1.35B×횡접안수+2.0L+1.0L)

여기서,  $B$  : 어선의 폭,  $L$  : 어선의 길이

(7) 그 외 수역

앞에 열거한 목적 이외로 필요한 수역이 발생할 때에는 이를 별도로 고려한다.

### 4.3.3 박지의 수심

어선용 박지의 수심은 파랑, 바람, 조류 등에 의한 선박동요를 고려하여야 하며, 대상 선박의 기본수준면하 만재흘수에 여유수심을 확보한 수심으로 정한다.

#### [해설]

선박동요를 고려한 여유수심 산정이 곤란한 경우의 박지수심은 기본수준면을 기준으로 하여 대상어선 만재흘수의 110% 또는 KDS 64 10 10 설계조건(4.1 선박)에 따른다.

### 4.3.4 박지의 정온도

어선용 박지의 정온도가 좋고 나쁜 것은 방파제의 배치와 마루높이, 항내 부두의 배치와 구조형식에 따라 다르게 나타난다. 그러므로 항내에서 발생하는 수리현상(水理現象)을 충분히 고려하여 구조물의 배치와 구조형식 등을 결정하여야 한다. 접안시설 전면수역은 연간 97.5% 이상 정박 또는 접안이 가능하도록 정온이 유지되어야 한다.

#### [해설]

- (1) 어선용 박지의 정온도 확보에서 실제로 이용되지 않는 수역도 많으므로 이런 수역에 대한 검토도 필요하다. 정박 가능한 최대파고, 항로에서 항행이 가능한 최대파고와 양육작업, 출어준비작업, 휴식을 위한 계류가 가능한 부두 전면에서의 한계파고는 대상 어선의 선종, 선형, 이용실태 등을 파악하여 정해지지만 일반적으로는 다음 해설 표 (4.3-1)를 표준으로 한다.

해설 표 (4.3-1) 수역시설 사용이 가능한 최대파고

구 분	수역시설수심	
	3.0m 미만	3.0m 이상
항내 묘박 및 정박가능 최대 파고	0.60m	0.70m
항로 항행가능 최대 파고	0.90m	1.20m
양육 준비가 가능한 파고	0.30m	0.40m
휴식이 가능한 최대 파고	0.40m	0.50m

주) 박지의 정온도는 박지내의 파고를 평가하는 것이 통례이지만, 필요에 따라서는 너울이나 항주파 등의 영향도 고려해야 한다.

- (2) 장래시설 소요에 따라 여유수역이 필요한 경우에 대해서도 검토할 필요가 있다.

## 4.4 선회장

### 4.4.1 설계일반

선회장은 거의 정지 상태인 선박의 방향을 회전하는데 필요한 충분한 수심을 갖춘 정온한 수면적으로서 끝배의 사용 유무, 쓰러스터(Thruster) 장착 유무, 닻의 이용 여부, 선박의 선회성능, 계류시설, 항로의 배치, 기상·해양조건을 충분히 고려한다.

#### [해설]

선박의 선수 회전형태(船首 回轉形態)에 따라 끝배를 이용하는 선박의 회전, 충분한 마력을 갖는 쓰러스터(Thruster)를 이용한 회전이나 닻을 이용한 회전 등이다.

### 4.4.2 선회장의 규모

선박을 선회하는데 필요한 수면적은 해상조건, 대상선박의 특성, 수심, 정온도 등을 고려하여 일정한 규모 이상을 확보하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 선회장은 다른 수역시설 등을 고려하여 가급적 접안시설 전면에 계획하는 것이 바람직하고 필요시 해상조건, 대상선박의 조종특성, 끝배 사용 유무, 쓰러스터 유무, 용량 등을 고려한 선박조종 시뮬레이션을 실시하여 결정하는 것이 바람직하다.
- (2) 선회장의 규모(수면적)는 다음 값을 참고하여 결정한다.
  - ① 자력에 의한 회전의 경우 :  $3L$ 을 지름으로 하는 원
  - ② 끝배에 의하여 회전하는 경우 :  $2L$ 을 지름으로 하는 원  
단, 충분한 추진력을 갖춘 쓰러스터(Thruster) 장치나, 혹은 아지무쓰 쓰러스터(Azimuth thruster) 등과 같은 특수 추진기가 장착되어 있는 선박의 경우에는 선박조종 시뮬레이션 검증 등에 의하여 안전성이 확보된다고 판단될 경우, 이보다 작게 할 수도 있다.
- (3) 소형선 등은 지형여건 등으로 어쩔 수 없는 경우에는 계류앵커, 바람 또는 조류를 이용하여 다음의 값까지 내릴 수 있다.
  - ① 자력에 의한 회전의 경우 :  $2L$ 을 지름으로 하는 원
  - ② 끝배에 의하여 회전하는 경우 :  $1.5L$ 을 지름으로 하는 원
- (4) 지형상의 제약 등으로 표준 값의 규모를 확보할 수 없는 경우나, 항로가 인접하여 있는 등 긴급 시에 대응 가능한 수역이 확보될 수 있는 경우 등 선박조종시뮬레이션 검증 등에 의하여 안전상 지장이 없다고 판단되면 선회장 규모를 위의 값보다 작게 할 수 있다.

[참 고]

- (1) 대상선박의 구체적인 제원이나 운동성능 등의 특성을 명확하게 알고 안전상 지장이 없다고 판단될 경우에는 그 규모를 표준 값보다 작게 할 수 있다.
- (2) 계류시설과 항로의 위치관계로부터 대체로 90°를 넘지 않는 범위 내에서 회전하는 경우 선박조종시물레이션 검증 등에 의하여 안전상 지장이 없다고 확인되면 선회장의 형상을 그 해역에서 가장 적절한 조선방법을 근거로 한 형상으로 할 수 있다.

#### 4.4.3 선회장의 수심

선회장의 수심은 박지의 수심을 참고로 한다.

#### 4.4.4 선회장의 정온도

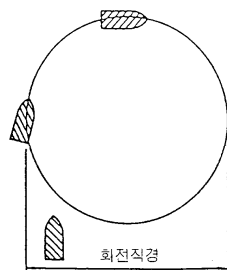
선회장의 정온도는 박지의 정온도를 참고로 한다.

#### 4.4.5 어선용 선회장

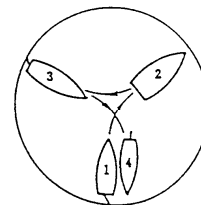
어선용 선회장은 어선의 접.이안 등을 위하여 어선을 선회하는데 필요한 수역으로 어선이 안전하게 조선할 수 있도록 일정한 규모 이상의 수면적과 수심 및 정온도 등이 확보되어야 한다.

[해 설]

어선은 일반적으로 자력에 의하여 회전하므로 중·소형의 어선은 정온한 수역일 때 선장의 1.5L을 지름으로 하는 원형의 수면적이 필요하고, 바람, 조류를 고려하면 2.0L을 지름으로 하는 원형의 수면적이 필요하다. 중.소형 어선의 회전은 해설 그림 (4.4-1)과 같이 하고, 어선의 조선 순서를 그림으로 나타내면 해설 그림 (4.4-2)와 같다.



해설 그림 (4.4-1) 어선의 회전



해설 그림 (4.4-2) 어선의 조선 순서



## 4.5 소형선 정박지

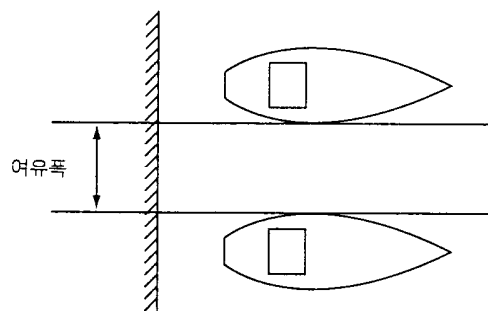
소형선 정박지는 선박의 계류시 안전성, 조선의 용이도, 기상·해양조건, 관련시설과의 연관성 등을 고려하여 정한다.

### [해설]

- (1) 소형선 정박지는 항만시설 가운데 수역시설인 정박지의 하나로서 소형선박 및 부선(艇船)이 정박하는 수역(水域)을 의미한다. 폭풍 시에도 안전한 정박이 가능하여야 하며, 일반적으로 내항(內港) 부분에 설치한다.
- (2) 소형선 정박지의 면적은 선박의 점유면적, 통항로 및 선회장을 고려하여 정하지만 악천후시의 대피상황을 염두에 두고 충분한 수면적을 확보하는 것이 바람직하다.
- (3) 소형선 정박지의 형상은 파랑에 대한 소요 정온도를 확보하고, 선박간의 접촉사고, 계류라인의 절단 등이 일어나지 않도록 배려할 필요가 있다.
- (4) 휴게시설의 규모는 이용실태를 고려하여 적절한 여유 폭(선박간의 간격)을 더하여 필요 연장을 산출한다. 어선 등의 소형선이 이용하는 휴게시설로 종접안방식의 계류를 할 경우의 여유 폭은 이용자가 지장을 받지 않도록 하며, 선폭과 여유 폭의 관계는 해설 표 (4.5-1)과 해설 그림 (4.5-1)을 참고한다.

해설 표 (4.5-1) 선폭과 여유 폭의 관계

선 폭(船幅)	여유 폭(餘裕幅)
2m 미만	1.0 ~ 2.0m
2m 이상 4m 미만	1.5 ~ 2.5m
4m 이상	2.0 ~ 3.0m



해설 그림 (4.5-1) 선폭과 여유 폭의 관계

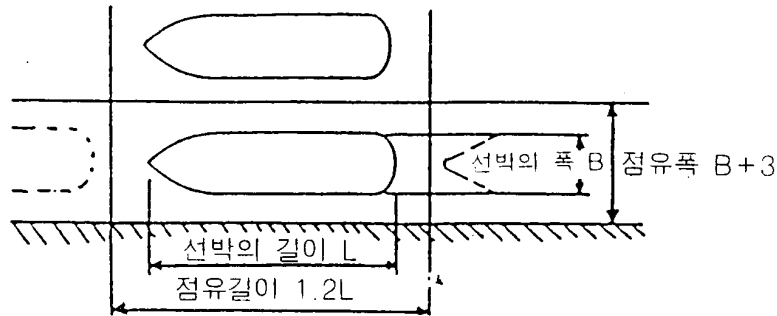
- (5) 대선, 종선(從船), 연락선(通船) 등의 소형선 정박지는 본선에 가깝고 육상교통이 편리한 장소로 하는 것이 바람직하다.

[참 고]

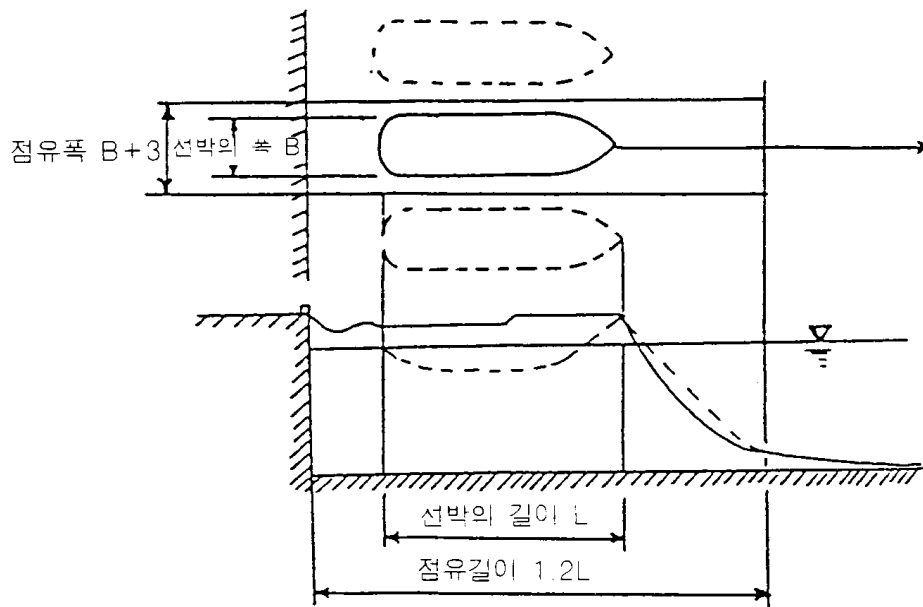
소형선 정박지의 형상은 부진동에 의한 선박끼리의 접촉사고, 계류라인의 절단 등이 일어나지 않도록 신중히 결정하여야 하며, 가능하면 형상을 복잡하게 하거나 소파시설, 경사면 설치 등의 조치가 효과적이다. 소형선의 점유면적은 다음을 참고로 한다.

- (1) 횡접안 시  $1.2L$  및  $(B+1)$ 을 각 변으로 하는 직사각형의 면적
- (2) 종접안 시  $(L+5)$  및  $(B+3)$ 을 각 변으로 하는 직사각형의 면적
- (3) 2중 종접안 시  $2.5L$  및  $(B+3)$ 을 각 변으로 하는 직사각형의 면적

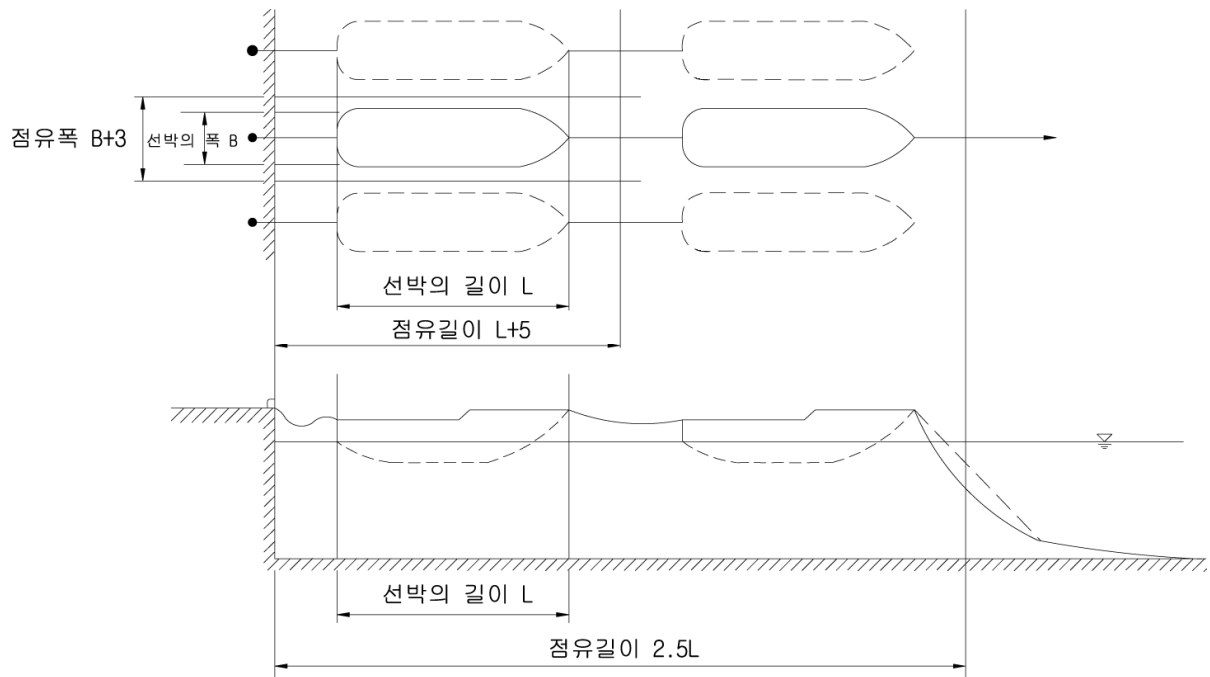
횡접안은 참고 그림 (4.5-1)과 같이 계류한 경우이며, 2중 횡접안의 경우도 점유면적은 같다. 종접안은 참고 그림 (4.5-2)와 같으며, 닻줄이 해저까지 닿는 길이까지를 점유 길이로 하고, 2중 종접안은 참고 그림 (4.5-3)과 같다.



참고 그림 (4.5-1) 횡접안 및 2중 횡접안



참고 그림 (4.5-2) 종접안



참고 그림 (4.5-3) 2중 종접안

## 4.6 어선용 슬립 및 기타수역

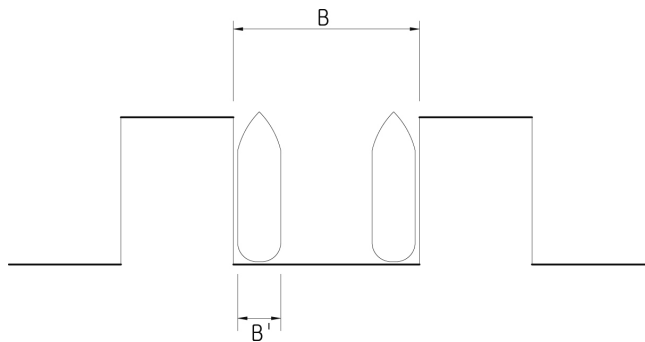
### 4.6.1 어선용 슬립

슬립(Slip)은 돌출제(突出堤)사이의 계류 및 조선수역으로 그 폭은 선형, 선석수, 끝배 이용 여부 등을 고려하여 정한다.

#### [해설]

다수의 돌제가 병렬로 시설되어 있을 경우 슬립의 폭은 다음의 값을 표준으로 한다.

(1) 슬립의 양쪽에 각 1선석을 계획하는 경우



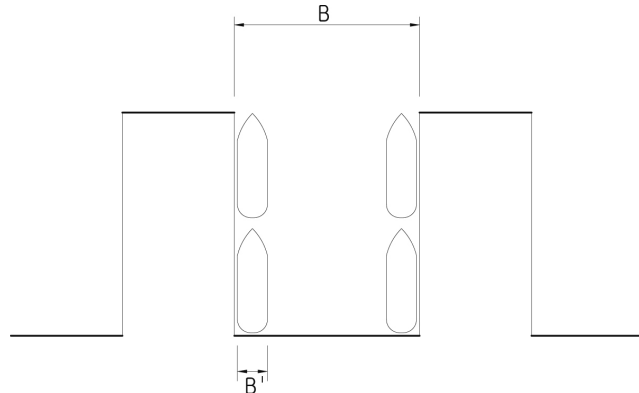
$$B = 2B' + (10 \sim 40\text{m})$$

여기서,  $B$ 는 슬립의 폭

$B'$ 는 선박의 폭

## 수역시설

(2) 슬립의 양쪽에 각 2선석을 계획하는 경우



$$B = 4B' + (10 \sim 40\text{m})$$

(3) 슬립의 양쪽에 각 3선석 이상을 계획하는 경우

$$B = 6B' + (10 \sim 40\text{m})$$

(4) 돌출제 안쪽 막다른 곳을 소형선 정박지로 사용하는 경우, 이용 어선 수 등을 고려하여 폭을 여유 있게 계획하는 것이 바람직하다.

### 4.6.2 수역시설 충족률

수역시설 충족률이 클수록 수역시설은 충족도가 높다. 충족률은 100% 이상이 필요하지 않다고 판단할 수 있으나 항내 정온도 확보와 원활한 조선을 위해서는 기타 여유 수역이 있어야 하며, 수역시설의 소요면적은 어선의 증가나 대형화에 따라 소요수역이 증대되고, 필요하면 충족률은 저하될 수밖에 없으므로 반드시 100%에 구애받지 않아도 된다.

### [참 고]

수역시설의 충족률은 다음의 식으로 계산한다.

$$A(\%) = \frac{(D - L)}{D} \times 100$$

여기서,  $A$  : 충족률(%)

$D$  : 소요 수면적( $\text{m}^2$ )

$L$  : 부족면적(소요 면적-현재 면적) ( $\text{m}^2$ )

### 4.6.3 기타 수역

어선용 수역시설에는 장차 어항의 기능을 다양화하여 다기능어항으로 계획할 경우에 대비하여 기타용도의 수역을 충분히 확보해 둘 필요가 있다.

**[해설]**

기능별 수역시설은 필요한 수역을 산정하여 배치하게 되나, 현지의 지형여건에 따라서는 소요기능을 모두 배치하는데 어려운 경우가 발생할 수 있다. 따라서 전체 수역면적은 현지의 여건 및 지형을 충분히 고려하여 충분히 넓게 계획하여야 하며, 이 경우 소요수역 이외의 기타 수역이 발생한다. 이 수역은 항내 정온도 향상과 조선을 원활하게 하는데 유효하게 사용될 수 있고, 또 앞으로 다기능어항으로 계획할 경우 활어의 보관장, 항내 가두리시설 등 지역 특성에 따라 기타 수역의 활용방안이 기대되는 경우도 고려할 필요가 있다.

**4.7 목재정리장**

목재정리만을 위하여 사용되는 선박의 정박지에는 목재의 유출을 방지하는 시설로서 목재계류용 말뚝, 목재유출방지책(柵) 등이 있다. 이 정박지의 주위에 외곽시설을 설치하게 되는 경우에는 이들 시설을 대신할 수도 있다. 이들 시설의 구조, 설비 등에 대하여는 KDS 64 45 20 방파제(4.11 목재취급시설의 방파제), KDS 64 90 10 항만 하역시설(4.4 목재 하역장)에 따른다.

**4.8 수역시설의 유지 관리**

수역시설은 선박이 안전하고 원활하게 이용할 수 있도록, 자연 상황 및 시설의 이용 상황에 따라 적절한 기준에 근거하여 유지 관리해야 한다.

**[해설]**

- (1) 하구항 또는 표사가 많은 것으로 예상되는 해빈부에 수역시설을 계획할 때, 홍수 시의 유사량 또는 파랑 및 조류에 의한 표사량을 추정하고, 장래에 필요한 유지준설의 정도를 예측한다.
- (2) 토사 등에 의한 매몰 우려가 있는 수역시설은 정기점검을 시행함과 동시에 필요에 따라 이상시 점검을 시행한다. 점검결과 수심이나 소요 폭이 확보되지 않을 우려가 있으면 필요한 대책을 강구한다.
- (3) 정기점검이란 미리 실시시기와 구역을 정하여 시행하는 것이고, 이상시 점검이란 이상 기상 등으로 어느 구역이 매몰될 것으로 추정되는 경우의 점검이다.
- (4) 수역시설은 지형, 저질, 기상·해상 등 시설마다 정한 상황이 서로 다르므로 점검의 간격, 평가 및 대책에 대하여는 각각 상황에 따라 적절히 정하여 시행한다.
- (5) 어항에서는 연안표사 및 하천유입 토사량을 파악하여 어선이 항상 안전한 운항, 정박 및 계류가 가능하도록 유지관리가 필요하다.

[참고문헌]

- 1) PIANC(1995), Criteria for movements of moored ships in harbours - a practical guide -, Report of working group no.21
- 2) PIANC(2014), Harbour approach channels design guidelines, PIANC report no. 121
- 3) Tsinker(1996), Handbook of port & harbor engineering
- 4) Tsinker(2004), Port engineering
- 5) 日本港灣協會(2007), 港灣の 施設の 技術上の 基準・同解説, pp763~810

집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전문
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	사무
	재료, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전문
	계류시설	이욱한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전문
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케이엔이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총 괄	주 재 욱	(주)평화엔지니어링	고 문
	과랑및과력	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	조 석	강 석 구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이 윤 한	(주)도화엔지니어링	부 회 장
	지 반	임 중 철	부 산 대 학 교	교 수
	콘 크 리 트	김 우	전 남 대 학 교	교 수
	방식·도장	라 윤 강	(주)한국국토안전연구원	원 장
	외 괄 시 설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	김 효 섭	국 민 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	재료·계류시설	이 진 용	(주)세광종합기술단	사 장
	재료·계류시설	정 대 연	(주)대영엔지니어링	대 표 이 사
	부 두 포 장	정 진 훈	인 하 대 학 교	교 수
	내 진	박 두 희	한 양 대 학 교	교 수
	전문맞기타부두	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	어 항	이 상 기	(주)건 일	부 사 장
	마 리 나	지 삼 업	부 경 대 학 교	교 수
	항로표지시설	이 승 재	대 기 해 양 (주)	상 임 고 문
	항만하역시설	함 성 진	(사)인천항시설관리센터	소 장
	항만전기설비	김 세 동	두 원 공 과 대 학 교	교 수



기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 40 10 : 2017

## 수역시설

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 40 20 : 2017

# 준 설

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만설계기준 제정</li> <li>• 설계조건, 구역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록</li> </ul>	제정 (1971.12)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정</li> </ul>	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정</li> </ul>	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정</li> </ul>	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정</li> </ul>	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정</li> </ul>	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	2
1.6 설계고려사항	2
2. 조사 및 계획	3
2.1 자연조건조사	3
2.2 지반조사	4
2.3 수심측량	6
2.4 위험물 탐사(危險物 探查)	7
2.5 환경조사	8
2.6 기타사항	9
3. 재료	9
4. 설계	10
4.1 준설토량 산정	10
4.2 준설회선의 선정	12
4.3 준설회 투기장 선정과 투기방법	16



## KDS 64 40 20 준설

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 항만 및 어항개발에 따른 준설계획 및 설계, 시공에 필요한 기술적 사항에 대해 정함을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

이 기준은 항만 및 어항시설 중 수역시설인 항로 및 박지, 선회장, 소형선 정박지 등의 계획수심 확보 및 수심유지를 위한 준설 등의 설계에 적용한다.

#### 1.3 참고기준

KDS 11 30 05 연약지반 설계기준

#### 1.4 용어의 정의

- 여굴(餘掘, Extra-dredging) : 준설공사는 준설장비를 투입하여 준설토를 굴착하기 때문에 계획수심을 굴착하더라도 굴착면에 기복(굴적:堀跡)이 생겨서 계획수심 확보를 위해서는 계획수심 밑으로 어느 정도 더 파야 계획수심이 확보되는데 이때 더 파는 깊이를 여굴이라 말한다.
- 여쇄(餘碎, Over breaking depth) : 암반 준설에서 계획수심까지 암석을 파쇄 후 준설할 경우, 계획수심 확보 외에 추가로 더 많은 양을 파쇄하여야 한다. 이때 파쇄하는 양을 여쇄라 말한다.
- 조수대기(潮水待期, Waiting for tide) : 해면이 하루에 2회의 승강을 반복하는데 해저지형이 알아서 작업선박의 진출입이 어려울 경우 일정수심이 확보되는 조위 상승시까지 기다리는 상태를 말한다.

## 1.5 기호의 정의

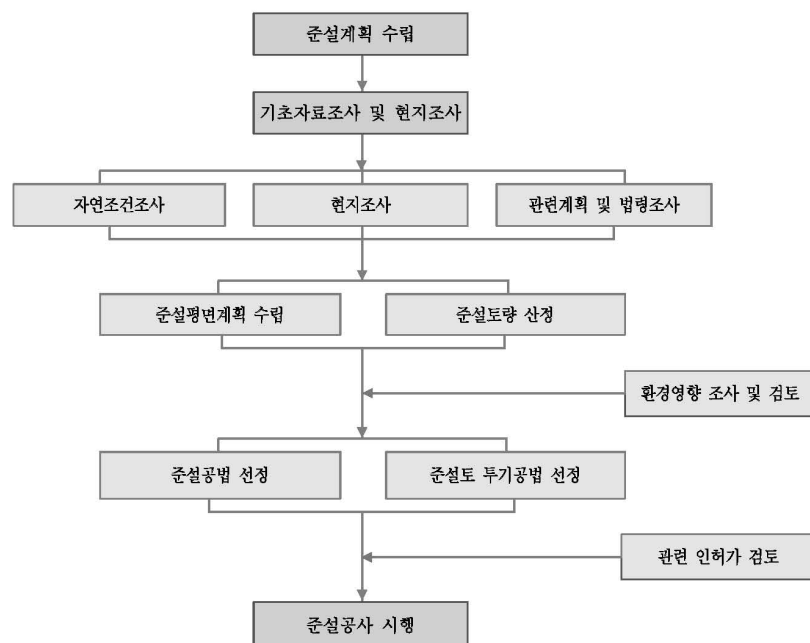
내용 없음

## 1.6 설계고려사항

준설의 계획 및 설계 시에는 자연조건, 지반조건을 사전에 충분히 조사, 파악하고 준설목적, 준설토량, 공사기간, 투기조건 및 장소와, 공사지역의 여건 등을 감안하여 경제적이고 효과적인 준설방법, 준설장비의 선정, 적정선단 배치계획을 수립하여야 한다.

### [해설]

- (1) 준설은 항로, 박지, 선회장과 소형선 정박지 등의 계획수심 확보와 수심유지를 위하여 해저 지반을 준설장비로 준설하고 준설된 토사 등은 토운선에 의하여 운반하여 지정된 투기장에 투기하는 공사이며, 광역의 의미로는 구조물 건설을 위한 기초터파기도 준설공사에 속하나 일반적으로 소량인 경우가 많으므로 기초터파기는 별도 공종으로 분류되기도 한다.
- (2) 준설을 경제적이고 효과적으로 시행하려면 기상 및 해상조건, 지반조건, 준설토량, 공사기간, 투기조건 등을 고려한 적정 준설장비 선정 및 선단구성으로 준설방법을 계획하고 자연조건 등을 감안하여 현장여건에 맞는 계획수립이 필요하며 준설계획 수립 흐름도는 다음과 같다.



해설 그림 (1.6-1) 준설계획 수립흐름도



## 2. 조사 및 계획

### 2.1 자연조건조사

- (1) 준설은 기상 및 해상, 지리·지형 등의 자연조건조사와 해상작업 한계 및 월간작업 가능일수 등을 사전에 충분히 파악하여 계획하여야 한다.
- (2) 해상조사는 준설해역의 파랑, 조석, 조류 등이 분석되어 준설 계획 및 설계에 반영되도록 한다.

#### [해설]

- (1) 준설은 준설선 등에 의한 해상공사이므로 선체 및 기타공사 장비의 안정성이 확보되고 작업능률을 향상시켜야 하며 시공에도 정밀도를 요구하고 있기 때문에 안전 관리상 지형, 지반 및 기타 자연조건에 대한 영향을 충분히 조사하여야 한다.
- (2) 기 상
  - 기상조건은 연간 기상특성과 기상통계를 분석하여 공사기간중의 작업능률 저하 및 작업선 안전에 미치는 영향을 파악하여 공사에 차질이 생기지 않도록 하여야 한다.
  - ① 풍향·풍속
    - 풍속은 파랑발생의 원인이 되므로 풍향별 풍속 및 지속시간 등을 가급적 상세히 조사·분석 한다. 풍속이 15m/sec 이상이면 준설작업이 어렵다.
  - ② 강우량·기온
    - 준설장비에 의한 해상작업이므로 일반적으로 강우량·기온에 대하여는 별 영향을 받지 않지만 특별한 지역인 경우 예를 들면 하구항(河口港)에서는 강우로 인한 홍수 및 유송토사의 영향을 받을 수 있으므로 강우량, 강우형태, 우기 및 홍수량 등을 조사하여야 한다. 또 한냉지(寒冷地)인 경우에는 결빙(結氷)개시일 및 결빙일수 등을 조사할 필요가 있다.
  - ③ 안 개
    - 안개가 발생하는 지역에서는 작업의 어려움보다 안전성, 안전사고에 대비하여야 하므로 연간 안개발생일수의 예측과 발생시기, 지속시간 등의 상황조사도 중요하다. 시계(視界)가 1Km 이하인 경우에는 토운선에 의한 준설토 운반은 중단하는 것이 좋다.
- (3) 해 상
  - ① 조위차가 큰 장소의 준설
    - 조위차가 큰 장소에서의 준설 시에는 조위관측지점과 공사현장간의 조위차에 의한 수준표고(水準標高)측정 조위에 의한 오차를 최소화하기 위하여 준설 시 준설위치의 공사용 기준점 수위측량에 의한 정확한 조위를 확인하여 준설의 정밀도를 향상시켜야 한다.

## 준설

### ② 굴곡과 요철이 심한 항로의 준설

굴곡과 요철이 심한 항로 등에서는 조류로 인하여 종단 및 횡단방향으로 경사가 생기기 쉬워 가까운 지점간이라 하더라도 조위가 서로 다를 수 있으므로 준설공사 시에는 기준점에 대한 수준측량 성과를 이용하여 작업구역내의 조위를 확인하여야 한다. 검조소(檢潮所)가 멀리 떨어져 있는 곳에서는 수준측량성과에 기준하여 현장 조위를 확인하고, 검조소의 검조기록과 공사현장의 실 조위 간의 관계를 규명하여 조위를 보정(補正)하여야 한다.

## 2.2 지반조사

- (1) 준설의 계획 및 설계 시 지반조건은 준설능률과 밀접한 관계가 있어 토질별 준설량에 따라 투입장비의 선정 및 공사기간 산출 등의 공정계획이 수립되므로 사전에 지반조사를 시행하여야 한다.
- (2) 지반조사 심도는 준설계획 수심보다 깊게 조사되어야 하고 준설계획 심도내의 토질별 토성파악은 준설선 선정과 운반방법, 토량계산 및 공사비 산정, 투기장 규모 검토에 중요한 자료로 이용되므로 주의하여 결정하여야 한다.
- (3) 지반조사의 간격은 대상범위, 토층분포상태, 설계정밀도 요구에 따라 결정한다.

### [해설]

#### (1) 지반조사 방법

지반조사의 방법은 KDS 11 30 05 연약지반 설계기준에서 정한 바에 따라 적절한 방법으로 시행한다.

- ① 로터리 보링에 의한 방법
- ② 퍼커션 보링에 의한 방법
- ③ 시굴(試掘)에 의한 방법
- ④ 해저관찰에 의한 방법
- ⑤ 물리탐사(物理探查)에 의한 방법
- ⑥ 제트보링에 의한 방법

#### (2) 토질시험

토질시험 항목은 대체로 다음과 같으며 이 외에도 풍화 또는 균열의 정도를 관찰할 필요가 있다.

- ① 입도분석
- ② 비중시험
- ③ 단위중량
- ④ 일축압축시험
- ⑤ 표준관입시험, 콘관입시험

## (3) 시험준설

시험준설은 지반조건이 매우 복잡하거나 준설장비 선택판단이 애매할 경우, 특히 암준설이 필요한 경우에 시행한다. 시험준설에 사용하는 준설선은 대체로 토질 조건에 적합한 준설선을 사용하는 것이 좋으나, 그렇지 못할 경우에는 대형 그레브 준설선으로 시행하는 것이 준설선의 형식선정, 능력판단 등에 도움이 된다.

## (4) 물리탐사

탄성과 탐사 등의 물리탐사에 의하여 토질의 분포, 단층의 상황과 토질별 개략적인 층의 두께 등을 빠른 시간 내에 경제적으로 조사할 수 있다. 탐사 및 결과해석에는 숙련된 전문기술자가 필요하다.

## (5) 제트보링

보조적인 방법으로 제트보링을 하는 경우가 있다. 지층의 기복이 심한 장소에서는 시추조사 결과만으로 지질분포를 추정하는데 무리가 많으므로 시추조사공 사이를 조사비가 싼 제트보링을 시행하여 정확히 토질을 판단할 수 있다. 이 경우 제트보링은 정성적(定性的)이므로 로터리 보링 방법과의 상관성을 미리 파악하여 두면 정확한 토질을 판단할 수 있다.

## (6) 기타 방법

지지력이 큰 지반이라고 하여 반드시 굴착저항이 크지는 않으며, 토사의 굴착효율 등 준설공사의 특수요인이 있음을 고려할 때 시추조사에 의한 각종 시험결과도 단순한 참고자료에 불과하므로 시험준설을 시행하면 판단에 도움이 된다.

토질, 토층에 따라서는 철봉 등으로 해저를 관입해보거나 제트보링에 의한 조사로 정밀도를 높이는 편이 적합한 경우도 있다.

## [참고]

준설공사를 위한 보링 조사간격은 기본계획 등 개략적인 준설토량 산출 시에는 500m 간격으로 조사하는 것이 일반적이고 실시설계 시에는 50~100m 간격으로 하고 지반조건 변동이 심한 경우 더 좁게 조사하며 다음 표를 참고하여 결정한다.

참고 표 (2.2-1) 지층상태가 수평, 연직 방향으로 비교적 균일한 경우

구 분		기준선 방향(m)	기준선의 직각방향(m)	
		조사간격	조사간격 (기준선방향)	기준선에서 거리(최대)
개략조사	넓은 지역	300 ~ 500	50	50 ~ 100
	좁은 지역	50 ~ 100		
정밀조사		50 ~ 100	20 ~ 30	

## 준설

참고 표 (2.2-2) 지층상태가 복잡한 경우

구 분	기준선 방향(m)	기준선의 직각방향(m)	
	조사간격	조사간격 (기준선방향)	기준선에서의 거리(최대)
개략조사	50 이하	20 ~ 30	50 ~ 100
정밀조사	10 ~ 30	10 ~ 20	

## 2.3 수심측량

- (1) 수심측량은 준설량을 산정할 때와 공사가 끝난 다음 계획수심확인을 위하여 정확하게 조사되어야 한다.
- (2) 수심 측정점의 위치측량은 수심측량 성과의 신뢰도와 정밀도에 미치는 영향이 크므로 공사현장여건을 고려하여 위치측정의 정밀도를 확보하여야 한다.

### [해설]

- (1) 수심이 얇고 협소한 장소(해안선 부근 암초, 접안선박 주위, 안벽 전면 등)에서의 수심측량은 눈금을 표시한 로프줄 끝에 레드(重錘 : Lead)를 묶어 수심을 측량하는 레드측심방법을 사용한다.
- (2) 일반적인 수심측량방법으로 단소자(단빔) 또는 4소자(4빔) 음향측심기를 사용하였으나 최근에는 멀티빔 음향측심기를 주로 사용하고 있다. 특히 대규모의 항로준설구역이나 정밀도를 요하는 해저장애물(어초, 해저유물, 해저송유관)등을 측량 및 확인하기 위해서는 멀티빔 음향측심기를 사용하나 소규모 구역 및 정밀도를 요구하지 않는 지역에서는 단빔 음향측심기를 사용할 수 있다. 멀티빔 음향측심의 모식도와 구성은 아래와 같다.



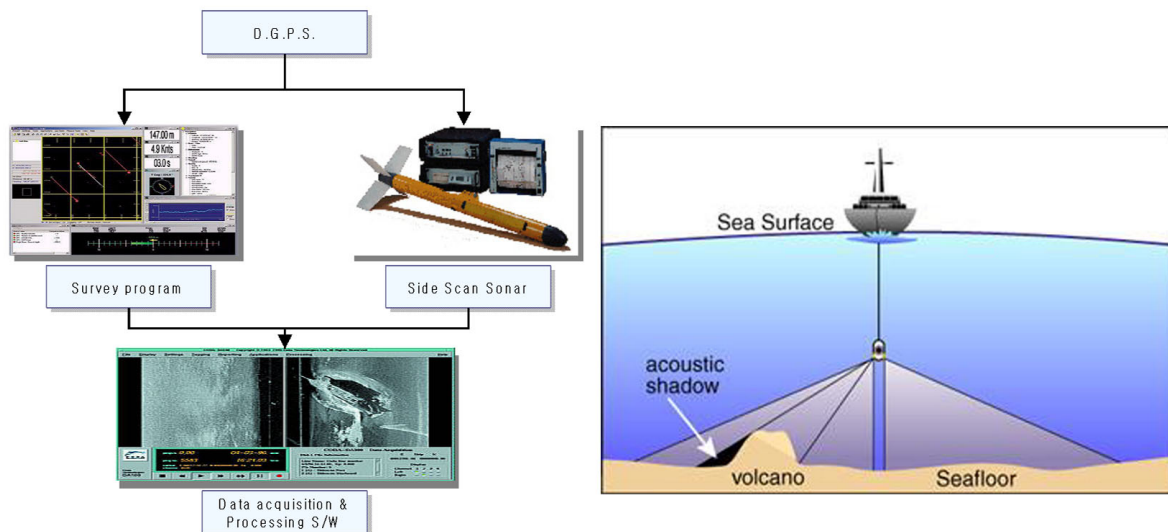
해설 그림 (2.3-1) 수심측량 개요도

## 2.4 위험물 탐사(危險物 探查)

준설공사 구역 내에 위험물이 있을 것으로 예상되면 사전에 위험물 탐사를 실시하고 공사 중 위험물이 발견되면 관계기관에 신고하여 위험물을 제거한 후, 준설공사를 시행하여야 한다.

### [해설]

- (1) 근래에 와서는 조사기계의 발달로 해저면 영상조사(Side scan sonar survey)방법으로 해저의 암석, 모래파(Sand wave), 난파선, 지장물 및 큰 어류들까지 광역영상을 제공받아 구분할 수 있다. 해저면 영상조사는 측면주사 음향탐사기(Side scan sonar)에 의하여 탐사가 가능하며 이 시스템은 기록장치, 해중감지장치와 두 장치를 연결하는 케이블로 구성되며 시스템 구성도는 다음과 같다.



해설 그림 (2.4-1) 해저조사 개요도

- (2) 해저면 또는 해저지층에 금속성분의 위험물을 탐지하기 위해서는 자력조사가 수반되어야 한다. 자력조사는 선박의 영향을 최소화하기 위해 철제선박이 아닌 목재 또는 FRP선박을 이용하고 가능한 한 조사선 후미로 선체 길이 3배 이상의 이격거리를 두어야 한다. 또한 조사구역에 분포하는 자성체를 조사하기 위해 가능한 한 센서를 최대한 해저 가까이 투하하여 예인한다. 조사 시 조사선의 속도는 센서부양을 방지하고 충분한 분극시간을 갖도록 저속으로 운항하여야 한다. 멀티빔 음향측심기를 응용하면 준설측량, 해저위험물 조사, 인공어초 조사, 해저배관 조사 및 해저의 형상도 정확하고 효율적으로 조사가 가능하다.

## 2.5 환경조사

준설공사로 인한 해양오염, 수질오탁, 소음 또는 대기질 등 환경보전의 규제에 대비한 사전의 평가는 물론 관계법령에 따라 준설토의 투기장 지정허가를 받기 위하여 환경조사를 시행하여야 하며 준설로 인한 인근 농·어업에 대한 오염피해가 최소화 되도록 방법을 강구하여야 한다.

### [해설]

- (1) 준설공사 중 발생하는 준설토 부유사의 이동·확산 양상을 모형실험을 통해 분석하고 부유사 오염 확산을 최소화하기 위해 오타방지막 등을 설치한다. 또한 준설 시 우려되는 인근 해안의 변동에 따른 침식 또는 매물을 예상하여 최소화 대책을 수립한다. 준설토 투기장의 여수로 외측 등 오타의 정도가 심하거나 오염 확산에 의한 피해가 우려되면 오타방지막을 다중으로 설치하는 경우도 있다. 그리고 준설공사로 인한 대기오염물질, 소음 등의 영향이 예상되는 경우 준설강도 및 준설공법 검토가 필요하다.
- (2) 일반적인 준설시행에 따른 인근 해양환경영향 검토를 위한 조사항목과 실험항목은 다음과 같다.
  - ① 파랑관측
  - ② 조석관측
  - ③ 연속층별조류관측
  - ④ 부표추적
  - ⑤ 수온, 염분관측
  - ⑥ 부유사 공간 분포 및 연속조사
  - ⑦ 해양수질 및 퇴적물조사
  - ⑧ 하천유량관측
  - ⑨ 해양동식물상조사
  - ⑩ 입도분석
- (3) 해양오염확산 피해 여부를 위한 실험항목은 다음과 같다.
  - ① 파랑변형실험
  - ② 해수유동실험
  - ③ 퇴적물이동실험
  - ④ 부유사확산실험
- (4) 환경오염 피해가 예상되는 경우 다음 항목에 대한 조사와 예측을 수행할 수 있다.
  - ① 대기질
  - ② 소음

## 2.6 기타사항

준설토 투기방법에 따른 투기장 조사 및 허가 사항과 준설풍비 투입을 위한 준설풍단의 회항조건, 조수대기(潮水待期), 이상기상시 대피 등 기타 사항에 대하여도 면밀한 조사와 계획이 이루어져야 한다.

## 3. 재료

내용 없음

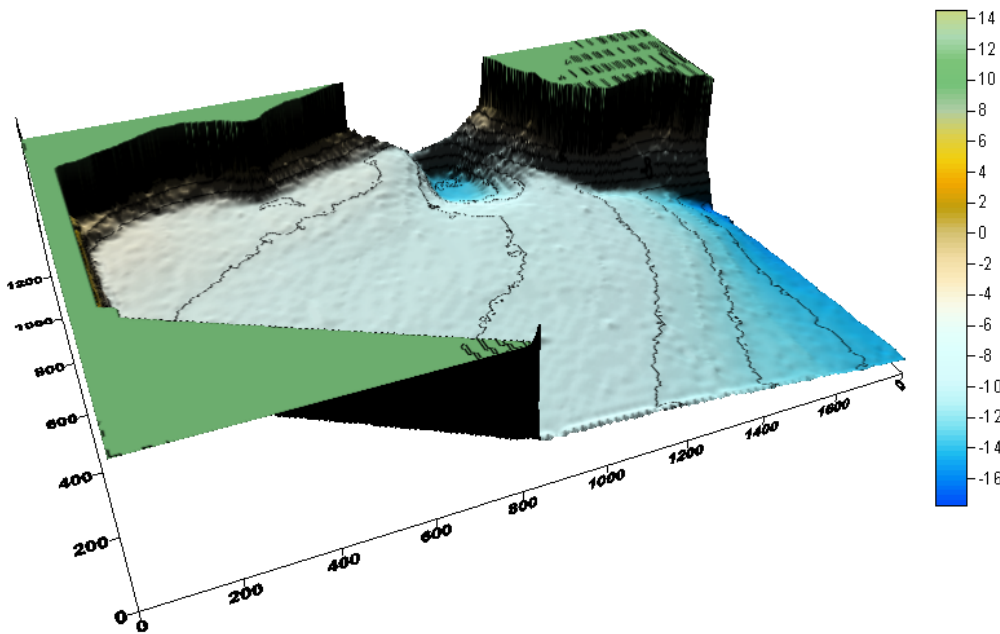
## 4. 설계

### 4.1 준설토량 산정

- (1) 준설토량은 자연상태의 해저준설토를 부피로 표시하여 계산한다. 준설구역을 적당한 간격의 횡단면도를 작성하여 양단면 평균법으로 계산한다.
- (2) 항로와 박지, 선회장 및 소형선 정박지 준설토량의 계산에서는 여굴, 여채(암반의 경우에 여채는 암반을 파쇄하고 준설토량은 여굴두께만 산정한다), 여유 폭, 준설 사면 및 사면여굴을 포함하여 계산하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 기본계획 등의 개략적인 준설토량 산출 시에는 수심별 양단면 평균법, 3차원 모델링 [해설 그림 (4.1-1) 참고] 등에 의해 산정한다. 실시설계시 일반적으로 20m 간격의 횡단면도에 의한 준설토량을 산정하며, 원지반이 불규칙하거나 평면형상에 따라 정밀을 요할 경우 횡단면도 간격을 좁게 하는 경우가 있다.



해설 그림 (4.1-1) 3차원 모델링

- (2) 횡단면 간격은 다음사항을 고려하여 결정한다.
  - ① 해저의 기복 및 경사
  - ② 준설구역의 평면 형태와 넓이
  - ③ 위치측량의 정밀도



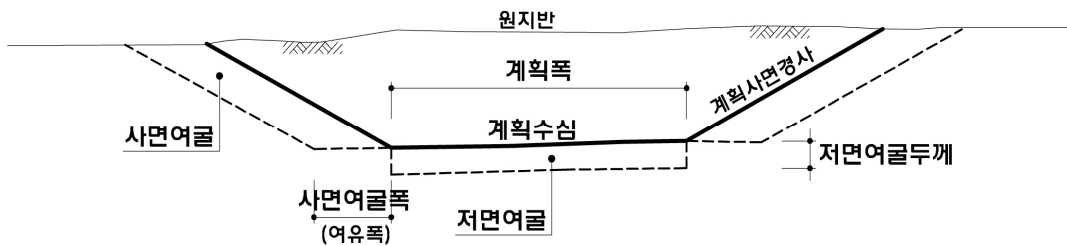
## (3) 횡단면의 간격

토량계산 시 횡단면 간격은 가능하면 좁게 하여 토량계산의 정밀도를 높여야 하나 계산이 복잡해지므로 일반적으로 20m 간격으로 시행하고 있으며 기복이 심하거나 평면 형상에 따라 정밀을 요할 경우 좁게 하는 경우가 있다.

## (4) 준설단면의 구성

## ① 토사준설의 경우

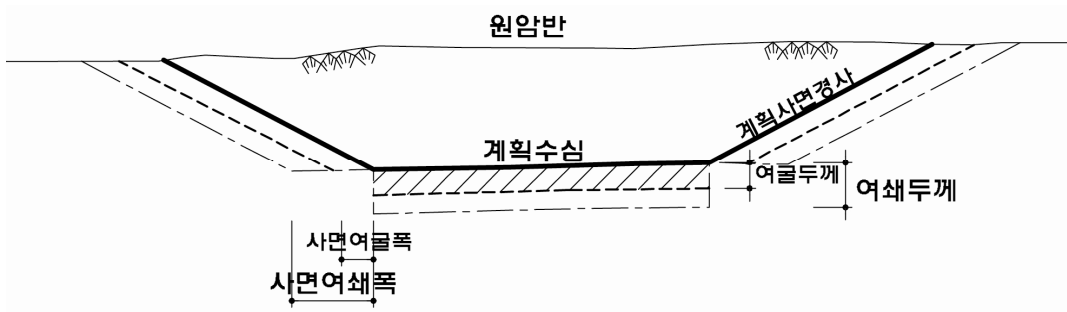
준설토량 산정을 위해 구성되는 준설단면은 계획수심, 계획폭, 저면여굴, 저면여굴두께, 사면여굴, 사면여굴폭, 계획사면경사 등을 표현하여야 한다.



해설 그림 (4.1-2) 토사준설단면 구성도

## ② 암반준설의 경우

암반준설에서는 계획수심확보 외에 추가로 여쇄두께만큼 파쇄하여야 하며 준설토량 산정 시에는 여굴두께만 계산에 포함한다.



해설 그림 (4.1-3) 암반준설 여쇄두께 구성도

## (5) 준설계획수심 결정

항로 및 박지, 선회장 및 소형선 정박지의 준설계획수심 결정은 출입하는 이용선박의 규모와 파랑, 조석, 해저토질구성 등을 고려하여 KDS 64 40 10 수역시설(4.1.4 항로 수심)을 참조하여 따른다.

## [참 고]

- (1) 준설계획 수립 후 공사비 산정에 필요한 여굴 두께, 사면여굴 폭, 여채 두께 등의 규정사항에 대하여는 항만건설공사 설계실무요령(2014, 해양수산부)을 참고한다.
- (2) 준설사면 경사(浚渫斜面 傾斜)  
준설경사면은 토질조건, 준설방법 등에 따라 준설공사 후 사면이 안정적으로 유지되게 하기 위하여 준설 시 경사면을 규정할 필요가 있다.  
준설 후 재매몰이 예방되도록 현지 특성 등을 감안하여 검토하여야 한다.  
일반적으로 사면경사는 토질의 종류에 따라 점토질 토사는 1:5~1:1.5, 사질토사는 1:3~1:1.5, 자갈 및 암반층은 1:1.5~1:1을 적용할 수 있으나 대단위 사면 형성 구역에 대해서는 원호활동 검토 등을 수행하여 사면 안정성을 검토하여야 한다.

## 4.2 준설선의 선정

### 4.2.1 준설선 선정

준설선의 선정은 지형 및 해상조건, 지반조건, 준설물량, 준설구역 범위 및 심도, 투기조건 등을 검토하여 투입선종을 결정하여야 한다.

## [참 고]

- (1) 그레브 준설선(Grab dredger)  
그레브 준설선은 그레브 버킷(Grab bucket)의 용량으로 규격을 표시하며 그레브 버킷 종류는 경량 버킷(Light bucket), 중량 버킷(Heavy duty bucket), 초중량 버킷(Ultra heavy bucket)으로 구분하고 있다.  
경량 버킷은 이토, 점토, 모래층의 준설에 적합하고 중량 버킷은 다져진 모래, 단단한 점토층의 준설에 적합하며 초중량 버킷은 다져진 모래, 단단한 점토, 부식암층의 준설에 적합하고 때로는 사력층, 전석층, 결(절리)이 많은 연암층의 준설용으로 사용하고 있다.  
그레브 준설선은 장소가 협소하거나 소규모 준설, 심도가 깊은 곳 등에 일반적으로 투입되고 있으며 기초굴착용으로도 많이 투입된다. 그레브 준설선으로 준설할 때 운반은 거의가 토운선에 적재하여 예인선으로 투기장까지 운반하여 투기한다.
- (2) 버킷 준설선(Bucket dredger)  
버킷 라인에 여러 개의 버킷을 연결부착하여 버킷 라인을 준설계획위치 해저지반상에 내려놓고 회전시키면서 준설토사를 연속적으로 준설하는 준설장비이다.  
버킷 준설선은 준설능력이 비교적 크기 때문에 대규모이고 광범위한 준설에 적합하며 그레브 준설선에 비하여 준설면의 평탄성이 좋게 시공된다.

## (3) 펌프 준설선(Pump dredger)

펌프 준설선에는 자항(自航)인 트레일링 석션 호퍼 준설선(Trailing suction hopper dredger)과 비항(非航)인 커터 석션 준설선(Cutter suction dredger)이 있다.

## ① 자항 펌프 준설선(Trailing suction hopper dredger)

자항펌프 준설선은 드래그헤드(Draghead, Trailing head, Suction head)를 준설위치에 내려 서서히 항행하면서 준설하는 트레일링 형(Trailing type)과 앵커를 고정시키고 앵커 로프(Anchor rope)를 조정하면서 준설하는 무어드 형(Moored type)이 있으나 특수한 조건이외의 경우는 준설선의 특성상 거의가 트레일링 형이 투입되고 있다.

자항 펌프 준설선은 호퍼용량으로 규격을 표시하며 소형은 750m<sup>3</sup>급이 있고 최근 준설선이 대형화 되고 있어 대형으로는 12,000m<sup>3</sup>급, 20,000m<sup>3</sup>급이 있고 초대형은 33,000m<sup>3</sup>급이 있다. 33,000m<sup>3</sup>급은 준설심도 80m도 가능하다.

## ② 비항 펌프 준설선(Cutter suction dredger)

비항 펌프 준설선은 일반적으로 선단부에 커터(Cutter)가 장착된 래더(Ladder)를 계획 준설 위치에 내린 후, 커터모터로 커터를 회전시켜 준설토사를 물과 함께 펌프로 흡입하여 송토관(送土管 : Discharge pipe line)을 통하여 투기장에 투기하는 방식의 준설선이다.

비항 펌프 준설선의 규격은 저수지 준설 및 모래 채취용으로 300HP급의 소형이 있고 보통은 10,000HP급이 많이 활용되고 있으며 최근 대형화하여 20,000HP까지 다양하게 투입되고 있다. 커터의 모양은 개방형(Open type)과 폐쇄형(Closed type)이 있다. 비항 펌프 준설선은 준설량이 대량이고 광범위한 장소에 적합하며 특히 매립을 겸한 준설 일 때 많이 활용되고 있으며 투기장 거리가 먼 경우에는 중계 펌프(Booster pump station)를 설치하여 연계하여 사용하는 경우도 있다.

## (4) 디퍼 준설선(Dipper dredger)

단단한 토질이나 암반을 파쇄한 후 준설을 하기 위하여 선단부에 디퍼 버킷(Dipper bucket)을 장착한 붐을 준설 위치에 내려 바깥으로 밀어 퍼올리는 방식으로 전진하면서 준설하는 장비이다.

준설 시 강력한 힘을 요하므로 선체를 세 개의 스퍼드로 고정시킨다. 디퍼 준설선의 규격은 2.3m<sup>3</sup>급(350HP), 4.0m<sup>3</sup>급(1,000HP) 등으로 표시되고, 디퍼 준설선은 단단한 토질의 준설이나 쇄암선에 의한 파쇄암 또는 발파암을 토운선에 적재하여 예인선으로 투기장까지 운반하여 투기한다.

## (5) 백호 준설선(Backhoe dredger)

디퍼 준설선과 유사하여 동 종류로 분류되며, 백호버킷의 장착방향이 디퍼준설선과 반대로 작동하여 안쪽으로 끌어당기며 퍼 올리는 방식으로 준설한다. 따라서 준설구역을 후진하면서 이동하게 된다. 백호준설은 준설바닥과 비탈면의 마무리공사에 정밀도가 높고 수심이 얇은 준설에 효율적이고 경제성이 있으나 수심이 10.0m 이상 깊어지면 준설은 어렵다. 백호 준설선은 버킷의 용량으로 규격을 표시하며 0.7m<sup>3</sup>급에서 5.0m<sup>3</sup>급까지 다양하다.

## 준설

### (6) 그 외의 준설선

#### ① 버킷 휠 준설선(Bucket wheel dredger)

버킷 휠 준설선(Bucket wheel dredger) 선단부에 버킷 휠을 장착한 래더로 휠을 준설 위치에 내린 후 회전시키면서 준설토사를 준설하고 이를 연결된 흡입관과 래더펌프(Ladder pump)에 의하여 메인펌프(Dredger pump)에서 흡입하여 송토관으로 사토장에 배송하는 준설선으로 펌프 준설선의 커터 대신 버킷 휠을 장착한 형태이며 선체 고정용 스퍼드(Spud) 2개가 있다.

#### ② 오니준설선(汚泥浚渫船)

해저 오니(汚泥)를 준설하기 위하여 고함니율(高含泥率)로 오타발생을 최소화 할 수 있도록 개발된 각종 오니 전용 준설선이 있다. 이들은 대부분 별도의 굴착력을 필요로 하지 않으므로 펌프준설선의 커터대신 오타확산을 막는 장치, 오니를 크게 교란시키지 않고 석션헤드로 흡입할 수 있게 하는 장치들이 장착되어 준설대상지역의 여건에 따라 적절히 선택하여 사용할 수 있다. 준설된 오니는 고화방법으로 벽돌(오니케익)모양의 고체형상으로 하여 필요한 현장에 재활용하는 기술이 개발되고 있다.

### 4.2.2 암 준설(岩 浚渫)

- (1) 준설계획지역의 지반이 단단하여 일반 준설선으로 준설을 할 수 없는 경우나 구조물이 인접하여 발파방법(發破方法)을 사용할 수 없는 경우 쇄암선에 의하여 암반을 파쇄한 후 준설한다.
  - (2) 쇄암선에 의한 방법으로 암반이 파쇄 되지 않는 단단한 지반의 준설은 화약을 사용하여 암반을 발파하는 방법으로 소요 계획심도까지 준설 한다. 화약을 사용하여 준설하는 경우 화약의 취급은 관계법규에 따라 안전조치를 취해야 한다.

### [참 고]

- (1) 암 준설은 쇄암선이나 발파공법으로 암반을 파쇄한 후 파쇄암을 준설선(그래브, 디퍼 또는 백호 준설선)으로 준설하여 토운선에 적재한 후 끝배로 투기장까지 운반하여 투기한다.
- (2) 쇄암준설  
쇄암선은 중추식(重錘式)과 충격식(衝擊式)이 있으며 중추식은 쇄암선의 중앙이나 선수에 쇄암봉(碎岩棒)을 매달아 가이드를 따라 2~3m 높이에서 중량이 10~30t 인 쇄암봉을 준설위치에 자유낙하시켜 그 충격으로 암반을 파쇄 한다.  
충격식은 충격해머를 준설위치에 내려놓고 로크해머(Rock hammer)를 작동시켜 반복 타격으로 암반을 파쇄 한다. 쇄암선의 규격은 쇄암봉의 중량을 말하며 주로 중추식이 많이 사용되고 쇄암봉의 모양은 일자문형, 환봉형, 십자형 등이 있으며 일자문형이 많이 사용된다.

### (3) 발파준설

쇄암선으로 암반이 파쇄 되지 않는 단단한 지반(암반)에서는 화약을 사용하여 암반을 폭파하여 소요심도까지 암반을 파쇄 하는 방법으로 장약방법에 따라 표면발파(表面發破)와 천공발파(穿孔發破)로 분류하고 있다.

화약류를 사용하게 되므로 화약류 사용허가, 취급보안책임자 선정 등의 관련법규를 준수 하여야 한다. 표면발파는 지형 및 주변여건에 따라 시행여부를 판단하여야 하며 지형지 물을 이용한 초기 단계에서는 가능하나 계속되는 경우 일반적으로 천공발파에 의하여 암파쇄를 하게 된다.

천공발파의 경우 천공 방법, 천공 지름, 천공 깊이, 천공 간격, 장약량, 발파시간 등 발파 방법을 확인하고 발파후의 현장정리 등에 대한 세심한 주의가 요망된다. 특히 발파전후의 안전관리에 유의하여야 한다.

## 4.2.3 오니준설

지형상 차폐되어진 항만은 해수순환의 어려움으로 주변 하천의 생활하수나 배후 산업 단지에서 유입되는 오수 등이 침전되어 수질 및 저질이 오염되기 쉽다. 이러한 항만 수역에 대한 준설 시에는 원지반의 오염실태(해수 및 저질)를 조사하고 적절한 준설 및 처리방법을 강구하여야 한다.

### [참 고]

- (1) 오염이 예상되는 해역에 대해 준설계획을 수립 시에는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.
  - ① 준설대상지의 수질, 저질오염 현황 조사
  - ② 준설범위, 준설심도, 준설량 결정
  - ③ 준설방법 결정
  - ④ 준설 오니(汚泥)의 처리방법 결정
  - ⑤ 준설에 따른 주변 영향검토 등
- (2) 오염된 해저 준설토의 준설계획 수립 시에는 관련법령에 따라 오염정도를 조사한 후 적절한 준설토의 처리 방법에 따라 처리하여야 하며 수저준설토사 유효 활용기준을 충족할 경우는 해수욕장의 양빈, 습지 등 해안의 복원, 인공섬의 조성, 어장개선사업, 항만시설 또는 어항시설의 공사용 재료로 활용할 수 있다.

## 4.3 준설토 투기장 선정과 투기방법

### 4.3.1 준설토 투기장 선정

- (1) 투기장의 위치는 준설을 능률적이고 경제적으로 시행할 수 있도록 선정하여야 한다.  
선정 조건은 다음과 같다.
- ① 준설구역과 투기장간의 거리와 경로
  - ② 투기장의 넓이와 수심
  - ③ 투기구역의 기상과 해상
  - ④ 투기구역에서의 투기토사의 안전성(표류 유무, 확산정도 등)
  - ⑤ 어업 및 기타 보상 문제
  - ⑥ 매립계획과의 관련성
  - ⑦ 투기장 인허가 등
- (2) 투기장 수토용량 산정 시에는 대부분 준설토 투기장의 수토기간, 개발계획 등이 수립되어 있어 이를 감안한 투기토의 단기적, 장기적 체적변화율과 원지반 침하량 등을 고려하여 투기장의 적정 용량을 검토하여야 한다.

### [참 고]

- (1) 준설구역과 투기장간의 거리와 경로  
가능하면 투기장 거리는 경제적인 면을 고려하면 준설구역에서 가까워야 한다.  
그러나 투기로 인한 영향을 고려하면 단순히 가까운 위치에 투기장을 선정할 수 없는 경우가 있고 이에 따라 투기장까지의 거리와 경로에 대한 기상·해상의 선박 통항 상황을 검토하여야 한다.
- (2) 투기장의 넓이와 수심  
준설토의 투기는 예인선에 의한 토운선이 주로 동원되며 토운선 항행과 투기 시 토창(土艙)의 문비(門扉)를 개폐할 때 필요한 충분한 수심이 있어야 한다.  
투기장이 넓으면 토운선을 완속으로 운항하면서 투기할 수 있으므로 능률적으로 투기를 할 수 있으나 투기장이 좁을시 토운선 운영이 비효율적이므로 배사관 송토 투기방법을 검토하여야 한다.

참고 표 (4.3-1) 토운선의 홀수와 투기장의 소요 수심

용 적(㎥)	홀수(m)	소 요 수 심(m)		
		저 개 식	측 개 식	상자형(대선)
90	0.6~3.3	2.0~3.5		
	1.1~2.0		1.4~2.5	1.6~1.7
200	0.3~2.8	0.8~7.0	1.5~4.5	2.6
	0.6~2.4			
400	0.9~3.0	2.5~5.0	3.0	2.0~3.0
	2.7~3.0			
800	0.9~3.0	2.8~8.0		3.3
	2.7~3.0			
1,500	2.8~3.9	4.0~4.5		4.5
3,000	4.0~4.1	4.0		
5,000	1.3~4.0			0.8~5.1
6,000				6.7

## (3) 투기구역의 기상과 해상 및 보상 문제

안개, 강우, 바람 등 기상 및 파랑, 조류 등의 해상여건은 준설선의 운항(운반)에 영향을 줄 뿐만 아니라 투기가 불안정하면 투기된 토사의 유실, 확산으로 예상치 못한 보상 문제 등이 야기될 수 있으므로 이로 인한 공기지연, 경제적인 손실을 방지할 수 있도록 사전에 충분히 조사하여 대처할 필요가 있다.

## (4) 매립계획과의 연관성

외해투기가 환경여건상 제약을 받고, 상당히 먼 거리에 투기하여야 할 상황이 되면 외해투기 비용이 가중되어 인근지역에 투기장 건설을 하고 투기하는 방안이 경제적인 수가 있다. 투기장 건설은 장차 조성되는 토지의 이용으로 전체사업 원가 절감도 가능하다. 준설위치와 매립위치가 멀리 떨어져 있을 경우는 자항식 펌프 준설선(Trailing suction hopper dredger)에 의한 준설, 매립이 환경적으로나 경제적으로도 유리할 수 있다.

## (5) 투기장의 인허가

준설 및 준설토의 투기는 공유수면 관리 및 매립에 관한 법률, 해양환경관리법 등이 정하는 바에 따라 해역이용협의, 폐기물 배출해역지정 등 인·허가를 받은 후 투기하여야 한다.

## 준설

### 4.3.2 준설토 투기방법

준설토는 준설선 및 장비, 투기장의 여건을 고려하여 적절한 투기방법을 강구하여 투기하여야 한다.

#### [참 고]

준설토의 투기방법은 선종별로 다음의 참고 표 (4.3-2)와 같은 투기방법이 있다.

참고 표 (4.3-2) 준설선별 준설토 투기방법

준설토의 투기방법	준설선과 준설토의 투기방법
준설토를 외해에 투기할 때	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">비 항</div> <div style="margin-right: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>버킷 준설선</li> <li>디퍼, 백호 준설선</li> <li>그래브 준설선</li> <li>펌프 준설선</li> </ul> </div> <div style="margin-right: 10px;">자 항</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>버킷 준설선</li> <li>펌프 준설선</li> <li>그래브 준설선</li> </ul> </div> </div> <div style="margin-left: 20px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>자항토운선</li> <li>예인선 및 비항토운선</li> </ul> </div>
준설토를 매립에 이용할 때	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">비항 펌프 준설선</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>직접 송토</li> <li>중계펌프선(비항 펌프 준설선 이용 또는 중계전용 펌프선)</li> <li>중계펌프</li> <li>대형 샌드캐리어 등 (자항, 토창 보유)</li> </ul> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">자항 펌프 준설선</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>직접 송토</li> <li>중계펌프선 (비항, 토창 보유)</li> <li>중계펌프</li> </ul> </div> </div>
준설토를 일정장소에 투기한 뒤, 별도의 준설방법으로 이를 다시 매립에 이용하거나, 다른 지점에 투기할 때	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">준설토를 외해에 투기할 때와 같음</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>준설토를 외해에 운반투기</li> <li>준설토를 매립에 이용</li> </ul> </div> </div>



### [참고문헌]

- (1) 한국지반공학회(2004), 준설매립과 지반환경
- (2) 한국지반공학회(2005), 준설매립
- (3) 한국지반공학회(2009), 구조물 기초 설계기준 해설
- (4) 해양수산부(2014), 항만건설공사 설계실무요령
- (5) Tsinker(U.S.A)(1996), Handbook of port & harbor engineering
- (6) Tsinker(U.S.A)(2004), Port engineering



집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전문
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	사무
	재료, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전문
	계류시설	이육한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전문
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케이엔이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총 괄	주 재 욱	(주)평화엔지니어링	고 문
	과랑및과력	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	조 석	강 석 구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이 윤 한	(주)도화엔지니어링	부 회 장
	지 반	임 중 철	부 산 대 학 교	교 수
	콘 크 리 트	김 우	전 남 대 학 교	교 수
	방식·도장	라 윤 강	(주)한국국토안전연구원	원 장
	외 괄 시 설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	김 효 섭	국 민 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	재료·계류시설	이 진 용	(주)세광종합기술단	사 장
	재료·계류시설	정 대 연	(주)대영엔지니어링	대 표 이 사
	부 두 포 장	정 진 훈	인 하 대 학 교	교 수
	내 진	박 두 희	한 양 대 학 교	교 수
	전문맞기타부두	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	어 항	이 상 기	(주)건 일	부 사 장
	마 리 나	지 삼 업	부 경 대 학 교	교 수
	항로표지시설	이 승 재	대 기 해 양 (주)	상 임 고 문
	항만하역시설	함 성 진	(사)인천항시설관리센터	소 장
	항만전기설비	김 세 동	두 원 공 과 대 학 교	교 수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 40 20 : 2017

## 준설

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 40 30 : 2017

# 매 립

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.



# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만설계기준 제정</li> <li>• 설계조건, 구역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록</li> </ul>	제정 (1971.12)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정</li> </ul>	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정</li> </ul>	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정</li> </ul>	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정</li> </ul>	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정</li> </ul>	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호의 정의 .....	1
2. 조사 및 계획 .....	2
2.1 조사 .....	2
2.2 계획 .....	3
3. 재료 .....	4
4. 설계 .....	4
4.1 매립토랑 산정 .....	4
4.2 매립지 호안구조물 .....	4
4.3 부대시설 .....	5
4.4 물막이 공사 .....	7
4.5 매립토사의 매립방법 .....	9
4.6 매립지 사후관리 .....	9
4.7 매립지 지반개량 .....	11



# KDS 64 40 30 매립

## 1. 일반사항

### 1.1 목적

이 기준은 항만 및 어항 개발에 따른 매립계획 및 설계, 사후관리에 필요한 기술적 사항에 대해 정함을 목적으로 한다.

### 1.2 적용범위

이 기준은 준설토 처분을 위한 매립지 호안과 임해지역에 부지확보를 위해 시행하는 매립 등의 설계에 적용한다.

### 1.3 참고기준

KDS 11 30 05 연약지반 설계기준

### 1.4 용어의 정의

- 여수토(余水吐, Overflow weir) : 펌프 준설선으로 준설하여 수저의 토사를 물과 함께 배사관을 통하여 매립지로 송토할 때 준설토사는 일정구배로 침전한다.  
이 때 상부의 여수(余水)를 바깥으로 유출시키는 유출구를 말한다.
- 토취장(土取場, Borrow pit) : 매립지에서 매립하고자 하는 재료(토사, 모래, 산토 등)가 부족할 경우 매립재를 파오거나 충당하는 장소를 말한다.

### 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 2. 조사 및 계획

### 2.1 조사

매립의 계획 및 설계 시에는 다음 사항을 고려하여 조사를 하여야 한다.

(1) 매립지 조사

- ① 원지반의 토질
- ② 매립지의 수심 및 지반고
- ③ 매립 계획고
- ④ 매립지의 사용목적과 사용 시기
- ⑤ 매립토량과 면적

(2) 토취장 조사

- ① 토질
- ② 토량과 면적
- ③ 위치
- ④ 운반경로와 운반방법

#### [참 고]

(1) 매립지 지반처리

매립지는 매립 후 사용목적 및 용도에 따라 필요한 지내력을 가져야 한다. 원지반과 매립토사가 양질이 아닐 경우에는 지반의 침하가 발생하고 지반침하는 원지반의 침하와 매립토사의 압밀침하도 고려되어야 하므로 침하에 대비할 필요가 있다. 특히 항로나 박지의 준설토사가 연약토사일 경우, 매립지의 지반처리 대책을 검토하여야 한다.

일반적으로 시행하고 있는 처리방법은 다음과 같다.

- ① 매립지의 이용계획이 수립된 조기 활용지역은 사질토나 경질토(硬質土)로 매립하고 사용시기가 늦을 경우 연질토로 매립하는 등 사용 시기에 맞게 매립토질을 선정할 수 있다.
- ② 준설토의 대부분이 점성토인 경우 매립지표층은 차후 지반처리용 장비의 출입 등 작업이 가능한 수준의 지지력을 갖도록 우선처리하거나 적정두께를 양질토로 매립한다.
- ③ 매립지 표층의 연약점성토를 적정두께의 양질토사로 환토한다.
- ④ 배수공법 등의 지반처리공법을 적절하게 시행한다. 또한 매립공사 중 매립토사가 구역 외로 유출될 염려가 있는 경우, 이를 방지하기 위하여 매립외곽호안에 차수공이나 필터공을 설치한다.

## (2) 구조물 기반처리

호안, 방파호안, 접속호안 및 매립에 수반되는 구조물의 기초지반처리는 일반적으로 원지반상에 시설하게 되므로 매립지 이용 시의 하중조건 등을 고려하여 적절한 기초지반처리를 고려한다.

## (3) 매립 계획고

일반적인 매립지반고는 약최고고조위에 여유높이를 계상하고 매립지내의 배수, 기타 조건을 고려하여 결정한다. 또한 인근의 지반고와의 관계를 조사하고 지반이 연약한 경우에는 매립완료후의 예상침하량을 산정하여 매립고를 높게 시공하고 침하상태를 계측관리(計測管理)하여 장기침하에 대비하여야 한다.

## 2.2 계획

매립계획을 수립할 때에는 매립지와 토취장 및 준설위치에 대한 지반, 해상·기상조건을 사전에 충분히 파악하고 매립지의 사용목적, 사용시기, 매립지반고 등을 고려하여 구조적으로 안전하고 경제적인 매립방식을 결정하여야 한다.

### [해설]

- (1) 매립은 일반적으로 임해지역에 부지확보를 목적으로 하여 연안 해면이나 하천, 호소(湖沼) 및 저습지(低濕地)의 공유수면상에 용지를 조성하는 것으로 볼 수 있다.  
항로나 박지의 준설토사를 매립토사로 이용하는 매립방법과 부지확보를 위하여 별도의 토취장에서 토사를 채취하여 매립토로 사용하는 매립방법이 있으며 매립용 토사를 채취한 후의 토취장도 이를 정리하여 용지로 이용하는 방법 등이 있다.
- (2) 매립지가 공유수면인 경우는 공유수면관리 및 매립에 관한 법률 등의 관련법이 정하는 바에 따라 매립면허 및 실시계획 인·허가 등을 받아 시행하게 된다.  
공유수면 내에 어업권, 광업권 등이 존재한다면 이 권리를 보상하여야 하므로 계획 지역의 사전 조사 시 필요한 내용을 조사하여 관련법규가 정하는 바에 따라 보상방법, 보상금액 등 사업주와 사전협의를 이루어져야 한다.

### [참고]

## (1) 공유수면의 정의

공유수면(公有水面 : Public water area)은 바다, 바닷가 및 하천·호소(湖沼)·구거(溝渠), 그 밖에 공공용으로 사용되는 수면 또는 수류(水流)로서 국유인 수면을 말한다.(공유수면 점용·사용에 의한 공유수면이 하천법, 소하천정비법, 농어촌정비법, 항만법, 어촌·어항법의 적용 또는 준용을 받는 구역일 경우에는 공유수면관리 및 매립에 관한 법률을 적용하지 아니하고 각각 해당법에 적용을 받는다.)

## (2) 공유수면 업무의 인·허가 처리

공유수면 매립의 인·허가는 공유수면 관리 및 매립에 관한 법률의 규정에 따라 인·허가를 받고 공사를 시행하여야 한다.

### 3. 재료

내용 없음
-------

### 4. 설계

#### 4.1 매립토량 산정

매립계획 시 시공토량은 원 준설토의 함수율, 입경분포, 토층구성 등 원지반 토층 특성과 준설장비에 의한 투기속도, 매립지의 개발계획(방치기간), 준설토의 침강특성을 고려한 침하량 등을 분석하여 결정하여야 한다.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### [참 고]

침하량은 원지반의 침하량과 매립토사의 침하량을 합산한다.

원지반의 침하량은 원지반 토사의 역학적 성질에 따른 침하량을 산정하고 매립토사의 침하량은 매립지의 이용하중을 고려한 매립토사의 자중압밀, 압밀침하량을 고려하여 정하는 것이 바람직하며 부득이한 경우 또는 예비조사인 경우는 매립토사의 두께에 다음의 율을 적용할 수 있다.

- (1) 사질토 : 층 두께의 5% 이하
- (2) 점성토 : 층 두께의 20% 이상
- (3) 사질토와 점성토의 혼합 : 층 두께의 10~15% 정도

#### 4.2 매립지 호안구조물

##### 4.2.1 매립지 호안구조물 설계일반

<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 매립을 위해 설치되는 호안구조물의 계획 및 설계는 설치위치와 목적, 매립토 특성에 따라 구조물에 작용하는 외력이 다르므로 하중특성 등을 조사하여 안전한 구조물이 되도록 설계하여야 한다.</li> <li>(2) 매립지 호안구조물의 설계기준, 안정성검토 등의 구체적인 사항은 KDS 64 45 40 호안을 따른다.</li> </ol>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**[해설]**

- (1) 매립지 호안구조물은 항만법 및 어촌·어항법에서 기본시설인 외곽시설에 포함된다. 매립호안은 외해에 시설되는 경우 파랑의 영향을 직접 받으므로 방파호안(防波護岸)의 기능을 유지하여야 하고 내해, 내만 및 항내에 시설되는 경우는 단순히 매립지 배후지의 토압을 주로 받는 토류벽구조물(土留壁構造物)이다. 선박을 계류하는 계류시설 겸용 호안인 경우는 계류시설 역할을 하도록 시설되어야 한다.
- (2) 매립지 호안구조물은 매립재료인 준설토, 일반산토, 기타 등에 따라 구조물에 작용하는 하중인 토압, 수압 등이 다르며, 또한 준설토 투기시와 방치시, 매립지 개발에 따른 운영시 등의 하중조건에도 안정한 구조물을 계획하여야 한다.
- (3) 해안 매립지 호안의 경우는 공사기간중의 준설토단 선박과 운영시 관리선박의 계류를 위한 간이접안시설의 적용도 검토하여야 한다.

**4.3 부대시설****4.3.1 집수정과 여수토(Overflow weir)**

집수정과 여수토는 투기장내 준설토 및 우수를 제체 바깥으로 배수시키는 구조물로서 토사유실 방지 및 배수 시 오탐수 배출을 최소화하여 외해 수질에 영향이 없도록 시설을 설치하여야 한다.

**[참고]****(1) 집수정과 여수토의 시설위치**

집수정과 여수토의 위치는 다음과 같은 사항을 고려한다.

- ① 준설토 배수시 발생될 수 있는 해양환경에 되도록 영향을 주지 않는 곳으로 정한다.
- ② 여수토 형식에 따라 적절한 지반조건을 갖추어야 한다.
- ③ 외해의 파랑이나 조류의 영향이 적어야 한다.
- ④ 여수토 위치는 배사관 출구로부터 멀리 떨어지게 하며 배송되는 준설토의 침강거리를 길게 함으로서 준설토 오니중 함유된 토립자를 완전히 침강시켜 가능한 준설토의 유실이 최소화되도록 계획한다.

**(2) 집수정 및 여수토의 규격 및 구조**

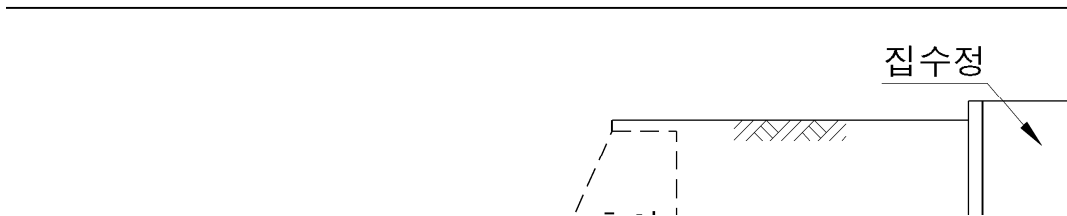
집수정의 규격, 여수토의 배출 용량은 준설토의 능력과 투입척수, 토질, 매립면적을 고려하여 결정한다. 집수정의 구조는 일반적으로 철근콘크리트 구조로 하고 물만이 월류(越流)되도록 물이 흘러나가는 방향에는 각낙판(角落板, 또는 콘크리트판)을 쌓아 올리면서 월류 높이를 조정하고 집수정에서 월류된 물이 외부로 유출되면서 작용하는 유속에 견디도록 토출구(吐出口)에 감속시설(減速施設)인 여수토(餘水吐 : Overflow weir)를 시설한다. 토출구의 배관은 흡관이나 강관(펌프 준설토의 송토관)을 이용하는 경우가

## 매립

있고 여수토는 유속에 대한 안전을 고려하여 잡석 등으로 밀다짐을 하고 콘크리트 구조나 사석으로 축조한다. 집수정은 일반적으로 저조면(低潮面)보다 높게 시설한다. 집수정과 여수토는 구조형식과 월류 방식에 따라 월류식, 관로매설식, 맨홀식 등이 있으며 투기장의 규모, 투기장 호안 형식에 따라 적합한 구조형식을 적용하여야 한다.

### (3) 여수토의 규모 및 수량

여수토의 규모와 수량은 준설수에 의한 유출량( $\text{m}^3/\text{hr}$ )과 우수에 의한 유출량( $\text{m}^3/\text{hr}$ )을 비교·검토하여 결정하여야 한다.



참고 그림 (4.3-1) 집수정과 여수토 단면(예)

### 4.3.2 오·배수시설(汚·排水施設)

배수시설은 매립지내의 우수처리 시설로서 매립지내 강우량과 인근에서 흘러 들어오는 빗물을 합하여 배수계획을 수립하고 적절한 시설(Box 또는 흡관 등)을 하여야 하며 오수시설은 매립지의 장래 이용계획에 따라 필요한 오수처리시설을 계획하여 매립지 부지조성 공사 시 반영하여야 한다.

### 4.3.3 송토관(送土管)의 배치

매립토사가 전 구간에 균질의 토층이 형성되도록 하기 위하여 매립지의 송토관의 배치와 거리를 조정하여 관리에 유의하여야 한다.

## [참 고]

- (1) 송토관은 해상관과 육상관으로 구분되며 준설선의 선미관에서 해상관의 마지막 부함까지를 해상관이라 하고 해상관 종점인 마지막 부함에서 육상부에 부설된 송토관로를 모두 합하여 육상관이라 한다.
- (2) 해상관은 부함 위에 올려놓은 해상시설관과 항로나 박지를 가로질러 부설할 경우



선박운항에 지장을 주지 않기 위한 해저시설인 침설관(沈設管)이 있다.

- (3) 육상관은 주로 매립지내 호안위에 부설되며, 호안내측의 수면 위 가대(架台 : 목재 또는 가마니 쌓기) 위에 시설되기도 한다. 육상관은 간선(幹線 : 주로 해상관)에서 육지부에 시설되며 송토관 배치시 Y형 또는 T형의 분기관(分岐管)을 연결하고 분기관에서 지관(枝管)을 일정한 간격으로 배치하여 준설토의 토층이 균등하게 매립되도록 관리하여야 한다.

#### 4.4 물막이 공사

매립공사(또는 간척공사)에서는 물막이 공사(最終締切工事)가 가장 중요한 공종이므로 물막이 공사는 면밀한 계획을 수립한 후 시행하여야 한다. 물막이 공사를 원활히 수행하기 위하여 다음사항에 대한 검토를 수행하여야 한다.

- (1) 위치 선정
- (2) 통수단면의 산정
- (3) 조류속의 검토(조류속에 견디는 물막이재료 규격 계산)
- (4) 일정 및 시공계획 수립(기상, 해상자료 분석, 소조기 조사 검토 등)
- (5) 기자재 확보(중장비 동원계획, 물막이 소요 자재확보 등)
- (6) 물막이공사 시행(1차 계획 : 단시간 내 소조위까지 시공, 2차 계획 : 중조위에서 대조위까지 시공)
- (7) 사후점검 및 유지관리

#### [해설]

- (1) 위치 선정

물막이공사시는 조류속이 가장 빠르기 때문에 빠른 조류 속에 견디는 적절한 기초지반 조건과 조류속에 의하여 피해를 받을 수 있는 범위, 기자재 운반경로 및 수단 등의 제반조건을 충분히 검토한 후 물막이공사의 위치를 선정한다.

- (2) 통수단면의 산정

- ① 물막이 구간의 유속 산정

물막이 구간의 내조지(內潮池)넓이, 물막이구간 개구부(開口部)의 폭과 길이, 내측 해수위와 조석과의 관계 등을 고려하고 소조(小潮), 중조(中潮), 대조기(大潮期)별 물막이 구간의 시공계획 폭에 대한 유속을 산정하여 유속별 대안을 강구한다.

- ② 내·외 수위차(內·外 水位差)에 의한 유속산정

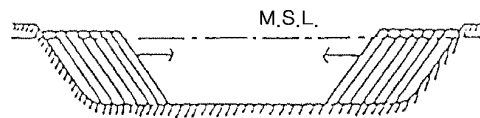
물막이 구간은 조석현상에 의한 내·외 수위차가 생기며 창조 시에는 외측에서 내조지 방향으로 낙조 시에는 내조지에서 외측으로 유속이 흐르므로 이들에 대한 유속을 산정한다.

- ③ 조류속에 대한 안정성 검토

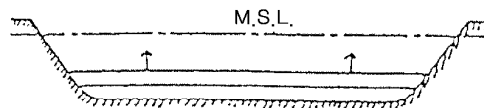
물막이공사에서의 최대유속은 4~7m/sec 정도로 빠르기 때문에 물막이 구간은 이런 유속에 견디는 중량물로 시공되어야 하며 현장 인근에서 생산되는 사석의 개당 중량이 부족할 경우 콘크리트 블록의 제작이나 돌망태 형태로 중량물을 만들어 사용하여야 한다. 또한 설계 시 바닥보호공(Sill)의 표고 및 물막이 폭의 결정은 소·중·대조기의 조석·조류조건과 시공량 및 속도 등을 고려하여 단면을 순차적으로 산정한다.

(3) 물막이 공사방법

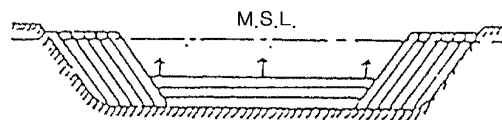
일반적으로 시행하는 물막이공사의 공사방법은 점축방법(Deep sill-sub critical method)와 점고방법(High sill-critical flow method) 그리고 점축과 점고의 복합방법(사석, 돌망태, 케이슨 등)이 있다.[해설 그림 (4.4-1) 참조]



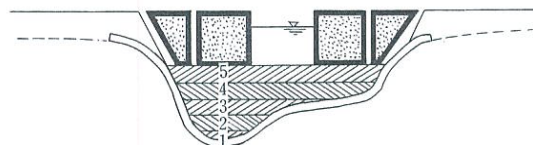
(1) 점축 방법



(2) 점고 방법



(3)-a 복합 방법(사석, 돌망태) 이용



(3)-b 복합 방법(케이슨) 이용

해설 그림 (4.4-1) 물막이공사 방법

(4) 물막이 단면의 안정성 검토

물막이공사 단면은 물론 호안단면 제체에 대하여도 활동, 전도, 원호활동, 파이핑현상 및 지반세굴에 대한 안정성 검토를 하여야 한다.

## 4.5 매립토사의 매립방법

매립공사에서의 토사매립방법은 일반적으로 다음의 방법으로 시행할 수 있으며 해상에서 매립하는 경우는 준설선 종류, 운송방법, 매립지 위치조건 등에 따라 매립방법을 적용하여야 한다.

- (1) 펌프식 준설선으로 토사를 매립지로 직접 송토하는 방법
- (2) 버킷 준설선, 디퍼·백호 준설선, 그레브 준설선 등으로 준설하여 토운선 등에 의한 운반으로 매립지내에 투기하거나 일정한 포킷에 사토한 후 펌프 준설선으로 재 송토하는 방법
- (3) 육상의 토취장이나 육상에서 발생하는 토사로 매립하는 방법

## 4.6 매립지 사후관리

### 4.6.1 매립지 사후관리

준설토로 매립된 투기장은 부지조성 사업을 통하여 항만부지로 개발, 활용되고 있으나 부지조성 사업이 장기간 지연 시에는 호안시설물의 침하 및 변형에 따른 안정성 저하와 매립 준설토에 함유된 유기물질의 부패와 염수의 담수화 영향으로 인한 유해 곤충의 방제에 대한 적절한 대책을 강구하여야 한다.

### [참 고]

매립지의 사후관리방안은 호안시설물의 관리와 해충방제 관리로 구분할 수 있으며 호안 시설물의 관리기간은 호안이 축조 완료되는 준공시점부터 부지조성공사 착공 전까지이며 해충방제 관리기간은 준설매립토의 투기시점부터 매립지 부지조성공사 착공 전까지로 설정 가능하고 이 기간에 대해 매립지 사후관리 계획을 수립한다.

### 4.6.2 매립지 호안시설물 관리

호안시설물은 매립지의 부지조성 공사 전까지 안전성을 확보하기 위해 다음과 같은 검토가 이루어져야 한다.

- (1) 호안에 대한 주기적인 침하 및 변형에 대한 모니터링 시행 및 분석
- (2) 제체 안정성 검토 및 유지관리 방안 구상

## [참 고]

일반적으로 매립지 호안시설물은 압밀 침하나 태풍 및 파랑 작용, 매립지 내측 수위상승의 영향으로 지속적으로 변형됨에 따라 호안 안정성 저하가 우려되므로 장기적인 방치 시에는 주기적인 모니터링을 시행하여 호안 안정성 확보를 위한 대책을 강구하여야 한다.

## 4.6.3 유해 곤충 방제 관리

해저 준설토로 매립된 투기장은 준설토에 함유된 유기물의 부패와 낮은 염도 조건에 의해 유해곤충의 발생이 예상되므로 인근 해충발생 사례분석 및 발생 원인을 검토하여 매립지에 대한 해충 방제 방법 및 관리 대책을 수립하여야 한다.

## [참 고]

- (1) 준설토 투기장은 유기물이 다량 함유된 준설토가 고립되어 있고 기온상승 등의 환경 조건 변화에 따라 해충발생 여건이 조성되고 염도가 낮은 특별한 환경이 조성되면 해충이 집중적으로 발생되어 인근주민 생활에 피해를 줄 수 있으므로 매립지 부지조성 개발계획 시기를 고려하여 유해 곤충의 방제에 대해서도 검토가 필요하다.
- (2) 유해곤충의 발생은 준설토의 함유 유기물 성분과 토성치, 준설토 매립지 방치기간, 기온, 염도 등이 중요 인자로서 매립지의 부지조성계획이 불투명하거나 장기화 우려가 있을 경우 해충방제에 대하여 대책을 마련할 필요가 있다. 해충방제의 대책으로는 서식환경을 제거하는 물리적 방법, 약품살포로 유해곤충을 박멸하는 화학적 방법, 미생물 제제 및 천적을 이용하는 생물학적 방법이 있다.

참고 표 (4.6-1) 해충방제 대책 종류

관리 지침	해충방제 대책
물리적 방제	-표층처리 배수공법
	-표면복토 및 고화처리공법
	-우수 및 오염원 유입 차단 등
화학적 방제	-성충 구제제(살포잔류분무법, 공간살포법 등)
	-유충 구제제(곤충성장억제제 등) 살포
생물적 방제	-조류 및 어류표식성 이입의 천적관리
	-물가파리, 좀벌 등의 기생성 천적관리
	-미생물 제제살포 등

## 4.7 매립지 지반개량

매립지의 지반개량은 매립지 원지반의 개량, 원지반 상부에 매립하는 매립토사의 개량으로 분류하여 검토한다. 원지반 및 매립토층 모두 이용시점에서 필요로 하는 지내력을 가질 수 있도록 침하축진을 위한 지반개량공법을 검토하여야 한다.

### [참 고]

- (1) 원지반의 토질조건이 다양하고 매립지의 활용목적에 따라서 이용시기나 하중조건도 다르기 때문에 적용할 수 있는 지반개량공법 또한 다양하며 유사한 경우도 있어 이 모든 내용을 충분히 검토한 후 적절한 공법을 적용한다.
- (2) 매립지는 일반적으로 침하에 대한 검토를 하고 원지반이 연약한 이토 등의 토질에서는 여건에 따라 이를 제거하거나 매립토사를 한쪽에서부터 투기하여 연약토를 후면으로 밀어 임시 이토폰드(Pond)를 형성한 후 이 부분을 별도로 개량하는 등 적절하게 처리하는 방법도 있다.
- (3) 매립토층도 양질의 토사가 아니면 이용 시 침하가 발생하므로 여성을 하여 자연상태에서 압밀을 유도하는 경우도 있으나 매립지의 사용시기 및 목적에 맞도록 지반개량을 할 필요가 있다. 지반개량에 대하여는 KDS 11 30 05 연약지반 설계기준의 관련조항을 참고로 한다.

### [참고문헌]

- 1) 농림수산부(1991), 농지개량사업계획 설계기준(해면간척편)
- 2) 한국지반공학회(2004), 준설패립과 지반환경
- 3) 한국지반공학회(2005), 준설패립
- 4) 한국토지개발공사(2005), 해안매립기술에 관한 연구
- 5) 한국지반공학회(2009), 구조물 기초 설계기준 해설
- 6) 해양수산부(2014), 항만건설공사 설계실무요령
- 7) Tsinker(U.S.A)(2004), Port engineering



집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전문
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	사무
	재료, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전문
	계류시설	이욱한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전문
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케앤이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총 괄	주 재 욱	(주)평화엔지니어링	고 문
	과랑및과력	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	조 석	강 석 구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이 윤 한	(주)도화엔지니어링	부 회 장
	지 반	임 중 철	부 산 대 학 교	교 수
	콘 크 리 트	김 우	전 남 대 학 교	교 수
	방식·도장	라 윤 강	(주)한국국토안전연구원	원 장
	외 괄 시 설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	김 효 섭	국 민 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	재료·계류시설	이 진 용	(주)세광종합기술단	사 장
	재료·계류시설	정 대 연	(주)대영엔지니어링	대 표 이 사
	부 두 포 장	정 진 훈	인 하 대 학 교	교 수
	내 진	박 두 희	한 양 대 학 교	교 수
	전문및기타부두	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	어 항	이 상 기	(주)건 일	부 사 장
	마 리 나	지 삼 업	부 경 대 학 교	교 수
	항로표지시설	이 승 재	대 기 해 양 (주)	상 임 고 문
	항만하역시설	함 성 진	(사)인천항시설관리센터	소 장
	항만전기설비	김 세 동	두 원 공 과 대 학 교	교 수



기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 40 30 : 2017

## 매립

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 45 10 : 2017

# 외곽시설 설계일반

2017년 8월

### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만설계기준 제정</li> <li>• 설계조건, 구역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록</li> </ul>	제정 (1971.12)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정</li> </ul>	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정</li> </ul>	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정</li> </ul>	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정</li> </ul>	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정</li> </ul>	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호의 정의 .....	2
1.6 시설물의 구성 .....	2
1.7 외곽시설의 유지관리 .....	2
2. 조사 및 계획 .....	2
3. 재료 .....	2
4. 설계 .....	3



## KDS 64 45 10 외곽시설 설계일반

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 항만시설 중 외곽시설을 계획하고 설계할 때에 적용하여야 할 최소한의 일반적, 기술적 기준을 정함으로써 항만시설의 안전성과 기능성 향상을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

- (1) 이 기준은 외곽시설과 관련된 구조물중 방파제, 호안, 갑문시설 등의 계획, 조사 및 설계에 적용한다.
- (2) 표사를 제어하기 위한 방사제, 도류제, 돌제, 이안제, 잠제·인공리프, 소파제 등과 침수 및 배수를 위한 수문·통문, 육갑문 등은 KDS 64 50 00 연안보전시설을 따른다.

#### [해설]

외곽시설이란 항만시설중 기본시설로서 방파제, 방사제, 파제제, 방조제, 도류제, 갑문, 호안 등을 말한다. 또한 폭풍 및 지진 해일대책 시설로서 제방, 수문 및 통문 등 침수 및 월파제어구조물과 배수관련 구조물이 있으며, 침식 및 매몰 대책 등 표사제어 시설로서 돌제, 잠제 등이 있다.

#### 1.3 참고기준

내용 없음

#### 1.4 용어의 정의

- 갑문(閘門)시설 : 조석 고저차가 큰 수역에서 내항측의 수심을 일정하게 유지하고 선박이 입출항을 원활하게 할 수 있도록 한 시설을 말한다.
- 방파제(防波堤, Breakwater) : 항내의 정온도를 유지하여 항내에서 선박이 안전하게 정박하고 하역하며 항내의 수역 및 육지에 있는 항만시설을 파랑으로부터 보호하기 위해 설치되는 시설을 말한다.
- 호안(護岸, Seawall) : 하안(河岸) 또는 제방을 유수로 인한 파괴와 침식으로부터 직접 보호하기 위하여 축조되는 구조물을 말하며 이 기준에서는 매립호안, 제방을 모두 호안이라 통칭한다.

## 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 1.6 시설물의 구성

- (1) 방파제
- (2) 기타형식의 방파제
- (3) 호안
- (4) 갑문시설

## 1.7 외곽시설의 유지관리

- (1) 외곽시설은 자연환경조건 및 해당시설의 구조특성을 감안하여 필요한 기능이 발휘될 수 있도록 적합한 기준에 따라서 유지관리 하여야 한다.
- (2) 외곽시설의 안정성, 기능성 및 손상도에 대한 점검, 평가, 보수 등에 대하여는 KDS 64 05 00 총론(4.3 항만시설의 유지관리)을 따른다.

## 2. 조사 및 계획

내용 없음

## 3. 재료

내용 없음



## 4. 설계

외곽시설의 설계에 있어서는 시설의 안정성과 기능성을 평가하여 최적의 구조형식을 채택하여 배치계획을 수립하며, 당해 항만의 발전계획, 수역시설, 계류시설 및 기타 시설과의 연계기능, 외곽시설 건설 후 발생 가능한 태풍, 해일, 풍랑 등으로 인한 자연 재해와 부근의 수역, 시설, 지형, 해수유동, 침수 및 배수, 기타 환경에 미치는 영향을 고려하여야 한다.

### [해설]

- (1) 외곽시설 기능성 평가의 주요 내용으로는 항내의 정온확보, 수심의 유지, 해안 파괴의 방지, 폭풍해일에 의한 항내의 수위상승 억제, 지진해일(쓰나미)에 의한 항내 침입파의 감쇄와 나아가 항만시설 및 배후지를 파랑으로부터 방호하는 기능을 들 수 있다. 또한 최근에는 바다의 경관이나 시설물 이용자들이 바닷물과 가까이 하는 친수기능도 요구되고 있으므로 친수성, 환경성 등도 중요한 기능평가의 대상이 된다. 일반적으로 외곽시설은 이들 기능을 복합적으로 만족할 수 있도록 설치하여야 하는 경우가 많으므로, 시설의 복합적 기능을 발휘할 수 있도록 설계에 반영한다.
- (2) 외곽시설을 건설함에 있어서는 부근의 수역, 시설, 지형, 해수유동 및 환경에 미치는 영향을 고려하여 그 배치 및 구조형식을 결정한다. 외곽시설의 구조형식과 배치계획에 따라 다음과 같은 주요 수리현상 및 환경영향이 나타날 수 있으므로 주의를 기울이고 악영향을 개선하거나 최소화할 수 있도록 대책을 강구해야 한다.
  - ① 모래 해안 및 표사이동이 활발한 해역에 외곽시설을 설치하면 항내는 물론 그 주변 해안에 토사의 퇴적 또는 침식이 발생하는 등 우려할 만한 지형변화를 유발할 수 있다.
  - ② 외곽시설의 건설에 따라 반사파가 발생되며, 이로 인한 파랑환경의 변화가 주변 해역의 자연환경 및 시설의 이용기능을 악화시킬 수 있다.
  - ③ 항내 측은 외곽시설에 의한 다중반사, 또는 항내수역 형상의 변화에 따른 부진동의 유발 등으로 인하여 항내의 정온도가 악화되는 경우도 있다.
  - ④ 외곽시설의 건설에 의하여 주변해역의 조류 또는 하천류의 유출특성 등 해수유동의 특성을 변화시켜, 국소적인 수질 및 저질 환경의 변화가 초래되는 경우도 있다.
- (3) 외곽시설의 배치계획 및 구조형식의 결정 등에 있어서는 1차적으로 파랑제어기능과 수리환경특성을 평가·고려하여야 하며, 필요한 경우 2차적으로 어패류, 해조류, 플랑크톤 등 해양생물의 생육장 기능을 부가할 수 있도록 생물서식환경을 고려하여 반영할 수 있다.
- (4) 자연공원구역이나 문화시설 등에 접근하여 외곽시설을 설치하는 경우에는 시설의 본래 기능 외에 형상, 색채 등의 경관과 친수기능에 대하여도 배려하는 것이 바람직하다.

## 외곽시설 설계일반

또한 외곽시설에 친수기능을 부가하는 경우에는 편리성, 이용자의 안전에 대한 검토가 필요하다.

- (5) 외곽시설의 손상은 항내선박, 계류시설 및 배후시설의 안전에 중대한 영향을 미치게 되므로 외곽시설의 설계, 시공 및 보수·보강 시에는 안정성에 대하여 관련규정에 충족하도록 검토해야 한다.
- (6) 자연재해대책법 관련규정에 의한 대상시설(방파제, 방사제, 파제제, 호안 등)은 수해 내구성 강화기준과 관련, 시설물의 제반사항을 관련규정에 충족하도록 검토하여 적용해야 한다.

### [참고문헌]

- 1) 국토해양부(2009), 항만시설물의 안전시설 설계지침
- 2) 국토해양부(2012), 항만 및 어항공사 표준시방서
- 3) 해양수산부(1999), 항만용어사전
- 4) 해양수산부(2014), 항만 및 어항 설계기준
- 5) 해양수산부(2017), 항만법
- 6) 일본항만협회(2007), 港灣施設の技術上の基準・同解説

집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전문
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	사무
	재료, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전문
	계류시설	이욱한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전문
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케앤이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총 괄	주 재 욱	(주)평화엔지니어링	고 문
	과랑및과력	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	조 석	강 석 구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이 윤 한	(주)도화엔지니어링	부 회 장
	지 반	임 중 철	부 산 대 학 교	교 수
	콘 크 리 트	김 우	전 남 대 학 교	교 수
	방식·도장	라 윤 강	(주)한국국토안전연구원	원 장
	외 괄 시 설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	김 효 섭	국 민 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	재료·계류시설	이 진 용	(주)세광종합기술단	사 장
	재료·계류시설	정 대 연	(주)대영엔지니어링	대 표 이 사
	부 두 포 장	정 진 훈	인 하 대 학 교	교 수
	내 진	박 두 희	한 양 대 학 교	교 수
	전문맞기타부두	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	어 항	이 상 기	(주)건 일	부 사 장
	마 리 나	지 삼 업	부 경 대 학 교	교 수
	항로표지시설	이 승 재	대 기 해 양 (주)	상 임 고 문
	항만하역시설	함 성 진	(사)인천항시설관리센터	소 장
	항만전기설비	김 세 동	두 원 공 과 대 학 교	교 수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 45 10 : 2017

## 외곽시설 설계일반

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 45 20 : 2017

# 방파제

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.



# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만설계기준 제정</li> <li>• 설계조건, 구역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록</li> </ul>	제정 (1971.12)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정</li> </ul>	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정</li> </ul>	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정</li> </ul>	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정</li> </ul>	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정</li> </ul>	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호의 정의 .....	2
1.6 시설물의 구성 .....	2
2. 조사 및 계획 .....	5
2.1 계획 .....	5
3. 재료 .....	6
4. 설계 .....	7
4.1 설계의 기본방침 .....	7
4.2 설계조건의 결정 .....	9
4.3 구조형식의 선정 .....	11
4.4 기본단면의 설정 .....	12
4.5 외력계산 .....	18
4.6 안정계산 .....	19
4.7 구조세목 .....	26
4.8 부재계산 .....	32
4.9 중력식 특수 방파제 .....	33
4.10 친수기능 방파제 .....	42
4.11 목재취급시설의 방파제 .....	42
4.12 폭풍해일 방파제 .....	44
4.13 지진해일 방파제 .....	45



## KDS 64 45 20 방파제

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 방파제를 계획하고 설계할 때에 필요한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

이 기준은 항내 정온을 유지하기 위하여 설치하는 방파제에 있어서 직립제, 혼성제, 경사제, 소파블록피복제 등 중력식방파제의 표준적인 설계기준을 제시한다.

#### 1.3 참고기준

내용 없음

#### 1.4 용어의 정의

- 경사제(傾斜堤) : 암석이나 콘크리트블록을 사다리꼴 형상으로 쌓아올린 형식을 말한다.
- 근고(根固)블록 : 직립제 또는 혼성제 직립벽 하단 끝부분에 세굴을 방지하기 위하여 설치하는 블록을 말한다.
- 소파(消波)블록피복제 : 직립제 또는 혼성제 전면에 소파블록을 설치한 형식을 말한다.
- 중력식방파제(重力式防波堤) : 파력 등의 외력을 제체중량과 그 마찰력으로 저항하도록 축조된 방파제 형식을 말한다.
- 직립제(直立堤) : 해저면에 전면이 연직인 벽체를 쌓아올린 형식을 말한다.
- 혼성제(混成堤) : 해저면에 경사제 형식으로 기초 사석부를 형성하고 그 위에 직립벽을 쌓아올린 형식을 말한다.

## 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 1.6 시설물의 구성

### 1.6.1 구조형식에 따른 분류

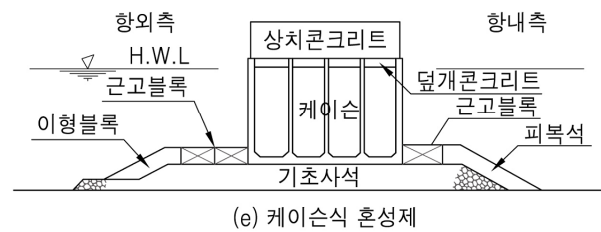
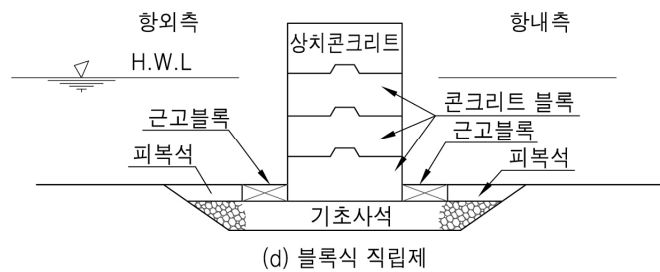
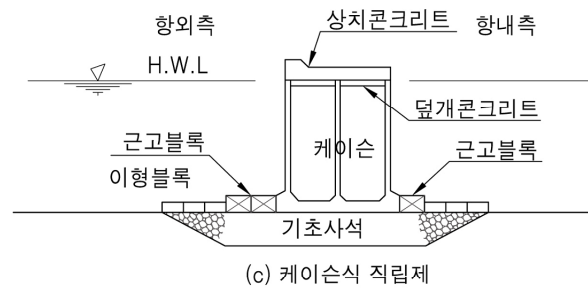
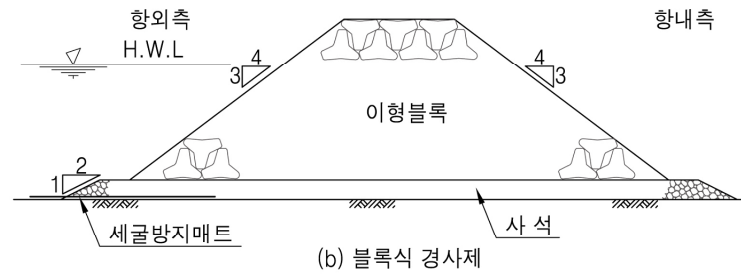
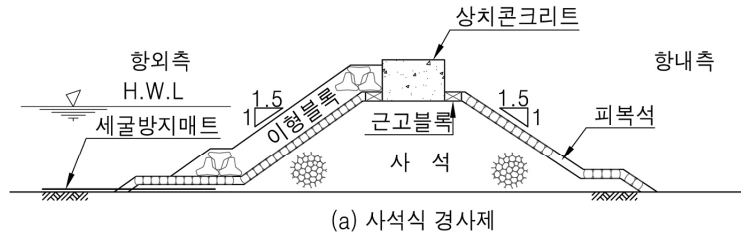
- (1) 직립제
- (2) 혼성제
- (3) 경사제
- (4) 소파블록 피복제
- (5) 중력식 특수방파제
  - ① 직립소파 블록제
  - ② 소파 케이슨제
  - ③ 상부사면 케이슨제

### 1.6.2 기능에 따른 분류

- (1) 일반적인 방파제(기본적인 기능 방파제)
- (2) 부가적인 기능 방파제
  - ① 친수기능 방파제
  - ② 목재취급시설 방파제
  - ③ 폭풍해일 방파제
  - ④ 지진해일 방파제

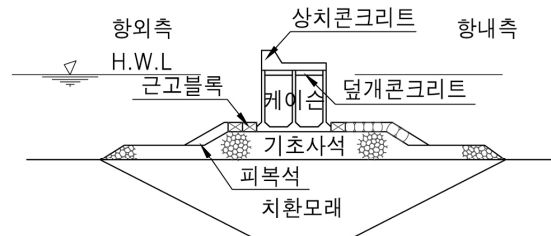
## [참 고]

- (1) 경사제는 암석이나 콘크리트 소파블록을 사다리꼴형상으로 쌓아올린 것으로서 주로 사면상의 쇄파 및 투수성과 조도에 의하여 파랑의 에너지를 소산시키거나 반사시켜 파랑의 향내진입을 차단한다.
- (2) 직립제는 전면이 연직인 벽체를 수중에 설치한 구조물로서 주로 파랑의 에너지를 반사시켜 파랑의 향내진입을 차단한다.

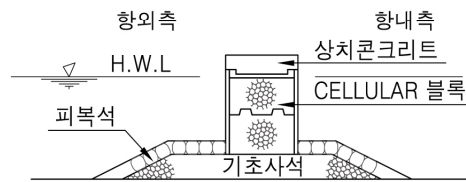


참고 그림 (1.6-1) 방파제의 형식

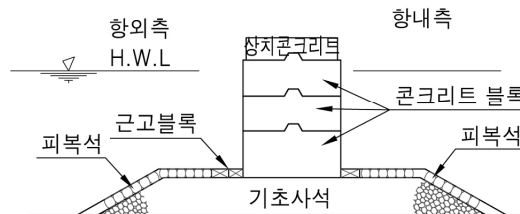
## 방파제



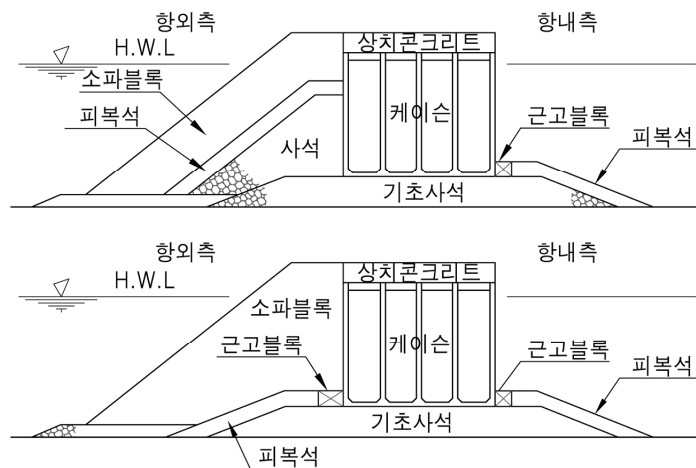
(f) 케이슨식 혼성제 (연약지반)



(g) 셀블록 혼성제



(h) 블록식 혼성제



(i) 소파블록 피복제

참고 그림 (1.6-1) 방파제의 형식 (계속)

- (3) 혼성제는 기초 사석부 위에 직립벽을 설치한 것으로 파고에 비하여 사석부 마루가 높은 경우에는 경사제에 가깝고 낮은 경우에는 직립제의 기능에 가깝다.
- (4) 소파블록 피복제는 직립제 또는 혼성제의 전면에 소파블록을 설치한 것으로 소파블록으로 파랑의 에너지를 소산시키며, 직립부는 파랑의 투과를 억제하는 기능을 가진다.

## 2. 조사 및 계획

### 2.1 계획

#### 2.1.1 방파제의 배치

- (1) 방파제는 KDS 64 40 10 수역시설(4.1.6 항로의 정온도 및 4.2.4 정박지 정온도)를 만족시키도록 배치하여야 하며, 친수성 및 친환경성 등의 기능을 복합적으로 고려하여야 한다.
- (2) 방파제는 항내 정온을 유지하여 하역효율을 높이고, 항내 항행 및 정박 중인 선박의 안전을 확보하고, 항내시설을 보전하기 위하여 설치하는 것으로서 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.
  - ① 항 입구는 가장 빈도가 높은 파랑방향과 가장 파고가 큰 방향을 피하여 항내 침입파가 가장 작도록 하여야 한다.
  - ② 방파제 배치는 길이방향 기준선이 확률적으로 발생빈도가 가장 높은 파랑방향과 가장 파고가 큰 방향에 대하여 각각 효과적으로 항내를 차폐하여 항내정온도 목표성능을 만족하여야 한다.
  - ③ 항 입구는 선박항행에 지장이 없는 유효 폭을 확보하고 선박항행이 편리하도록 선박안전항행조건을 만족하여야 한다.
  - ④ 항 입구 부근의 조류 속도는 선박항행에 지장이 없도록 최대한 작게 되는 장소를 선정하여야 하며 조류속도가 큰 경우에는 조류속 저감을 위한 대책을 세워야 한다.
  - ⑤ 제체에 의한 반사파가 항로 및 정박지의 정온도에 영향을 주거나, 주변의 연안 해역에 파랑에너지의 집중현상을 유발시키는 등 파랑환경 변화에 의한 악영향을 최소화 하여야 한다.
  - ⑥ 선박의 접안, 하역, 정박 등에 지장을 주지 않도록 수역을 확보하여야 한다.
- (3) 항내의 수질 악화 등이 우려되는 경우에는 항내 해수가 정체되지 않도록 해수 교환을 위한 대책을 수립하는 등 방파제 배치로 인하여 주변해역의 유동환경 변화에 의해 발생 가능한 수질환경 및 생태환경에 미치는 악영향을 최소화 할 수 있도록 관계기관 협의조건을 준수하여야 한다.
- (4) 방파제의 건설에 있어서는 자연조건, 시공조건은 물론 유지관리를 포함한 경제성에 대해서도 검토하여야 한다.
- (5) 항내의 필요한 정온도에 대하여는 하역가동율과 안전정박 한계파고에 대하여 검토하여야 한다. 하역가동율과 관련한 안벽전면의 정온도는 안벽전면의 파고분포 특성, 대상선박의 선체동요특성 및 하역한계 파고를 기준으로 한 한계정온도에 대하여 검토하여야 한다.

## 방파제

### [해설]

- (1) 방파제의 배치에 있어서 서로 모순되는 것도 있다. 예를 들면 항내의 정온도를 높이기 위해서는 항입구 폭은 좁을수록 좋으나 항행에는 불편하다. 또, 최다 방향의 파랑과 최고파랑의 방향이 반드시 일치하지 않는 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 선박의 이용성, 공사비, 시공성, 유지의 난이도 등을 종합적으로 검토하여 결정한다. 항내정온도의 추정 방법에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.4 파랑의 변형)을 참고한다.  
또 항만의 입구 폭 및 방향에 대하여는 KDS 64 40 10 수역시설(4.1 항로), 항내의 수면적에 대하여는 KDS 64 40 10 수역시설(4.2 박지)를 참조한다.
- (2) 방파제 배치에 있어서 다음사항에 유의하여야 한다.
  - ① 파랑 에너지가 집중되는 형상을 피한다.
  - ② 시공성과 경제성을 고려하여 지반이 특별히 나쁜 곳은 피하고 시공하기 쉬운 위치를 택한다.
  - ③ 곳(갑)이나 섬 등 지형효과를 고려하여 배치한다.
  - ④ 모래질 해안에서는 항내에 표사가 유입되지 않도록 배치한다.
  - ⑤ 방파제 설치 후 인접해역에 대한 환경적 영향에 대하여 충분히 고려한다.
- (3) 파랑 에너지의 집중에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.4.6 (3) 오목부, 방파제 두부 부근 및 도제 주변에서의 파랑변형), 그리고 모래해안에 건설하는 방파제에 대하여는 KDS 64 10 10 (4.7 표사), KDS 64 50 00 연안보전시설을 참조한다.
- (4) 유효 항입구 폭은 단순한 항 입구 폭의 직선거리가 아니라 소정의 수심을 가진 항로 폭을 말하며 항 입구를 횡단하는 조류의 속도는 일반적으로 2~3노트(Knot) 이하가 바람직하다.
- (5) 얕은 여울 주변에서는 굴절의 영향을 받아 파고가 증대하고 급사면상의 방파제에는 충격적인 파력이 작용할 수 있다. 따라서 방파제를 얕은 여울 위어나 그 바로 뒤에 배치하면 오히려 과대한 구조를 필요로 하는 경우가 있으므로 파랑환경의 공간적 특성을 고려하여 배치한다.
- (6) 개방된 외해역에 고립되어 건설되는 방파제(도제 또는 이안제)는 방파제의 연장길이가 입사파 파장의 2~3배 이하가 되면 양단으로부터 일어나는 파랑의 회절에 의한 영향으로 방파제 배후의 파고가 상당히 커질 수 있다. 이러한 파고 증대는 안정성에도 영향을 미치므로 회절파의 영향을 검토해야 한다. 회절파의 영향에 대하여는 KDS 64 10 10 (4.3.4.3 회절변형, 4.3.4.6 (3) 오목부, 방파제 두부부근 및 도제 주변에서의 파랑변형)을 참조한다.
- (7) 정박지의 정온도에 대하여는 KDS 64 40 10 (4.2.4 정박지 정온도)를 참조한다.

## 3. 재료

내용 없음



## 4. 설계

### 4.1 설계의 기본방침

방파제의 설계에 있어서는 필요에 따라 다음 사항을 검토한다.

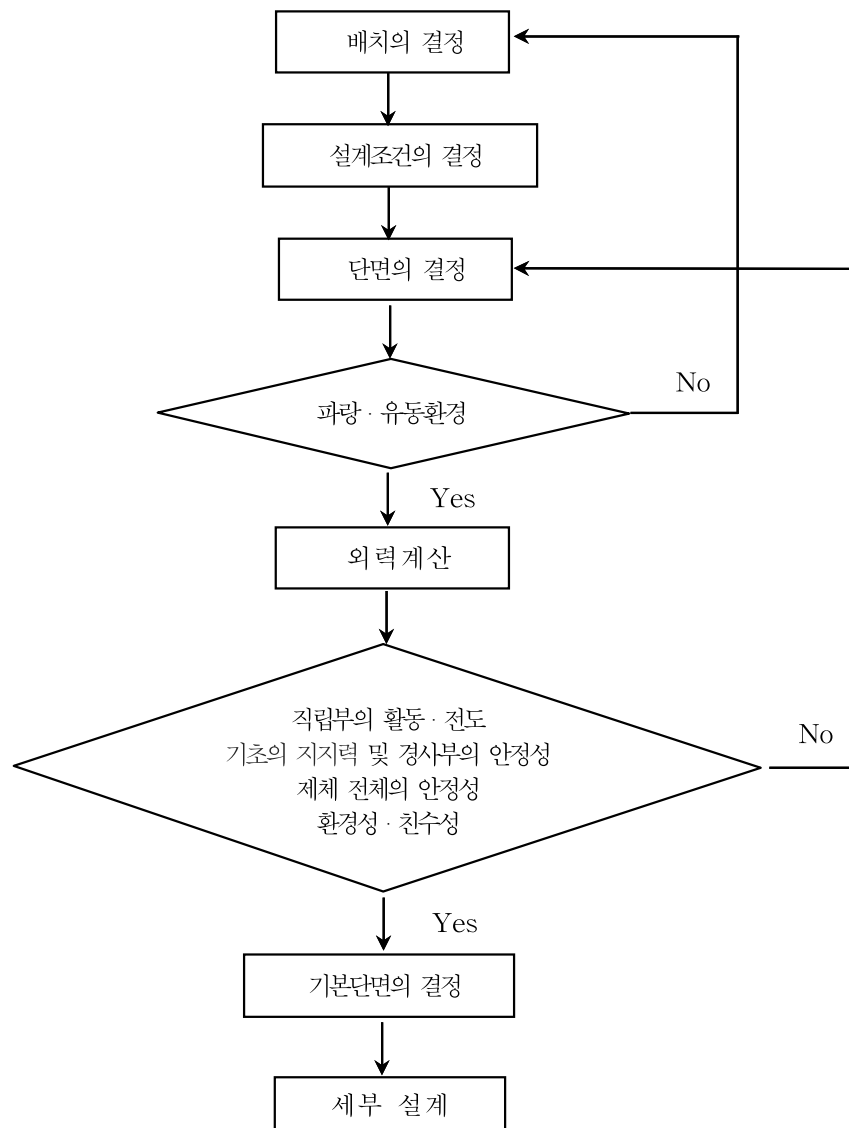
- (1) 방파제의 배치
- (2) 주변 지형에 대한 영향
- (3) 주변 환경과의 조화
- (4) 설계조건
- (5) 구조형식
- (6) 다목적사용의 유무
- (7) 설계법
- (8) 시공법
- (9) 경제성

#### [해설]

이 기준에서는 직립제, 혼성제, 경사제, 소파블록피복제 등 중력식방파제에 대하여 기술한다. 기타 구조형식의 방파제를 설계할 경우에도 방파제 설계의 기본흐름에 따라 목표로 하는 성능을 확보할 수 있는 방법으로 시행할 수 있다.

#### [참고]

- (1) 방파제의 설계는 일반적으로 다음과 같은 순서에 따라 행하는 것이 좋다[참고 그림 (4.1-1) 참조].



참고 그림 (4.1-1) 방파제의 설계순서

- (2) 방파제에 친수 및 친환경기능을 도입하여 다목적 다기능시설로 설계할 경우에는 각각의 기능 및 복합적 기능을 발휘할 수 있도록 하며, 방파제의 구조형식 및 다기능성 등 특성에 따라 안정성과 기능성 등 성능에 대한 목표치를 마련하여 시행하는 것이 바람직하다.
- (3) 직립제 및 혼성제와 같이 실험 및 이론해석의 신뢰도가 인정된 구조형식에 대하여는 최종적인 검증차원의 수리모형실험 또는 적절한 산정식으로 안정성 및 수리특성을 검토할 수 있다.
- (4) 경사제 등 구조형식과 재료, 수리특성의 변화가 매우 다양하여 기존의 해석결과 및 산정식으로 안정성 및 수리특성 등을 신뢰도 높게 해석할 수 없을 경우에는 각종 특이 조건에 대한 수리모형실험이 필요하다.

## 4.2 설계조건 결정

방파제의 설계조건은 다음 사항을 검토하여야 한다.

- (1) 항내 정온도
- (2) 바람
- (3) 조위
- (4) 파랑
- (5) 수심 및 지반조건
- (6) 친수성 및 친환경성 등

### [해설]

- (1) 설계조건으로서 항내정온도는 하역효율 제고, 항내시설의 보전 및 해역 이용목적에 따라 결정되는 조건이며, 바람, 조위, 파랑, 수심 및 지반 등은 기본적 설계조건이다. 그 외 안정계산을 위한 설계조건으로는 마찰계수, 부재의 허용응력도, 단위체적중량 등이 있다.
- (2) 정온도는 항내파고 또는 계류선박의 동요특성으로 나타난다. 하역가능한 한계조건(파고 또는 계류선박의 동요조건) 및 항내통선에 지장이 없는 파랑조건을 만족시켜야 한다. 따라서 설계대상 항만에서 필요한 하역일수를 만족하는 한계파랑(파고 또는 선체 동요를 고려한 파랑조건) 이하로 유지하도록 방파제 제두부를 통한 회절파뿐만 아니라 체체를 통한 전달파(방파제의 형상, 마루높이, 조도, 투과성 등), 방파제의 위치와 수역 시설과의 관계, 입사파조건(항구의 위치와 방향)을 검토하여야 한다. 또, 태풍 등 악천 후 시에도 배후의 항만시설이 보전되도록 하고 선박 계류 시에 안전한 정온도를 확보 하거나 선박안전대책이 있어야 한다. 정온도에 대하여는 KDS 64 40 10 수역시설 (4.1.6 항로의 정온도, 4.2.4 정박지 정온도)를 참조한다.
- (3) 바람 자료는 파랑의 추산에 주로 사용할 수 있는 광역적 해상풍 자료와 등대 등 항만시설 설계시의 풍압계산에 필요한 국지적 극치풍의 특성으로 나누어 해석하고 응용할 수 있다. 상세한 내용은 KDS 64 10 10 설계조건(4.2 바람과 풍압력)을 참조한다.
- (4) 방파제 단면과 기본수준면, 약최고고(저)조위, 평균해면, 기왕의 최고(저)조위, 대·소 조시의 고조위, 인천만 평균해면 등의 관계를 명확히 해두지 않으면 안 된다.  
기본수준면과 공사용 기준면이 다른 경우에는 그 관계도 확실히 해두어야 한다.  
또, 폭풍해일(이상고조)의 계속시간, 발생빈도 등 확률론적 특성을 파악하여 확률론적 설계(신뢰성 설계)가 필요한 경우에 응용할 수 있도록 하며, 기존의 확정론적 설계법을 사용할 경우에도 이들 극치특성을 고려할 필요가 있다. 조위에 대한 상세한 사항은 KDS 64 10 10 설계조건(4.4 조석)을 참조한다. 파력 계산시의 설계조위는 이상고조의 영향을 고려할 필요가 없는 항만에서는 약최고(고)·저조면을, 그리고 이상고조의

## 방파제

영향을 고려할 필요가 있는 항만에서는 약최고고·(저)조면에 이상고조 등 조위 편차를 가감한 기준해면을 취하는 등, 구조물이 가장 불안정한 조건을 대상으로 설정하되 확률론적으로 극치조건을 검토하는 것이 바람직하다. 원호활동에 대하여는 약최고 저조면, 침하의 계산에는 일반적으로 평균수면을 사용할 수 있으나, 극한 수위변동 조건에 대한 안정도 또는 위험도(신뢰도)를 검토하여 문제가 있는 지역에 대하여는 별도의 대책을 수립할 수 있도록 한다.

- (5) 설계에 필요한 입사파랑의 특성은 파고, 파향, 파장(주기), 극한 파랑환경의 지속시간과 시계열 특성 등으로 나타낼 수 있으며, 현지 조건 및 구조물의 종류에 따라 다양하게 적용할 수 있고, 달라질 수 있음을 주의하여야 한다. 이들 제원의 결정에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9 구조물에 작용하는 파력)을 참조한다.
- (6) 방파제의 설치 수심은 구조물의 형식과 규모, 시공성, 경제성에 크게 영향을 미친다. 지반-구조물-파랑의 상호작용과 관련한 문제에서는 체체의 안정에 필요한 지반의 강도와 체체의 침하량을 산정하는 압밀특성 문제가 된다. 설계에 있어서는 해저 지층의 깊이, 지층단면, 각층의 단위체적중량, 내부마찰각, 점착력, 선행압밀하중, 체적 압축계수, 압밀계수 등의 값을 토질시험에 의하여 결정한다. 지층이 복잡한 경우 설계조건을 잘못 판단하는 일이 없도록 보링(Boring)의 위치와 간격(개소) 및 심도를 적합하게 설정하여 조사할 필요가 있다. 상세한 사항은 KDS 64 11 00 지반을 참조한다.
- (7) 풍압력, 토압, 지진력, 선박충격력, 표류물의 충돌에 의한 외력, 급격한 해수유동에 의한 영향 등은 필요에 따라 고려할 수 있도록 점검한다. 설계조건을 고려한 각종 계산에 필요한 마찰계수, 밀도 등에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.9 마찰계수), KDS 64 10 20 재료를 참조한다.
- (8) 방파제 건설 후 해수유동의 변화, 파랑환경의 변화, 표사문제와 관련한 침식, 퇴적, 세굴, 지형변화 등 급격한 환경의 변화가 예상되는 경우에는 그 영향을 개선할 수 있는 설계, 또는 최소화하거나 방지할 수 있는 대책을 고려할 수 있어야 한다.

### 4.3 구조형식의 선정

방파제의 구조형식은 각 구조형식의 특성과 다음 항목을 비교·검토하여 선정하여야 한다.

- (1) 자연조건
- (2) 이용조건
- (3) 배치조건
- (4) 시공조건
- (5) 경제성
- (6) 공사기간
- (7) 중요성
- (8) 재료구입의 난이도
- (9) 유지관리의 난이도

#### [참 고]

- (1) 방파제의 구조에 따라서는 반사파가 크기 때문에 방파제 인근 항행선박의 안전항해에 장애를 주는 경우가 있다. 특히 소형선박에 미치는 영향이 크므로 항행조건에 영향을 미칠 경우 방파제를 저반사구조로 하도록 한다.
- (2) 항내 수질의 개선 및 청정 수역환경을 확보하기 위하여 해수교환을 촉진할 수 있는 통수기능을 가지는 방파제 구조형식을 채택할 수 있는데, 이 경우 표사의 유입, 투과파의 증대에 의한 항만기능의 저하를 고려하여 채택하여야 한다.
- (3) 방파제의 선형이 오목부를 이루고 있는 경우에는 오목부 부근의 파고가 증대된다. 방파제의 선형변화나 지역적 특성에 따라 파랑에너지가 집중하는 곳은 저반사 구조 또는 소파기능을 추가하는 구조형식을 취하도록 한다.
- (4) 기타 형식의 방파제에 대하여는 KDS 64 45 30 기타형식 방파제를 참조한다.

## 4.4 기본단면의 설정

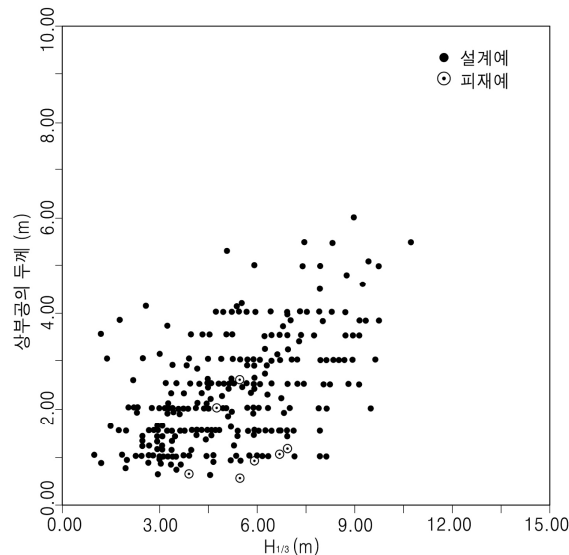
### 4.4.1 직립제

- (1) 방파제의 마루높이는 설계조위에 안정성 검토를 위한 설계 유의파고( $H_{1/3}$ )의 0.6배 이상을 더한 높이로 하여야 한다.
- (2) 방파제 배후 정박지에 정박하는 선박이 소형이고 또 정박지 면적이 좁아서 월파를 적극 억제할 필요가 있는 항만의 방파제 마루높이는 설계조위에 유의파고( $H_{1/3}$ )의 1.25배를 더한 높이로 결정할 수 있다.
- (3) 제체의 폭은 충분한 안정성을 확보할 수 있도록 결정하여야 하며 제체 폭이 파랑 제어효과에 영향을 줄 경우에는 이를 고려한 최적 폭을 결정할 수 있다.
- (4) 단면의 형상은 불투과성 직립벽을 기본으로 하여야 하나, 직립벽의 형상에 변화를 주거나 투수성을 확보하면서 파랑제어기능을 부가할 경우에는 이들 특성을 고려하여 소요 항내정온도를 확보할 수 있도록 하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 폭풍해일(이상고조), 지진해일(쓰나미) 등의 영향을 고려할 필요가 없는 항만에서는 약최고고조위를 마루높이 결정의 설계조위로 하며, 폭풍해일, 지진해일 등의 영향을 고려할 필요가 있는 항만에서는 약최고고조위에 과거의 기록과 수치모의기법 등을 종합적으로 이용하여 구한 확률론적 편차를 더한 조위를 설계조위로 한다.
- (2) 고파랑의 발생빈도가 높은 항만에서는 목표로 하는 항만가동률 또는 항내정온도를 고려하여 설계조위상  $0.6H_{1/3}$  보다 더 높게 마루높이를 결정할 필요가 있다. 방파제의 단면구조특성과 방파제의 배치에 따른 파랑의 공간적 변화를 고려하여 월파의 영향으로 항만활동이 제한을 받는 경우가 없도록 한다. 한편 방파제의 마루높이를 높게 하면 파압강도가 증대되어 단면폭이 커져야하는 등 비 경제적인 단면이 될 수 있으므로 주의가 필요하다.
- (3) 직립제체의 상치콘크리트의 두께는 너무 얇으면 재해를 입게 되므로 설계파고 2m 이상의 경우에는 1m이상으로 하고 파고 2m 미만의 경우라도 최소 두께는 50cm 이상으로 한다. 또, 제체가 블록식인 경우 상치콘크리트 제체 전체의 하중으로 작용하게 되며 블록의 활동을 막는데 유효하므로 충분한 무게를 확보하도록 한다. 사례로 해설 그림 (4.4-1)은 상치콘크리트의 두께와 설계파고와의 관계를 보여준다.
- (4) 케이슨 상면의 높이가 낮으면 케이슨의 거치, 속채움 모래의 투입 및 덮개 콘크리트 상부의 상치콘크리트 타설 작업에 제약을 받게 되므로 케이슨 상면의 높이는 약최고고조위 이상으로 하는 것이 일반적이다.
- (5) 블록식 직립제의 최상단의 블록 및 셀룰러 블록의 상면 높이는 상치콘크리트를 시공하기 쉽도록 적어도 평균해면(M.S.L)이상 가급적이면 약최고고조위(A.H.H.W) 이상으로 하는 것이 좋다.

- (6) 친수기능 방파제의 마루높이에 대하여는 비말이나 월파랑 등을 고려하여 시민의 이용성, 안전성은 물론 경관성에 대한 별도의 검토가 필요하다. 친수기능 방파제에 대하여는 이 기준 4.10 친수기능 방파제를 참조한다.
- (7) 수심이 얇은 곳에서는 월파에 포함된 모래에 의하여 항내가 매몰되는 일도 있으므로 얇은 모래 해안의 방파제 설계에 있어서는 이 점까지를 고려하여 마루높이를 높게 할 필요가 있다.
- (8) 해수욕장을 보전하는 방파제나 취수 등 특수한 용도의 시설보호와 관련된 방파제 등에 관해서는 방파제설치의 목적과 기능을 충분히 이해한 후 마루높이를 결정할 필요가 있다.



해설 그림 (4.4-1) 상치콘크리트의 시공사례

#### 4.4.2 혼성제

- (1) 직립부의 마루높이는 이 기준 4.4.1 직립제에 따르나 지반이 연약하여 침하가 예상될 때는 미리 여유고를 고려하거나, 마루높이를 추가적으로 높이기 쉬운 구조로 하여야 한다.
- (2) 사석마운드의 수심은 충격쇄파력의 작용을 피할 수 있는 깊이로 설치하고 사석부는 원호활동 및 편심경사하중에 대해 안전성을 확보할 수 있어야 한다.

#### [해설]

- (1) 상치콘크리트의 두께, 케이슨의 상부 높이 및 제체의 최종 마루높이는 직립제에 준한다.
- (2) 방파제의 침하의 원인으로서는 다음과 같은 것이 있다.
- ① 기초지반의 압밀침하
  - ② 지반의 외측부로의 용기

## 방파제

- ③ 지반의 측방유동
  - ④ 사석, 블록의 무게에 의한 지반 내 함몰
  - ⑤ 사석자체의 압축, 모래지반의 압축
  - ⑥ 지진 또는 고파랑에 의한 사질지반의 액상화, 파랑에 의한 구조물 기부의 세굴
- 이 중 ①에 대하여는 KDS 64 11 00 지반(4.6 기초의 침하)를 참조하여 구한다.
- ②, ③, ④, ⑤에 대하여는 직립부의 무게, 사석층의 두께 등에 따라 변화하므로 일률적 기준을 제시할 수는 없지만 과거의 시공 예로부터 개략의 값을 구할 수 있다. 여성의 방법으로는 사석층을 두껍게 하는 방법과 상치콘크리트를 두껍게 하는 방법 등이 있으며 경제성을 고려하여 설계하여야 한다.
- (3) 기초지반이 연약하여 심한 침하나 사석의 함몰이 예상되는 경우에는 지반을 개량하거나 사석부의 하부에 매트(Mat)를 설치하여 체체 하중의 분산을 시도하는 등 연약지반 대책공법을 채택하여야 한다.
- (4) 사석 마운드의 마루가 높고 사석부의 폭이 넓으면 충격쇄파력이 작용할 경우가 있으므로 사석마운드의 수심은 될수록 깊게 하고 직립부가 케이슨인 경우 케이슨의 높이와 연계하여 거치가 가능한 심도로 한다. 충격쇄파력 발생에 관해서는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9.2 [3] 충격쇄파력)을 참조한다.
- (5) 사석부의 어깨폭은 항외 측의 경우 파고(파장)에 따라 충분한 넓이로 한다. 단, 입사파의 조건에 따라 어깨폭의 영향에 의한 충격적인 쇄파파력의 발생 여부를 수리모형실험 등을 통해 검토하고 대책을 수립할 필요가 있다.
- (6) 직립부의 활동저항을 증가시키기 위하여 배면에 사석을 높이는 경우가 있다. 이 경우에는 단면이 월파에 의해 변형되기 쉬우므로 충분히 맞물릴 필요가 있다. 필요한 경우 콘크리트 블록 등으로 피복한다.

### [참 고]

- (1) 사석부는 직립부의 하중을 널리 분포시키고, 직립부의 거치를 위하여 지반을 잘 고르고 수평으로 하며, 파랑에 의한 세굴을 방지하는 등의 효과가 있으므로 1.5m 이상의 두께로 하는 것이 바람직하다.
- (2) 사석부의 어깨폭은 체체의 원호활동, 편심경사하중에 대한 소요안전율이 확보되도록 하며 파랑의 영향이 큰 곳에서는 항외 측으로 적어도 5m 이상 두는 것이 보통이다. 또, 항내 측은 항외 측의 2/3 정도의 어깨폭으로 하는 경우가 많다. 이와 같이 사석부의 어깨폭을 충족하면 편심경사하중에 대한 안전성검토에 사용하는 비숍법에서의 사석에 대한 표준적인 강도정수  $c' = 20KN/m^2$ ,  $\phi = 35^\circ$  가 발휘된다고 볼 수 있다. 한편 항내 측 사석부 마운드 폭  $BM_2$ 의 참고 추정식으로는 요시오카(吉岡) 등에 의한 식 등이 있다.

$$BM_2 = 1.0 + 0.2H_{1/3} + 0.3(H_C + T_U) + 0.2B_C \quad \text{참고 식(4.4-1)}$$

여기서,  $H_{1/3}$  : 유의파고(m)



$H_C$	: 제체 직립부 높이(m)
$T_U$	: 상치두께(m)(파라펄이 있는 경우 이를 제외한다)
$B_C$	: 제체 폭(m)(푸팅이 있는 경우 이를 제외한다)

- (3) 직립부의 활동저항을 늘리기 위해 제체 뒷면에 사석을 높게 올리는 경우가 있는데, 이 경우에는 월파수괴에 의한 사석부 피해가 발생하기 쉬우므로 주의가 필요하다.
- (4) 사석부의 비탈경사는 안정성을 검토하여 결정하나 파랑의 영향을 고려하여 일반적으로 항외 측 사면을 1:1.5~1:2 정도로 하는 경우가 많다.

#### 4.4.3 경사제

- (1) 마루높이는 이 기준 4.4.1 직립제에 준하여 결정한다.
- (2) 마루폭, 사면경사 및 단면형상(복합단면 등)은 층별 재료의 조도, 공극률(투수계수)과 관련한 반사파, 월파 등 수리특성과 안정성의 허용범위를 고려하여 결정하여야 한다.

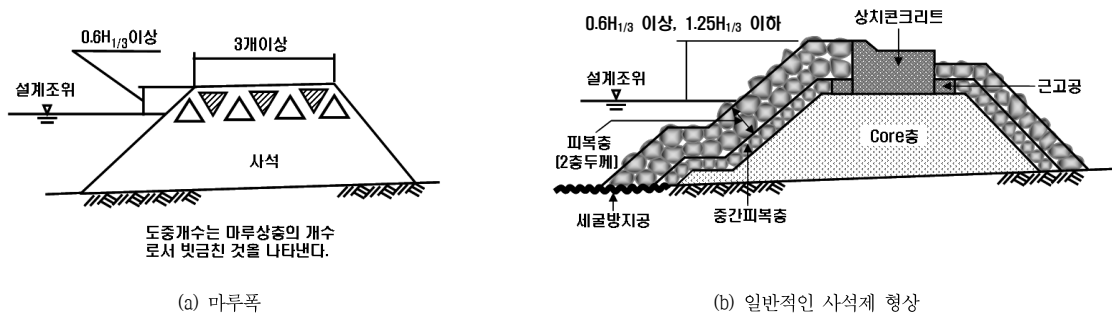
#### [해설]

- (1) 경사제의 마루폭, 사면경사 및 단면형상(복합단면 등)은 반사파, 월파 등 수리특성과 안정성에 직접적으로 영향을 주며, 사석 방파제 등으로 대표되는 경사제는 평형단면을 형성하는 파괴기구를 가짐으로 이를 응용하는 안정성 해석 및 파랑제어기능 해석을 통한 최적설계시스템을 응용할 필요가 있다.
- (2) 경사제의 피복층, 중간피복층 및 내부층(Core층) 등 각층의 투수성, 조도, 각 층간 및 사석간의 마찰특성의 변화도 피복재의 안정성과 파랑제어기능에 영향을 미치므로 주의하여 그 특성을 고려하여야 한다.
- (3) 경사제의 파괴요인은 주로 직접적인 사면상의 파랑작용에 의한 피복재의 이탈, 상치 콘크리트와 사석부의 수리적 불안정성에 기인한 국부 세굴 및 상치구조물의 손상에 기인한 파괴, 월파에 기인한 배후면의 손상, 기부 세굴에 의한 침하 및 사면붕괴에 의한 손상의 전파를 들 수 있으므로 각 손상 요인에 따른 안정성의 점검 및 대책을 강구하고 실험적으로 확인할 필요가 있다.
- (4) 경사제는 투수성 제체를 통한 투과파가 있으므로 허용 월파량을 직립제와 같이 한 마루높이를 결정하더라도 항내파고가 커지는 경우가 있으므로 주의가 필요하다. 월파 및 전달파에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.6 처오름 높이, 월파 및 전달파)를 참조할 수 있으며, 이들 특성이 사면의 단면형상(경사, 복합단면 등), 투수성, 조도(재료특성), 마루높이 등 구조특성과 해양파의 불규칙성에 따라 많은 차이를 보일 수 있으므로 이에 대한 확률론적 검토가 필요하며, 이를 검증할 수 있는 수리모형실험 등을 시행하는 것이 바람직하다.

## 방파제

- (5) 월파를 허용할 경우, 제체상부 피복재가 불안정해지므로 충분한 마루폭을 갖도록 할 필요가 있다. 또한 이형 소파블록을 사용하는 경우 마루높이가 설계조위상  $0.6H_{1/3}$  정도이면 마루폭은 해설 그림 (4.4-2)(a)에 보여준 바와 같이 3개를 설치한 폭 이상이 바람직하다. 그러나 제체상부의 안정성은 마루높이, 피복재의 특성, 파랑조건 등에 따라 다르므로 적절한 모형실험에 의하여 검증하는 것이 바람직하다. 이때 해역특성에 따른 설계조위는 물론, 조차 및 이상고조를 고려한 수면 변동폭에 따른 사면의 국부적 안정성과 파랑제어기능에 대한 실험적 검토가 필요하다. 즉, 극단적 외력환경의 발생조건과 구조물의 응력상태를 고려한 안정성 및 파랑수리특성에 대한 확률론적 논의가 필요하다.
- (6) 해안으로부터 돌출되는 돌제식 방파제로 육지로부터 밀고 나오면서 단계적으로 시공하는 방파제의 마루폭은 안정계산상, 충분한 폭을 갖도록 함과 아울러 사석운반 시공의 용이성을 고려하여 결정할 수 있다.
- (7) 비탈경사는 안정계산에 의하여 적절히 결정하며 비탈경사는 사석제의 경우 항외 측 1:2 전후, 항내 측 1:1.5 전후가 많고 소파블록으로 피복하는 경우 1:1.3~1:1.5 전후가 많다. 또, 항외 측에서 비탈면의 상부와 하부의 경사와 피복재의 중량을 달리하는 경우에는 경사와 피복재의 중량이 바뀌는 지점을 설계기준 수면하  $2.0H_{1/3}$  보다 깊은 곳으로 하는 것이 일반적이나, 조위변화특성 및 파랑특성을 고려하여 최적의 단면을 결정하여 안정성과 파랑제어기능을 극대화하도록 한다. 복합단면 및 평단부를 가지는 구조 형식으로 파랑제어기능을 극대화하고자 하는 경우에는 안정성과 수리특성(반사파, 월파 등)에 대한 수리실험 및 불규칙파의 불확정성과 불규칙성을 고려한 확률론적 검토가 필요하다. 한편 현지의 사석 등 피복재의 조달 한계 등에 따라서는 피복재 중량을 고정하고 안정계산에 의해 사면경사를 결정할 수도 있다.
- (8) 사석제의 피복을 위한 재료(석재, 블록류)의 중량은 재료의 특성, 해양파의 불규칙성과 불확정성, 극단적 수위변동(이상고조)에 의한 영향, 단면형상 및 상치구조물 유무와 구조제원에 따른 안정성과 파랑제어기능을 해석적으로 또는 실험적으로 상세히 검토할 필요가 있다. 이를 위한 극한조건, 평상조건, 설계조건에 대한 수리실험 등의 과정이 필요하며, 확률론적 안정성 및 파랑제어기능 평가를 통한 설계를 권장하며, 손상확률 및 유지관리 대책을 제시할 수 있는 최적설계가 바람직하다.
- (9) 연약지반 상에 축조되는 사석제의 마루높이 및 공법결정에 대하여는 이 기준 4.4.2 혼성제에 준한다.
- (10) 해설 그림 (4.4-2)(b)와 같이 많은 경사제에서 도입하는 상치콘크리트 설치형 경사제의 피해사례에 의하면, 상치구조물과 근고공 및 코어층의 연결부에서 세립재료의 흡출, 공동화 등에 의한 저항력 저하 등이 해일에 의한 수면상승과 연계하여 복잡하게 나타난다. 복합단면, 기부세굴저감대책 등과 연계한 실험적 검증을 통해 대책을 검토할 필요가 있다.
- (11) 기초사석부와 직립부, 사석부와 피복재, 직립부와 피복재 등의 구조적 재질 및 수리특성이 다른 구조연결부의 마찰력 감소, 수리특성의 유연한 대응을 고려한 설계 및 시공 대책이 수립되어야 하며, 특히 이 부분의 사석유실, 기부 세굴 등에 의한 치명적 한계

조건을 실험적으로 점검하는 것이 바람직하다. 이러한 현상은 조위의 변동, 설계과  
이외의 극치 파랑조건을 결합하여 검토하는 것이 바람직하다.



해설 그림 (4.4-2) 경사제의 마루폭 및 마루높이

#### 4.4.4 소파블록 피복제

- (1) 직립부의 마루높이는 이 기준 4.4.1 직립제를 참고로 하여 안정성 및 파랑제어 기능을 만족시키는 높이로 하여야 한다.
- (2) 상치콘크리트의 두께 및 케이슨 등의 마루높이는 이 기준 4.4.1 직립제에 따르고, 사석부의 두께는 이 기준 4.4.2 혼성제에 따른다.

#### [해설]

- (1) 소파블록 피복제는 직립제·혼성제에 비하여 월파 및 전달파가 적게 된다. 월파 및 전달파에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.6 처오름 높이, 월파 및 전달파)를 참조하여 월파 및 전달파(향내정온도)의 확률론적 특성을 검토한다.
- (2) 소파공은 파압감소효과, 월파에 의한 전달파의 감소효과 및 반사파 제어기능을 가진다. 이들 기능을 정확하게 파악하기 위한 모형실험 및 불규칙파의 불확정성과 불규칙성(방향성, 고파랑)을 고려한 확률론적 평가과정을 거치는 것이 바람직하다.
- (3) 소파공의 마루높이는 직립부의 마루높이와 같게 하는 것이 바람직하다. 소파공의 마루높이가 직립부 마루높이에 비하여 너무 낮으면 직립부에 충격적인 쇄파파력이 작용할 위험이 있고 반대로 직립부 마루높이보다 너무 높으면 마루의 블록이 불안정해진다. 직립부에 충격적인 쇄파파력이 작용할 가능성이 큰 경우에는 수리모형실험으로 직립부에 작용하는 파압의 크기를 검토함을 권장하며, 이때 파압자료의 독취 시간간격은 1/400초보다 크지 않게 하는 것이 바람직하다.
- (4) 소파공의 마루폭은 충분한 소파효과를 얻기 위해서는 소파블록 2개를 설치한 폭 이상으로 할 필요가 있으며, 사석 경사제의 외해쪽 단면에 관한 설계과정을 준용할 수 있다.

## 4.5 외력계산

### 4.5.1 외력계산 일반

방파제의 안정계산에 있어서는 파력, 정수압, 부력, 자중 등의 외력을 고려하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 외력으로서 필요에 따라 풍압력, 지진력, 표류물의 충돌력, 토압 등을 추가로 고려할 수 있다.
- (2) 소파블록의 자중으로 인한 직립부에 작용하는 하중은 통상의 경우 파랑 작용 시 고려하지 않는다. 고려해야할 경우에는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9.2.4 소파블록으로 피복된 직립벽에 작용하는 파력)을 참조한다.

### 4.5.2 파력

- (1) 파력의 계산은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9 구조물에 작용하는 파력)에 따른다.
- (2) 파력계산에 사용할 조위는 구조물이 가장 불안정하게 되는 조위로 한다. 조위의 결정은 KDS 64 10 10 (4.4 조석)에 따른다.

#### [해설]

- (1) 파력의 계산에는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9 구조물에 작용하는 파력)을 참조하고, 단면형상, 구조특성 등에 따라서 적절한 계산법을 채택하여야 한다. KDS 64 10 10 (4.3.9.2.3 충격쇄파력)을 고려할 수 있도록 충분한 주의를 기울여야 한다.
- (2) 안정계산에 있어서는 직립부가 가장 위험한 상태의 조위조건 및 파랑조건과 피복재가 가장 위험한 상태의 조위조건 및 파랑조건 등이 같지 않은 경우가 있으므로 주의를 요한다.
- (3) 기초사석부(Mound)의 어깨마루가 높고 어깨폭이 적당히 넓으면 충격쇄파압을 유발하는 경우가 있다. 또, 방파제의 마루높이를 높게 하면 극한 상태의 파압강도가 증대되는 경향이 있으므로 주의를 요한다.

### 4.5.3 정수압

제체 내외의 정수면에 차이가 있는 경우에는 그 수위차에 상당하는 정수압을 고려하여야 한다.

#### 4.5.4 부 력

정수면 이하의 제체에는 부력을 고려하여야 한다. 또, 제체 내외의 정수면에 차이가 있을 경우에는 양측 수위를 연결한 수면이하의 제체에 대하여도 부력을 고려하여야 한다.

#### 4.5.5 자 중

제체의 자중은 제체를 구성하는 각 재료의 밀도를 사용하여 계산하여야 한다.

#### [해 설]

재료의 밀도에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.8 상재하중)을 참조한다.

#### 4.5.6 지진시의 검토

KDS 64 17 00 내진(4.2.2 방파제)에 따른다.

### 4.6 안정계산

#### 4.6.1 직립부의 안정계산

- (1) 중력식 방파제 직립부의 안정성 검토는 파괴 안전율에 근거한 설계법을 표준으로 한다.
- (2) 파괴 안전율에 근거한 설계법을 사용할 경우, 직립제의 제체, 혼성제의 직립부, 경사제의 상부공, 소파블록 피복제 등의 직립부의 안정성 검토는 다음에 열거한 ①~⑤에 따라야 한다.
  - ① 직립부 활동에 대한 안정성을 검토하여야 한다.
  - ② 직립부 전도에 대한 안정성을 검토하여야 한다.
  - ③ 직립부 바닥면의 기초지반 지지력에 대한 안정성을 검토하여야 한다. 이에 대해서는 KDS 64 11 00 지반(4.3.2 편심·경사하중에 대한 지지력)에 따른다.
  - ④ 지반의 활동에 대한 검토는 지반의 특성 및 구조특성을 고려하여 파괴가능한 모든 활동면에 대하여 검토하여야 한다. 이에 대해서는 KDS 64 11 00 (4.7 사면의 안정)에 따른다.
  - ⑤ 침하에 대한 검토는 지반의 특성 및 구조특성을 적절히 고려하여 침하검토를 시행하여야 한다. 이에 대해서는 KDS 64 11 00 (4.6 기초의 침하)에 따른다.

## 방파제

### [해설]

(1) 파력을 계산할 때는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9.2 직립벽에 작용하는 파력)을 참조하고 안전율은 ①~④를 참고하여 적절하게 설정한다.

① 활동에 대한 안정성의 검토는 해설 식 (4.6-1)에 의하여 행한다.

$$F_s \leq \frac{\mu(W_0 - B - U)}{P} \quad \text{해설 식 (4.6-1)}$$

여기서,  $F_s$ ,  $\mu$ ,  $W_0$ ,  $U$  및  $P$ 는 각각 다음과 같은 물리량을 나타낸다.

- $F_s$  : 직립부의 활동에 대한 안전율
- $\mu$  : 직립부와 기초사석부의 마찰 계수
- $W_0$  : 직립부의 중량 (kN/m)
- $B$  : 직립부에 작용하는 부력(kN/m)
- $U$  : 직립부에 작용하는 양압력 (kN/m)
- $P$  : 직립부에 작용하는 수평파력 (kN/m)

활동에 대한 안전율은 설계파압 작용시를 기준으로 1.2 이상이 되도록 한다. 단, 모형실험에 의하여 제체의 안정성을 확인한 경우에는 안전율이 1.2 이하로 설계할 수 있으나 1.0 이하로 되어서는 안 된다.

② 전도에 대한 안정성의 검토는 해설 식 (4.6-2)에 의하여 행한다.

$$F_s \leq \frac{(W_0 \cdot t_1 - B \cdot t_2 - U \cdot t_3)}{M_p} \quad \text{해설 식 (4.6-2)}$$

이 식에서  $F_s$ ,  $t$  및  $M_p$ 는 각각 다음과 같은 물리량을 나타낸다.

- $F_s$  : 직립부의 전도에 대한 안전율
- $t_1$  : 직립부의 중력의 작용점으로부터 직립부 제체 후미하단(전도지지점)까지의 거리 (m)
- $t_2$  : 직립부에 작용하는 부력 작용점으로부터 직립부 제체 후미하단까지의 거리(m)
- $t_3$  : 직립부에 작용하는 양압력 작용점으로부터 직립부 제체 후미하단까지의 거리(m)
- $M_p$  : 수평파력에 의한 직립부의 후미하단 주위의 회전모멘트 (kN·m/m)

전도에 대한 안전율은 파압에 대하여 1.2 이상, 지진에 대하여 1.1 이상으로 하는 것을 표준으로 한다.

③ 지지력에 대한 안전율은 파압에 대하여 1.0 이상으로 하는 것을 표준으로 한다.

④ 지반의 활동에 대한 안전율은 설계파압 작용 시 원호활동 1.3, 마운드 직선활동 1.2, 편심·경사하중에 대한 지지력 1.0 이상으로 하는 것을 표준으로 한다.

- (2) 직립부와 기초사석상부의 마찰계수를 증대시키기 위하여 직립부 저면에 마찰증대용 매트를 부설하는 등 마찰력 증대를 위한 대책을 강구할 경우도 있다. 마찰력 증대 매트 등 마찰력 증대 대책에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.9 마찰계수)를 참조한다.

### [참 고]

- (1) 직립부의 항내 측을 쇄석 또는 콘크리트 블록으로 보강하는 경우 다음 사항을 유의하여야 한다.
- ① 항내의 선박항행, 피박계류 등의 지장 유무
  - ② 제체배후의 보강체의 지지력 증대 효과를 고려하지 않은 상태에서 직립부의 파력에 대한 활동 및 전도 안전율을 1.0 이상으로 하지 않으면 안 된다. 안전율이 1.0보다 작으면 직립부의 흔들림의 격화, 직립부 하단 기부압력(Heel pressure)의 증대현상이 일어나거나 파랑에 의한 부압력이 작용할 때 직립부가 항외 측으로 활동하거나 전도할 위험이 있다.
  - ③ 월파나 연파(Stem wave)등에 의하여 보강체가 손상되지 않도록 충분히 피복할 것.
  - ④ 보강체의 높이 a는 직립부 높이의 1/3 이상, 마루폭 b는 보강체 높이 a와 같은 이상으로 하는 것이 바람직하고[참고 그림 (4.6-2) 참조], 지역 특성 및 항만 이용상태에 따라 변형할 수 있으나 실험적인 검증이 필요하다.
  - ⑤ 콘크리트 블록을 사용할 경우 직립부와 간격을 두지 말고 구조적 일체성을 유지하도록 시공할 것.
- (2) 직립부의 항내 측을 쇄석 또는 콘크리트 블록으로 보강할 경우의 활동저항은 참고 식 (4.6-1)을 만족하여야 한다.

$$\frac{\mu_1 W_1 + R}{P} \geq 1.2 \quad \text{참고 식 (4.6-1)}$$

여기서,  $P$  : 직립부에 작용하는 수평력 (kN/m)

$W_1$  : 직립부의 정수중의 수중중량 - 양압력 (kN/m)

$\mu_1$  : 직립부와 사석기초부의 마찰계수

$R$  : 보강재 쇄석 또는 콘크리트 블록의 활동저항력 (kN/m)

활동저항력은 아래와 같은 방법으로 구할 수 있다.

- ① 쇄석의 활동저항력[참고 그림 (4.6-1)(a) 참조]

$$R = W_s \tan(\theta + \phi) \quad \text{참고 식 (4.6-2)}$$

여기서,  $W_s$  : 최상단 피복층을 제외한 활동면 상부 사석의 수중중량 (kN/m)

$\theta$  : 활동면 경사각 (°)

$\phi$  :  $\phi = \tan^{-1} \mu_2$  ( $\mu_2$ 는 사석층 내부의 쇄석과 쇄석간의 마찰계수,  $\mu_2 = 0.8$ )(°)

## 방파제

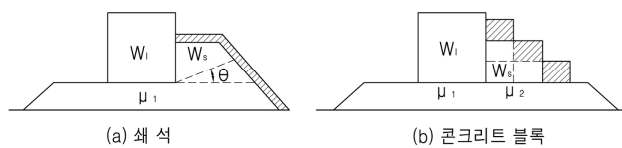
참고 식 (4.6-2)는 사석부의 힘의 평형식으로부터 얻어지는 것이며  $\theta$ 를 시행착오법으로 변화시켜 구한  $R$ 의 최솟값이 활동저항력이다.

### ② 콘크리트 블록의 활동저항력(참고 그림 (4.6-1)(b) 참조)

$$R = \mu_2 W_s \quad \text{참고 식 (4.6-3)}$$

여기서,  $W_s$ : 최상단의 콘크리트 블록을 제외한 수중중량 (kN/m)

$\mu_2$ : 콘크리트 블록과 쇄석기초간의 마찰계수



참고 그림 (4.6-1) 활동 저항면

### ③ 저항력 $R$ 은 파고와 제체 설치수심의 비의 함수로 나타낼 수 있으며 다케다 (Dakeda) 등이 제안한 참고 식 (4.6-4)는 실험결과를 제시한 예이며 이를 참고할 수 있다. 여기서 재료에 따라 $\alpha=0.4\sim1.0$ 의 범주에서 변화하는 성질을 알 수 있다.

$$R = \alpha W_s \quad \text{참고 식 (4.6-4)}$$

$\alpha = 0.9 + 0.2(H/h' - 0.5)$  : 쇄석의 경우

$\alpha = 0.4 + 0.2(H/h' - 0.5)$  : 콘크리트 블록의 경우

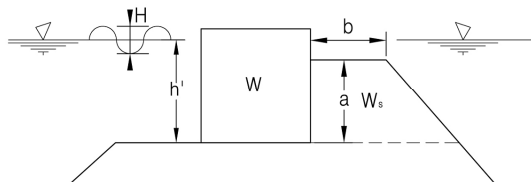
단,  $H/h' \leq 0.5$  일 때  $H/h' = 0.5$ 로 본다.

여기서,  $W_s$  : 쇄석 또는 콘크리트 블록의 수중 중량 (kN/m)

$\alpha$  : 저항계수

$H$  : 파고 (m)

$h'$  : 제체설치수심 (m)



참고 그림 (4.6-2) 보강체의 활동 저항면



#### 4.6.2 경사제의 안정계산

혼성제 및 경사제에서 사석부의 활동 및 피복재료의 소요중량을 검토하여야 한다.

(1) 활 동

활동에 대하여는 편심경사 하중에 의한 활동을 검토하여야 한다.

(2) 피복재의 소요중량 및 층두께

피복재는 파력에 대하여 충분한 중량을 갖는 한편 내부의 재료가 흡출되지 않을 두께를 가져야 한다. 이때, 보조피복층 등 피복층과 내부 층의 마찰력 증대 및 흡출방지 등의 기능을 보강하기 위하여 이들 기능이 탁월한 중간층 블록을 사용할 수 있다.

#### [해 설]

- (1) 편심경사 하중에 의한 활동에 대하여는 KDS 64 11 00 지반(4.3.2 편심·경사하중에 대한 지지력)을 참조한다.
- (2) 경사제, 소파블록피복제의 소요중량은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.10.1 경사면의 피복석 또는 블록의 안정질량)에 따라 계산한다. 단, 피복석 등 피복재의 소요중량은 경사제의 파괴특성 등을 고려한 허용파괴율, 고파랑 특성 및 파군특성, 파랑의 지속 시간효과, 재료의 형상 및 재질, 경사제의 피복방법에 따라(난적, 정적, 돌붙임 등) 안정계수 및 소요중량이 달라질 수 있다. 이에 관한 극한 조건 등에 대한 수리실험 결과를 토대로 책임기술자의 판단에 의하여 허용범위의 소요중량을 결정할 수 있다. 난적의 피복층은 2층의 두께 이상을 표준으로 한다.
- (3) 보조피복층 등 중간층의 투수기능과 조도를 확보하면서 내부사석의 흡출을 효율적으로 방지할 수 있는 크기의 사석재료가 부족할 경우에는 이들 특수한 기능을 보강한 중간층용 블록을 사용할 수 있다.
- (4) 혼성제의 피복 재료의 소요중량은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.10.2 혼성제 사석부의 피복석 또는 블록의 안정질량)에 따라 계산한다.

#### [참 고]

- (1) 피복재 밑의 보조피복재(사석 및 중간 블록)의 소요중량은 피복재 중량의 1/20 이상으로 하나 경사제의 경우 1/10~1/15 정도 이상으로 하는 등 층간의 재질 및 수리특성의 이질성을 적게 하는 투수성과 마찰특성을 확보하는 것이 바람직하다. 그 하부 층의 사석의 개체중량은 다시 그의 약 1/20 이상으로 한다.
- (2) 보조피복층은 적정규모의 사석층 또는 중간층용 블록을 사용하되, 투수계수와 상하부 층간의 마찰계수, 하부층 재질의 흡출을 방지할 수 있는 공극률을 확보할 수 있어야 하며, 이에 따라 피복재의 안정성과 전면의 수리특성(반사파, 처오름 높이, 율파 등)이

## 방파제

예민하게 반응하므로 이에 대한 종합적인 검토, 수리실험적인 확인을 거치는 것이 바람직하다. 특히 상부공을 상치콘크리트 등으로 구축하기 위하여 사석기초부를 고조위 부근까지 기초가 높아지게 구조형식을 취한 경사제일 경우에는 이에 대한 대책을 별도의 수리실험 등을 거쳐 검증하여야 한다. 이는 상치콘크리트부와 사석경사부의 접합부에서 수리특성의 현저한 변화가 발생하며, 이는 조위변화 및 이상고조시에 심각한 위험을 초래할 수 있으므로 이를 조건으로 한 수리실험이 필요하다.

- (3) 콘크리트 등 특수공법으로 법면을 피복하는 경우 또는 특수하게 짜 맞춘 사석제 및 특수 블록사면으로 투수성 또는 조도가 현저히 달라지는 경우에 대하여는 과거의 시공사례 등을 참고하고 투수성 등의 고려여부에 따른 실험적 검토를 거쳐 신중히 설계한다.
- (4) 경사제의 파괴기구 및 평형단면 형성 기구를 고려한 허용파괴율 설계개념과 유지보수 개념을 적용한 최적설계시스템을 응용하면 가장 경제적인 설계가 가능한 구조적 장점이 있다. 신뢰성 설계개념과 함께 최적설계개념을 응용한 이들 설계개념을 활용할 수 있는 설계를 권장하나, 이 경우에는 유지보수대책을 명기하여야 한다.

### 4.6.3 제체전체의 안정계산

중력식 방파제에 있어서는 지반의 특성 및 구조의 특성에 따라서 KDS 64 11 00 지반 (4.7 사면의 안정)에 규정한 원호활동에 대한 안정성을 검토하여야 하며, 침하를 검토하여 방파제의 구조 전체와 지반과의 상호작용에 의한 안정성을 확보하여야 한다. 이 때 구조물 전체에 작용하는 파압특성 등이 고려되어야 하며, 이에 대한 이론적 해석 또는 실험적 검토를 하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 원호활동에 대하여는 KDS 64 11 00 지반(4.7.2 원호활동면에 의한 안정해석), 침하에 대하여는 KDS 64 11 20 (4.6 기초의 침하), 지반개량공법에 대하여는 KDS 64 11 00 (4.8 지반개량)에 따른다.
- (2) 구조물 전체에 작용하는 파압의 계산은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9 구조물에 작용하는 파력)을 참조한다.
- (3) 제체전체의 안정계산에 사용하는 조위는 가장 위험한 조건의 조위 즉 안전율이 가장 작은 조위조건을 대상으로 한다. 설계조위의 결정은 KDS 64 10 10 (4.4.1 설계조위)를 참조하되, 가장 위험한 조위조건은 설계고조위와 무관할 수도 있으므로 조위변동과 이상고조를 고려한 수면변동의 극치를 대상으로 가장 위험한 조건을 검토하여야 한다.

#### 4.6.4 두부, 오목부의 안정계산

- (1) 두부의 피복석 및 피복 블록은 간부의 피복재의 중량보다 크게 하여야 한다.
- (2) 연약지반의 경우에는 방파제 기준선 길이방향의 활동에 대하여도 검토하여야 한다.  
이 경우 측면마찰 저항을 고려할 수 있다.
- (3) 두부에 등대를 설치하는 경우에는 이에 작용하는 지진력, 파력 및 풍압력을 고려하여 안정계산을 하여야 한다.
- (4) 오목부의 설계에는 파고의 증대효과를 고려하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 경사제나 혼성제의 두부는 간부에 비하여 기부의 세굴이나 작용외력에 불명확한 점이 있으므로 피복재의 중량을 간부보다 크게 해두는 것이 바람직하다. 혼성제 기초사석부의 두부구조물에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.10.2 혼성제사석부의 피복석 또는 블록의 안정질량)을 참조하여 적당히 크게 해 둘 필요가 있다. 또 경사제나 소파블록 피복제의 두부는 간부의 1.5배 이상의 중량을 가지도록 한다. 경사제의 사석 및 소파블록의 중량계산은 KDS 64 10 10 (4.3.10.1 경사면의 피복석 또는 블록의 안정질량)을 참조한다. 이 때, 상치콘크리트 구조의 유무, 및 설계조위 등 수면변화에 따른 상치부 또는 혼성제 직립부와 사석경사부 접합부의 위치변화, 불규칙파의 파향 변화, 쇄파수심, 사석기초부 두부기부의 세굴 및 혼성제 직립부 기부세굴 등에 따른 피해사례가 다양하게 나타나므로 이들 조건을 현장에 따라 고려한 수리실험이 필요하다. 이 실험결과를 토대로 두부의 구조형식, 투수성, 세굴대책, 통항성, 상치구조와의 연계를 고려한 두부구조물 안정성 검토 및 이를 고려한 설계가 필요하다.
- (2) 방파제 기초부의 안정성 해석의 문제와 기부세굴에 의한 손상특성을 검토할 필요가 있으며 이에 대한 대책을 마련하여야 한다. 한편, 파향에 따라서는 제두부 후면에 강한 쇄파파력을 동반한 배후파괴가 주요 원인이 되는 제두부손상사례가 현장파괴사례 보고 및 실험적으로 확인되고 있으므로 이에 대한 점검과 대책을 실험적으로 충분히 검토할 것을 권장하며 주의를 요한다.
- (3) 오목부를 갖는 직립제, 혼성제의 기준선 형태에 있어서 오목부 자체에서의 파의 집중 외에 파향특성과 연계한 기준선 각 부위로부터의 반사파의 중첩, 연파(Stem wave)에 의한 파고 증대 및 분포특성의 차이가 기준면을 따라 발생할 수 있다. 이에 기인한다고 믿어지는 피해사례도 있으므로 기준선의 결정 및 안정계산 등에 있어서는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.4.6 (3) 오목부, 방파제 두부 부근 및 도제 주변에서의 파랑변형, 4.3.9.2.5 구조물 반사파랑에 의한 파력)에 따라 검토하고 3차원 수리실험 등에 의하여 극한 조건의 불규칙성과 방향성의 영향에 대한 검토를 시행하는 것이 바람직하다.
- (4) 방파제의 길이방향의 활동에 대하여는 KDS 64 11 00 지반(4.7.2 원호활동면에 의한 안정해석)을 참조한다.

- (5) 등대가 설치되는 두부는 등대가 건설되어도 안전하도록 설계되어야 한다. 또, 등대의 기능을 유지하는데 필요한 전원의 확보 등 부속시설을 설치하도록 배려할 필요가 있다. 등대에 작용하는 풍압력에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.2 바람과 풍압력)을 참조한다.

## 4.7 구조세목

### 4.7.1 직립제

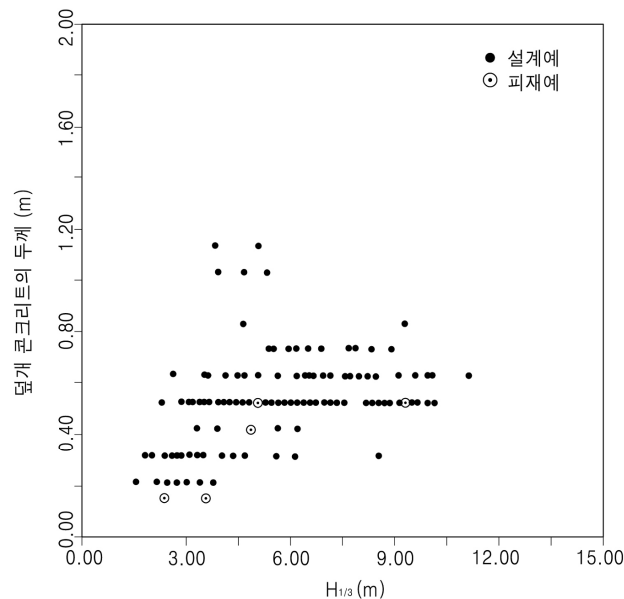
- (1) 케이슨 및 셀룰러 블록식 제체의 덮개 콘크리트의 두께는 파랑조건, 시공조건을 고려하여 신중히 결정하여야 한다.
- (2) 상치콘크리트는 제체와 일체가 되도록 해야 하며, 길이방향에 대하여는 적절한 간격(케이슨의 경우 각 케이슨마다) 으로 연결조인트를 설치하여야 한다.
- (3) 블록제의 블록은 가급적 크게 하고, 장비의 제한을 받는 경우를 제외하고 최하단의 블록은 연결조인트 없이 한 개로 하여야 한다.
- (4) 셀룰러 블록의 최하단에는 특별한 사유가 있는 경우를 제외하고는 저판을 붙여 안정성을 증대시켜야 한다.

### [참 고]

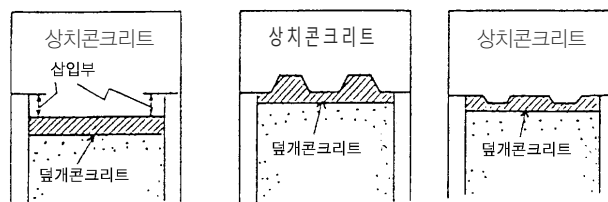
#### (1) 케이슨식 직립제

- ① 케이슨의 속채움에는 빈배합 콘크리트 블록, 돌, 자갈, 모래, 슬래그 등이 쓰이며 그 선택에는 공사비, 시공조건, 자연조건을 고려한다. 일반적으로 모래가 널리 쓰이고 있으나 모래, 자갈 등을 속채움재로 사용하는 경우 표면을 덮개 콘크리트 또는 블록으로 완전히 피복하지 않으면 안 된다. 슬래그는 그 종류에 따라 물을 흡수하여 팽창하는 것이 있다. 따라서 슬래그를 사용할 경우에는 슬래그 처리 방법을 포함하여 속 채움재의 재질에 주의를 요한다.
- ② 덮개 콘크리트의 두께는 통상 30cm 이상, 파랑환경이 험한 곳에서는 50cm 이상으로 한다. 파랑조건이 험하고 덮개 콘크리트의 상태로 장기간 방치하는 경우 1.0m 이상으로 시공한 예도 있다[참고 그림 (4.7-1) 참조]. 파랑이 험한 곳에서 프리캐스트(Precast)덮개 콘크리트를 사용하면 프리캐스트와 케이슨 간의 간격에 타설한 현장타설 콘크리트가 파랑에 의하여 분리되어 속채움 모래가 빠져나오는 경우가 있으므로 이 경우에는 덮개 콘크리트 밑에 쇠석을 30~50cm 부설하는 경우도 있다. 또, 파랑이 험한 곳에서 덮개 콘크리트에 파랑의 충격으로 균열이 발생하면 속채움 모래가 빠져나올 수 있으므로 그 대책으로서 덮개 콘크리트와 속채움 모래 사이에 부직포를 덮을 수도 있다.

- ③ 상치콘크리트에 작용하는 파력에 대하여는 불명확한 점이 많기 때문에 제체와 일치 되도록 시공한다. 시공조인트(Construction joint)의 시공은 콘크리트표준시방서에 따른다. 더욱 일체화를 증진하기 위하여 케이스 속으로 상치콘크리트가 들어가도록 타설하는 방법, 덮개 콘크리트에 요철을 붙이는 방법(프리캐스트인 경우가 많다), 철근이나 형강을 삽입하는 방법 등이 있다[참고 그림 (4.7-2) 참조]. 또, 파라펫(Parapet)과 상치콘크리트가 일체가 되도록 시공조인트에 홈을 설치하거나 철근이나 형강을 삽입시키는 등의 방법이 바람직하다.
- ④ 직립제는 기부가 세굴 되기 쉬우므로 암반이 아닌 장소에서는 근고공을 충분히 시공한다. 또, 암반기초는 수평이 되어야 하지만 포대 콘크리트로 요철을 고르는 일이 많다. 포대 콘크리트의 배합은 단위 시멘트량을  $3\text{kN/m}^3$  이상으로 한다.



참고 그림 (4.7-1) 덮개 콘크리트의 시공 예



참고 그림 (4.7-2) 상치콘크리트 타설면

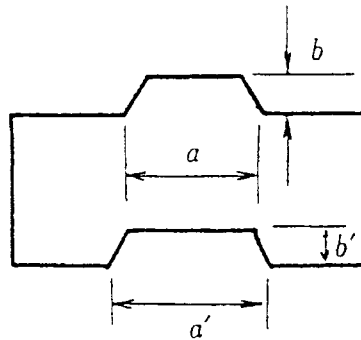
## (2) 콘크리트 블록식 직립제

- ① 블록의 쌓기 방법에는 수평 쌓기 경사 쌓기가 있으나 일반적으로 시공이 쉬운 수평 쌓기가 많다. 침식작용이 심한 장소 또는 침하가 심한 장소에서 비교적 수심이 얇은 곳에서는 경사 쌓기로 하는 경우도 있다. 이때에는 블록이 충분히 침하한 후에 상치

## 방파제

콘크리트를 시공한다. 상치콘크리트는 길이방향으로 10~20m의 간격으로 연결조인트를 둔다. 수평 쌓기의 경우에는 일체성이 유지되도록 방파제 길이방향과 직각인 단면(횡단면)의 종방향 연결부(Joint)는 위에서 밑에까지 통하지 않도록 엇갈려 배치한다. 경사 쌓기의 경우, 횡단면은 한 개의 블록으로 구성하는 것이 바람직하다. 경사의 각도는 보통 수평에 대하여 50~80°이다.

- ② 방파제 길이방향의 단면(종단면)에 있어서도 가급적 종방향 연결부는 연속되지 않도록 한다.
- ③ 콘크리트 블록은 활동을 방지하기 위하여 참고 그림 (4.7-3)과 같은 요철을 만들어 서로 맞물리도록 하는 방법이 일반적으로 사용된다. 볼록(凸)부의 폭  $a$ 는 50cm정도, 높이  $b$ 는 20cm 정도, 또는, 오목(凹)부의 폭  $a'$ , 높이  $b'$ 는 각기  $a$ ,  $b$  보다 5cm 정도 크게 하는 경우가 많다. 더욱 콘크리트 블록의 활동을 방지하는 방법으로 미리 콘크리트 블록에 구멍을 뚫어놓아 콘크리트 블록을 쌓아 올린다음 콘크리트를 채우거나 또는 50~70mm의 철봉 또는 헨 Rail을 넣고 그 주위에 모르타르를 주입하는 방법도 있으나 구멍이 너무 작으면 효과는 적고 너무 크면 콘크리트 블록이 파괴될 위험이 있다. 또, 콘크리트 블록을 맞물리게 하여 활동을 방지하는 방법도 있고 거북등 모양이나 북모양 등 이형 블록의 예도 있다. 그러나 통상의 설계에서는 이들의 효과는 무시하고 설계한다.



참고 그림 (2-8) 콘크리트블록 연결부

### (3) 셀룰러 블록(Cellular block) 직립제

- ① 셀룰러 블록의 속채움은 빈배합 콘크리트 또는 돌을 사용한다. 속채움에 콘크리트를 쓰면 셀룰러 블록 직립제의 일체성을 확보할 수 있다.
- ② 셀룰러 블록을 2단쌓기로 하면 일체성이 떨어지므로 가급적 1개로 하는 것이 바람직하다. 부득이 단쌓기로 할 경우에는 이 기준 1.6 시설물의 구성 [참고] 참고 그림 (1.6-1)(g)과 같이 셀룰러 블록 벽면의 상하에 요철을 붙여 상하의 셀룰러 블록을 맞물려 일체성을 높일 수 있다.
- ③ 속채움을 돌로 하는 경우 돌이 빠져나옴을 방지하기 위하여 셀룰러 블록에 저판을 붙이는 경우가 있다.
- ④ 상치콘크리트는 기준선방향으로 10~20m 간격으로 연결조인트를 둔다.

**(4) 콘크리트 단괴식 직립제**

- ① 콘크리트 단괴식 직립제에서는 수축 또는 부등침하에 의한 균열을 방지하기 위하여 1개 블록을 5~10m로 해야 한다.
- ② 콘크리트의 타설은 수중 콘크리트 공법, 프리팩트(Prepacked)콘크리트 공법, 또는 드라이 워크(Dry work)공법으로 한다.
- ③ 기초에는 다소 요철이 있어도 지장은 없으나 암반상의 모래, 암편 또는 해초 등을 잘 제거하여 콘크리트와의 밀착을 좋게 하고 거푸집에 접하는 부분은 다듬어서 접착을 좋게 해야 한다. 기초의 요철이 크고 지반이 단단하여 평평하게 다듬기가 어려운 경우에는 지반의 요철에 맞추어 거푸집을 잘라내어 거치 시 접합을 좋게 한다.
- ④ 상치콘크리트는 길이방향으로 10~20m 간격으로 연결이음부를 설치한다.

**4.7.2 혼성제**

사석기초부의 수심이 매우 깊은 경우나 파랑이 작아 사석기초부의 문제가 특별히 없는 경우를 제외하고는 근고블록을 설치하여 사석부의 세굴을 방지하도록 하여야 한다. 근고블록은 직립부에 밀착시켜야 한다.

**[해설]**

- (1) 직립부에 대하여는 이 기준 4.7.1 직립제에 준한다.
- (2) 혼성제의 사석기초부는 직립부의 안정성을 확보하기 위하여 극히 중요하고 특히, 직립부 하부가 세굴 또는 흡출되면 직립부가 경사되거나 활동하기 쉬워지고 또, 경우에 따라서는 직립부 부재의 파괴에 이르는 일도 있다.
- (3) 근고 블록의 전면에는 사석마운드 피복재가 설치되는데 근고 블록의 안정성면에서 피복재와 콘크리트 블록의 단차는 가급적 적은 것이 좋다.
- (4) 근고 블록에 구멍을 뚫어 투수성을 확보하여 재료간의 이질성을 줄이고, 급격한 극한 수리특성의 발생을 저감하여 기초부의 세굴과 흡출을 방지하며, 콘크리트블록에 작용하는 양압력은 저감하고 내파안정성은 크게 향상시킬 수 있다. 이와 같은 수리특성을 향상시키기 위해 근고공의 다양한 구조형태를 고려할 수 있다.

**[참고]**

- (1) 근고 블록을 설치하는 경우에는 직립부의 외해 측에 2개 이상 내해 측에 1개 이상 설치하는 것이 바람직하다.
- (2) 근고 블록의 구멍이 너무 크면 세굴·흡출방지 효과가 저하되기 때문에 개구율은 10% 정도가 좋으나, 이러한 문제가 없다면 기초부의 재질특성에 따라 다양하게 변화시킬 수 있다.

## 방파제

- (3) 근고 블록의 소요두께는 참고 식 (4.7-1)에 의하여 초기 설계치를 구할 수 있다.

$$t/H_{1/3} = d_f (h'/h)^{-0.787} \quad \text{참고 식 (4.7-1)}$$

여기서,  $t$  : 근고 block의 소요두께 (m)  
 $d_f$  : 간부에서는 0.18, 두부에서는 0.21 (m)  
 $h$  : 설계수심 (m)  
 $h'$  : 블록을 포함하지 않은 기초Mound부의 마루수심 (m)

적용범위는  $h'/h = 0.4 \sim 1.0$ 으로 한다.

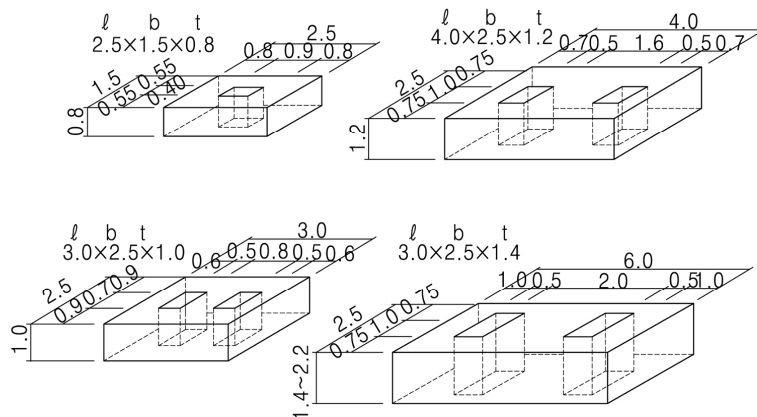
근고 블록 제원의 계산은 참고 식 (4.7-1)에 의하여 소요두께를 정하고 참고 표 (4.7-1)에 의하여 블록의 제원을 구하여 설계값으로 사용할 수 있다. 근고 블록의 설치 수심이 설계파고의 2배 이내에 위치할 수 있는 조건이 발생 가능할 경우에는 수리모형 실험 등을 통하여 그 기능과 안정성을 확인할 필요가 있다. 참고 그림 (4.7-4)에 블록 형상에 따른 제원의 예를 나타낸다.

- (4) 항내 측의 근고블록에 대하여는 항내파랑, 시공시파랑 및 월파의 영향을 고려하여 설계할 필요가 있다. 항내 측의 근고블록은 항외 측의 근고블록 중량보다 가벼운 중량을 사용해도 좋다. 종래의 설계에서는 항외 측의 1/2정도의 중량을 채택한 한 예가 많다. 단, 항내 파랑이나 시공시의 파랑에 의한 소요중량 보다 작아서는 안 된다. 특히, 시공단계에 따라 두부가 되는 장소에 대하여는 주의가 필요하다.
- (5) 소파블록 피복제의 항외 측의 근고블록에 대하여도 소파공 없이 방치하는 기간 등을 고려하여 시공 시 파랑에 대하여 참고 식 (4.7-1)을 써서 근고블록의 제원을 구할 수가 있다.
- (6) 사석기초부는 다짐효과를 얻기 위하여 한 계절 동안 방치하는 것이 좋으며 이렇게 하면 직립부 거치후의 침하도 적다.
- (7) 세굴 및 세립자의 흡출 등이 우려되는 경우에는 세굴·세립자 흡출 방지공을 설치한다. 세굴방지 공으로는 소단모양으로 사석을 투하하거나 버림 블록, 아스팔트 매트, 합성수지 매트 등에 의하여 비탈면 하단을 보호하는 방법이 있다. 이러한 세립자의 흡출, 세굴, 그에 의한 기초부의 침하 등을 저감 또는 방지하기 위한 방법을 다양하게 검토 적용할 수 있으며, 적용성에 대하여는 극한 조건을 대상으로 하여 실험적으로 검증할 필요가 있다.
- (8) 직립부를 똑바로 거치하기 위하여 사석상부는 공극을 메우는 등 수평으로 요철이 없이 사석이 충분히 맞물리도록 하여야 한다. 요철이 심하면 케이슨의 경우 케이슨이 뒤틀림 힘을 받거나 저판에 집중력이 작용하는 등 악영향을 받는다. 고르기 폭은 직립부의 양측에 적당한 여유를 고려할 필요가 있다. 근고 블록이나 피복석이 있는 경우에는 이 부분도 고르기를 하여야 한다.



참고 표 (4.7-1) 근고 블록의 소요두께와 제원

근고 블록소요두께 t(m)	규 격 l (m)×b(m)×t(m)	무 게 (ton/개)	
		유공형	무공형
0.8 이하	2.5×1.5×0.8	6.23	6.90
1.0 이하	3.0×2.5×1.0	15.64	17.25
1.2 이하	4.0×2.5×1.2	24.84	27.60
1.4 이하	5.0×2.5×1.4	37.03	40.25
1.6 이하	5.0×2.5×1.6	42.32	46.00
1.8 이하	5.0×2.5×1.8	47.61	51.75
2.0 이하	5.0×2.5×2.0	52.90	57.50
2.2 이하	5.0×2.5×2.2	58.19	63.25



참고 그림 (4.7-4) 근고 블록의 형상

### 4.7.3 경사제

- (1) 경사제의 기부에는 저질특성 등 필요에 따라서 세굴 및 세립자 유출방지공을 설치하여야 한다.
- (2) 난적의 블록제나 사석제에 상부공을 설치할 때에는 상부공의 기초석이나 작은 버림 블록으로 고르기를 하여야 한다.
- (3) 표사의 영향이 있는 곳에서는 파랑과 함께 모래도 투과하여 항내의 매물이 예상되므로 표사제어구조물 또는 모래막이공 등을 설치하여야 한다.

## 방파제

### [해설]

지진 및 파랑에 의한 액상화 발생한계와 그 가능성에 의한 구조물의 침하 및 안정성에 대한 점검과 대책을 검토하여야 한다. 이때 수리학적 구조물 기부세굴특성과의 관계도 함께 검토하는 것을 권장한다. 이들 특성을 검토할 수 있는 항목은 다음과 같다.

- (1) 세굴방지공으로는 사면의 선단부에 소단형으로 사석을 투하하거나 버림 블록, 아스팔트 매트, 합성수지 매트 등을 채택할 수 있으나, 기부세굴을 방지할 수 있는 다양한 방법을 검토하여 적용할 수 있다. (참고 그림 (1.6-1)(b) 참조)
- (2) 경사제의 표면 마무리는 표층 피복 재료를 서로 잘 맞물리도록 시공하고 마루부분은 특히 정밀하게 마무리한다.
- (3) 모래막이 공으로는 경사제 내부에 널말뚝, 블록 등으로 벽을 설치하거나 입도분포가 양호한 석재를 경사제의 내부 또는 향내측 법면에 설치한다.
- (4) 경사제는 파랑에 의하여 체체가 변형되기 쉬우므로 유지보수를 게을리 하면 안 된다.
- (5) 피복을 샌드매스틱(Sandmastic)공법으로 하는 경우의 배합은 KDS 64 10 20 재료 (4.3.4 샌드매스틱)을 참조한다.
- (6) 지반이 연약한 경우에는 침하나 함몰에 의하여 설계상의 단면적보다 상당히 많은 사석이나 버림 블록을 필요로 하나 지반이 양호한 경우에도 사석의 분산이나 다짐 등을 고려하는 것이 보통이다.

### 4.7.4 소파블록 피복제

소파블록의 하부 및 기부 부근에는 필요에 따라 세굴 및 세립자 유출방지공을 설치하여야 한다.

### [해설]

- (1) 파랑에 의한 지반의 세굴, 세립자 흡출에 의한 소파공의 침하가 발생하기 쉬우므로 세굴 방지공을 설치한다. 세굴 방지공에 대하여는 이 기준 4.7.3 경사제를 참조한다.

## 4.8 부재계산

케이슨, 셀룰러 블록, L형 블록의 부재계산은 KDS 64 14 20 프리캐스트 콘크리트 부재에 따른다.

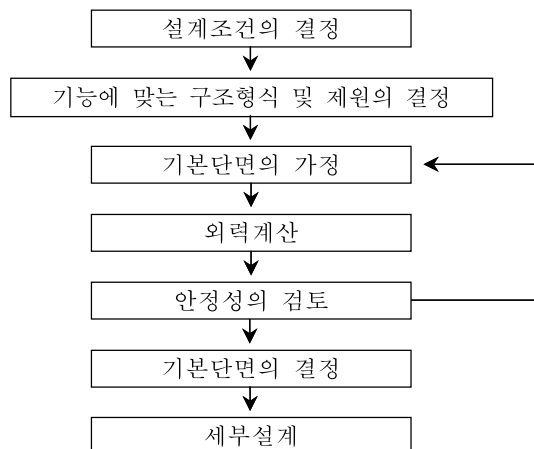
## 4.9 중력식 특수 방파제

### 4.9.1 일반

중력식 특수방파제의 설계에 있어서는 이 기준 4.4.1 직립제 및 4.4.2 혼성제에 준하는 설계기준 외에 기능 및 형상을 검토하여 소요 구조제원을 설정하여야 한다.

#### [참 고]

- (1) 중력식 특수방파제는 파력에 대하여 중량으로 저항하는 형식이므로 주로 직립제나 혼성제의 직립부를 소파성능이나 내파안정성 등의 면에서 개량한 구조물이다. 이들 형식에는 통수성을 갖는 투과형과 그렇지 않은 불투과형이 있으나 불투과형이 많다.
- (2) 구조형식은 특수한 형상의 케이슨을 사용하는 이형케이슨제와 특수한 블록을 연직으로 쌓은 직립소파 블록제로 대별된다. 이형케이슨은 다시 직립소파형, 사면형, 블록내장형 등으로 분류된다.
- (3) 직립소파 블록제는 다양한 구조형식을 가지고 있으나 일반적으로 항내 등 파랑환경이 험하지 않은 곳에서 쓰인다.
- (4) 직립소파형 케이슨은 일반적으로 파랑환경이 잔잔한 곳에서 쓰여 왔으나 이중원통케이슨 등과 같이 대수심, 고파랑 지역으로 적용성을 확장할 수 있는 것이 있다.
- (5) 이들 방파제는 그 적용조건이 한정된 것이 많으므로 해역의 환경 및 이용조건에 따라서 신중히 검토하여 적절한 형식의 것을 선정할 필요가 있다.
- (6) 종래의 기본형식과 다른 이들 방파제에 관하여는 파력, 파의 투과율, 반사율, 물의 투과성(해수교환율) 등의 수리특성이 아직까지 파악되지 않은 것도 있어 설계 시에는 체계적인 해석 및 수리모형실험 등에 의한 검증이 있어야 한다.
- (7) 설계의 순서  
중력식 특수방파제의 설계는 다음에 나타난 순서에 따라 행하는 것이 좋다[참고 그림 (4.9-1) 참조].



참고 그림 (4.9-1) 중력식 특수방파제의 설계순서

## 방파제

### (8) 설계조건의 결정

설계조건의 결정은 이 기준 4.2 설계조건의 결정에 준한다. 단, 소파기능을 가지는 형식의 방파제에서는 주 소파대상 파랑조건을 따로 결정할 수 있다. 즉 소파의 목적 및 파랑조건에 따라 안정성의 검토와 부재계산에 쓰이는 설계파 조건과는 별도로 정할 수 있다. 오히려 해역기능을 중시한 최대빈도파랑이나 설계파보다 작은 빈도파랑 조건(정상파)의 파랑제어기능을 강조하는 경우가 많다.

### (9) 기능에 맞는 구조제원의 결정

직립소파형 방파제에 있어서 반사파, 처오름 높이, 월파랑 등을 고려한 최적의 파랑제어 기능을 고려하여 목표로 하는 소파기능을 만족하고 안정성을 확보하는 구조제원을 결정하지 않으면 안 된다. 또, 이형 케이슨을 사용한 방파제에서는 그 형상의 특수성에 근거한 소요제원을 적절히 결정해야 한다. 특히, 전달율은 형식에 따라 다르므로 당해 구조의 전달특성에 따른 마루높이를, 그리고 통수성을 갖는 경우에는 개구부의 제원을 적절히 결정할 필요가 있다.

### (10) 기본단면의 설정

소파기능을 고려한 구조제원을 제외한 기본단면의 설정은 이 기준 4.4 기본단면의 설정에 준한다. 단, 종래의 기본형식 케이슨제의 경우 기초사석부와 파랑의 조건에 따라서 강력한 충격쇄파력이 발생하는 일이 있으므로 충격쇄파력의 발생을 피하도록 기초사석부의 형상을 결정할 필요가 있으나 투수성을 가지는 곡면 슬릿케이슨(Slit caisson)이나 멀티셀 케이슨(Multicellular caisson) 등과 같은 특수 케이슨제의 경우에는 그 필요성이 없는 것도 있다.

### (11) 외력계산

외력의 계산은 이 기준 4.5 외력계산에 준한다. 단, 파력은 구조형식에 따라서 현저하게 다르므로 당해구조 형식에 따른 적절한 계산식 또는 조건에 대한 수리모형실험에 의하지 않으면 안 된다. 특히, 다양한 부재로 구성된 구조물에 있어서는 직립부 전체의 안정성 검토에 쓰이는 파력 이외에 부재에 작용하는 파력에 대하여도 충분히 검토할 필요가 있다. 특히 상판을 불투과성 구조물로 설치할 경우에는 유수실내의 복합적인 파동 및 파랑과 공기압과의 상호작용에 의한 파랑제어기능의 변화 및 상판에 미치는 파력의 변화를 실험적으로 검토할 필요가 있다.

### (12) 안정성의 검토

안정성검토는 이 기준 4.6 안정계산에 준한다.

### (13) 부재계산

부재계산은 구조형식의 특수성에 맞게 KDS 64 14 20 프리캐스트 콘크리트 부재의 내용을 준용하여 계산한다.

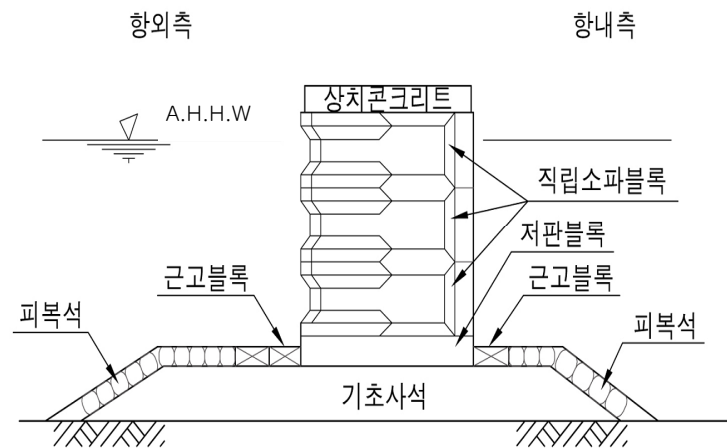
## 4.9.2 직립소파 블록제

### (1) 일 반

직립소파 블록제는 소파성능 등을 조사하여 블록을 선정하고 필요한 경우 수리모형 실험을 행하여 설계하여야 한다.

### [해 설]

- (1) 직립소파 블록제는 소파기능을 가진 특수블록(직립소파블록)을 직접 쌓아올린 블록식 직립제 또는 혼성제이다. 직립소파 블록은 다양한 구조형식이 개발되어 있으므로 그 소파성능 등을 충분히 조사하여 적절한 블록을 선정하도록 한다.
- (2) 직립소파 블록의 반사율은 파장의 주기에 따라 크게 다르므로 그 영향을 충분히 고려하여야 한다. 반사율의 결정에 있어서는 현지 조건을 고려한 수리모형실험에 의하는 것이 바람직하나 기왕의 실험에 의한 값을 참고로 하여 정할 수 있다.
- (3) 직립소파 블록제는 일체구조인 대형블록을 제외하고 일반적으로 파고가 비교적 작은 내만 또는 항내에서의 방파제로서 쓰이고 있다.



해설 그림 (4.9-1) 직립소파 블록제의 단면 예

### (2) 마루높이

직립소파 블록식 방파제의 마루높이는 이 기준 4.4.1 직립제를 참고하여 기능을 만족시키는 높이 및 소파부의 높이를 고려하여 정하여야 한다. 소파부의 마루높이는 소파효과를 고려하여 결정하여야 한다.

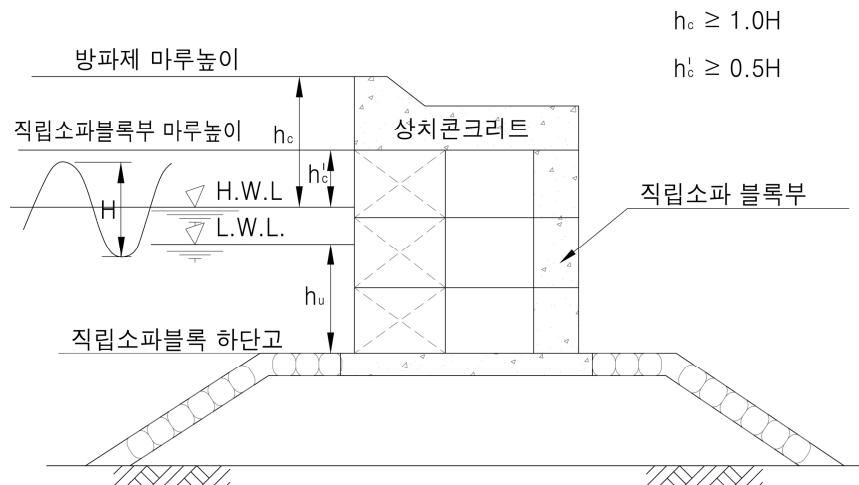
## 방파제

### [해설]

- (1) 직립소파 블록제는 혼성제에 비하여 월파 및 전달파는 적으나 소파블록 피복제보다는 크게 나타난다. 마루높이는 이들 특성과 배후의 이용조건을 충분히 고려하여 결정한다. 또, 마루높이를 결정할 때는 상부 콘크리트의 시공상 필요한 두께를 확보할 수 있도록 한다.

### [참고]

- (1) 직립소파 블록제의 소파효과는 직립소파 블록부의 마루 및 하단의 높이에 따라 변화한다.  
 (2) 마루높이( $h_c$ )에 대하여는 적어도 약최고고조위상 제체안정성 검토에 이용되는 유의파고의 0.5배 이상으로 한다. 또 하단고( $h_u$ )에 대하여는 약최고저조위하 제체안정성 검토에 이용되는 유의파고의 2배 이상의 깊이로 하는 것이 바람직하다[참고 그림 (4.9-2) 참조].



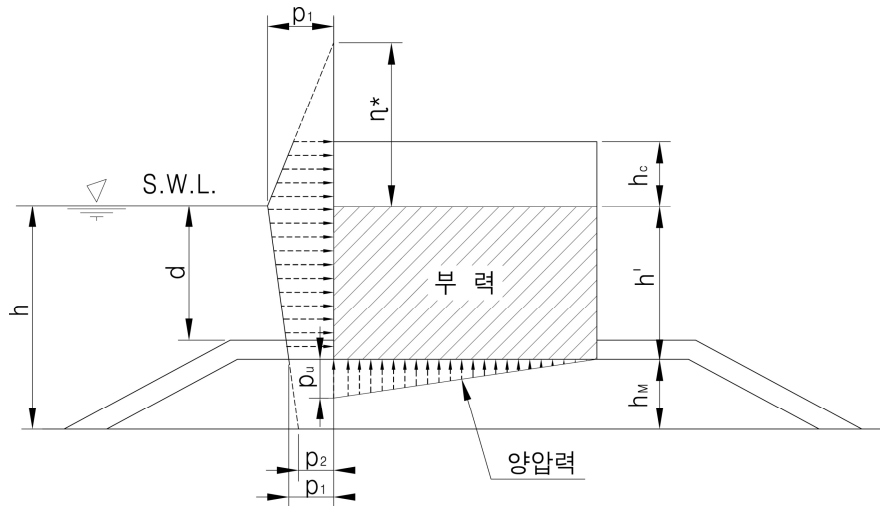
참고 그림 (4.9-2) 직립소파 블록식 방파제 마루높이

### (3) 파력

직립 소파블록제에 작용하는 파력은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9.2.9 직립 소파 케이슨에 작용하는 파력)에 따른다.

### [참고]

- (1) 직립소파 블록제에 작용하는 파력은 참고 그림 (4.9-3)과 같이 보며 부력을 고려한다. 직립소파 블록 각단 및 상부공에 작용하는 양압력은 제체전면에서 양압력 산정위치에서의 파압과 같은 강도를 갖고 제체후단에서 0이 되도록 삼각형 분포로 한다.



참고 그림 (4.9-3) 안전성의 검토에 사용하는 파압분포

- (2) 입사파의 입사각에 의한 파압강도 변화에 대하여는 특별히 실험으로 확인되지 않는 한 고려하지 않는다. 단 입사각에 의한 파랑제어효과의 변화, 연파 등 특수한 파랑환경의 발생가능성이 우려되는 경우에는 이들 특성에 대한 해석과 안정성에 대한 영향을 검토하고 대책을 수립하는 것을 권장한다.

### 4.9.3 소파 케이슨제

#### (1) 설계일반

소파 케이슨제는 소파성능 등을 검토하여 구조형식을 선정하고, 수리모형실험 등에 의해 수리특성 검증을 거쳐 설계하여야 한다.

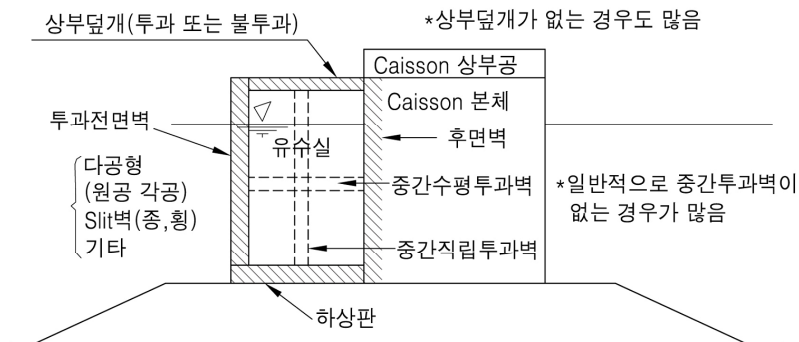
#### [해설]

소파 케이슨제는 적절한 구조형식을 선정하여 설치하였을 때, 기본형식의 직립제 및 혼성제에 비하여 다음의 특징을 갖는다.

- (1) 반사파를 저감시킬 수 있다.
- (2) 월파에 의한 전달파를 저감시킬 수 있다.
- (3) 파력을 저감시킬 수 있다. 특히, 높은 기초사석부를 가지는 케이슨제에서는 큰 충격 왜파력이 작용하는 경우라도 소파 케이슨제에서는 현저한 파력증대가 없다. 이 외에도 기포의 혼입을 촉진하고 해수의 폭기 기능을 가지며 유수실이 어초기능 등 친환경적 효과를 가진다.

[참 고]

- (1) 소파 케이슨은 전면부에 투과벽과 유수실을 갖고 이것에 의하여 소파효과를 발휘하는 구조형식을 말한다. 참고 그림 (4.9-4)은 소파 케이슨의 구조요소를 보여주는 것이나 각 요소의 형상, 조합에 따라서 중 슬릿케이슨, 횡 슬릿케이슨, 곡면 슬릿케이슨, 다공식 케이슨 등 다양한 구조형식을 생각할 수 있다. 소파케이슨의 구조형식의 선정에 있어서는 각 구조의 소파성능, 내파성 등의 특성을 체계적으로 검토한 후 설계조건, 이용조건, 경제성 등을 고려하여 적절한 구조를 선정할 필요가 있다.



참고 그림 (4.9-4) 직립소파 케이슨의 구조요소

- (2) 다양한 소파 케이슨제의 구조형식 및 수리특징을 고려하여 해역의 파랑제어 목적에 부합하는 최적의 형상을 채택할 수 있으나, 극한조건 등에 대한 체계적 해석과 수리모형 실험을 통한 검증이 바람직하다.

(2) 소파대상 파랑조건 결정

소파 케이슨의 설계시에 소파의 목적 및 파랑조건에 따라서 소파의 주된 대상이 되는 파의 조건을 안정성의 검토 또는 부재계산에 사용하는 설계파와는 별도로 정할 수 있다.

[해 설]

소파 케이슨은 일반적으로 반사파 저감을 목적으로 채용하는 경우가 많으나 그 소파의 목적을 분명히 하여 거기에 따라서 소파대상 파의 조건 및 목표반사율을 결정하여야 한다. 특히 소파 케이슨의 반사율은 파의 주기에 의하여 현저하게 변화하므로 주기의 특성을 분석하여 소파대상 파의 조건을 결정할 필요가 있다.



## (3) 소파부 제원의 결정

투과 벽과 유수실로 이루어지는 소파부의 구조 및 제원은 당해 구조의 소파특성 조위 변화 등을 고려하여 소파 대상파의 반사율이 목표반사율 이하가 되도록 정하여야 한다.

**[해설]**

- (1) 소파부의 구조 및 제원은 소파성능 외에 월파, 전달파나 파력에도 관계가 있으므로 이들 특성도 고려하여 결정할 필요가 있다.
- (2) 소파 케이슨의 반사율은 파랑, 조위, 수심 외에 전면 투과벽의 구조, 유수실의 폭, 유수실 상부덮개 유무와 그 높이 및 기초사석부의 높이 등에 의하여 변화하므로 소파 대상파의 반사율이 목표반사율 이하가 되도록 적절히 소파부의 구조제원을 결정하여야 한다. 파랑제어 기능면에서 보면 유수실의 높이를 충분히 높게 하거나 개방성을 유지하는 것이 좋다.

## (4) 안정성의 검토에 쓰이는 파력

안정성의 검토에 사용할 파력은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9.2.9 직립 소파케이슨에 작용하는 파력)에 따른다.

## (5) 부재계산에 사용하는 파력

부재계산에 사용할 파력은 각 부재에 작용 가능한 외력특성 중 가장 불리한 것을 사용하여야 한다.

**[해설]**

소파 케이슨의 부재에 작용하는 파력에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9.2.9 직립 소파케이슨에 작용하는 파력)이외에 KDS 64 14 20 프리캐스트 콘크리트 부재(4.2.2 부재에 작용하는 외력)을 참조하여 적용한다.

#### 4.9.4 상부사면 케이슨제

##### (1) 설계일반

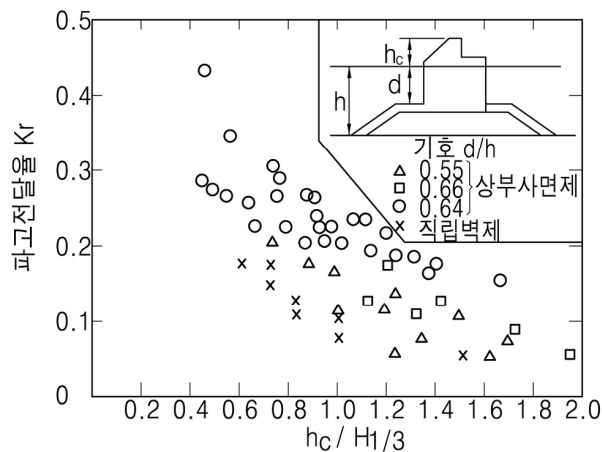
상부사면 케이슨제는 파랑의 전달특성 등을 조사하여 형식을 선정하며 필요한 경우 수리모형실험을 통하여 검증하여 설계하여야 한다.

##### [해설]

상부사면 케이슨제는 수평파력을 저감하는 동시에 사면벽에 작용하는 파력을 제체의 안정에 이용할 수 있는 방파제 구조형식이다. 기본형식의 직립제와 비교하여 전달파고가 커지므로 항내정온도 등을 고려하여 마루높이를 결정한다.

##### [참고]

- (1) 상부사면 케이슨제에 있어서 사면벽의 경사를 급하게 하면 항내전달파는 상대적으로 저감하는 효과가 있지만 역으로 파압이 커져서 사면체로서의 효과가 감소된다. 전달율의 변화 양상, 파압감쇄효과, 시공성 등으로 보아 사면경사는 45°로 하는 것이 좋다. 그 이외의 구조세목은 이 기준 4.7 구조세목에 따른다.



참고 그림 (4.9-5) 파고전달율과 상대마루높이

- (2) 상부사면케이슨제의 전달파고는 참고 그림 (4.9-5)에서 보는바와 같이 마루높이가 같은 직립제의 2배 정도가 되며 마루높이를 설계유의파  $H_{1/3}$ 과 같게 하면 직립제의 마루높이가 설계유의파고의 0.6배인 경우와 같은 정도로 전달파고를 억제할 수가 있다.
- (3) 상부사면 케이슨제에서는 정수면에서부터 사면으로 하는 것이 일반적이나 사면하단이 정수면보다 밑에 있는 반잠수형으로 하면 파력을 더욱 저감 시킬 수 있다. 조차 등이 큰 해역에서는 이 기준면의 설정에 주의할 필요가 있다.

- (4) 케이슨 전면의 직립부 영역을 소파블록으로 피복한 소파블록 피복 상부사면제에서는 반사파를 저감시킬 뿐 아니라 전체의 안정성도 통상의 상부사면제보다 우수하다. 단, 소파블록의 마루높이에 따라서는 충격 쇄파압의 발생으로 이어지는 경우도 있다. 또, 소파블록이 정수면까지만 있으므로 블록의 안정성을 확보하기 위하여 특히 주의할 필요가 있다.

## (2) 파력

상부사면 케이슨제에 작용하는 파력은 수리모형실험 또는 산정식에 의하여 결정하여야 한다.

## [참 고]

- (1) 상부사면 케이슨제에 작용하는 파력은 수리모형실험을 통해 결정하는 것이 바람직하나 이것이 곤란할 경우 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9.2.8 상부사면 케이슨제에 작용하는 파력)을 참조할 수 있다.
- (2) 소파블록으로 피복된 상부사면 케이슨제의 파력은 제체의 안정성검토를 위한 파력조건과 구조부재의 부재력 계산을 위한 파력조건을 별도로 정할 수 있다.

## 4.10 친수기능 방파제

친수기능이 고려된 방파제는 자연조건, 하중조건 등의 변화에 대하여 이용자의 안전성에 미치는 영향을 검토하여야 한다. 단면제원의 결정시에는 월파 및 물보라의 영향, 이용자의 미끄러짐, 전도 및 전락의 방지, 전락한 이용자의 원활한 구조활동을 위한 부대시설을 설치하여야 한다.

### [해설]

- (1) 친수기능 방파제의 단면설정, 마루높이, 안정계산 등은 이 기준 4.4.1 직립제 및 4.4.3 경사제에 준한다.
- (2) 친수기능 방파제의 마루높이는 직립제 및 경사제에 준하는 마루높이에 더하여 월파 및 물보라 등으로 부터 이용자의 안전을 확보할 수 있는 마루높이 검토가 필요하다.
- (3) 마루높이는 제체의 마루높이와 이용상의 마루높이로 구분할 수 있으며 이용자에 대한 안전을 검토하는 경우에는 실제 이용자의 이용하는 높이인 이용상의 마루높이가 그 검토대상이 된다.
- (4) 친수기능 방파제는 불특정 다수가 이용할 수 있는 시설이므로 이용자를 위한 안전시설과 편의시설 등도 고려해야 한다.
- (5) 친수기능 방파제 안전시설은 항만시설물의 안전시설 설계지침(2009, 국토해양부)을 참조할 수 있다.

## 4.11 목재취급시설의 방파제

### 4.11.1 수면목재 저장장 및 수면 정리장의 방파제

- (1) 목재취급시설의 방파제는 이상고조위시 목재가 유출하지 않도록 방파제의 구조, 배후수역의 이용 상황 등을 고려하여 설계하여야 한다.
- (2) 목재취급시설의 방파제는 이 기준 외에 필요한 경우 KDS 64 45 30 기타형식 방파제를 따른다. 또한, 필요한 경우 목재의 충돌력에 대한 구조의 안정을 확보하여야 한다.

### [해설]

목재 저장 수역 및 수면정리장은 일반적으로 항내 깊숙한 곳에 위치하므로 일반적인 방파제의 경우와 달리 파랑을 주요 외력인자로 하는 기능보다는 목재의 유출방지기능이 중요하다. 따라서 바람, 조류, 해일 및 장주기 파랑에 의한 목재의 충돌력에 대한 안정성 등에 대하여 검토해야 한다.

**[참 고]**

- (1) 제체 내부 수역의 정온도에 대하여는 이상 시에도 50cm 정도의 파고인 경우가 많다. 목재의 유출 등과 관련한 수리현상은 파고뿐만 아니라 폭풍해일 등 장주기 파동과 이상수면변동과 관련한 목재의 이동과 산란이 문제가 되는 경우가 있으므로 이에 대한 검토가 중요하다.
- (2) 마루높이는 이상고조위시에 목재가 유출하지 않도록 결정하여야 하나 이상조위상 설계유의파고의 0.6배 정도 이상으로 하는 것이 바람직하다.
- (3) 목재의 충돌력에 대하여는 목재의 이동 및 동요요인이 되는 지역의 외력 특성을 고려하여 계산되어야 한다. 명확한 정량적 기준을 마련하기 어려운 점이 많으므로 지역의 특성과 이용특성을 충분히 고려하고 기존의 설계사례 등을 참고하는 것이 좋다.

**4.11.2 목재유출방지책**

- (1) 목재유출 방지책은 목재 유출을 방지할 수 있는 마루높이, 말뚝간격을 갖추어야 하며 필요한 경우 상부공을 설치하여야 한다.
- (2) 목재유출 방지책 및 목재계류용 말뚝은 목재의 충돌력, 견인력에 견딜 수 있는 구조로 하여야 한다.

**[해 설]**

- (1) 목재정리장의 목재 유출을 방지하기 위하여 필요에 따라 목재 유출 방지책 또는 목재 계류용 말뚝을 설치한다.
- (2) 목재유출 방지책 및 목재 계류용 말뚝의 구조 설계에 있어서 고려하여야 하는 주요 하중은 파랑, 바람, 조류 및 해일(폭풍해일 및 지진해일) 등 장주기 성 파동에 의한 목재의 동요와 이류에 의한 충돌력 또는 견인력이다. 현지조건에 따라서는 파력 및 해수유동에 의한 유체력 자체가 중요할 경우가 있으므로 이를 고려한다.

## 4.12 폭풍해일 방파제

- (1) 폭풍해일 대책을 주목적으로 하는 방파제는 폭풍해일에 의한 배후 수역 및 육역의 피해영향의 저감효과를 감안하여 평면배치 및 마루높이 등을 결정하여야 한다.
- (2) 폭풍해일 대책을 주목적으로 하는 방파제는 파랑 등의 외력에 대한 구조의 안정은 물론 폭풍해일 내습시의 외력특성을 감안하여 구조의 안정을 확보하여야 한다.

### [참 고]

- (1) 폭풍해일 방파제의 마루높이는 설치 위치의 설계조위와 설계파랑 특성을 고려하여 해일에 의한 배후지 방재시스템과 연계하여 필요한 높이를 구한다.
- (2) 제체의 안정성은 설계조위의 수면조건에 설계파가 내습한 경우를 검토하고, 방파제 내외의 수면차는 폭풍해일 등 장주기 수면변동에 의한 상승과 하강의 시간 변동을 고려한다. 또, 지진시의 외력은 제체에 작용하는 관성력, 동수압을 고려한다.
- (3) 폭풍해일 방파제의 기초는 지수공을 설치하거나 투수성에 의한 유입을 효율적으로 차단하여야 한다.
- (4) 제체 내외의 수위 차에 의하여 방파제의 기초사석을 통한 침투류가 발생하여 기초 지반이 세굴되는 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 작은 쇄석이나 매트 등을 부설하는 등 세굴방지공법을 채용할 필요가 있다. 사석내의 침투류에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건(4.4.7 지하수위와 침투) [해설] (2) ④를 참조한다.
- (5) 폭풍해일 방파제의 설계에 있어서는 일반 방파제보다도 개구부 주변 및 제두부의 극단적인 유속증대에 의한 유체력 및 기부 세굴에 의한 구조물의 안정성 등을 검토하여야 하며, 확률론적 설계조건에 의한 극치조건의 안정성에 대하여 검토하여야 한다. 이 때 수리 및 수치실험에 의한 검증과정을 거치는 것이 바람직하다.

### 4.13 지진해일 방파제

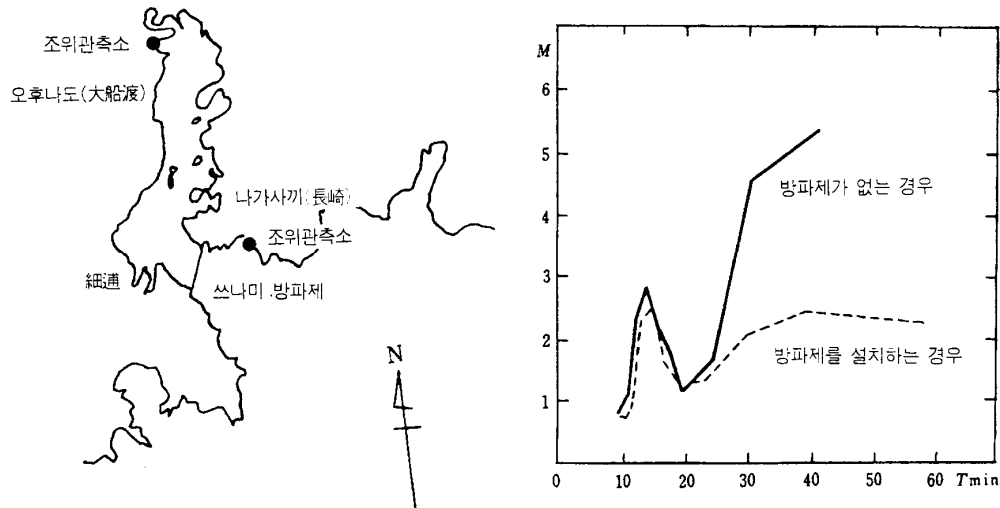
- (1) 지진해일 대책을 주목적으로 하는 방파제는 지진해일 영향의 저감효과 등을 감안하여 평면배치, 마루높이 등을 설정하여야 한다.
- (2) 지진해일 대책을 주목적으로 하는 방파제는 파랑 등의 외력에 대한 구조의 안정이외에 지진해일 내습시의 특성을 감안하여 구조물의 안정을 확보하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 지진해일 방파제의 설계에서는 지진해일 저감효과, 항 입구 유속 등 폭풍해일 방파제와 같은 외력항목을 검토하고 고려할 수 있도록 한다. 지진해일 방파제의 마루높이는 폭풍해일 방파제의 마루높이 결정기준을 준용한다. 항만의 방파제가 일반 방파제의 기능과 지진해일 방파제 등의 복합적 기능을 할 경우에는 설계파랑의 월파 및 지진해일의 월파에 대하여 필요한 마루높이를 비교하여 높은 쪽을 취한다. 이때 높은 쪽의 월파 등을 저감할 수 있는 구조형식을 검토하여 적용할 수 있다. 한편 지진해일의 피해를 막기 위한 방파제는 배후수역 및 육역의 방재시스템과 연계하여 그 마루높이 및 평면배치를 확률론적으로 결정할 수 있다. 지진해일에 대하여는 KDS 64 10 10 설계조건 (4.4.4 지진해일)을 참조한다.
- (2) 지진해일 시에 제체에 가하는 외력으로는 제체 내외의 수위 차에 의한 정수압과 지진해일에 의한 파력이 있다. 더구나 방파제 배후의 수위는 지진해일의 유입 유출에 따라서 반드시 정수면과 일치하지 않는다는 점에 유의할 필요가 있다. 지진해일에 의한 파력에 대하여는 해명되지 않은 부분이 많기 때문에 수리모형실험 등의 적절한 방법에 의하여 파력을 확인하는 것이 필요하다.
- (3) 좁은 항입구부에 지진해일이 내습한 경우 유속이 증대하고 수류의 와류가 발생하여 수중 기초사석부의 피복재의 안정성에 큰 영향을 미치는 일이 실험적 연구에 의하여 확인되고 있다. 또 폭풍해일보다도 크다고 하는 지진해일의 소류력의 영향도 있다. 특히 항입구부에 대한 제체 직립부의 안정성 및 기초지반의 세굴방지를 도모해야하는 등 세밀한 주의가 필요하다.
- (4) 지진해일 방파제는 수심이 깊은 곳에 설치하는 경우가 많으며 이 경우에는 제체높이도 커지고 지진시의 안정이 특히 문제가 되므로 기초 사석부 재료의 비선형성을 고려한 지진응답 계산을 하여 내진성을 검토하는 것이 바람직하다. 더욱 높이가 큰 구조물은 일반적으로 위로 갈수록 지진력이 커지므로 높이에 따라 진도를 변화시키는 방법도 있다. 또 기초 사석부 사면의 지진 시 안정에 대하여도 검토하는 것이 바람직하다.
- (5) 수심이 깊어짐에 따라서 기초부의 높이가 커질 수 있기 때문에 파력에 대한 기초사석부의 안정이나 기초 사면의 파랑에 의한 변형에 주의할 필요가 있다. 또 기초사석부의 압축량이 커지므로 사석의 여성고 등을 배려할 필요가 있다.

## 방파제

- (6) 지진해일 방파제의 효과는 해설 그림 (4.13-1)과 같이 주기가 긴 장주기 진동에서 방파제가 있는 경우의 파고 증폭률  $M$ (만내진폭/입사진폭)이 방파제가 없는 경우와 비교하여 크게 감소하여 지진해일 저감 효과를 발휘하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 지역특성에 따라 그 효과를 주기(주파수) 특성별로 해석하고 확인하는 과정이 필요하다.

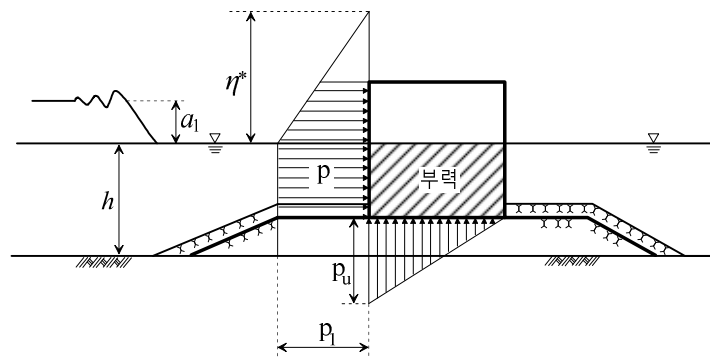


해설 그림 (4.13-1) 지진해일 방파제의 효과(오후나도만의 경우)

- (7) 외력에 의한 구조안정성은 직립부의 활동, 전도 및 기초지반의 지지력부족으로 인한 파괴에 대한 안정성 여부를 검토하되 이 기준 4.6 안정계산을 참조한다.

## [참 고]

지진해일에 의한 파력에 대하여 단주기 파로부터 장주기파로의 천이과정(遷移過程)에서 파력의 변화를 기초사석부의 높이에 따라 검토하고, 파력의 변화에 대한 주기효과를 검토할 필요가 있다. 주기가 극단적으로 길어지면 사석부 높이의 영향은 무시할 수 있게 되어  $\alpha_2 = 0$ 로 한 값 정도에 가까워지는 것 같다. 장주기파에 의한 파력은 KDS 64 10 10 설계조건(4.4.4 지진해일)의 파력을 참조할 수 있다[참고 그림 (4.13-1) 참조].



참고 그림 (4.13-1) 장주기파의 파력



### [참고문헌]

- 1) 국토해양부(2009), 항만시설물의 안전시설 설계지침
- 2) 국토해양부(2012), 항만 및 어항공사 표준시방서
- 3) 해양수산부(1999), 항만용어사전
- 4) 해양수산부(2014), 항만 및 어항 설계기준·해설
- 5) 해양수산부(2017), 항만법
- 6) 日本港灣協會(2007), 港灣施設の技術上の基準・同解説



집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전무
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사·연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	상무
	재료·프라이프 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전무
	계류시설	이욱한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문맞기·타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전무
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케앤이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총괄	주재욱	(주)평화엔지니어링	고문
	파랑및파력	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	조석	강석구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이윤환	(주)도화엔지니어링	부회장
	지반	임종철	부산대학교	교수
	콘크리트	김우	전남대학교	교수
	방식·도장	라윤강	(주)한국국토안전연구원	원장
	외곽시설	전인식	건국대학교	교수
	표사·연안보전시설	김효섭	국민대학교	교수
	표사·연안보전시설	전인식	건국대학교	교수
	재료·계류시설	이진용	(주)세광종합기술단	사장
	재료·계류시설	정대연	(주)대영엔지니어링	대표이사
	부두포장	정진훈	인하대학교	교수
	내진	박두희	한양대학교	교수
	전문맞기·타부두	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	어항	이상기	(주)건일	부사장
	마리나	지삼엽	부경대학교	교수
	항로표지시설	이승재	대기해양(주)	상임고문
	항만하역시설	함성진	(사)인천항시설관리센터	소장
	항만전기설비	김세동	두원공과대학교	교수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	쿨크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전문

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 45 20 : 2017

## 방파제

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 45 30 : 2017

# 기타형식 방파제

2017년 8월

### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.



# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만설계기준 제정</li> <li>• 설계조건, 구역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록</li> </ul>	제정 (1971.12)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정</li> </ul>	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정</li> </ul>	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정</li> </ul>	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정</li> </ul>	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정</li> </ul>	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호의 정의 .....	1
1.6 시설물의 구성 .....	1
2. 조사 및 계획 .....	2
2.1 계획 .....	2
3. 재료 .....	2
4. 설계 .....	2
4.1 구조형식의 선정 .....	2
4.2 말뚝식 방파제 .....	4
4.3 부유식 방파제 .....	8



## KDS 64 45 30 기타형식 방파제

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 기타형식 방파제를 계획하고 설계할 때에 필요한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

이 기준은 항내 정온을 유지하기 위하여 설치하는 방파제 중 중력식을 제외한 기타형식 방파제의 표준적인 설계기준을 제시한다.

#### 1.3 참고기준

내용 없음

#### 1.4 용어의 정의

- 강관(鋼管) 방파제 : 강재말뚝만으로 파랑을 막는 형식을 말한다.  
이 기준에서는 커튼식 방파제와 강관 방파제 모두를 말뚝식 방파제라고 한다.
- 부유식(浮遊式) 방파제 : 수면에 떠있는 부유물체로 파랑을 막는 형식을 말한다.
- 커튼식(Curtain wall) 방파제 : 투과성의 말뚝구조물에 콘크리트판 등 커튼을 설치하여 파랑을 막는 형식을 말한다.

#### 1.5 기호의 정의

내용 없음

#### 1.6 시설물의 구성

- (1) 말뚝식 방파제
- (2) 부유식 방파제

## 2. 조사 및 계획

### 2.1 계획

#### 2.1.1 방파제의 배치

KDS 64 45 20 방파제(2.1 계획)를 따른다.

## 3. 재료

내용 없음

## 4. 설계

### 4.1 구조형식의 선정

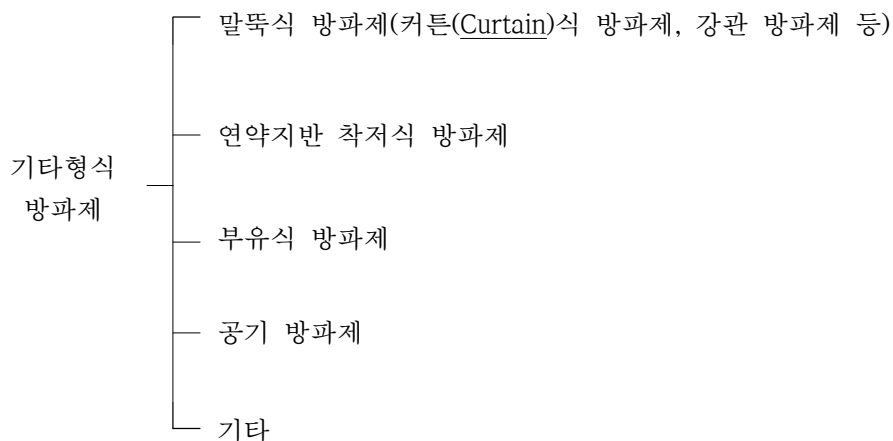
- (1) KDS 64 45 20 방파제에서 규정하고 있는 중력식 방파제 구조와 다른 형식이므로 설계조건을 만족하는 구조를 선정하고 그에 따른 설계법 또는 수리모형실험에 근거하여 설계하여야 한다.
- (2) 기타형식 방파제는 통수성 등의 구조적인 성능, 지반, 수심, 파랑 등의 자연조건, 일시적 사용 등 용도상의 목적에 따라 각 형식의 수리특성을 고려하여 형식을 선정하여야 한다.
- (3) 기타형식 방파제 설계조건은 다음 사항을 고려하여야 한다.
  - ① 파랑조건
  - ② 해수교환율
  - ③ 소파의 필요성
  - ④ 항내정온도
  - ⑤ 지반조건 등

#### [참 고]

- (1) 이 기준에서 기술하는 기타 형식의 방파제는 KDS 64 45 20 방파제에서 취급한 중력식 구조와 다른 특수한 방파제이다.
- (2) 방파제의 배치, 설계조건, 결정 등은 KDS 64 45 20에서 정한 규정에 따르고 그 구조의 특성에 따라 KDS 64 45 20의 규정 또는 기타 구조의 안정에 관한 규정에 준하여 적절한 안정성을 확보하도록 한다. 단, 특수한 구조 형식에 있어서는 수리모형

실험 또는 구조물의 특성을 감안한 적절한 해석법에 의하여 구조의 안정성을 확보 하도록 한다. 특수한 형식의 방파제의 명칭이나 분류는 목적에 따라 다양하나 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 중력식 이외의 방파제는 연약지반 등 특수한 환경조건이나 이용목적에 따라서 이점이 있는 경우에 사용한다. 고파랑 및 장주기파에 대한 파랑제어기능의 한계 등 성능의 한계가 있어 일반적으로 만내 또는 항내 등 파고가 비교적 작은 곳에서 적용할 수 있는 형식이다.
- ② 말뚝식 방파제는 말뚝의 저항력으로 파력에 저항하는 형식으로 커튼(Curtain)식 방파제와 강관방파제 등이 있다.
- ③ 착저식 방파제는 제체저면과 점토지반 표층의 점착력으로 수평파력에 저항하는 것으로, 저항력이 부족한 경우에는 말뚝 등 저항력을 부가시킬 수 있는 구조형상의 변형과 연계시켜 사용할 수 있다. 연약한 점토지반상에 방파제를 건설하기 위하여 개발된 것으로 지반개량이 불필요하므로 경제적이다.
- ④ 부유식 방파제는 부유물체를 계류시켜 방파제로 하는 것으로 부체의 형상에 지배를 받으며, 폰툰(Pontoon)형의 것이 지배적이나 다양한 형상과 변형을 통해 기능을 극대화 할 수 있다. 이상 기상 시 분리되어 2차 재해를 일으키지 않도록 적절한 조치를 강구하여야 한다.
- ⑤ 공기방파제는 수중의 기포관으로부터 공기를 방출하여 파랑을 소멸시키는 것으로서 선박의 항행을 저해하지 않는 등의 특징이 있다. 주기가 짧은 파랑에는 효과가 있으나 다양한 파랑환경의 제어라는 면에서 한계가 있으나 환경제어 시스템과 연계한 장점을 응용할 수 있는 해역에서는 적용이 가능하다.



- (2) 이들 방파제는 그 적용조건이 한정된 것이 많으므로 해역의 환경 및 이용조건에 따라서 신중히 검토하여 적절한 형식의 것을 선정할 필요가 있다.
- (3) 중력식 방파제 형식과 다른 이들 방파제에 관하여는 파력, 파의 투과율, 반사율, 물의 투과성(해수교환율) 등의 수리특성이 아직까지 파악되지 않은 것도 있어 설계 시에는 체계적인 해석 및 수리모형실험 등에 의한 검증이 있어야 한다.

## 4.2 말뚝식 방파제

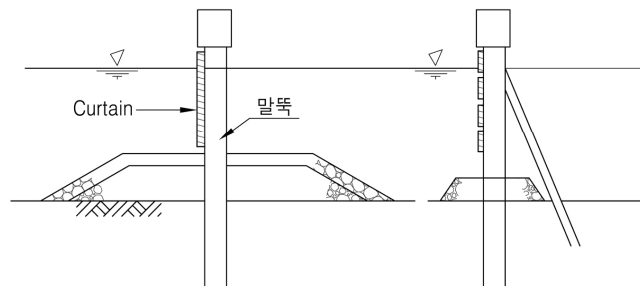
### 4.2.1 설계일반

말뚝식 방파제는 반사율, 투과율 등을 고려하여 구조를 선정하고 필요한 경우 수리 모형실험을 수행하여 설계하여야 한다.

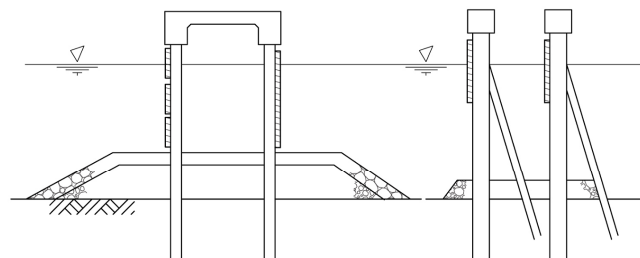
#### [해설]

(1) 말뚝식 방파제는 커튼(Curtain)식 방파제와 강관 방파제로 크게 나뉜다.

커튼식 방파제는 투과성의 말뚝식 구조물로서 내만 등의 비교적 파고가 작은 수역 또는 해저지반이 연약한 장소 등에서의 방파제로 개발된 것이다. 이 형식의 방파제는 파의 진행방향에 대하여 콘크리트판 등 일종의 커튼을 어떻게 배치하느냐에 따라 단일 커튼식 및 2중 커튼식 등으로 대별된다[해설 그림 (4.2-1)]. 또한 커튼에 설치하는 슬릿(Slit)의 형상에 따라 다양한 형식을 가질 수 있다. 강관(鋼管) 방파제는 커튼식 방파제로부터 커튼부를 없애고 말뚝만으로 파를 막는 방파제를 의미하며 이들의 설계에도 커튼식 방파제의 개념이 준용된다.



(a) 단일 Curtain식 방파제



(b) 2중 Curtain식 방파제

해설 그림 (4.2-1) 커튼식 방파제의 분류

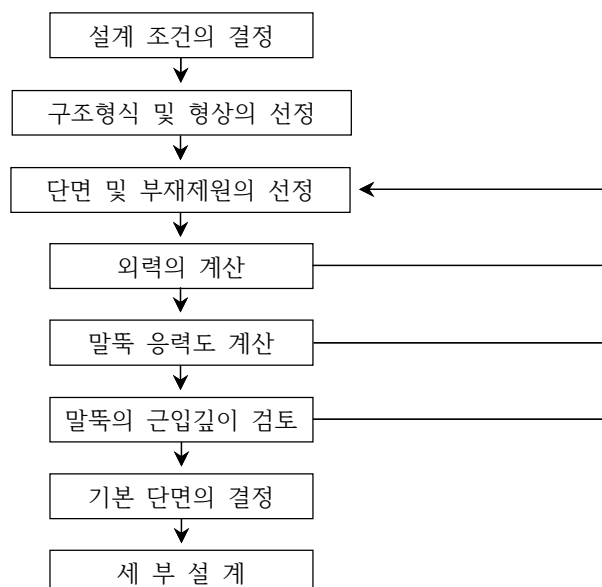
(2) 커튼식 방파제는 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 반사율은 소파블록 피복제와 같은 정도 이하로 저감할 수가 있다.

- ② 커튼에 설치하는 슬릿 또는 커튼하단과 해저간의 간격을 통하여 조석 및 파랑에 의한 해수교환을 기대할 수 있다.
  - ③ 말뚝의 타설, 커튼 설치용 철물의 부착, 커튼의 설치 등 현장에서의 공종이 많고, 상당한 시공 정밀도를 요구한다.
  - ④ 단일커튼식과 2중 커튼식 방파제를 비교하면 2중 커튼식은 전후의 커튼사이에서 파랑 에너지 감쇄효과가 기대되므로 단일 커튼식 보다 반사파 및 전달파를 저감시킬 수 있다.
  - ⑤ 커튼 벽의 하부를 통과하는 수류의 유속이 상당히 빨라지므로 토사의 흡출 및 세굴을 방지 또는 억제하기 위한 적절한 대책을 강구해야 한다.
- (3) 강관 방파제는 강말뚝 또는 강널말뚝을 사용한 방파제로서 경량구조이므로 연약지반 조건의 비교적 파고가 작은 장소에 적합하다.
- (4) 말뚝식 방파제의 설계조건은 KDS 64 45 20 방파제(4.2 설계조건의 결정)에 따라 결정한다. 단, 말뚝식 방파제의 반사율, 투과율은 파형경사 등에 따라 변화하므로 이들을 검토함에 있어서는 일반적으로 항만의 이용에 지장을 주리라고 예상되는 비교적 빈도가 높은 파랑을 검토대상으로 한다.
- (5) 커튼식 방파제의 구조형식 및 형상은 당해 방파제가 설치되는 해역의 해상조건, 당해 방파제에 요청되는 반사율, 투과율 등의 목표치 및 각 구조형식별 시공성 등을 감안하여 결정한다.
- (6) 커튼식 방파제의 마루높이, 하단의 깊이, 슬릿의 크기 및 커튼간의 간격 등의 단면 설정에 있어서는 조건에 부합하는 모형실험에 의하여 정하는 것이 바람직하다. 커튼 및 말뚝 등의 부재제원은 기준선방향의 말뚝 간격 등을 고려하여 적절히 정한다.

## [참 고]

- (1) 말뚝식(커튼식) 방파제의 설계는 다음의 순서로 하는 것이 좋다[참고 그림 (4.2-1) 참조].



참고 그림 (4.2-1) 말뚝식(커튼식) 방파제의 설계순서

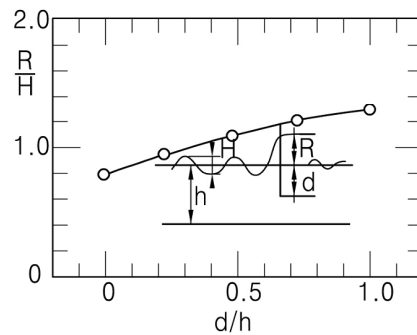
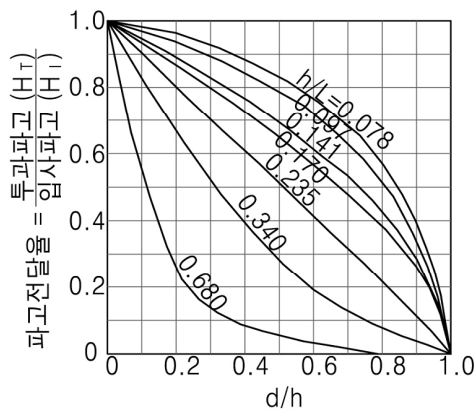
## 기타형식 방파제

- (2) 단일 커튼식 방파제에 대해서는 모리히라(森平) 등에 의한 모형실험의 예가 있다.

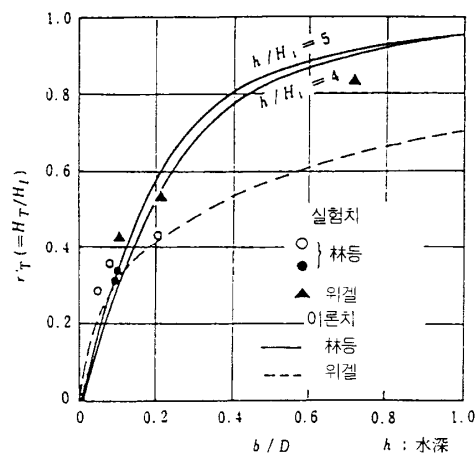
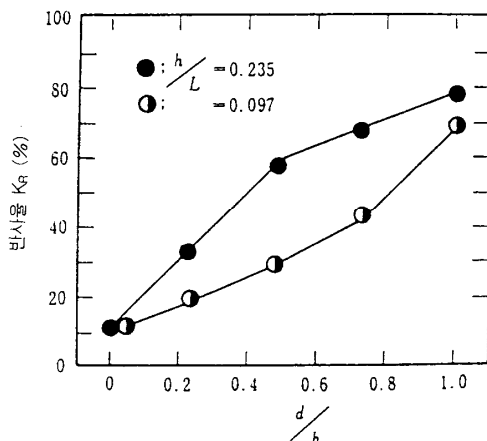
커튼하단의 깊이는 파고 전달율이 결정되면 참고 그림 (4.2-2)와 같은 기본특성을 고려하여 초기 설계치를 구하고 또, 커튼의 높이는 참고 그림 (4.2-3)에 의하여 구할 수 있다. 단, 참고 그림 (4.2-3)의 마루높이는  $d/h = 1.0$ 에서  $R/H = 1.25$ 가 되도록 수정한 것이며 완전히 월파를 방지할 수 있는 마루높이를 나타내는 것은 아니다.

한편, 그림 중에서  $d$ 는 커튼 하단의 깊이,  $h$ 는 수심,  $L$ 은 파장,  $R$ 은 커튼의 마루높이,  $H$ 는 파고이다. 또한, 단일커튼에 의한 파랑의 반사율은 참고 그림 (4.2-4)에 나타난 기본 특성을 고려하여 검토할 수 있다.

- (3) 강관 방파제에서는 강관의 간격을 넓혀 타입하면 투과식 방파제가 된다. 동형식의 방파제에 의한 파랑의 투과율  $YT$ 와 말뚝간격의 관계는 참고 그림 (4.2-5)와 같다. 또, 파력에 의한 모멘트는 말뚝간격이 넓을수록 감소하지만 그 효과가 있는 것은 말뚝의 간격  $b/D = 0.1$  정도까지이다. 또한, 이 형식의 방파제는 말뚝간 기초지반의 세굴에 유의하여야 한다.



참고 그림 (4.2-2) 파고전달율과  $d/h$ 의 관계(단일 커튼)      참고 그림 (4.2-3) 마루높이 산정곡선(단일 커튼)



참고 그림 (4.2-4) 반사율과  $d/h$ 의 관계(단일 커튼)

참고 그림 (4.2-5) 투과율과 말뚝간격의 관계



## 4.2.2 파력

말뚝식 방파제에 작용하는 파력은 단일 커튼식 또는 2중 커튼식 등에 따라, 그리고 슬릿의 형상 및 크기에 따라 변화하므로 수리모형실험 또는 산정식에 근거를 두고 산정하여야 한다.

### [해설]

말뚝식 방파제는 커튼부의 슬릿 또는 전후 커튼간의 유수부에서 소파하는 작용을 하므로 그 형상 및 내습과랑의 특성에 따라서 커튼부에 작용하는 파력도 달라진다. 설계 시에는 이러한 특성을 반영할 수 있는 수치해석법이나 수리모형실험으로 수리특성과 파력특성 등을 확인할 필요가 있다.

### [참고]

- (1) 단일 커튼식 방파제에 작용하는 파력에 대하여 다음의 산정법을 편의적으로 사용할 수 있다. 즉, 커튼에 작용하는 파력은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9.2.2 직립벽에 작용하는 중복파 또는 쇄파의 파력)에 나타난 파압분포로부터 커튼하단 밑에 작용하고 있는 파압분포를 뺀 것을 초기 설계값으로 사용할 수 있다.
- (2) 연속 강관 방파제에 작용하는 파력은 KDS 64 10 10 (4.3.9.2.2) 또는 원주에 작용하는 파력계산법에 따라 초기설계용의 파력을 계산할 수 있다. 단, 연속강관 방파제를 쇄파영역에 사용하는 것은 피하는 것이 좋다.

## 4.2.3 말뚝의 설계

말뚝식 방파제의 말뚝의 응력도의 계산은 KDS 64 55 20 고정식 계류시설(4.2.1.5 말뚝의 설계)에 따른다. 또, 말뚝식 방파제의 말뚝의 근입장 계산은 KDS 64 11 00 지반(4.5 말뚝기초)에 따른다.

### [해설]

- (1) 말뚝의 응력도 계산 시 말뚝구조가 자립식의 경우에는 두부 자유 말뚝으로 하고, 군말뚝(Group pile) 형식 또는 전후의 말뚝 두부가 상부공으로 강결(剛結)된 경우는 말뚝이 해저면으로부터  $1/\beta$  매입된 점을 고정점으로 한 두부고정 라멘구조로 하여 휨 모멘트 및 전단력을 계산할 수 있다.  $\beta$ 의 산정은 KDS 64 55 20 고정식 계류시설(4.2.1.5 (3) 말뚝의 가상고정점)에 따른다.

## 기타형식 방파제

- (2) 말뚝의 근입장은 파압시의 횡저항을 충분히 확보할 수 있는 길이로 하고 또 압입력(押込力) 및 인발력(引拔力)에 대하여도 충분한 지지력을 갖는 길이로 한다.
- (3) 제체의 주체를 이루는 말뚝의 지지력 및 재료의 허용응력도에 대하여는 방파제가 설치되는 수역의 해상조건, 구조물의 중요도를 감안하여 상시, 이상 시 별로 적절히 정한다.
- (4) 커튼식 방파제의 구조세목은 KDS 64 45 20 방파제(4.7 구조세목)에 준한다.
- (5) 콘크리트제 커튼 부재 계산은 KDS 64 14 20 프리캐스트 콘크리트 부재(4.3 하이브리드 케이슨)에 준한다. 또한, 방파제 상부공의 세부설계는 KDS 64 55 20 고정식 계류시설(4.2.1.8 세부설계)에 준한다.

## 4.3 부유식 방파제

### 4.3.1 설계일반

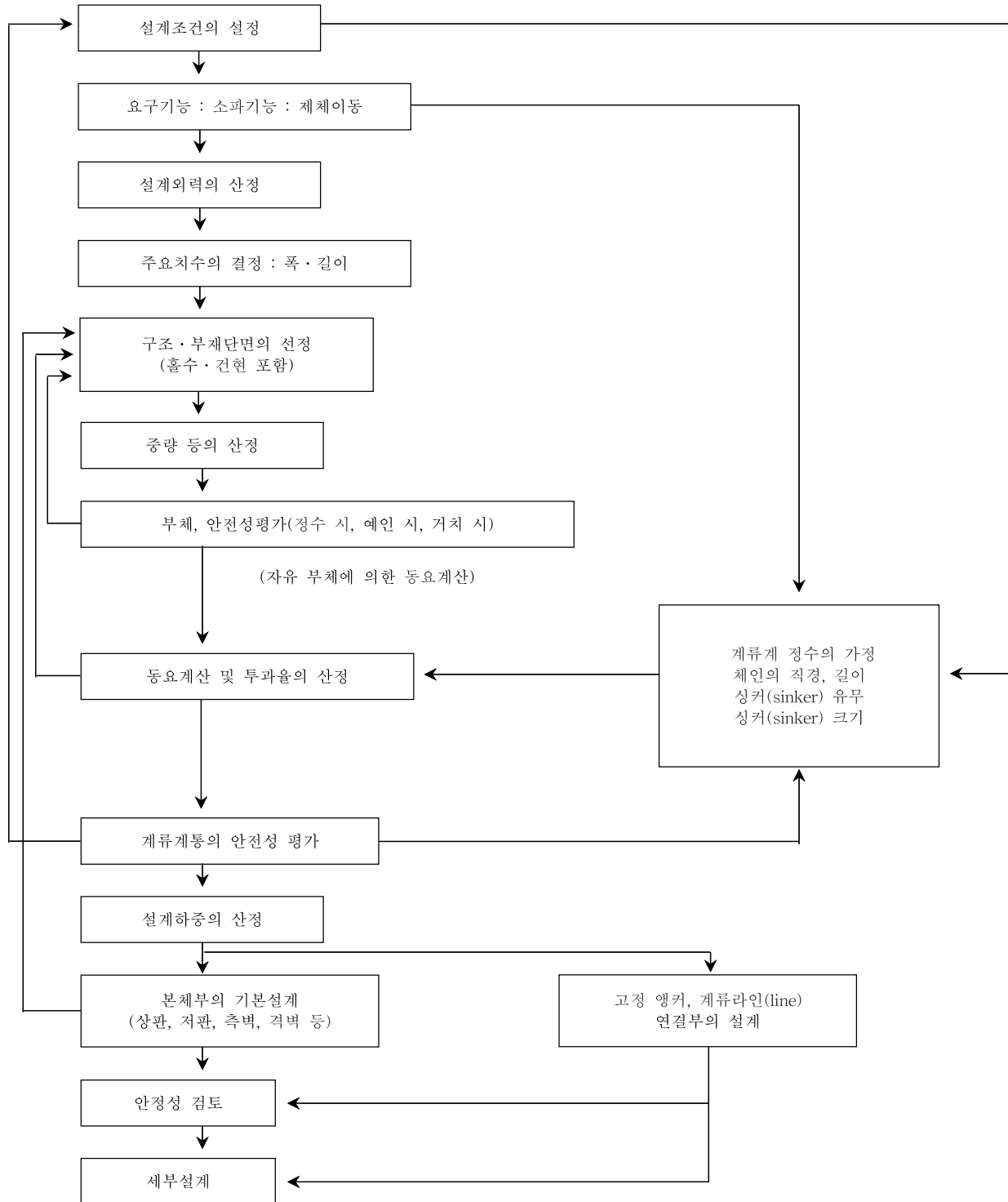
부유식 부유물체는 소파 효과, 안정성 등을 고려하여 구조 형식을 선정하고 필요한 경우 수리모형실험이나 이론적 해석 등을 행하여 설계하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 부유식 방파제는 부유물체를 배치하여 파랑을 막는 구조형식으로 해수나 표사의 움직임을 방해하지 않고 조차나 지반상태에 영향을 받지 않으며 이동 가능한 이점 등이 있으나 상당한 전달파가 생기며, 입사파의 특성에 따라 그 효과가 현저히 다르고 내파력에 한계가 있어 파랑환경이 비교적 험하지 않은 곳에서 유용한 형식이라 수 있으며 충격적인 반복 하중에 대한 계류시스템의 역학적 특성이 충분히 해명되어있지 않는 등의 문제가 있다. 또, 계류라인이 절단되면 부체가 표류하며 2차적 재해를 일으킬 우려가 있다.
- (2) 부유식 방파제의 배치 및 구조형상은 소정의 정온도가 얻어지도록 설정한다. 이를 위하여 수리모형실험 등을 행하여 투과율의 특성을 검토하는 것이 바람직하다. 또한 2차원 구형 부체동요의 근사 계산법이나 자유부체에 관한 이론 등 확립된 이론적 해석법을 병용할 수 있으나 구조형상이 변화하는데 따른 검증실험이 동반되어야 한다.
- (3) 부유식 방파제의 형상은 다양하며 그 재료로는 철근 콘크리트 프리스트레스 콘크리트(Prestressed concrete), 강재, FRP 등이 있다. 또, 부체의 배치 방법도 직렬배치와 2열 배치 등의 기본 형태와 다양한 변형이 있을 수 있다.

## [참 고]

부유식 방파제의 설계는 다음 순서에 따라 하는 것이 좋다[참고 그림 (4.3-1) 참조].



참고 그림 (4.3-1) 부유식 방파제의 설계순서

#### 4.3.2 설계조건의 결정

부유식 방파제의 설계조건으로 다음 항목을 검토하여야 한다.

- (1) 부유식방파제의 기능에 관한 항목
  - ① 소파의 대상 파랑(파고, 주기, 파향)
  - ② 조위 및 수심
  - ③ 요구되는 정온도
- (2) 부유식 방파제의 안전성에 관한 항목
  - ① 설계파랑(파고, 주기, 파향)
  - ② 조위 및 수심
  - ③ 해수유동(유속, 유향)
  - ④ 바람(풍속, 풍향)
  - ⑤ 지반조건
  - ⑥ 허용 이동량
  - ⑦ 기타(선박의 충돌 등)

(3) 설계외력

설계에 사용할 외력은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9.4 부체에 작용하는 파력 및 4.3.9.5 수면부근의 구조물에 작용하는 파력)에 따른다.

#### 4.3.3 계류계통의 설계

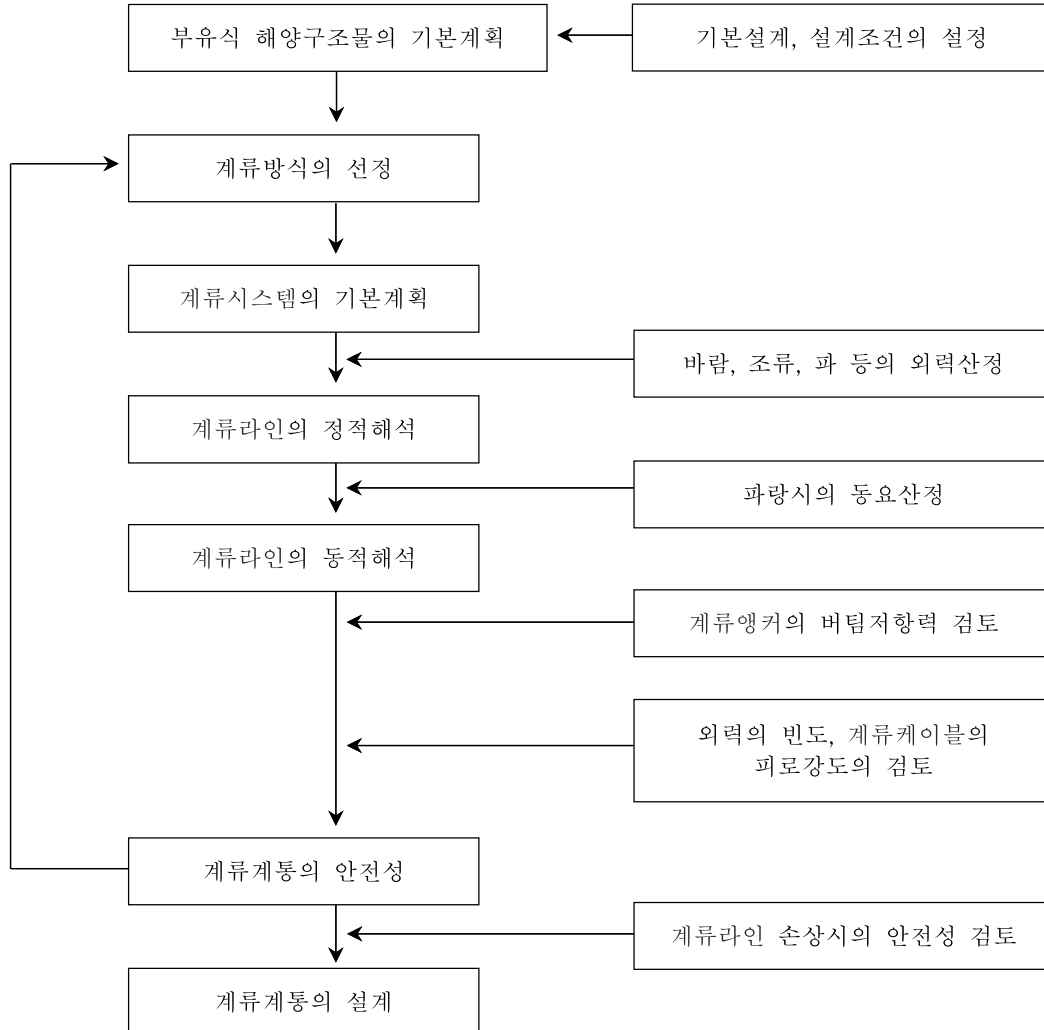
계류계통의 설계는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.9.6 부체에 작용과 그 동요)을 참조하여 안전성을 검토하여야 한다.

##### [해설]

- (1) 계류계통의 설계는 다음 2단계로 구분할 수 있다.
  - ① 계류방식, 라인(Line)길이 등 계류계통에 관한 제 조건을 가정함으로써 정적, 동적 해석을 거쳐 계류라인 및 고정싱커(Sinker)에 작용하는 장력을 구하는 단계
  - ② 상기 ①에서 구한 장력 등을 기초로 실제의 계류라인 및 고정싱커의 상세설계를 하고 그 안전성을 확인하는 단계 등의 2단계로 구분할 수가 있다.
- (2) 계류방식의 선정에 있어서는 계류시스템에 작용하는 힘, 수심, 조위차, 해저조건, 파랑, 토질조건, 계류라인의 길이 등을 고려하여 선정한다.
- (3) 계류앵커의 설계에 있어서는 계류앵커에 작용하는 수평력, 수직력에 대하여 계류앵커의 수평 및 수직저항력이 크게 되도록 설계한다.

## [참 고]

(1) 계류시스템의 기본설계 흐름을 다음에 나타낸다[참고 그림 (4.3-2) 참조].



참고 그림 (4.3-2) 계류시스템의 기본설계 흐름도

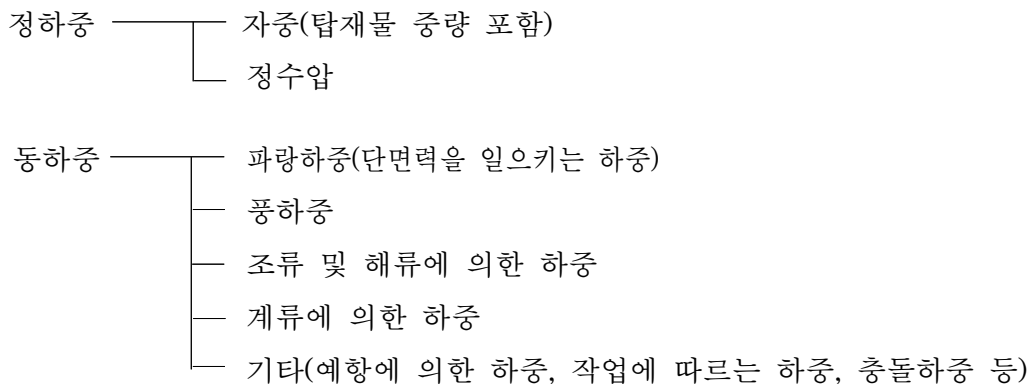
- (2) 계류라인의 동적해석은 부체의 동요에 의하여 생기는 변동장력 및 변동변위를 구하는 것을 말하며 크게 나누어 다음 2가지 방법으로 분류된다.
- ① 정적계류 특성을 사용하여 해석하는 방법
  - ② 계류라인의 동적응답 특성을 고려하여 해석하는 방법
- (3) 계류앵커에 작용하는 힘에 대하여는 KDS 64 55 30 부유식 계류시설(4.1.4.4 앵커의 설계)에 따른다.

#### 4.3.4 본체구조의 설계

본체구조는 전체로서 충분한 안전강도와 국부강도를 갖도록 하여야 한다.

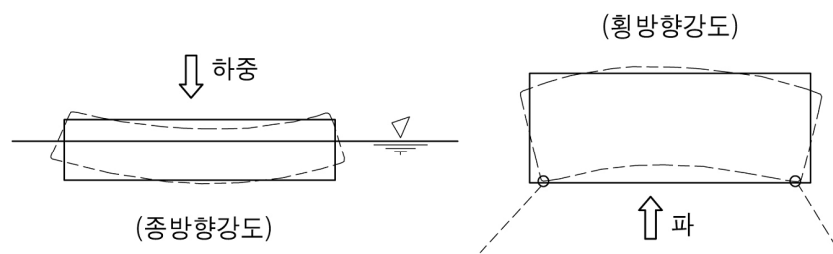
##### [해설]

- (1) 부유물체 방파제의 구조재질의 결정시는 재료의 특성 및 경제성 등을 충분히 고려할 필요가 있다.
- (2) 부유식 방파제에 관하여 구조강도상 고려해야 할 하중은 다음과 같이 정하중과 동하중으로 구분된다.



부유식 방파제는 상술한 여러 가지 하중에 대하여 전체로서 충분히 안전한 구조강도를 가짐과 동시에 전체를 구성하는 각부에 대하여도 해당 각 부분에 요구되는 충분한 국부 강도를 가질 필요가 있다. 부 방파제와 같이 그 폭 및 깊이에 비하여 길이가 상당히 큰 구조물에 대하여는 강도설계상 다음 점에 대하여 해석하는 것이 일반적이다 [해설 그림 (4.3-1) 참조].

- ① 종방향강도 : 정수중 또는 파랑시의 단면력(중 휨모멘트, 전단력, 회전모멘트)를 구한다.
- ② 횡방향강도 : 파랑 시에 생기는 기준선직각방향 단면력(휨모멘트, 전단력)을 구한다.
- ③ 국부강도 : 벽체, 빔(Beam)에 생기는 단면력(위와 같음)을 구한다.



해설 그림 (4.3-1) 종방향강도와 횡방향강도 개념

- (3) 부체의 안정성의 평가는 통상시 이외에 카운터 밸러스트(Counter-ballast)를 써서 예방하는 경우에는 이 상태에 대하여도 행하여야 한다.

### [참 고]

- (1) 종방향강도의 계산방법에는 부체의 동요를 고려하지 않는 계산방법과 부체의 동요를 고려한 계산방법이 있다.  
부체의 동요를 고려하지 않는 방법에는 뮐러(Muller)의 식이나 프리스트레스 콘크리트(Prestressed concrete) 바지(Barge) 기준의 식 등이 잘 쓰인다. 한편, 동요를 고려한 계산방법으로는 우에다(上田)의 식이 있다.
- (2) 부체의 안정에 대하여는 KDS 64 55 30 부유식 계류시설(4.1.3 폰툰의 설계)를 참고한다.

### [참고문헌]

- 1) 국토해양부(2009), 항만시설물의 안전시설 설계지침
- 2) 국토해양부(2012), 항만 및 어항공사 표준시방서
- 3) 해양수산부(1999), 항만용어사전
- 4) 해양수산부(2014), 항만 및 어항 설계기준·해설
- 5) 해양수산부(2017), 항만법
- 6) 日本港湾協會(2007), 港湾施設の 技術上の 基準・同解説
- 7) 日本海岸保全施設技術研究會 編(2004), 海岸保全施設の 技術上の 基準・同解説





집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전문무
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	사무
	재료, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전문무
	계류시설	이육한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전문무
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케이엔이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총괄	주재욱	(주)평화엔지니어링	고문
	파랑및파력	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	조석	강석구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이윤환	(주)도화엔지니어링	부회장
	지반	임종철	부산대학교	교수
	콘크리트	김우	전남대학교	교수
	방식·도장	라윤강	(주)한국국토안전연구원	원장
	외곽시설	전인식	건국대학교	교수
	표사, 연안보전시설	김효섭	국민대학교	교수
	표사, 연안보전시설	전인식	건국대학교	교수
	재료·계류시설	이진용	(주)세광종합기술단	사장
	재료·계류시설	정대연	(주)대영엔지니어링	대표이사
	부두포장	정진훈	인하대학교	교수
	내진	박두희	한양대학교	교수
	전문맞기타부두	오세범	(주)세광종합기술단	부회장
	어항	이상기	(주)건일	부사장
	마리나	지삼엽	부경대학교	교수
	항로표지시설	이승재	대기해양(주)	상임고문
	항만하역시설	함성진	(사)인천항시설관리센터	소장
	항만전기설비	김세동	두원공과대학교	교수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이앤씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이앤씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 45 30 : 2017

## 기타형식 방파제

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 45 40 : 2017

# 호안

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만설계기준 제정</li> <li>• 설계조건, 구역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록</li> </ul>	제정 (1971.12)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정</li> </ul>	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정</li> </ul>	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정</li> </ul>	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정</li> </ul>	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정</li> </ul>	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호의 정의 .....	1
1.6 시설물의 구성 .....	2
2. 조사 및 계획 .....	2
2.1 계획 .....	2
3. 재료 .....	3
4. 설계 .....	4
4.1 호안 .....	4
4.2 파라핏 .....	39





## KDS 64 45 40 호안

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 호안을 계획하고 설계할 때에 필요한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

이 기준은 일반적인 매립호안과 육지의 침식·침수를 방지할 목적으로 해안선 부근에 설치하는 호안·제방을 대상으로 표준적인 설계기준을 제시한다.

#### 1.3 참고기준

내용 없음

#### 1.4 용어의 정의

- 매립호안 : 원지반에 독을 쌓아서 건설되고 배후가 부지로 이루어지는 시설물을 말한다.
- 방조제(防潮堤, Tide embankment) : 간척지를 바다로부터 방호하기 위하여 축조하는 제방을 말한다.
- 제방(堤防, Dike) : 원지반에 독을 쌓아서 건설되고 배후에 부지가 이루어지지 않는 경우의 시설물을 말한다.
- 파라핏(Parapet) : 호안이나 제방 최상부에 설치하는 난간벽으로 고수위나 월파 방지를 위해 설치하는 벽체를 말한다.
- 호안(護岸, Seawall) : 원지반에 독을 쌓지 않는 구조물로 배후가 부지로 이루어지는 시설물을 말한다. 이 기준에서 매립호안, 제방, 호안은 모두 호안으로 통칭한다.

#### 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 1.6 시설물의 구성

- (1) 호안
- (2) 파라핏

## 2. 조사 및 계획

### 2.1 계획

- (1) 호안의 배치 및 기준선 계획은 파랑의 침입을 효과적으로 방지할 수 있도록 결정하여야 한다.
- (2) 매립호안의 경우 매립토사의 누출방지, 세굴 및 체절위치 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (3) 해안선을 따라 해안환경의 보전, 해안 및 인근 토지의 이용 상황을 고려하여 결정하여야 하며 다음사항을 고려한다.
  - ① 파랑의 집중
  - ② 지형, 토질, 조위 등을 고려한 시공조건
  - ③ 배후의 토지이용 상황
  - ④ 준공 후의 유지, 관리, 수방(水防), 내수의 배수, 해빈의 이용
  - ⑤ 인접 구조물과의 관계
  - ⑥ 해빈지형에 대한 영향

#### [해설]

- (1) 기준선의 결정에 있어 고려해야 할 사항
  - ① 모서리나 기준선의 불연속부 등이 있으면 파랑이 집중하여 월파 유량의 증대나 호안 파손의 원인이 되는 경우가 있다. 따라서 파랑의 집중이 명확한 곳에서는 이를 방지하거나 또는 다른 필요한 대책, 예를 들어 그 부분의 구조를 강화하는 등의 고려가 필요하다.
  - ② 지형 및 토질이 공사비 및 안전성에 미치는 영향을 고려하여 기준선을 결정할 필요가 있다. 또한 조위는 해상 공사로 할 것인지, 육상 공사로 할 것인지 등 시공의 난이도를 검토하는 자료가 되므로 기준선과 조위의 관계를 미리 검토해 둘 필요가 있다.
  - ③ 해빈 이용을 고려해 호안 전면에 해빈 폭을 넓게 해두는 경우에는 배후지 인근의 토지이용 상황도 파악해 둘 필요가 있다.
  - ④ 시공방법, 시공 후의 유지, 관리, 수방(水防), 내수 배수, 호안의 내구성 또는 해안 이용(해수욕장, 해산물의 건조장, 관광 등) 등도 고려해 기준선을 결정한다.

- ⑤ 하구부의 하천 호안, 간척호안 등과의 연결부, 항만의 안벽, 도로의 호안 등과의 연결부는 상호간의 파랑의 영향 등으로 예상외의 악영향을 받는 경우가 있다는 점에 주의를 기울여야 한다.
  - ⑥ 일반적으로 종전의 안정 상태에 있는 해빈에 호안을 설치하면 여기에 작용하는 파랑으로 인하여 그 해빈은 평형상태가 깨져, 전면 해빈의 감소 등이 일어나 건설 장소뿐 아니라 그 부근에도 좋지 않은 영향을 미치는 경우가 많으므로 사빈을 보전해야 하는 곳에 호안을 설치할 필요가 있는 경우에는 후퇴시켜 설치하는 등의 주의를 기울여야 한다.
- (2) 신규 토지를 조성하는 경우의 기준선
- 기준선은 (1)항에서 설명한 각 부분을 고려해 폭풍해일, 파랑 등의 침입을 유효하게 방지할 수 있도록 정해야 하는데, 매립사업인 경우에는 향후 조성될 토지의 이용 목적 등을 고려하는 것이 필요하다. 어쩔 수 없이 파랑집중이 일어나는 부분이 생기거나 또는 지반이 연약한 곳이나 수심이 깊은 지점 등 시공이 곤란한 곳에 호안을 건설하는 경우에도 이 기준에서 규정하는 각 사항에 대하여 고려할 필요가 있다. 예를 들어 파랑 집중 부분은 그 구조를 강화하고 연약 지반 위에는 대응공법을 고려하는 등 대책을 충분히 강구해야 한다.
- (3) 파라펫의 기준선은 호안의 기준에 준하나 용지취득의 어려움, 배후지 및 해안부의 어항, 항만 등의 이용 상황에 대응하여 기준선이 결정되는 경우가 많다.

### 3. 재료

내용 없음

## 4. 설계

### 4.1 호안

#### 4.1.1 설계일반

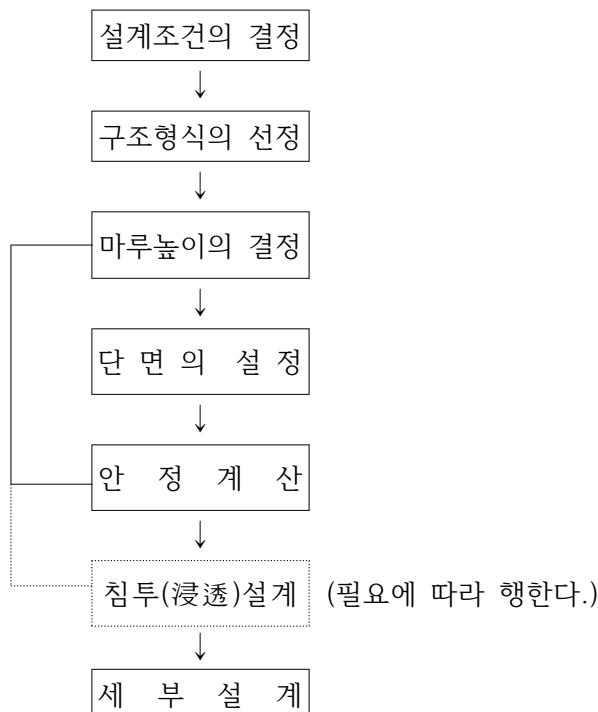
- (1) 파랑 및 고조에 의하여 매립지 및 배후지의 보전, 이용에 지장을 초래하지 않을 마루높이로 하여야 한다.
- (2) 파압, 토압 등의 외력에 대하여 안정된 구조로 하여야 한다.
- (3) 매립토가 누출되지 않는 구조로 하여야 하고, 세굴이 우려되는 경우에는 이에 대한 대책을 강구하여야 한다.
- (4) 매립중의 오탐수의 유출방지 등 주변수역에 대한 영향을 고려하여야 한다.
- (5) 친수호안의 경우에는 이용자가 안전하고 쾌적하게 이용할 수 있는 구조로 하여야 한다.

#### [해설]

해면매립지가 일반 폐기물의 최종 처분장인 경우의 매립 호안의 설계는 해양환경관리법과 폐기물관리법의 내용을 반영하여야 한다.

#### [참고]

- (1) 호안의 설계는 일반적으로 다음 순서로 행한다.



- (2) 일반적으로 매립지의 외곽은 접안시설이 있는 경우를 제외하고 호안으로 둘러싸여 있다. 따라서 매립호안은 매립토의 유출을 방지하는 안정된 흙막이공일 뿐 아니라 파랑에 안정하고 월파 및 고조로부터 배후의 매립지를 방호하여야 한다. 외해에 면한 매립 호안에 대하여는 통상의 매립호안에 비하여 파랑의 영향이 크므로 이들을 검토함에 있어서 특히 유의할 필요가 있다. 또한 서해안의 경우 조수간만의 차로 인하여 해수가 호안제체로 통수되어 시간이 지남에 따라 저면이 세굴 되어 호안내부 토사가 유출되는 경우가 발생하므로 이에 대한 대책도 필요하다.
- (3) 호안의 구조는 가토류공(假土留工)을 제외하고 중력식안벽, 널말뚝식안벽 강널말뚝 셀(Cell)식 안벽 등의 구조형식과 유사하므로 설계 시는 KDS 64 55 20 고정식 계류 시설의 관련부분을 참조할 수 있다.
- (4) 매립 시에는 매립호안을 토사가 누출하지 않는 정도의 가호안(假護岸)으로 하고 매립이 완료한 후에 본호안 또는 안벽을 축조하는 경우가 있다. 가호안의 형식으로는 다음과 같은 것이 있다.
- ① 재료비, 시공비가 싼 구조형식으로 하여 장래에는 사용하지 않는 것.
  - ② 장래, 구조를 강화하여 본호안으로 사용하는 것.
- 가호안의 설계 시는 안전율을 적당히 저하시켜도 된다. 단, 이때 본호안 또는 안벽이 축조될 때까지의 기간에 발생할 파랑에 대하여 안전한 구조로 한다. 또 가호안 기간 중의 매립지에 지장이 없는 마루높이로 한다.
- (5) 매립지의 조성순서, 매립공법에 따라서는 매립지내에 칸막이공을 설치하는 경우도 있다. 보통, 칸막이에 대하여는 파랑, 마루높이, 토사누출방지의 정도, 중요도 등의 조건은 엄격하지는 않다. 소요의 조건을 만족하도록 본호안 또는 가호안에 준하여 설계한다.
- (6) 수제선을 갖는 녹지에서는 호안은 친수성(바다를 조망하고 바다에 다가가고, 바다에 접촉하는 등)을 배려하는 것이 바람직하다.
- ① 친수호안은 이용자가 바다로 떨어지는 일이 없도록 호안의 단면을 설정할 필요가 있다. 또, 추락방지책등의 부대시설을 적절히 설치해야 한다.
  - ② 고파랑 시에 사람들이 보행하는 부분까지 월파가 예상되는 시설에서는 표지 등 적절한 수단으로 그 위험성을 주지시켜야 한다.
  - ③ 친수성 호안의 설계에 있어서는 배후의 토사 흡출의 방지에 대해 필요에 따라 적절한 토사의 흡출방지대책을 검토할 필요가 있다.
  - ④ 고령자 및 신체장애자의 이용 시에는 호안상의 통로나 경사로(Slope)의 폭, 경사 등은 휠체어(Wheel chair) 등의 안전한 이동이 가능하도록 충분히 배려하는 것이 바람직하다.

#### 4.1.2 구조형식의 선정

(1) 호안 구조형식의 선정에 있어서는 다음 사항을 종합적으로 검토하여 선정하여야 한다.

- ① 수리조건
- ② 기초지반의 조건
- ③ 제체 재료의 확보 난이도
- ④ 용지취득의 난이도
- ⑤ 해빈의 이용
- ⑥ 시공조건
- ⑦ 기타

(2) 구조 제원

호안의 기본단면을 구성하는 구조 제원은 마루높이, 마루폭, 전면 경사가 있으며 제방은 여기에 배면 경사가 있다.

#### [해설]

(1) 호안의 구조형식은 경사식, 직립식, 혼성식, 완경사식 등이 있으며 각 형식별 적용 조건은 다음과 같다.

① 경사식

- 가. 기초지반이 비교적 연약한 경우
- 나. 제체 재료가 용이하게 얻어지는 경우
- 다. 호안용지가 용이하게 얻어지는 경우
- 라. 수리조건, 기존 호안과의 연결 관계 등에서 판단해 경사식이 바람직한 경우
- 마. 해빈 이용 상 바람직한 경우나 친수성에 대한 요구가 강한 경우

② 직립식

- 가. 기초지반이 비교적 단단한 경우
- 나. 호안용지가 용이하게 확보되지 않는 경우
- 다. 수리조건, 기존호안과의 연결 관계 등에서 판단해 직립식이 바람직한 경우

③ 혼성식

혼성식의 호안은 경사식 및 직립식의 특성을 살린 형식이 바람직한 경우에 이용하는데, 최종적으로 구조형식은 해빈의 이용 상황, 지형변화 상황도 충분히 고려하여 선정한다. 특히 호안용지를 쉽게 구할 수 있는 경우에는 율파 유량, 파의 처오름을 저감할 수 있고, 해빈 이용 측면에서 친수성 높은 완경사 호안의 적용이 고려되는데, 이 경우 기존 해빈 면적을 필요 이상으로 점유하거나 해역 식생에 의도치 않은 영향을 미치는 경우도 있으므로 주의가 필요하다.

## ④ 환경사석

- 가. 충분히 넓은 전빈이 있고 해저 경사가 완만한 해빈에 새로이 구축하는 경우
- 나. 가.항에 준하는 해빈에서 기존 직립식 호안의 전면에 기능 개선·개량·보강 목적으로 설치하는 경우
- 다. 직립식 호안의 전면 해빈이 세굴되어 사빈이 소실되는데, 전면 해빈 경사가 비교적 완만한 경우에 월파·비말 방지(경감) 대책, 즉 소파공의 대체 시설로서 설치하는 경우
- 라. 직립식 호안의 바다쪽으로 이안제 혹은 소파제가 완성되어 있는 경우에 기능 개선을 위해 설치하는 경우
- 마. 제체 선단 수심은 약간 크지만, 그 전면 해빈 경사가 상당히 완만한 기존 호안의 전면에 개량·보강 공사로서 질량이 충분한 블록에 의한 환경사 호안을 설치하는 경우

- (2) 호안의 형태는 콘크리트 벽체구조물을 바다쪽으로 돌출시킨 돌출식, 기초사석 마운드 위에 케이슨을 올려놓은 케이슨식, 강널말뚝 등을 이용한 쉘식, 널말뚝을 이용하여 호안 벽체를 형성한 널말뚝 식, 콘크리트블록을 쌓아올린 콘크리트블록식, 사석들을 이용하여 호안벽체를 형성하는 사석틀식 등으로 분류할 수 있는데, 파랑조건, 수심 및 지반조건, 배후지 이용조건 등에 따라 적절한 형식을 선정하여야 한다.

### 4.1.3 설계조건

호안의 설계조건으로 다음사항을 검토하여야 한다. 단, 육지의 침식·침수를 방지할 목적으로 해안선 부근에 설치하는 호안·제방의 경우 KDS 64 50 00 연안보전시설(4.2 설계조건)을 따른다.

- (1) 파랑, 조위, 조류, 수심
- (2) 기초지반의 토질
- (3) 지진 및 지진력
- (4) 지진시의 동수압
- (5) 매립토 등의 성상
- (6) 매립지 및 호안의 이용조건
- (7) 월파의 허용도
- (8) 주변수역의 상황
- (9) 시공법(특히 체절공법)
- (10) 매립공법

### [참 고]

- (1) 호안의 마루높이 및 구조의 결정시에는 월파의 허용량이 커다란 요소이다. 배후의 상황 등을 고려하여 허용월파량을 적절히 설정한다. 허용월파량의 선정에는 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.6.2 월파량)을 참조하여 적용한다.
- (2) 매립토의 토질조건에 대하여는 KDS 64 11 00 지반을 참고하여 적용한다.
- (3) 지진 및 지진력에 대하여는 KDS 64 17 00 내진을 참조하여 적용한다.
- (4) 지진시의 동수압에 대하여는 KDS 64 17 00 (4.1.6 지진시의 동수압)을 참조하여 적용한다.
- (5) 넓은 수면을 매립호안으로 체절하는 경우 호안공사의 진척에 따라 조차에 의한 해수의 유출입 단면적이 적어져서 제 내외에 수위차가 생겨 체절부에 상당한 유속이 발생한다. 따라서 호안구조도 최종 체절부는 특별한 주의를 기울여 예상되는 유속에 대하여 충분히 안정된 구조단면이 되지 않으면 안 된다. 체절에 따르는 체절부의 유속은 체절하는 수면적, 체절부의 단면적, 평균수심, 조위차등에 지배된다.  
체절구간은 호안공사가 진행되어 유속이 빨라지기 전에 지반이 좋은 장소에 바닥보호공을 시공해두는 것이 바람직하다. 체절부의 유속에 따라서는 잠언, 광정언(廣頂堰)을 이용하는 일도 있다.
- (6) 매립공법이 펌프선(Pump船)에 의한 배송(Pumping)의 경우 매립호안의 기초지반의 투수성이 좋으면 여수(餘水)가 기초지반의 토사, 사토 등을 유출시켜 호안 본체를 파괴하거나 토사유출의 염려가 있으므로 설계, 시공에 주의하여야 한다. 또 매립토는 배송 시 액체화되어 있다고 생각되므로 직접 호안본체 배후에 토사류가 닿지 않도록 배출구의 위치, 여수로, 여수토의 배치를 고려하여야 한다.



- (7) 매립지내의 수위에는 매립지내 수위, 잔류수위의 2개의 수위를 설정한다.

매립지내 수위는 침투계산(浸透計算)이나 여수처리시설의 설계 등에 사용된다.

잔류수위는 호안 배후의 수위로서 호안의 안정계산에 사용한다. 단, 호안에 근접한 위치에서의 수위가 잔류수위보다도 높은 경우에는 원호활동 등의 안정계산에서 잔류수위만을 사용하면 위험하게 되는 일도 있다. 그런 경우에는 매립지내 수위도 고려하여 호안의 안정계산을 한다.

#### ① 매립지내 수위

매립지내 수위는 시공 시, 완료시의 각 경우의 호안의 안정성 및 주변수역에 대한 영향을 고려하여 설정한다. 주변수역에 대한 영향에 대하여는 특히 시공시의 호안 내 발생파에 의한 월류(越流) 등에 대하여 주의하여야 한다. 또, 매립지내 수위가 호안면 수위에 비하여 너무 높아지면 호안이나 기초지반으로부터의 오수 등의 침출(浸出) 수량이 증가하는 일이 있으므로 주의를 요한다. 또한, 매립지내 수위는 호안의 건설과 여수처리시설 등의 건설비 및 유지관리비에 영향을 미친다는 것을 유의해 두어야 한다.

#### ② 잔류수위

가. 매립호안에서는 매립지내의 오수 등의 호안으로부터의 침출을 줄이기 위하여 투수성이 낮은 호안구조로 하는 일이 많다.

나. 기왕의 실시례를 보면 중력식 구조형식의 매립호안에서는 호안본체에 의하여 투수성의 저하를 도모하기 보다는 배면토사, 뒤채움 모래층 두께의 증대 등으로 투수성의 저하를 도모한 예가 많다. 따라서 이와 같은 호안형식에서는 호안본체 배면의 수위는 보통의 중력식 호안과 같은 움직임을 하기 때문에 호안본체의 설계에 사용하는 잔류수위는 통상의 중력식 호안과 같게 보아도 된다.

다. 널말뚝식 구조형식을 취하는 매립호안에서는 널말뚝부의 지수성(止水性)을 높이기 위하여 널말뚝 조인트(Joint)에 충전재(Grout재)를 주입 또는 2중 널말뚝식 구조형식이 채택된 사례가 있다. 이로 인하여 구조물 본체의 수위는 통상의 널말뚝 호안보다 낮아지는 일이 많다. 이와 같은 널말뚝식 매립호안에서는 호안의 지수성을 충분히 고려하는 외에 이중 널말뚝식의 경우에는 널말뚝의 마루높이, 시공시의 상황 등을 고려하여 적절한 잔류수위를 설정한다.

- (8) 매립호안을 육지 측과 접속하여 건설하는 경우에는 호안의 건설에 수반하여 지하수위의 상승을 일으키고 또, 지하수의 수질 악화를 초래하는 일도 있으므로 매립지의 평면계획 및 호안구조를 검토함에 있어서는 이점도 충분히 유의하여 호안배후의 지하수의 상황을 미리 조사해두는 것이 바람직하다. 또, 매립호안의 축조에 의하여 지하수의 수질악화를 초래할 우려가 있는 경우에는 지하수와 차단을 기도하기 위하여 지수벽을 설치하는 등의 대책을 검토할 필요가 있다.
- (9) 매립호안으로부터 해역으로 나가는 오수 등의 침출수량(浸出水量)을 추정하기 위해서는 이 기준 4.1.4 기본단면의 결정에 의한 침투해석을 할 필요가 있다. 침투해석은 다시 (Darcy)의 법칙과 KDS 64 11 00 지반(4.2.3 침투)를 적용하여 행하는 것을 기본으로 한다. 그러나 호안단면은 후술하는 바와 같이 널말뚝이나 콘크리트 부재 및 뒤채움모래

등 다른 재료로 구성되어 있고 또, 널말뚝 등에는 조인트부와 널말뚝 본체부의 투수성이 다르므로 다시(Darcy)의 법칙이 적용되지 않는 경우도 있다. 이 경우의 침투해석에 대하여는 호안단면이 다시(Darcy)의 법칙이 적용되는 재료로 구성된 것으로 보고 취급하는 것이 현실적이므로 다시(Darcy)의 법칙을 근사적으로 적용하기 위한 방안으로서 투수계수나 벽체 폭의 환산을 시행할 필요가 있다.

침투해석은 매립호안내의 수위가 일정하다고 볼 수 있는 범위까지를 대상으로 하나 호안본체의 구조나 뒤채움모래 등의 상황을 고려하여 소요의 정도에 따라 범위를 설정하여 해석하면 된다. 단, 투입매립토 그 자체의 투수성이 낮은 경우에는 매립호안내의 수위가 매립토 내에서 큰 경사를 갖는 일이 있으므로 주의할 필요가 있다.

#### ① 강널말뚝식 구조물의 투수성

강널말뚝식 구조물의 투수성은 다시(Darcy)의 법칙으로는 표현할 수 없다. 그러므로 침투해석에 대하여는 적절한 환산 폭과 그 환산 폭에 대한 환산투수계수를 사용하여 취급할 수가 있다. 또, 그 설정에 대하여는 실내실험은 현장에서의 조인트(Joint)의 상황을 재현한다고 말할 수 없으므로 현장에서의 실험결과를 기본으로 하는 것이 바람직하다.

가. 현장에서의 강널말뚝식 구조물의 투수성에 대하여는 일본항만기술연구소 자료 No115 잔류수위 측정조사(1971, 古土井光昭 등) 자료가 있다. 이것은 강널말뚝식 안벽 5개 열(例)의 잔류수위의 측정결과를 기초로 하여 검토된 것으로 널말뚝벽을 해지면 이하를 불투수층으로 보고 해지면 위를 다시(Darcy)의 법칙이 성립하는 1m 폭의 균일한 투수층으로 환산하여 해석한 것이다. 그 결과 얻어진 투수계수(환산투수계수)는  $1 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 의 범위에 있었다. 또, 강관 널말뚝식 안벽의 2개 사례(직경80cm, 二港建型 Joint)에 대하여도 같은 해석을 한 결과  $6 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 라는 값을 얻고 있다. 또한, 이상의 조사사례 에서의 뒤채움토사의 투수계수는  $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$  정도이었다.

나. 강널말뚝 조인트(Joint)부의 투수성에는 다음과 같은 특성이 있다.

뒤채움토사가 없는 경우에는 단면이 급격히 축소하는 오리피스(Orifice)와 같은 현상이 발생하며 참고 식 (4.1-1)에서  $n=0.5$ 로 놓고 표현된다.

$$q = K \cdot h^n \quad \text{참고 식 (4.1-1)}$$

여기서,  $q$  : 단위 조인트(Joint) 길이당 유출량 ( $\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$ )

$h$  : 널말뚝 전후의 수위차 (cm)

$K, n$  : 정수

뒤채움이 있는 경우에는 뒤채움 토사의 성질이 조인트(Joint)부에서의 침출수량(浸出水量)에 크게 영향을 미친다는 것과 뒤채움 토사의 널말뚝 조인트부 부근에서는 다시(Darcy)의 법칙이 성립하지 않는 영역이 있다는 것을 고려하면 뒤채움 토사를 포함한 어느 범위의 토사를 널말뚝 조인트와 일체로 생각하여 합성 조인트로 보고 이 부분의 투수성을 평가코자 하는 시도가 있으나 이것은 침투해석을 하는데

유효한 방법이다. 쇼지(莊司)등은 조인트 정도의 차이에 더하여 모래채움의 유무 등 조건을 조합한 포괄적인 투수시험을 하고 그 결과를 간추려서 실험식을 제안하였다. 그 결과에 따르면 뒤채움이 있고 조인트부에 토사가 채워져 있는 상태에서는  $n=1.0$ 과 근사하다고하고 실험결과를 나타내는  $k$ 를 구하고 있다.

- 다. 널말뚝 조인트부에 지수처리(止水處理)를 시행한 경우의 투수성의 저하의 정도에 대하여는 지수재의 종류, 사용방법 등에 따라 다르므로 현지의 시공상태를 고려한 실험결과 등 신뢰할 수 있는 자료를 기초로 판단할 일이다.

야외에서의 실험 예에서는 침출수량이 지수재가 없는 경우의 20~40% 정도로 저하된 예도 있다.

## ② 기초지반의 투수성

### 가. 자연지반의 투수성

자연지반의 투수성은 자연지반을 구성하는 각 토층의 투수계수를 KDS 64 11 00 지반(2.1.3 투수계수)를 참조하여 구한다. 이에 따라, 지반전체의 투수성을 평가할 수가 있다. 자연히 퇴적한 지반에서는 투수계수가 방향성을 가지며 연직방향에 비하여 수평방향의 투수계수가 크다. 또, 자연지반상에 구조물을 축조하면 지반의 압축 또는 압밀에 의하여 간극비가 적어져 투수계수도 저하한다.

투수계수를 실내시험 또는 하젠(Hazen)의 식에 의하여 평가하는 경우에는 면밀한 샘플링(Sampling)에 의하여 성층상태를 정확히 파악하는 것이 중요하다.

### 나. 지반개량부분의 투수성

매립호안의 건설에 대하여 지반개량이 실시되는 경우에는 자연지반의 투수성의 평가에 더하여 지반개량에 의한 투수성의 변화를 검토할 필요가 있다.

모래말뚝(砂杭)간의 지반이나 치환모래층의 하부지반, 심층혼합처리공법의 미처리 부분 등에서는 압밀에 의하여 투수계수가 장기간에 걸쳐 저하되어 간다. 또, 모래말뚝의 경우에는 모래말뚝주변의 점토의 교란에 의한 투수계수의 변화, 모래말뚝 자신의 다짐에 의한 투수계수의 변화가 예상된다. 지반개량을 행한 기초지반의 투수계수를 개량지반과 미처리지반으로 구분하여 설정함에 있어서는 침투류의 해석에 있어서 호안이나 기초지반의 구성의 단순화, 호안구조, 지수공의 투수계수의 정도 등을 고려하여 균형 있는 검토를 행할 필요가 있다. 또, 기존의 유사 구조물의 조사에 의하여 개략치를 검토할 수도 있다.

- 다. 기초지반이 암반인 경우의 투수성에 대하여는 암반이 균열, 파열 또는 단층파쇄대(斷層破碎帶) 등을 포함하는 경우가 있고 또 이에 따라 투수성이 결정되는 일이 많으므로 사전에 충분히 조사를 행하고 거기에 기초하여 투수성을 검토한다.

#### 4.1.4 기본단면의 결정

##### 4.1.4.1 설계일반

- (1) 호안은 파랑에 의한 월파를 감소시키고, 보전 대상 해안 및 매립지에 대한 목표 방호수준을 달성할 수 있도록 호안의 형식, 구조, 위치를 결정하여야 한다.
- (2) 호안의 설치 목적을 달성하기 위하여 마루높이, 전면 경사, 마루폭, 배면 경사, 근고공의 형식, 폭, 두께, 또는 성토의 폭 및 두께 등이 효과적으로 조합되어 있는지를 평가한다.
- (3) 기본단면은 해당 해안에서의 설계조위, 설계파랑 등을 설정하여 설계파랑 작용 시 월파유량이 허용월파랑을 상회하지 않는지를 확인하여야 한다.
- (4) 매립호안은 배후 매립지의 보전이 이루어지도록, 그리고 호안 및 배후의 토지이용에 지장이 없도록 월파랑, 고조시의 조위차 등을 감안한 적절한 마루높이를 갖도록 하여야 한다.
- (5) 매립 호안은 매립공사중의 각 조건을 고려하여 안정성을 확보하여야 한다.

##### [해설]

- (1) 매립 호안의 마루높이는 설계고조위에 설계파에 대한 필요높이를 가한 것으로 하고 월파의 허용도를 고려하여 결정한다[이 기준 4.1.3 설계조건 [참고] (1) 참조].
- (2) 매립 호안의 안정계산은 구조형식에 따라 행한다. 매립지의 시공은 일반적으로 장기간 걸리는 것이므로 매립공사중의 각 조건을 고려하여 안정계산을 한다. 특히 원호활동이 발생할 우려가 있는 경우에는 공사 중의 각 단면에 대하여 안정성을 검토한다.  
또 파랑이 있는 곳에서는 KDS 64 45 20 방파제를 참고하여 매립 도중의 파랑에 대한 안정성을 검토하여야 한다.

##### [참고]

- (1) 매립호안의 전면에 소파공을 설치하는 경우에는 마루높이를 낮출 수가 있다. 그러나 마루높이와 매립지내의 수위와의 차가 적어지면 월류의 위험이 있으므로 주의가 필요하다.
- (2) 월파랑, 처오름 높이의 계산은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.6 처오름 높이, 월파 및 전달파)를 참조하여 적용한다.
- (3) 연약한 점토를 매립하는 경우에는 호안에 작용하는 토압의 경감, 조인트(Joint) 또는 기초를 통한 매립토의 유출방지를 기하기 위하여 뒤채움을 시공하는 등의 대책이 필요하다.
- (4) 펌프준설선에 의한 매립의 경우 호안배후에 부유 연약토가 집중하여 호안 본체에 예상 이상의 토압이 작용하거나 또, 배면수압이 호안 마루까지 작용하는 경우가 있으므로 안정계산 시는 이들 문제를 충분히 고려할 필요가 있다.

## 4.1.4.2 기본단면

- (1) 호안의 마루높이는 폭풍해일이나 이상파랑에 의한 해수의 침입을 방지하고 파랑의 처오름이나 월파를 막는데 충분한 높이로 하여야 한다.
- (2) 전면 경사는 호안 형식의 결정에 따라 제체의 안전성, 수리조건, 해빈의 이용 상황, 토질, 지형조건 등을 고려하여 결정하여야 하며, 전면 수심이 깊어 해빈 경사가 급한 경우에는 제체의 안전성 및 세굴대책을 고려하여야 한다.
- (3) 마루폭은 제체가 파력에 안정하고 월파에 의한 마루 수평면이 월류에 저항할 수 있는 너비로 하여야 하며 연결 도로, 경사로 또는 차량의 통행 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (4) 배면 경사는 제체의 원호활동에 대한 안전성 등을 고려하여 호안의 높이나 경사, 길이 등을 결정하여야 한다.

## [해설]

## (1) 일반사항

- ① 방호수준은 보전 대상 해안에 영향을 미치는 폭풍해일, 이상파랑 및 설계파가 내습하는 경우에 따라 적절히 설정한다.
- ② 폭풍해일을 방호 대상으로 하는 해안에는 KDS 64 50 00 연안보전시설(4.2 설계조건)에서 정의되어 있는 설계조위에 파랑의 영향(월파 유량 또는 파의 처오름)을 고려한 수치를 목표로 한다. 한편 기왕 고극조위, 기존의 조위 편차의 최대값 및 추산한 조위 편차의 최대값에 대해서는 그 재현기간을 구해 두는 것이 바람직하다.
- ③ 이상파랑을 방호대상으로 하는 해안에서는 이상파랑의 수위에 대해 방호하는 것을 목표로 한다. 조위에 비해 배후지의 지반 높이가 낮은 지역 및 배후에 인구나 자산이 특히 집적되어 있는 지역에서는 과거의 폭풍해일이나 이상파랑에 의한 재해를 충분히 감안해 필요에 따라 보다 높은 방호수준을 설정해도 좋다.
- ④ 조사 및 검토방법에는 신뢰성이 높은 적절한 방법을 이용한다.

## (2) 기본단면

## ① 마루높이

가. 기상, 해상, 지형 등의 설계조건이 같은 일련 구간의 마루높이는 원칙적으로 변하지 않는다.

호안의 마루높이 결정의 기본적인 개념은 일반적으로 다음과 같다.

$$\text{마루높이} = \text{설계조위} + \text{설계파에 대한 필요 높이} + \text{여유 높이}$$

여기에서 설계조위는 일반적으로 설계고조위가 적용되는데, 설계고조위가 반드시 설계조위가 되는 것은 아니라는 점에 유의할 필요가 있다.

나. 설계파에 대한 필요 높이의 결정과 산정 방법

- (가) 적용 설계파는 호안의 설계공용기간에 맞게 합리적으로 결정하도록 한다.  
설계공용기간에 대한 확률 파고로는 30~50년 확률파고를 이용하는 경우가 많다.
- (나) 설계파에 대한 마루높이는 해저 경사, 호안의 이용조건, 월파(처오름 높이) 허용한도 등을 고려해 결정한다. 또한 소파공, 이안제, 인공해빈 등의 복합 방호방식에 의해 호안 마루높이를 낮추고자 하는 경우에는 시설 각각의 기능을 충분히 검토한 후에 결정한다.
- (다) 설치 위치가 설계고조위 시의 해안선 보다 바다 측에 있는 경우에는 월파유량을 산정하여 호안 배후지의 이용 상태에 맞게 설정한 허용량 이하가 되는 높이를 적용한다.
- (라) 설치 위치가 해안선 보다 육지 측에 있는 경우에는 파의 처오름 높이를 산정하여 월파 방지를 위한 필요한 높이를 적용한다.  
한편 이러한 경우에도 계산에 의한 월파유량의 산정이 가능한 경우에는 필요 높이를 월파유량에 의해 결정할 수 있다. 단, 이것은 절대적인 개념이 아니므로 이 결과 값들과 함께 인접 구조물과의 관계 등을 충분히 고려할 필요가 있다.
- (마) 월파유량 및 처오름 높이 산정은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.6 처오름 높이, 월파 및 전달파) 참조하여 적용한다.

다. 소요높이의 결정 시에 고려해야 할 사항

- (가) 지반 또는 제체의 침하가 예상되는 경우의 마루높이  
어떠한 원인에 의해 호안의 상대적 높이가 감소해 파가 호안을 월류하는 상태가 되면 호안이 붕괴되지 않더라도 배후지에 미치는 피해는 상당히 커지게 된다. 따라서 연약지반이나 예상되는 지진동의 작용 등에 의해 지반 또는 제체의 침하가 예측되는 경우에는 완공 후에도 호안 높이가 부족해지지 않도록 수리적으로 결정된 마루높이에 예측침하량을 미리 더해 둘 필요가 있다.
- (나) 완경사 호안에 대한 주의  
완경사 호안일 경우 전면 경사가 1:3 정도에서는 파의 처오름 높이나 월파 유량이 직립호안에 비해 저감되지 않으므로 주의가 필요하다. 이에 대해서는 전면 경사를 1:4~1:5보다 완만하게 하거나, 표면 조도를 크게 하거나, 계단을 설치하는 등의 방법으로 소요 높이를 낮출 수가 있다.

라. 여유 높이

호안의 마루높이 결정 시 설계고조위, 설계파 또는 침하량 등이 실측 또는 기타 방법을 통해 합리적으로 구해졌다고 하더라도 아직은 신뢰성이 그다지 높다고 말하기 어렵다. 예를 들어 기존의 기록에서 결정한 설계고조위를 넘는 폭풍해일이 향후에 오지 않는다고 단정하기 어려우며 또한 수치를 정확히 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 이와 같은 호안 마루높이 설정에 대한 불확실성을 고려해 여유 높이를 설정한다. 즉 호안 마루높이의 결정 시에는 여유 높이를 더하게 되는데, 여유 높이를 불필요하게 높게 하면 공사비의 증대를 초래해 경제적이지 않다.

때문에 배후지의 사회적, 경제적 중요도를 하나의 기준으로 삼아 여유 높이를 결정하는 것이 타당한 방법이다. 즉 배후지에 시가지 또는 중요한 공공시설 등이 있어 고도의 안전성이 요구되는 경우에는 최대 1.0m 정도를 한도로 여유 높이를 결정하는 경우가 많다.

## ② 전면 경사

전면 경사는 호안 형식의 결정과 동시에 해설 표 (4.1-1)와 같은 수치를 참조할 수 있는데, 전면의 수심이 깊고 해변 경사가 급한 경우에는 호안의 안전성 및 세굴에 대한 고려가 특히 필요하다.

파압이 강하거나 해수욕, 관광 등에 해변이 이용되고 있는 경우 등에는 전면 경사를 완만하게 해서 대처하는 방법이 있는데, 경사도가 1:3까지의 범위에서는 월파유량이 커질 가능성이 있으므로 주의할 필요가 있다. 이와 같은 경우에는 월파유량을 적게 하기 위해 블록이나 계단을 설치해 표면의 조도를 크게 하는 것이 효과적이다.

또한 환경사 호안에서는 일반적으로 전면 경사가 완만할수록 처오름높이가 감소하고, 반사율도 작아지기 때문에 세굴의 경감도 기대할 수 있다. 그러나 사면을 환경사화 해서 기준선을 바다 쪽으로 내어 전빈을 덮어버리면 이용할 수 있는 전빈의 축소 등으로 자연해빈이 갖는 소파 기능의 감소를 초래한다. 따라서 환경사 호안에서는 특히 전면 경사, 마루높이 그리고 기준선의 관계에 유의할 필요가 있다.

해설 표(4.1-1) 전면 경사

형식	경사	형식	경사
돌붙임식	1:1보다 완만	중력식	수직~1:0.5
콘크리트 블록붙임식	〃	부벽식	〃
콘크리트 피복식	〃	돌출형식(옹벽식)	〃
사석식	1:1~1:3	케이슨식	수직~1:0.4
사블록식	〃	셀식	〃
		널말뚝식	〃
		콘크리트 블록쌓기식	수직~1:1
돌쌓기식	1:0.3~1:1	사석틀식	〃

## ③ 마루폭

마루폭을 결정하는 일반적인 계산식은 현재 경험에 의한 것 외에는 없는 실정이다. 월파에 의한 마루 수평면의 월류에 대해서는 월류량, 월류의 방법 및 빈도, 마루 피복의 공법 등에 따라 다르지만 가능한 넓은 편이 좋다. 기존 사례에서는 마루폭을 3m 이상으로 한 경우가 많다. 단 직립형의 중력식인 경우에는 그 구조상 마루폭이 3m 이하이더라도 월류에 대해 충분히 안전하므로 1m까지 마루폭을 감소시킬 수가 있다. 한편 호안은 관리, 수방(水防) 및 공사용 도로를 겸하는 경우가 보통이기 때문에 차량의 하중 및 폭에 맞는 소요 폭을 확보할 필요가 있다.

## ④ 배면 경사

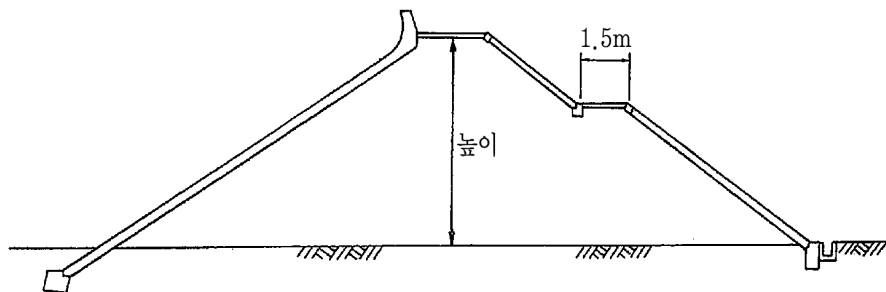
가. 구조형식별 배면 경사의 수치는 시공 사례 등을 참조해 구한 해설 표 (4.1-2)를 참조할 수 있다.

## 호안

해설 표(4.1-2) 구조형식과 배면경사

형식	경사
돌쌓기식	1:0.3~1:1
돌붙임식	1:1~1:2.5
콘크리트 블록붙임식	
콘크리트 피복식	1:1~1:2
아스팔트 피복식	1:2~1:3

나. 배면소단(背面小段)은 호안의 유지와 관리 및 수방(水防) 등에 도움이 되는 외에 연약지반 위에 호안을 건설할 경우에는 제체의 중량을 분산해 안전성을 향상시키는 기능을 가지고 있다. 따라서 호안의 높이가 5m 이상인 경우 또는 5m 미만이라도 특별히 필요한 경우에는 폭 1.5m 이상의 소단을 설치하는 것이 바람직하다.



해설 그림(4.1-1) 배면소단 개념도



#### 4.1.5 구조의 안정

- (1) 호안은 폭풍해일, 파랑 및 지진동의 작용에 대해 필요한 안전성을 가지고 있어야 한다.
- (2) 제체는 호안의 본체로서 파력, 양압력 토압력 등의 작용 외력을 기초지반에 전달하고 제체구조가 침하, 활동, 전도를 일으키지 않도록 안정성을 확보하여야 한다.
- (3) 방조제의 경우에는 내외 수위차로 인한 투수를 방지해야하므로 이들의 작용에 대해 안전성을 확보하여야 한다.
- (4) 기초지반의 전단파괴에 의한 활동, 제체토사의 흡출이나 호안 배후지의 파이핑(Piping), 제체 전면의 세굴에 대한 안전성에 대한 조사 및 검토가 수행되어야 한다.
- (5) 호안의 안정계산은 호안의 구조에 따라 KDS 64 55 20 고정식 계류시설 안정계산에 관한 규정에 따른다.

#### [해설]

- (1) 제체 각 부의 설계에 있어서는 보통 3면 피복 구조(전사면, 마루, 배사면)에 대해서는 각각의 구조 세목(細目)에 따라 제원이 결정되므로 호안의 형상에 관해 특별히 문제가 없는 한 제체의 안전성이 문제가 되는 경우는 지금까지는 거의 없었다. 그러나 배후지의 중요도나 고려해야 할 외력의 크기 등에 따라서는 꼭 그렇지 않을 수가 있으므로 주의가 필요하다.
- (2) 구조상 파력, 지진력, 토압 등의 작용을 받으므로 제체 전체로서의 안전성 검토가 필요하다. 한편 지진 시 제체 전체의 안전성 검토에 있어서는 필요에 따라 제체에 작용하는 관성력과 방조제의 경우 지진으로 인해 발생하는 기초지반 뿐 아니라 제체 내부의 과잉 간극 수압을 고려해 검토할 필요가 있다.
- (3) 기초지반의 전단 파괴에 따라 발생하는 제체 전체의 활동이 발생할 경우 시설 전체가 파괴되는 중대한 피해를 입을 수 있으므로 특히 기초지반이 연약한 경우에는 충분히 주의하여 설계할 필요가 있다. 기초의 안정, 침하 등에 대해서는 KDS 64 11 00 지반을 참조하고 지진 시 액상화 등에 대해서는 KDS 64 17 00 내진을 참조한다.
- (4) 제체의 투수성  
제체 토사의 흡출이나 호안 배후지의 파이핑(Piping)을 막기 위해 제체는 내수성이 높은 구조로 해야 한다. 특히 전면경사면에 유공재료를 사용하여 소파효과를 높이는 경우에는 충분한 주의가 필요하다.

##### ① 제체 토사의 흡출

파랑에 의한 흡출작용은 전면 경사 피복공 또는 기초공 등의 틈새 또는 투과성 사석 등을 통해 제체 토사가 유출되는 것으로서 호안 파괴의 주요원인이기도 한다. 특히 피복공과의 접속부, 피복공과 기초공과의 연결 위치는 간격 등이 발생하지 않도록 조지함과 동시에 연속성을 유지해 흡출을 방지하는 구조로 해야 한다.

② 호안 성토에 대한 침투

특히 배후지가 낮은 지역에 설치된 호안의 성토 부분은 외수의 침투작용을 받으므로 침윤선의 형상, 침투량, 파이프(Piping) 등에 대한 안전성에 대해 검토가 이루어져야 한다. 침윤선이 제체의 배면 경사면 안에서 침출할 때에는 이 부분에 경사면 침식이 일어나 호안 파괴를 유발할 위험성이 있다. 침윤선은 설계고조위를 외수위로 하여 침윤선이 배면 경사면에서 나타나는 경우에는 마루폭을 넓게 하거나 배면 경사를 완만하게 하는 등의 조치를 취하며 더욱이 배면 경사의 끝에는 적절한 조밀도의 필터층을 설치할 필요가 있다. 제체 내의 침투류는 비정상류가 되는데 침투량에 대해서는 제체 재료 또는 기초지반의 투수성 등이 일률적이지 않으며 또한 투수계수의 추정은 매우 곤란하므로 현지조사를 통해 각각 판단해야 한다.

③ 파이프(Piping)

제체 침투로 길이(성토 폭)와 내외 수위차의 비(크리프비)가 작아지면 제체 성토의 한계 동수경사를 넘게 되어 배면 사면에 파이프가 발생한다. 호안이 파이프에 대해 안전하기 위해서는 해설 식 (4.1-1)에서 구한 크리프비가 해설 표 (4.1-3)의 크리프비 보다 작아져서는 안 된다.

$$c_c = \frac{\ell}{h_{cr}} \quad \text{해설 식 (4.1-1)}$$

여기서,  $c_c$  : 크리프비

$\ell$  : 침투로 길이(m)

$h_{cr}$ : 최대 수두(水頭)차 (최대의 내외 수위차)(m)

해설 표 (4.1-3) 크리프비

제체 또는 기초지반의 토질	크리프비( $c_c$ )	비고
실트	9	토질은 제체 또는 기초지반 중 투수성이 작은 쪽을 취함
세립질 모래	7.5	
조밀한 모래	6	

(5) 제체 전면의 세굴에 대한 안전성 조사

- ① 제체의 안전성에 영향이 크다고 생각되는 주변 현상으로서 호안 전면의 세굴이 있으며, 이 세굴의 정도에 따라 호안 기초의 안전성이 확보되지 않을 수 있으므로 안전성 검토 시는 호안 전면의 세굴에 대해서도 검토할 필요가 있다.
- ② 자연해빈에 호안 등의 인공 구조물이 설치되면 파의 교란이나 반사에 의해 제체 선단부가 세굴될 우려가 있는 것으로 알려져 있다.

## [참 고]

호안의 안정계산은 다음과 같이 주된 구조형식에 따라서 적절히 검토를 한다.

### (1) 중력식 호안

케이슨, L형 블록, 셀룰러 블록, 콘크리트 블록 등의 PC(Precast Concrete) 부재를 사용한 것과 현장타설 콘크리트에 의한 것이 있다.

설계 시는 KDS 64 55 20 고정식 계류시설, KDS 64 55 40 기타형식 계류시설(4.6 직립 소파식 안벽)을 참조한다.

### (2) 널말뚝식 호안

강널말뚝, 콘크리트 널말뚝 등을 사용하여 호안을 축조한 것으로 널말뚝을 자립시키는 것, 버팀공을 갖는 것 및 2중 널말뚝이 있다.

버팀공이 있는 것은 매립이 어느 정도 진척되지 않으면 시공이 어렵고 매립진행 상황과 안정조건을 미리 검토하여 공사의 관리를 하여야 한다. 설계 시는 KDS 64 55 20 (4.3 타이식 널말뚝안벽) 또는 KDS 64 55 40의 널말뚝을 사용한 형식의 구조를 참조한다.

### (3) 셀(Cell)식 호안

강널말뚝, 강판 등에 의하여 셀(Cell) 구조로 한 것으로 강널말뚝식 호안과 함께 수밀성이 높고 매립토의 침출방지에 적합하다. 설계 시는 KDS 64 55 20 (4.5 셀식 널말뚝 안벽)을 참조한다.

### (4) 사석식 호안

비교적 수심이 얕은 장소에 사용되며, 호안 본체가 사석에 의하여 구성되어있는 것으로 매립토의 유출이 발생하지 않도록 대책을 강구한다. 내파성(耐波性)을 갖도록 전면에 피복공을 설치한다. 한편, 대수심에 있어서도 석재의 단가가 싼 곳 등에서 사석의 해수정화기능이나 어류의 집합 서식기능이 있다고 하여 경사제가 쓰이는 경우가 있다.

### (5) 소파블록 피복호안

파력이 큰 장소에서 상기 각 구조의 전면에 소파공을 설치한 것이다

#### 4.1.6 구조세목

##### 4.1.6.1 설계일반

- (1) 호안에는 파랑조건에 따라 세굴방지공, 물받이공을 설치하여야 한다.
- (2) 매립토의 성상, 호안의 구조, 잔류수위 등을 고려하여 유출방지공을 설치하여야 한다.
- (3) 필요한 경우 계단 등의 부대설비를 설치하여야 한다.
- (4) 수두차는 최소가 되고 동수거리는 최대가 되도록 하여 경제성이 있도록 하여야 한다.

#### [참 고]

- (1) 매립 호안에는 월파를 감소시키기 위하여 파라핏(Parapet)을 설치하는 일도 있다.  
파라핏의 설계 시는 이 기준의 4.2 파라핏을 참조하여 적용한다.
- (2) 호안에 월파의 염려가 있을 때에는 호안배후를 보호하기 위하여 물받이공을 설치하여야 한다. 물받이공의 폭은 월파량, 파의 처오름 높이, 호안구조 등을 고려하여 정한다.  
또 월파에 의하여 호안배후에 침입한 해수를 배수구, 수발공 등을 설치하여 배제할 수 있도록 설계하여야 한다. 배수시설의 단면은 월파량, 강우량 등을 고려하여 적절한 크기로 한다.
- (3) 호안 내부에 조위차로 인한 침투류로 발생하는 파이핑 피해 및 준설토의 유출방지를 위해 배면매립재를 설계해야 하며, 배면매립재의 단면은 KDS 64 11 00 지반(4.2.3 침투) 항목을 참조하여 적용한다.
- (4) 기타 구조세목에 대하여는 KDS 64 45 20 방파제, KDS 64 55 00 계류시설의 관련 항목을 참조하여 적용한다.

#### 4.1.6.2 구조세목

- (1) 제체는 사석 및 성토에 의해 만들어지는데, 필요한 경우 장비주행성을 확보할 수 있도록 하여야 한다.
- (2) 전면 피복공은 파력 등의 작용에 견딜 수 있어야 하고 침하에 의한 균열 및 배후 토사의 흡출을 방지하는 등 구조적인 안전성을 유지할 수 있도록 하여야 한다.  
소파블록 및 피복석으로 피복하는 경우 소파블록 및 피복석 소요질량 산정은 KDS 64 10 10 설계조건(4.3.10 피복재 안정질량)에 따른다.
- (3) 마루 피복공 및 배면 피복공은 월파한 수괴(水塊)의 충격이나 해수에 의해 제체가 유실되지 않도록 시공성, 안정성, 경제성 및 이용성을 고려하여야 한다.
- (4) 호안의 기초는 상부 구조물을 안전하게 지지함과 동시에 파력에 의한 일시적인 세굴에 견딜 수 있도록 하여야 한다.
- (5) 내외 수위차에 의한 파이핑(Piping) 또는 팽창으로 인해 기초의 파괴가 우려되는 경우 지수공을 검토하여 적용하여야 한다.
- (6) 파랑에 의한 제체전면의 세굴우려가 있는 경우 근고공을 검토하여 적용하여야 한다.
- (7) 파의 처오름 높이, 월파유량 및 파압의 경감을 필요로 할 경우 소파공을 검토하여 적용하여야 한다.
- (8) 제방의 배면 이동, 침하 등을 방지하기 위하여 필요시 근류공을 검토하여 적용하여야 하고, 제방의 배면 하단에는 근류공을 설치하여야 한다.
- (9) 월파가 예상되는 경우 월파유량을 추정하여 흘려보내는데 필요한 배수단면을 확보하여야 한다.

#### [해설]

호안의 구조 세목에 대해서는 제체의 설치지점에서의 설계조건을 고려하여 제체의 안전성 검토를 원칙으로 하는데, 수많은 실시사례에서 신뢰성 높은 구조제원으로서 설정된 구조 세목을 참고로 해도 좋다.

#### (1) 제체

성토는 특히 제방의 경우 다소 점토를 포함한 사질 또는 사력질의 재료를 이용하는 것을 원칙으로 하고, 다짐은 토질, 사용기계의 종류에 따라 적당한 함수량 상태에서 각 층, 전체 면에 걸쳐 균등하게 이루어지도록 한다. 성토재료로 해안의 모래 등을 이용할 경우 특히 물다짐 등을 실시해 충분히 다짐 필요가 있다.

성토는 충분히 굳혀도 수축 및 압밀에 의해 침하하므로 마루높이, 제체의 토질, 기초 지반의 상태 등을 고려해 필요한 여성(餘盛)을 실시한다.

또한 필요에 따라 격벽을 일정 간격으로 설치하는 경우도 있다. 격벽은 호안이 피해를 입어 일부 파괴가 일어난 경우 이것이 인접 부분으로 확대되는 것을 최소한으로 막기

위해 일정 간격별로 제체 전체 면에 설치하는 것이다. 호안 전면 선단부의 지중(地中) 근입(根入)은 부근 일대의 지반 높이보다 깊게 내려 결괴(決壊)되지 않도록 한다.

## (2) 전면 피복공

- ① 제체와 마찬가지로 파력 등의 작용에 대항해 파랑에 의한 침식이나 마모에 견디는 단단하고 안전한 구조이어야 하므로 경우에 따라서는 강력한 파력이나 부등 침하에 저항하기 위해 철근을 넣는다.
- ② 전면 경사가 호안 기준선 방향에 대해 급변하는 장소에서는 파력이 집중해 구조상 취약해짐으로 경사를 바꿀 때에는 가능한 자연스럽게 변화시킬 필요가 있다.
- ③ 상부는 하부와 동일한 구조로 하는 것이 좋으나, 경제성이 떨어질 경우에는 하부공과 다른 공법을 취할 수가 있다. 단 동종 피복공은 서서히 바꾸며 이종 피복공은 그 연결부가 취약점이 되지 않도록 유의해야 한다.

- ④ 파랑이 해안에 비스듬히 입사한 경우 또는 하천 감조부분에 파랑이 입사한 경우 파랑은 호안 또는 호안에 비스듬히 입사함으로써 파랑의 정상 부분이 구조물을 타고 넘는 현상이 일어난다. 이 경우 장소에 따라서는 구조물에 대한 파랑의 처오름 높이 및 율파유량이 증대할 우려가 있다. 또한 통문 등의 구조물 주변 등에서는 입사파와 반사파 간의 간섭 영향으로 예기치 못한 파고가 생기는 경우가 있다. 또한 이러한 현상이 발생하는 경우는 기초 저면 선단부의 세굴이 조장되며 나아가서는 호안을 선박계류 등으로 이용하는 데에도 좋지 않는 결과를 초래한다.

이와 같은 파랑의 영향을 막기 위해 피복공의 표면에 설치하는 돌기를 연파 저지공이라고 하며 사면에 대해 직각으로 설치되는 구조물이다. 그러나 이 연파 저지공은 피복공의 사면에 돌출되어 파력을 받으므로 구조상의 취약점이 되는 경우가 많고 이 부분의 파손으로 인해 전면 경사 피복공의 파손으로 이어진 예가 적지 않으므로 구조상의 취약점이 되지 않도록 충분히 주의해서 설계해야 한다.

## (3) 마루 피복공 및 배면 피복공

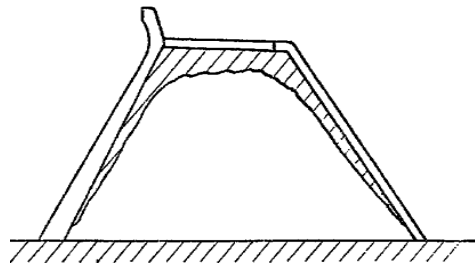
### ① 일반사항

#### 가. 마루 및 배면 피복공의 필요성

호안은 월파한 해수에 의해 제체 토사가 유실되어 본체의 파괴가 일어나지 않도록 호안의 배면 전체를 단단히 피복할 필요가 있다. 전면, 마루, 배면의 3면 모두 피복하는 이른바 3면 피복으로 하는 것이 일반적이다.

#### 나. 성토의 수축 또는 침하에 대한 고려

성토는 일반적으로 세월이 흐르면 수축 또는 침하하는 경우가 있으므로 피복공의 내측에 해설 그림 (4.1-2)과 같은 공동이 발생하는 경우가 있다. 이는 피복공에 균열을 만드는 원인이 되어 호안이 취약하게 된다. 이를 막기 위해서는 성토는 충분히 단단하게 하고 성토가 충분히 수축, 침하될 때까지 기다려 피복공을 시공하거나, 침하에 순응이 가능한 피복구조로 할 필요가 있다. 그러나 일반적으로는 성토한 후에 그대로 장시간 방치할 수 없는 것이 현실이므로 적절히 관리할 필요가 있다.



해설 그림(4.1-2) 공동 발생의 개념도

다. 마루 피복공의 배수

마루 피복공의 배수를 위해서는 육지 측으로 2~5% 정도의 편경사를 주는 것이 좋다.

라. 마루 피복공의 강도

마루 피복공은 원칙적으로 관리용 차량 또는 공사용 차량 등의 교통에 견딜 수 있는 구조로 해야 한다. 한편 도로교통으로서 겸용할 경우에는 이용 목적에 따라 필요한 강도로 한다.

## ② 마루 피복공 및 배면 피복공의 형식

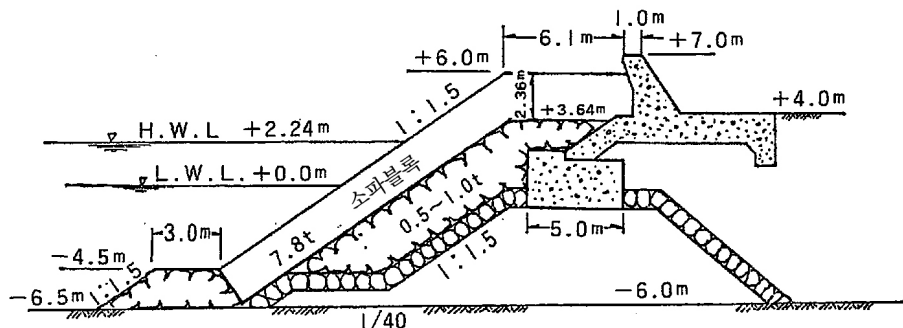
피복공의 구조 형식에는 콘크리트 피복공, 아스팔트 피복공, 콘크리트 블록 피복공, 돌쌓기 또는 돌붙임 피복공 등이 있다. 단 해안이용의 요구가 높은 곳 등에 있어서는 제체의 안전성에 지장이 없는 한 잔디 등의 이용 형태에 맞는 피복공을 이용할 수가 있다. 피복공의 폭은 호안의 마루폭에 준해 3m 이상으로 하는 경우가 많다. 형식별 구조세목은 전면 피복공 및 기타 구조안정에 관한 규정에 준한다.

## (4) 기초공

### ① 일반사항

경사 선단의 세굴에 대해서는 근고공 등으로 보호하는 등 그 구조를 고려해 지수공, 피복공과 이음 또는 기초공의 줄눈 등에서의 토사 흡출을 방지할 수 있는 구조로 해야 한다.

② 기초공은 기초지반이나 상부 구조물에 따라 기초 말뚝, 널말뚝 또는 사석기초공 등을 조합해 사용하는 경우가 있다.



해설 그림(4.1-3) 콘크리트 블록 기초공과 사석 기초공과의 조합의 예

③ 기초공으로서의 지수공의 기능

가. 기초지반의 투수성이 큰 곳에 시설할 경우에는 콘크리트 또는 널말뚝에 의한 지수공을 설치해 제체 또는 전면 피복공 하부에서의 누수를 방지한다. 그러나 지수공으로서 이용되는 널말뚝은 다음과 같은 기능을 부가하여야 한다는 점에 유의하여 적용한다.

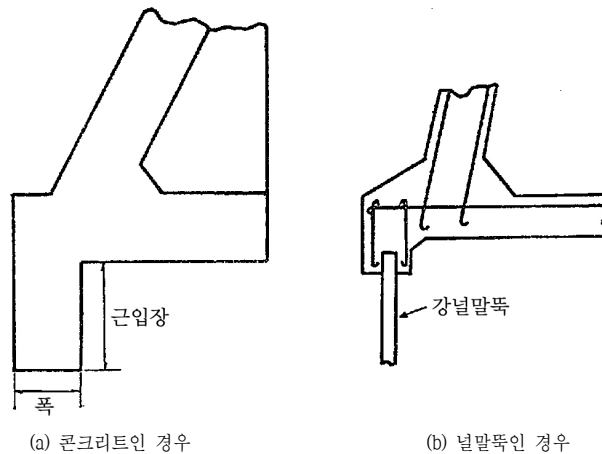
(가) 경사 선단 세굴에 대해 기초공에 근입의 발판으로서의 기능

(나) 기초공과 더불어 수평력에 대한 저항

(다) 기초 말뚝으로서의 지지력

나. 제체 전체의 균형 있는 안전성을 고려해 널말뚝의 근입 및 단면을 결정할 필요가 있다. 제체선단 세굴에 저항하기 위해서는 근입깊이는 깊을수록 좋은데, 전면 해저에 세굴이 진행되는 곳에서는 파의 처오름 높이 또는 파압이 급하게 커져 결국에는 제체 전체의 안전성을 확보할 수 없으며, 또한 지수효과를 거의 기대할 수 없다. 이와 같은 곳에서는 세굴을 예상해 널말뚝을 길게 하는 것 보다 다른 기초공을 적용해야 한다. 또한 제체의 반사파에 의해 제체선단 세굴이 진행되는 경우도 있으므로 유의할 필요가 있다.

다. 해변 등에 설치하는 호안의 기초 널말뚝은 약최저저조위(A.L.L.W) 이하에 이용해야 하며 바닥공사가 가능한 경우에는 약최저저조위(A.L.L.W) 까지 콘크리트 구체에 의한 기초공을 시공하고 그 밑에 적절한 길이의 널말뚝을 이용해야 한다. 단 해저의 세굴이 수 미터 이상으로 예상되는 경우에는 널말뚝 등의 간단한 공법이 아닌 다른 기초공을 적용해야 한다.



해설 그림(4.1-4) 기초공으로서의 지수공

④ 기초지반이 양호한 경우에 적용되는 기초공

양호한 기초지반이란 세굴, 침투 등과 는 별도로 제체 기초로서의 지지력이 비교적 양호하다는 것을 의미하며 암반, 자갈, 모래, 강한 점토 또는 이들의 혼합물로 구성된 지반이다. 이와 같은 곳에서는 일반적으로 원지반 위에 직접 기초공을 설치하는 것이 가능하다.



#### 가. 목재기초공

일반적으로 돌쌓기공, 돌붙임공 등의 기초로서 자주 이용되고 있지만, 해안제방에서는 지반이 양호한 장소 이외에는 사용하지 않는 것이 좋고 파의 작용에 의해 기초공의 전면이 세굴되어 제체 토사의 흡출을 받지 않도록 깊게 매설할 필요가 있다. 또한 해안제방에서는 조수간만의 차가 있어 목재의 경우에는 부식과 해충의 피해를 받으므로 원칙적으로 콘크리트 구조로 하며 목재를 이용할 경우에는 항상 물에 잠기지 않으며 해충의 피해 등의 우려가 없는 곳에 한정시켜야 한다. 그다지 지반이 양호하지 않은 장소에서는 목재 기초공을 말뚝 기초공과 병용하면 효과가 있다.

#### 나. 말뚝기초공

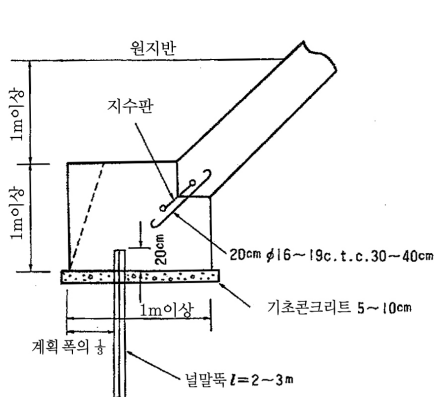
이 공법은 널말뚝을 포함한 넓은 의미에서의 말뚝 기초이다. 말뚝은 목재 기초공에서 살펴 본 바와 같은 이유에서 원칙적으로 콘크리트 구조 또는 강재를 이용한다. 한편 이 공법은 원지반을 교란시켜 지지력을 감소시키는 경우가 있으므로 주의해야 한다. 말뚝 기초공은 다른 기초공과 병용시키는 경우가 많다.

#### 다. 현장 타설 콘크리트 기초공

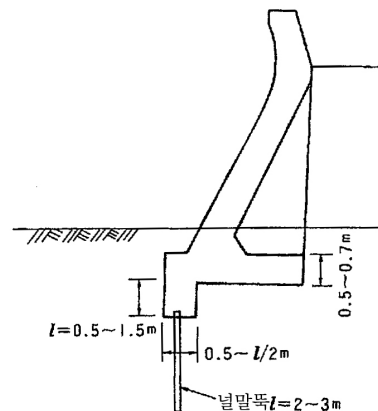
기초공은 상부 구조를 안전하게 지지해주기 위해 상부 구조와 일체화할 필요가 있어 신축줄눈은 반드시 상부 구조의 줄눈과 일치하는 위치에 설치하여 기초공의 일체성을 증가시키고 줄눈은 제체 토사의 흡출을 방지할 수 있는 구조로 하여야 한다. 이 기초공은 양호한 지반에서는 가장 널리 이용되며 보통 원지반보다 1m 이상 근입하는 경우가 많으나, 파랑의 영향 등이 적은 곳에서는 0.5m 정도로 하는 경우가 많다. 지반이 그다지 양호하지 않은 경우에는 상황에 따라 말뚝 기초공, 모래 기초공 등과 병용시키는 경우가 많다.

경사식 호안기초의 경우 해설 그림 (4.1-5)에는 기초공의 크기는 높이 1m 이상, 폭 1m 이상으로 하는 경우가 많다. 기초사석은 사용하지 않고 두께 0.05~0.1m의 콘크리트를 이용하는 예가 많다. 전면 피복공과의 이음에는 철근과 지수판을 이용하고 필요에 따라 말뚝 또는 널말뚝 기초를 병용한다.

부벽식 호안 기초인 경우 해설 그림 (4.1-6) 바닥판의 두께는 0.5~0.7m 정도로 하며 바닥판에는 필요에 따라 지수공을 설치하는 경우가 많다. 기초지반이 암반인 경우에는 부벽만으로 하며 반드시 바닥판을 설치할 필요는 없다.



해설 그림(4.1-5) 경사식 호안의 기초공



해설 그림(4.1-6) 호안 기초

라. 콘크리트 블록 기초공

이 공법은 현장타설콘크리트 기초공 적용이 어려운 경우 즉 수심이 비교적 깊은 경우 등에 적용되지만, 각 블록이 일체가 되어 블록의 사이에서 흡출이 되지 않도록 할 필요가 있다.

마. 사석 또는 블록 기초공

수심이 깊고 다른 적당한 방법이 없는 경우의 시공 상의 또는 경제적 이유에서 사석 또는 블록으로 기초 마운드를 만들고 그 위에 제체를 시설한다. 이 방식은 원지반의 요철을 고를 경우에도 쓰이는 경우가 있다.

바. 셀룰러블록 기초공

일반적으로 수심이 깊어 현장타설콘크리트 기초공의 시공이 어려운 경우 등에 이용된다. 속채움에 콘크리트와 함께 자갈, 잡석, 모래 등을 이용하는 경우에는 잘 다지는 것이 중요하다. 한편 이 경우 표면은 0.25m 이상의 양질의 콘크리트로 피복하는 경우가 많다.

사. 웰(Well) 기초공

지반의 상황 또는 상부 구조 여건 상 전면이 과량에 의해 세굴될 우려가 있는 경우 또는 필요한 지지력을 얻기 위해 깊은 근입을 필요로 하는 경우 등에 이용된다.

시공 상 웰과 웰을 떨어뜨릴 경우는 물론 연결해서 웰을 가라앉힐 경우에도 그 이음매를 통하여 흡출을 받을 우려가 많으므로 이를 방지할 수 있도록 웰과 웰의 사이에 소요 깊이까지의 현장 타설 콘크리트를 시공할 필요가 있다.

아. 케이슨 기초공

수심, 파력 등이 큰 장소에서는 단단한 기초를 필요로 한다. 공사비는 늘어나지만 신속하고 확실한 시공이 가능하다는 이점이 있다.

⑤ 양호하지 않은 지반 위에 축조할 경우에 이용되는 기초공

양호하지 않은 지반이란 지반 지지력이 작고 제체의 급격 또는 과대한 침하를 일으킬 우려가 있는 연약점토지반 및 모래지반 등을 말하며 그 처리방법으로서는 다음과 같은 것들이 있다.

가. 지중 응력을 작게 하는 방법

하중에 의해 지중에 발생하는 전단력을 작게 하는 방법으로서 제체 자체의 중량을 경감하는 방법, 제체 바닥면적을 확대하는 방법, 말뚝 기초공 등이 있으며 또한 압성토를 하여 제체의 활동 파괴를 방지하는 방법도 있다.

나. 전단 저항을 가진 중간 지지층에 의한 방법

기초지반이 연약점토층인 경우 제체와 기초지반의 중간에 전단 저항이 큰 단일 또는 복합재료에 의한 지지층을 두고 하중의 균등 분포 또는 지지면적을 확대해 하중 강도를 경감해 부등침하, 활동 파괴를 방지하는 방법으로서 모래 기초공, 사석 또는 블록 기초공 등이 있다.

## (가) 모래 기초공

하중에 따라 충분히 두꺼운 모래층을 시공해 플로팅 기초를 만든다.

이 공법에 의한 경우에는 상부공의 압밀 침하는 피할 수 없으나 활동에 의한 파괴 침하를 저지할 수는 있다. 모래층의 두께는 단위면적 당 하중이 양호하지 않은 지반의 허용 지지력 이하가 되도록 널리 균등하게 분포시키는데 충분한 두께이어야 한다.

플로팅 기초를 형성하기 위해 필요한 모래의 두께는 최소 0.5m 정도이지만 기초지반의 표층이 아주 연약한 곳에서는 시공관리의 면에서 2m 정도의 치환을 하는 경우가 있다.

## (나) 사석 또는 블록 기초공

사석 또는 블록 공법은 모래기초공의 모래를 사석 또는 블록으로 대체한 것이라고 생각하면 된다. 사석 또는 블록 공법으로 근고공을 겸하는 경우가 있는데, 파랑에 의한 성토의 흡출작용을 받기 쉬우므로 경계면에 성토 재료의 흡출을 방지하기 위해 차단층을 설치해야 한다. 사석 또는 블록 공법은 모래에 비해 단일 시공으로는 연약한 기초지반에 묻혀버리는 경우가 많고 사석 사용 양도 많아지므로 모래와 혼합하여 사용하는 편이 석재의 양을 절약할 수 있다.

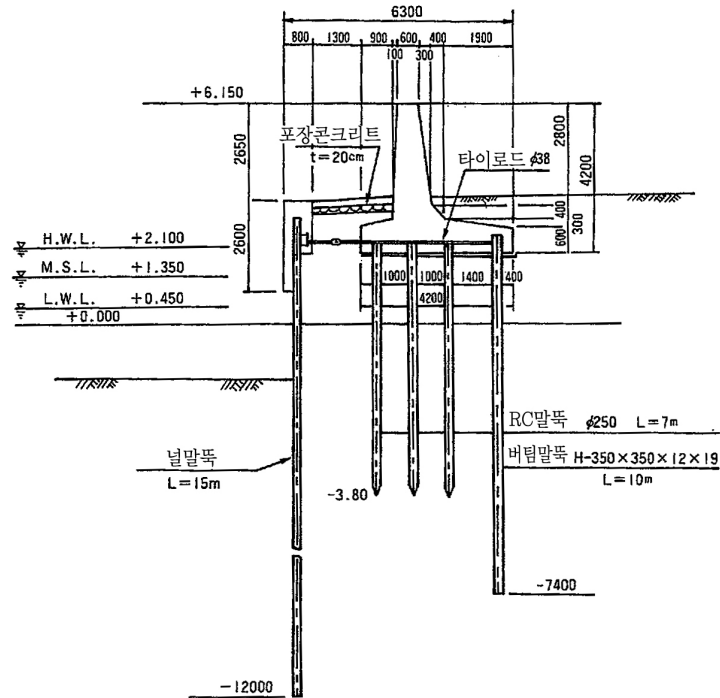
## (다) 나뭇가지 공법

나뭇가지(쇠나무가지)를 이용한 플로팅 기초로서 나뭇가지의 전단 강도를 이용한 것으로 예로부터 내려 온 전통적인 공법인데 이 공법의 적용은 나뭇가지의 입수와 노동력의 확보가 전제가 된다. 나뭇가지 기초공의 설계, 시공의 주의사항으로서는 다음과 같은 점을 들 수 있다.

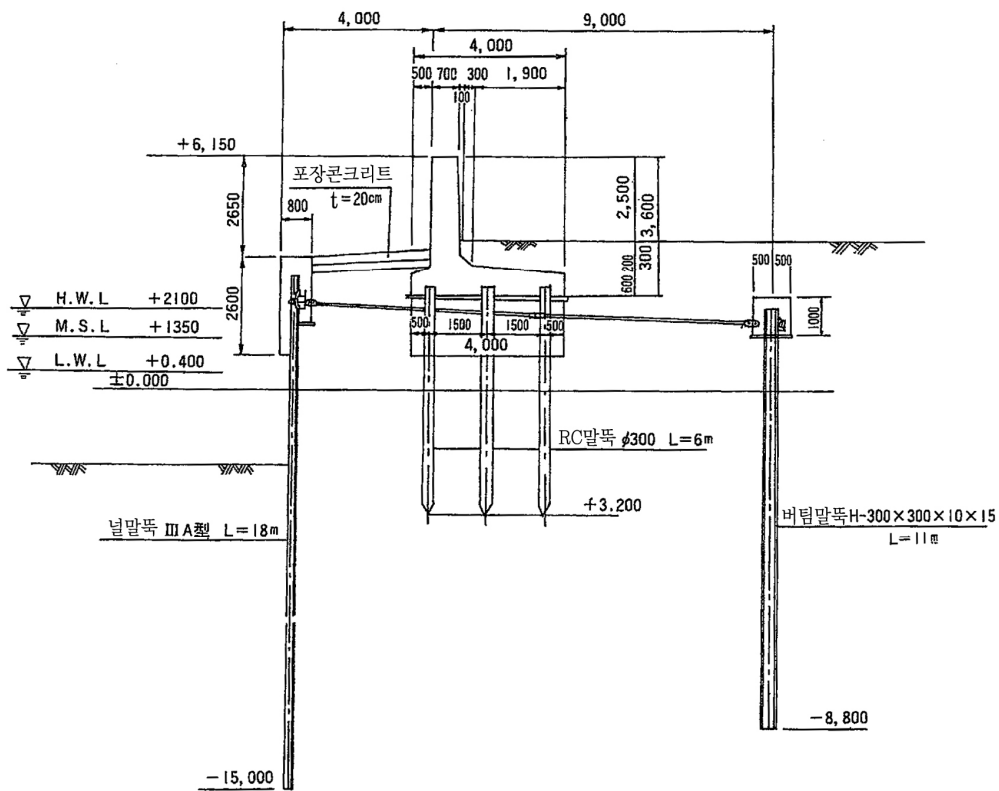
- ㉠ 나뭇가지재료의 강도 확보를 위해 벌채, 사용 시기를 고려해 강도를 저하시키지 않는 기간에 사용한다.
- ㉡ 나뭇가지가 썩어 맹암거역할을 하여 기초의 누수 원인이 되는 경우가 있으므로 나뭇가지의 양끝을 충분히 복토해서 지수한다.
- ㉢ 연결은 호안 횡단 방향의 전단 강도를 확보하기 위해 가로 배치를 시공 상 3중 이하로 연결하고 있다.

## (라) 말뚝 기초

양호하지 않은 지반에 축조할 경우에 이용되는 말뚝 기초공은 제체의 자중을 지지하고 침하 등을 막는 것을 목적으로 하고 있다. 이런 의미에서 원칙적으로 기초지반이 양호한 경우의 말뚝 기초공에 준해 고려해도 좋다.



(a) 방호벽의 기초공과 널말뚝의 정착을 조합시킨 것



(b) 널말뚝식 구조에 방호벽을 조합시킨 것

해설 그림 (4.1-7) 널말뚝식 구조의 예

## (5) 지수공(止水工)

내외 수위차에 비해 침투로의 길이가 짧으면 파이핑 또는 팽창으로 인해 기초의 파괴가 일어난다. 그 대책으로서는 지수벽을 넣는 등의 방법으로 침투로 길이를 길게 하거나 또는 파이핑 방지를 위해 필터공법을 이용할 필요가 있다.

지수벽의 길이는 해설 식 (4.1-1)의 침투로 길이의 계산에 의해 구할 수 있다. 이 식은 널말뚝과 일치한 침투로를 고려해 수평방향의 침투로에 대해 중첩시킨 것이다.  $C_w$ 의 수치는 경험적인 기준으로서 해설 표 (4.1-4)의 크리프비로 한다.

$$C_w = \frac{\frac{1}{3}B + \Sigma t}{h} \quad \text{해설 식(4.1-1)}$$

여기서,  $C_w$  : 웨이트를 준 크리프비

$h$  : 호안 내외의 수위차(m)

$B$  : 수평방향의 침투로 길이(m)

$\Sigma t$  : 수직방향의 침투로 길이의 합(m)

이 식에 따라  $C_w$ ,  $h$ ,  $B$ 를 알면  $\Sigma t$ 가 구해지며 널말뚝벽의 열의 수에서 그 길이  $t$ 를 결정할 수 있다.

한편 지수벽은 널말뚝 등을 이용해 충분히 침투압에 견딜 수 있는 구조로 하며 동시에 연결부가 지중에서 벌어지지 않도록 시공해야 한다. 또한 2열 이상의 지수벽을 설치할 경우 그 간격은 지수효과가 유효하도록 결정해야 한다.

해설 표 (4.1-4) 웨이트를 준 크리프비

토질	$C_w$
모래 또는 실트	8.5
가는 모래	7.0
중간 모래	6.0
거친 모래	5.0
중간 자갈	3.5
옥석을 포함한 거친 자갈	3.0

## (6) 근고공(根固工)

## ① 일반사항

근고공은 세굴로부터 전면 피복공 또는 기초공을 보호하기 위하여 전면에 연속적으로 설치하는 것으로서 단독으로 침하와 굴요(屈撓)가 가능하도록 피복공이나 기초공과 분리해야 한다. 더욱이 근고공으로 쓰이는 사석, 블록 등은 충분한 질량을 갖고 있어 파력에 저항할 수 있어야만 한다. 이 외에도 근고공 자체가 세굴에 의해 넘어져

기초공 또는 피복공과의 사이에 간격이 생기지 않도록 해야 한다.

제체의 활동을 방지하기 위해 설치되는 근고공은 충분한 폭과 소요 질량을 가지고 있어야 한다.

## ② 사석 또는 콘크리트블록 근고공

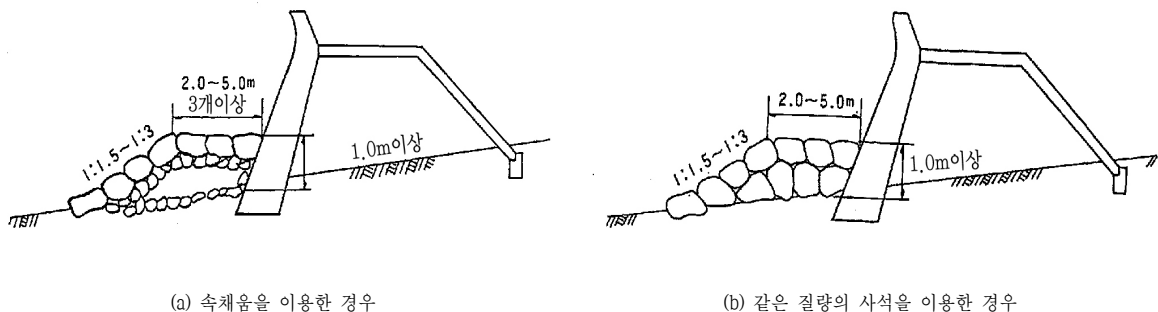
근고공의 목적 및 기능 면에서 사석 또는 콘크리트블록 근고공은 재료의 입수가 용이하고 시공도 간단하며 더욱이 굴요성도 뛰어나기 때문에 예로부터 많이 이용되고 있는 근고공법이다. 이 공법에 의한 경우에는 그 두께는 1m 이상, 마루폭은 2~5m 정도, 표면 경사는 1:1.5~1:3 정도로 하는 경우가 많다. 이는 종래의 시공 예 등에서 경험적으로 얻어진 것으로서 카운터 웨이트(Counter weight)로서의 기능을 가지는 경우에는 예외이다. 설계에 있어서는 파력에 대한 사석 등의 소요 질량의 규정에 준해 사용하는 돌 또는 콘크리트 블록의 질량을 결정하며 시공에 있어서는 표면에 가능한 큰 것을 놓도록 한다.

사석 근고공은 일반적으로는 해설 그림 (4.1-8)(a)와 같이 표층에 소요 질량을 가진 것을 3개 또는 그 이상으로 하며 내부를 향해 점차 작은 돌을 채우며 속채움은 표층의 1/10~1/20 정도의 질량을 이용한다.

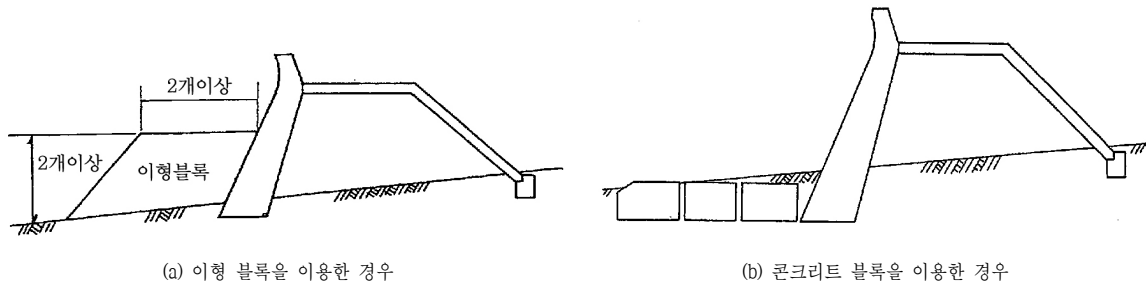
속채움사석은 대소 구분 없이 섞어서 해저를 덮어 토사가 흡출되는 것을 방지하도록 한다. 해설 그림 (4.1-8)(b)와 같이 같은 질량의 사석을 이용하는 경우도 있다. (a), (b) 모두 해안선 부근에 설치할 경우에는 1.0m 이상 파거나 또는 마루폭을 넓게 하는 경우가 많다.

콘크리트블록으로서 이형블록이 많이 이용되고 있다. 이형블록을 근고공으로 하는 경우에는 적당한 맞물림 효과를 기대한다는 의미에서도 마루폭은 최소한 2개, 층 두께는 2층 이상(막쌓기 시공의 경우에는 적층 상당분 이상)으로 하는 경우가 많다. 한편 이 경우 근고공의 앞부분이 세굴될 우려가 있으므로 주의가 필요하다. 근고공의 기초공으로서 경사 선단 지반이 모래지반 등으로 파에 의한 세굴이나 흡출이 일어나기 쉬운 장소 등에서는 잡석이나 사석 등의 기초공을 설치할 필요가 있다.

이형블록을 이용한 경우에는 근고공의 공극이 크므로 사석 근고공의 속채움과 마찬가지로 그 하부에 공극이 작은 사석층을 설치하는 것이 바람직하다. 또한 해설 그림 (4.1-9)(b)와 같이 콘크리트 블록을 경사 전면 지반에 피복하는 방법도 있다.



해설그림 (4.1-8) 사석 근고공의 구조



해설 그림 (4.1-9) 콘크리트 블록 근고공의 구조

## ③ 셀룰러블록 근고공

이 공법은 블록 근고공이 현지 조건에 의해 부적당한 경우에 이용되는 것으로서 자세한 사항은 셀룰러블록 기초공에 나와 있는 내용을 준용하면 된다. 여기에서는 웰형식, 케이슨형식 등을 포함한 셀룰러블록을 의미한다. 웰형식 및 케이슨형식에 대해서도 이 기준 해설(4) 기초공 내용을 준용하면 된다.

## ④ 사석틀식 근고공

현지 상황 등으로 인해 특수한 경우에 이용되는 것으로서 자세한 사항에 대해서는 호안의 전면 피복공의 격자틀 방식에 준하도록 한다.

## (7) 소파공

## ① 일반사항

소파공 단면은 속채움사석 위에 여러 층의 이형블록을 쌓은 방식도 있으며 전체 단면을 이형블록으로 시설하는 방식도 있다. 효과적인 소파공으로서 필요한 조건은 다음과 같다.

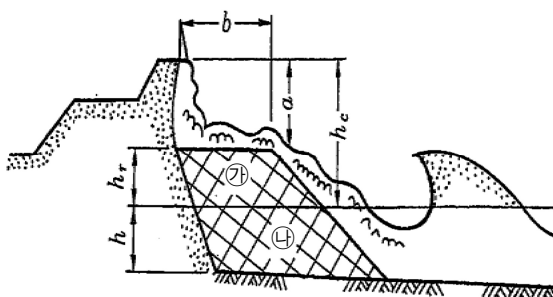
가. 표면 조도가 큰 것이어야 한다.

나. 파의 규모에 맞는 적당한 공극이 있어야 한다.

다. 어느 정도의 용량을 가지고 있어야 한다. 이 용량은 수량의 일부를 소파공의 내부에 저류하는데 필요한 용량이기 때문에 해설 그림 (4.1-10)에서 평균 수면 위 ㉗의 부분이 큰 편이 바람직하다.

라. 호안 마루는 소파공 마루에서 어느 정도의 높이가 있어야 한다.

마. 파력에 대해 안전성을 확보할 수 있어야 한다.



$h$  : 호안의 제체선단 수심(m)

$h_c$  : 호안(반파공(返波工))마루의 수면 위 높이(m)

$h_r$  : 소파공 마루의 수면 위 높이(m)

$a$  : 소파공 마루에서 호안(반파공) 마루까지의 높이(m)  $a = h_c - h_r$

$S$  : 소파공의 수면 위 면적( $m^2$ )

(해설그림 안의 ㉗에 해당하는 것으로서  $S \approx h_r \times b$ )

해설 그림 (4.1-10) 소파공의 제원

② 소파공의 설계

산정한 호안 마루높이가 배후 및 호안의 이용 형태 등에서 볼 때 너무 높은 경우에는 소파공을 설치하여 마루높이를 낮게 할 수 있다.

월파유량의 저하는 소파공의 설치 위치 및 형상 등에 따라 달라지므로 수리모형실험을 통해 검토하는 것이 좋으나 다음과 같은 방법을 이용해 소파공을 설계해 필요한 마루높이의 저하를 도모해도 좋다.

가. 소파공의 마루폭은 블록 2~3개분의 폭을 주는 예가 많다. 최소한 블록 2개 또는 그 이상의 마루폭으로 하고, 파고가 높은 곳, 장주기파가 내습하는 곳 또는 전면 수심이 깊은 곳에서는 마루폭을 다소 넓게 해 3~5개 또는 그 이상으로 한다.

나. 소파공의 수면 위의 높이는 해설 표 (4.1-5)의 소파공 제원의 표준을 참고해서 결정한다. 이 표는 시라이시(白石) 등이  $2\pi q/H_0 L_0$ 가  $5.0 \times 10^{-3}$ 이하가 되는 소파공 제원을 실험 데이터에서 구한 것이다.  $h_r$ 이 작으면 파가 소파공을 뛰어넘어 오히려 월파유량을 증가시키는 경우가 있어 충분한 높이의 소파공을 설치할 필요가 있다.  $a(=h_c - h_r)$ 는 1.0m 이내로 하는 경우가 많다.

해설 표 (4.1-5) 소파공 제원의 표준

수심 \ 소파공의 높이	(1) $\frac{h_r}{H_0}$	(2) $\frac{h_c + h_r}{H_0}$	(3) $\frac{h_c + h_r}{h}$	(4) $\frac{2\pi S}{H_0 L_0}$
$h/H_0=0$	0.5	1.0	-	0.0
$h/H_0=0.5$	0.6	1.5	3.5	0.2
$h/H_0=1.0$	0.8	2.0	2.5	0.4
$h/H_0=2.0$ 이상	0.7	1.7	1.0	0.2

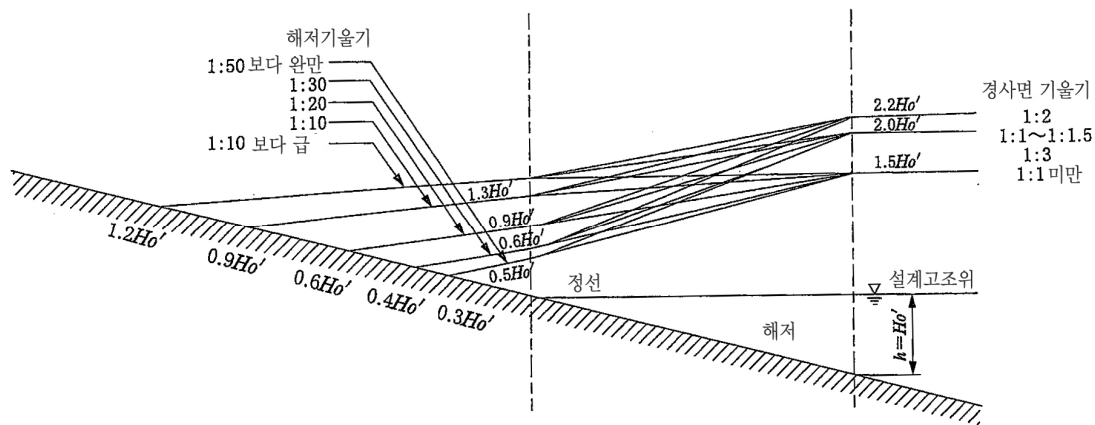
다. 소파공을 설치한 경우의 월파유량 산정은 KDS 64 10 10 (4.3.6.2 월파량/참고 그림 (4-29), 참고 그림 (4-30))을 참조할 수 있다.

라. 해설 그림(4.1-11)의 해저 경사와 마루높이의 관계에 의해 얻어진 소요 마루높이는 소파공의 마루폭 및 마루높이가 해설 표 (4.1-6)를 만족할 경우에는 그 수치를 70%까지 내려도 좋다. 여기서,  $h_c$ 는 해설 그림 (4.1-11)에 의해 구해진 호안 마루 높이의 70%에 해당하는 높이(m)이다.

해설 표 (4.1-6) 소파공의 소요 마루높이

소파블록의 마루폭(B)	소파공의 소요 마루높이(hm)
블록 2개 거치	$0.8h_c$ 이상
블록 3개 거치	$0.7h_c$ 이상
블록 4개 거치	$0.5h_c$ 이상





해설 그림 (4.1-11) 해저 경사와 마루높이의 관계

## (8) 반파공

- ① 반파공이 호안 마루 위로 돌출되어 있는 부분의 높이는 1m 정도로 하는 경우가 많다. 반파공의 높이를 높게 하면 상대적으로 호안 본체의 마루높이는 낮아지는 경우가 있어 일반적으로 공사비는 저렴해진다. 그러나 반파공 자체는 상대적으로 그 단면이 가늘고 길어 작용하는 파압에 대해 안전성을 확보할 수 없는 구조가 될 우려가 있다. 단, 제체와의 일체성을 확보할 수 있어 파압에 견딜 수 있다면 반파공을 1m보다 더 높게 해도 괜찮다.

이와는 별도로 해안의 이용 상 호안 마루에 서서 바다를 볼 수 있는 경관 또는 환경상의 요구, 방재활동 시의 편의성, 나아가 마루가 자동차 도로로 이용되는 경우 운전자의 바다 경관, 시야 및 시계의 문제 등으로 인해 1m보다 더 낮게 해도 좋다.

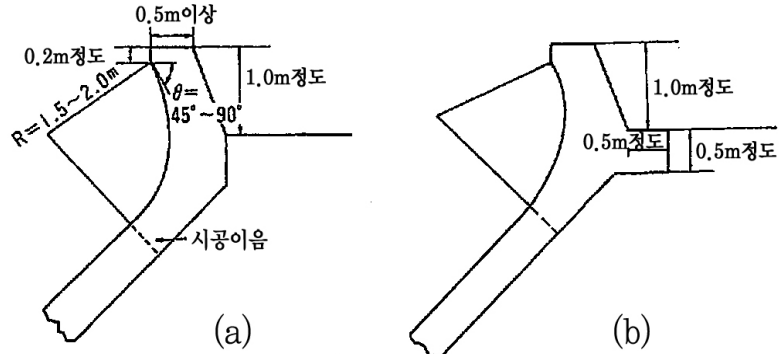
- ② 반파공은 파의 제내측 침입을 가장 효과적으로 막기 위해 보통은 곡면 구조로 되어 있다. 이는 파의 관성력을 이용해 물의 운동 방향을 위쪽 또는 반대방향으로 변환시킨다는 개념에 입각해서인데, 실제로도 상당한 효과를 거두고 있다.

과거의 반파공 실시 예를 보면 곡면의 곡률 반경은 1.5~2.0m, 곡면이 마루에서 수평을 이루는 각도는 45°~90°로 하고 있는 경우가 많다. 이들 경험에 의하면 곡면이 마루에서 수평을 이루는 각도는  $\theta=60^\circ$  정도가 가장 효과적이며, 또한 파장이 긴 파가 내습하는 해안에서는 곡면의 곡률 반경은 크게 하는 편이 효과적으로서 반경이 약 0.5m인 반파공으로는 거의 효과가 없다는 사실이 밝혀진 바 있다.

- ③ 반파공의 신축 줄눈은 전면 피복공과 일체로 설치할 필요가 있어 그 위치는 전면 피복공의 신축 줄눈과 일치시킨다. 반파공의 마루폭은 과거의 시공 예에서는 0.5m 이상으로 하는 경우가 많은데, 특히 강력한 파력이 작용하는 장소나 반파공에 표류물의 충돌이 예상되는 장소에서는 필요에 따라 마루폭을 넓게 하는 것도 좋다. 반파공의 구조 예는 해설 그림 (4.1-12)(a)와 같다.

해설 그림 (4.1-12)(a)의 형태는 전면 피복공과 반파공을 연속적으로 시공해 그 일체성을 도모한 경우이며, 해설 그림 (4.1-12)(b)의 타입은 파력에 저항하는 요소로서

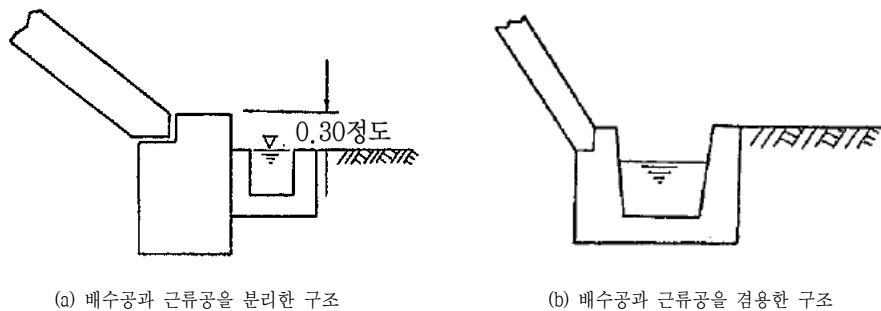
반파공의 자중, 지반 반력 등을 기대하는 경우인데, 시공 이음이 반파공의 하부에 생기게 되면 파력이 작용하면 반파공이 위로 회전하는 형태가 되어 이 시공 이음부가 취약점이 될 가능성이 있으므로 시공에는 충분히 주의해야 한다.



해설 그림 (4.1-12) 반파공의 구조 예

(9) 근류공(根留工)

- ① 근류공은 배후 사면 피복공의 기초공이라고도 할 수 있으므로 충분한 크기와 근입을 필요로 한다. 제방 안쪽의 제체선단에 유수지나 배수로가 있는 경우의 근류공의 높이는 근류공의 정상부가 침수되지 않도록 평상시 수위보다 적어도 0.3m 정도 높게 하는 경우가 많다.
- ② 제체 내의 잔류 수위가 높아 이를 배수할 필요가 있는 경우에는 근류공 역시 배수 기능이 있는 구조로 할 필요가 생긴다. 이 경우 원칙적으로 돌쌓기방식인 경우에는 메쌓기로 하며 콘크리트나 그 외에 경우에는 배수구멍을 설치하고, 제체 토사의 흡출 방지를 위해 필터를 설치할 필요가 있다.



해설 그림 (4.1-13) 근류공과 배수공(단위 : m)

(10) 배수공(排水工)

① 일반사항

배수공(배수로)의 통수 단면은 보통  $0.3\text{m}^2$  정도인 경우가 많은데 일반적으로 호안은 월파를 허용하고 있으므로 다량의 월파가 예상되는 경우에는 월파유량을 추정해 마루부와 함께 근류공 위치에서도 이를 흘려보내는데 필요한 단면을 확보할 필요가 있다.

## ② 배수공의 구조와 기타

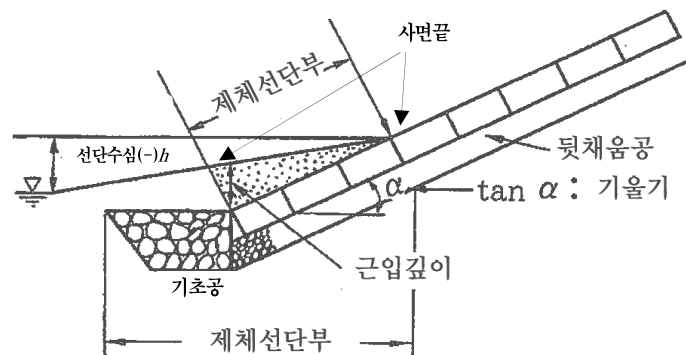
마루의 배수를 위한 간단한 방법으로서 반파공에 구멍을 뚫어 바다측으로 배수하는 방법이 있는데, 이는 반대로 이 배수구멍을 통해 해수의 침입을 초래할 우려가 있으므로 배후지 침수 우려가 있는 경우에는 바람직하지 못한 방법이라 하겠다.

또한 배수공을 마루 옆이나 배면의 중간에 설치하는 것은 월파한 물의 낙하지점에 해당해 구조의 약점으로 작용하며 동시에 월파한 해수의 배수에도 도움이 안 되고 해수가 사면 아래로 넘쳐흘러 호안의 배후 사면 끝단 법고(法尻) 부위에 고임으로서 제체에 해로운 결과가 초래될 수 있어 배수처리가 필요하다.

배수공은 근류공과 분리해 설치하는 것이 좋은데, 구조상 취약점이 될 우려가 없는 경우에는 해설 그림 (4.1-13)(b)와 같이 배수공과 근류공을 겸하는 방식도 있다.

## (11) 완경사 호안

- ① 경사는 1:3보다 완만하게 하며 경사면의 저면 선단부에서는 선단부의 블록이 파를 반사해 세굴을 조장하지 않도록 해설 그림 (4.1-14)와 같이 블록의 앞, 아랫부분을 동일 경사로 지중에 근입시켜 시공하는 것이 바람직하다.



해설 그림 (4.1-14) 완경사 호안의 근입

또한 블록의 근입깊이는 다음의 여러 가지 제체선단부 지형변화도 예측하여 제체의 안전성이 확보되도록 할 필요가 있다.

지형변화㉑ : 연안 표사의 불균형에 의해 생긴 해안침식에 따른 해빈 변형

지형변화㉒ : 고파랑 시 호안이 없을 경우에도 표사가 바다 쪽으로 이동하는 현상에 의한 해빈 변화

지형변화㉓ : 고파랑으로 인해 제체 저면 선단부에서 발생하는 국부 세굴

안전성의 확보를 위해서는 이러한 해빈 변화나 국부 세굴에 의한 지형변화량을 예측해 이에 대응할 수 있는 근입깊이를 확보하는 것이 좋다.

시공성, 경제성에서 볼 때 육상시공의 적용이 가능한 경우 근입깊이는 다음 식을 만족하도록 한다.

근입깊이 > 지형변화㉑에 의한 장기적인 지반 변화량 + 지형변화㉒와 ㉓를 합친 최대 세굴 깊이

연안 표사의 균형이 깨져 침식이 일어나는 해안에서는 해안침식에 따른 제체선단부의 지형변화량을 고려해야 한다. 지형변화량의 향후 예측은 수심측량 성과 등의 해석에서 얻어진 장기적인 경향을 바탕으로 검토한다. 또한 연안표사가 유입해 오는 쪽(上手側)에 표사를 저지하는 구조물이 시설됨으로써 연안 표사량이 현저히 감소하는 경우에는 해안선 변화 모델 등을 이용한 지형변화 예측계산도 필요하다.

고파랑 시의 해빈 변화와 국부 세굴에 대해서는 혼동하지 않도록 주의하면서 각각 개별적으로 검토할 필요가 있다. 현 상태에서는 이들에 대한 실용적인 연구 성과는 적어 정밀도 높은 정량적인 평가는 아주 어렵다.

이와 같은 세굴량은 현지 해안에서의 고파랑에 의한 지형변화의 예측 결과나 수리모형실험 등을 바탕으로 추정되어 적용되고 있다.

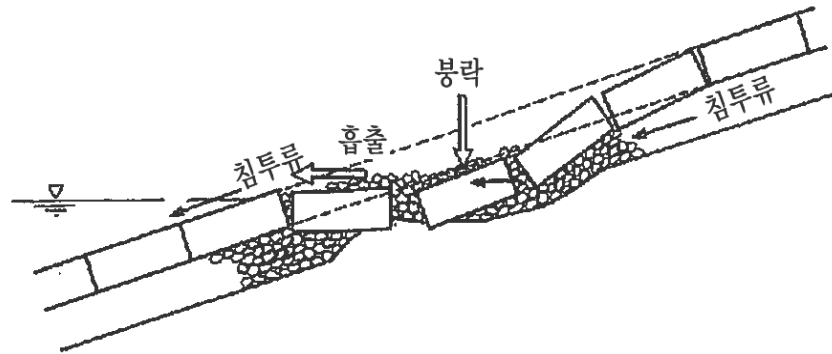
한편 이들 방법을 통해 구해진 필요 근입깊이가 너무 커서 시공이 곤란한 경우에는 1m 이상의 근입깊이를 확보해 근고공에 의한 세굴 방지를 하는 경우가 많다. 또한 수중 시공을 해야 하는 경우에는 근입을 통해 세굴에 대처하지 않고 제체 기저 선단에 붙여 기초공을 설치한다. 이 기초공은 주로 고파랑 시 제체선단부의 지형 변화에 대응하기 위한 것으로서 지형변화의 영향이 제체에 미치지 않을 정도의 규모로 할 필요가 있다.

## ② 환경사 호안의 뒤채움공

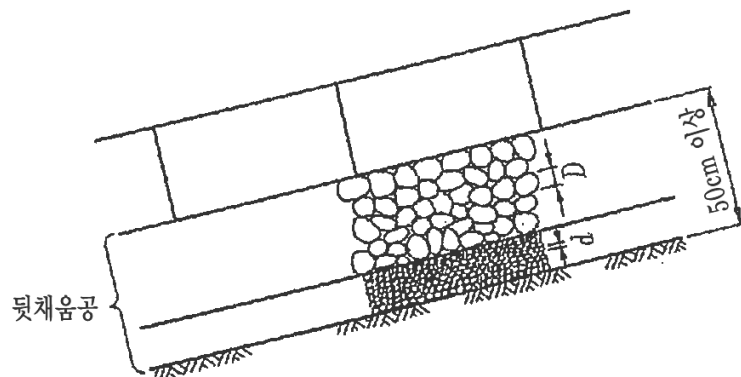
전면 경사면에 설치하는 뒤채움공은 0.5m 이상의 두께로 충분히 안전하도록 시공하는 경우가 많은데, 현지 지반에 잡석, 사석층을 부설하여 뒤채움공을 갖춤으로써 지내력(地耐力)을 강화해 전면 경사면에서 침투수나 제체에서의 침출수에 대한 필터로서의 기능을 확보하기 위해 뒤채움이 이용된다. 또한 침투효과로 인해 환원수가 약해지므로 세굴의 절감도 기대할 수 있다. 뒤채움 형식은 사용재료에 따라, 잡석, 사석 등에 의한 경우와 돌망태 등을 이용한 경우로 나뉜다.

일반적으로 자주 이용되는 뒤채움 재료는 잡석이나 사석 또는 돌망태로서 흡출 방지재를 병용하는 경우도 있다. 환경사 호안인 경우의 경사면의 길이는 일반적인 경사호안보다 길어지므로 제체선단 이 수중에 놓이는 경우에는 뒤채움이 두꺼워도 해안선 부근에서의 흡출이 일어나기 때문이다[해설 그림(4.1-15) 참조]. 이를 방지하기 위해서는 층 두께를 두껍게 하며 동시에 위에서 아래로 입경을 서서히 작게 해 공극을 최소화하고 맞물림을 좋게 할 필요가 있다.

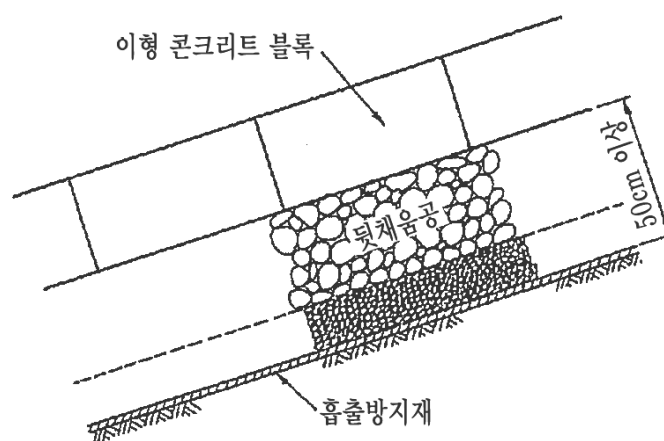
뒤채움공의 두께는 최소 0.5m 이상으로 하는 경우가 많고, 뒤채움 재료의 입경은 아래층과 위층의 입경 비를  $d/D > 0.15$  정도로 하는 것이 좋다[해설 그림 (4.1-16) 참조]. 또한 제체 내부 재료가 자갈이어서 흡출의 우려가 없는 경우를 제외하고는 흡출 방지재를 이용하여 뒤채움공 저면에 설치할 필요가 있는데[해설 그림 (4.1-17)], 흡출방지재를 적용하였다고 해서 흡출방지 쇄석 등을 생략해서는 안 된다는 점에 주의할 필요가 있다.



해설 그림 (4.1-15) 해안선 부근에서의 흡출



해설 그림 (4.1-16) 뒤채움공의 아래층과 위층의 입경 비



해설 그림 (4.1-17) 흡출방지재의 시공 예

완경사 호안의 피해는 제체 성토 토사 및 원지반 토사의 유출로 인한 경우가 많은데, 뒤편 내부에서 성토 및 원지반 경사면을 따라 흘러내리는 물에 의해 토사가 유출되는 것이 원인일 수 있으므로 뒤편 재료 및 두께에 대해 성토와 원지반 토사의 재질을 충분히 고려할 필요가 있다.

깎돌이 성토면 위에 직접 부설되는 경우 경사면에 충분한 유속이 발생하여 모래를 유출시키는 것이 모형실험을 통해 확인되고 있으므로 이 경계면에는 입경이 작은 자갈층을 부설해 성토 표면을 씻어 내리는 물을 절감시키는 노력이 필요하다.

또한 이와 같은 제체 성토부, 원지반의 토사 유출로 인한 피해에 대해서는 흡출 방지재가 현장에서 완전한 봉합이 이루어지지 않아 그다지 큰 효과를 기대할 수가 없고, 더욱이 흡출 방지재를 적용하였음에도 잡석이 흡출된 사실도 확인되고 있으므로 경사면을 피복하는 블록의 선택에 특히 주의하거나 돌망태를 사용하는 등의 시공 노력도 필요하다.

한편 흡출에 의한 경사면 피복 블록의 함몰이나 블록의 흠어짐 등이 일어난 경우 뒤편에는 가능한 돌망태를 이용하는 것이 바람직하다.

전면 경사부 선단 세굴에 대해서는 기초사석공이 침하량 절감에 도움이 된다는 보고도 있으나 선단 세굴은 고파랑 시 해빈의 단면변화나 침식이 원인이라고 생각되므로 별도로 해안의 침식대책이 필요하다.

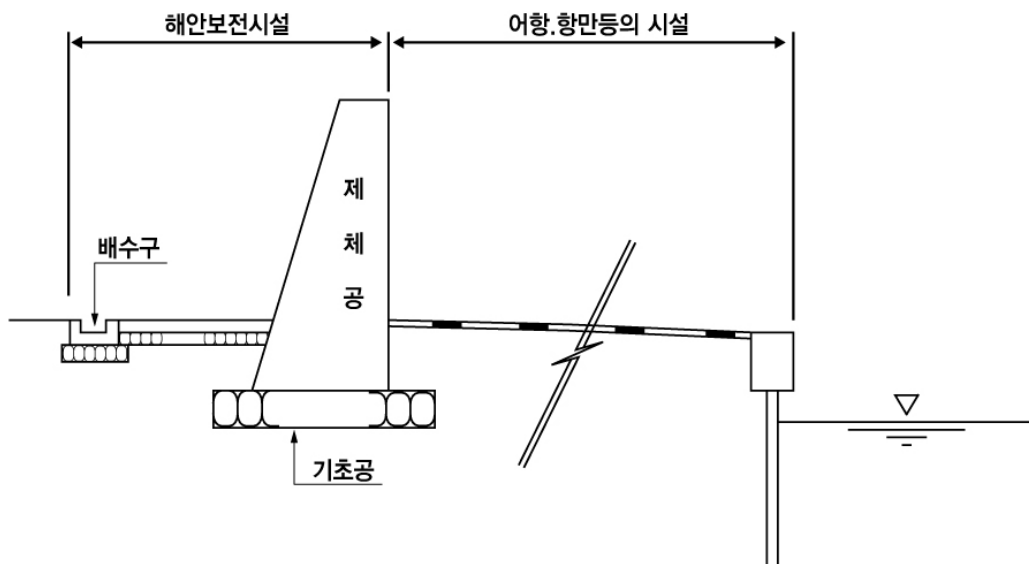
## 4.2 파라핏

### 4.2.1 설계의 기본방침

파라핏의 설계는 자연조건, 배후지의 중요도, 인접한 해안보전시설, 토지의 이용 상황 등을 고려하여 형식, 기준선, 마루높이 등을 결정하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 파라핏은 해안선에 어항, 항만 등의 시설이 있고, 그 이용면으로부터 해안선 부근에 제방, 호안 등을 설치하는 것이 곤란한 경우에 고조파랑 및 지진해일에 의한 배후의 해수 침입방지를 목적으로 설치하는 해안보전시설을 말한다.
- (2) 파라핏의 설계는 조위, 파랑, 토질 등의 자연조건, 배후지의 자산, 인구밀도, 인접한 해안보전시설과의 계획마루높이 또는 공법의 적합성, 배후지와 나란한 전면어항, 항만 등의 이용 상황 및 장래이용계획을 충분히 고려하여 설계를 할 필요가 있다.  
특히 파라핏은 도시와 어항, 항만시설의 배후에 설치되는 경우 용지취득의 어려움에 따라 기준선 마루높이 및 형식이 좌우되는 경우가 있다. 파라핏을 개념적으로 도시하면 아래 그림과 같다.



해설 그림 (4.2-1) 파라핏 개념도

#### 4.2.2 설계조건

파라핏의 설계조건은 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 조위
- (2) 파랑
- (3) 토질
- (4) 지진력
- (5) 배후지의 중요도
- (6) 시공조건
- (7) 기타

#### [참 고]

- (1) 조위, 파랑, 토질, 지진력, 배후지의 중요도, 시공조건에 있어서는 이 기준의 4.1 호안에 따른다.
- (2) 파라핏의 주변은 어민들이 모여 사는 경우가 많으므로 설치시는 배후의 일상생활의 영향 및 전면의 어항, 항만 등의 이용을 고려할 필요가 있다.

#### 4.2.3 형식의 선정

(1) 파라핏의 형식선정은 다음 사항을 고려하여야 한다.

- ① 자연조건
- ② 기초지반조건
- ③ 용지취득의 어려움
- ④ 토지이용상황
- ⑤ 시공조건
- ⑥ 기타

(2) 형식의 선정에는 자연조건, 시설의 중요도, 주변 이용 상황, 시공설비, 공사비 및 용지취득의 곤란 등을 종합적으로 검토하여 안전하고 경제적인 형식을 선정하여야 한다.

#### [참 고]

파라핏의 형식은 제체공의 형식에 따라 블록식과 L형으로 나누며 더불어 양자를 외력에 대한 지지력 방식에 따라 중력식과 말뚝식, 널말뚝식으로 나누고 참고 표 (4.2-1)와 같이 4종류로 분류한다.



참고 표 (4.2-1) 파라펫의 형식

제체형식에 의한 분류	지지형식에 의한 분류
블록(Block)식	중력식
	말뚝식, 널말뚝식
L 형식	중력식
	말뚝식, 널말뚝식

각 형식의 일반적인 적합조건은 다음과 같다.

- ① 중력식 블록형
  - 가. 부지확보가 용이한 경우
  - 나. 기초지반이 단단한 경우
- ② 말뚝식, 널말뚝식 블록형
  - 가. 부지확보가 비교적 용이한 경우
  - 나. 기초지반이 연약한 경우
- ③ 중력식 L형
  - 가. 부지확보가 쉽지 않은 경우
  - 나. 기초지반이 비교적 연약한 경우
- ④ 말뚝식, 널말뚝식 L형
  - 가. 부지확보가 쉽지 않은 경우
  - 나. 기초지반이 연약한 경우

#### 4.2.4 마루높이

이 기준의 4.1 호안에 따른다.

##### [해설]

- (1) 파라펫의 마루높이는 이 기준의 4.1 호안 마루높이에 준하나 내습파에 대한 필요높이로서 파라펫 전면의 파고로 하는 것이 좋으며 단, 내습파가 육상부를 진행하는 것을 고려하여 파고를 감쇠하는 것으로 한다.
- (2) 주변의 이용 상황, 특히 조망, 일조, 통풍 등에 있어서도 배려할 필요가 있다.

#### 4.2.5 파라핏의 안정

이 기준의 4.1 호안에 따른다.

##### [참 고]

제방의 제체의 안정에 준하나 도시기능, 어항, 항만기능 등의 조밀한 육상부에 설치되는 경우 지진시의 안정에 관해서도 고려하는 것으로 한다.

#### 4.2.6 구조세목

- (1) 제체는 철근콘크리트 구조로 하여야 한다.
- (2) 제체공은 고조, 지진해일 등의 침입을 방지하는 파라핏의 주체로서 파력, 지진력 등의 외력에 대해 활동 및 전도에 대하여 안정한 구조를 갖고 각 부에 있어서도 파력, 수압에 대한 강도를 갖도록 하여야 한다.

##### [참 고]

호안과의 연결부 및 기준선이 오목부인 위치는 파의 집중에 의한 약점이 되므로 시공 시 주의를 요한다.

##### [참고문헌]

- 1) 국토해양부(2009), 항만시설물의 안전시설 설계지침
- 2) 국토해양부(2012), 항만 및 어항공사 표준시방서
- 3) 해양수산부(2016), 연안시설 설계기준·해설
- 4) 해양수산부(1999), 항만용어사전
- 5) 해양수산부(2014), 항만 및 어항 설계기준
- 6) 해양수산부(2016), 항만법
- 7) 일본항만협회(2007), 港灣施設の技術上の基準・同解説
- 8) 일본해안보전시설기술연구회편(2004), 海岸保全施設の技術上の基準・同解説

집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전문
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	사무
	재료, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전문
	계류시설	이육한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전문
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케이엔이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총 괄	주 재 욱	(주)평화엔지니어링	고 문
	과랑및과력	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	조 석	강 석 구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이 윤 한	(주)도화엔지니어링	부 회 장
	지 반	임 중 철	부 산 대 학 교	교 수
	콘 크 리 트	김 우	전 남 대 학 교	교 수
	방식·도장	라 윤 강	(주)한국국토안전연구원	원 장
	외 괄 시 설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	김 효 섭	국 민 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	재료·계류시설	이 진 용	(주)세광종합기술단	사 장
	재료·계류시설	정 대 연	(주)대영엔지니어링	대 표 이 사
	부 두 포 장	정 진 훈	인 하 대 학 교	교 수
	내 진	박 두 희	한 양 대 학 교	교 수
	전문맞기타부두	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	어 항	이 상 기	(주)건 일	부 사 장
	마 리 나	지 삼 업	부 경 대 학 교	교 수
	항로표지시설	이 승 재	대 기 해 양 (주)	상 임 고 문
	항만하역시설	함 성 진	(사)인천항시설관리센터	소 장
	항만전기설비	김 세 동	두 원 공 과 대 학 교	교 수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 45 40 : 2017

## 호안

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>

KDS 64 45 50 : 2017

# 갑문시설

2017년 8월



### 건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.



# 건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서)간 중복·상충을 비교, 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 항만 및 어항 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만설계기준 제정</li> <li>• 설계조건, 구역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록</li> </ul>	제정 (1971.12)
항만설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정</li> </ul>	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정</li> </ul>	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항 시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정</li> </ul>	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중 계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정</li> </ul>	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정</li> </ul>	개정 (2014.04)

제 정 : 2017년 8월 16일	개 정 :       년       월       일
심 의 : 기술자문위원회	자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과	
관련단체 (작성기관) : 한국항만협회	

# 목차

## contents

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 .....	1
1.3 참고기준 .....	1
1.4 용어의 정의 .....	1
1.5 기호의 정의 .....	1
1.6 시설물의 구성 .....	2
2. 조사 및 계획 .....	2
2.1 설치위치의 선정 .....	2
3. 재료 .....	3
4. 설계 .....	3
4.1 갑문시설의 규모 및 형상 .....	3
4.2 구조형식의 선정 .....	5
4.3 갑문시설에 작용하는 외력 및 하중 .....	5
4.4 취배수 장치 .....	5
4.5 유도제 .....	6
4.6 관리시설 .....	6



## KDS 64 45 50 갑문시설

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 기준은 갑문시설을 계획하고 설계할 때에 필요한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위

이 기준은 수위가 다른 2개의 수면사이를 선박이 통행하기 위한 시설로서 항만수역에 설치하는 갑문시설에 대한 표준적인 설계기준을 제시한다.

#### 1.3 참고기준

내용 없음

#### 1.4 용어의 정의

- 갑거(閘渠, Lock) : 조석 고저차이가 심한 항만에서 갑문시설 내향측의 수심을 일정하게 유지하고 선박이 입출항 할 수 있도록 수위를 조절하는 갑문과 갑실, 구동장치 등의 시설물을 통틀어 말한다.
- 갑문(閘門, Lock gate) : 갑실의 수위를 유지하기 위하여 갑거에 설치한 수문을 말하며 문비라고도 한다.
- 갑문실(閘門室, Gate recess chamber) : 갑문을 열었을 때 갑문이 위치하는 공간을 말하며 문비실이라고도 한다.
- 갑벽(閘壁, Lock wall) : 갑실 좌·우 양측에 축조된 벽체를 말한다.
- 갑실(閘室, Lock chamber) : 갑벽과 내·외향측 양단의 갑문으로 둘러싸인 수면을 말한다.

#### 1.5 기호의 정의

내용 없음

## 1.6 시설물의 구성

- (1) 갑문
- (2) 갑실
- (3) 취배수 장치
- (4) 유도제
- (5) 관리시설

## 2. 조사 및 계획

### 2.1 설치위치의 선정

갑문시설의 설치위치는 자연상황, 통항선박의 주요치수 및 척수에 따라서 선박의 출입에 안전하고 원활하게 조선할 수 있도록 선정하여야 한다.

#### [해설]

- (1) 갑문시설은 설치위치의 적정성에 따라 그 주변의 항만기능, 예를 들어 정박지의 면적, 접안시설의 확장 예정지 등에 제한을 주거나 다른 항행선박에 위험을 끼치거나 한다. 또, 설치위치의 자연조건은 공사비에도 크게 영향을 미친다. 따라서 갑문시설의 위치 선정은 충분히 신중할 필요가 있다.
- (2) 연약지반 상에 갑문시설을 설치하는 것은 가급적 피하는 것이 바람직하나 부득이 설치할 경우에는 부등침하에 대하여 충분한 대책을 강구해야 한다. 또, 지반침하가 있는 장소에서는 갑문시설의 침하 때문에 그 기능이 저하하는 일이 있으므로 침식대책을 고려하여 설계할 필요가 있다.
- (3) 바람, 파랑, 조류, 표사 등에 의하여 선박의 출입이 곤란해지는 일이 있으므로 갑문시설의 설치위치로는 정온한 장소를 택하는 것이 바람직하다. 정온하지 않은 경우에는 방파제를 축조하거나 또는 도류제(導流堤)나 유도제(誘導堤)를 길게 연장하여 갑문시설 부근의 수역을 정온하게 하여야 한다.
- (4) 통항대상선박의 크기, 척수 등도 설치위치의 선정조건이 된다. 즉 대피선박용의 정박지 및 회선용 수면이 충분한 위치를 선정하여야 한다.
- (5) 기타 배후지의 이용 상황이나 육상교통 조건 등을 충분히 고려하여 설치위치를 결정하여야 한다.
- (6) 시설의 노후화, 기능저하에 따라 장래 개량공사가 필요해질 때 시공이 충분히 가능한 설치위치를 선정하는 것이 바람직하다.

### 3. 재료

내용 없음

### 4. 설계

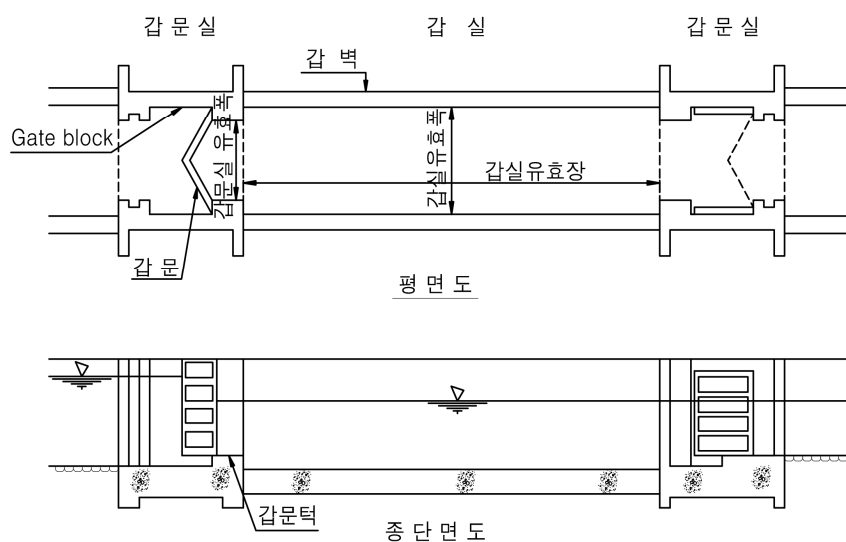
#### 4.1 갑문시설의 규모 및 형상

- (1) 갑문시설은 설치위치의 자연 상황, 통항선박의 주요치수 및 척수에 따라서 선박의 출입 시에 안전하고 원활하게 조선할 수 있는 형상으로 계획하여야 한다.
- (2) 갑실의 규모는 다음의 표준치수의 산정식에 따라서 설정하여야 한다. 이 경우에 다음 각 호에 나타낸 여유수심, 여유 폭 및 여유 장은 통항선박의 동요를 감안한 수치로 한다.

- ① 유효수심 = 통항선박의 흘수 + 여유수심
- ② 유효 폭 = 통항선박의 폭 + 여유 폭
- ③ 유효 장 = 통항선박의 길이 × 1대열(隊列)의 척수 + 여유 장

#### [참 고]

- (1) 갑문시설 각부의 명칭은 참고 그림 (4.1-1)에 나타난 바와 같다.



참고 그림 (4.1-1) 갑문시설 각부의 명칭

## 갑문시설

(2) 갑문시설은 그 각부의 배치의 조합에 따라 다음과 같이 분류된다.

① 단비실(單扉室) 갑문

해안 또는 하구항에 있는 갑문시설로서 내측 수면적이 좁고 내부가 항만이 되어있는 경우에 쓰인다. 갑문실이 하나이므로 내측과 외측의 수위차가 있을 때는 이용할 수 없고 선박의 출입은 제한을 받는다.

② 복비실(複扉室) 갑문

보통의 하천운하 등에 쓰인다. 갑문실(閘門室)이 2개이고 각 갑문실에 한 방향으로만 열리는 문짝을 갖고 있다.

③ 복식(複式) 갑문

수위의 고저가 한 방향으로 제한되어 있지 않고 역방향으로도 되는 경우에는 2개의 갑문실은 물론 각 갑문실에 2조의 문짝이 필요하다. 단, 갑문형식에 따라서는 1조의 문짝을 양방향에 겸용할 수 있는 것도 있다.

④ 계단식 갑문

수위차가 커지면 2개 이상의 갑문을 종(從)으로 배열하여 설치한다.

(3) 갑문시설 각부의 제원을 결정하는 경우에는 조위, 통행대상선박의 크기, 배후의 이용 상황 및 갑문시설 공사비 등을 고려하여 신중히 결정해야 한다.

(4) 갑실의 폭의 여유가 적은 경우에는 선박을 유도하기 위한 견인장치나 제동장치가 필요하다.

(5) 일반적으로 갑문시설의 여유는 선박의 크기에 따라 서로 다르나 후쿠다(福田)는 소형 선박용 갑문시설에 대하여 다음 값을 제안하고 있다.

① 유효수심에 대한 여유 0.2~1.0 m

② 유효 폭에 대한 여유 0.2~1.2 m

③ 유효 장에 대한 여유 3~10 m

(6) 인천항 갑문시설의 각부제원의 예를 참고 표 (4.1-1)에 나타낸다.

참고 표 (4.1-1) 갑문시설의 제원

구 분	갑 거		구 분	갑 거	
	50,000t	10,000t		50,000t	10,000t
통과최대선박	50,000	10,000	갑문수	4조	4조
갑거총연장	G/T	0G/T	갑문길이	38m	24.5m
갑거유효길이	436.4m	326.2m	갑문 폭	8.3m	6.4m
내 측	280m	183m	갑문높이	18.5m	18.5m
외 측	375.2m	260.2m	무게(갑문당)	1,250톤	680톤
갑거유효 폭	36m	22.5m	갑문개폐	5분	4분
갑실높이	19m	19m	개요시간		
			갑실취수시간	15분 20초	

## 4.2 구조형식의 선정

### 4.2.1 갑문

갑문의 규모, 개폐에 요하는 시간, 수위차, 파랑 등의 외력에 대하여 안전한 구조임과 동시에 다음에 열거한 요건을 만족시키는 구조가 되도록 하여야 한다.

- (1) 문짝, 문지방, 고정부는 평상시 및 지진시의 하중에 대하여 안전하고 또, 이들 하중이 확실히 기초구조에 지지되어야 한다.
- (2) 수밀성을 가져야 한다.
- (3) 갑문의 개폐가 확실하고 원활히 조작할 수 있어야 한다.
- (4) 기계부분 기타의 가동부분의 점검이 용이하여야 한다.

#### [참 고]

갑문은 부재의 마모(磨耗), 방식을 고려한다.

### 4.2.2 갑실

갑실은 지반의 특성, 갑실내외의 수위차, 통항선박의 제원 및 척수, 주수량, 배수량 등을 고려하여 구조를 결정하여야 한다.

## 4.3 갑문시설에 작용하는 외력 및 하중

갑문실 및 갑실은 구조의 특성에 따라서 지반반력, 갑벽 및 상판의 자중, 문짝의 중량, 선박의 충격력 등에 대하여 안전한 구조가 되도록 하여야 한다.

#### [참 고]

갑문실 및 갑실의 설계 시는 필요에 따라 조작실, 기계실 등의 부대설비의 자중을 고려하여야 한다.

## 4.4 취배수 장치

갑실의 수위를 조정하는 취배수 장치는 갑실내의 선박에 유해한 동요를 최소화하고 신속히 취수 및 배수를 하도록 하여야 한다.

## 4.5 유도제

갑문시설 전후의 수역을 정온하게 하고 선박이 안전하게 출입할 수 있도록 갑문 전후에 유도제를 설치하고 필요한 설비를 갖추어야 한다.

### [해설]

유도제에는 야간의 선박출입을 고려하여 조명시설을 할 필요가 있다. 또 선박의 충격력을 흡수하기 위하여 방충재를 설치한다.

## 4.6 관리시설

갑문시설에는 필요에 따라 다음과 같은 설비를 설치하여야 한다.

- (1) 비상용설비
- (2) 조명설비
- (3) 전력관계 설비
- (4) 감시·계측설비
- (5) 유지관리설비

### [참고문헌]

- 1) 국토해양부(2009), 항만시설물의 안전시설 설계지침
- 2) 국토해양부(2012), 항만 및 어항공사 표준시방서
- 3) 해양수산부(1999), 항만용어사전
- 4) 해양수산부(2014), 항만 및 어항 설계기준·해설
- 5) 해양수산부(2017), 항만법
- 6) 일본항만협회(2007), 港灣施設の技術上の基準・同解説



집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	류혁근	(주)삼영기술	부회장
	총괄	안익성	(주)항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	(주)지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	(주)도화엔지니어링	전문무
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	(주)알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	(주)한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	(주)세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	(주)대영엔지니어링	사무
	재료, 콘크리트부재	김광태	(주)항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	(주)건화	전문무
	계류시설	이욱한	(주)건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	(주)한국항만기술단	전문무
	어항	강석형	(주)세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	(주)오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	(주)아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션(주)	부사장
	항만전기설비	김홍인	(주)한양케이엔이	대표이사

심 의 위 원	분 야	성 명	소 속	직 급
	총 관	주 재 욱	(주)평화엔지니어링	고 문
	과랑및과력	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	조 석	강 석 구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설· 준설및매립	이 윤 한	(주)도화엔지니어링	부 회 장
	지 반	임 중 철	부 산 대 학 교	교 수
	콘 크 리 트	김 우	전 남 대 학 교	교 수
	방식·도장	라 윤 강	(주)한국국토안전연구원	원 장
	외 괵 시 설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	김 효 섭	국 민 대 학 교	교 수
	표사, 연안보전시설	전 인 식	건 국 대 학 교	교 수
	재료·계류시설	이 진 용	(주)세광종합기술단	사 장
	재료·계류시설	정 대 연	(주)대영엔지니어링	대 표 이 사
	부 두 포 장	정 진 훈	인 하 대 학 교	교 수
	내 진	박 두 희	한 양 대 학 교	교 수
	전문맞기타부두	오 세 범	(주)세광종합기술단	부 회 장
	어 항	이 상 기	(주)건 일	부 사 장
	마 리 나	지 삼 업	부 경 대 학 교	교 수
	항로표지시설	이 승 재	대 기 해 양 (주)	상 임 고 문
	항만하역시설	함 성 진	(사)인천항시설관리센터	소 장
	항만전기설비	김 세 동	두 원 공 과 대 학 교	교 수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
	총론	송인철	(주)해인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	(주)해인이엔씨	기술고문
	수역시설· 준설및매립	한명식	(주)유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	코크리트· 부두포장	김제인	(주)건일	부사장
	외곽시설	홍근	(주)삼영기술	사장
	표사·연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	(주)대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	(주)세일종합기술공사	부사장
	전문맞기타부두	김태유	(주)아산이엔지	부사장
	전문맞기타부두	김홍석	(주)수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	(주)고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	(주)세종기술단	전무

해양수산부	성명	소속	직책
	박준권	항만국	국장
	김우철	항만기술안전과	과장
	장기문	항만기술안전과	사무관
	이광석	항만기술안전과	주무관

설계기준  
KDS 64 45 50 : 2017

## 갑문시설

---

2017년 8월 16일 발행

(관련단체)

한국항만협회

07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)

월드메르디앙 비즈센터 707호

☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr

<http://www.koreaports.or.kr>

(자문검토)

국가건설기준센터

해양수산부

30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)

정부세종청사 5동 항만기술안전과

☎ 044-200-5951

<http://www.mof.go.kr>