

---

# **「대규모 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능선박 설계」 기획보고서**

---

**2023. 4.**

# 목 차

<b>I. 사업 개요</b>	<b>1</b>
1. 사업의 정의 및 범위	1
2. 대내외 환경 및 당면과제	6
3. 기술개발 동향	14
4. 법/제도 현황	45
<b>II. 신규사업 추진필요성</b>	<b>47</b>
1. 정부 지원 당위성	47
2. 정부 지원 시급성	50
3. 상위계획과의 부합성	53
<b>III. 비전 및 추진계획</b>	<b>55</b>
1. 사업 비전 및 목표	55
2. 사업 구성 및 내용	56
3. 사업 추진전략	58
4. 사업 추진체계	60
5. 사업 추진 로드맵	62
<b>IV. 성과 활용 및 기대효과</b>	<b>63</b>
1. 사업 성과 활용방안	63
2. 사업 추진 기대효과	64
3. 소요 예산 및 자원 조달 계획	65
<b>붙임 : 참고자료</b>	<b>69</b>
붙임1. 2022년도 신규과제 기술개요서(안)	69
붙임2. 세부기술 구성 및 내용	74
붙임3. 선박이용 CO <sub>2</sub> 수송-주입 체인의 비용 비교	80

## 표 목차

[표 1-1] 국내 기업의 수소 사업 추진에 따른 CCUS 산업계 주요 동향 ...	12
[표 1-2] 특허분석 과제 .....	25
[표 1-3] 검색 DB/범위 및 검색 건수 .....	26
[표 1-4] 최종 검색식 .....	26
[표 1-5] 검색 DB/범위 및 검색 건수 .....	31
[표 1-6] 최종 검색식 .....	31
[표 1-7] 핵심특허 리스트 .....	36
[표 2-1] 주요 상위 계획 .....	54
[표 3-1] 추진 절차 .....	61
[표 5-1] 선박이용 CO <sub>2</sub> 수송-주입 체인별 비용 비교 .....	80

# 그림 목차

[그림 1-1] CCUS 개념도 .....	1
[그림 1-2] 이산화탄소 상태도 및 지중저장 격리 메커니즘 .....	2
[그림 1-3] CCS Value 체인 .....	3
[그림 1-4] 본 기획에서 제안된 선박 활용 고효율 수송 체인 .....	4
[그림 1-5] IEA - 지속가능 개발 시나리오 .....	8
[그림 1-6] CCUS 개념도 .....	8
[그림 1-7] 2050 탄소중립 시나리오 최종안 및 각 수단별 목표 .....	9
[그림 1-8] 2050 탄소중립 시나리오 초안 및 각 수단별 목표 .....	9
[그림 1-9] Transboundary CCS의 개념 .....	10
[그림 1-10] 통상적인 선박이용 CO <sub>2</sub> 수송-주입 체인의 구성 .....	11
[그림 1-11] Northern Light CCS Project .....	14
[그림 1-12] 북해에 위치한 Sleipner field .....	15
[그림 1-13] 영국에서 추진중인 Acorn CCS Project 개념도 .....	15
[그림 1-14] DeepC Store 프로젝트 개념도 .....	16
[그림 1-15] CO <sub>2</sub> pumping and heating in two steps from the conditions in the ship to well head conditions .....	17
[그림 1-16] 선상 CO <sub>2</sub> 주입 개념도 1 .....	18
[그림 1-17] 선상 CO <sub>2</sub> 주입 개념도 2 .....	18
[그림 1-18] CO <sub>2</sub> 선상 주입 시스템의 P&ID .....	19
[그림 1-19] 미쯔비시와 K-Line의 소용량 포집 설비 .....	20
[그림 1-20] 선상 실증에 활용된 Langh Ship .....	20
[그림 1-21] CO <sub>2</sub> 중간 저장위치에 따른 선상 직접 주입 방식 .....	21
[그림 1-22] CCS 복합기능선박 개념도 .....	22
[그림 1-23] 년도별 논문 발표 동향 ('05~'21) .....	23
[그림 1-24] 국가별 년도별 논문 발표 동향 ('10~'21) .....	23
[그림 1-25] 국가별 년도별 논문 발표 동향 ('08~'21) .....	24
[그림 1-26] CO <sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술 관련 연도별 특허 동향 ...	27
[그림 1-27] 대규모 CO <sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술의 국가별 특허 동향 ...	28
[그림 1-28] 대규모 CO <sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술 관련 ...	29
[그림 1-29] 해상 이산화탄소 선적/하역 기술 관련 연도별 특허동향 .....	32
[그림 1-30] 해상 이산화탄소 선적/하역 기술 관련 국가별 특허동향 .....	34
[그림 1-31] 해상 이산화탄소 선적/하역 기술 관련 .....	35
[그림 1-32] 국외 복합기능선박의 사례 .....	38

# 그림 목차

[그림 1-33] HILS가 설치되는 시추 및 저장용 해양플랜트의 종류 .....	39
[그림 1-34] HILS가 설치되는 해양플랜트 지원 선박의 종류 .....	39
[그림 1-35] 고정식 플랫폼 및 부이(buoy) 활용한 CO <sub>2</sub> 주입 .....	40
[그림 1-36] CO <sub>2</sub> 해상 주입 시스템 개념도 .....	41
[그림 2-1] 2050 탄소중립 전략 내 에너지 공급 및 산업의 감축 수단 및 전망 ..	47
[그림 2-2] 2030년 발전 및 산업 부문 온실가스 감축목표 .....	48
[그림 2-3] 세계 CCS 운전/건설/개발 현황 .....	50
[그림 2-4] 세계 이산화탄소 포집·활용·저장 시장의 서비스별 시장 규모 및 전망 ..	51
[그림 2-5] CCUS 상용화 기술 확보 .....	54
[그림 2-6] 주요 상위 계획 .....	54
[그림 3-1] 사업 추진체계 .....	60
[그림 5-1] CO <sub>2</sub> 주입 설비 플랜트 모식도 .....	75
[그림 5-2] FPSO 형태의 CO <sub>2</sub> 수송 및 주입을 위한 플랜트 구축 .....	76
[그림 5-3] IMO 선박배출 CO <sub>2</sub> 감축 목표 .....	77
[그림 5-4] 선박 연료(HFO, LNG)에 따른 배출량 비교 .....	77
[그림 5-5] 선박에서의 탄소포집 1 .....	78
[그림 5-6] 선박에서의 탄소포집 2 .....	78
[그림 5-7] 연소후 포집공정을 적용한 선박에서의 탄소포집 .....	79
[그림 5-8] 선상에서의 탄소 포집공정 배치안 .....	79

# I. 사업 개요

## 1 사업의 정의 및 범위

### □ CCUS의 정의

- CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage)란 발전소, 천연가스 생산, 시멘트 및 석유화학 산업 등의 배출원에서 발생하는 CO<sub>2</sub>를 포집한 후 잠재적 시장가치가 있는 제품으로 전환\*시켜 활용하거나(CCU) 압축(액화)·수송을 통해 육상 또는 해양의 지중에 주입하여 영구 격리하는 기술(CCS)

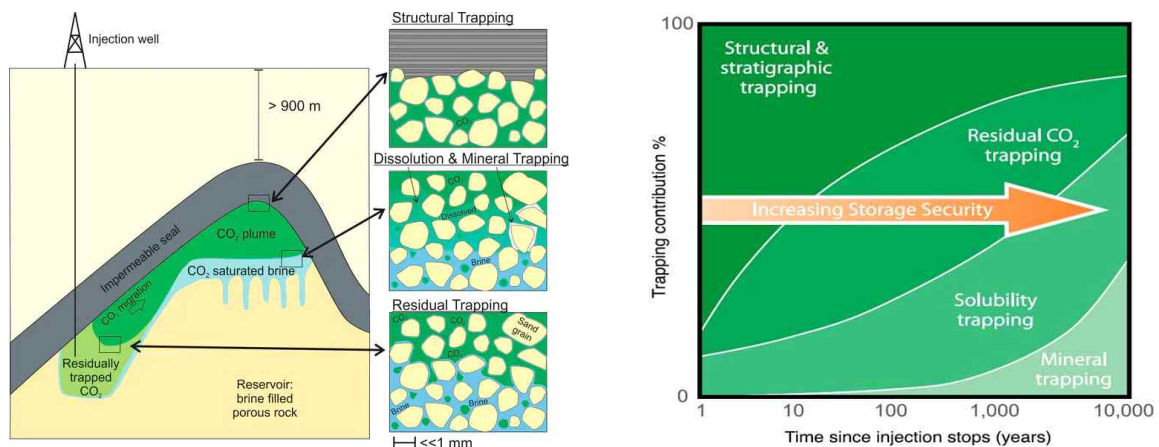
[그림 1-1] CCUS 개념도



- 이산화탄소 포집 기술은 연소 후 포집, 연소 전 포집, 연소 중 포집 기술 등 크게 세 가지로 분류되며 세 기술 공통으로 고순도 이산화탄소로 분리, 저장하여 활용 분야에 응용
  - 포집 기술은 습식 포집, 건식 포집, 분리막 포집 등 세 가지로 대별되며 각각 10MW급 보령화력 습식 포집 플랜트, 10MW급 하동화력 건식 포집 플랜트 및 3MW급의 분리막 포집 기술이 현재 상용화 실증 중

- CCU(Carbon Capture and Utilization) 기술은 화학적 전환, 생물학적 전환, 광물탄산화 등 세 가지로 분류되며, 이중 화학적 전환 기술이 제일 활발히 연구 개발 및 상용화 추진 중이며 광물탄산화 기술 또한 성숙기이나 아직 시장이 형성되지 않거나 매우 작은 실정이며 생물학적 전환 기술은 원천 공정기술 개발에 집중하고 있는 추세
  - \* 화학적 전환 : 열촉매화학, 광화학, 전기화학, 효소화학 등의 기술을 통해 합성가스 대체 화학제품, 고분자 대체 제품, 메탄 등 탄화수소 대체 제품 등을 생산
  - \* 생물학적 전환 : 광합성 효율이 매우 높은 미세조류 등 균주를 이용해 배양, 수확, 건조 등의 공정을 통해 바이오매스 연료화 및 소재화
  - \* 광물탄산화 : 알칼리계 산업부산물을 이용해 직접 탄산화 반응, 간접 탄산화 반응 등을 통해 건설소재, 탄산칼슘이나 중탄산나트륨 등 고순도 탄산염 제조
- CCS(Carbon Capture and Storage) 기술은 포집원에서 포집된 이산화탄소를 지층에 덮개(cap lock) 구조를 가져 가스나 유체의 상승 이동이 불가능한 지질층에 주입해 격리시키는 기술
  - 이산화탄소 저장층은 다공질의 투과성이 좋은 지층이어야 하고 그 상부에는 치밀한 불투수성 덮개층 존재가 저장소로서 필수 조건
  - 일반적으로 800m 깊이 이상의 지층에 CO<sub>2</sub>를 주입하고 CO<sub>2</sub>가 심부 지층의 물과 반응하여 용해되면서 아래로 침강하게 되고 지층에서 오랜 세월이 걸쳐 광물화가 진행되면서 영구히 격리되는 메커니즘
  - 심부 지층 저장 시 보다 많은 양의 이산화탄소를 저장하기 위해서는 극단적으로 CO<sub>2</sub> 부피를 줄일 수 있는 초임계 유체상 상태로 저장하는 것이 필요
  - 즉, 대기중에서 100의 부피를 갖는 CO<sub>2</sub>의 경우 이를 초임계 유체상으로 전환 시키면 그때 부피는 0.27로 감소되므로 많은 부피의 CO<sub>2</sub> 저장이 가능

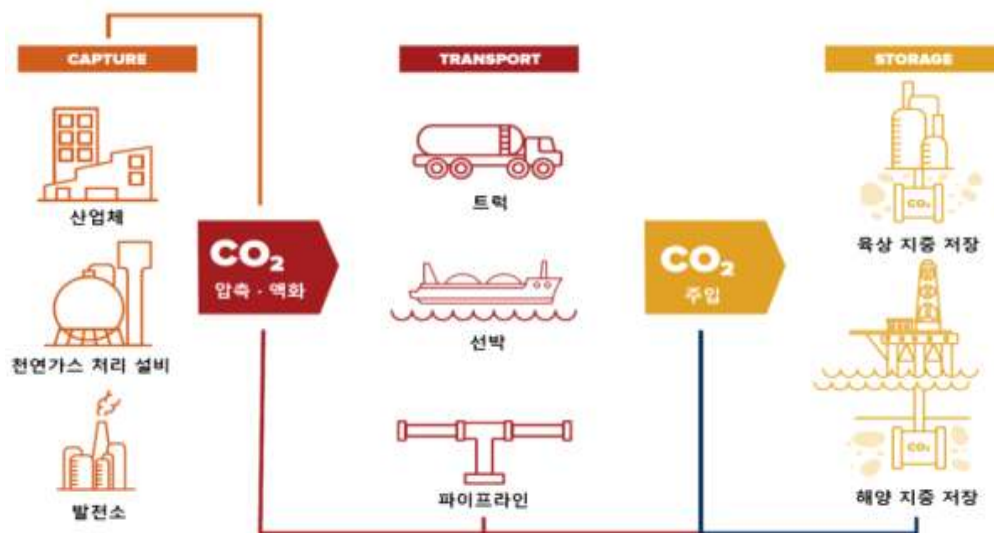
[그림 1-2] 이산화탄소 상태도 및 지층저장 격리 메커니즘



## □ 사업의 범위: 선박 이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 기술

- 본 기획은 다양한 CCS Value Chain중 선박을 활용한 CO<sub>2</sub> 수송, 주입 체인을 대상으로 하고 있음
  - 국내 산업과 발전소 등 각종 배출원에서 포집된 CO<sub>2</sub>를 수송하여 해양 저장소에 주입하는 방법은 매우 다양함
  - 대규모 CO<sub>2</sub> 수송 방법으로는 파이프라인과 선박이 있음
  - 수송거리기준으로 약 700km 이하인 경우 파이프라인 수송이 더 경제적임
  - 해양의 경우, 심해인 경우 파이프라인을 통한 수송은 기술적으로 매우 어려워짐
  - 주입의 경우 선박에서 CO<sub>2</sub>를 직접 주입하거나 해양 임시저장소에 CO<sub>2</sub>를 하역 후 별도의 해양 주입설비를 통해 주입하는 방식 등이 고려될 수 있음
  - 운영 시나리오에 따라 다양한 조합의 주입 방식 활용 가능

[그림 1-3] CCS Value 체인



출처 : Global CCS Institute

- 기존 CCS 프로젝트들은 수송 방법으로 대부분 파이프라인을 채택하고 있으나, 향후의 CCS 프로젝트들은 선박 수송 방법을 차용할 가능성이 높음
  - CO<sub>2</sub> 선박 수송은 파이프라인에 비하여 탄력적인 운영이 가능
  - 향후 CCS 프로젝트가 활성화되면, 다수의 포집원과 저장소를 연계해야 하고, 탄력적인 수송이 가능한 CO<sub>2</sub> 선박 수송에 수요의 증대가 예상됨
  - 또한 국내에서 포집된 CO<sub>2</sub>를 국외로 수출하기 위해서는 선박 수송만이 현실적인 대안임



- 단순 선박 수송이 아닌 선상포집-수송-주입의 기능을 가진 CCS 복합기능선박은 CO<sub>2</sub> 선박 수송의 경제성을 한단계 높힐 수 있음
  - 원거리 선박 수송의 경우, 선박 엔진에서의 CO<sub>2</sub> 배출량이 상당하여, CCS 사업을 통한 CO<sub>2</sub> 감소분을 축소 시킬수 있음
  - CO<sub>2</sub> 선박에 선상 포집 기능을 추가하면 선박 엔진에서의 CO<sub>2</sub> 배출량은 90% 이상 감축 가능
  - 또한 CO<sub>2</sub> 선박에 주입 기능을 탑재하게 되면, 해양플랫폼과 같은 별도의 해상 설비를 대체할 수 있어, CO<sub>2</sub> 주입 비용을 저감 가능
- 심해 및 대용량 임시저장의 경우, 고정식 해양플랫폼 사용이 기술적으로 불가능하여 부유식 CO<sub>2</sub> 임시저장-주입 시스템이 필요
  - 고정식 플랫폼의 경우 수심 약 200m 이내에서만 활용이 가능
  - 또한 고정식 플랫폼의 경우 하중에 제약이 있어, CO<sub>2</sub> 임시저장 능력이 매우 제한적임
  - 심해에 위치한 저장소 내지 대용량 CO<sub>2</sub> 해상 임시 저장이 필요한 경우 반드시 부유식 CO<sub>2</sub> 임시저장-저장 시스템이 필요함
  - 부유식 CO<sub>2</sub> 주입 시설은 임시 저장설비 확보가 용이하여 국내에서 포집된 CO<sub>2</sub>뿐만 아니라, 선상 포집된 CO<sub>2</sub>를 지중에 주입하는 용도로도 변형하여 사용이 가능
  - 국내의 경우 동해, 또는 대규모 Transboundary CCS 프로젝트의 경우, 이와 같은 부유식 CO<sub>2</sub> 임시저장-주입 시스템이 적합하고, 이와 유사한 형태의 시스템은 전 세계적으로 수요가 매우 증대될 것으로 예상됨
  - 원해의 해양 지중 저장소를 활용할 수 있게 되면 Transboundary용 국외 저장소 확보가 용이해질 뿐만 아니라, 터미널 사용 비용도 감축할 수 있음

[그림 1-4] 본 기획에서 제안된 선박 활용 고효율 수송 체인



## 주요 기술 개발 대상

- CO<sub>2</sub> 선상포집-수송-주입 복합기능선박
  - CCS 복합기능선박은 CO<sub>2</sub>를 수송하는 기능에 추가적으로 ①선상 CO<sub>2</sub> 직접 주입 시스템과 ②선박 자체적으로 배출되는 CO<sub>2</sub>를 포집하는 시스템을 추가적으로 장착한 선박을 지칭함
  - 복합기능선박은 해상에서 CO<sub>2</sub>를 직접 주입하게 되므로 고가의 CO<sub>2</sub> 해상 주입 시설 대체할 수 있음
  - 또한 복합기능선박은 연소후 CO<sub>2</sub> 포집 기술을 장착하고 있어 선박 엔진이 배출하는 CO<sub>2</sub>를 최소화 가능하고, 이를 통한 추가적인 CO<sub>2</sub> 저감 효과를 기대할 수 있음
- 부유식 CO<sub>2</sub> 해상 주입 시스템
  - 선박 수송된 CO<sub>2</sub>를 저장소 인근 해상에서 부유식 시스템을 통해 임시저장하고 해양 지중 저장소에 직접 주입하는 시설
  - 다양한 저장소 중 육상에서 거리가 먼 원해 또는 심해 해양 저장소에 적합한 시설
  - 부유식 CO<sub>2</sub> 해상 주입 시스템에 필요한 동력을 부유식 해상 풍력 등 무탄소 에너지원으로 가동시 CO<sub>2</sub> 발생량 추가 저감 가능
  - 본 시스템을 개조하면 해상에서 On-Board CCS 선박에서 포집된 CO<sub>2</sub>를 받아줄 수 있는 FCRT(Floating CO<sub>2</sub> Receiving Terminal) 운영도 가능

## 2 대내외 환경 및 기술적 과제

### ① 시장동향

#### □ 탄소중립 선언

- 2021년 서유럽에서 발생한 기록적인 폭우로 인한 대홍수, 2020년 시베리아 기온 38℃ 기록, 미국 등지에서 발생한 한파와 산불, 동아프리카 메뚜기떼 등 2000년대 들어서 지구 기온 상승으로 인한 이상기후는 전 세계적으로 매우 빈번히 발생하고 있음.
- UN 산하 기후변화에 관한 정부 간 협의체 IPCC(Intergovernmental Panel on Panel)는 인간의 활동으로 인해 2017년 기준 지구의 평균온도가 산업화 이전 (1850 ~ 1900년) 대비 약 1℃ 상승했다고 발표함. 현재 속도로 지구온난화가 지속된다면 2030~50년 사이 지구의 온도 상승폭은 1.5℃를 초과하고 2100년에는 3℃를 넘을 것으로 예측함.
- 1994년 기후변화 기본협약, 1997년 교토의정서를 통해 선진국 중심의 온실가스 감축 국제협상이 본격화되고 국제사회의 기후변화 대응을 위한 노력에도 불구하고 온실가스 배출량은 지속 증가하고 있음. 이에 따라 선진국에만 온실가스 감축 의무를 부과했던 교토의정서와는 달리 모든 당사국이 참여하는 보편적이고 포괄적인 신 기후체제인 파리협정이 2015년 채택되게 되고, 2021년 6월 기준 세계 137개국이 탄소중립을 선언하게 됨.
- 우리나라 또한 2050 탄소중립 전략을 수립하고, 2030년 NDC를 2018년 대비 40% 감축목표로 UN에 제출하고 범국가적 대책을 지속 강구 중임.

#### □ 온실가스 규제 강화

- (탄소가격제) 각국의 탄소중립 선언에 따라 탄소세, 배출권거래제, 탄소국경세와 같은 온실가스 관련 규제가 마련되고 있고 있음. 특히 탄소국경세는 온실가스 배출규제가 상대적으로 약한 국가에서 규제가 강한 국가로 상품·서비스가 수출될 때 적용되는 무역관세로, EU에서는 2026년부터 본격 적용할 예정임. EU의 탄소국경세 도입에 따라 우리나라가 EU에 수출해야 하는 추가금액은 2030년 7,100억원에 달할 것으로 전망됨에 따라 주요 수출업종에 막대한 영향력을 끼칠 것으로 예상

- (산업의 탈탄소화) IPCC는 2050년까지 전 세계 석탄발전을 중단해야 한다고 발표하였고, EU회원국들은 벨기에, 스웨덴, 오스트리아를 시작으로 석탄발전 퇴출에 박차를 가하고 있으며 우리나라 또한 2050년까지 석탄발전 퇴출계획을 가지고 있음
- 수송부문에서는 현재 운행 중인 내연기관 자동차의 연비 규제를 강화하고, 전기차·수소차 등 친환경차로의 전환 및 시장확대를 가속화하는 움직임을 보이고 있으며, 2035년을 기점으로 내연기관 자동차의 종말이 가시화될 것으로 예상하고 있음. 우리나라의 경우에도 현대차가 2040년까지 모든 판매 차종의 전동화를 완료하고 2045년까지 CCUS 등을 도입해 2045년까지 탄소 중립 달성을 목표로 하고 있음
- 해운업계에서도 IMO가 선박의 탄소집약도 CII 등급체계를 마련하여 2050년까지 2008년 대비 탄소집약도를 70% 감축하는 전략을 마련하고 2026년부터 시행 예정

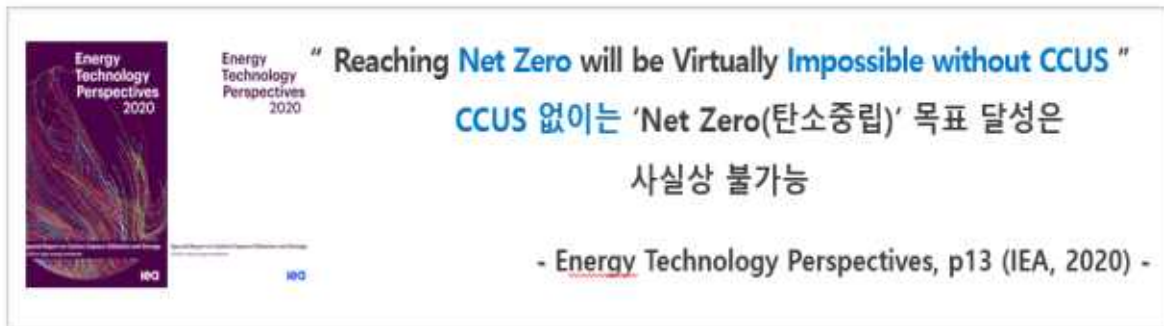
## □ 탄소중립을 위한 핵심수단 CCUS

- 국제에너지기구 IEA가 2021년 발간한 Net-Zero 보고서에서 2050년까지 Net-Zero 달성을 위해서는 에너지효율화, 수소, 전기화, 바이오에너지, 풍력 및 태양광, 기타 연료전환 방법 외에도 CCUS가 핵심수단으로서 약 18%의 기여를 할 것으로 전망
- 우리나라도 장기저탄소발전전략(LEDs)을 기반으로 부문별 이슈분석, 정책환경, 온실가스 감축 기여도, 주력산업 연관성 등을 고려하여 CCUS를 탄소중립 실현을 위해 시급히 개발해야 하는 10대 핵심기술로 선정
- CCUS 기술은 전 세계적으로 시장이 활성화되기 시작하는 단계로, 배출권 시장 확대 등으로 인해 향후 큰 폭으로 성장이 가능할 것으로 전망됨. 글로벌 리서치사인 미국 BCC Research는 CCUS 관련 시장이 2025년까지 연평균 4.6% 성장해 2025년에 33억5천만 달러의 시장이 형성될 것으로 전망하고 있고, 이후 지속적인 성장을 전망함. 동사는 우리나라의 CCUS 시장 성장률을 연평균 7.6% 수준으로 전망

## □ CCUS 사업의 필요성

- 국제에너지기구(IEA)는 2020년 발표한 ‘지속가능 개발 시나리오(Sustainable Development Scenario)’를 통해 “CCUS 기술 없이는 사실상 Net-Zero 달성이 불가능”하다고 밝히며 CCUS의 중요성 강조

[그림 1-5] IEA - 지속가능 개발 시나리오



- 2070년 글로벌 탄소중립 시나리오에서 CCUS 기여도를 연간 100억톤\*(총 이산화탄소 감축량의 15%) 수준의 CO<sub>2</sub> 저감으로 예측하고 있으며, 발전, 석유화학, 철강, 시멘트 등 완전한 탈탄소화가 사실상 매우 어려운 산업 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량 감축을 위한 필수적인 해결책
- \* 포집된 CO<sub>2</sub> 중 저장(CCS) 분야에서 90%, 활용(CCU) 분야에서 10% 처리 예측
- 글로벌 CCUS 시장은 2020년 27억 달러 규모에서 2025년 33억 달러로 연평균 4.6% 성장할 것으로 전망(BCC research, '20)

[그림 1-6] CCUS 개념도



출처: BCC Research

- 정부는 ‘2050 탄소중립 시나리오’(‘21.10월)에서 CCUS 기술을 활용한 CO<sub>2</sub>

- 처리 계획을 포함하는 등 CCUS를 매우 중요한 감축 수단으로 인정
- '30년까지 1,120만 톤/년 및 '50년까지 최대 8,500만 톤/년 규모의 CO<sub>2</sub>를 CCUS 기술을 통해 감축 계획(총 감축 목표량의 12% 수준)
  - 2050 탄소중립 선언, NDC 상향 등 가중된 CO<sub>2</sub> 절감 목표 이행을 위한 CCS 기술 확보 필요
  - '50년 감축량인 최대 8,500만 톤/년 중 6,000만 톤은 CCS(국내 저장 3,000만톤, 해외 저장 3,000만 톤), 나머지 2,500만 톤은 CCU로 처리 계획
  - 우리나라의 목표인 2050 탄소중립을 달성하기 위해서 배출량 감축 노력과 동시에 일정량 이상 포집된 CO<sub>2</sub>의 해외 수출은 필수불가결함.

[그림 1-7] 2050 탄소중립 시나리오 최종안 및 각 수단별 목표

**[참고] 2050 탄소중립 시나리오(안) 및 각 수단별 목표**

▶ 정부는 '20년 "2050탄소중립 선언" 이후 별도기술작업반을구성, 탄소중립시나리오실무작업진행

- (A안) 화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 줄여 2050년 기준 국내 순배출량 ZERO 달성
- (B안) 화력발전 등을 간존하는 대신 CCUS 등 CO<sub>2</sub> 제거를 위한 기술적 대안을 최대한 활용하여 2050년 기준 국내 순배출량 ZERO 달성

**[분야별 CO<sub>2</sub> 배출·저감 목표]** (단위: 백만CO<sub>2</sub>)

구분	배출량	전환	산업	건물	수송	농축수산	폐기물	수소	탈루	흡수원	CCUS	DAC
A안	0	0	51.1	6.2	2.8	15.4	4.4	0	0.5	-25.3	<b>-55.1</b>	-
B안	0	20.7	51.1	6.2	9.2	15.4	4.4	9.0	1.3	-25.3	<b>-84.6</b>	-7.4

\* 출처: 탄소중립위원회(2021. 10), 2050 탄소중립 시나리오 최종안

[그림 1-8] 2050 탄소중립 시나리오 초안 및 각 수단별 목표

**2050 탄소중립 시나리오(안) 및 각 수단별 목표**

▶ 정부는 '20년 "2050 탄소중립 선언" 이후 별도의 기술작업반을 구성, 탄소중립 시나리오 실무작업 진행

▶ 탄소중립 시나리오는 총 3개 안으로 제안되었으며, 올 하반기 국민 의견 수렴을 통해 최종안 선정 예정

- (1안) 기존 체계와 구조를 최대한 활용하면서 기술발전 및 원료·연료의 전환을 고려 - 연간 CO<sub>2</sub> 순배출 25.4백만톤 목표
- (2안) 1안에 화석연료 절감과 생활양식 변화를 통한 온실가스 추가 감축분을 반영 - 연간 CO<sub>2</sub> 순배출 18.7백만톤 목표
- (3안) 화석연료 전면 감축 및 그린수소 중심의 수소 공급 등 가장 적극적인 CO<sub>2</sub> 절감 계획 반영 - 탄소중립 달성 목표

**분야별 CO<sub>2</sub> 배출·저감 목표** (단위: 백만CO<sub>2</sub>)

구분	순배출량	전환	산업	수송	건물	농축수산	폐기물	흡수원	CCUS	수소	탈루
1안	25.4	46.2	53.1	11.2* [-9.4]	7.1	17.1	4.4	-24.1	<b>-95.0</b>	13.6	1.2
2안	18.7	31.2	53.1	11.2* [-9.4]	7.1	15.4	4.4	-24.1	<b>-85.0</b>	13.6	1.2
3안	0.0	0.0	53.1	2.8	6.2	15.4	4.4	-24.7	<b>-57.9</b>	0.0	0.7

\* 수송부문 배출량 일부는 차량의 대체연료(e-fuel등)에서 기인하는 것으로, 대체연료 생산과정에서 상쇄 가정

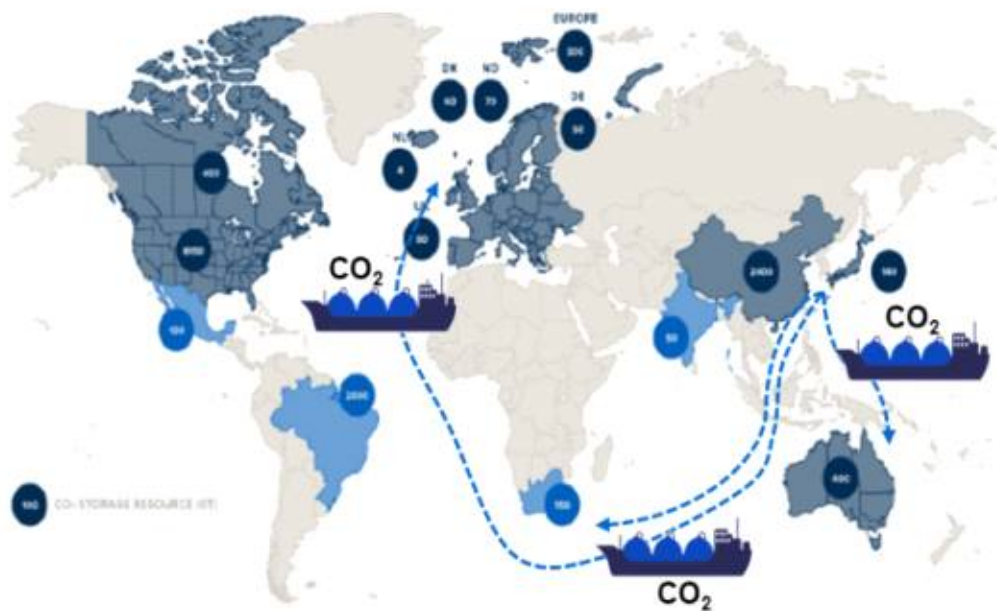
\* 출처: 탄소중립위원회(2021)



## ② 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입의 필요성

- Transboundary CCS란 국내에서 발생한 CO<sub>2</sub>를 포집하여 국내 지중 저장소에 저장하는 것이 아닌, 해양 수송을 통해 해외 저장소에 주입 및 저장하는 일련의 방식을 말함
  - － 2009년 런던의정서 제6조 수정결의안(Resolution LP-3(4)) 승인에 의거, 현재 이산화탄소 스트림의 제한적 수출을 허용하고 있음
  - － Transboundary CCS 추진을 위해서는 수정결의안 임시 적용에 대한 수출국 정부 비준과 IMO 기탁 및 수출-수입국 합의 시 최종 진행 가능

[그림 1-9] Transboundary CCS의 개념



출처 : KRISO (Global CCS Institute 일부 수정)

- Transboundary CCS 시 선박을 활용하는 것이 유리하며, 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입을 위해서는 CO<sub>2</sub>를 수송선에 선적할 수 있는 터미널 또는 허브항, CO<sub>2</sub> 수송선, 주입 설비 등의 인프라가 필요
- CO<sub>2</sub>를 선박 운송 후 해양 지중 저장소에 주입하기 위해서는 선박에서 CO<sub>2</sub>를 직접 주입하거나 해양 임시저장소에 하역 후 별도의 해양 주입설비를 통해 주입하는 방식 등이 있음
- 운영 시나리오에 따라 다양한 조합의 방식이 나올 수 있음

[그림 1-10] 통상적인 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 체인의 구성



출처: KAIST

- CCUS 기술을 통한 온실가스 감축은 기본적으로 국내 감축 목표를 달성하기 위한 전략으로 구성되나 국내의 경우 이산화탄소 저장소가 해외와 비교해 충분하지 않음
- 따라서 CCUS를 통한 온실가스 감축량 증대를 위해서는 해외 사업 추진을 병행할 필요가 있음
- 현재 정부 주도로 동해 가스전 및 대륙붕을 지중 저장소로 활용하기 위한 실증사업을 추진 중이나, 평가 등 일정 상 국내 저장소 확보·운영은 '25년경에나 가능할 전망이다'고 본격적인 상용화는 2030년경에나 가능할 전망
- 국내 각 기업들은 국가 NDC 및 자사의 Net-Zero 목표 달성을 위해 2030년 이전부터 CO<sub>2</sub>를 포집·처리해야 하기 때문에 대규모 저장소 확보 및 이를 통한 포집된 CO<sub>2</sub> 저장 추진이 시급
- 특히, 수소경제 활성화를 위해서는 충분한 수소 공급설비 구축이 필요하나, 천연가스 개질을 통한 블루수소 생산 과정에서 포집한 CO<sub>2</sub>를 저장할 대규모 저장소 확보가 필수적으로 요구되는 상황
  - 국내 재생에너지 생산 여건 상 그린수소의 보급 확대를 위해서는 상당한 시일이 소요될 것으로 예상되므로 과도기로서 그 이전까지는 블루수소 생산을 통한 수소경제 활성화에 기여하는 방안 채택 및 이행이 불가피
    - \* 그레이수소: 석유화학 공정에서 발생하는 부생수소와 천연가스 개질 수소
    - \* 블루수소: 그레이수소 생산 시 CCUS 기술을 활용 CO<sub>2</sub> 배출을 최소화한 수소
    - \* 그린수소: 재생에너지 발전으로 얻은 전기로 물의 전기분해(수전해)로 생산한 수소
    - \* 청정수소: 블루수소와 그린수소를 통칭
- 석유 가스 개발 산업과 수소 산업을 연계해 CCUS 기술로 이산화탄소를 처리하는 사업도 활발하게 논의 중
  - 대규모 저장소와 저장사업 인프라가 석유가스 광구 지역에 위치하기 때문에 CCS 사업과의 융복합이 용이
  - 융복합에 신재생에너지가 공급될 경우 온실가스 감축 효과를 극대화할 수 있음



- SK, 포스코 등 국내 주요 기업들이 수소경제 활성화 기여를 위해 '30년 이전을 목표로 블루수소 생산을 추진 중이나, 이때 수소 생산 과정에서 포집한 CO<sub>2</sub>를 처리할 저장소 확보가 매우 시급한 상황
- 따라서, 국내 탄소감축 목표 달성 및 수소경제 활성화를 위해서는 국내에 대규모 저장사업이 본격적으로 시작되는 '30년 이전에 CO<sub>2</sub> 처리를 위한 해외 지중 저장소 확보가 매우 중요하며, 이를 위한 제도적 기반 마련 시급

[표 1-1] 국내 기업의 수소 사업 추진에 따른 CCUS 산업계 주요 동향

구분	주요 동향
SK E&S	'25년부터 국내에서 연간 25만톤의 블루수소 생산 예정으로, 수소 생산 시 발생하는 CO <sub>2</sub> 를 포집하여 해외로 수송 및 해외 해양 지중 저장소 통해 처리 계획. 현재 해외 지중 저장소 옵션에 대해 현지 파트너사와 공동 사업 개발 추진 중
포스코	'20년 12월, 2050 탄소중립 달성을 선언했으며 수소환원제철 상용화 예정. 이를 위해 '30년 블루수소 50만톤 체제 구축을 위해 CCS를 이용한 해외생산 블루수소 도입 및 LNG 도입을 통한 국내 블루수소 생산 고려 중. '40년 해외 대규모 프로젝트 선행개발로 그린수소 200만톤 생산 시스템 구축 추진
롯데케미칼	'2030 수소 성장 로드맵'을 공개하고 '30년까지 연간 60만톤 규모의 청정 수소 생산계획 발표. 이 중 약 16만톤은 블루수소 물량으로 '25년부터 생산개시 계획이며, 대규모 CO <sub>2</sub> 처리를 위한 지중 저장소 확보 필요
두산중공업	'22년까지 두산중공업 창원 공장 내 수소 액화 플랜트 완공 및 블루수소 생산 추진 예정이며, 이 과정에서 CCUS 기술을 통해 포집되는 CO <sub>2</sub> 처리를 위한 지중 저장소 확보 필요
삼성엔지니어링	'21년 6월 미국 베이커휴즈와 CCUS 및 수소 사업 업무협약 체결. 베이커휴즈는 탄소포집 기술을 보유하고 있어, 삼성엔지니어링은 국내외 네트워크 기반의 차별화된 CCUS 솔루션 제공 계획 중

### ③ 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입의 요구사항

- 국내에서 발생하는 대량의 CO<sub>2</sub>\* 감축을 위해서는 포집된 CO<sub>2</sub>를 국내 저장소에 저장하는 것뿐만 아니라, 해외의 지중 저장소를 활용해 저장할 가능성이 높으며 이를 위해 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입이 필수불가결할 것으로 예상됨
- \* 석탄화력발전 분야 2.03억톤, LNG 화력발전 분야 6100만톤, 철강산업 1.18억톤, 시멘트산업 3600만톤, 정유·석유화학산업 7100만톤 등 총 7.27억톤 배출('18)
- \* 온실가스 총 배출량의 약 65%는 에너지 분야로 가장 높은 비중 차지
- \* 세계 온실가스 배출량은 524억톤으로 연평균 1.4% 증가 추세
- 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 사업을 안전하고 효율적으로 수행하는데 필요한 주요 인프라는 CO<sub>2</sub> 터미널, CO<sub>2</sub> 수송선, CO<sub>2</sub> 해상 주입 시스템 등으로 구성됨

- 특히, 국내의 지정학적 위치를 고려할 때 원거리 수송을 위해서는 파이프라인 보다는 선박 활용이 효율적이며, 약 700km 이상의 원거리 수송 시 경제성이 높은 것으로 연구된 바 있음
- CO<sub>2</sub> 선박 수송 후 해양 지중 저장소에 주입하기 위해서는 선박에서 CO<sub>2</sub>를 직접 주입하거나 해양 임시저장소에 하역 후 별도의 해양 주입설비를 통해 주입하는 방식 등이 있으며 운영 시나리오에 따라 다양한 주입 방식이 나올 수 있음
- 운영 시나리오에 따라 선박 송출 설비의 구성과 해저 설비에 대한 구성이 확정될 수 있으므로, 위험성이 매우 높거나 비용이 매우 많이 소모되는 시나리오는 제거하고 경제적·기술적으로 실현 가능한 주입 시나리오에 대한 연구 필요
- 특히, CCS 프로젝트의 경우, CO<sub>2</sub>에 대한 일종의 폐기 작업이기 때문에 경제성 확보는 사업의 성공에 가장 중요한 요소 중 하나임

### 3 기술개발 동향

#### ① 시장동향

##### □ 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 시장동향

- 해외의 경우, 자국 내 대규모 저장소가 없을 경우 인근 국가로 선박을 이용해 CO<sub>2</sub>를 이송 후 저장하는 CCS 프로젝트가 이미 추진 중
- (유럽) 대표적인 사례는 Northern Light CCS 프로젝트\*로 2024년부터 2척의 CO<sub>2</sub> 운반선을 활용하여 연간 150만톤 규모의 CCS 사업 운영 예정이며, 관련 인프라 건설 2022년 시작

\* Northern Lights는 에퀴노르(Equinor)·셸(Shell)·토탈(Total)이 CCS를 목적으로 만든 합작 법인

[그림 1-11] Northern Light CCS Project



출처 : Equinor

- 향후 노르웨이, 영국, 네덜란드가 협력하여 각국의 산업단지에서 배출되는 이산화탄소를 포집한 후 노르웨이 해안에 위치한 지중 저장소로 수송 후 저장 프로젝트로 확대할 계획임
- 노르웨이는 현재 정부 주도로 27억 달러(한화 약 3조원)를 투자해 북유럽 전역에서 CO<sub>2</sub>를 모으는 Longship 프로젝트를 추진 중
- 노르웨이는 이미 세계 최초로 Sleipner CCS 프로젝트를 통해 Statoil社가 1996년부터 2016년까지 가스 및 CO<sub>2</sub> 처리 플랫폼 근처의 우지라(Utsira) 사암층 (200m두께)에 1,600만 톤의 CO<sub>2</sub>를 저장했음

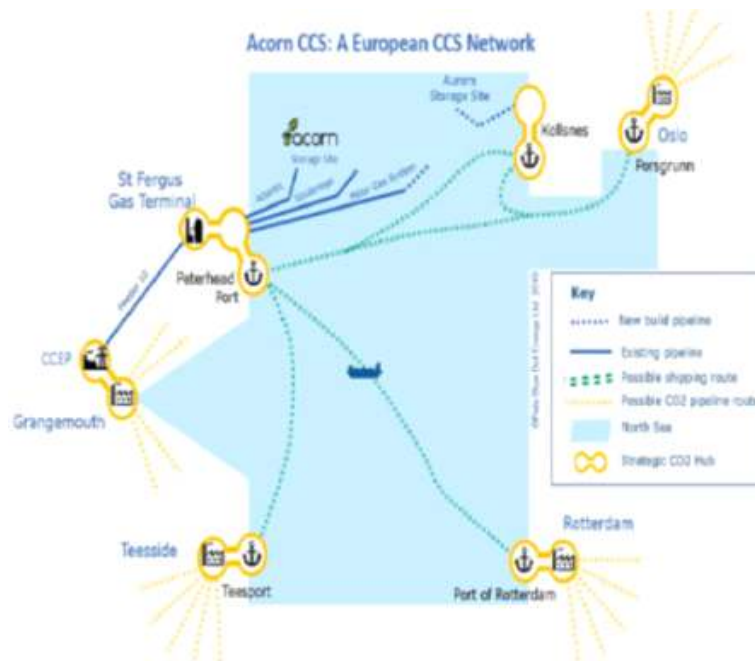
[그림 1-12] 북해에 위치한 Sleipner field



출처 : Equinor ASA

- Snøhvit은 전용 지중저장을 목적으로 하는, 세계 두 번째 대규모 CO<sub>2</sub> 저장 프로젝트이며 연간 70만 톤 이상씩 약 4백만 톤 이상의 CO<sub>2</sub>가 저장 (2018년 기준)
- 영국은 노르웨이 Northern Lights 프로젝트와 연계하여 Acorn CO<sub>2</sub> SAPLING 프로젝트를 추진하여 연간 1천2백만톤급 CCS 프로젝트를 추진하고 있으며, 인근 유럽 국가로부터 연간 6백만톤의 CO<sub>2</sub>를 선박을 이용해 수입할 예정

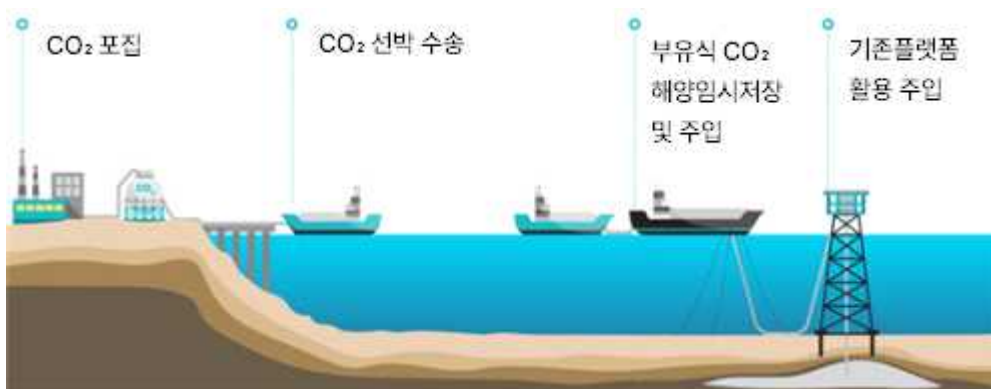
[그림 1-13] 영국에서 추진중인 Acorn CCS Project 개념도



출처 : UK Cranfield University

- (일본) CCS 기술 실용화를 위해 다자협력(CEM, CSLF, ISO/TC265)과 양자협력(미국, 사우디아라비아 등) 채널을 이용
  - 최근에 활발해지고 있는 국제 이니셔티브에 적극적으로 참여함
  - 일본에 유리한 CCS 관련 시장을 만들기 위해 산업계·금융 기관과 함께 유망 비즈니스 모델과 금융메커니즘의 검토·공유 진행
  - 상대국과의 양국 간 협력 하에 공동 연구 및 기술 지원 프로젝트 형성
- '21년 일본-호주는 아태평양 지역에서 포집된 CO<sub>2</sub>를 액화상태로 수송하여 원해 해저 저장소(호주의 해상 주입 저장 허브 설비)에 연결하여 주입 저장하는 DeepC Store 프로젝트를 추진키로 하고 협력 관계를 구축하는 것을 발표

[그림 1-14] DeepC Store 프로젝트 개념도



출처 : Transborder Energy Pty Ltd

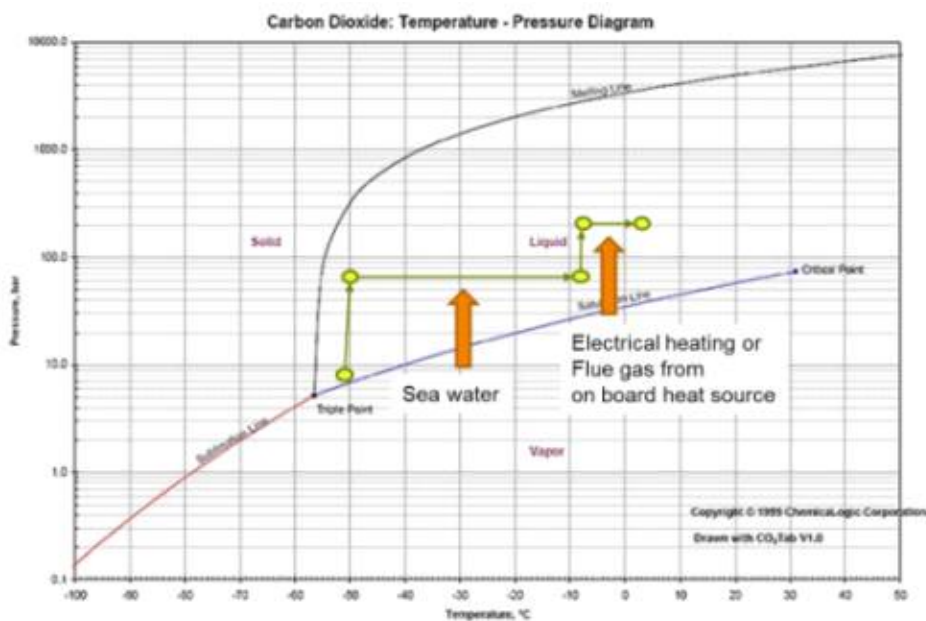
- (동남아시아) ExxonMobil사는 동남아 지역에 보유한 정유·석유화학 설비에서 배출되는 CO<sub>2</sub>를 포집하여 대규모 저장 잠재력을 보유한 인도네시아, 말레이시아에 저장하는 CCS 프로젝트를 추진을 준비 중
- (중국) '60년까지 탄소중립 달성을 선언했으며, 중국 환경부 산하 연구기관의 연구에 의하면 이를 위해 CCUS를 통해 연간 최대 CO<sub>2</sub> 18.2억 톤 제거 필요
  - 중국은 석유·가스 생산기업인 중국해양석유(CNOOC)가 중국 최초의 해상 CCS 프로젝트를 개시하여 연간 최대 30만 톤의 탄소를 해저 저류층에 채주입하려함 (2021년 8월)
- (캐나다) Quest CCS 프로젝트는 오일샌드 산업에서 CCS를 적용한 첫 번째 상용 프로그램으로 Scotford 개질시설의 수소 제조과정에서 발생하는 이산화탄소를 포집하여 저장하며 연간 120만 톤의 이산화탄소를 처리하고 있음.

## ② R&D 동향

### □ 선상 주입 분야

- (유럽) 네덜란드와 노르웨이에서 CCS 프로젝트의 적용을 위해 최적 CO<sub>2</sub> 운송 방법의 도출을 위한 연구가 진행됨. 노르웨이와 영국은 북해에 위치한 저장소와 여러 포집원들을 연계하기 위한 방법으로 CO<sub>2</sub> 선박 운송의 사업타당성 타진
  - 노르웨이는 Northern Lights 프로젝트를 통해 2024년부터 2척의 CO<sub>2</sub> 운반선을 활용할 예정이며 중국 Dalian Shipbuilding Industry(DSIC)사에 7,500 CBM급 LCO<sub>2</sub> 운반선 2척 발주.
  - DSIC가 이번에 건조하는 선박은 세계에서 가장 큰 액화 이산화탄소 운반선이자 CCUS에 활용되는 최초의 선박으로 알려져 있음
  - '15년 네덜란드 TNO 연구소에서는 CO<sub>2</sub> 선박 운송을 통한 CCS 프로젝트의 유럽 내 적용을 위한 feasibility study를 수행
  - 북해 내 위치한 염대수층, 폐유가스층 등을 대상으로 wellhead 조건 분석, 수용가능한 압력, 온도, (최대) 유량 등의 범위 산정
  - 저온의 CO<sub>2</sub>를 주입함에 따라 발생할 수 있는 thermal stresses, hydrates 생성, 저류층 안정성, CO<sub>2</sub> 주입 시작 또는 정지, 비정상적 주입 정지, 간헐적 주입 등의 따른 주입 안정성 등의 문제점 제시

[그림 1-15] CO<sub>2</sub> pumping and heating in two steps from the conditions in the ship to well head conditions

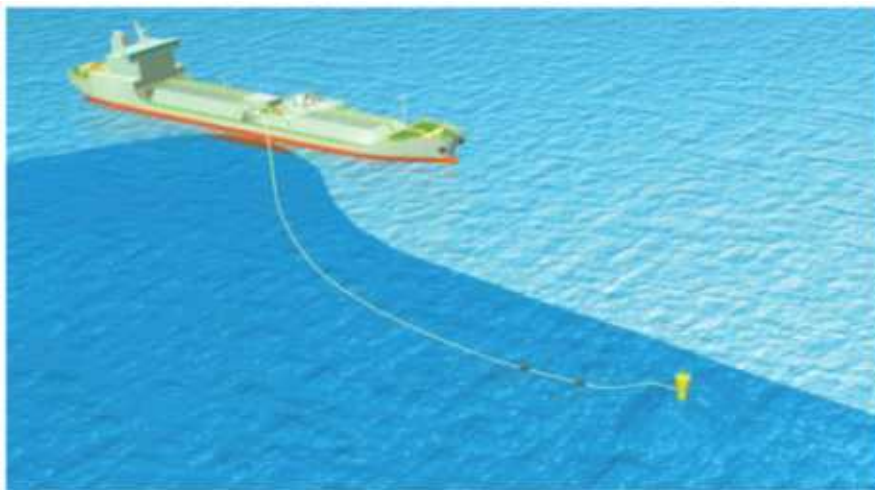


출처 : TNO



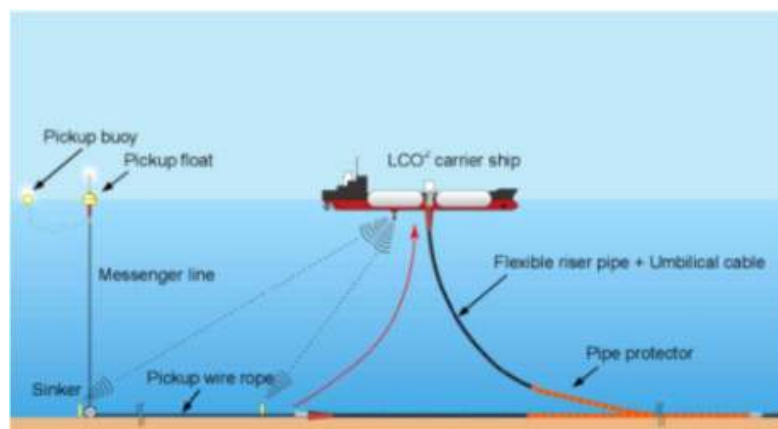
- (일본) 일본은 R&D 연구를 통해 CO<sub>2</sub> 운반선 개발에 앞서 나가고 있으며, 중국도 조선업계를 통해 CO<sub>2</sub> 운반선 연구 개발을 시작함
- 일본 미츠비시 중공업사에서 2000년대 초 IEAGHG R&D 프로그램의 일환으로 자체적 특허 연구를 기반으로 한 액화 CO<sub>2</sub> 운반선 연구 결과 발표.
- 파이프라인과 비교하여 여러 주요 인자별 CO<sub>2</sub> 운반선의 가능성 타진. 장거리 운송 및 액화에 따른 에너지 소비로 인한 추가적 CO<sub>2</sub> 배출을 문제점으로 지적.
- 일본 치요다社は 2011년 GCCSI를 통해 CO<sub>2</sub> 선박 운송 후 해저 유정에 직접 CO<sub>2</sub> 주입의 기술적 타당성을 분석한 보고서 발표.
- 해양플랫폼이 없는 선박 직접 주입을 통해 지진이나 쓰나미와 같은 자연 재해로부터의 영향을 최소화하는 개념 제안

[그림 1-16] 선상 CO<sub>2</sub> 주입 개념도 1



출처 : Masahiko Ozaki et al. 2013

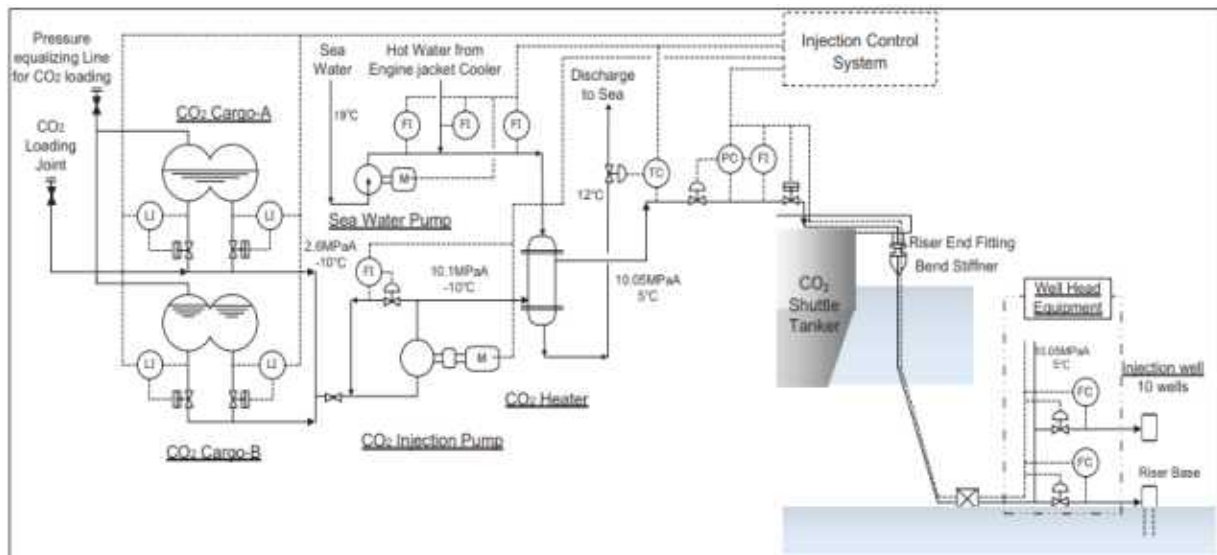
[그림 1-17] 선상 CO<sub>2</sub> 주입 개념도 2



출처 : Masahiko Ozaki et al. 2015

- 이 개념에서 포집시스템, 액화시스템, 임시저장소, 적·하역 설비는 육상에 구축하고, DPS(Dynamic Positioning System) 및 주입설비가 탑재 수송선으로 저장소까지 이동한 뒤, 저장소 Well head와 연결된 flexible riser의 연결체와 연결하는 개념 제시

[그림 1-18] CO<sub>2</sub> 선상 주입 시스템의 P&ID



출처 : 미쓰비시

- 액화 CO<sub>2</sub> 상태로 저장소까지 수송 후 주입 시, 해수를 이용하여 온도를 -10°C 에서 5°C로 상승시키고, 100bar 내외로 가압 후 주입하는 방식을 제안함
- Feasibility 보고서가 발간되었으며, 라이저 및 주입정 내 열유동 계산에 큰 비중을 할애했
- (중국) 국영조선그룹인 CSSC 산하 장난조선소는 지난 8월 암모니아 추진 이산화탄소 운반선 디자인을 공개하는 등 중국 조선업체도 CO<sub>2</sub> 운반선 시장 선점을 위해 연구 개발 추진 중
- (미국 및 캐나다) 육상 파이프라인 네트워크 및 원유회수증진(EOR) 기법과 연계된 CCS 프로젝트 추진으로 인해 상대적으로 CO<sub>2</sub> 선박 운송에 대한 연구가 미진한 편임



## □ 선상 포집 분야

- 유럽과 일본의 조선해운업계에서는 선상 CO<sub>2</sub> 포집을 위하여 실선 실증을 계획하고 있으며, 특히 미쓰비시와 K-Line은 소용량 선박적용 CO<sub>2</sub> 포집을 추진하고 있음

[그림 1-19] 미쓰비시와 K-Line의 소용량 포집 설비



출처 :K-Line

- 네덜란드 Value Maritime은 CO<sub>2</sub> 포집을 선박에 적용하고, 포집된 CO<sub>2</sub>를 이용한 배터리 시스템 적용을 추진하고 있음
- 핀란드 Lanh Tech은 SOx 스크러버 시스템을 이용하여 선박 엔진 배가스의 CO<sub>2</sub>를 포집하는 테스트를 실선에서 실증함

[그림 1-20] 선상 실증에 활용된 Lanh Ship

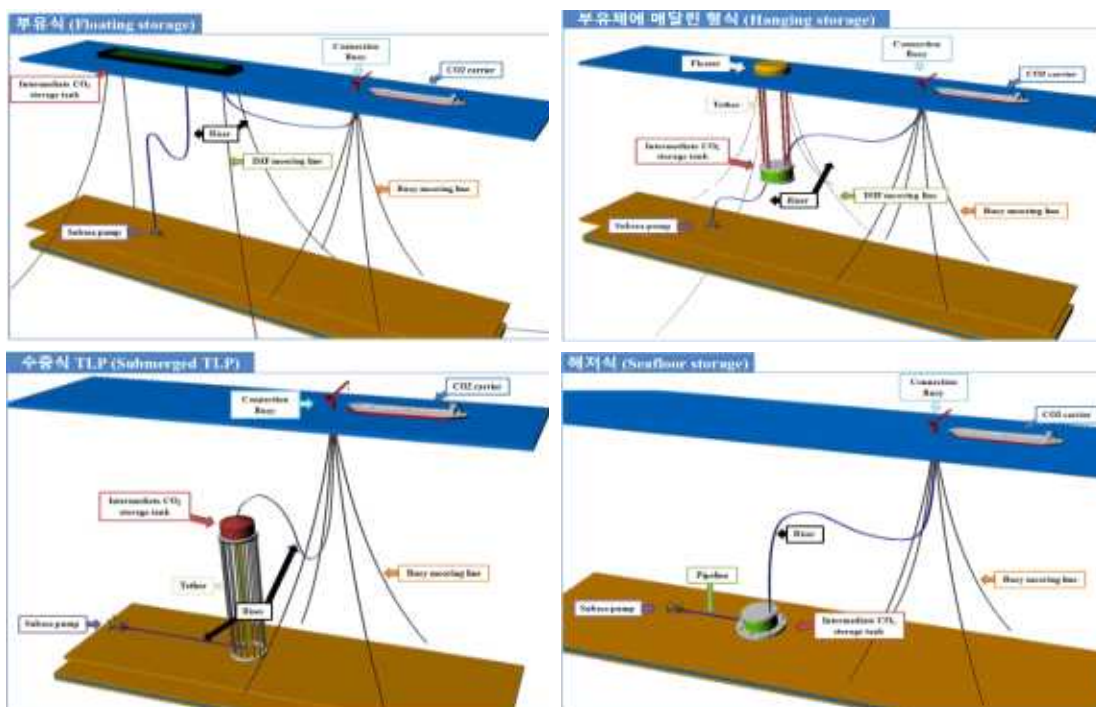


출처 :Lanh Ship

## □ 국내 동향

- (CO<sub>2</sub> 수송선) 이미 상용화가 완료된 LPG 운반선과 수송 조건이 유사하여 기술개발에 큰 문제가 없고, 현재 국내 조선소에서 대형 CO<sub>2</sub> 수송선에 대한 AIP 승인을 이미 받은 바 있음
  - 한국조선해양 및 현대중공업은 노르웨이 선급인 DNV로부터 40,000 CBM급 액화 CO<sub>2</sub> 운반선 설계 기본승인(AIP) 획득 ('21. 9)
  - 대우조선해양은 미국선급 ABS와 공동으로 70,000 CBM급 초대형 LCO<sub>2</sub>선 개발 발표 ('21. 9)
  - 한국조선해양, 현대미포조선, 포스코 등 국내 기업은 로이드선급과 함께 2025년을 목표로 20,000 CBM급 이상의 대형 운반선 기술 개발 공동 진행 중
- 조선업계를 중심으로 대규모 CO<sub>2</sub> 수송을 위한 액화 CO<sub>2</sub> 운반선 개발에 적극적으로 연구 수행 중이나 CO<sub>2</sub>의 수송이라는 기본적인 기능에 초점 맞추어 연구가 진행되고 있으며, 선박 직접 주입 방식 또는 해양플랫폼을 통한 주입 관련 연구는 미진한 상황임
- (선상주입) 선박해양플랜트연구소는 KAIST와 공동으로 선상 직접 주입의 다양한 방식에 대해서 개념 도출 차원에서 연구를 진행한 적이 있음. 중간 저장 위치에 따라서 주입 방식을 검토한 바 있음.

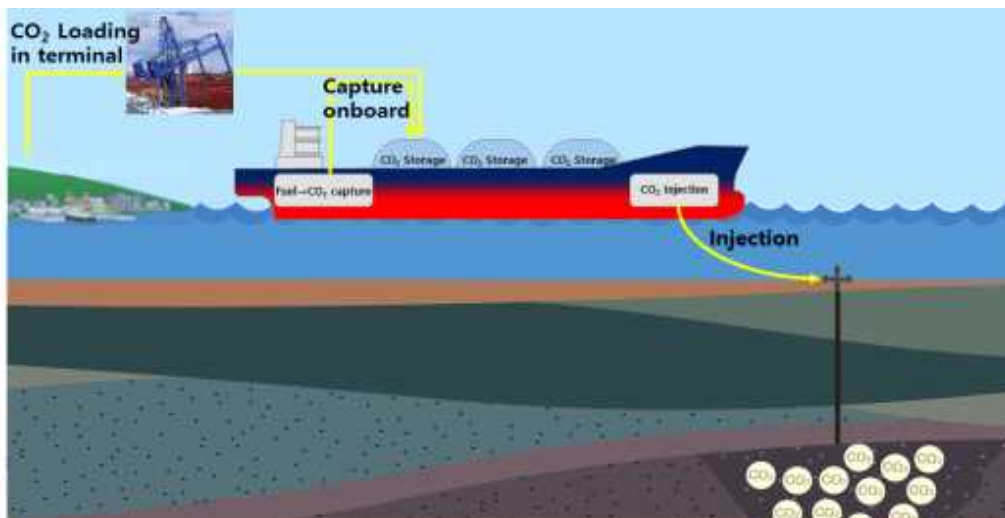
[그림 1-21] CO<sub>2</sub> 중간 저장위치에 따른 선상 직접 주입 방식



출처 : KRISO, KAIST

- (선상포집) 삼성중공업은 스크러버 관련 기업인 파나시아와 함께 개발한 '선박 탄소포집 시스템'이 한국선급(KR)으로부터 기본 인증(AIP)을 획득함. 다만 AIP 단계이므로 상용화를 위해서는 더 많은 시간이 걸릴 것으로 예상됨
  - 삼성중공업이 인증받은 기술은 아민(Amine) 계열의 액체 흡수제를 사용해 선박 엔진이나 발전기에서 연소하는 LNG의 배기가스 중 이산화탄소를 분리·회수하는 방법임
  - 대우조선해양과 한국조선해양도 이산화탄소 포집 및 저장기술에 관심을 가지고 있으며 관련 기술 개발 중이며, 한국해양대와 선박해양플랜트연구소는 선박에서의 탄소 포집 및 액화시스템의 성능향상을 위한 연구개발을 진행 중
- 국내 조선 산업의 우수한 기술력을 바탕으로 포집-수송-주입 설비를 갖춘 CCS 복합 기능 선박을 개발하면, 비용을 크게 낮출 수 있을 것으로 기대됨

[그림 1-22] CCS 복합기능선박 개념도



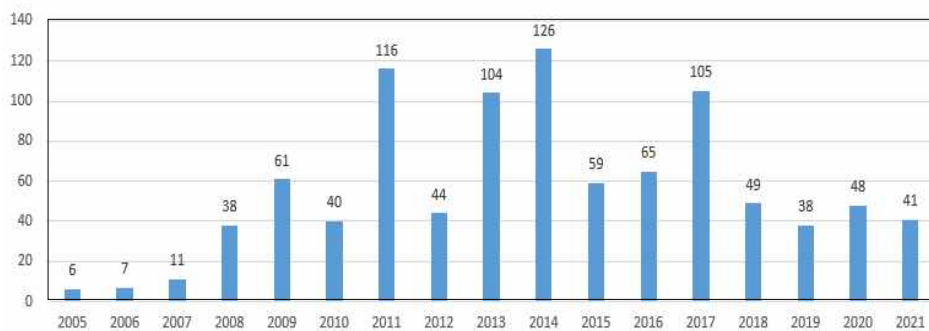
출처 : KRISO

## [논문 분석]

### ◇ '10 ~ '21년까지 Scopus 데이터베이스에 등재된 CO<sub>2</sub> 운송 및 주입 기술 관련 국내·외 논문 약 1천 여건 조사·분석

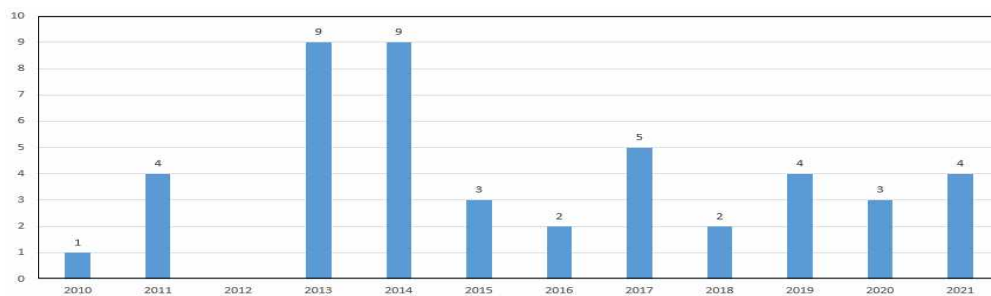
- CO<sub>2</sub> 운송 및 주입 관련 논문은 '05년 이후 '14년까지 증가하는 양상을 보이나, '14년 최대 논문 발표 건수 이후 반복적인 증감과 함께 꾸준한 연구 발표 경향을 보임. 포집 분야 연구에 비해 상대적으로 논문 건수가 미비

[그림 1-23] 년도별 논문 발표 동향 ('05~'21)



- CO<sub>2</sub> 스트림의 파이프라인 운송과 관련된 연구가 주를 이루고 있으며 CO<sub>2</sub> 선박 운송 관련 논문은 약 50여 건으로 전체 운송 관련 연구의 5%를 차지
  - 영국과 노르웨이를 중심으로 유럽의 논문 발표 건수가 대다수를 차지하며, 한국도 세계 2위권 수준으로 상위권을 차지
  - 국내의 경우, 주요 연구 분야는 최적 CO<sub>2</sub> 액화 압력 및 온도, BOG 재액화, 파이프라인 수송과의 비교를 통한 최적 비용 연구 등으로 나타남

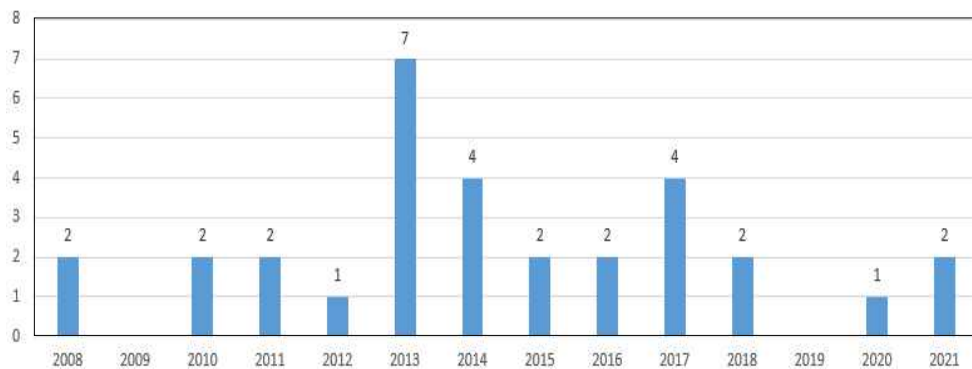
[그림 1-24] 국가별 년도별 논문 발표 동향 ('10~'21)



유럽	35	아시아	18
영국	17	대한민국	12
노르웨이	9	일본	2
네덜란드	3	중국	1
독일	2	기타	3
기타	4	합계	53

- 발표 논문의 피인용도를 고려한 질적지표(Q-index\*)에서는 영국 및 노르웨이가 우수한 것으로 나타났으며, 국내는 상대적으로 취약
  - \* 전체 논문의 평균 피인용수에 대한 개별주체(국가) 논문의 평균 피인용수의 비
- CO<sub>2</sub> 선박 운송을 통한 해양지중 주입 관련 논문은 약 40여 건으로 전체 운송 관련 연구의 3%를 차지
  - 일본의 논문 발표 건수가 대다수를 차지하며, 한국도 세계 2위권 수준으로 상위권을 차지, 그 이외에는 영국, 독일 노르웨이 등 유럽에서 상위권을 나타내고 있으며, 사우디아라비아에서도 연구가 진행되고 있음
  - 일본은 도쿄대, CRISO, 치요다社, 미츠비시 중공업社 등을 중심으로 CO<sub>2</sub> 주입 설비를 장착한 선박 연구 결과를 발표
  - 사우디아라비아는 Topside CO<sub>2</sub> 주입 설비의 개념설계 연구 결과 발표

[그림 1-25] 국가별 년도별 논문 발표 동향 ('08~'21)



일본	10	대한민국	5
영국	4	독일	3
노르웨이	3	사우디아라비아	2
기타	12	합계	39

## [특허 분석]

### ◇ '91 ~ '21까지 출원 및 공개된 CO<sub>2</sub> 선박 운송 기술 관련 주요국 특허 조사·분석

#### □ 특허 분석 개요

- '대규모 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술'을 주요과제로 설정하고, 주요과제와 관련하여 각각 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO)으로부터 '91 ~ '21까지(1991.01.01. ~ 2021.12.31)의 공개된 특허를 검색함
- 주요 과제인 '대규모 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술'을 이룩하기 위한 세부과제로 '이산화탄소-암모니아 육상 복합터미널 설계 및 교차 선적/하역 기술'과 '해상 이산화탄소 선적/하역 기술' 각각에 대한 특허분석을 진행함

[표 1-2] 특허분석 과제

주요 과제	세부과제
대규모 CO <sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술(1)	1. 이산화탄소-암모니아 육상 복합터미널 설계 및 교차 선적/하역 기술(2)
	2. 해상 이산화탄소 선적/하역 기술(3)

\* (1): CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술의 경우, 포집-수송-주입 대상의 CO<sub>2</sub>에 한정할 경우, 검색된 특허의 수가 현저히 줄어들에 따라, 액화 가스(Liquefied-Gas) 또는 이 종의 가스를 수송 또는 수송 주입을 수행하는 선박과 터미널 및 해상 시설물과 운영 시스템을 포함하여 그 검색 범위를 확장시킨 이후에 특허동향분석을 실시하였음.

\* (2): CO<sub>2</sub>-암모니아 육상 복합터미널 설계 및 CO<sub>2</sub>-암모니아 교차 선적/하역 기술의 경우, 현 시점에서 액화가스에 대한 BOG(Boil-off gas)를 연료 추진 보조로 사용하기 위한 기존의 기술이 아닌, 복합 저장 및 선적/하역에 대응하는 기술은 현저히 적게 확인되는 바, 특허 동향의 분석을 위해서 서로 다른 이종 기체 또는 액체에 대한 선적/하역 기술 및 이종의 기체 또는 액체가 저장되는 선박 및 지상에 위치한 저장소를 통한 선박의 액화 가스 선적/하역을 포함하여 검색 범위를 확장시킨 이후에 특허동향분석을 실시하였음.

\* (3): 해상 CO<sub>2</sub> 선적 및 하역 기술의 경우, 현 시점에서 CO<sub>2</sub> 단일 대상으로의 해상 선적/하역에 대응하는 기술은 현저히 적게 확인되는 바, 특허 동향의 분석을 위해서 해상 플랫폼 상에서의 액화 가스 선적/하역 기술 및 선박 간의 액화 가스 선적/하역 기술을 포함하여 검색 범위를 확장시킨 이후에 특허동향분석을 실시하였음.

가. 주요과제 : 대규모 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술

1) 분석대상 및 방법

[표 1-3] 검색 DB/범위 및 검색 건수

자료 구분	국 가	검색 DB	검색 건수	검색구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국(KIPO)	Keyword	490	1991.01. ~ 2021.12.	공개 및 등록특허 전체문서
	미국(USPTO)	Keyword	279		
	일본(JPO)	Keyword	207		
	유럽(EPO)	Keyword	259		

[표 1-4] 최종 검색식

대상 기술	검색식
대규모 CO <sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합 기능 선박 설계	KEY: (이산화탄소 OR 암모니아 OR (액화 ajd 가스) OR 가스 OR (carbon adj dioxide) OR gas OR ((liquefied OR ammonia) adj gas) OR CO <sub>2</sub> OR NH <sub>3</sub> ) AND (선박 OR 운송선 OR 운반선 OR 이송선 OR 부유체 OR 운송 OR 수송 OR 운반 OR 저장 OR 이송 OR 취급 OR supply OR store OR storage OR treatment OR transport* OR freight OR ship OR carrier OR vessel OR FPSO OR FSO OR IPC:(F17C*)) AND IPC:(B63B*)



## 2) 특허동향분석

### □ 연도별 특허동향

[그림 1-26] CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술 관련 연도별 특허 동향

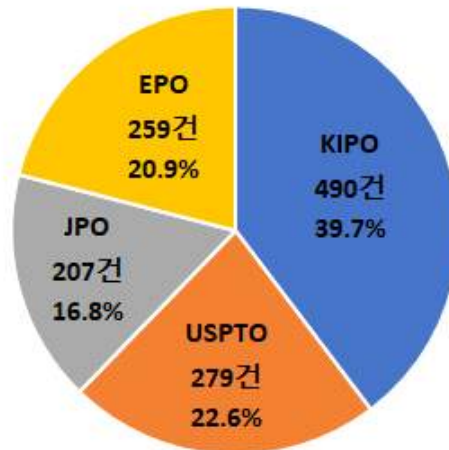


- CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술의 연도별 특허동향을 살펴보면, 1990년대부터 출원활동이 본격적으로 시작되어 2000년대까지 지속적으로 성장하였음.
- 특히 2010년에서 2016년 구간에서 특허 출원 수가 비약적으로 상승하였고, 이후의 구간에서는 점진적으로 감소하는 추세임.
- 미공개 특허가 존재하는 2019년도와 2020년도에 특허 출원이 일부 상승하는 것으로 보이는 바, 2020년대를 기점으로 다시 특허 출원이 활발하게 이루어진 것으로 분석됨.
- 연간 증감율에서 확인할 수 있듯, CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술은 최근 5년간의 특허 출원이 전체 출원 중에 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 확인됨
- 전 세계에서 탄소 저감을 위한 기술적 시도가 최근 들어 높아지고 있으며, 이러한 니즈에 따라, 이와 관련된, CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술의 개발 또한 급증한 것으로 분석됨.



## □ 국가별 특허동향

[그림 1-27] 대규모 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술의  
국가별 특허 동향

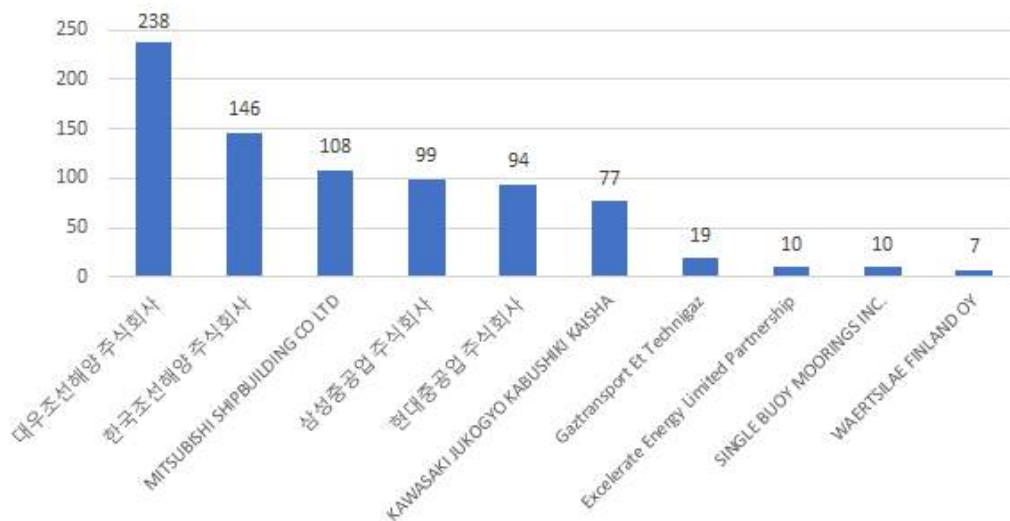


- CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술의 국가별 특허동향을 살펴보면, 한국 490건 (39.7%), 미국 279건 (22.6%), 일본 207건 (16.8%) 및 유럽 259건 (20.9%)인 것으로 분석되었음. 현재 본 기술 분야는 한국이 관련 기술을 선도하고 있는 것으로 분석됨
- CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술의 경우, 다양한 기술 분야에서 가장 높은 특허 출원을 차지하는 미국에서는 그 외의 기술 분야에 비해 그리 높지 않은 특허 출원이 이루어진 것으로 확인
- 이러한, CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술에 대한 국가별 특허 동향은 해외 운송에 비해 내륙 운송 사업의 크기 큰 내륙 국가의 운송 사업 비중의 차이에 기반한 것으로 보임
- 국가에 따라 내륙 운송 또는 해양 운송 등에 따른 운송 선호 경향에도 영향이 있는 것으로 분석되며, 한국, 일본 및 유럽의 해양 인근 국가 출원인의 출원 비율이 높은 부분에 의해 뒷받침
- 출원 수가 가장 높은 한국의 경우, 2009년도를 기점으로 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술의 특허 출원이 활발하게 이루어졌으며, 2015년도에서 부분적으로 공개된 2020, 2021년도까지 많은 특허 출원이 이루어진 바, 최근까지 해당 기술영역에 대하여 다양한 기술개발이 시도되고 있는 것으로 분석됨

- 특허동향분석 대상 구간 중, 최근 5년 구간에서의 다 출원국(한국)의 경우, BOG(Boil-off Gas) 처리를 위한 ‘증발 가스의 재액화’, ‘냉각’, ‘탱크의 단열 구조’, 선박 내 탱크의 배치 등의 KEYWORD를 포함하는 특허의 출원이 주를 이루었으며, 본 특허동향분석 대상 기술과 대응하는 기술의 개발이 이루어지고 있는 것으로 확인

## □ 주요 특허 출원인 분석

[그림 1-28] 대규모 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술 관련  
주요 특허 출원인(상위 10개 社)



- CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술의 주요출원인을 살펴보면 상위 10위권 내에 한국 기업이 가장 높은 비율과 특허 출원 건수를 차지하고 있으며, ‘대우조선해양 주식회사’, ‘한국조선해양 주식회사’, ‘삼성중공업 주식회사’, ‘현대중공업 주식회사’가 포진해있는 것을 확인할 수 있음.
- 출원인 중, ‘대우조선해양 주식회사’의 경우, 상위 10개 社 출원인의 출원 건수 전체의 약 30%에 해당하는 238건의 출원을 진행하였으며, 현재 ‘대우조선해양 주식회사’가 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술 분야를 주도하고 있는 것으로 분석됨
- CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술과 관련한 일본 기업(출원인)으로는 MITSUBISHI SHIPBUILDING CO LTD, KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA 등이 상위권에 속해있으며, 유럽에서는 다국적 해군 엔지니어링 회사인 프랑스의 Gaztransport Et Technigaz가 확인됨

- CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술과 관련한 일본 기업(출원인)으로는 MITSUBISHI SHIPBUILDING CO LTD, KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA 등이 상위권에 속해있으며, 유럽에서는 다국적 해군 엔지니어링 회사인 프랑스의 Gaztransport Et Technigaz가 확인됨
- 따라서, CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술은 고도화된 기술의 보유 여부 및 선박이용이 중요시되는 지리적 특색에 따라, 한국 및 일본 기업의 주도하에 기술개발이 이루어지고 그에 따라 특허 출원 또한 활발하게 이루어지는 것으로 분석됨

### 3) 분석 결론 및 시사점

- CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술의 경우, 전체 분석기간 중에서 최근 5년간의 구간에 특허 출원이 집중적으로 이루어진 것으로 확인됨에 따라, 해당 기술 분야와 직·간접적으로 연관된 다양한 기술의 개발이 시도되고 있는 것을 확인할 수 있음
- 국가별 특허동향에서 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술과 관련하여, 한국이 가장 높은 출원을 기록한 것 또한 동일한 양상을 보이며, 한국 내의 다출원인 또한 2015년을 기점으로 특허 출원 수가 급증하는 양상을 보임
- 미국 기업이 다양한 기술 분야에서 고도화된 기술을 보유하고 있고, 그에 따라 관련 출원 건수도 높게 보이는 양상이 있는 반면, CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술은 한국 및 일본 기업에 의해 기술 개발이 주도되고 있음
- 마찬가지로, 해안을 따라 여러 나라가 위치한 유럽의 지리적 특성에 의해, 운송 및 조선 기술 등을 갖춘 선진국 및 해당 국가의 출원인에 의한 기술 개발이 이루어지고 있는 것으로 보임
- 선박 기술 개발이 요구되는 지리적 특성에 의해 고도화된 조선 기술을 보유하면서도 항만 및 조선 시설 등의 인프라가 구축된 대기업에 의해 주도되는 것을 확인할 수 있음
- 최근 탄소배출을 줄이기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있으며, 그에 따라 주요 기업에서 최근 5년간 이와 관련한 특허 출원이 집중적으로 이루어지고 있는 것으로 보이며, CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술이 고도화된 기술임에 따라 당분간은 기술력과 인프라(Infra)를 갖춘 한국 기업들에 의해 기술 개발이 주도될 것으로 파악됨
- 따라서, CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 기술의 경우 국내 다출원 기업들의 보유 특허 분석을 통해 본 분야 기술에 대한 R&D 방향을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단됨

## 나. 세부과제 2: 해상 이산화탄소 선적/하역 기술

### 1) 분석대상 및 방법

[표 1-5] 검색 DB/범위 및 검색 건수

자료 구분	국 가	검색 DB	검색 건수	검색구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국(KIPO)	Keyword	42	1991.01. ~ 2021.12.	공개 및 등록특허 전체문서
	미국(USPTO)	Keyword	75		
	일본(JPO)	Keyword	23		
	유럽(EPO)	Keyword	31		

[표 1-6] 최종 검색식

대상 기술	검색식
해상 이산화탄소 선적/하역 기술	(이산화탄소 OR 암모니아 OR (액화 adj 가스) OR 가스 OR (carbon adj dioxide) OR gas OR ((liquefied OR ammonia) adj gas) OR CO <sub>2</sub> OR NH <sub>3</sub> ) AND (선박 OR 운송선 OR 운반선 OR 이송선 OR 부유체 OR 운송 OR 수송 OR 운반 OR 저장 OR 이송 OR 취급 OR supply OR store OR storage OR treatment OR transport* OR freight OR ship OR carrier OR vessel OR FPSO OR FSO OR IPC:(F17C*)) AND IPC:(B63B*) AND (((해양 OR 해상 OR 수상) ADJ (시설물 OR 설치물 OR 구조물 OR 시설 OR 부유*)) OR ((SEA OR SEASHORE OR OFFSHORE) ADJ (OR PLANT OR STATION OR DOCK OR FACILITY OR STRUCTURE)))

## 2) 특허동향분석

### □ 연도별 특허동향

[그림 1-29] 해상 이산화탄소 선적/하역 기술 관련 연도별 특허동향



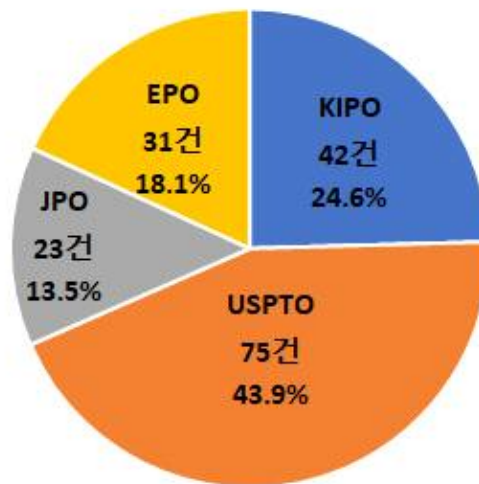
- 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술의 연도별 특허동향을 살펴보면, 1990년대 후반부터 2010년도 중반까지는 꾸준히 출원이 이루어진 것을 확인할 수 있으며, 이 이후부터는 감소하는 것으로 확인
- 특히 2010년도 초반 구간에 이전 구간 대비 특허 출원 수가 비약적으로 상승하였고, 이후의 구간에서는 점진적으로 감소하는 추세
- 미공개 특허가 존재하는 2019년도와 2020년도에 특허 출원이 미약하게 상승하는 것으로 보이나, 출원 증감 추세에 따르자면 2020년대를 기점으로 다시 특허 출원이 활발하게 이루어질 것으로 보이기에 무리가 있음
- 연간 증감률에서 확인할 수 있듯, 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술은 지속적인 2010년대 초반에 개발된 기술의 성숙 과정이 이루어지고 있는 것으로 분석
- 더욱이, 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술에서의 해상 시설물 또는 선박 대 선박의 가스 공급 기술은 해상 시설물 건설 및 구축에 높은 비용이 들며, 구축 위치 또한 제한적인 특징이 있으며, 선박 대 선박의 가스 이송 기술은 기후, 정박 상태 등에 따라 제한적으로 이용할 수밖에 없음
- 이렇듯 높은 비용이 투입되는 사업의 기술은 다양한 관점에서 활발하게 개발이 이루어지기보다는, 기술의 검증 기간이 타 기술에 비해 길고, 이후 보완 또한 긴 기간을 거쳐 진행되는 경향이 있으며, 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술의 연도별 특허동향에서도 같은 양상을 보인 것을 확인할 수 있음

- 반면, 미공개 특허가 존재하는 19~21년도 구간에서의 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술의 특허 출원 증감률은 타 기술 대비 회복된 양상을 보임
- 특허의 공개 시점의 차이에 따라 다를 수 있으나, 일반적으로, 미공개 특허 존재 구간에서의 증감률은 최근에 도달할수록 떨어지는 반면, 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술의 출원 건의 증감률은 회복되는 양상을 보이며, 근래에 들어 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술에 대한 개발 및 연구가 재개되고 있는 것으로 볼 수 있음
- 즉, 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술은 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술의 연도별 특허동향과 유사한 양상으로 가지고 있으나, 운송·저장 기술에서의 스테이션, 플랫폼 및 터미널 관련 기술이 선박 기술보다 선행되는 특성상 특허 출원 시점이 조금 앞당겨져 있는 것으로 확인되며, 최근 전 세계적으로 탄소 저감을 위한 기술적 시도 측면에서 향후 특허 출원은 증가할 양상으로 보임

## □ 국가별 특허동향

- 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술의 국가별 특허동향을 살펴보면, 한국 42건 (24.6%), 미국 75건 (43.9%), 일본 23건 (13.5%) 및 유럽 31건 (18.1%)인 것으로 분석되었음. 현재 본 기술분야는 미국이 관련 기술을 선도하고 있는 것으로 분석됨
- 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술은 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술과는 다르게 일반적인 기술 분야에서의 미국의 특허 출원 비중을 보이고 있으며, 이러한 점으로 미루어 볼 때, 미국에서는 앞선 과제와 연관된 조선 및 항만과 관련한 기술 개발은 타 기술 분야에 비해 적게 이루어지고 있는 것으로 볼 수 있음

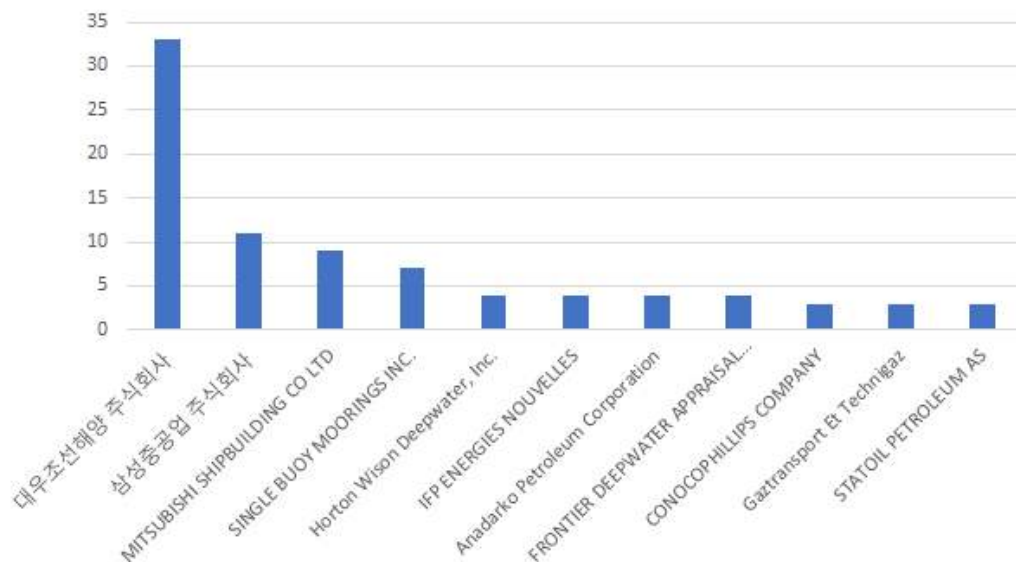
[그림 1-30] 해상 이산화탄소 선적/하역 기술 관련 국가별 특허동향



- 앞선 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술, 선박 및 이산화탄소-암모니아 육상 복합터미널 설계 및 교차 선적/하역 관련 기술에서 분석된 해양 운송보다 내륙 운송의 비중이 큰 미국에서 유독 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술과 관련한 특허 출원 비율이 타 국가에 비해 높게 나타나는 것은, 미국이 기술 선진국으로서 초기에, Oil-rig, Gas-well 등과 같은 많은 해양 시설물의 확보가 가능하였고, 그로 인해 기 보유된 시설 및 기술에 대한 보완 차원에서의 연구 및 개발이 이루어짐에 따른 것으로 분석됨.
- 국가별 특허동향에서 출원 수가 가장 높은 미국의 경우, 특허 검색 초기 구간인 1991년도에서 2014년도까지의 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술의 특허 출원 건수에 비해 2015년도 이후의 특허 출원 건수의 비율이 더 높은 것으로 확인되며, 이러한 특허 출원 경향은 기존 기술 개발의 보완과 더불어, 전 세계적으로 대두되고 있는 탄소 저감을 위한 연구 및 기존 시설의 개선안 기술 개발에 기인한 것으로 보임.
- 특허동향 분석 대상 구간 중, 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술에 관련한 최근 5년 구간에서는 다 출원국(5년간, 출원 건수 25건, 미공개 특허 구간 포함)은 한국으로 확인되며, ‘해상 시설의 이산화탄소 저장’, ‘해상 시설의 친환경 전력 생산’ 및 ‘선박 간의 유체 이송 방법 및 장비’ 등, 해상에서의 선박 대 선박 및 시설물을 이용한 선적/하역과 해양 시설물의 친환경 전력 생산 관련된 KEYWORD를 포함하는 특허의 주를 이루었으며, 본 특허동향분석 대상 기술과 대응하는 기술의 개발이 이루어지고 있는 확인됨.

## □ 주요 특허 출원인 분석

[그림 1-31] 해상 이산화탄소 선적/하역 기술 관련  
주요 특허 출원인(상위 10개 社)



- 이산화탄소 선적/하역 관련 기술의 주요 출원인을 살펴보면 상위 10위권 내에 한국 기업, 미국 기업 및 유럽 기업이 골고루 포진되어 있는 것을 확인할 수 있음.
- 이산화탄소 선적/하역 관련 기술의 국가별 특허동향에서 의 주요 출원인을 살펴보면 상위 10위권 내에 한국 기업, 미국 기업 및 유럽 기업이 골고루 포진되어 있는 것을 확인할 수 있음.
- 상위, 출원인 중, ‘대우조선해양 주식회사’의 경우, 상위 10개 社 출원인의 출원 건수 전체의 약 38.8%에 달하는 33건의 특허 출원을 진행하였으며, 전체 특허 출원 건 중, 해외에 출원한 특허로는 EPO(유럽) 4 건, USPTO(미국) 1 건으로 확인 됨.
- 다 출원인인 ‘대우조선해양 주식회사’의 출원 건으로는 ‘외부의 선박으로의 액화 가스 이송 공급’ 및 ‘부유식 해상 구조물, 저장공간 내의 액화가스(액체)의 배출 방법’에 대한 특허는 검색되었으나, ‘이산화탄소와 이종의 가스를 교환 이송시키는 시스템과 이와 관련된 구조 및 장비’ 등에 대한 특허 출원 건은 검색되지 않았음.
- 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술에 대해서는 앞선 다출원인 외에도, ‘이산화탄소와 이종의 가스를 교환 이송시키는 시스템과 이와 관련된 구조 및 장비’ 등에 대한 특허 출원이 검색되지 않고 있음.



- 다 출원인 중 2위 출원인인 ‘삼성중공업 주식회사’의 경우, 천연가스와 액체질소의 교환 이송과 관련한 특허를 보유(출원: 2017년, 등록: 2019년)하고 있으며, 동일한 액화 대상에 대한 교환 이송의 특허를 보유한 점에서, 상대적으로 많은 출원 건수를 가지는 ‘대우조선해양 주식회사’에 비해, 조사대상 기술과 관련한 핵심적인 기술을 보유하고 있는 것으로 보임.
- 따라서, 이산화탄소 선적/하역 관련 기술은, 한국 기업의 주도하에 그 기술을 구성하는 각각의 요소별 기술 개발이 이루어지고 그에 따라 특허 출원 또한 활발하게 이루어지는 바, 한국의 다출원 기업의 보유 특허 또한 함께 분석해야 할 필요성이 있음.

### 3) 핵심유사특허 현황

[표 1-7] 핵심특허 리스트

연번	출원번호	출원일자	출원인	권리 상태	발명의 명칭	유사도 (중요도)
1	US 15-441746	2017.02.24	Sean Reiley Perreault	등록	Articulated conduit systems and uses thereof for fluid transfer between two vessels	중요
2	EP 2008-744497	2008.03.27	Chevron U.S.A., Inc.	공개	System for transferring fluids between floating vessels using flexible conduit and releasable mooring system	중요
3	2011-729407	2011.06.30	STATOIL PETROLEUM AS	등록	Methods for storing carbon dioxide compositions in subterranean geological formations and arrangements for use in such methods	중요
4	KR 2009-0073858	2009.08.11	한국해양연구원	공개	플로우팅 도크 방식의 액화 이산화탄소 수송선	중요
5	KR 2017-0160675	2017.11.28	삼성중공업 주식회사	등록	액화가스 수송선 및 이의 운용방법	중요
6	KR 2014-0020555	2014.02.21	대우조선해양 주식회사	등록	저장탱크의 불활성 및 통기 시스템, 및 방법	중요
7	KR 2010-0042485	2010.05.06	대우조선해양 주식회사	공개	지하저장장치를 갖는 액화이산화탄소 수송선	중요
8	JP 2017-128648	2017.06.30	CHIYODA CORP	등록	액화 가스의 배출 시스템 및 배출 방법	중요

연번	출원번호	출원일자	출원인	권리 상태	발명의 명칭	유사도 (중요도)
9	US 14-531009	2014.11.03	Danny Ness	공개	Offshore cargo rack for use in transferring loads between a marine vessel and an offshore platform	보통
10	JP 1995-056728	1995.02.21	MITSUBISHI SHIPBUILDING CO LTD	소멸 (공개)	이산화탄소의 해저 투기 시스템	보통

#### 4) 분석 결론 및 시사점

- 해상 이산화탄소 선적/하역 관련 기술은 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능 선박 설계 관련 기술의 연도별 특허동향과 유사한 양상으로 가지고 있으나, 운송·저장 기술에서의 스테이션, 플랫폼 및 터미널 관련 기술이 선박 기술보다 선행되는 특성상 특허 출원 시점이 조금 앞당겨져 있는 것으로 확인되며, 최근 전 세계적으로 탄소 저감을 위한 기술적 시도 측면에서 향후 특허 출원은 증가할 양상으로 보이며, 노후 된 기존 시설의 교체주기 도래, 선적/하역 영역의 확보 등에 대하여 활발하게 재개발 것으로 분석
- 국가별 특허동향에서 이산화탄소 선적/하역 관련 기술에 대한 최근 5년 구간에서는 다 출원국(5년간, 출원 건수 25건, 미공개 특허 구간 포함)은 한국으로 확인되며, ‘해상 시설의 이산화탄소 저장’, ‘해상 시설의 친환경 전력 생산’ 및 ‘선박 간의 유체 이송 방법 및 장비’ 등, 해상에서의 선박 대 선박 및 시설물을 이용한 선적/하역과 해양 시설물의 친환경 전력 생산 관련된 KEYWORD를 포함하는 특허의 주를 이루었으며, 본 특허동향분석 대상 기술과 대응하는 기술의 개발이 이루어지고 있는 것으로 확인
- 주요 출원인 중 상위 다 출원 2개社は 한국의 ‘대우조선해양 주식회사’와 ‘삼성중공업 주식회사’로 확인되며, 상위 2개社の 보유 특허에 이산화탄소 선적/하역 관련 기술과 대응되는 기술이 다수 포함된 것으로 확인
- 이산화탄소 선적/하역 관련 기술에 대한 상위 주요 출원인의 특허 출원 건수와 기술 내용을 일치도 그 외의 출원인에 비해 높은 것으로 보아, 한국 기업에 의해 이산화탄소 선적/하역 관련 기술의 개발이 주도되고 있는 것으로 분석
- 이산화탄소 선적/하역 관련 기술은, 한국 기업의 주도하에 그 기술을 구성하는 각각의 요소별 기술 개발이 이루어지고 그에 따라 특허 출원 또한 활발하게 이루어지는 바, 한국의 다출원 기업의 보유 특허 또한 함께 분석을 통해 R&D 방향을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단

### ③ 기술적 요구사항

#### □ CCS 복합 기능 선박

- 해외 저장소까지 장거리 운항을 하게 되면, 이때 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량도 상당할 것으로 추정됨.
- 암모니아, 수소 등의 무탄소 연료를 사용하지 않는 이상 원거리 선박 수송의 경우 대량의 CO<sub>2</sub>가 발생되어, net 개념에서 CO<sub>2</sub>의 저감량은 감소
- CO<sub>2</sub> 저감이라는 CCS 본연의 목적 및 장거리 수송을 고려할 때,선박 운항 중에 배출된 CO<sub>2</sub>를 대기 중에 배출하지 않고 선상 포집(Onboard CCS)하여 지중저장소에 주입하는 기능도 복합기능선박에 포함될 필요가 있음
- 연소후 포집기술을 선박의 엔진 배가스에 적용하여 CO<sub>2</sub>를 포집
- 운항중 포집된 CO<sub>2</sub>의 임시저장을 위해 압축, 액화 및 저장설비를 선상에 배치
- 저장 CO<sub>2</sub>를 저장소 해역까지 수송한 후, 선상에서 직접 주입하는 방법 고려

[그림 1-32] 국외 복합기능선박의 사례



출처: Sintef

- CO<sub>2</sub> 운반거리, 국내 항만 시설의 용량, 일일 주입 가능 용량에 따라서 CO<sub>2</sub> 수송선의 대수/용량은 달라지고, 이러한 요소들을 모두 고려해야 최적의 운영 방안이 도출되기 때문에 최적 운영 시스템에 대한 연구개발 필요
- CCS 복합 기능 선박은 해저 주입설비와 직접 연결을 통해 생산 플랫폼이 제거된 폐전에도 CO<sub>2</sub>를 비용 효율적으로 주입을 가능하게 할 수 있음
- CCS 복합 기능 선박에서 핵심기술은 해저 주입설비와 선상 주입설비와의 체결 기술임
  - CO<sub>2</sub> 복합 기능 선박의 설계 기술 개발에서 복합 기능 선박 자체도 중요하지만, 선박과 연계되는 상하역 시스템과 해상 임시저장설비와의 연계 및 운영/제어 기술이 더 중요

- 특히 CO<sub>2</sub> 주입 기술은 저장된 CO<sub>2</sub>의 압력, 온도, 저장량을 지속적으로 모니터링 하고, 주입되는 당시의 환경(지층, 선체 움직임으로 인한 주입라인의 변곡발생 등)에 맞추어 외력에 따른 주입량을 적절하게 조절하는 컨트롤러부, 그리고 주입층 또는 이송저장소의 저장상태를 확인하는 모니터링 등으로 구성
- 복합기능선박용 기자재는 각각 다른 제조사들의 제품 조합으로 구성되며, 이를 통합하고 하나로 시스템화 하여 성능 최적화, 안정성 및 신뢰성 검증, 확인하는 효율적인 테스트 전략에 대한 수립이 요구됨.

[그림 1-33] HILS가 설치되는 시추 및 저장용 해양플랜트의 종류



출처 : 한국동력기계공학회지

[그림 1-34] HILS가 설치되는 해양플랜트 지원 선박의 종류

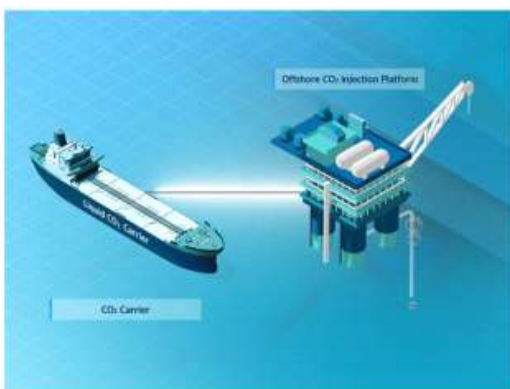


출처 : Mobile Offshore Units용 DPS 신뢰성 평가방법 개발 및 상용화 최종보고서

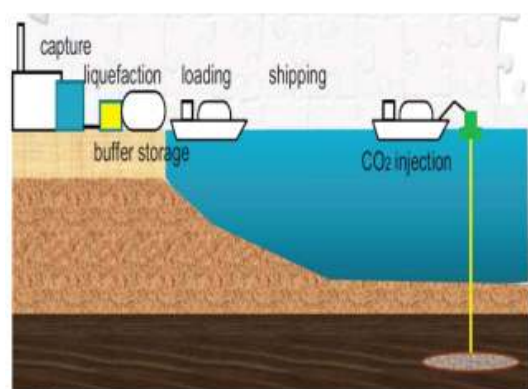
## □ CO<sub>2</sub> 해상 주입 시스템

- CO<sub>2</sub> 선박 운송 이후 해양지중 저장소로 주입하는 기술과 관련하여서는 선박 직접 주입, 해양플랫폼을 통해 직접 주입, 해양플랫폼의 임시저장소에 CO<sub>2</sub> 저장 후 해양플랫폼을 통해 주입하는 방식으로 나눌 수 있음
  - 선박 직접 주입 방식: 저장소 주입 조건에 따른 CO<sub>2</sub> 가압 및 가열 공정이 선박내 존재해야함. 선박의 계류 방식 및 고압 플렉서블 호스 (flexible hose)의 안전하고 안정적인 운영이 기술적 제한으로 작용. 비연속적 주입에 따른 드라이아이스 또는 하이드레이트 생성이 문제점이 될 수 있어 여분의 선박이 추가로 필요할 수 있음.
  - 해양플랫폼을 통해 직접 주입: 저장소 주입 조건에 따른 CO<sub>2</sub> 가압 및 가열 공정이 선박 또는 해양플랫폼에 나뉘어 적용할 수 있으며, 300 bar 까지 주입 압력을 제공하는 것이 가능한 것으로 알려짐. 선박 직접 주입과 같이 비연속적 주입에 따른 드라이아이스 또는 하이드레이트 생성이 문제점이 될 수 있어 여분의 선박이 추가로 필요할 수 있음.
  - 해양플랫폼의 임시저장소에 CO<sub>2</sub> 저장 후 해양플랫폼을 통해 주입: CO<sub>2</sub> 선박은 CO<sub>2</sub> 운송 기능을 가진 셔틀의 개념으로 운영되며, 해양플랫폼에서 임시저장 후 연속적으로 CO<sub>2</sub> 주입 300 bar까지 주입 압력을 제공하는 것이 가능한 것으로 알려짐. 해양플랫폼으로 임시저장하는 경우 빠른 하역이 가능하여 운반선의 운영 효율이 상승되고, 여분의 선박이 필요하지 않다는 장점을 가짐.
  - 해양플랫폼을 활용하는 경우 수심이 얕은 근해의 경우 주로 고정식 플랫폼을 사용하여 CO<sub>2</sub>를 해양퇴적층에 주입하는 반면 원해의 경우 부유식 또는 해저설비를 활용하여 CO<sub>2</sub>를 주입하는 방식이 필요함

[그림 1-35] 고정식 플랫폼 및 부이(buoy) 활용한 CO<sub>2</sub> 주입



출처: 한국조선해양



출처: Chiyoda



[그림 1-36] CO<sub>2</sub> 해상 주입 시스템 개념도

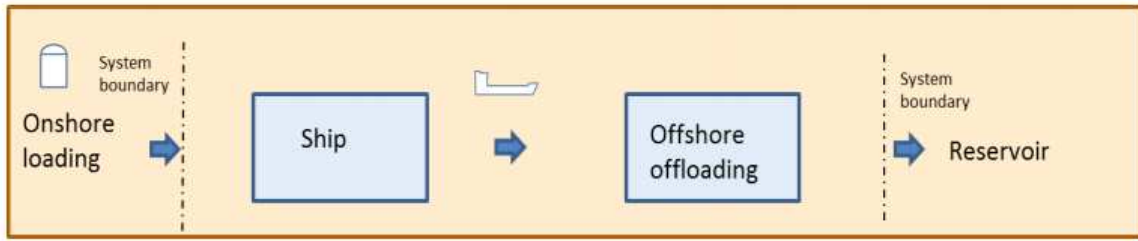


Figure 3-2: First design option: CO<sub>2</sub> shipping to an offshore offloading point close to the injection site and direct injection from the ship. CO<sub>2</sub> processing takes place on the ship.



Figure 3-3: Second design option: CO<sub>2</sub> shipping to an offshore offloading point close to the injection site and injection from the platform. No intermediate offshore storage. CO<sub>2</sub> processing takes place both on the ship and platform.



Figure 3-4: Third storage option: shipping to an offshore offloading point close to the injection site, with temporary storage and injection from the platform. Processing of the CO<sub>2</sub> takes place on the storage vessel or the platform.

출처 : TNO

- 현재까지 선박을 활용한 CO<sub>2</sub> 수송 방식은 CO<sub>2</sub>를 항만 등에 위치한 CO<sub>2</sub> 저장 시설로 수송하는 형태이고, 해상에서 CO<sub>2</sub>를 직접 주입하고 있지는 못함
- 반면 CO<sub>2</sub>를 선박으로 수송한 뒤 저장소에 직접 주입할 수 있는 방식은 전체 CCS 비용을 큰 폭으로 감소시킬 수 있으나, 현재까지 실제로 시행된 프로젝트 사례가 없고, 또한 전 세계적으로도 연구개발이 미비함
- CO<sub>2</sub> 주입시 온도 압력 조건 제어에 따른 하이드레이트 생성 위험 제거가 기술적 제한 요소로 작용할 것으로 예상됨. 또한 원해의 경우 CO<sub>2</sub> 주입에 필요한 에너지원의 공급 방법의 고려가 필요함
- 선박 직접 주입 방식 및 부유식 설비의 경우 안정성이 확보된 운동 및 위치 범위를 유지하기 위한 최적의 계류 시스템 선정 및 기술 개발이 중요하며, CO<sub>2</sub> 이송 라인의 안정성 확보가 중요

## □ CO<sub>2</sub> 터미널

### [국내 CO<sub>2</sub> 항만 터미널]

- CO<sub>2</sub> 터미널은 다수의 포집원에서 포집된 CO<sub>2</sub>를 불순물을 제거한 후 임시 저장하고, 선박에 안전하게 선적하는 기능을 수행하는 시설
- 특히 포집원이 다수인 경우, 터미널로 인입되는 CO<sub>2</sub>의 온도/압력/조성 조건이 각기 다를 수 있고, 이러한 CO<sub>2</sub>의 품질을 관리할 수 있는 전처리 시스템이 필요하게 됨
- 주요 설비로는 대용량 CO<sub>2</sub> 임시저장 탱크, CO<sub>2</sub> Vaporizer, CO<sub>2</sub> BOG 처리 장치, 다수의 펌프류, Loading Arm 등이 있음
- CO<sub>2</sub> 터미널은 기상 변화로 인한 선박 운영 변동에 대처할 수 있도록 버퍼 용량을 가질 수 있도록 설계/운영 되어야 함



## □ CO<sub>2</sub> 수송 선박

### [액화 CO<sub>2</sub> 수송선]

- CO<sub>2</sub> 운송 효율성을 높인 대형선은 아직 수요가 많지 않아 미개발 상태였으나 향후 탄소운반선 수요가 늘 것으로 판단한 조선업계가 대형 액화 CO<sub>2</sub> 운반선 개발 진행 중
  - 액화 CO<sub>2</sub> 운반선은 식품용 액화 CO<sub>2</sub>를 운송하기 위한 1,000~2,000 CBM 급 소형선박이 개발된 상태임
- CO<sub>2</sub> 수송선의 주요 기술분야는 화물저장시스템(CCS, Cargo Containment System), 화물처리시스템(CHS, Cargo Handling System), CO<sub>2</sub> 누출 안전시스템으로 구분됨
- 화물저장시스템(CCS)
  - CO<sub>2</sub> 특성상 안정적인 액화상태를 유지하기 위해서 고압과 저온을 모두 견딜 수 있도록 화물창이 설계 및 제작되어야 함.
  - 저장압력은 일반적으로 8bar 이상으로 설계되며, 압력이 더 낮을 경우 CO<sub>2</sub>가 승화되는 압력(5.2bar)에 근접하므로 선적/하역 시 CO<sub>2</sub> 고체화의 위험성이 있음
  - 화물창은 저온 가압식 IMO Type-C 화물창(실린더)이 우선 고려될 수 있으며, 압력에 따라 화물창의 설계 직경/재질/두께가 달라짐. 이에 따라 제작 가능한 최대 화물창 크기도 결정됨
  - 화물창의 직경이 커지는 경우, 두께 증가로 제작이 불가하므로 제작 조건을 고려하면 10m 내외로 한정됨. 두께가 40mm 이상의 저온강에 대해서는 선급 승인이 필요함.
  - 액화 CO<sub>2</sub>의 순도, 저장 온도 및 비상 감압시의 하강온도를 고려한 최적 재료 선정 또는 저온/고강도 소재 개발
- 화물처리시스템(CHS)
  - LPG 운반선과 유사한 방식으로 BOG를 처리하지만, CO<sub>2</sub>는 액화조건이 까다롭기 때문에 압력 계측 및 제어 기술이 검토되어야 함.
  - CO<sub>2</sub> 기화에 의한 NBOG(Normal Boil-off Gas) 발생은 화물창의 압력을 상승시키므로 재액화 장치 필요 여부에 대한 검토가 필요함. 단 고압 화물창을 적용할 경우 재액화 장치가 제외될 수 있음
  - LNG 운반선용 BOG 재액화 장치는 국산화 개발이 이루어졌으나, 액화 CO<sub>2</sub> 운반선에 적용하기에는 가격이 높고 에너지를 많이 소유하는 단점이 있음. 따라서 액화 CO<sub>2</sub> 운반선용 재액화 장치 개발이 검토되어야 함
- CO<sub>2</sub> 누출 위험성 평가
  - CO<sub>2</sub>는 불연성, 무독성 기체로 구분되어 있지만, 누출 사고 발생시 공기보

- 다 밀도 높아 선내 바닥에 가라앉게 되므로 선원들의 질식 등의 안전문제가 우려됨. 따라서 환경/안전 규제 충적을 위한 위험성 평가가 필요함
- 선박 운송시 가장 효율적인 CO<sub>2</sub> 온도 압력 조건 및 선박 설계·운영 전략을 위한 기술 개발 필요
    - CO<sub>2</sub> 운송 선박의 크기는 10K-30K 정도로 예상되며, 40K-100K 상당의 대용량 선박도 제안되고 있는 상황임
    - LNG 및 LPG 운송선박의 건설 및 운영 경험을 토대로 CO<sub>2</sub> 선박 운송의 기술적 어려움은 많지 않을 것으로 파악되고 있으며, 현존하는 LPG 선박의 개조를 통해서도 CO<sub>2</sub> 운송이 가능한 것으로 보임

## 4 법/제도 현황

### □ 국제 동향

- 국제사회는 폐기물의 배출로 인한 해양오염을 방지하기 위하여 지난 1972년 다자간 협약인 런던 협약을 채택하였으며, 이후 런던협약 당사국들의 이행준수 강화를 위해 런던의정서(London Protocol)를 채택하고 발효
- 배출원에서 포집한 이산화탄소를 선박을 통해서 수송 시, 저장 장소에 따라 협약 내용은 달라질 수 있으며 연안(Offshore)에 저장할 경우는 런던협약(London Convention)에 따름.
  - － 런던협약은 이산화탄소 스트림\*의 해양 지중 저장을 투기(Dumping)로 규정
- (런던의정서\* 채택, 1996) 국제해사기구(IMO)는 해양오염 방지를 위해 폐기물 등의 해양투기를 금지
  - \* 폐기물 및 그 밖의 물질(waste and the other matters)의 투기에 의한 해양오염 방지에 관한 의정서(한국 등 53개국 참여)
- (개정안 채택, 2006) 해양투기 금지물질에 CO<sub>2</sub> 스트림\*을 포함하면서, 해양 CO<sub>2</sub> 지중저장 등 예외 조건\*\*에 한해서 해양투기의 허용\*\*\* 채택 후 발효
  - \* 격리를 목적으로 배출원에서 포집된 이산화탄소
  - \*\* (예외 조건) ❶해양지중저장 ❷압도적인 CO<sub>2</sub>로 구성 ❸처분 목적으로 다른 물질을 첨가 안함
  - \*\*\* 모든 물질의 해양투기 금지가 원칙이나 부속서 1에 명시된 8가지 품목은 예외로 하며 CO<sub>2</sub> 스트림은 8번째로 예외 품목에 추가
- (개정안 채택, 2009) Transboundary CCS 필요성이 대두되면서 CO<sub>2</sub> 스트림의 수출이 가능하도록 개정안을 마련했으나 비준 정족수 미달로 미발효
  - \* 32개국 비준이 필요하나 현재 7개국만 비준(노르웨이·네덜란드·영국·스웨덴·핀란드·이란·에스토니아)
  - － CO<sub>2</sub> 수출금지 원칙에서 CO<sub>2</sub> 스트림을 예외적으로 허용(제6.2조\*)
    - \* 6조 개정 핵심 요점 : ❶수출/수입국 간 협정 또는 약정 체결 ❷LP 당사국 책임: LP 준수 명시 ❸양국 간 체결 내용은 IMO에 통보
- (임시이행 결의안 채택, 2019) 국내에서 포집된 CO<sub>2</sub>를 해외로 이송하려면 조속한 시일 내에 ①런던의정서 임시이행 결의안 수락 및 IMO 사무총장에게 임시 신청서에 대한 공식 선언서 제출, ②CO<sub>2</sub> 수출입 국가 간 CO<sub>2</sub> 협정 체결이 이뤄져야 함.
  - \* LP 준수/허가/보고 책임/책임 주체/Cross border 필요 시 당사국 간 사전 협의 → IMO 통보
- 일반적인 CO<sub>2</sub> 수송은 'UN 위험물 운송에 관한 권고(UN Recommendations

on the Transport of Dangerous Goods[RTDG]))’를 따름.

- 해당 권고에서는 기체 및 액체 형태의 CO<sub>2</sub>는 ‘non-flammable, non-toxic gas’로 분류하며 고체 CO<sub>2</sub>는 ‘miscellaneous dangerous substances’로 분류함.
- RTDG를 준수하는 CO<sub>2</sub> 수송은 운송에 관한 모든 관련 협약을 충족해야 함.
- A 국가에서 포집한 CO<sub>2</sub>를 B 국가에 저장하는 경우, 유엔기후변화협약 (UNFCCC) 사무국의 국가 간(Transboundary) 탄소포집·저장 프로젝트 관련 문서에서 제시하는 각 당사국의 책임 사항에 따름.

*“2006년 IPCC 지침에 따르면, 이 시나리오에서, A 국가는 CO<sub>2</sub> 포집 규제와 CCS 프로젝트 관련된 운송의 일부를 책임진다. 또한, B 국가는 관할 구역의 운송 및 CO<sub>2</sub> 주입·보관 규제의 책임이 있다. 그리고 CO<sub>2</sub> 저장소로의 완전한 전환에 대한 책임과 관할 구역에 저장된 CO<sub>2</sub>에 대해 장기적으로 책임을 져야 함을 모두 인정해야 할 것이다. (UNFCCC, 2012)”*

\* 위 내용은 일반적인 조언을 제공함에 유의. 국가 간 CCS 프로젝트는 법률 및 규제 관련 전문적인 평가가 필요함.

## □ 국내 동향

- 런던협약에 가입하고 런던의정서를 비준한 국가들은 자국의 CCS 기술개발과 상용화를 위해 국제 협약을 기반으로 한 자국의 법과 제도를 정비해야 하는 상황임. 우리나라도 CCUS 관련 정부 정책방향이 구체화되면 법·제도 정비가 이어져야 할 것임.
- 현재 CCUS 관련 단일법은 존재하지 않으며, 기존 법률 체계에서 조각적으로 관련 사항을 규정해 온 결과 수많은 법률적 공백과 충돌이 발생함.
- 이를 타개하기 위해 CCUS 단일법 제정이 필요하며 단일법은 법률적 공백과 충돌을 해결하는 것에 그치지 않고 CCUS 산업의 육성과 안전 관리에 대한 내용까지 담게 될 것
- CCUS 사업에 필요한 경제적 지원 제도와 수용성 확보를 위한 절차가 마련되고, 안전관리 지침과 매뉴얼 역시 하위 법령을 통해 만들어질 것
- CCUS 해외사업의 경우 감축량 교환을 위한 크레딧 메커니즘의 구축, 원거리 수송에 따른 경제성의 극복, 국제간 수송을 위한 법률 및 제도 정비 등이 전제되어야 함.
- 국제적으로 양자 간 혹은 다자 간 크레딧 메커니즘을 이용한 다양한 크레딧 거래 체제가 도입되고 있으며 이러한 크레딧 거래 체제는 청정에너지 개발 체제와 함께 CCUS 해외 사업 활성화에 중요한 기틀을 제공할 것

## Ⅱ. 신규사업 추진필요성

### 1 정부 지원 당위성

□ 국가 탄소중립 정책의 차질 없는 이행 및 목표달성 기여

- 2030년 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 및 2050년 국가 탄소중립 로드맵 목표 달성 계획 내에 CCUS 기술을 통한 이산화탄소 감축 계획이 반영되어 있으며, 이 중 대부분의 물량을 지중 저장을 통해 처리해야 하는 상황

[그림 2-1] 2050 탄소중립 전략 내 에너지 공급 및 산업의 감축 수단 및 전망

감축수단		전망지표*		
		감축효과	기술성숙	감축비용
<b>에너지공급(전력·열)</b>				
1. CO <sub>2</sub> 포집·저장·활용(CCUS)		●	●	○
2. 에너지믹스 개선		●	●	●
3. 수소경제 활성화	연료전지 도입	●	●	●
	수소 공급	●	●	○
<b>산업</b>				
1. 수소화 기술 및 원료 재활용		●	●	○
2. 신소재 전환 및 고부가 제품 확대		●	○	○
3. 기기 효율개선		●	●	●
4. 스마트 공장 및 산단		●	●	●
5. CO <sub>2</sub> 포집·저장·활용(CCUS)		●	●	○
6. 저탄소 연·원료 사용		○	●	●
7. 산업공정 배출 감축		●	●	●

\* (전망지표) ●고(유리), ●중(보통), ○저(불리)

출처 : 대한민국 정부, 대한민국 2050 탄소중립 전략, 2020

- 우리나라는 2030년 국가 온실가스 감축 목표에서 배출전망치(8.5억톤) 대비 37% (3.2억톤) 감축목표\*를 제시

\* 37% 중 25.7%는 국내 배출량에서 감축하고 나머지 11.3%는 국제시장을 통해 감축 계획

- 2050년에는 국내 온실가스 총 배출량(예측) 8,260만~15,390만t 중 CCUS 기술에서, 특히 CCS를 주력으로 삼아 총 6,000만t의 탄소 절감 효과를 달성하는 것을 발표함

\* 조선일보 온실가스, 해저에 묻어 6,000만t 저감효과 보겠다는 정부, 2021.08.06.

- 2017년 국제에너지기구 에너지기술전망 보고서에 제시된 2℃ 시나리오(2DS)에서는 이산화탄소 포집 저장 기술(CCS)이 2060년까지 이산화탄소 누적 배출 감축에 14% 정도 기여할 것으로 예측

- 국가의 이산화탄소 배출 감소 노력과 더불어 감축 계획의 핵심이 되는 CCS 기술의 대규모 실증 프로젝트 추진이 필요
- 지구 온난화 주요 원인이자 발전 및 산업 공정과정에서 지속적으로 배출되는 이산화탄소의 획기적 감축을 위해서는 국가 차원에서 이산화탄소 직접적 감축 기술인 포집, 활용 및 저장의 실용화에 대한 적극적인 노력 필요

## □ 국내 이산화탄소 지중 저장 한계를 극복하기 위한 대안 마련

- 정부는 2050년 국내 온실가스 총 배출량(예측) 8,260만~15,390만t 중 CCS를 통해, 국내 대륙붕(바닷속 땅) 등을 활용한 3,000만t 외에도 한·중·일 공동 수역 저장소와 해외 저장소 발굴을 통한 3,000만t 달성 계획을 발표
- 또한 대안인 해상 시점 이전까지 국내 기업 및 산업 부문 배출 대규모 이산화탄소 스트림의 처리를 위한 해외 CCS 옵션 확보 필요
  - 2009년 런던의정서 제5조 수정 결의안 승인에 의거, 현재 이산화탄소 스트림의 제한적 수출이 허용되고 있음
- 해외 원해 저장소에 직접 주입하기 위해서는 선박을 통한 직접 주입기술개발이 필요하며, 이를 현실화하기 위해서는 터미널, 선상 포집, 수송, 해상 주입에 대한 기술 확보가 필요

## □ 산업계 부담 완화 및 관련 산업의 경제 활성화

- 2021년 정부는 2030년 온실가스 감축목표(NDC)에서 발전 부문의 배출량을 2018년 대비 44.4%, 산업 부문의 배출량을 2018년 대비 14.5% 줄이는 것으로 상향 조정됨에 따라 국내 산업계의 온실가스 감축 부담 또한 증가
  - 제조업이 다수인 국내 산업계 특성 상 공정과정에서의 설비 전환 비용이 크며, 확대 속도가 느린 재생에너지 기반의 전기 이용이 불투명 상황
  - 온실가스 감축을 위해 자체 생산량을 줄여야 한다는 우려도 존재

[그림 2-2] 2030년 발전 및 산업 부문 온실가스 감축목표



출처 : 한거래, 탄소배출 72%는 발전·산업.. 새 감축 목표 부족한가 과도한가

- 사업 추진을 통한 해외 대규모 이산화탄소 저장소 확보 시, 블루수소 생산 과정에서 발생하는 이산화탄소 처리가 가능해지기 때문에 산업체의 안정적으로 블루수소를 생산에 따른 수소경제 활성화에 크게 기여할 것으로 전망
- 이산화탄소 수송뿐만 아니라 포집-주입까지 가능한 CCS 복합기능선박을 개발하여 해외저장소 활용 가능성을 높임으로써 이산화탄소 선박 시장을 확대하고 수요를 끌어들이 수 있을 것으로 예상됨
- 이에 개발과 실증에 막대한 비용이 소요되는, 이산화탄소 감축의 직접적 감축 기술인 이산화탄소 포집 저장 기술(CCS)에 대한 정부주도의 사업 추진과 사업화(법·제도 등) 기반 마련을 통한 관련 산업의 활성화 도모
  - 사업화 기반 마련을 위해서는 민·관 협력 추진 필요
  - 산업체의 탄소중립 투자에 따른 위험부담 경감 및 경제적 장애요인을 해소할 수 있는 제도적 지원방안 또한 부재하여, 정부 차원의 지원이 필요한 상황

□ 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 기술은 글로벌 현안이슈에 대응하는 국제협력 사안으로 국가 차원에서 전략적 대응이 중요

- 에너지 전환과 효율 향상이 산업 전반에 이루어지더라도 CCS 없이는 온실가스 감축목표 달성과 탄소중립 실현이 불가
- 원거리 수송으로 인한 경제성 이슈에도 불구하고 해외 CO<sub>2</sub> 저장 사업 추진의 필요성을 날로 증대되 있음
- 국내 포집 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 해외 저장을 위해서는 국제법적 문제 해결과 상대국과의 안정된 협력체계 유지가 필요하기 때문에 정부 주도로 전략적인 사업 추진이 필요
  - 저장국가의 영토를 활용하는 문제이기 때문에 상대국가의 법적 문제, 수용성 문제, 정치적 문제에 의해서 사업 추진의 가능성이 좌우될 수 있는 국가단위의 사안

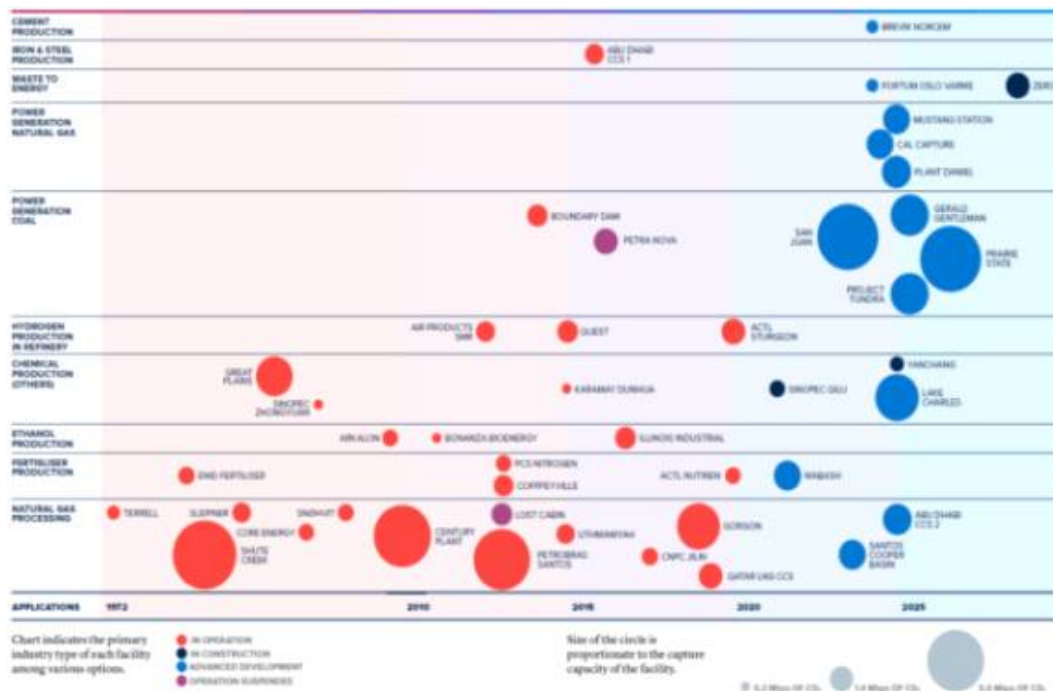


## 2 정부 지원 시급성

### □ 국내 온실가스 감축 목표 달성을 위한 개발 역량 확보 및 상용화 시급

- 국내 대규모 이산화탄소 감축을 위해서는 포집된 이산화탄소를 국내 저장소에 저장하는 것 뿐만 아니라, 해외의 지중 저장소를 활용한 CCS는 필수불가결
- 2030년 이전에 이산화탄소 처리를 위한 해외 지중 저장소 확보가 시급하나, 현재까지 시행된 CCS 프로젝트 사례가 없으며, 전 세계적으로 연구개발이 추진 중이거나 미비한 상황임

[그림 2-3] 세계 CCS 운전/건설/개발 현황



출처 : Global CCS Institute, Global Status of CCS, 2020

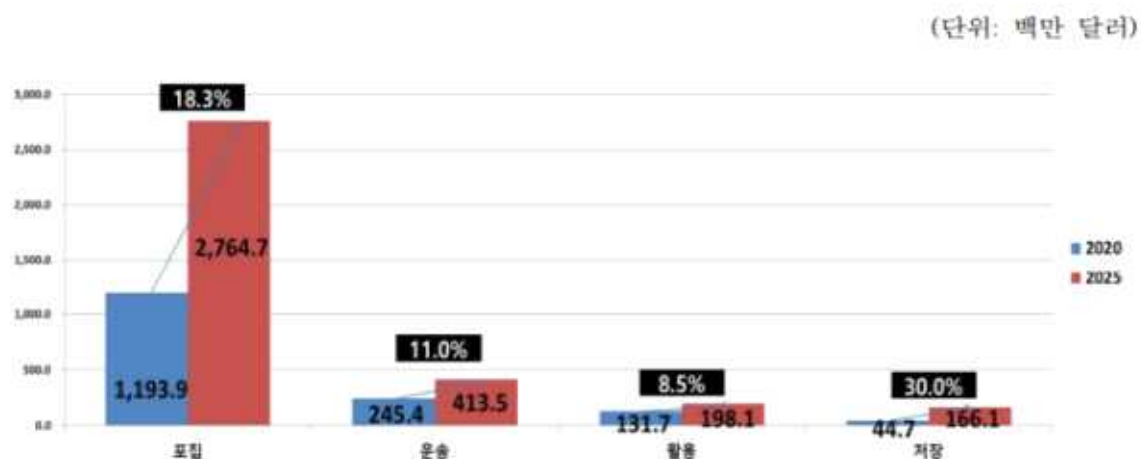
- (미국) Century Plant, Air Products SMR(Steam Methane Reformer), ZEROS Project 등 상업적 규모의 CCS 프로젝트를 운영 또는 계획 중이며, 이산화탄소 토양 저장 기술, 등을 10대 의제로 선정하여 연구개발 확대 추진
- (캐나다) 수소 생산 플랜트의 이산화탄소를 포집하고 지중 저장하는 Quest CCS 등을 운영하고 있으며, Carbon Engineering은 DAC 포집 등 혁신적인 CCS 기술 개발 추진
- (유럽) 네덜란드 Porthos, 영국 Drax BECCS, 노르웨이 Northern Light 등의 프로젝트가 운영 및 계획 중이며, Horizon 프로그램으로 탄소 다배출 산업 연계 CCS 기술, 지질학적 저장 기술 고도화 연구 지원

- (한국) 중규모 석탄발전 포집 기술 실증(건식/습식 10MWe급), 소규모 산업계 포집 기술 실증(10톤/일급 습식) 등 일정 수준의 기술은 확보하였으나, 경제성, 수용성 등의 문제로 대규모 실증·상용화 기술개발은 지연
- 파리협정 체결에서 제시한 이산화탄소 감축 목표 달성의 주요 수단인 CCS 기술에 대해 기약 없이 해외에서 개발되는 것을 기다리는 수동적 대응이 아닌, 능동적인 정부 차원의 개발 추진 시급
- 연속적 이산화탄소 주입이 중요하나 해외 기술/제품 활용 중 고장 등의 문제 발생 시, 문제 해결을 위해 해외국·업체에서 대응해주기 전까지 대기해야 하는 상황이 발생

## □ 미래 CCS 관련 산업 글로벌 경쟁력 약화 우려

- 이산화탄소 수송 선박, 에너지(발전) 등 CCS 관련 산업에 대해 이산화탄소 감축 수요와 함께 시장이 확대될 것으로 전망

[그림 2-4] 세계 이산화탄소 포집·활용·저장 시장의 서비스별 시장 규모 및 전망



출처 : 연구개발특구진흥재단, 이산화탄소 포집·활용·저장 시장, 2021

- 주요 선진국은 다양한 방식의 CO<sub>2</sub> 저장 기술개발 투자에 적극적
  - (선박) 21년 일본-호주는 아태평양 지역에서 포집된 이산화탄소를 액화상태로 수송하여 원해 해저 저장소(호주의 해상 주입 저장 허브 설비)에 연결하여 주입 저장하는 DeepC Store 프로젝트를 추진키로 하고 협력 관계를 구축
  - (에너지(수소)) Quest CCS 프로젝트는 오일샌드 산업에서 CCS를 적용한 첫 번째 상용 프로그램으로 Scotford 개질시설의 수소 제조과정에서 발생하는 이산화탄소를 포집하여 저장

- 해외에서는 CCUS 대규모 실증과 함께 상용화를 위한 법·제도를 마련하고 있어, 해외에서 관련 미래 시장을 점유할 경우 관련 산업의 경쟁력 약화 우려
  - (미국) 「45Q Tax Credit」 정책으로 포집·처리된 이산화탄소당 최대 50달러 세액공제\* 혜택 제공 및 DOE의 CCUS R&D 프로그램 등을 통한 상용 규모의 기술개발을 위한 R&D 지속 추진
    - \* ('30년 기준) 저장 \$50/ton, EOR \$30/ton, 활용 \$35/ton
  - (EU) Innovation Fund\* 및 Horizon 2020 프로그램 등을 통하여 CCUS 기술개발 집중 지원
    - \* EU ETS 수익금의 일부를 CCS 등 탄소저감 사업에 투자
  - (호주) 「연안 석유 및 온실가스 저장법(Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2006) 개정」('20)을 통해 국경 지역 이산화탄소 저장 규제 통합·간소화하고, 2020년 발표된 '기후변화대응 저탄소 기술 로드맵'의 5대 저배출 우선기술로 CCS\* 포함
    - \* CCS 가격목표치: 탄소압축, 허브수송, 저장을 포함해 톤당 20호주달러 미만 추진
  - (중국) 「CCUS 기술발전로드맵('19)」 발표를 통해 2050년까지 단계별 중장기 목표\* 및 발전방향 제시
    - \* ('30) 기존 CCUS기술 상용화 응용실현 및 산업화 능력 확보, 제1세대 포집기술 비용 및 에너지소모비율 10~15% 감소
    - \* ('40) CCUS 시스템통합, 2세대 포집기술 비용 40~50% 감소, 상용화 실현
    - \* ('50) CCUS 기술확산 실현, 여러개의 산업클러스터 구축
  - (일본) 이산화탄소를 자원으로 인식하고 이를 재활용하기 위한 기술혁신을 효과적으로 추진하기 위해 경제산업성 내부에 '카본리사이클실'을 설치('19)하고, 포집 및 활용 활성화를 위한 「탄소 재활용 로드맵('19)」 수립
- CCS 관련 산업의 급격한 성장이 예상되는 현 시점에서, 정부주도의 개발 및 법·제도 등의 상용화 기반 마련을 서두를 필요가 있음

### 3 상위계획과의 부합성

#### □ 탄소중립 산업·에너지 R&D 전략 ('21.11)

- 동 계획 내 2030 NDC 달성 핵심기술에서 제시하고 있는 CCUS 기술내용에 본 사업이 부합함
  - 이산화탄소 포집 및 활용·저장(CCUS) R&D 및 투자를 통해 배출량 흡수('30) 10.3백만톤 → ('50) 84.6백만톤)
  - CO<sub>2</sub> 저장에 대해 연 40만톤 중규모 통합 실증 후 연 400만톤 주입실증으로 확산

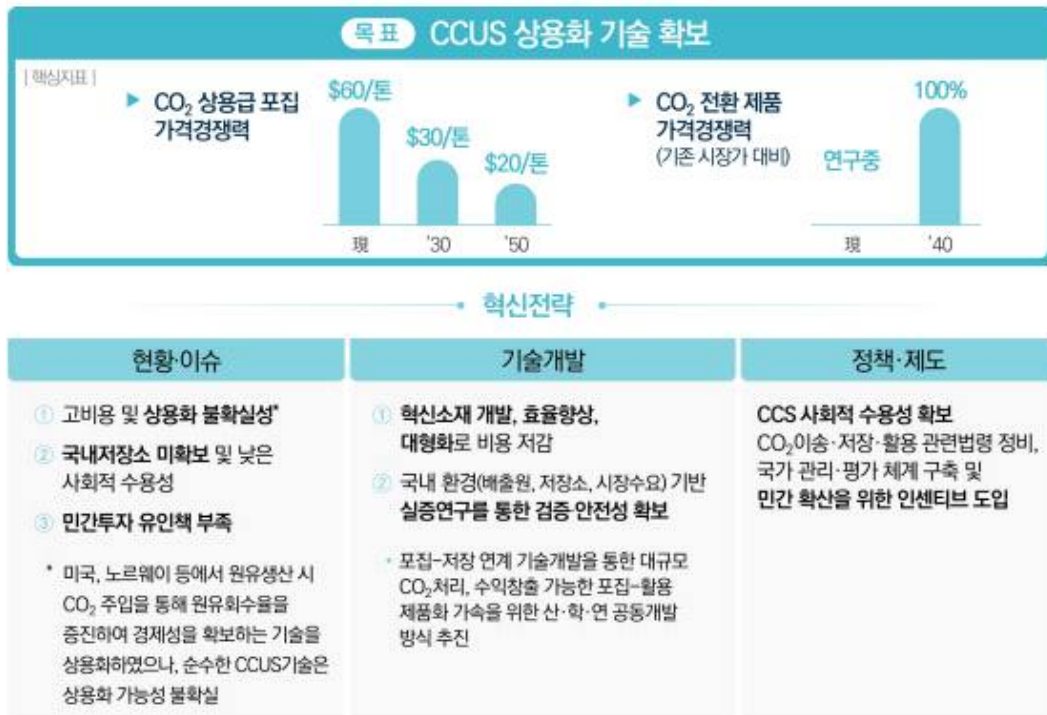
#### □ 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안) ('21.6)

- 동 계획 내 CO<sub>2</sub> 포집 분야 기술혁신 전략에서 제시하고 있는 장기 R&D 추진과제에 본 사업이 부합함
  - (~'30) 국가 온실가스 감축 기여를 목표로 CO<sub>2</sub> 포집-저장 연계 기술 대규모(>10만 톤/연) 실증 및 운영기술 최적화
  - (~'50) 차세대 연소·포집기술 상용화 기술개발을 지속 추
- 동 계획 내 실효적인 이행체계 구축에서 제시하고 있는 국제협력 기반 강화 및 해외시장 진출과제에 부합함
  - '선진국과 실증 프로젝트 공동추진', 'UNFCCC 기술 메커니즘 참여를 확대하여 국내기술의 개도국 현화 연구 및 기술협력 지원'에 본 사업이 부합함

#### □ 탄소중립 기술혁신 추진전략('21.9)

- (총괄) 본 추진전략에서 정부는 'CCUS 상용화 기술 확보'라는 목표 하에 현 60\$/톤인 CO<sub>2</sub> 상용급 포집 가격을 '30년 \$30/톤, '50년 \$20/톤으로 달성하고자 하며 해당 부분이 본 사업에 부합함
  - 'CCUS 상용화 기술 확보'라는 목표 하에 현 60\$/톤인 CO<sub>2</sub> 상용급 포집 가격을 '30년 \$30/톤, '50년 \$20/톤으로 달성하고자 함
- (CCUS) 본 추진전략에서 CO<sub>2</sub> 포집기술 및 저장기술의 필요성에 대해 언급하며 이는 본 과제와 부합함
  - (포집기술 필요성) CO<sub>2</sub> 포집 비용 저감 및 기술 상용화를 통한 CCUS 산업의 기술경쟁력 확보
  - (저장기술 필요성) CCS 도입 및 확산을 위해 CO<sub>2</sub> 수송 및 저장의 안전성 확보를 통한 수용성 환경 개선이 필요하며, 비용절감 및 효율향상을 통한 경제성 확보도 CCS 상용화의 선결과제

[그림 2-5] CCUS 상용화 기술 확보



출처 : 과학기술정보통신부, 한국에너지기술연구원 탄소중립 기술혁신 추진전략 10대 핵심기술 개발 방향, 2021

□ 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입은 주요 탄소중립 계획을 뒷받침하는 현실적인 대안

[그림 2-6] 주요 상위 계획



[표 2-1] 주요 상위 계획

주요 상위계획	부합성			부합내용
	낮음	보통	높음	
탄소중립 산업-에너지 R&D 전략 ('21)			●	연 400만톤 주입실증 확산
탄소중립 기술혁신 추진전략('21)			●	CCUS 상용화 기술 확보, CO <sub>2</sub> 수송 및 저장 안전성 확보
이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵('21)			●	CO <sub>2</sub> 포집-저장 연계, 국제협력 기반 강화 등

## Ⅲ. 비전 및 추진계획

### 1 사업 비전 및 목표

#### 비 전

2030 NDC 및 2050 탄소중립 실현에 실질적인 기여

#### 목 표

- CO<sub>2</sub> 선상포집-수송-주입 복합기능선박 설계 기술 개발을 통한 CO<sub>2</sub> 수송-주입 기술 고도화
- CO<sub>2</sub> 선박 생태계 활성화를 위한 사업 방향성 제시



#### 추진 과제(안)

- CO<sub>2</sub> 선상포집-수송-주입 복합기능선박의 설계 기술 개발
- 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시설의 설계 기술 개발

## 2 사업 구성 및 내용

### ① CO<sub>2</sub> 선상포집-수송-주입 복합기능선박의 설계 기술 개발

- 국외 주요 해양 CO<sub>2</sub> 저장소 현황 실태 조사
  - 국외 해양 고갈가스전/대염수층 운영 사례조사
  - CO<sub>2</sub> 선박을 활용한 국외 해양 CCS 프로젝트 현황 조사
- 포집 기술 및 선박 배출 CO<sub>2</sub> 포집 기술 조사 및 분석
  - 국내 CO<sub>2</sub> 포집 기술 현황 및 분석
  - 선박배출 CO<sub>2</sub> 포집기술 국내외 사례조사
- 국외 CO<sub>2</sub> 감축 방안 모색
  - Transboundary CCS에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석
  - 국외감축에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석
- 연소 후 CO<sub>2</sub> 포집 기술의 선박 엔진 배가스에 적용
  - 습식흡수제를 이용한 선박 엔진 배가스 내 CO<sub>2</sub>포집 적용
  - 선박 내 폐열을 활용한 포집 에너지 저감 방안 도출
- 포집 CO<sub>2</sub>의 저장 및 관리를 위한 시스템 적용
  - 포집 CO<sub>2</sub>의 압축 및 액화시스템 적용
  - 액화 CO<sub>2</sub>의 저장탱크 배치
- 대규모 액체 CO<sub>2</sub>선상 직접 주입 시스템 설계 기술개발
  - 여러 가지 조건의 저장소에 대응이 가능한 주입 압력 및 유량 제어 기술 개발
  - 복합기능선박과 Subsea 시스템 체결 기술 개발
  - 선상 주입에 요구되는 계류시스템 해석 기법 개발
- HILS 프로그램을 통한 선상 CO<sub>2</sub> 주입시스템 검증
  - CO<sub>2</sub> 주입 관련 정상 작동 시 관련 장치 및 프로그램의 유기적 운영 상황을 확인할 수 있는 HILS 프로그램 제작
  - 각 장치 및 프로그램의 비정상적 운영 시 장치 및 프로그램이 상호 제어될 수 있는 HILS 프로그램 제작
  - 기타 HILS를 통해 사전 검증에 필요한 업무에 대해 장치 및 프로그램 업체와 기술 협의 후 그에 맞는 HILS 프로그램 개발
- 선상 CO<sub>2</sub> 주입 시스템의 최적 운영을 위한 스마트 공정 제어 시뮬레이터 기술 개발
  - 해상 CO<sub>2</sub> 주입 시스템 및 Subsea 주입 시스템 공정 개념 도출
  - 주요 운전조건 및 핵심 성능 설정 및 PID 설계
- CO<sub>2</sub> 주입 선박 + 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시스템 복합 활용방안 분석
  - 허브 터미널 - 해양 저장시설 간 CO<sub>2</sub> Shuttle 운송 최적화 방안 및 민감도 분석
  - Subsea Injection System 분석 및 Field Layout 작성



- 해양 CO<sub>2</sub> 주입기술 분석 및 경제적 정성분석
  - 플랫폼 활용 CO<sub>2</sub> 주입 기술 분석 및 경제적 정성 분석
  - Subsea 활용 CO<sub>2</sub> 주입 기술 분석 및 경제적 정성 분석
  - 복합기능선박 활용 CO<sub>2</sub> 주입 기술 분석 및 경제적 정성 분석

## **② 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시설의 설계 기술 개발**

- 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시 저장장치 및 주입 시설 현황 조사 및 분석
  - 국내외 부유식 CO<sub>2</sub> 주입 시설 연구 사례 조사
- 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장장치 및 주입시스템 설계기준 개발
  - 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장을 위한 저장장치 선정(부유식, 부유체에 매달린 형식, 부유식 TLP, 해저식 등) 및 분석
  - 선급 혹은 API 등 국제 요건에 적합한 설계기준 개발 및 검증
  - 국내 법제화를 위한 설계기준 안 마련
- 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장장치 시스템 및 주입시스템 개발
  - 해양환경하중(파랑, 조류, 풍향 등) 통계 분석 및 산정
  - 통합하중 산정
  - 저장장치 시스템 최적(안) 도출
  - FSI(Fluid Structure Interaction) 해석기법 개발
  - 극한, 피로, 사고 한계에 따른 설계요건 및 해석기법 개발
  - 계류시스템 설계 및 해석기법 개발(저장장치 시스템 및 주입시스템)
  - 앵커링 및 파일링 시스템 설계 및 해석기법 개발
  - 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장장치 및 주입시스템 기본설계도서 작성
  - 해상 이송 및 설치를 위한 T&I 절차서 작성
- 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장장치 및 주입시스템 핵심기자재 개발(선급 형식승인)
  - 임시저장장치 시스템 및 주입시스템
  - 주입시스템과 선박 간의 라인
  - CO<sub>2</sub>저장 용량 산정 시스템
- 국외 CO<sub>2</sub> 감축 방안 모색
  - 국외감축에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석
- 해양 CO<sub>2</sub> 주입기술 분석 및 경제적 정성분석
  - 부유식 CO<sub>2</sub> 임시저장장치 시스템 및 주입시스템 활용 CO<sub>2</sub> 주입 기술 분석 및 경제적 정성 분석
- CO<sub>2</sub> 주입 선박을 활용한 사업 타당성 분석
  - CO<sub>2</sub> 주입 선박 사업 추진에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석
  - CO<sub>2</sub> 주입 선박을 활용한 비즈니스 모델 제시

### 3 사업 추진전략

#### ① CO<sub>2</sub> 선상포집-수송-주입 복합기능선박의 설계 기술 개발

- 국제적 transboundary CCS를 위한 정책, 법률 분석을 통한 사업 실행방안 도출
  - 선박활용 국외 CCS 프로젝트의 기술 개발 현황 분석
  - 국가간 CO<sub>2</sub> 거래를 위한 정책, 법률 비교 분석
  - Transboundary CCS 사업성 및 경제성 분석
- 선상 CO<sub>2</sub> 포집을 위한 최적 기술 선정
  - 국내외 선상 포집 기술 분석 및 복합기능선박에 차용 가능한 선상 포집 기술 선정
  - 선정된 기술을 이용한 선박 엔진 배가스 내 CO<sub>2</sub> 포집 적용
- 선상 직접 주입 시스템 설계 이후 실증 추진
  - 전 세계적으로 선상 CO<sub>2</sub> 직접 주입 선박은 개념설계만 제시되었고, 실증이 이루어지지 않았음
  - 실제 저장소를 대상으로 실증은 매우 어려우므로 HILS 방법을 사용하여 관련 시스템 실증 추진

#### ② 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시설의 설계 기술 개발

- CO<sub>2</sub> 주입 선박 활용 사업 비즈니스 모델 구축
  - 국내외 주입 선박 연구 현황 조사
  - 주입선박 사업 추진을 위한 대한 국내외 정책, 법률 등 조사
  - 주입선박 운영에 대한 경제적 정성분석 및 사업 타당성 분석
- 다양한 부유식 CO<sub>2</sub>주입시스템 구성 방안에 대한 고찰을 우선적으로 진행
  - CO<sub>2</sub>임시 저장 탱크의 위치에 따라 부유식, 부유체에 매달린 형식, 부유식 TLP, 해저식 등의 다양한 방식으로 주입 시스템 구성이 가능하고, 이러한 방식별 장단점에 대한 분석을 사업 초기에 우선적으로 진행
  - 각 방식별 장단점을 분석 후 국내외 해양 저장소에 가장 적합한 방식을 선정
- 특정 저장소 보다는 여러 저장소에 적용 가능한 시스템으로 개발
  - 저장소 조건에 따라 설계 요건의 차이가 발생할 수 있으므로, 사업의 범위는 개념설계까지로 한정하되, 다양한 저장소에 대응이 가능할 수 있도록 개발
  - 특히, 주입이 진행될수록 높아지는 요구 주입 압력 및 응급 상황에 대응할 수 있는 기술 확보가 중요

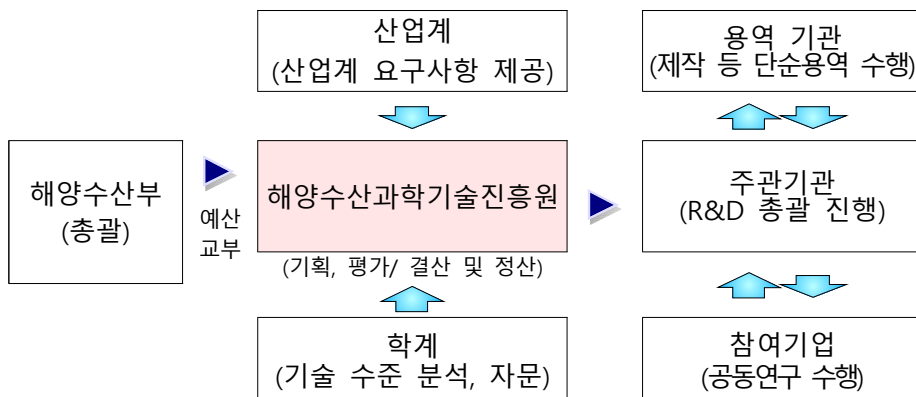
- 국외 저장소 적용에 문제가 없는 국제 표준 준수 및 AIP 획득을 최종 목표로 선정
  - 선급 요구 조건 혹은 다양한 국제 표준 등의 요건을 만족할 수 있는 설계기준 개발 및 검증
  - 국내외 법률적 요구조건을 만족할 수 설계기준 안 마련
  - 설계에 대한 표준 준수 검증을 위한 API 승인 과정은 필수적으로 요구됨
- 핵심 기자재 국산화/상용화 기술 개발 병행
  - 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 주입 설비는 유가스 해양플랜트와 상당수 기자재를 공유하게 되고, 국내 해양플랜트 기자재 업체의 참여가 비교적 용이함
  - 핵심기자재에 대하여 국산화/상용화 기술 개발을 병행하여 국가 기술경쟁력 확보 가능

## 4 사업 추진체계

### ① 추진 체계

- 사업추진체계는 해양수산부, 전담기관(해양수산과학기술진흥원), 주관기관을 중심으로 하며, 평가위원회 등 관련 규정에 따라 관리
- 해양수산부는 사업기본방향을 결정하고, 사업수행의 승인 및 예·결산 등의 권한을 가짐
- 전담기관은 전반적 사업의 운영(기획, 평가, 사후관리 등)을 책임지며, 과제별로 효과적인 성과가 창출될 수 있도록 산업계의 수요와 학계의 자문을 바탕으로 사업 운영
- 주관기관은 R&D 총괄을 진행하고, 참여기업과의 공동연구수행과 필요시 용역을 통해 연구성과가 보급연계(사업화)에 활용될 수 있도록 추진

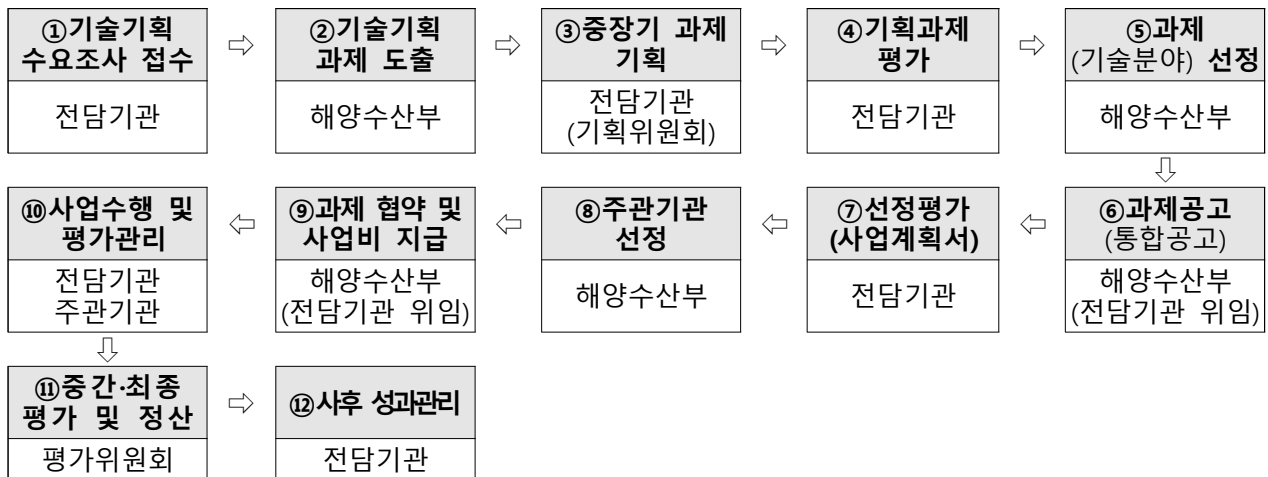
[그림 3-1] 사업 추진체계



## ② 추진 절차

- (과제 선정) 과제 공고 후 외부전문가로 구성된 평가위원회를 통해 과제 수행 기관 선정
- (과제 관리) 월별 보고서 및 RFP 작성 정도를 점검하여 진행상황 관리
- (과제 평가) 외부전문가로 구성된 최종평가위원회에서 과제 결과에 대한 평가 수행

[표 3-1] 추진 절차



## 5 사업 추진 로드맵

구분	CO <sub>2</sub> 선상포집-수송-주입 복합기능선박의 설계기술 개발	부유식 CO <sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시설의 설계기술 개발
1년차	<ul style="list-style-type: none"> <li>국외 주요 해양 CO<sub>2</sub> 저장소(고갈 가스전, 대염수층) 현황 실태 조사</li> <li>포집 기술 및 선박 배출 CO<sub>2</sub> 포집 기술 조사 및 분석</li> <li>선상 포집 및 직접 주입 시스템 요구 조건 도출 및 Block Diagram 도출</li> <li>Basis of Design 도출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시 저장장치 및 주입 시설 현황 조사 및 분석</li> <li>다양한 형태의 해양 CO<sub>2</sub> 주입 시설에 대한 비교 평가 및 최적 형태 도출</li> </ul>
2년차	<ul style="list-style-type: none"> <li>선박활용 국외 해양 CCS 프로젝트 현황 조사</li> <li>Transboundary CCS에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석</li> <li>선상 포집/주입 시스템 대상 개념설계 수행</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국외감축에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석</li> <li>도출된 최적 형태에 대하여 기본설계 수행 및 국산화 가능 핵심 기자재 도출</li> </ul>
3년차	<ul style="list-style-type: none"> <li>선상 포집/주입시스템 AIP 인증 획득</li> <li>허브 터미널-해양 저장시설 간 CO<sub>2</sub> Shuttle 운송 최적화 방안 및 민감도 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기본설계안을 바탕으로 AIP 인증 및 핵심 기자재 설계안 도출</li> <li>CO<sub>2</sub> 주입 선박 사업 추진에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석</li> </ul>
4년차	<ul style="list-style-type: none"> <li>실증을 위한 선상 주입 설비 제작 및 HILS 기반 실험 시스템 구현</li> <li>Subsea Injection System 분석 및 Field Layout 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>핵심기자재 실증을 위한 시험설비 제작 및 핵심기자재 AIP 인증 획득</li> <li>부유식 CO<sub>2</sub> 임시저장장치 시스템 및 주입시스템 활용 CO<sub>2</sub> 주입 기술 분석 및 경제적 정성 분석</li> </ul>
5년차	<ul style="list-style-type: none"> <li>HILS 실험 및 개선 방안 도출</li> <li>해양 CO<sub>2</sub> 주입기술 분석 및 경제적 정성분석(플랫폼, Subsea, 복합기능선박)</li> <li>CO<sub>2</sub> 주입 선박 및 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시저장-주입시스템 복합 활용방안 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>핵심 기자재 실증 및 실프로젝트 FEED 작성 방안 도출</li> <li>CO<sub>2</sub> 주입 선박을 활용한 사업 타당성 분석</li> <li>CO<sub>2</sub> 주입 선박을 활용한 비즈니스 모델 제시</li> </ul>
종료 후	<ul style="list-style-type: none"> <li>실프로젝트 수주 전략 추진</li> </ul>	

## IV. 성과 활용 및 기대효과

### 1 사업 성과 활용방안

#### □ CCS 복합기능선박의 기본설계 활용

- 세계 최고 수준의 국내 조선 산업에 신개념 친환경 선박 제시
- CO<sub>2</sub> 해외 수출 관련 선박 수송/주입 기술 로드맵 제시 및 국가연구개발 로드맵에 기여
- 신개념 CO<sub>2</sub> 선박에 대한 국가연구개발사업 RFP 제공
- 본 기획은 국내에서 포집된 대규모 CO<sub>2</sub>를 효율적으로 해외로 수출하는데 필수적인 CO<sub>2</sub> 포집-수송-주입 복합기능선박의 설계 및 운용에 필요한 기술을 분석하고 개발 로드맵을 작성할 수 있음
- CCS 복합기능선박의 기본설계에 대한 기술개발 동향, 세부기술 분석, 해외 사례 등을 조사/분석 후 설계기술에 대한 로드맵을 제시할 수 있음
- 복합기능선박의 수송/주입 운용 최적화 기술에 대한 분석 및 기술제시를 통해 실제 운영 시 비용저감 효과 최대화
- 또한 선상 CO<sub>2</sub> 직접 주입설비, 상·하역 시스템 등 복합기능선박의 핵심 장비에 대하여 국산화/상용화 촉진을 위한 기술개발 방안 제시
- 간략화된 비용 모델을 기반으로 복합기능선박의 경제적 타당성을 확보하여, 국가연구개발과제로 진행할 수 있는 근거 제시
- CO<sub>2</sub> 해외 수출 및 CCS 복합기능선박 운영과 관련 있는 법제도 분석도 같이 수행하여 복합기능선박의 실 운영상 규제 위험성 해소
- CO<sub>2</sub> 수송뿐만 아니라 포집-주입까지 가능한 CCS 복합기능선박을 개발하여 해외저장소 활용 가능성을 높임으로써 CO<sub>2</sub> 선박 시장을 확대하고 수요를 끌어들이 수 있을 것으로 예상
- 국내 조선산업은 세계 최고 수준의 관련 기술을 확보하였으나, 구체적인 수요가 명확하지 않은 분야를 민간에서 초기 단계부터 진입하기는 어려움
- CCS 정책과 맞물려서 실제 운영이 가능한 CCS 복합기능선박에 대한 개념설계안을 국가연구개발과제로 도출한 후, 국내 조선소에 이전하는 방식은 매우 효율적일 수 있음



## 2 사업 추진 기대효과

### □ 탄소중립 및 온실가스 감축 달성

- 기업의 탄소중립 투자에 따른 위험부담 경감 및 경제적 장애요인을 해소
- '30년 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 및 '50년 국가 탄소중립 로드맵 목표 달성 계획 내에 CCUS 기술을 통한 CO<sub>2</sub> 감축 목표 달성
- NDC 및 탄소중립 달성을 위한 국내 CO<sub>2</sub> 저장소 확보와 선박 이용 CCS 프로젝트 추진 가속화

### □ 수소경제 활성화

- 친환경 수소경제 시대를 앞당기기 위해서는 안정적인 청정수소 공급이 필수적이거나, 그린수소는 재생에너지 산업 여건상 충분한 생산량 확보에 상당한 시일이 소요될 것으로 전망되므로, 천연가스 개질을 통한 블루수소가 선도적 역할 수행 예상
- 선박 이용 CCS 프로젝트 추진을 통한 대규모 CO<sub>2</sub> 저장소 확보 시, 블루수소 생산과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 처리가 가능해지기 때문에 기업들이 안정적으로 블루수소를 생산할 수 있게 되어 수소경제가 활성화에 크게 기여할 것으로 전망

### □ 국가 경쟁력 확보 및 일자리 창출

- 선박 이용 CCS 특별위원회(한국CCS추진단)를 통해 2030년 이전 우리 기업의 해외 대규모 CO<sub>2</sub> 저장소 조기 확보 및 선박 이용 CCS 분야 제도 마련 및 정책 지원방안 등 정부에 제안하는 역할을 수행 중
- 선박 이용 CCS 프로젝트를 통해 대규모 CO<sub>2</sub> 저장소의 조속한 확보와 국내 CO<sub>2</sub> 감축 생태계 마련 및 블루수소의 안정적 생산 기반으로 활용함으로써 기업들의 활발한 투자를 유도한다면 관련된 신산업 및 일자리 창출에 크게 이바지할 것으로 기대

### 3 소요 예산 및 자원 조달 계획

[단위: 억원]

구분	중분류	세부내역	구분	'24	'25	'26	'27	'28	합 계
CO <sub>2</sub> 선상포집-수 송-주입 복합기능선 박의 설계 기술 개발	선상 CO <sub>2</sub> 직접 주입 시스템 설계	개념설계	출연금	3					
		상세설계/인증			1.5	2	3		
		선상 포집 연계		2	0.5	1	2		
	선상 CO <sub>2</sub> 주입 시스템 HILS 검증	HILS 시스템 설계	출연금				3		
		HILS 시스템 제작					2	5	
		HILS 시스템 활용 정상/비정상 상태 검증						2.5	
	스마트 공정 제어 시뮬레이터 기술 개발	선상 CO <sub>2</sub> 공정 해석(정상/비정상)	출연금		3				
		다양한 저장소 대 응 가능 유량제어 기술 개발				2			
		스마트 공정 제어 시뮬레이터 제작/ 설계					5	7.5	
	합계		출연금	5	5	5	15	15	
부유식 CO <sub>2</sub> 해양 임시저장-주 입 시설의 설계 기술 개발	부유식 CO <sub>2</sub> 해 양 임시저장-주 입 시스템 Top-Side 설계	부유식 시스템 설계기준 개발	출연금	3					
		개념설계		5	4				
		상세 설계/인증				2	2		
	부유식 CO <sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시 스템 하부 설계	부유식 시스템 설계기준 개발	출연금	3					
		개념설계		4	4				
		상세 설계/인증				2	2		
	부유식 CO <sub>2</sub> 임시 저장/주입 핵심 기자재 개발	주요 핵심 기자재 도출	출연금		2				
		개념설계				6	3		
		상세설계/인증					3	6	
	부유식 CO <sub>2</sub> 임시 저장 및 주입 시 스템 해양 실증	실증 설비의 설계	출연금		5	5			
		실증 설비 제작					20		
		실증 설비 운영						24	
	합계		출연금	15	15	15	30	30	
총 합 계			출연금	20	20	20	45	45	15 0

□ CO<sub>2</sub> 선상포집-수송-주입 복합기능선박의 설계 기술 개발 소요 예산 근거

<b>1-1. 선상 CO<sub>2</sub> 직접 주입 시스템 설계</b>	
<b>1-1-1. 개념설계</b>	<b>3억</b>
• 기존 연구 자료/시장 조사 및 구조 연구	1억
• 선박, CO <sub>2</sub> 주입 시스템의 초기 안전성/신뢰성 분석	1억
• 초기 모델링 및 시뮬레이션 비용	1억
<b>1-1-2. 상세설계/인증</b>	<b>6억</b>
• 선박 및 CO <sub>2</sub> 주입 시스템의 상세 설계 작업 및 설계 도면 제작 비용	3억
• 필요한 부품 및 재료의 세부 사양 및 비용 분석	2억
• 국내외 인증 기관과의 협력을 통한 인증 절차 및 비용	1.5억
<b>1-1-3. 선상 포집 연계</b>	<b>5.5억</b>
• 선상 CO <sub>2</sub> 포집 시스템과 주입 시스템 간의 연계 및 통합 설계 비용	2억
• 시스템 통합 테스트 및 검증을 위한 실험 및 시험 비용	2억
• 포집 시스템과의 호환성 및 안전성 평가 비용	1.5억
<b>1-2. 선상 CO<sub>2</sub> 주입 시스템 HILS 검증</b>	
<b>1-2-1. HILS 시스템 설계</b>	<b>3억</b>
• HILS 시스템의 기본 설계 및 구조 연구 비용	1억
• 시뮬레이션 환경 구축 및 시나리오 개발 비용	1억
• 전문가들과의 컨설팅 비용	1억
<b>1-2-2. HILS 시스템 제작</b>	<b>7억</b>
• HILS 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 구축 비용	3억
• 센서, 액추에이터, 컨트롤러 등 필요한 부품 및 장비 구매 비용	3억
• 시스템 통합 및 구성 검증 비용	1억
<b>1-2-3. HILS 시스템 활용 정상/비정상 상태 검증</b>	<b>2.5억</b>
• 정상 상태 시나리오 검증 비용	1억
• 비정상 상태 시나리오 검증 비용	1억
• 검증 결과 분석 및 보고서 작성 비용	0.5억
<b>1-3. 스마트공정 제어 시뮬레이터 기술 개발</b>	
<b>1-3-1. 선상 CO<sub>2</sub> 공정 해석(정상/비정상)</b>	<b>3억</b>
• 공정 모델링 및 해석 도구 개발 비용	1억
• 정상 및 비정상 상태 공정 해석 비용	1.5억
• 해석 결과 분석 및 보고서 작성 비용	0.5억
<b>1-3-2. 다양한 저장소 대응 가능 유량제어 기술 개발</b>	<b>2억</b>
• 저장소 유형 및 특성 조사 비용	0.5억
• 유량제어 알고리즘 개발 및 검증 비용	1억
• 시스템 통합 및 구성 검증 비용	0.5억
<b>1-3-3. 스마트 공정 제어 시뮬레이터 제작/설계</b>	<b>12.5억</b>
• 시뮬레이터 하드웨어 및 소프트웨어 설계 비용	4억
• 시뮬레이터 제작 및 구축 비용	6억
• 시뮬레이터 시나리오 개발 및 검증 비용	2억
• 사용자 교육 및 매뉴얼 작성 비용	0.5억

□ 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시설의 설계 기술 개발 소요 예산 근거

<b>2-1 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시스템 Top-Side 설계</b>		
<b>2-1-1. 부유식 시스템 설계기준 개발</b>		<b>3억</b>
• 기존 연구 자료 및 시장 조사를 통한 기준 설정		1억
• 국내외 규제 및 기준 조사 비용		1억
• 설계기준 문서 작성 및 검토 비용		1억
<b>2-1-2. 개념설계</b>		<b>9억</b>
• 기본 설계 및 구조 연구 비용		3억
• 전문가들과의 컨설팅 비용		3억
• 초기 모델링 및 시뮬레이션 비용		3억
<b>2-1-3. 상세 설계/인증</b>		<b>4억</b>
• 상세 설계 작업 및 설계 도면 제작 비용		2억
• 부품 및 재료 세부 사양 및 비용 분석		1억
• 인증 절차 및 비용		1억
<b>2-2. 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시스템 하부 설계</b>		
<b>2-2-1. 부유식 시스템 설계기준 개발</b>		<b>3억</b>
• 기존 연구 자료 및 시장 조사를 통한 기준 설정		1억
• 국내외 규제 및 기준 조사 비용		1억
• 설계기준 문서 작성 및 검토 비용		1억
<b>2-2-2. 개념설계</b>		<b>8억</b>
• 기본 설계 및 구조 연구 비용		2.5억
• 전문가들과의 컨설팅 비용		2.5억
• 초기 모델링 및 시뮬레이션 비용		3억
<b>2-2-3. 상세 설계/인증</b>		<b>4억</b>
• 상세 설계 작업 및 설계 도면 제작 비용		2억
• 부품 및 재료 세부 사양 및 비용 분석		1억
• 인증 절차 및 비용		1억
<b>2-3. 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장/주입 핵심 기자재 개발</b>		
<b>2-3-1. 주요 핵심 기자재 도출</b>		<b>2억</b>
• 기존 연구 자료 및 시장 조사를 통한 기자재 도출		0.5억
• 전문가들과의 컨설팅 비용		1억
• 도출된 기자재 리스트 작성 및 검토 비용		0.5억
<b>2-3-2. 개념설계</b>		<b>9억</b>
• 기자재 별 기본 설계 및 구조 연구 비용		3억
• 전문가들과의 컨설팅 비용		3억
• 초기 모델링 및 시뮬레이션 비용		3억
<b>2-3-3. 상세설계/인증</b>		<b>9억</b>
• 상세 설계 작업 및 설계 도면 제작 비용		4억

• 부품 및 재료 세부 사양 및 비용 분석	2억
• 인증 절차 및 비용	3억
<b>2-4. 부유식 CO2 임시저장 및 주입 시스템 해양 실증</b>	
<b>2-4-1. 실증 설비의 설계</b>	<b>10억</b>
• 실증 설비 기본 설계 및 구조 연구 비용	4억
• 전문가들과의 컨설팅 비용	3억
• 초기 모델링 및 시뮬레이션 비용	3억
<b>2-4-2. 실증 설비 제작</b>	<b>20억</b>
• 제작에 필요한 부품 및 재료 구매 비용	10억
• 제작 공정 및 인건비	8억
• 품질 및 안전 검사 비용	2억
<b>2-4-3. 실증 설비 운영</b>	<b>24억</b>
• 해양 실증 운영 및 관리 비용	12억
• 데이터 수집 및 분석 비용	6억
• 결과 보고서 작성 및 공개 비용	6억

## 붙임. 참고자료

### 1 2022년도 신규과제 기술개요서(안)

관리번호	2022-CCS-품목1	
과제 유형	원천기술형( ),	혁신제품형( )
		실증형( )
연계/해당여부	표준화연계( ) 경쟁형R&D ( ) 공기업협력 ( ) 도전적R&D ( ) 초고난도R&D ( ) 복수지원대상 ( ) 안전관리형 ( )	
품목명	CO <sub>2</sub> 선상포집-수송-주입 복합기능선박의 설계 기술 개발 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 6 단계)	
1. 지원필요성	<p><b>[필요성]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ CO<sub>2</sub> 선상포집-수송-주입 복합기능선박은 해저 저장소에서 원거리에 있는 포집원에서 해저배관을 설치하지 않고 직접 선박으로 수 천톤 내지 수 만톤의 CO<sub>2</sub>를 운송하여 해저 주입설비에 연결하여 주입까지 수행하는 특수 선박임.</li> <li>○ 복합기능선박은 주입 기능을 탑재하고 있어, 해양플랫폼과 같은 별도의 해상설비를 대체할 수 있어, CO<sub>2</sub> 주입 비용을 저감 가능</li> <li>○ 또한 선상 CO<sub>2</sub> 포집 기능이 추가 되어 선박 엔진에서의 CO<sub>2</sub> 배출량을 최소화시킬 수 있음</li> <li>○ 복합기능선박의 가장 큰 장점은 탄력적인 수송-주입 운영으로 향후 CCS가 전세계적으로 보편화 되면, 그 수요가 폭발적으로 증대될거라 예상됨</li> </ul> <p><b>[정책적 관점]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 파리기후협약('15년, 195개국)에 따른 대한민국의 탄소배출 감축 목표를 고려할 때, CCS 사업의 확대는 필수불가결 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대한민국은 2030년에 배출전망치(BAU)대비 37%를 의무적으로 감축해야 하는 상황</li> <li>- 2030년 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 및 2050년 국가 탄소중립 로드맵 목표 달성 계획 내 CCUS 기술을 통한 이산화탄소 감축 계획을 명시하고 있으나, 국내 지중 저장소를 활용한 본격적인 상용화는 2030년 전후로 가능할 전망</li> </ul> </li> <li>○ 지역적으로 흩어진 국내 다수의 포집원에서 포집된 CO<sub>2</sub>를 효율적으로 수송-저장하기 위해서는 탄력적 운영이 가능하고 추가적인 CO<sub>2</sub> 배출이 없는 수송-저장 체인이 필요하고, 이에 대한 기술적 대응은 선제적으로 이루어져야 함</li> </ul>	

## 2. 품목정의

### [최종목표]

- CO<sub>2</sub> 선상포집-수송-주입 복합기능선박의 설계 기술 개발

### [연구내용]

- 국외 주요 해양 CO<sub>2</sub> 저장소 현황 실태 조사
  - 국외 해양 고갈가스전/대염수층 운영 사례조사
  - CO<sub>2</sub> 선박을 활용한 국외 해양 CCS 프로젝트 현황 조사
- 포집 기술 및 선박 배출 CO<sub>2</sub> 포집 기술 조사 및 분석
  - 국내 CO<sub>2</sub> 포집 기술 현황 및 분석
  - 선박배출 CO<sub>2</sub> 포집기술 국내외 사례조사
- 국외 CO<sub>2</sub> 감축 방안 모색
  - Transboundary CCS에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석
  - 국외감축에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석
- 연소후 CO<sub>2</sub> 포집 기술의 선박 엔진 배가스에 적용
  - 국내외 선상 포집 기술 분석 및 복합기능선박에 차용가능한 선상 포집 기술 선정
  - 선정된 기술을 이용한 선박 엔진 배가스 내 CO<sub>2</sub> 포집 적용
  - 선박 내 폐열을 활용한 포집 에너지 저감 방안 도출
- 포집 CO<sub>2</sub>의 저장 및 관리를 위한 시스템 적용
  - 선상 포집 CO<sub>2</sub>의 압축 및 액화시스템 설계 기술 개발
  - 액화 CO<sub>2</sub>의 저장탱크 선상 배치 기술 개발
- 대규모 액체 CO<sub>2</sub> 선상 직접 주입 시스템 설계 기술개발
  - 선상 CO<sub>2</sub> 주입 시스템 공정 개념 설계
  - 주요 운전조건 및 핵심 성능 설정 및 PID 설계
  - 여러 가지 조건의 저장소에 대응이 가능한 주입 압력 및 유량 제어 기술 개발
  - 복합기능선박과 Subsea 시스템 체결 기술 개발
  - 선상 주입에 요구되는 계류시스템 해석 기법 개발
- HILS 프로그램을 통한 선상 CO<sub>2</sub> 주입시스템 검증
  - CO<sub>2</sub> 주입 관련 정상 작동 시 관련 장치 및 프로그램의 유기적 운영 상황을 확인할 수 있는 HILS 프로그램 제작.
  - 각 장치 및 프로그램의 비정상적 운영 시 장치 및 프로그램이 상호 제어될 수 있는 HILS 프로그램 제작.
  - 기타 HILS를 통해 사전 검증에 필요한 업무에 대해 장치 및 프로그램 업체와 기술협의 후 그에 맞는 HILS 프로그램 개발
- CO<sub>2</sub> 주입 선박 + 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시스템 복합 활용방안 분석
  - 허브 터미널 - 해양 저장시설 간 CO<sub>2</sub> Shuttle 운송 최적화 방안 및 민감도 분석



- Subsea Injection System 분석 및 Field Layout 작성
- 해양 CO<sub>2</sub> 주입기술 분석 및 경제적 정성분석
  - 플랫폼 활용 CO<sub>2</sub> 주입 기술 분석 및 경제적 정성 분석
  - Subsea 활용 CO<sub>2</sub> 주입 기술 분석 및 경제적 정성 분석
  - 복합기능선박 활용 CO<sub>2</sub> 주입 기술 분석 및 경제적 정성 분석

#### [개발위험 극복방안]

- 선상 CO<sub>2</sub> 포집 기술은 본 과제에서 직접 개발하지 않고, 현재 국내에서 진행중인 기술을 적용하는 형태로 진행될 예정
  - 국내에서 개발중인 기술의 적용이 어려울 경우, 해외에서 상용화된 장비의 차용을 고려

### 3. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 60개월 이내 (전체 개 사업 억원)

○ 기술료 :

○ 주관기관 :

관리번호	2022-CCS-품목1	
과제 유형	원천기술형( ),	혁신제품형( )
		실증형( )
연계/해당여부	표준화연계( ) 경쟁형R&D ( ) 공기업협력 ( ) 도전적R&D ( ) 초고난도R&D ( ) 복수지원대상 ( ) 안전관리형 ( )	
품목명	부유식 CO <sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시설의 설계 기술 개발 (TRL : [시작] 3 단계 ~ [종료] 5 단계)	
1. 지원필요성	<p><b>[필요성]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전 세계적인 온실가스 저감을 위한 파리기후협약('15년, 195개국)에 따라 대한민국은 '30년 배출전망치(BAU)대비 37%를 의무적으로 감축해야 함</li> <li>○ 국내에서는 중소규모 이산화탄소 지중저장 주입실증을 성공하였으며 지중저장 해상 플랫폼 개발을 완료하였음</li> <li>○ 국내에 이산화탄소를 포집해 저장할 수 있는 용량이 7억 3000만톤 규모로 조사되었으며, 각 저장소 위치별로 다수의 해상 플랫폼을 설치하기 보다는 부유식 CO<sub>2</sub> 임시저장-주입을 설치하여 탄력적으로 운영하는 방법이 효율적일수 있음</li> </ul> <p>※서해 : 군산분지, 흑산분지, 동해 : 한국대지, 울릉분지, 남해 : 현무암대지, 제주분지, 대륙붕소분지</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해상플랫폼 대비 부유식 임시저장장치와 주입시스템은 제작, 설치, 이동 및 유지비용이 저렴하기 때문에 다수의 지역에 사용이 가능한 장점이 있음</li> <li>○ 국내의 저장소 뿐만아니라 해외 저장소 등에서도 사용이 가능하여 국가 탄소 중립화에 빠르게 도달하는데 기여 가능</li> </ul> <p><b>[정책적 관점]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정부는 감축목표 달성을 위해 한국판 뉴딜 종합계획('20년 7월) 내 대규모 CCUS 통합실증 상용화 기반 구축을 마련 및 2050년 탄소중립 목표('20년 10월) 달성을 제시</li> <li>○ 소규모 해상 지중저장 주입 실증 후 상용규모 저장 실증을 위한 방법론이 제시됨에 따라 부유식 임시저장장치 및 주입시스템을 통한 동해 및 국외 저장소에서 동시에 사용할 수 있는 시스템 요구됨</li> </ul>	
2. 품목정의	<p><b>[최종목표]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시저장-주입 시설의 설계 기술 개발</li> </ul>	

## [연구내용]

- 부유식 CO<sub>2</sub> 해양 임시 저장장치 및 주입 시설 현황 조사 및 분석
  - 국내외 부유식 CO<sub>2</sub> 주입 시설 연구 사례 조사
- 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장장치 및 주입시스템 설계기준 개발
  - 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장을 위한 저장장치 선정(부유식, 부유체에 매달린 형식, 부유식 TLP, 해저식 등) 및 분석
  - 선급 혹은 API 등 국제 요건에 적합한 설계기준 개발 및 검증
  - 국내 법제화를 위한 설계기준 안 마련
- 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장장치 시스템 및 주입시스템 개발
  - 해양환경하중(파랑, 조류, 풍황 등) 통계 분석 및 산정
  - 통합하중 산정
  - 저장장치 시스템 최적(안) 도출
  - FSI(Fluid Structure Interaction) 해석기법 개발
  - 극한, 피로, 사고 한계에 따른 설계요건 및 해석기법 개발
  - 계류시스템 설계 및 해석기법 개발(저장장치 시스템 및 주입시스템)
  - 앵커링 및 파일링 시스템 설계 및 해석기법 개발
  - 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장장치 및 주입시스템 기본설계도서 작성
  - 해상 이송 및 설치를 위한 T&I 절차서 작성
- 부유식 CO<sub>2</sub> 임시 저장장치 및 주입시스템 핵심기자재 개발(선급 형식승인)
  - 임시저장장치 시스템 및 주입시스템
  - 주입시스템과 선박 간의 라인
  - CO<sub>2</sub> 저장 용량 산정 시스템
- 국외 CO<sub>2</sub> 감축 방안 모색
  - 국외감축에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석
- 해양 CO<sub>2</sub> 주입기술 분석 및 경제적 정성분석
  - 부유식 CO<sub>2</sub> 임시저장장치 시스템 및 주입시스템 활용 CO<sub>2</sub> 주입 기술 분석 및 경제적 정성 분석
- CO<sub>2</sub> 주입 선박을 활용한 사업 타당성 분석
  - CO<sub>2</sub> 주입 선박 사업 추진에 대한 정책, 법률, 환경요인 분석
  - CO<sub>2</sub> 주입 선박을 활용한 비즈니스 모델 제시

## [개발위험 극복방안]

- 주입시스템과 수송 선박 간의 다물체 운동해석을 통한 안정성 제시 필요

## 3. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 60개월 이내 (전체 개 사업 억원)

○ 기술료 :

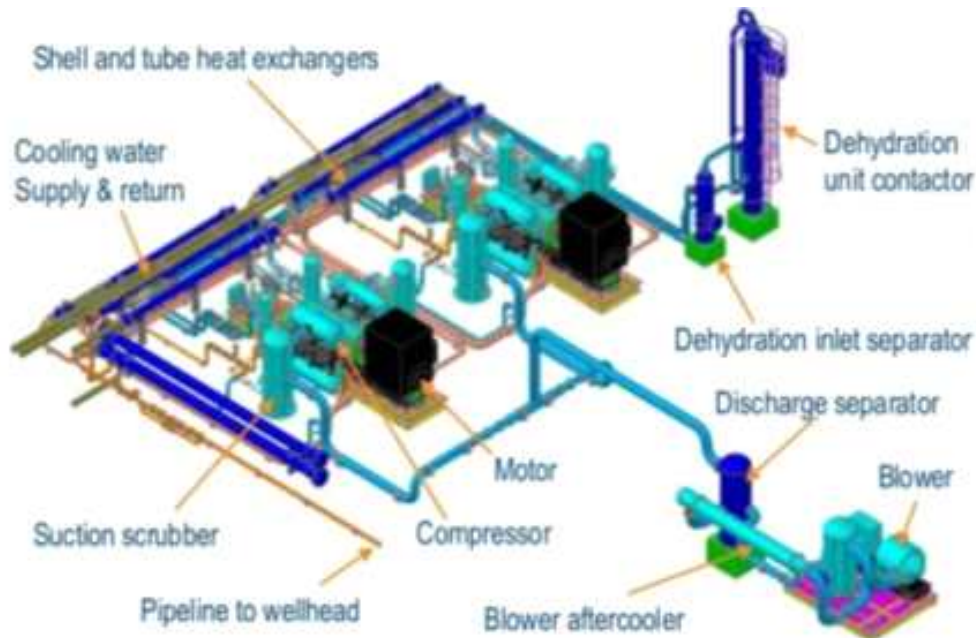
○ 주관기관 :

## 2 세부과제 구성 및 내용

### □ 주입 설비 기술

- 주입 설비 기술은 저장소가 위치한 해저면 근처의 저장 플랜트에서 포집되어 운송된 CO<sub>2</sub>를 주입정을 통해 심부 저장지층에 주입하는 설비를 설계하고 구축하는 기술임
- 주입 설비를 구성하는 핵심 요소단위는 압축기, 펌프, 승온기, 배관, 주입정 수두
  - 압축기는 기체를 압축하여 부피를 줄이는 설비이며, 기체상의 CO<sub>2</sub>를 초임계상으로 만드는데 사용되며, 압축과정에서 온도와 압력이 상승하는데 일반적으로 31℃, 74기압을 넘으면 기체 상태의 CO<sub>2</sub>가 초임계상태가 됨.
  - 현장 저장지층의 압력이 일반적으로 80기압을 초과하기 때문에 많은 경우에 초임계상으로 주입
  - 압축과정에서 병행되는 탈수공정은 포집된 CO<sub>2</sub>에 수분이 포함되어 있으면 운송과정이나 주입과정에서 하이드레이트화를 촉진하여 배관을 막아버릴 수 있기 때문에 특히 주입관에서 하이드레이트화는 중요한 문제가 될 수 있으며 이를 최소화하고 CO<sub>2</sub>의 초임계상을 주입설비에서 유지하기 위해 온도유지 및 승온장치를 설치
  - 펌프는 액체상의 유체를 운송하거나 위치를 바꾸는데 사용된다. 일반적으로 저압 상태에 위치하는 유체를 고압 상태의 위치로 운송하기 위해 에너지를 추가하여 압력 상태를 변화시키는 설비
  - 초임계상으로 CO<sub>2</sub>를 주입하는 경우에는 압축기와 별도로 펌프가 필요하며, 에너지 효율과 펌프의 안정성을 고려하여 펌프의 유형을 결정
- 압축된 초임계상의 CO<sub>2</sub>는 주입설비의 배관을 따라 이동하게 되는데 이 배관은 일반적인 장거리 수송 배관과는 다른 재질이 필요하며, 주입설비의 CO<sub>2</sub> 배관은 초임계 상태를 유지하고 부식을 방지하기 위해 부식 방지용 전용 배관이 필요
- 저류층의 압력 상태에 따라 주입압이 결정되고, 이에 맞게 펌프와 주입정 수두가 압력을 높여 원활한 주입이 가능
- 따라서, CO<sub>2</sub> 주입 펌프와 주입정 수두의 압력에 따라 저장지층에 대한 CO<sub>2</sub>의 주입성이 결정되기 때문에 주입 설비 가운데 주입정 수두의 압력 관리와 주입공 및 주입관 시설유지는 상당히 중요한 기술적 요소

[그림 5-1] CO<sub>2</sub> 주입 설비 플랜트 모식도



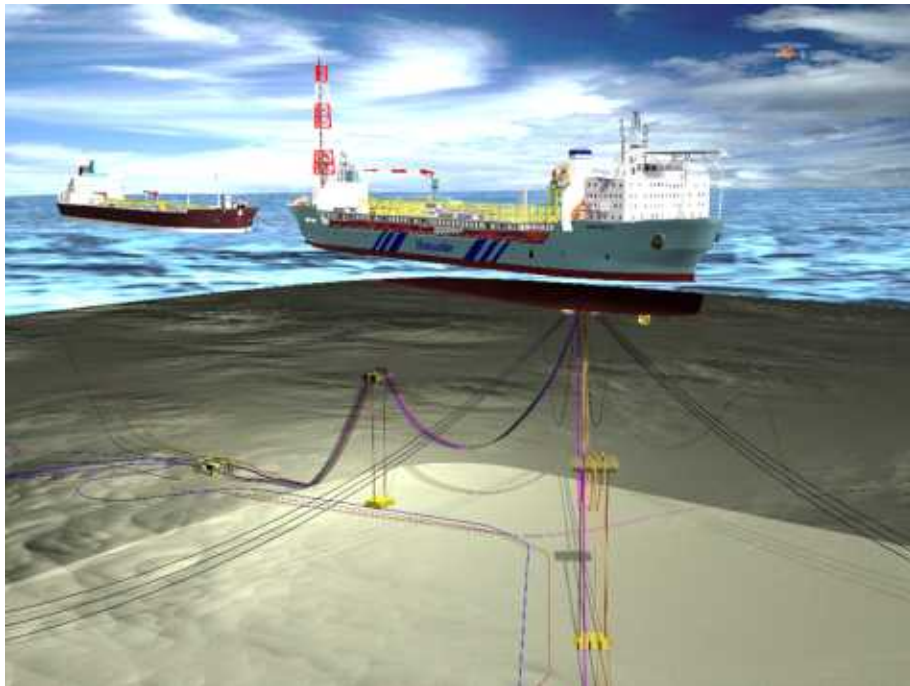
#### □ CO<sub>2</sub>Subsea 주입 플랜트 기술

- 주입 플랜트 기술은 주입설비 및 주입공이 플랜트 위에 설치되어야 하는 해저 지층저장 사업에 필요한 기술
  - 해상 플랫폼은 파도나 폭풍이 심한 해상에 장기간 설치되기 때문에 안전한 설치가 필요하고 혹독한 해양 환경에 견딜 수 있는 내구성과 구조적 안전성이 요구
- 또한 일정한 인원이 플랫폼 관리 및 주입설비 운영을 위해 상주할 필요가 있어 안락한 거주 공간도 중요한 설치 요소
- 해양 플랫폼은 CO<sub>2</sub>를 주입하는 저장소의 해상 기지이며, 주입공은 해양 플랫폼을 중심으로 근방에 여러 개가 설치되는 것이 일반적
- 해양 플랫폼에서 해저 주입공까지 주입배관이 설치되어야 하며, 주입공 위치에 주입정 수도인 크리스마스트리 가 해저에 설치
- 미래형 주입 플랜트 기술준 빼놓을 수 없는 것이 선진적 조선 기술과 결합된 FPSO(Floating Production Storage & Offloading) 형태와 같은 특수선을 활용하여 CO<sub>2</sub> 수송과 주입에 활용하는 기술
  - 해상에 존재하는 대규모 다공질 지층을 해저 저장소로 사용하기 위해서 막대한 예산이 소요되는 해저 배관이나 해양 플랫폼의 구축비용을 절감 할 필요
  - FPSO 형태의 CO<sub>2</sub> 운송 및 주입 특수선은 해저 저장소에서 원거리에 있는 포집원에서 해저배관을 설치하지 않고 직접 선박으로 CO<sub>2</sub>를 운송하여 해저 주

입설비에 연결하여 주입까지 수행하는 플랜트 복합설비(Windén et al., 2014)

- 현재 해저 주입설비와 FPSO 형태의 CO<sub>2</sub> 운송 및 주입 특수선의 연결 기술이 완성되지 못해 연구개발 단계이지만, 해양 플랜트 기술이나 조선 기술의 발전 속도로 보아 빠른 시간 내에 극복될 것으로 예측
- 이 기술이 상용화되면 막대한 비용이 소요되는 해저배관과 해양 플랫폼을 설치하지 않고 CO<sub>2</sub> 해저 지중저장 사업을 수행할 수 있게 되어 지중저장 사업의 경제성을 획기적으로 개선시켜 줄 것으로 기대
- 액체 CO<sub>2</sub>의 해저 저장 후 저장된 액체 CO<sub>2</sub>의 밀봉, 제어 및 모니터링을 위한 액체 CO<sub>2</sub>용 X-MAS를 개발하여 설치

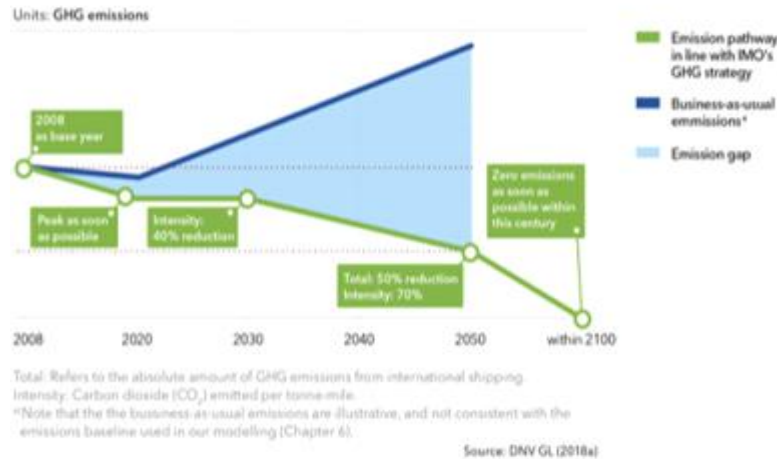
[그림 5-2] FPSO 형태의 CO<sub>2</sub> 수송 및 주입을 위한 플랜트 구축



## □ On-Board CCS 기술

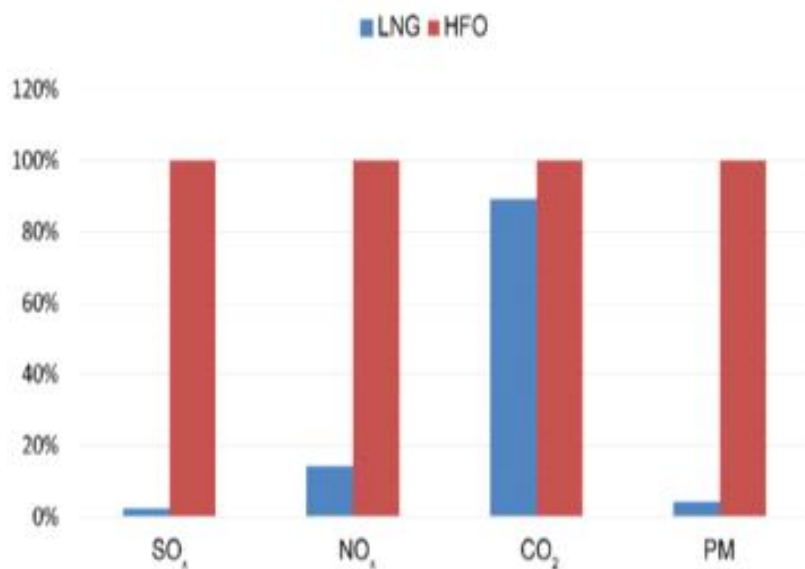
- 국제해사기구(IMO)는 2020년부터 시작된 황산화물 배출 규제에 이어 2050년까지 선박기인 온실가스 배출량을 2008년 대비 50% 감축시키는 목표를 세우고 있음

[그림 5-3] IMO 선박배출 CO<sub>2</sub> 감축 목표



- 해운 및 조선 업계는 온실가스 배출 감축 조건을 충족시키기 위해 다양한 기술을 개발 및 연료를 전환 중이며, 그 중 대표적인 방법으로 선박의 연료를 LNG로 변경하여 LNG 추진선을 적극 도입하고자 함
- LNG 추진 시, 기존의 추진 방식보다 CO<sub>2</sub> 배출량은 다소 감소하지만 여전히 많은 양의 CO<sub>2</sub>는 대기 중으로 배출됨

[그림 5-4] 선박 연료(HFO, LNG)에 따른 배출량 비교





- 따라서 선박 배출 탄소의 직접적인 포집(onboard CCS)을 적극적으로 고려할 필요가 있음
  - 유럽과 일본의 조선해운업계에서는 선상 CO<sub>2</sub> 포집을 위하여 실선 실증을 계획하고 있음

[그림 5-5] 선박에서의 탄소포집 1

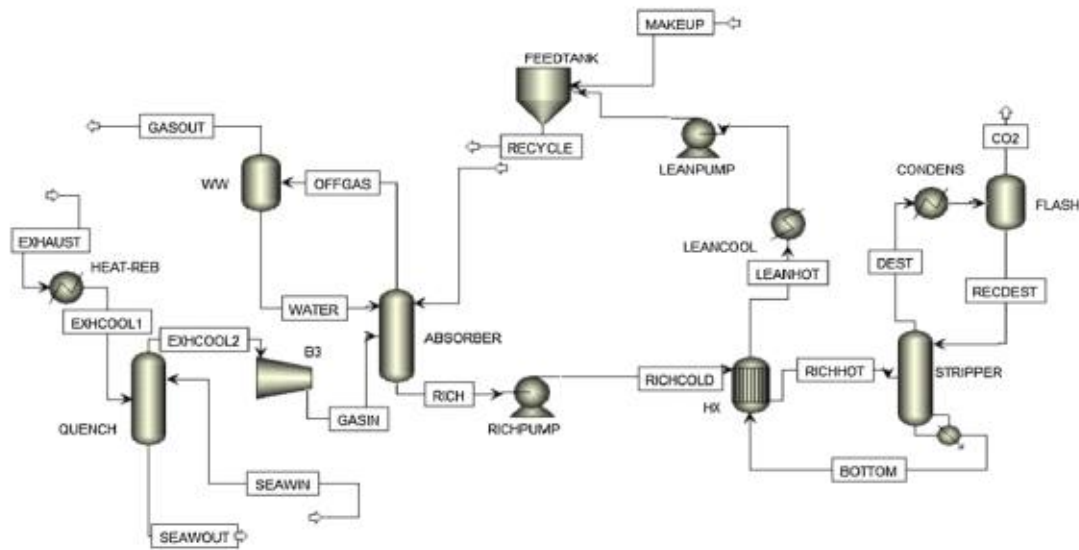


[그림 5-6] 선박에서의 탄소포집 2



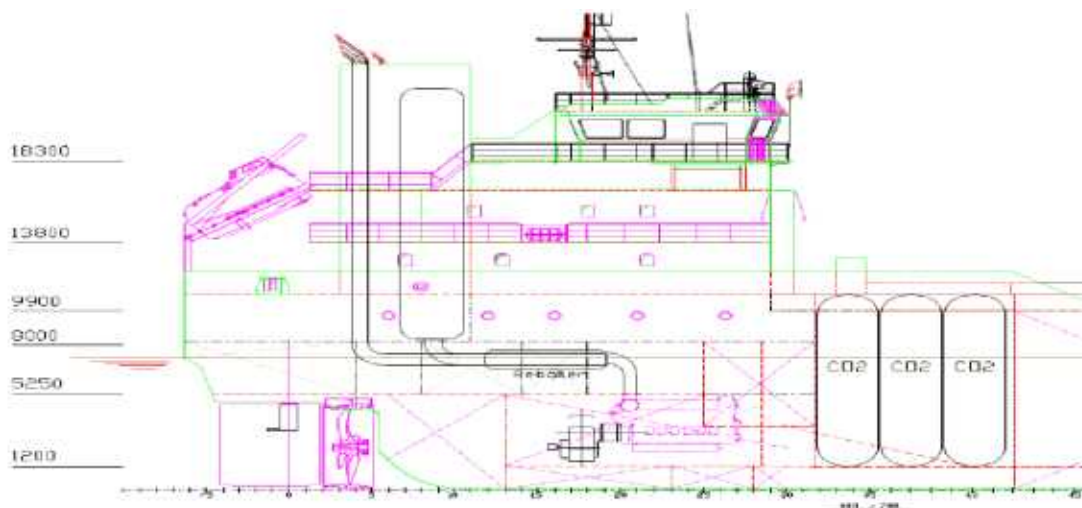
- 선박에서의 탄소포집은 연소후 포집공정이 주로 적용되고 있음
  - 흡수제(Amine 등)를 사용하여, 배기가스 내의 CO<sub>2</sub>를 포집하는 방법이 주로 적용되고 있으며, 흡착 또는 Membrane을 이용한 포집 방법도 일부 연구개발 단계로 검토되고 있음

[그림 5-7] 연소후 포집공정을 적용한 선박에서의 탄소포집



- 흡수탑(Absorber Column) 하부로 유입된 배기가스의 CO<sub>2</sub>는 흡수탑 내부의 Amine Solvent와 반응
- 흡수탑은 약 40~60 °C의 온도 범위에서 운전됨
- CO<sub>2</sub>가 포함된 흡수제(CO<sub>2</sub> Rich Stream)는 재생탑으로 주입됨
- 재생탑에서 Re-boiler의 Heat Duty로 흡수제와 CO<sub>2</sub>는 분리됨
- 재생탑의 운전 조건은 약 100~120 °C, 170~200 kPa임
- 선박에 적용된 탄소 포집설비는 아래와 같이 배치되며 항행 중 포집된 CO<sub>2</sub>는 액화과정을 거쳐 선상에 일시 저장됨

[그림 5-8] 선상에서의 탄소 포집공정 배치안



### 3 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 체인의 비용 비교

#### □ 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 비용 분석의 개요

- 다양한 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 프로젝트의 체인 구성 중 아래와 같은 대표적인 체인 3종에 대해 비용 도출 및 비교
  - Case1: 통상적인 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 체인
  - Case2: 부유식 CO<sub>2</sub> 임시저장소 및 주입시스템 활용
- 도출된 비용은 문헌 분석, 전문가 의견 등을 바탕으로 제시된 결과임. 기본 설계안을 바탕으로 비용을 산정해야 비교적 정확도 높게 추산이 가능하지만, 현재까지 개념설계도 이루어지지 않아 대략적 추산 결과임

#### □ 가정된 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 체인의 주요 수송 조건

- 저장소 위치: 호주 Hay Point
- 연간 수송량: 3MtCO<sub>2</sub>
- 국내 항만 터미널 위치: 울산항
- 저장소까지의 거리: 3,917 km
- 1회 운항 시간: 17일 (터미널 소요 시간 포함)
- 선박 용량 및 척수: 51,000 m<sup>3</sup> 용량 3척
- 터미널 CO<sub>2</sub> 저장 용량: 약 60,000 m<sup>3</sup>

#### □ 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 체인별 비용 비교

[표 5-1] 선박이용 CO<sub>2</sub> 수송-주입 체인별 비용 비교

(단위: 억원)

	통상적인 선박이용 CO <sub>2</sub> 수송-주입		부유식 해양 CO <sub>2</sub> 주입 시스템	
	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX
국내 항만 터미널	4,330	2,528	4,330	2,528
선박 (3척 기준)	3,041	6,204	3,041	6,204
해외 항만 터미널 (국내 항만 터미널과 같다고 가정)	4,330	2,528	N/A	N/A
부유식 임시 저장소 및 주입 설비	N/A	N/A	5,672	3,792
해저파이프	723	752	N/A	N/A
합계	12,424	12,012	13,043	12,524
CAPEX+OPEX	24,436		25,567	

- \* OPEX의 경우 20년간 운영-유지비용의 합임
- \* 국내 항만 터미널의 CAPEX는 임시저장 Tank, 주요 장비, 적하역 시설, 부지 공사비, 예비비의 합으로 산정
- \* 국내 항만 터미널의 OPEX는 펌프 및 유틸리티의 전력사용량, 인건비로 산정
- \* CO<sub>2</sub> 선박의 경우 CAPEX 선박크기에 따른 모델링 수치 및 CO<sub>2</sub> 탱크 값의 합으로 산정
- \* CO<sub>2</sub> 선박의 경우 OPEX 선박 연료비로 산정
- \* 부유식 임시 저장소 및 주입 설비의 경우 국내 항만 터미널 가격에서 부지 공사비를 제외한 나머지 비용의 1.5배로 가정
- \* 해저 파이프 비용의 경우 문헌 모델링 수식 차용