



해양수산부



해양수산과학기술진흥원
Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion

선박연료용 e-메탄올 해상 생산플랜트 및 운영 기술 개발

2024. 7. 5. (금)



Smart Move Green Ocean Infinite Challenge

선박해양플랜트연구소
연구전략본부장 신승호



CONTENTS

—
I 연구개발계획

II 추진체계

III 성과활용계획

I

연구계획

- 1) 연구개발 개요
- 2) 연구개발 배경/동향
- 3) 연구개발 목표/내용
- 4) 선행연구와의 차별성
- 5) 연구개발 로드맵

사업명

선박연료용 e-메탄올 해상 생산플랜트 및 운영기술 개발

사업기간

2024.04.01 ~ 2028.12.31 (57개월)

사업지원
/전문기관

해양수산부 / 해양수산과학기술진흥원

주관연구기관

한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

참여연구기관(17)

두산에너지빌리티, (주)동양엔지니어링, (주)로우카본, (주)울산랩, (주)코스, (주)지필로스
고등기술연구원, 한국과학기술원, 한국화학연구원, 한국해사협력센터, 서울대학교,
충남대학교, 한국에너지공과대학교, 동명대학교, 부산대학교, 아주대학교, 인천대학교

사업비

297.8억원 [정부출연금 260억원, 민간부담금 37.8억원(현금 4.6억원, 현물 33.2억원)]

최종목표

포집된 CO₂ 및 해양재생에너지 연계 수소 기반 e-메탄올(e-Methanol) 해상 생산 플랫폼
설계·운영기술 개발과 e-메탄올 생산 실증

I 연구개발 배경

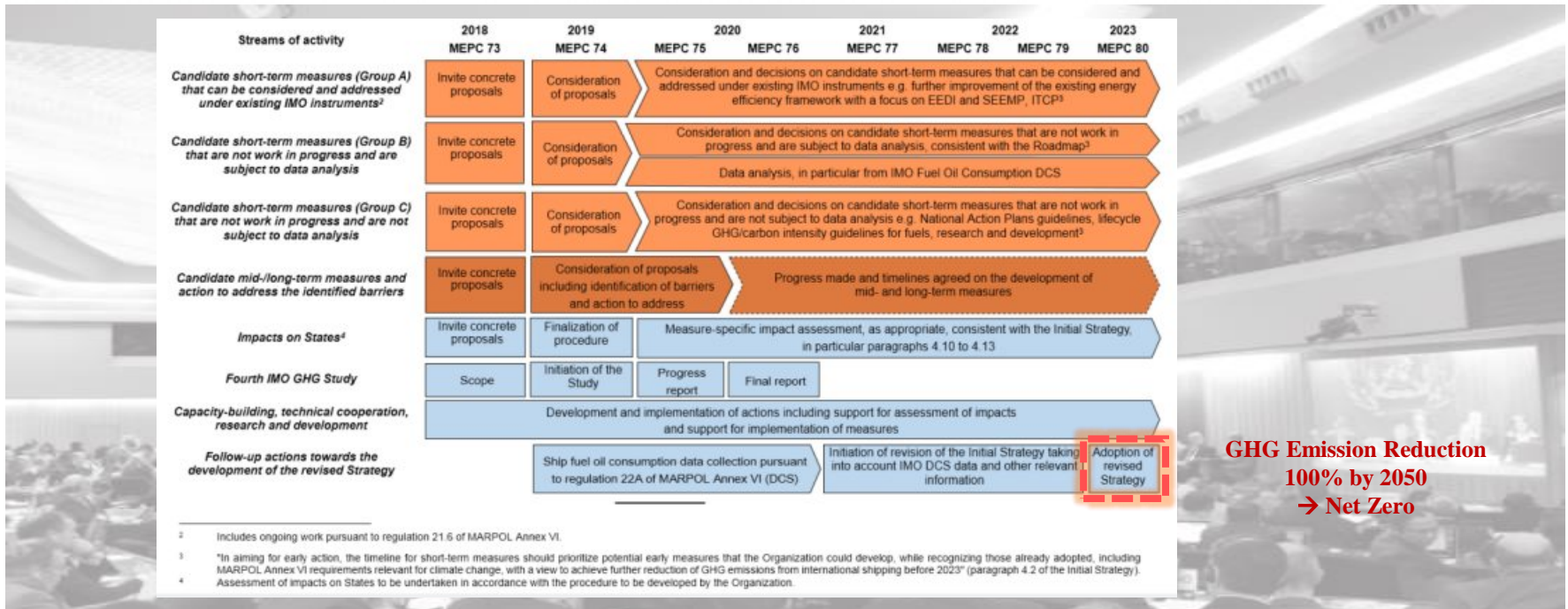
>>> 글로벌 온실가스 정책 동향

UN

(2015년) 파리기후변화 협약 → 지구 평균온도 상승 폭을 산업화 이전 대비 2°C이하로 유지 하기 위한 국제협약
 (2021년) 글래스고 기후조약 → 석탄 발전 단계적 폐기
 (2022년) 2030 국가온실가스감축목표(NDC) → 지구온도 1.5 °C이내 상승 억제로 수정

IMO

(2011년) 선박의 온실가스 배출량 감축을 위한 국제해운 에너지 효율성 개선 의무조치 결의서(MEPC.203) 채택
 (2018년) 국제해운 온실가스 배출 총량 감축(2050년까지 최소 50%) 및 온실가스의 단계적 퇴출 촉구(MEPC.304)
 (2020년) MEPC 75차 회의 : 현존선 에너지 효율 규제(EEXI, CII) 도입, '23.1. 발효
 (2023년) MEPC 80차 회의 : 2030 선박 온실가스 감축전략 채택 (2050년 온실가스 순 배출량 100% 감축)



[Initial IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships]

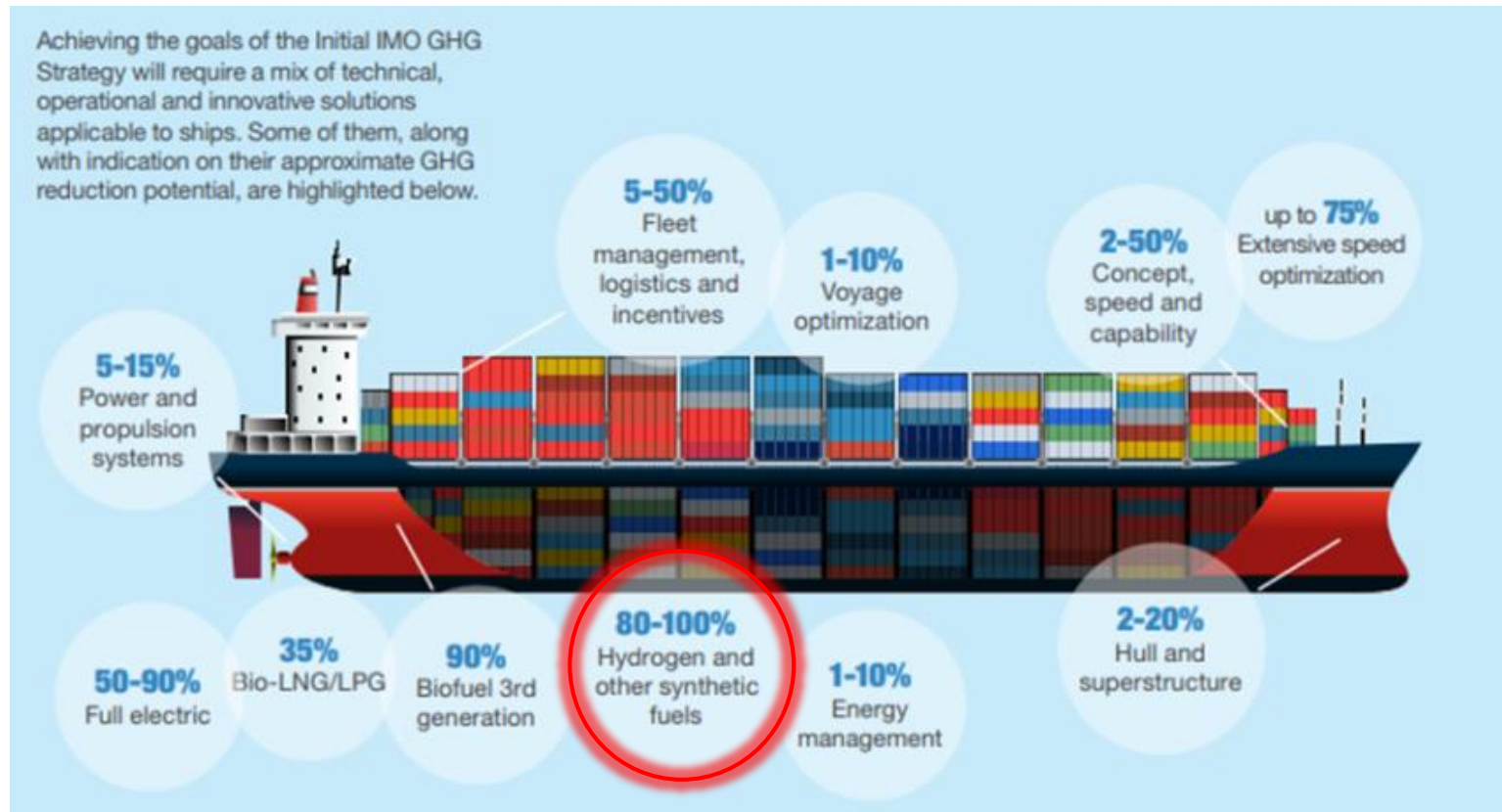
| 연구개발 배경

>>> 글로벌 온실가스 정책 동향

해운업계

감속 운항, 선박에너지효율 개선 등의 기술적 조치
엔진 부하를 10% 수준 감소시킴으로 연료 및 이산화탄소 배출량의 10%~30% 감축(Maersk, 2009)

- 화석연료 추진 선박의 운항 효율 개선만으로는 IMO 온실가스 감축 목표('50년 Net Zero) 달성 불가능
- 이산화탄소 배출량이 적은 저탄소 및 무탄소 대체 연료의 도입이 필수적임



연구개발 배경

>>> 선박용 대체연료

해운업계

대체연료는 저탄소 연료(LNG, LPG, 메탄올)와 무탄소 연료(수소, 암모니아)로 분류
 대체연료 중 현재 직접 적용이 가능한 연료는 메탄올이 유일함

- 메탄올 연소는 기존 선박 연료에 비해 **황산화물 배출 99%, 질소산화물 배출 80%, 온실가스를 25% 감소**
- 상온에서 액체로 존재하고 **기존 내연기관 선박의 개조를 통하여 사용가능**
- 적용을 위한 **관련 규정 존재**(MSC.1/Circ.1621 Interim Guidelines for The Safety of Ships using Methyl/ethyl Alcohol As Fuel)
- 23년 발주 대체연료 추진선박 **298척 중 메탄올 추진선박은 138척으로 46%** (LNG추진선박은 130척)

APPENDIX: VESSEL CONSIDERATIONS

Onboard vessel implementation risks need to be mitigated for fuel pathway options to become viable at large scale

Implementation risks address either uncertainty/lack of information or needed development in a particular area

- Risks can be seen for fuels like bio-oils where there is lack of information to confirm implementation is possible, for example, the impact of bio-oils on engines and fuel supply
- Other are related to known risks that need to be mitigated through the development of a technology, system or regulation

Low risk Medium risk High risk



*compared to LSFO

Page 55

글로벌 대체연료 추진선 발주 (단위=척)



*신규 건조 · 개조 물량 합산, LNG · 메탄올 운반선은 집계에 미포함.
 자료=노르웨이 선급협회(DNV)

I 연구개발 동향

>>> e-메탄올 연구동향

국외 연구동향

재생에너지(풍력, 태양광 등) 기반 e-메탄올 플랜트 개발사에서 원천기술 개발 진행중
e-메탄올 실증 연구 및 e-메탄올 플랜트 건설 중

Country	Company	Startup year	Capacity (t/y)	Feedstock
Iceland	CRI	2011	4,000	CO ₂ & H ₂ From water electrolysis
China	Dalian Institute of Chemical Physics	2020	1,000	CO ₂ & H ₂ From water electrolysis
Sweden	Liquid Wind	2023	45,000	CO ₂ & H ₂ From water electrolysis
Norway	Joint Venture/CRI	2024	100,000	CO ₂ & H ₂ From water electrolysis
Belgium	Consortium at the port of Ghent	-	8,000	CO ₂ & H ₂ From water electrolysis



[CRI사의 메탄올 생산플랜트]



[Liquid Wind사의 생산플랜트 개념도]



[중국 DICP 태양광 발전 및 e-메탄올 생산 Pilot]

연구개발 동향

>>> 국내동향

국내정책

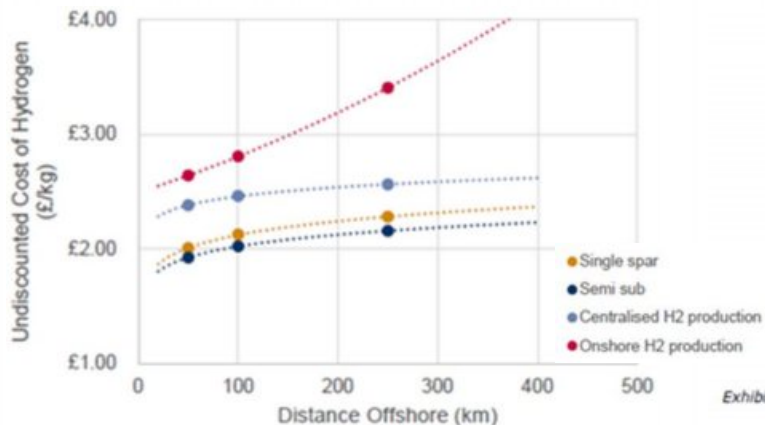
국내 IMO 대응을 위한 다양한 친환경 정책 추진중 (2020년 “2050년 탄소중립 선언”)
탄소중립 정책 추진을 위한 2050 탄소중립위원회 출범(2021년) → 2050 탄소중립녹색성장위원회로 변경 (대통령 직속)

- 2050 탄소중립녹색성장위원회는 2023년 5차회의에서 “청정메탄을 신산업 창출 전략” 의결
- “청정메탄을 신산업 창출 전략”에서 **2030년까지 50만톤 청정메탄을 생산목표 발표**
- 청정메탄올은 bio-메탄올과 e-메탄올로 분류될 수 있으며 2030년 **bio-메탄올의 최대 생산량은 약 16만톤**으로 예상
- 50만톤 청정 메탄올 목표달성을 위해서는 **e-메탄올 생산 기술의 확보가 중요(30만톤 이상)**

문제점

재생에너지 기반의 수소(H2) 대량생산을 통한 수소가격 하락 필요

- e-메탄올 생산 비용의 약 80~90%는 그린수소 생산비용임
- 우리나라의 다양한 재생에너지원들 중 **성장 잠재력이 가장 높은 재생에너지원은 ‘해상풍력’**임
해상풍력을 이용하여 **육상보다 해상에서의 수소를 생성하는 것이 더욱 경제적**임



[Dolphyn 프로젝트]

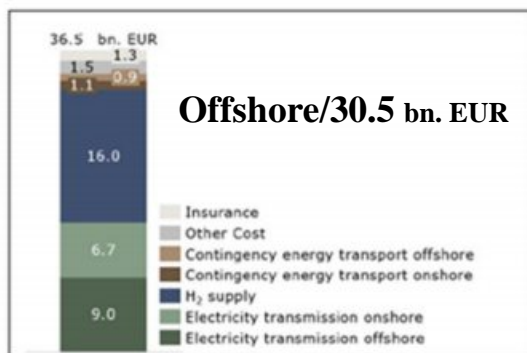


Exhibit 9: Total system cost submarine cable & onshore hydrogen generation (reference year of technology costs 2021)

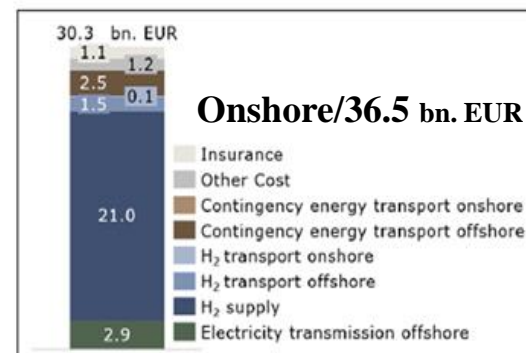


Exhibit 11: Total system cost of offshore hydrogen production & pipeline transport (reference year of technology costs 2021)

[AquaVentus 프로젝트]

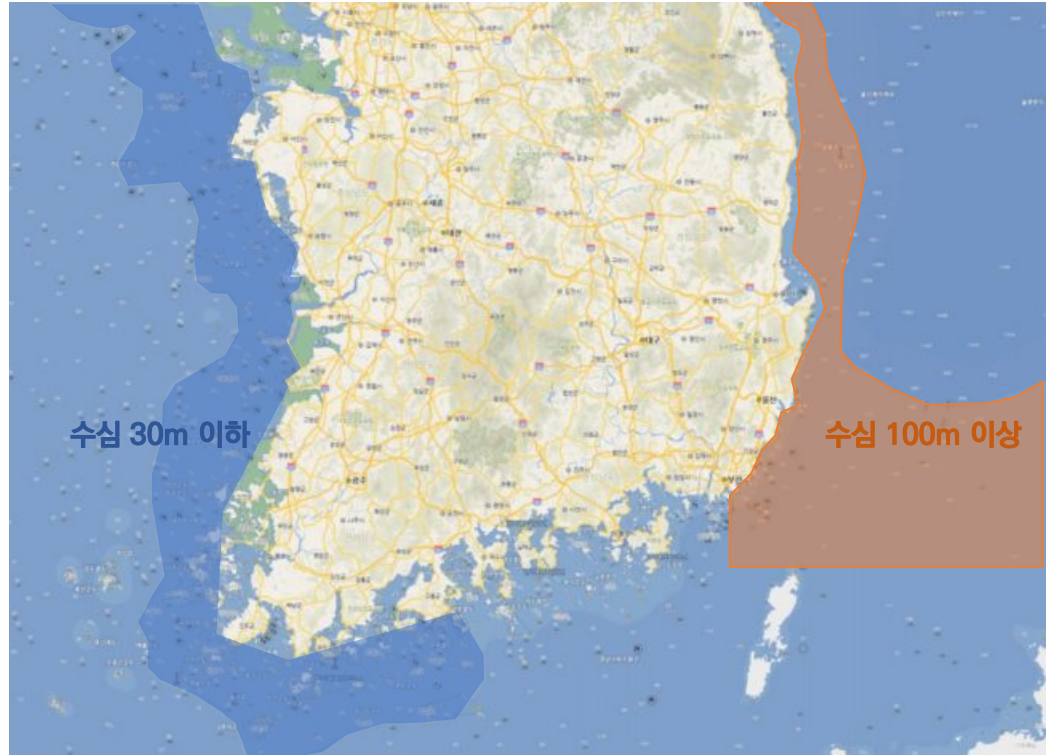
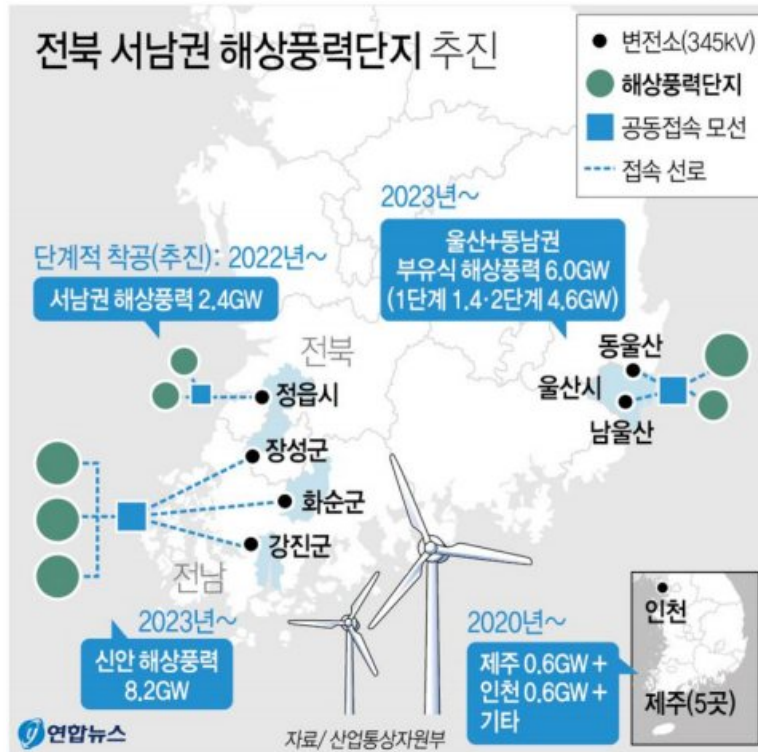
| 연구개발 동향

>>> 국내동향

해상풍력 개발현황

서남해 해상풍력 개발사업(2.4GW)
울산 부유식 해상풍력발전 단지(6.0GW)

- 국내 해상풍력단지는 서남해와 울산을 중심으로 사업이 진행되고 있으며 **서남해는 고정식, 울산은 부유식으로 진행**
- **해상풍력 및 기타 신재생에너지 활용과 연안조건(수심 등)에 맞는 플랫폼 설계 필요**



— 연구개발 목표

포집된 CO₂ 및 해양재생에너지 연계 수소 기반 e-메탄올(e-Methanol) 해상 생산플랫폼 설계·운영기술 개발과 e-메탄올 생산 실증



— 연구개발 목표

포집된 CO₂ 및 해양재생에너지 연계 수소 기반 e-메탄올(e-Methanol) 해상 생산플랫폼 설계·운영기술 개발과 e-메탄올 생산 실증

01. e-메탄올 해상 생산플랜트 설계 및 운영기술 개발

- >>> 국내 연안 및 해양 재생에너지를 고려한 3 Type 해상 생산플랜트 설계
- >>> e-메탄올 해상 생산플랜트 운영기술 개발
- >>> e-메탄올 해상 생산플랜트 기술 표준화
- >>> DAC(Direct Air Capture)용 고성능 흡착제 개발

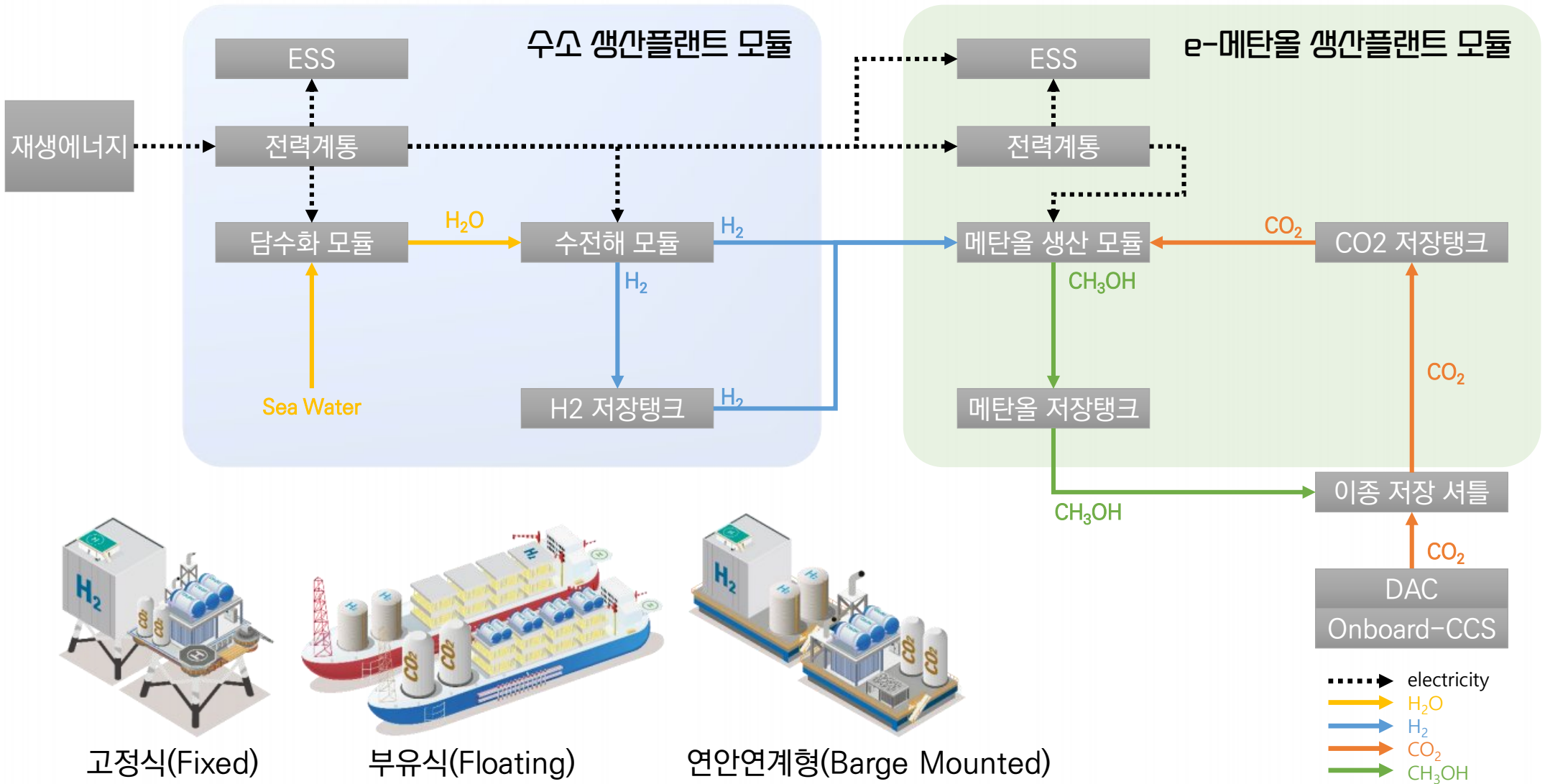
02. e-메탄올 생산플랜트 공정개발 및 실증

- >>> 메탄올 합성 촉매 활성화 및 안정성 개선
- >>> 메탄올 합성을 위한 1m 반응기 설계
- >>> 파일럿 플랜트 구축 및 실증
- >>> 상용플랜트 기본설계 패키지 개발

3) 연구개발 목표/내용

— 연구개발 대상 (e-메탄올 해상 생산플랜트 설계 및 운영기술 개발)

1. 해양재생에너지 활용 및 연근해 환경을 고려하여 3가지 형식의 해상 생산플랜트
2. 전력계통, 저장 공간 등의 공간활용을 고려하여 모듈로 구성된 해상 생산플랜트 (e-메탄올 생산량 : 30만 톤/년)



I 모듈형 e-메탄올 해상 생산플랫폼의 필요성

1. 저장공간

- >>> e-메탄올 30만톤을 만들기 위해서는 필요한 수소와 이산화탄소는 각각 6.3만톤, 39만톤임
- >>> 부피로 환산할 경우, e-메탄올, 수소, 이산화탄소는 378kCBM, 3,150kCBM, 354KCBM임

	e-메탄올	H ₂	CO ₂		밀도(kg/m ³)
비율(Weight)	1.00	0.21	1.30	e-메탄올	791.8
용량(Ton)	300,000	63,000	390,000	(압축)수소	20.0
탱크 부피(m ³)	378,884	3,150,000	354,223	(액화)이산화탄소	1,101.0

2. 생산플랜트 규모

- >>> e-메탄올 생산플랜트 면적(3만톤/년 상용플랜트 10개 배열) : 260,000m²
 - 3만톤/년 상용플랜트 예상 면적 26,000m²
 - 유틸/증류탑/컨트롤룸 등 고려(Factor 2로 가정)



[선박해양플랜트 개발 220kCBM FLBT 개념도]

● 220kCBM FLBT

	Dimension
LBP	326.0 [m]
Breadth	60.0 [m]
Depth	32.7 [m]
Deck Area	195,560 [m ²]
탱크용량	220 [kCBM]

FLBT보다 더 큰 면적 및 공간이 필요

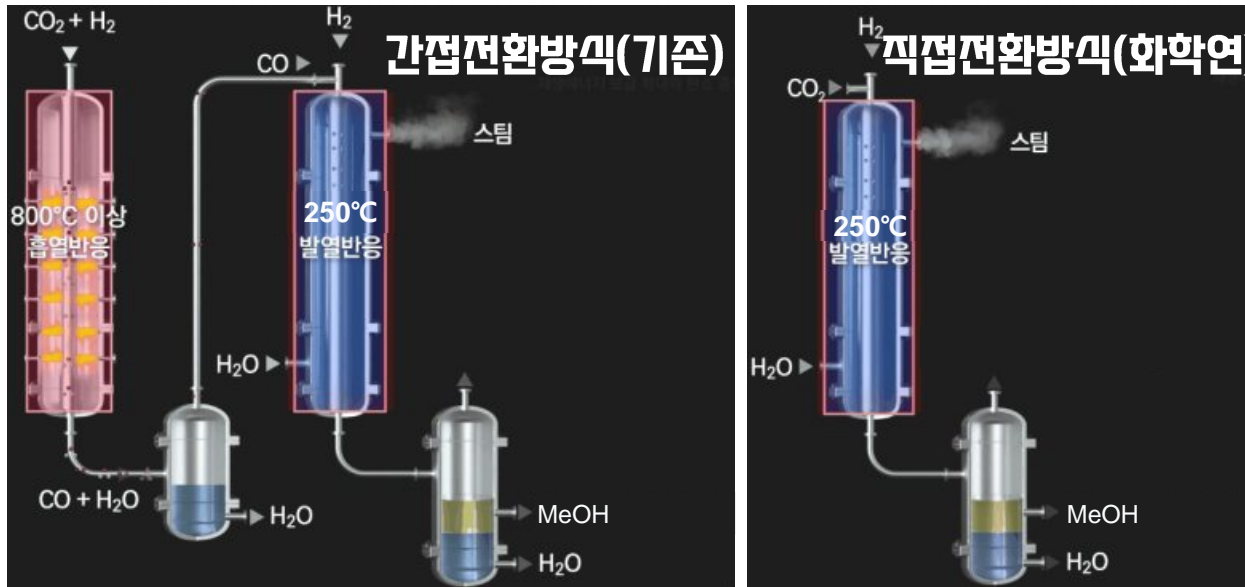


단일 해상구조물로 구성 불가 / 모듈형 필요

3) 연구개발 목표/내용

— 연구개발 대상 (e-메탄올 공정기술 개발 및 실증)

1. e-메탄올 생산을 위한 **촉매 개발 및 안정화**를 통한 **파일럿 플랜트 구축 및 실증**
2. 해상 e-메탄올 생산플랜트 적용을 위한 **상용플랜트 기본설계 패키지 개발(3만톤/년)**



전환방식	장 점	단 점
간접법	높은 per pass 수율	추가 열원 필요
직접법	높은 에너지 효율	촉매개발 필요

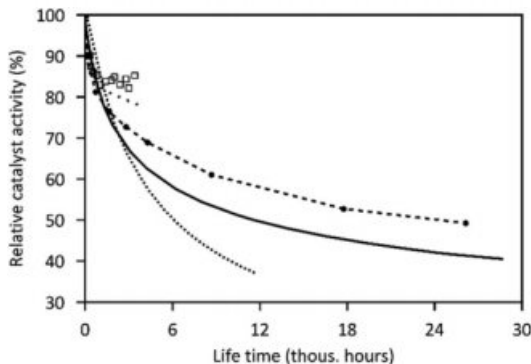


I 직접 전환 방식의 필요성

1. 에너지 효율성

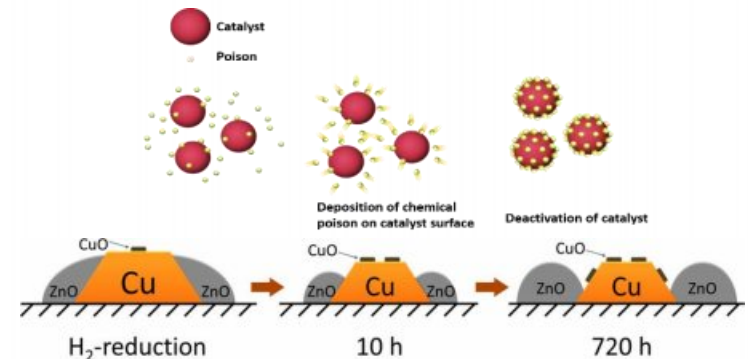
- >>> 직접 전환 방식은 간접 전환 방식에 비하여 **에너지효율이 높아 에너지 공급이 제한적인 해상에서 적절함**
- >>> 간접 전환 방식은 800°C 이상의 고온 반응이 요구되므로 **천연가스 혹은 수소와 같은 추가적인 열원 필요**
- >>> 반면, 직접 전환 방식의 경우, 미정제 메탄올 중 물(H₂O)함량이 높아 **메탄올 촉매의 효율성이 떨어지므로 신규 촉매 개발 필요**

구분	경로	장점	단점
직접 전환	CO ₂ 수소화 메탄올 (CO ₂ 1단계 수소화)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 에너지 효율 (상대적 높음) ▪ 탄소 저감 효과 (상대적 높음) ▪ 경제성(상대적 높음) ▪ 수소 공급량 변화에 대응이 용이 (Start-up 시간 짧음) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기술적 리스크 큼 - 촉매 안정성 (미정제 메탄올 중 물 함량 높음)
간접 전환	CO ₂ 수소화 (역수성가스 전환반응) → 합성가스 → 메탄올 (CO ₂ 2단계 수소화)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기술적 리스크 적음(기존 상용 기술의 적용) - 단, 역수성가스 공정의 상용화 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 에너지 효율 (상대적 낮음) ▪ 탄소 저감 효과 (상대적 낮음) ▪ 경제성 (상대적 낮음) ▪ 수소 공급량 변화에 대응이 어려움 (Start-up 시간이 김)



[Deactivation curves of commercial methanol catalysts.]

Description	Ref.
Typical deactivation curve for commercial methanol catalysts, adapted from Hirotsani et al.	117
CO ₂ -feed gas tests with CuO/ZnO/ZrO ₂ /Al ₂ O ₃ /Ga ₂ O ₃	124
Deactivation model fitted to a 295 t/d Lurgi plant	129
CO ₂ -feed gas tests with Cu/ZnO/ZrO ₂ /Al ₂ O ₃ /SiO ₂ (50 kg/day test plant)	116
Haldor Topsøe MK-101, industrial plant	130



[The Structure Changes of CuZnAl Catalyst at Different Stages]

4) 선행연구와의 차별성

— 선행연구

1. 메탄올 생산 분야

- >>> CO₂로부터 메탄올 생산 기술개발을 위한 파일럿 플랜트(50kg/day) 설치/운전 (화학연구원, 2012)
- >>> 천연가스로부터 10ton/day급 고효율 메탄올 생산기술을 실증(화학연구원, 2015)
- >>> 10ton/day급 실증을 통하여 3,000ton/day급 상용 플랜트 기본 설계 패키지 설계(화학연구원, 2017)
 - ➔ 천연가스 기반의 메탄올 생산 기술 및 실증으로 e-메탄올 관련 연구 없음

2. 해상 생산플랜트

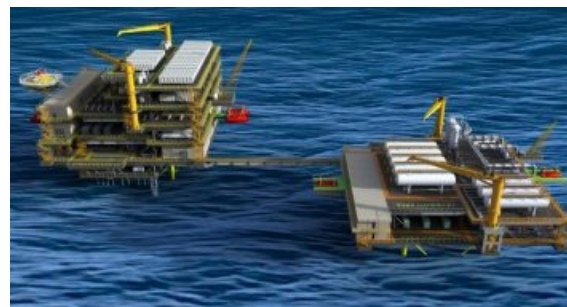
- >>> 암모니아 생산 해상플랫폼 국내 첫 AIP 획득(선박해양플랜트연구소, 2023)
 - ➔ 생산공정 중심 설계기술 개발 및 AIP, 암모니아 생산에 한정하고 있으며 고정식 플랫폼을 대상으로 함

3. 해양구조물 분야

- >>> 부유식 LNG 벙커링 설계 기술 개발(선박해양플랜트연구소, 2018)
 - ➔ 벙커링을 위한 다중부유체 해석 및 연계 연구를 진행하였으나 일시적인 다중 부유체의 연계 관점의 연구 수행
 - ➔ 지속적인 위치 유지, 전력 및 가스의 이송에 대한 연구를 진행한 사례 없음



[천연가스 기반 메탄올 생산기술 개발 이력]



[암모니아 생산 해상플랫폼 개념도]

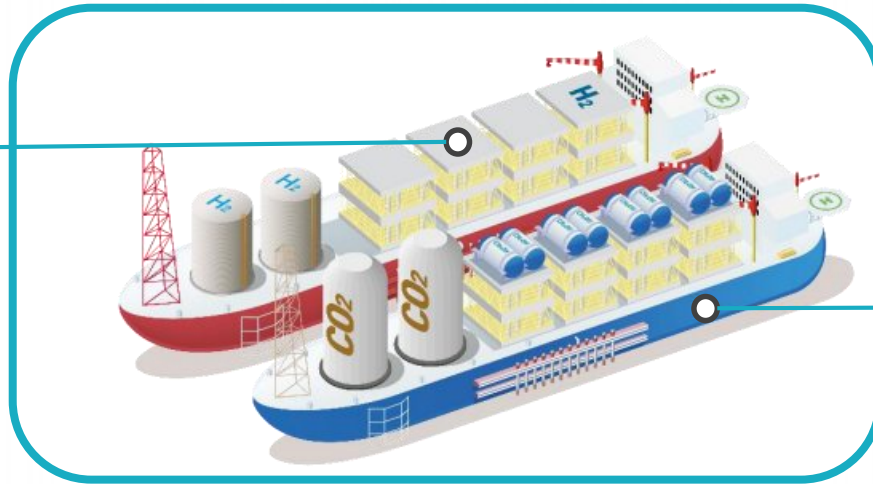


[FLBT 개념도]

1.1. e-메탄을 해상 생산플랜트 설계 및 운영기술개발 (국제표준화)

상부구조물(Topside)

- e-메탄을 공정 설계
- 운영가이드라인 개발
- 경제성/위험성/환경영향성 분석
- 국제표준화 문건 제안



하부구조물

- 3 Type 하부구조물 설계
- 부유식 하부구조물 운동성능 평가
- 부유식 하부구조물 계류성능 평가
- AIP 획득

1차년도(2024)

목표 / 개념정립 및 BOD 작성

- 상부(Topside) 개념 정립
- 상부(Topside) BOD 작성
- 하부구조물 BOD 작성
- 운영시나리오 초안 작성
- 경제성/위험성/환경영향성 분석 및 요소 도출
- 국제표준화 대응 준비

2차년도(2025)

목표 / 개념설계

- 상부(Topside) 개념설계
- 하부구조물 개념설계
- 개념설계(안) 운동성능 평가
- 운영시나리오 보완
- 경제성/위험성/환경영향성 분석(완성도 30%)
- 국제표준 동향분석

3차년도(2026)

목표 / 기본설계

- 상부(Topside) 기본설계
- 하부구조물 기본설계
- 기본설계(안) 운동성능 평가
- 운영시나리오 보완
- 경제성/위험성/환경영향성 분석 (완성도 50%)
- 국제표준화 전략 수립

4차년도(2027)

목표 / 설계 보완 및 성능평가

- 상부(Topside) 상세설계 및 AIP획득
- 상부(Topside) 상세설계 고려 하부구조물 설계 보완
- 보완설계(안) 운동성능 평가
- 운영가이드라인 작성
- 경제성/위험성/환경영향성 분석(완성도80%)
- 국제표준화 문건 초안 작성

5차년도(2028)

목표 / AIP 획득

- 대용량/대형화 메탄올 공정 반영 설계 보완
- 상부구조물 반영 해상 생산플랜트 AIP 획득
- 경제성/위험성/환경영향성 분석(완성도100%)
- 국제표준화 문건 제안 (NP4)

1.2. e-메탄올 공정기술 개발 및 실증

e-메탄올 합성촉매 개발
 e-메탄올 합성 신규 촉매 1종 이상
 대량생산을 위한 양산 레시피



e-메탄올 생산 상용공정 패키지 개발
 30 kTA급 e-메탄올 생산 상용 공정 패키지
 e-메탄올 생산 공정 기술경제성 분석

1차년도(2024)

목표 핵심요소 연구

- 메탄올 합성촉매 활성 개선
- 촉매 제조/성형법 연구
- 단관 반응기 제작
- 파일럿 플랜트 부지 검토
- 해상 e-메탄올 제조공정 특성 분석

2차년도(2025)

목표 파일럿 플랜트 기반 구축

- 합성촉매 안전성 개선
- 촉매 제조공정 개선
- e-메탄올 합성 반응기 설계
- 파일럿플랜트 구축장비 심의 및 인허가 준비
- 파일럿 플랜트용 반응기 기본설계

3차년도(2026)

목표 파일럿 플랜트 구축

- 촉매성능 시험 및 안전성 확보
- 합성촉매 제조공정 최적화
- 메탄올 합성 촉매 시작품 제조
- 반응기 온도 및 발열 제어 기술 개발
- 파일럿 플랜트 구축 및 시운전

4차년도(2027)

목표 파일럿 플랜트 운전 최적화

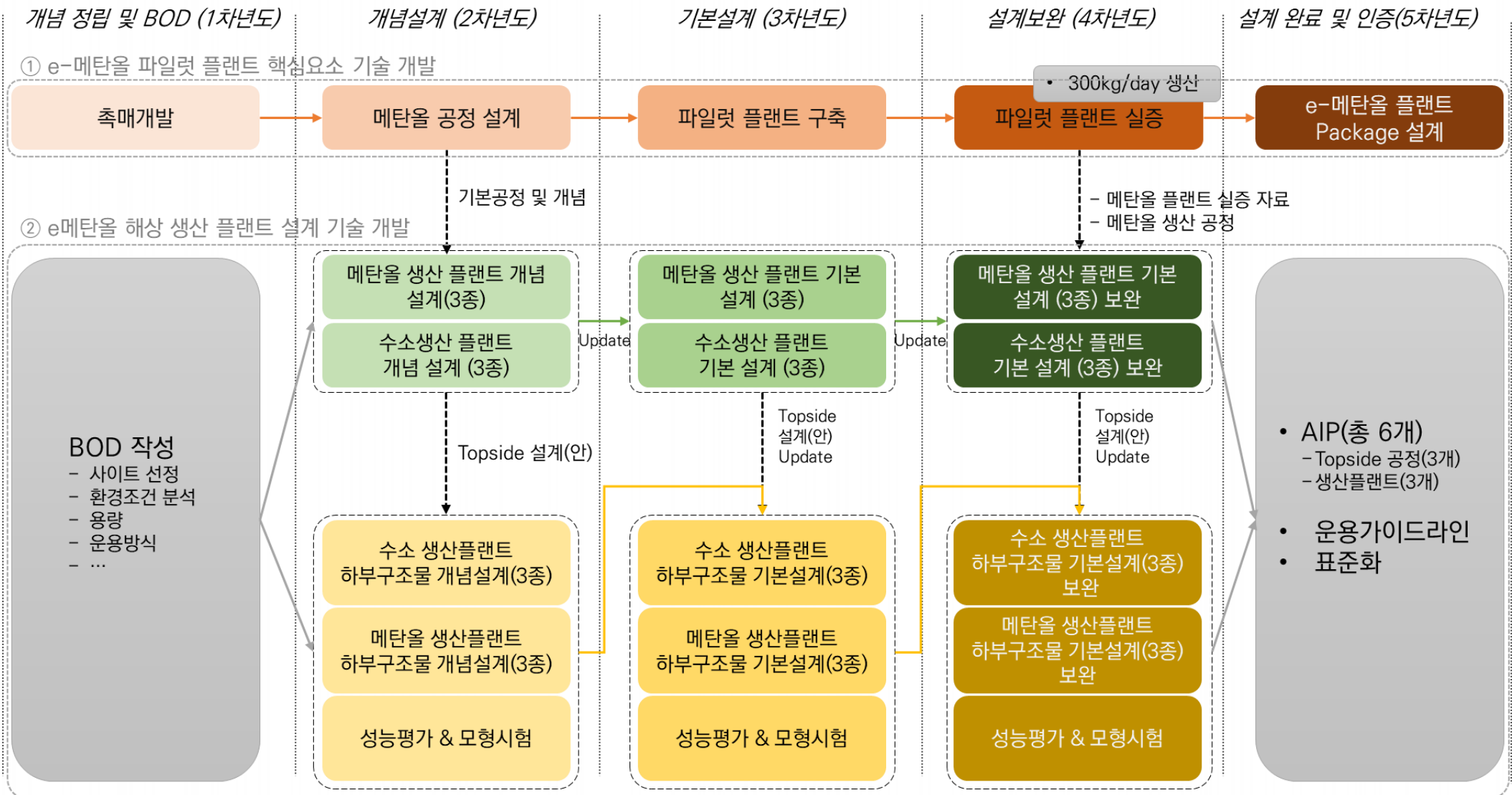
- 촉매성능 시험 및 안전성 확보
- 촉매 대량생산 제조법 개발
- 파일럿 플랜트 운전 및 데이터 수집
- 반응기 운전 최적제어 로직 구축
- e-메탄올 상용 플랜트 설계 자료 확보

5차년도(2028)

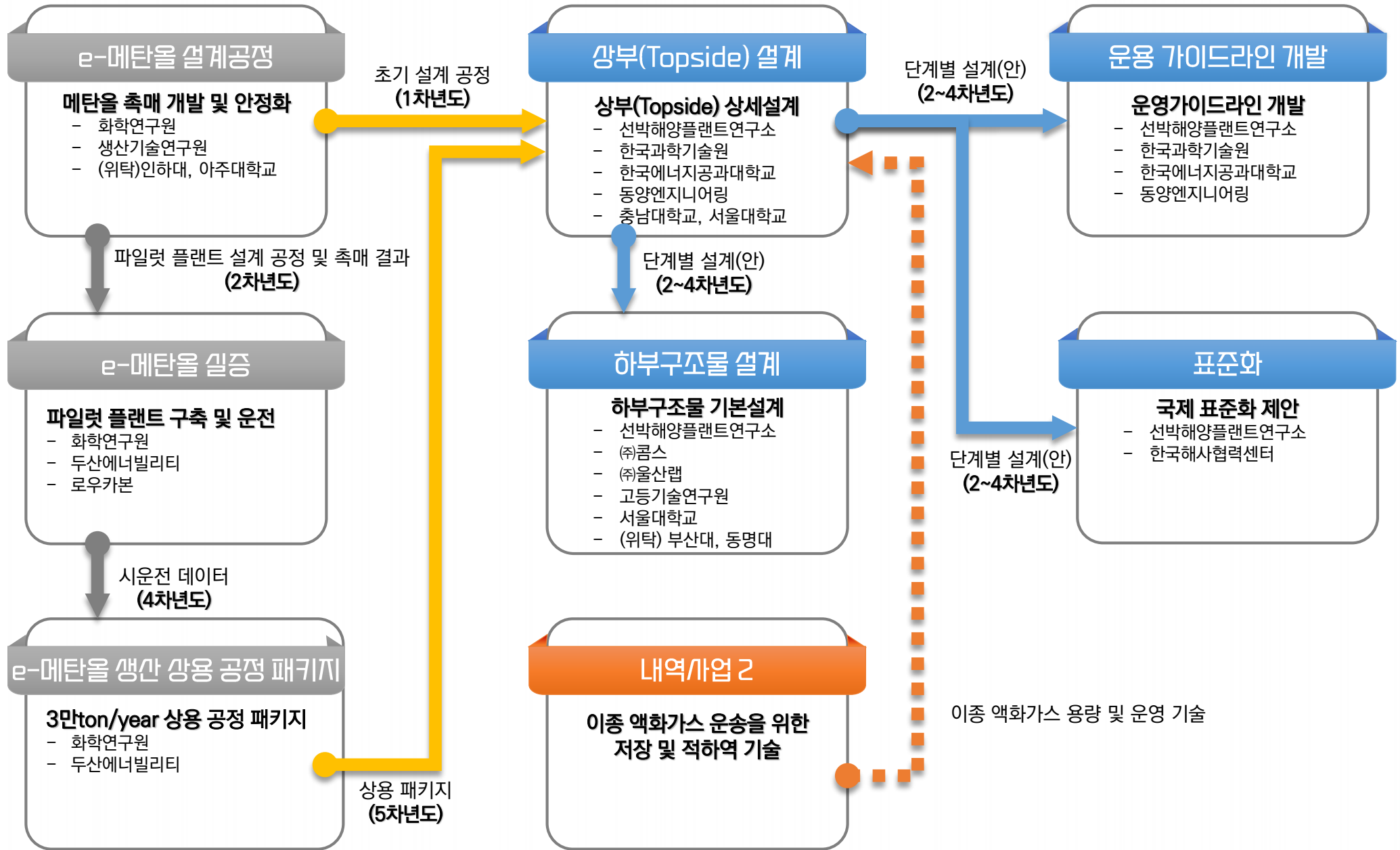
목표 상용플랜트 설계

- 촉매성능 시험 및 안전성 확보
- 파일럿 플랜트 촉매 대량 제조법 개선
- 파일럿 플랜트 운전 최적화
- 상용플랜트 기본설계 패키지 확보

I 선박연료용 e-메탄을 해상 생산플랜트 설계 및 운영 기술 개발



I 연구 분야별 성과 연계 방안



e-메탄을 생산 및 저장 시스템 기술적 기반 마련

01

- ☑ e-메탄을 생산 및 운용 기술 개발을 통한 통합 솔루션 제공
- ☑ 국제 표준화를 통한 e-메탄을 기술적 지침 마련

e-메탄을 생산 및 저장 시스템 경제성 분석

02

- ☑ 경제성 분석을 통한 한국형 e-메탄을 공급망 구현 가능
- ☑ 경제성, 위험성, 환경성 분석 보고서를 통한 정책 제언 가능

e-메탄을 생산 플랫폼 표준화를 통한 관련 사업 선도

03

- ☑ 한국형 해양플랜트 표준인 IOSS 적용을 통한 한국형 표준의 국제화 추진
- ☑ 신재생에너지 분야 한국형 표준의 적용 확대

미래원천기술 확보 및 신산업 창출

04

- ☑ 해상 e-메탄을 생산 기술의 선도 :
본 사업을 통해 개발된 e-메탄을 해상 생산 기술은 해상 에너지 생산 분야에서의 미래 원천 기술로 자리 잡을 것임.
- ☑ 지속 가능한 해운 산업의 발전 :
e-메탄을 활용한 선박 연료 시스템은 해운 산업의 지속 가능성을 높이고, 국제적인 환경 규제에 대응하는 혁신적인 솔루션을 제공

e-메탄올의 해상 생산 기술 확보를 통해 탄소중립 실현에 기여하겠습니다.

