

ISSN 2733-9696(온라인)  
ISSN 2733-9572(인쇄본)

2022  
Vol.3 No.22



# GTC BRIEF

수소 항만 - 산업단지 연계를 위한  
인프라 구축 및 관련 R&D 동향 분석

전은진 / 신현우 / 오지현 / 박상현 / 조경주

## 수소 항만 - 산업단지 연계를 위한 인프라 구축 및 관련 R&D 동향 분석

전은진 / 기술총괄부 honeysuckle@gtck.re.kr  
 신현우 / 기술총괄부 hwshin@gtck.re.kr  
 오지현 / 기술총괄부 jhoh@gtck.re.kr  
 박상현 / 기술총괄부 sanghyun0385@gtck.re.kr  
 조경주 / 기술총괄부 rudwn@gtck.re.kr

### 하이라이트

- IEA(2019)에서는 수소경제의 성장 및 확대를 위한 권고사항에서 기존 항만의 수소 허브화 등 항만을 중심으로 한 수소 인프라 구축의 필요성을 강조
- 우리나라는 재생에너지 잠재량의 부족으로 해외 청정수소의 도입이 불가피하므로, 항만을 중심으로 대량 수요자인 산업단지까지 연계할 인프라 구축이 필수불가결한 상황
- 이를 감안하여, 주요국의 수소 항만과 산업단지 연계를 위한 인프라 구축 현황 및 관련 R&D 동향(실증 포함)을 조사·분석을 수행
  - 항만-원거리 수요지 연계 유형 및 항만 인근 산업단지 조성·활성화 유형 등 2가지 유형을 설정하고 각각 벤치마킹 국가를 선정하여 비교
    - ※ 항만-원거리 수요지 연계 유형은 독일, 배후단지 육성·활성화 유형은 프랑스, 일본을 설정
- 수소 공급지와 수요지 간의 거리가 먼 독일의 경우에는 대형 프로젝트의 형태로 생산지와 수요지를 연계할 수 있는 다양한 형태의 수소 수송 기술 개발 및 실증을 동시에 진행
  - 수소 이외에도 암모니아, LOHC 등 다양한 에너지캐리어 형태로 전환하는 기술을 개발하고 있으며 육상-해상을 통해 수송하는 기술을 함께 다루고 있음
    - ※ 단순한 운반 가능성 여부만을 검증하는 것이 아닌, 수송 및 활용 직전 수소 추출까지의 전주기를 유기적으로 연계하여 실증 중
- 프랑스, 일본 등은 항만과 수요지간의 거리가 짧은 항만 인근 산업단지를 집중 육성하고 있으며, 수소, CCUS 관련 인프라를 공동 활용하는 등 산업단지 운영 효율의 극대화를 도모
- 상기 사항을 고려하여 본 브리프에서는 아래와 같이 4개의 정책제언을 제시함
  - 다채로운 지리적·경제적 환경을 보유하고 있는 우리나라의 실정에 맞도록 항만-내륙, 항만-해상, 해상-해상 연계를 위한 수송 기술 개발 및 검증 필요
  - 다양한 LOHC 개발 뿐만 아니라 수송-활용 직전 수소추출까지의 전주기를 유기적으로 연계하여 실증하는 방식으로 상용화를 가속화하여야 함
  - 항만 인근 산업단지를 첨단 탈탄소화 R&D의 테스트베드로 활용함으로써, 높은 기술력을 보유한 스타트업을 유치·육성하여야 함
  - 이 과정에서 CCUS, 수소 공급망 등 관련 인프라를 공동할 수 있도록 조치하여 항만 인근 산업단지의 효율을 극대화할 필요성이 있음

## 키워드

- 탄소중립(Carbon Neutral), 수소 인프라(Hydrogen Infrastructure), 항만(Port), 연구개발(R&D), 산업 단지(Industrial Complex)

## 개요

### 배경

- 수소경제 활성화 로드맵(2019) 수립 이전의 수소경제 인프라 정책은 수소 충전소 및 연료전지 발전소 등 수소의 활용 관련 인프라 확대에 중점을 두어 추진
  - 주로 수소 및 전환 부문에서의 온실가스 감축 효과 및 대기오염 감소 등 측면에서 접근
- 수소가 에너지 시스템 전체의 탈탄소화를 구현할 수 있는 잠재력을 가진 에너지로 주목받으면서, 수소경제가 탄소경제를 대체할 수 있는 새로운 에너지 패러다임으로 부상
  - 이에 따라, 수소경제를 지탱할 수 있는 대량의 수소 생산-유통-소비 체계 구축이 요구됨에 따라, 수소 생산-저장 및 운송-활용 전 단계의 인프라 구축이 필요성한 상황
- IEA(2019)에서는 수소경제의 성장 및 확대를 위한 7가지 권고 중 수소 인프라에 관한 내용을 포함하였으며, 동 인프라 관련 사항의 대부분은 수소 선박 및 항만과 관련된 사항으로 구성<sup>1)</sup>
  - 국제 수소 무역을 위한 선박운송 루트의 확립 및 기존 수입 항만을 저비용-저탄소 수소를 위한 허브로 변경할 것을 권고
- 특히, 우리나라의 경우에는 재생에너지 잠재량의 부족으로 해외 청정수소의 도입이 불가피한 상황<sup>2)</sup>이므로, 항만을 중심으로 대량 수요지인 산업단지까지 연계할 인프라 구축은 필수불가결
  - 최근 '수소기술 미래전략(2022)'이 발표<sup>2)</sup>되었으나, 수소 활용 부문은 수송 및 발전 부문 위주로 편성되어 있어 산업 부문과의 연계에 관한 내용이 직접적으로 다루어지고 있지 않은 실정
  - 해수부를 중심으로 '수소항만 조성방안(2021)'이 수립<sup>3)</sup>된 바 있으나, 항만을 활용한 수소 생산, 물류, 소비 수요 증가 대응에 보다 초점을 두고 있음
    - ※ 항만을 지원하기 위한 배후단지에 관한 내용은 존재하나 인근 산업단지로 연계하기 위한 인프라 구축 및 이를 지원하기 위한 수소 수송 기술 연구개발에 대한 내용에 대한 비중은 적은 편
- 이에 따라, 주요국의 항만지역을 중심으로 산업단지와의 연계 구축 관련 동향 및 R&D 추진 현황을 개괄하여 우리나라의 향후 항만-산업 연계 관련 인프라 구축 정책 및 R&D 전략에 대한 시사점을 제시하고자 함

### 분석목적 및 방법

- (분석목적) 주요국의 수소 항만 지역을 중심으로 산업 연계를 위한 인프라 구축 현황 및 관련 R&D 동향(실증 포함)을 조사·분석하여 우리나라에 대한 시사점 제시
  - 우리나라의 산업단지 분포 및 지리적 특성을 고려하여, 유형별로 벤치마킹 대상 국가를 설정하여 분석

1) IEA, The Future of Hydrogen, 2019. (검색일자 : 22-12-12)

2) 관계부처 합동, 수소기술 미래전략, 2022. (검색일자 : 22-12-12)

3) 관계부처 합동, 수소항만 조성방안, 2021. (검색일자 : 22-12-12)

## 주요국의 동향

※ 우리나라의 경우 철강, 화학, 자동차 등 탄소다배출 산업이 밀집한 산업단지는 항만 인근에 위치하고 있지만, 현재 충청북도 등 일부 내륙 지역에도 수소 산업 관련 단지가 구축 중임을 감안하여 항만-원거리 수요지 연계와 항만 인근 산업단지 육성 등 2개 측면에서 조망할 필요

- (분석방법) 항만-원거리 수요지 연계와 항만 인근 산업단지 육성·활성화 2가지 유형에 대한 벤치마킹 국가를 설정·비교·분석하여 시사점 도출
  - (항만-원거리 수요지 연계) 풍부한 풍력자원을 가지고 있는 북해를 보유하고 있지만, 수요지인 주요 산업단지가 내륙에 위치한 독일을 벤치마킹 국가로 설정
  - (항만 인근 산업단지 육성·활성화) 세계 최대 항구도시 중 하나인 마르세이유 항을 보유한 프랑스와, 도서 국가인 일본을 벤치마킹 국가로 설정

### 독일

- 독일은 에너지전환 정책 추진 과정에서 풍부한 북해 풍력자원과 수요지(산업단지 등)간 거리 문제가 부상하였으며, 일찍부터 이를 해결하기 위한 연구개발에 착수
  - 재생에너지 확대에 인한 계통안정성 문제에 대한 대응수단으로 P2G 기술을 주목, 당시에는 아직 기술성숙도가 낮았던 상태임에도 불구하고 집중 투자를 통해 상용화 단계로 견인
  - 2016년 에너지전환을 위한 코페르니쿠스 프로젝트 등 다양한 R&D를 통해 P2X, 전력 계통의 안정성 확보 관련 혁신 기술 확보에 주력
- 독일연방교육연구부(BMBF)는 국가수소전략 상의 목표 달성을 위한 '수소공화국 독일(Wasserstoffrepublik-Deutschland)' 이니셔티브를 출범하고, 이의 일환으로 3개의 플래그십 프로젝트를 추진(2021)<sup>4)</sup>
  - ※ 대규모 수전해 장치 개발(H<sub>2</sub>GIGA), 그리드 연계 없이 해상풍력터빈의 수전해 장치 직접 연계 기술 개발(H<sub>2</sub>MARE), 수소 수송 기술 개발(TransHyde)
  - 플래그십 프로젝트 구성을 볼 때, 독일은 여전히 녹색수소 생산 능력 확충과 함께 수요지 연계 문제 해결을 중요시하고 있는 점을 알 수 있음
- 수소수송기술개발을 담당하는 TransHyde는 그리드 연계 없이 직접 해상에서 녹색수소 및 파생 물질(메탄, 암모니아, 메탄올 등)을 생산하는 H<sub>2</sub>MARE와 밀접히 연계되어 추진 중
  - 고압수소저장탱크 개발 및 무역항간 선박 운송(Mukran), 격자에 대한 파이프라인 직접 수송 및 LOHC 형태의 수송(Helgoland) 등이 이에 해당

4) <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de> (검색일자 : 22-12-12)

표 1 독일 TransHyde 프로젝트의 세부 내용

세부 프로젝트 명	주요내용
Mukran (H <sub>2</sub> MARE 연계)	- 혁신적 고압 수소 저장 탱크 개발 - 선박으로 <b>무크란에서 함부르크</b> 까지 수소 운송 시험
Get-H <sub>2</sub>	- 가스 파이프라인을 통한 수소 수송 관련 소재 개발, 안전성 테스트 등
Campfire	- 수소 수송수단으로 활용되는 암모니아 수송 및 활용 기술개발/실증
Helgoland (H <sub>2</sub> MARE 연계)	- <b>헬골란트</b> 등 격지로 녹색수소를 파이프라인으로 수송 실험 - LOHC로 전환하여 선박으로 운송 실험(헬골란트에 LOHC로부터 수소추출 플랜트 건설 중)
Forschungsverbände	- 각 세부 프로젝트간 협력 하에 수소 운송 과정에서 발생할 수 있는 전반적인 이슈(안전성, 생태적 영향 등) 조감하고 제도적 프레임워크 구축 기반 마련

출처: Wasserstoff-Leitprojekte 홈페이지를 기반으로 연구진 작성

- TransHyde의 Mukran 프로젝트는 발트해에서 수입된 녹색수소를 독일 제1의 무역항이자 물류 중심지인 함부르크 항으로 연계하는 과업을 수행하는 것으로 해석 가능
  - 발트해에 위치한 무크란(Mukran)항은 무역항인 동시에 러시아-유럽을 잇는 천연가스 파이프라인인 노르트스트림2가 존재하는 곳이므로, 녹색수소의 수입뿐만 아니라 필요시 CCUS 기술과 연계하여 자체적으로 청색수소를 생산할 수 있는 잠재력을 보유한 지역
  - 함부르크 항은 북해와 가까운 엘베강 하구에 위치한 유럽 최대의 무역항 중 하나로, 발트해와 북해를 잇는 킬 운하(Kiel Kanal)\*와 가까운 이점을 보유
    - \* 덴마크가 자리잡고 있는 유틀란드 반도의 하단부를 관통하여 북해의 브룬스뷔텔과 발트해의 킬을 이음으로써 직접 북해와 발트해를 연결하는 운하

그림 1 무크란 항과 함부르크 항의 위치

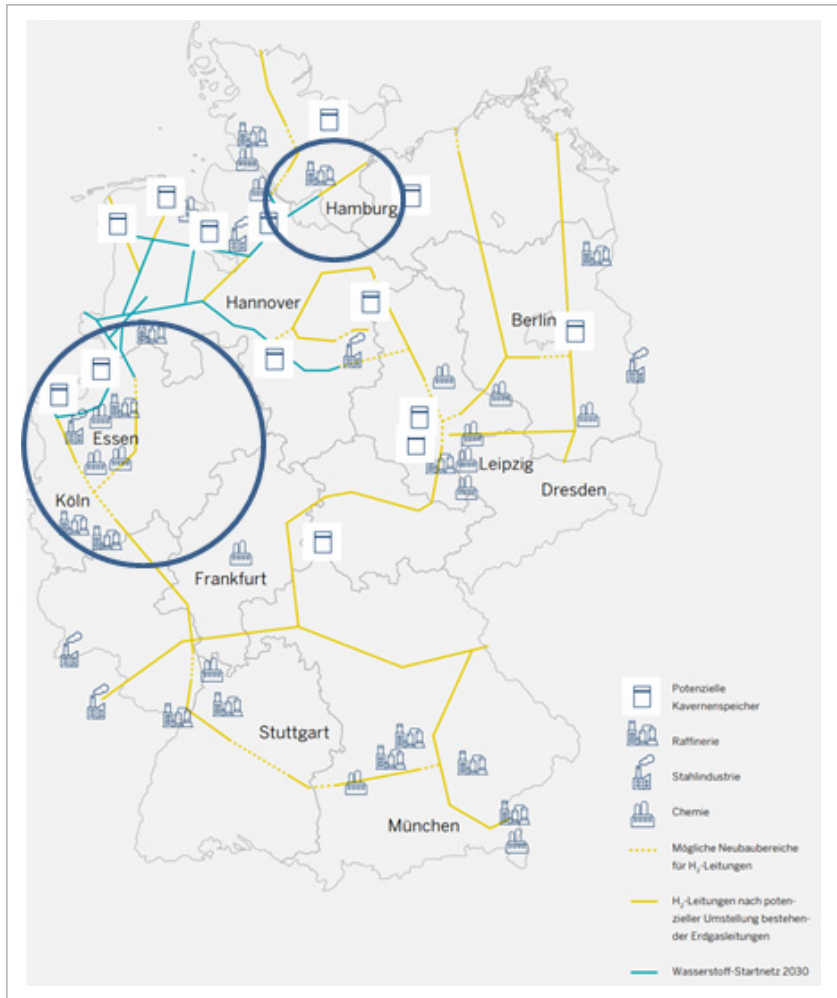


출처: 무크란 항 홈페이지<sup>5)</sup> 상의 지도에 연관 지역을 연구진이 표시

5) <https://www.mukran-port.de/de> (검색일자 : 22-12-12)

- 루르 지방의 풍부한 석탄 및 철강석을 바탕으로 라인강의 기적을 견인한 지역인 노르트라인-베스트팔렌(Nordrhein-Westfalen; NRW)에서는 수소 공급망 관련 인프라 확충에 착수<sup>6)</sup>
  - 신규 공급망 구축과 기존 천연가스 공급망의 수소공급망으로의 전환조치를 병행하여 추진하며, 2030년까지 약 240km 길이의 수소 네트워크를 구축할 예정
  - 2030년 경에는 함부르크항과 노르트라인-베스트팔렌 공업지역의 수소공급망이 연결되는 점을 확인할 수 있어, 완성될 경우 수입된 해외 수소 또한 원활하게 내륙 공업 지역으로 연계될 수 있는 체계가 구축될 것으로 전망됨

그림 2 독일 전역의 수소공급망을 위한 비전

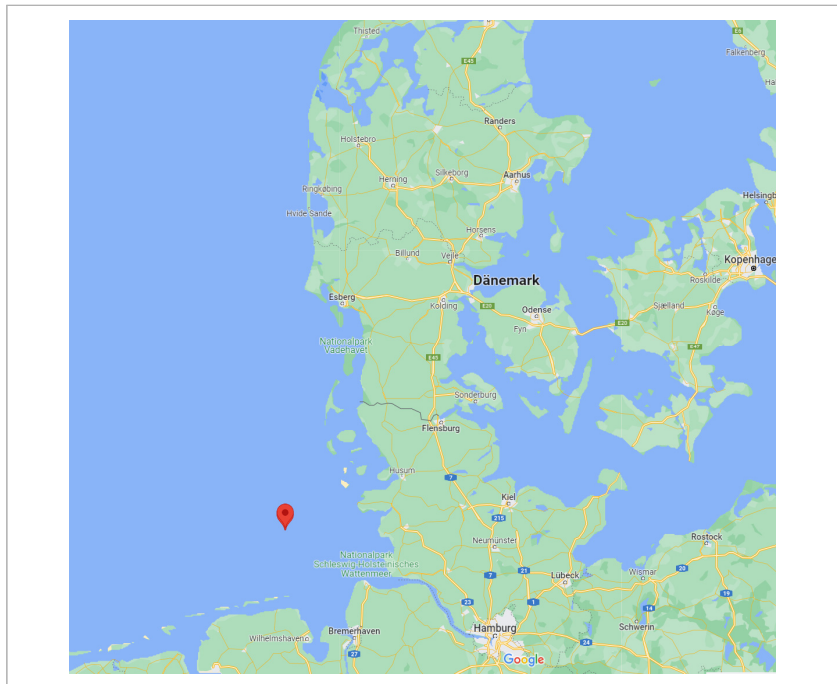


출처: 노르트라인-베스트팔렌 주정부 경제·혁신·디지털화·에너지부(2021) 기반으로 연관 지역을 연구진이 표시

6) Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, Wasserstoff Roadmap – Nordrhein-Westfalen, 2021 (검색일자 : 22-12-12)

- 또한, TransHyde의 Helgoland 프로젝트를 통해 격지에 존재하는 수요처로의 수소 기술 개발 및 실증을 수행 중
  - H<sub>2</sub>MARE 프로젝트를 통해 그리드에서 연계되지 않은 상태에서 생산된 녹색수소 및 기타 에너지 캐리어들을 격지 도서지역에 수송하는 기술개발 및 실증이 동 프로젝트의 핵심
    - ※ H<sub>2</sub>MARE의 세부 프로젝트들이 북해 해상에 흩어져서 수행되고 있는 점을 감안할 때, 각 산포된 해상풍력단지에서 녹색수소 및 에너지 캐리어들을 수거하여 운송하는 내용도 포함될 것으로 추정됨
  - 도서 지역에 존재하는 수요처에 직접적으로 수소 공급 파이프라인을 건설하는 방안과 함께, LOHC(Liquid Organic Hydrogen Carrier)의 형태로 전환하여 선박 수송하는 방안을 검증 중
    - ※ Mukran 프로젝트가 내륙에 존재하는 원거리 수요처에 대한 수소 수송 기술의 개발이라면, Helgoland 프로젝트는 해상에 존재하는 원거리 수요처에 대한 수소 수송 기술 개발로 해석 가능
  - 수소 수송에만 중점을 두는 우리나라와는 달리, 본 프로젝트는 다양한 에너지캐리어의 형태로 전환하여 수송하는 방안 또한 적극적으로 모색하고 있는 점이 차이점
    - ※ 단순히 LOHC의 수송까지 실증하는 것이 아니라, 종착지인 헬골란트 섬에 LOHC에서 수소를 추출하는 플랜트 건설 및 실증에 관한 내용까지 포함

그림 3 북해에 위치한 헬골란트의 위치<sup>7)</sup>



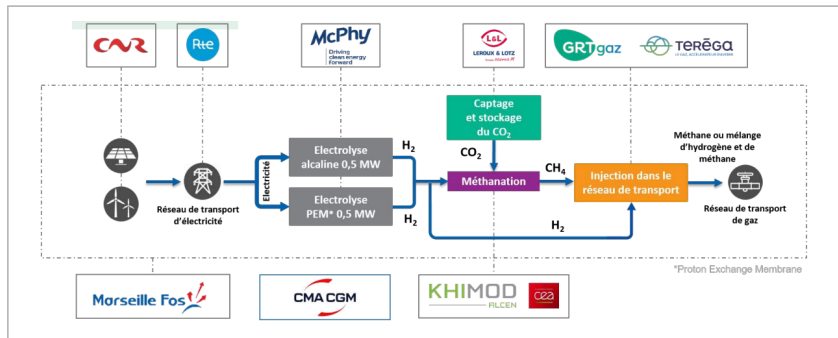
출처: Google map

7) <https://www.google.co.kr/maps/place/Helgoland,+Deutschland/@55.348445,8.945182,7.75z/data=!4m5!3m4!1s0x47b5b5f6bcbddf37:0x4248963c658040018m2!3d54.1803268!4d7.8889438>  
(검색일자 : 22-12-12)

## 프랑스

- 원전 중심 에너지 믹스를 운영하고 있는 프랑스는 올랑드 대통령 이후부터 재생에너지 중심 에너지 전환 정책을 추진하고 있으며, 후임 대통령인 마크롱 대통령 역시 이러한 정책 방향성을 계승 중
  - 비록 최근 프랑스2030 등을 통해 원전회귀를 공식화하고 있으나, 녹색수소를 원전과 마찬가지로 프랑스의 미래 강점 영역으로 강조하고 있는 점을 주목할 필요
- 2018년 프랑스는 최초의 산업용 P2G 기술 실증(1MW급)을 위해 JUPITER1000 프로젝트를 출범
  - 마르세이유 항 근린지역에서 생산되는 재생에너지 전력과 배후단지에서 발생하는 CO<sub>2</sub>를 활용하여 수소 및 메탄을 생산<sup>8)</sup>하고 천연가스 공급망에 주입하는 전 단계를 실증<sup>8)</sup>
    - \* 알칼리 수전해 및 PEM 수전해 기술 활용
  - 최근에는 선박 컨테이너 회사인 CMA CGM이 참여하여 가스 파이프라인뿐만 아니라 선박 수송까지 프로젝트 범위가 확대됨

그림 4 Jupiter 1000 프로젝트 추진체계



출처: GRTgaz(2022)

- 마르세이유 포스 항 인근 산업단지에 존재하는 철강업체(ASCO METAL)의 보일러에서 나오는 CO<sub>2</sub>를 포집하여 JUPITER1000의 메탄화 (Methanation) 과정에 활용
  - 인근 산업단지에서 배출되는 CO<sub>2</sub>를 JUPITER1000 프로젝트 연계하여 처리하는 형태로 지역산업과의 시너지 효과를 도모
    - ※ JUPITER1000 프로젝트를 지원하는 이노백스 플랫폼 역시 지역 혁신산업을 지원하는 플랫폼임

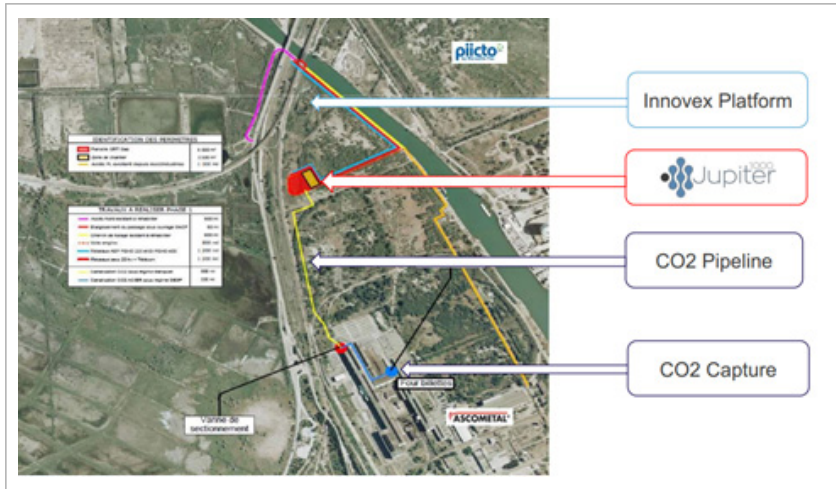
8) GRTgaz, Jupiter 1000 : Démonstrateur industriel de Power-to-Gas, Version Aout 2022. (검색일자 : 22-12-12)



그림 5 Jupiter 1000 프로젝트와 지역산업과의 연계



그림 6 Jupiter1000 프로젝트로의 CO<sub>2</sub> 조달 경로



출처: GRTgaz(2022)

### 일본

- 일본은 대부분의 제조업 관련 산업단지들이 해안에 위치하고 있어, 산업 부문의 온실가스 감축을 위해서는 해당 지역의 탈탄소화가 최우선 과제인 상황
  - 지자체 단위에서도 관할 지역 내 산업단지의 온실가스 감축을 위한 노력을 기울이고 있지만, 경제산업성(자원에너지청 포함)을 중심으로 한 중앙정부 역시 해안/항만 지역 산업단지의 온실가스 감축의 필요성을 인지하고 연구회<sup>9)</sup>를 구성하여 대응 방안을 모색 중

9) 資源エネルギー庁 資源・燃料部, 「カーボンニュートラルコンビナート研究会」について, 2021. (검색일자: 22-12-12)

그림 7 2018년도 일본의 제조업 부문 CO<sub>2</sub> 배출 현황<sup>10)</sup>



출처: 자원에너지청(2022)

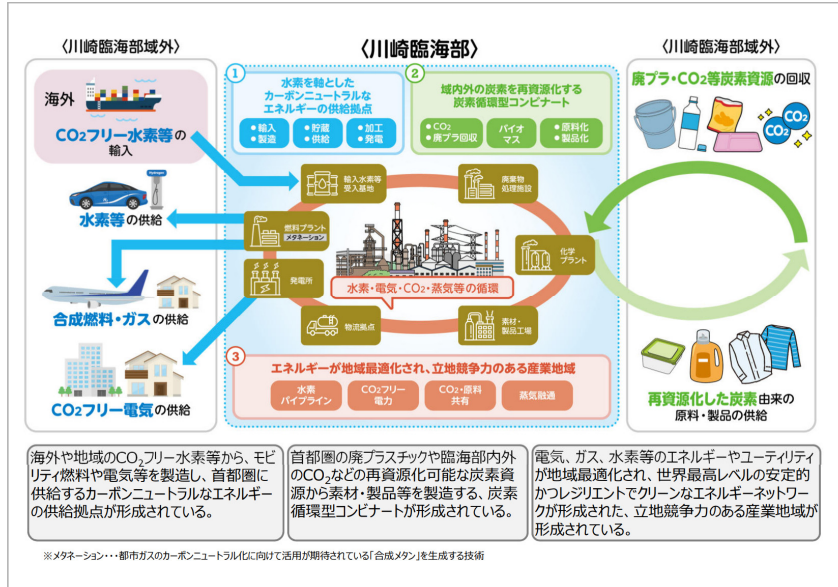
- 최근 가와사키 등에서는 존재하는 기존의 콤비나트(Kombinat)<sup>\*</sup> 인프라를 최대한 활용하여 '카본 뉴트럴 콤비나트(CNK)'를 구축하기 위한 전략을 마련 중
  - \* 기술적 연관이 있는 여러 생산부문이 근접 입지하여 형성된 기업의 지역적 결합체<sup>11)</sup>
  - 최근 가와사키<sup>\*</sup>는 수소를 주축으로 한 카본뉴트럴 콤비나트 구성(22.1)을 공표<sup>12)</sup>
    - \* 수소를 주축으로 한 탄소중립 에너지 공급 거점, 국내외 탄소를 재자원화하는 탄소순환형 콤비나트, 에너지를 지역 최적화시켜 입지 경쟁력있는 산업지역(수소 파이프라인, CO<sub>2</sub> free 전력, CO<sub>2</sub>/자원 공유, 증기 유통 포함) 조성을 지향
  - 기술력 높은 스타트업 기업 등을 콤비나트에 집결시켜 기술개발 가속화를 도모

10) 탄소중립연구회, 탄소중립연구회의 탄소중립연구회의 실행을 위한 논점 정리, 2022. (검색일자: 22-12-14)

11) 두산백과, 콤비나트 [an industrial complex], Retrieved from : <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1150573&cid=40942&categoryId=31823> (검색일자: 22-12-12)

12) 川崎市, 川崎カーボンニュートラルコンビナート構想案の概要, 2022. (검색일자: 22-12-12)

그림 8 2050 가와사키 임해부 콤비나트 이미지



출처: 가와사키시(2022)

- 중앙 정부에서도 다양한 산업의 집적에 의한 연계효과를 콤비나트의 최대 특징으로 주목하여, 다양한 산업이 연계할 수 있는 대응 방안을 모색 중<sup>13)</sup>
  - 이의 일환으로 콤비나트가 탄소중립을 달성하기 위해 필요한 기술군을 도출\*
    - \* 수소연소·전소, 암모니아 혼소·전소, CCU, 바이오매스 활용, 재생가능에너지, 수소환원제철, 플라스틱의 케미컬 리사이클, 바이오매스 나프타·화학품, 합성 공정에서의 저소비 전력화, 오프 가스 이용, 증기·폐열 이·활용, 콤비나트 내 각 설비의 폐열 이·활용, 공정 개혁, CCUS, CCS 등
  - 선정된 각 기술적 수단들이 발전, 석유정제, 화학/소재, 금속 분야에서 각각 적용 가능한지 여부를 기능하고, 해당 기술적 수단의 적절한 활용을 통해 온실가스를 감축할 수 있는 방안을 검토
    - \* 이를 통해 수소 및 암모니아의 공동조달 및 이·활용, CO<sub>2</sub> 공동회수 및 이·활용, 바이오매스 원료의 공동조달 및 이·활용, 폐기 플라스틱의 공동조달 및 이·활용, 에너지 효율화 및 자원효율화에 대한 대응 강화, CCS의 공동실시 등의 대응 방안이 논의

13) 카본뉴트럴콤비나트 연구회, 카본뉴트럴콤비나트의 실현に向けた論点整理 (概要), 2022. (검색일자: 22-12-12)

그림 9 2050 CNK 실현을 향한 수단 및 산업연계 포텐셜

기술メニュー (주요 수단)	概要	発電	石油 精製	化学・素材			金属		
				石油 化学	ガス 化学	無機 化学	鉄鋼	電炉	非鉄
脱炭素エネルギー	水素直接・専焼	✓ ガスタービン用発電燃料(発電所及び自家発としての利用)	●	●	●	●	●	●	●
	アンモニア直接・専焼	✓ NO <sub>x</sub> 対策した石炭燃焼/専焼設備発電、ナフサワッカーでの活用	●	●	●	●	●	●	●
	CO <sub>2</sub> 回収(CCU)	メタネーション ✓ 水素とCO <sub>2</sub> からメタンを合成	●	●	●	●	●	●	●
	合成燃料の活用	✓ 水素とCO <sub>2</sub> から液体燃料を製造	●	●	●	●	●	●	●
	バイオマスの活用	✓ 植物や廃棄物等からバイオ燃料を製造	●	●	●	●	●	●	●
炭素循環マテリアル	再生可能エネルギー	✓ バイオマス発電、太陽光発電、風力発電(陸上、洋上) ✓ Super COURSE50(還元剤のコースの一部を水素で代替) ✓ 100%水素量産型LEDプロセッサの組合せ	●	●	●	●	●	●	●
	CO <sub>2</sub> 回収(CCU)	MTO/ETO ✓ メタノールやエタノールからオレフィン(エチレンなど)を生成	●	●	●	●	●	●	●
	機能性化学品	✓ CO <sub>2</sub> からポリカーボネート、ポリウレタン(原料、DMC)など生成	●	●	●	●	●	●	●
	コンクリート	✓ 炭酸塩化を活用したCO <sub>2</sub> 吸収コンクリート	●	●	●	●	●	●	●
	プラスチックのリサイクル	✓ 廃棄プラスチックのリサイクル(油化/ガス化)、3Dプリンター(サルファー等)	●	●	●	●	●	●	●
省エネルギー	バイオマス	バイオガス ✓ 下流側の化学品合成	●	●	●	●	●	●	●
	機能性化学品	✓ バイオマスプラスチックを利用したバイオポリマー	●	●	●	●	●	●	●
	合成プロセスにおける低消費電力化	✓ 合成製品生成に必要な消費エネルギーの低消費電力化	●	●	●	●	●	●	●
	オフガス利用	✓ 石油精製、ガス化学、製鉄などの工程で生じる副生水素活用(純度向上) ✓ オフガスターンの原料化 ✓ 工業炉や高炉などのオフガスの水素利用	●	●	●	●	●	●	●
	蒸気/排熱の利活用	✓ 一般廃棄物、産業など(ガス化/油化できない)から得られる蒸気や廃熱の利活用	●	●	●	●	●	●	●
コンバート内各設備の排熱利活用	✓ 合成製品生成に必要なエネルギーとして他設備の排熱活用	●	●	●	●	●	●	●	
プロセス改革	✓ 大型電炉での高純度鋼製造でCO <sub>2</sub> 削減 ✓ EGS(地熱発電システム)へのCO <sub>2</sub> 活用 ✓ 火力発電用(回収しきれない)CO <sub>2</sub> のCCU活用(省エネルギー)	●	●	●	●	●	●	●	
CCUS	✓ EGS(地熱発電システム)へのCO <sub>2</sub> 活用	●	●	●	●	●	●	●	
CCS	✓ CO <sub>2</sub> の埋蔵	●	●	●	●	●	●	●	

출처: 카본 뉴트럴 콤비나트 연구회(2022)

시사점

- 수소 공급지와 수요지 간의 거리가 먼 독일의 경우에는 항만지역과 내륙 산업단지를 연계할 수 있는 공급망 구축을 계획하고 있으며, 다양한 형태의 수송 기술 개발 및 실증을 동시에 진행 중
  - 2030년까지 수소 공급망 인프라를 확대할 예정이며, 파이프라인을 통한 수소의 직접 수송 이외에도 선박 등의 운송도 함께 실험
  - 수소 이외 암모니아, 메탄올 등 다양한 LOHC 형태로 수송하는 기술을 함께 다루고 있음
    - ※ 단순한 수송 기술만의 검증에 그치지 않고 현지에서 LOHC에서 수소를 추출할 수 있는 플랜트 단계까지 연계
  - 내륙 소재 수요지 연계뿐만 아니라 헬골란드 등과 같이 해상에 존재하는 격지 등 다양한 지리환경의 수요지에 대한 수송 가능성 등을 검토
  - 실증까지 포함된 프로젝트를 연방경제기후보호부가 아닌 연방교육연구부에서 주관하는 특색을 보이고 있음
    - ※ 연방교육연구부는 우리나라 과학기술정보통신부와 같이 기초/원천연구단계 R&D를 지원할 소관으로 하고 있음에도 불구하고 기술성숙도가 높은 수송기술 및 수전해 분야 R&D를 추진하고 있는데, 이는 국가가 직면한 정책 현안에 대한 혁신적 해결책 마련이라는 측면에서 기존 상용화 기술과 다른 관점에서 접근하고 있기 때문에 타당성을 인정받은 것으로 추정됨
- 프랑스, 일본 등은 항만과 수요지와의 거리가 최소화된 인근 산업단지를 집중 육성하는 경향을 보이고 있으며, R&D 연계를 통해 첨단기술의 테스트 베드 기능을 강화하는 움직임을 보임
  - 지자체 및 기존 지역 산업과 최대한 연계한 시너지 효과 창출을 유도
  - 기존 천연가스 관련 인프라를 최대한 활용하는 한편, 수소 인프라를 공유할 수 있도록 함으로서 경제적 이점을 함께 도모
  - 실증 프로젝트 추진 및 기술 경쟁력을 보유한 스타트업 유치 등을 통해 첨단기술의 테스트 베드로서의 역할도 함께 수행하도록 설계 중

- 우리나라 역시 항만 인근 해안지대에 밀집한 에너지 다소비 산업에 대한 문제의식은 있으나, 수요지에 대한 공급망 확충 및 산업공정 적용지원 방안의 구체성은 다소 미흡
  - 산업단지 수소 공급도 항만 내 및 해당 근교 지역에 대한 튜브 트레일러 운영 및 배관망 (약 35km 순환형) 구축계획이 제시된 수준
    - ※ 수소환원제철 등의 공정이 적용될 경우 대량의 수소 수요가 발생될 수 있으므로 이를 감안한 사전 대비책 마련이 필요
  - 내륙 수요 지역에 대한 공급이 언급되어 있으나 추진전략의 방향성 수준에서 언급되어 있으므로, 각 항만별 특색에 맞는 구체적인 공급망 형성 방안이 필요함
    - ※ 항만-내륙 연계, 항만-해상, 해상-해상 연계 수송 기술을 다양하게 검증 중인 독일의 사례를 벤치마킹할 필요성이 있음
- 주요국은 다양한 LOHC R&D 및 실증 노력에 주력하고 있으나, 현행 우리나라 관련 전략상으로는 수소 수송에 보다 주안점을 두는 경향이 있으며 LOHC R&D 및 실증은 다소 미진한 상황
  - 수소항만 조성방안에서의 주요 내용은 수소의 생산·저장·운송에 주안점을 두었으며, 다양한 에너지 캐리어에 관한 언급은 미흡
  - 수소기술 미래전략에서는 이보다 진보하여 유기화합물 저장기술에 대한 내용이 언급되어 있으나 R&D단계로 구분된 상태
    - ※ 타 국가에서는 다양한 LOHC 개발에 이어 실증단계까지 수행하고 있는 단계이며, 수송기술과 연계하여 생산에서 활용에 필요한 수소 추출까지의 전주기를 검증 중인 상황과 다소 대조적
- 주요국에서 항만 인근 산업단지를 탈탄소 기술 R&D 테스트 베드화를 통해 기술개발을 가속화하고 있음을 감안하여, 우리나라 역시 항만 인근 산업단지를 대상으로 하여 수소 등 혁신적 탈탄소화 기술의 R&D 실증을 강화할 필요성이 있음
  - 우리나라의 실증은 수소 항만 내에서의 모빌리티 등 소비 부문 및 블루수소 생산 부문의 실증이 주를 이루고 있음
  - 인근 산업단지로 연계하는 다양한 기술실증 프로젝트를 적극적으로 지원하고 높은 기술력을 보유한 스타트업 기업을 유치하여 집중 육성할 필요성이 있음
    - \* 에너지 캐리어의 개발과 다양한 지리적 환경에 존재하는 대량 수요지로의 수소 연계 기술
- 상기사항을 고려하여 향후 우리나라의 항만-산업단지 연계 전략 수립 시에 아래 4개 정책제언을 제시함
  - 다채로운 지리적·경제적 환경을 보유하고 있는 우리나라의 실정에 맞도록 항만-내륙, 항만-해상, 해상-해상 연계를 위한 수송 기술 개발 및 검증 필요
  - 다양한 LOHC 개발뿐만 아니라 수송-활용 직전 수소추출까지의 전주기를 유기적으로 연계하여 실증하는 방식으로 상용화를 가속화하여야 함
  - 항만 인근 산업단지를 첨단 탈탄소화 R&D의 테스트베드로 활용함으로써, 높은 기술력을 보유한 스타트업을 유치·육성하여야 함
  - 이 과정에서 CCUS, 수소 공급망 등 관련 인프라를 공동할 수 있도록 조치하여 항만 인근 산업단지의 효율을 극대화할 필요성이 있음

## Reference

- 1) IEA, The Future of Hydrogen, 2019. (검색일자 : 22-12-12)
- 2) 관계부처 합동, 수소기술 미래전략, 2022. (검색일자 : 22-12-12)
- 3) 관계부처 합동, 수소항만 조성방안, 2021. (검색일자 : 22-12-12)
- 4) <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de> (검색일자 : 22-12-12)
- 5) <https://www.mukran-port.de/de> (검색일자 : 22-12-12)
- 6) Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, Wasserstoff Roadmap – Nordrhein-Westfalen, 2021 (검색일자 : 22-12-12)
- 7) <https://www.google.co.kr/maps/place/Helgoland,+Deutschland/@55.348445,8.945182,7.75z/data=!4m5!3m4!1s0x47b5b5f6bcbddf37:0x4248963c658040018m2!3d54.1803268!4d7.8889438> (검색일자 : 22-12-12)
- 8) GRTgaz, Jupiter 1000 : Démonstrateur industriel de Power-to-Gas, Version Aout 2022. (검색일자 : 22-12-12)
- 9) 資源エネルギー庁 資源・燃料部, 「カーボンニュートラルコンビナート研究会」について, 2021. (검색일자 : 22-12-12)
- 10) 카이본뉴트랄콤비나트 연구회, 카이본뉴트랄콤비나트의 실현に向けた論点整理, 2022. (검색일자 : 22-12-14)
- 11) 두산백과, 콤비나트 [an industrial complex], Retrieved from : <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1150573&cid=40942&categoryId=31823> (검색일자 : 22-12-12)
- 12) 川崎市, 川崎카이본뉴트랄콤비나트 構想案의 概要, 2022. (검색일자 : 22-12-12)
- 13) 카이본뉴트랄콤비나트 연구회, 카이본뉴트랄콤비나트의 실현に向けた論点整理(概要), 2022. (검색일자 : 22-12-12)

본 발간물은 녹색기술센터(GTC)의 주요사업(신현우 외, 「융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 구축 및 인벤토리 연구」) 내용 일부를 발전시킨 것입니다.



04554 서울특별시 중구 퇴계로173  
남산스퀘어 빌딩 17층  
Tel. 02.3393.3900  
Fax. 02.3393.3919~20  
[www.gtck.re.kr](http://www.gtck.re.kr)

\* 본 GTC BRIEF의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 센터의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.