



중국리포트

KMI CHINA REPORT

한국해양수산개발원 중국연구센터 (Korea Maritime Institute China Research Center)
 中国上海市 长宁区 遵义路 100号 南丰城 A-1803
 Tel. +86-21-6090-0395~6, Fax. +86-21-6090-0397

제22-14호
 2022년 7월 29일

CONTENTS

▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소충전소 건설 현황

▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

▣ 2020~2060년 중국의 수소에너지 수요량

단위 : 만 톤

연도	수요량
2020	3,342
2030e	3,715
2040e	5,276
2050e	9,690
2060e	13,030

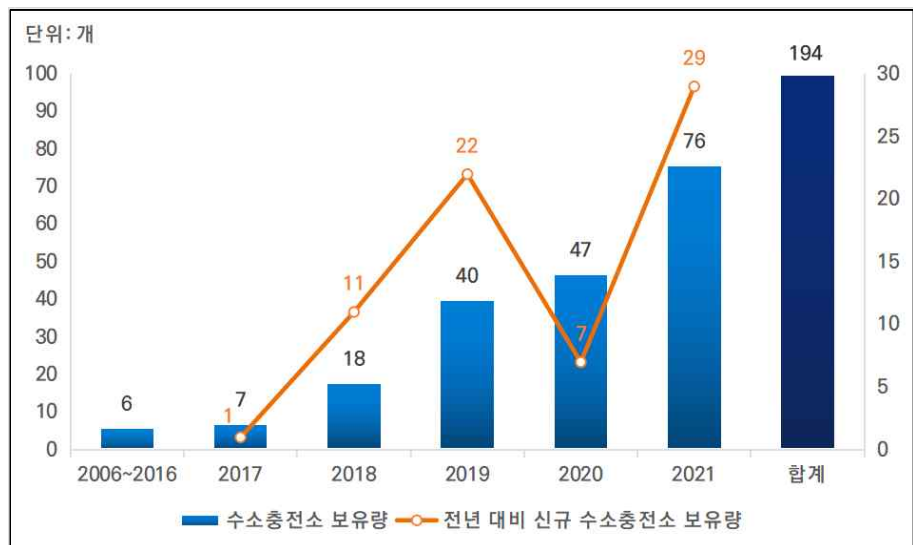
출처 : 중국수소에너지연맹, 「2019년 중국 수소에너지 및 연료전지 산업백서」, 2020.5.

자료 : iResearch, 「从氢能产业链看行业发展」, 2022.6.

중국리포트 내용의 일부 혹은 전체를 인용하실 경우, 자료원을 「KMI 중국리포트」로 표기해 주시기 바랍니다.

Copyright © KMI All Rights Reserved.

통계로 보는 중국 : 중국의 수소충전소 건설 현황



자료 : iResearch, 「从氢能产业链看行业发展」, 2022.6.를 바탕으로 KMI 중국연구센터 작성

중국, 수소충전소 보유 세계 최다¹⁾

지난 '13·5' 계획('16~'20) 기간 수소에너지 산업 육성 노력에 따라 중국의 수소충전소 건설 수량은 2006~2016년 6개에서 2021년 76개로 대폭 증가했다. 특히, 2021년에는 전년 대비 29개를 신설해 2021년 말 기준 중국은 총 194개의 수소충전소를 보유하고 있는 것으로 조사되었다.

「중국 수소에너지 및 연료전지 산업백서」(2019)에 따르면 중국의 수소에너지 수요량은 2020년 3,342만 톤에서 2030년 3,715만 톤, 2050년에는 9,690만 톤, 그리고 2060년에는 1.3억 톤까지 늘어날 것으로 전망되며, 이에 따라 수소충전소 건설 수요도 증가를 지속할 것으로 예상된다.

중국의 수소충전소 보유량은 세계 1위이나 효율성과 비용 측면에서 여전히 개선이 필요하다. 첫째, 수소충전소 건설사업에 대한 심사·비준 절차가 복잡하고 많은 시간이 소요된다. 둘째, 수소충전소(500kg, 35MPa 기준)의 건설비용은 1,200만 위안(한화 약 23억3천만 원)으로 전통 주유소의 3배 이상이다. 셋째, 수소압축기, 수소충전기 등 인프라 비용이 전체 건설비용의 65%를 차지하며 핵심 설비와 부품의 수입의존도가 여전히 높다. 이를 해결하기 위해 '14·5' 계획('21~'25) 기간에 중국은 수소에너지 생산·운송·저장 등 핵심기술에 관한 연구개발을 집중적으로 추진할 계획이다.

1) iResearch(<http://www.iresearchchina.com/>), 「从氢能产业链看行业发展」, 2022.6.(검색일: 2022.7.26.)



CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

저자

시에원칭(謝文卿)

항만발전연구소 부소장

상하이국제해운연구중심

전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석)

중국은 글로벌 기후 변화에 대응해 2030년까지 '탄소 피크'를 달성하겠다고 선언했으며, 이를 위해 항만 등 교통 부문의 저탄소 에너지 전환에 박차를 가하고 있다. 최근 몇 년간 중국 항만은 하역설비의 동력을 유류에서 전력으로 전환하는 것 외에도 액화천연가스(LNG), 수소, 암모니아, 바이오연료, 풍력, 태양광 등 신에너지 시스템 구축과 응용을 가속화하고 있다. LNG는 사용비용이 저렴하고 경유보다 오염이 적다는 특징 등으로 항만-선박 부문에서 활용도가 높아지고 있지만 진정한 '제로 배출'을 실현할 수 없어 과도기적 에너지로 인식되고 있으며, 태양광, 풍력 등은 장기 저장이 어려운 것으로 알려져 있다. 이에 비해 수소에너지는 쉽게 구할 수 있을 뿐 아니라 지역과 계절의 한계를 초월하는 에너지 전환 수단으로 주목받고 있어 향후 항만물류 부문에서도 활용할 수 있는 주요 청정에너지가 될 것으로 기대된다.

[표 1] 해운-항만-물류 산업의 유형별 신에너지 대안의 장단점

구분	장점	단점
LNG	연료유에 비해 질소산화물 및 CO ₂ 배출량 각각 80% 및 20% 이상 감축. 황화물과 미세먼지 배출은 무시 가능한 수준. 기술 성숙.	병커링 인프라가 부족해 LNG 추진선 신조 및 개조 비용이 상대적으로 높음. LNG 연료만으로는 해운업의 배출감축 목표 달성이 어려움
LPG	황산화물 배출 제로. CO ₂ 및 미세먼지 배출량 각각 약 10%와 90% 감축. 기술 성숙.	정유과정의 부산물인 LPG는 공급원, 생산량 등의 이유로 LNG가 갖고 있는 장점이 결여됨
메탄올	배출저감 효과는 LNG와 동일하며 실온에서 액체 상태이므로 운반이 용이하고 누출되더라도 생분해됨. 기술 성숙.	가격은 경유보다 훨씬 저렴하지만 현재 메탄올을 생산하는 주원료가 석탄과 천연가스인 바, 메탄올의 탄소배출량이 결코 적지 않음
바이오연료	CO ₂ 배출을 약 85% 줄일 수 있고 동력 측면에서는 중유와 동등해 선박을 개조할 필요가 없음	생산량, 공급량, 원료 공급원, 제조원가 등 측면에서 중·단기적으로 대량으로 광범위하게 사용할 수 있는 여건을 갖추지 못함
수소	에너지 밀도가 화석연료에 비해 50%나 낮아 '탄소 제로' 배출이 가능함. 해수를 전기로 분해해 얻기 때문에 무공무진함	생산원가가 높고 경제성이 없어 규모화 공급을 실현할 수 없음. 저장과 운반이 어렵고 누출 시 폭발 위험이 있음
암모니아	에너지 밀도가 화석연료에 비해 50% 가량 낮으며, 연소 시 CO ₂ 를 배출하지 않아 저장 · 수송 · 처리가 용이함	부식성, 휘발성, 인화성이 있어 환기, 온도 및 기압 제어에 있어 특별한 안전 대책이 필요함
연료전지	효율이 높고 공해가 없으며, 건설주기가 짧고 유지보수가 용이함	제조, 운송 및 저장 방식은 아직 안전성이 결여됨
풍력	무공무진하며 오염이 없음	설치가 어렵고 해상 여건에 쉽게 영향을 받아 아직 수요를 충족시킬 수 없음
태양광	무공무진하며 오염이 없음	건조비용과 기술 요건이 높으며, 에너지 전환효율 향상이 필요함

1) 이 칼럼은 집필자의 의견이며, KMI 중국연구센터의 공식의견이 아님을 밝힙니다.

CONTENTS

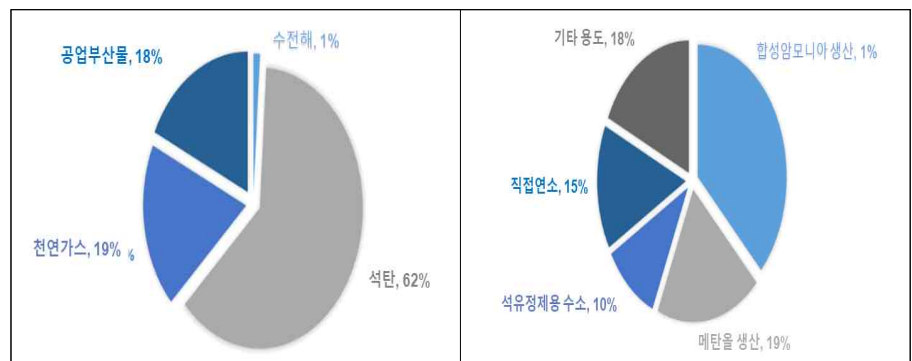
- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

1 중국의 수소에너지 개발은 짧은 기간내 기반을 구축

수소를 에너지 매개체로 하는 수소에너지는 매장량과 공급원이 방대하고 효율이 높으며 저탄소의 청결하고 재생가능한 2차 에너지원으로, 직접 연소하든 전기화학적으로 변환하든 생성물은 물 뿐이며 에너지 변환 효율이 높아 가장 큰 개발 잠재력을 가진 21세기 2차 에너지원으로 꼽힌다. 중국 정부는 2019년 처음으로 수소에너지를 업무보고에 포함시켰으며, 그해 6월 「중국 수소에너지 및 연료전지 산업 백서」를 발표하면서 비로소 수소에너지 저장·운반 기술 연구에 박차를 가하기 시작했다. 2020년 4월 중국 국가에너지국은 「중화인민공화국 에너지법」을 제정·공포했으며, 이 법에 수소에너지가 처음으로 에너지 범주에 포함되었다. 그 이전에 수소는 중국 법규상 에너지가 아닌 위험물질로만 취급되었다.

중국이 수소를 에너지원으로 개발·활용한 기간은 비록 짧지만 중국에는 화석에너지로 수소를 제조하고 공업용 부산물인 수소를 회수해 생산·비에너지원으로 활용하는 수소산업이 존재해 왔으며, 이 산업은 이미 상당한 규모를 갖추고 있다. 중국수소에너지연맹에 따르면 2021년 중국의 수소생산능력은 약 4,100만 톤, 실제 생산량은 약 3,342만 톤으로 열량으로 환산할 경우 최종 에너지 총량에서 차지하는 비중은 2.7%에 불과하다. 이 가운데 실제로 수전해 방식으로 얻는 그린수소 에너지는 1%에 불과하며, 대부분은 암모니아나 메탄을 생산 원료로 사용하고 있다.

[그림 1] 중국의 수소 공급원 비중 및 주요 소비 경로



자료: 중국석탄가공이용협회

2 중국의 수소에너지 산업 응용 분야 확장 가속화

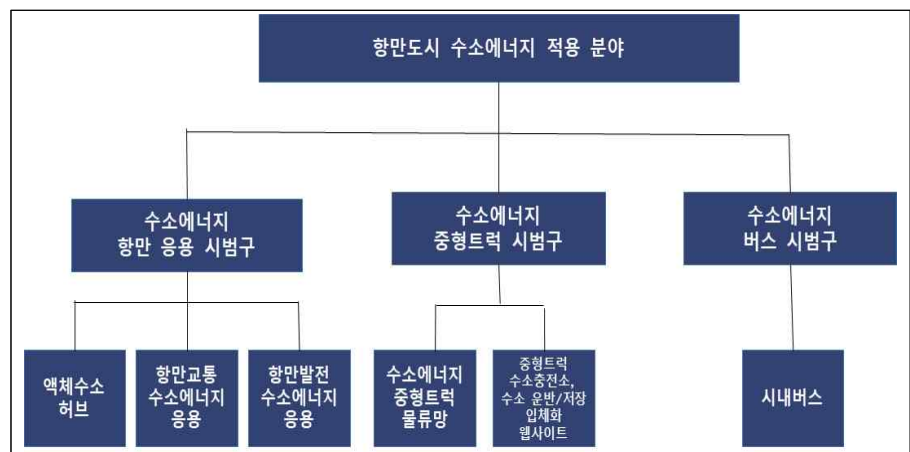
중국의 수소에너지 산업은 수소산업에 비해 아직은 발전 초기 단계로서 수소생산량의 1% 정도만 에너지원으로 사용되고 있다. 현재 중국의 수소생산량과 수소저장재료 생산·판매량은 세계 1위로, 수소에너지 기술의 개발·활용과 수소에너지 산업에 유리한 여건이 조성되었다. 이에 따라 최근 몇 년 간 중국의 수

CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소·건설·현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

소에너지 산업은 급속한 발전을 이루며 활용 분야가 확대되고 있지만 주로 수소에너지 차량에 집중되어 있다. 2021년 말 현재 중국은 수소연료전지 차량 약 9,315대를 보유해 세계 최대의 수소연료전지 상용차 시장으로 부상했으며, 2022년 현재 건설된 수소충전소 250개 이상이다. 현재 중국에서 운영되고 있는 수소충전소는 주로 광둥, 장쑤, 상하이, 후베이, 허베이 등 지역에 집중되어 있으며, 서비스 대상은 주로 도시 대중교통 설비이다. 항만의 경우 전용 수소충전소가 거의 없어 향후 수소충전소 수와 지역 분포에 대한 개선이 필요하다.

[그림 2] 중국 항만도시의 수소에너지 적용 분야



중국은 수소에너지 인프라와 수소연료전지 관련 핵심기술의 일부를 확보하고 있으며, 112건의 국가표준을 제정해 어느 정도의 산업장비 및 수소연료전지 완성차 생산능력을 갖추고 있다. 산업계획 측면에서 중국은 '중국제조 2025', '국가 혁신드라이브 발전전략 요강', 2022년 3월 국가발전개혁위원회와 국가에너지국이 공동으로 발표한 '수소에너지산업 발전 중장기 계획(2021~2035년)' 등 주요계획에 수소에너지산업의 발전을 빠짐없이 강조하고 있다. 한편, 베이징시, 허베이성, 상하이시, 저장성, 산둥성, 광저우시 등 수십 개의 성(시)과 지역들은 수소에너지산업 발전계획·실행방안·행동계획을 발표했다. 기 발표된 계획의 목표에 따르면 2025년 중국의 수소전기차 누적 보급량은 15만 대, 수소충전소는 1,000기, 수소에너지산업의 누적 생산액은 9,600억 위안을 넘어설 것으로 예상된다. 중국은 수소에너지 분야에 대한 R&D 투자를 상대적으로 늦게 시작했지만 현재 예산투입 증가폭이 가장 큰 국가로 부상했다.

3 중국 항만의 수소에너지 이용 현황

1) '생산-판매-사용' 일체화 수소에너지 항만 구축

'수소항만'은 수소에너지 사용, 수소에너지 산업 육성과 수소에너지 무역 기능을 갖춘 항만을 의미한다. 단기적으로는 임항 수소에너지산업 육성과 항만 하역기계 등 설비의 수소에너지 사용에 주안점을 두며, 중장기적으로는 수소에



CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

너지 기술의 성숙에 따라 수소에너지 무역을 점진적으로 추진하여 '생산-저장-판매-사용'이 통합된 토털 산업사슬을 형성한다. 현재 중국에는 산둥성 칭다오시, 상하이시 린강신구역(临港新片区), 톈진시 빈하이신구(滨海新区), 장쑤성 장자강시, 저장성 닝보시 등 지역에 초기 규모를 갖춘 '수소항만'이 있다. 이밖에 선전 엔티엔(盐田), 다롄 타이핑만(太平湾) 등 항만도 잇따라 수소항만 건설 계획을 수립했다. 향후 수소항만은 크게 세 가지 역할을 수행하게 될 것이다. 첫째, 수소에너지산업 시범구를 조성하여 현지 수소에너지 산업사슬의 발전을 견인한다. 둘째, 해상운송에 수소연료를 공급해 해운의 탈탄소 실현에 일조한다. 셋째, 수소에너지 수출입의 핵심 허브로 역할을 한다. 국제재생에너지기구(IRENA)의 예측에 따르면 2050년까지 전 세계 약 4분의 1의 수소가 국제무역에 쓰이게 될 것이며, 그 중 절반은 선박을 통해 수송되어 수소에너지의 글로벌화를 이끌 것이다.

[표 2] 중국의 주요 수소에너지 항만 발전 현황

구분	주요 발전 현황
상하이	상하이시 발전개혁위원회가 발표한 '상하이시 수소에너지 산업 발전 중장기 계획(2022~2035)'에는 2025년까지 각종 수소충전소 70기 건설, 수소연료 전지 차량 1만대 이상 보유, 수소에너지 산업 규모 1,000억 위안 돌파, 교통 부문 CO ₂ 배출량 연간 5만~10만 톤 감축, 국제 수소시범항만 구축 등이 목표로 제시됨
산둥	산둥성 칭다오항은 완전자동화 터미널(2기)을 운영에 투입해 글로벌 최초의 '제로 배출' 수소에너지 동력 자동화 항만을 건설함. 2019년 11월 칭다오항은 수소 연료전지와 리튬전지를 결합한 동력 모델을 사용하여 세계 최초로 수소 동력 RMG를 도입함. 2022년 6월 중국 최초의 항만 수소충전소인 칭다오 치엔완(前湾)항 수소충전소가 칭다오시로부터 수소충전소 최초의 '가스 실린더 충전 허가증'을 획득함
톈진	2020년 톈진항은 수소에너지 산업사슬을 구축해 수소충전 인프라 건설과 수소 연료전지 물류차, 지게차, 하역기계 등의 시범 운영을 추진함. 2022년 2월 톈진항은 수소에너지 컨테이너 트럭 30대를 도입해 전 과정에 걸친 탄소 및 오염물질 제로 배출로 컨테이너부두 운영 수요에 부응하고 있음
닝보	닝보항의 물류 응용 시범사업은 베이룬(北仑), 다시에(大榭) 개발구를 중심으로 수소 연료전지 물류차, 항내 컨테이너 트럭, 지게차 등의 응용을 추진함. 2022년 2기 이상의 수소충전소를 건설하고, 100대 이상의 수소 차량을 활용할 예정임
선전	난산(南山)구청, 자오상위(招商局)항만그룹, 선전에너지그룹은 선전 서부항만구역에서 수소에너지 중대형 및 중장거리 차량과 수소에너지 선박, 수소에너지 엔지니어링기계 등의 종합 시범운영을 공동으로 추진하고 있음

2) 항만에서의 응용은 컨테이너 트럭에 집중

현재 중국 항만의 수소에너지 활용은 수소연료전지가 주류를 이루고 있는데, 수소를 직접 연소시키는 방법이 아닌 양극(H₂)이나 음극(O₂), 전해액 등으로 구성된 부품을 이용해 연료 중의 화학에너지를 전기화학적 반응을 통해 직접 전기에너지로 변환하는 방식이다. 작업과정에서 연료(수소)와 산화제(공기 또는



CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

순수한 산소)를 지속적으로 주입하지만 하면 수소에너지 연료전지가 연속적으로 전기를 생산할 수 있다.

산동성 칭다오의 경우 '칭다오시 수소에너지 산업 발전계획(2020~2030)'에 수소에너지 항만 건설 등 다양한 수소에너지 발전 시범사업을 통해 칭다오항에서 수소 연료전지 항만 하역기계와 물류운송 시범 응용을 추진할 것이라고 밝혔다. 칭다오항은 현재 자체 개발한 세계 최초의 '수소 모빌리티' RMG 등을 통해 원터치 앵커링, 영속 충전, 자동잠금 해제, AGV 경량화 등의 난제를 해결하고 작업 효율을 30% 이상 향상시켰으며 인력은 50% 이상 감축했다. 항만의 기존 연료차량을 청정에너지 차량으로 단계적으로 교체하고, 항만 조업과 연계되는 장거리 물류회사가 차량을 점차적으로 청정에너지 차량으로 대체하도록 하며, 그 규모는 7만~10만 대가 될 전망이다.

그러나 컨테이너 트럭에 수소에너지를 적용하는 데에는 여전히 미흡한 부분이 있다. 현재 수소에너지 차량의 단가, 수소에너지 가격이 모두 고공행진을 계속하고 있다. 수소에너지 설비의 활용이 비록 어느 정도의 사회적·환경적 편익을 제공하나 경제성이 떨어져 수소차량 보급과 활용에 대한 항만 기업들의 적극성은 높지 않다.

[표 3] 중국 항만의 에너지 형태별 컨테이너 차량의 경제성 비교

구분	수소에너지	순수 전기	비고
구입비 (만원)	140	90	순수전기, 수소에너지 구입은 면세
에너지 소비단가 (위안/kg, 위안/kwh)	30	0.8	국내 항만의 실제 운영단가
연간 연료비용 (만원)	12	7	연간 300일 운행
전생애주기 총 비용 (만원)	260	270	-

이밖에 물리적 특성상 수소의 발열량(143MJ²/kg)은 동의 코크스, 휘발유 등 화석연료의 3~4배 수준으로 높으며, 연료전지를 통해 90% 이상의 복합 전환효율을 달성할 수 있다. 하지만 완성차 에너지 효율을 분석하는 데 많이 쓰이는 '웰투휠(Well-to-Wheel, WTW)' 라이프사이클 효율 지표를 보면 수소연료전지 차량의 성능은 일반적으로 순수 전기차에 비해 저조하며, 이는 주로 수소 생산·저장·수송 및 연료전지 에너지전환 기술 미숙 등의 영향에 기인한다.

이를 위해 지난 3년간 중국은 중점 연구개발 계획으로 '신재생에너지 및 수소에너지 기술' 중점 프로젝트를 가동했다. 과학기술부는 이 중점 특별 프로젝트를 통해 수소에너지 연구개발 프로젝트 27개를 배치했으며 연구개발 경비로 약 5억 위안(한화 약 964억 3,500만 원)을 투입했다. 이 중 연료전지 기술은 14개로 전체의 51.9%를 차지했고 수소 생산기술은 5개로 18.5%, 수소 저장기술은 6개로 22.2%, 수소충전소 기술은 2개로 7.4%를 차지했다.

2) 줄(J, Joule)은 에너지 열량 단위이며, 1메가줄(Megajoule)은 100만 J임



CONTENTS

3) 중국 항만의 수소에너지 활용기술 약점

업스트림(upstream)에서 수소에너지의 발전을 제약하는 두 가지 문제는 바로 수소연료의 저장과 수송이다. 중국에는 항만 내 이동기계 등에 전문적으로 수소를 공급할 수 있는 업체가 적고 수송방식도 단일하며, 수소사용 원가가 높다. 또한 중국은 주로 기체 상태의 수소를 위주로 사용하며, 현 단계에서 수소 수송은 롱 트레일러 수송이 주를 이룬다. 운송 압력은 20MPa이며, 일회에 347kg를 수송할 수 있다. 중국의 수소 저장탱크는 주로 35MPa형 탱크 위주이며, 70MPa형은 기술이 국제적으로 뒤떨어져 있다. 그로 인해 트레일러 운송 압력이 낮아 설비에 수소를 충전하는 시간이 디젤, LNG를 주입하는 시간보다 상대적으로 길어 부두 작업 효율에 영향을 준다.

또한 '제로 배출' 1차 에너지 측면에서 볼 때 전 세계 대부분 항만들은 현지에서 수소에너지를 생산하며, 주로 해상풍력을 이용해서 생산한다. 중국의 경우 풍력·태양광 등을 이용한 '수전해' 방식으로 생산하는 수소의 양이 매우 적어 선박이나 항만의 자체 사용 용도로도 '탄소 제로 에너지' 기준에 못 미친다.

4 중국의 항만도시, 수소에너지 산업사슬 구축 중

중국의 항만도시들은 이미 비교적 완전한 초기 수소에너지 산업사슬을 형성했다. 톈진, 칭다오, 다롄, 상하이, 푸저우, 광저우 등 지역에서는 수소에너지 제조, 저장·수송, 주입, 연료전지 동력시스템 및 수소에너지 응용 토털 산업사슬 프로젝트를 추진하여 일련의 선두기업이 육성되었다. 톈진은 석유화학 산업에 기반해 수소에너지 산업을 우세하게 배치해 수소 제조, 주입, 사용 토털 산업사슬을 형성했다. 칭다오항은 통지(同濟)대학, 상하이자동차그룹 등과 함께 수소에너지 제조, 저장, 주입, 연료전지 동력시스템 및 수소에너지 응용 토털 산업사슬 프로젝트를 추진하고 있다. 다롄은 수소 저장 및 운송, 수소 연료 전지 시스템 및 부품, 수소 연료전지 차량 및 기타 분야에서 경험이 풍부한 많은 기업을 보유하고 있으며, 상대적으로 완전한 초기 수소에너지 산업사슬을 형성했다. 상하이는 수소에너지 산업사슬 기업을 유치해 막전극접합체 등 핵심 부품 연구개발, 연료전지 동력시스템 생산 및 수소충전소 인프라 패키지 등을 포함한 비교적 완전한 수소에너지 산업체계를 기본적으로 형성했다. 푸저우는 수소 가스 공급, 연료전지 핵심부품, 완성차 생산·연구개발 등 산업사슬에서 일정한 기반을 갖추고 있다. 광저우의 일부 수소에너지 기업은 수소에너지 핵심부품, 수소 공급시스템, 자동차 제조업체 등 업스트림 및 다운스트림(downstream) 산업을 통합하는 공급망 체계를 형성해 현지 수소산업의 발전을 가속화하고 있다.



CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

[그림 3] 중국 일부 항만도시의 '수소 관련' 기업

업스트림—수소에너지 “제조-저장-수송-충전”	미들스트림—연료전지시스템	다운스트림—부분별 적용
칭다오 青岛海化中石油有限公司, 中国石化青岛炼油工程有限责任公司, 青岛中石油化工有限公司, 青岛海化中石油化工有限公司 등	칭다오 青岛海化中石油有限公司 등	칭다오 青岛海化中石油有限公司 등
톈진 渤海燃气(天津)有限公司, 天津燃气(天津)有限公司 등	톈진 天津海化中石油化工有限公司 등	톈진 中石油能源科技(天津)有限公司, 中石油(天津)新能源科技有限公司 등
탕산 唐山钢铁集团有限责任公司, 东方电气(河北)氢能科技有限公司, 中石油科技(唐山)有限公司 등	탕산 东方电气(河北)氢能科技有限公司 등	탕산 东方电气(河北)氢能科技有限公司 등
다롄 大连美里能源有限公司, 大连中石油化工有限公司 등	다롄 大连中石油化工有限公司, 大连中石油化工有限公司 등	다롄 一汽大众(大连)有限公司, 中石油(大连)有限公司 등
상하이 上海中石油化工有限公司, 上海中石油化工有限公司, 上海中石油化工有限公司, 上海中石油化工有限公司 등	상하이 上海中石油化工有限公司, 上海中石油化工有限公司, 上海中石油化工有限公司, 上海中石油化工有限公司 등	상하이 上海中石油化工有限公司 등
자싱 浙江中石油化工有限公司, 浙江中石油化工有限公司, 浙江中石油化工有限公司, 浙江中石油化工有限公司 등	자싱 浙江中石油化工有限公司 등	자싱 浙江中石油化工有限公司 등
광저우 广东中石油化工有限公司, 广东中石油化工有限公司, 广东中石油化工有限公司, 广东中石油化工有限公司 등	광저우 广东中石油化工有限公司 등	광저우 广东中石油化工有限公司 등
무저우 福建中石油化工有限公司, 福建中石油化工有限公司, 福建中石油化工有限公司, 福建中石油化工有限公司 등	무저우 福建中石油化工有限公司 등	무저우 福建中石油化工有限公司 등

5 한국에 대한 시사점

중국은 비록 수소 자원이 비교적 많지만 국제적으로 풍력에 의해 물을 전기 분해하여 수소를 제조하는 것과 달리 대부분 화석에너지로 수소를 제조하거나 공업 부산물로 수소를 회수하므로 진정한 배출저감 효과를 발휘하지 못하고 있다. 국제적으로 그린수소 에너지에 대한 연구와 응용은 일본과 독일이 앞서고 있으며, 2022년에는 이미 'P to G(Power to Gas)'(신재생에너지 수소 제조 + 천연가스 파이프라인에 수소 혼합) 시범사업을 철강과 물류업계에 대규모로 적용하고 있다. 2020~2024년 EU 내에는 설치 용량 6GW의 전해조가 건설될 계획이며, 재생 가능한 수소 생산량은 연간 100만 톤을 넘는다. 일본은 수소에너지와 연료전지 분야에서 50% 이상의 특허권을 갖고 있으며 여러 핵심 기술에서 단연 앞서 있다. 중국 및 국제 경험을 종합하면 한국 항만의 수소에너지 활용에 다음의 시사점을 제공한다.

1) 항만은 수소에너지 산업사슬을 발전 방향으로 삼아야 함

항만은 해안에 위치한다는 특수한 지리적 이점이 있어 그 자체로 풍력, 태양광, 조류 에너지를 발전시키는 데 이상적인 장소이다. 동시에 '전기분해 수소' 산업 육성을 위한 최적의 집적지이기도 하다. 중장기적으로 수소항만은 하역설비 및 주변 물류·보관 시설의 자체 에너지 이용수요를 충족시키기 위한 것뿐만 아니라, 정책 지원을 강화하고 수소에너지 제조 기업을 육성해 '생산, 저장, 판매, 사용'을 통합하는 토털 산업사슬을 구축하는 것이 수소에너지의 미래 발전에 더욱 적합할 것이다. 수소에너지 기술은 일본 등 관련 기업과의 협력하여



CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

점차 임항 지역에 친환경 수소에너지 제조 산업 클러스터를 조성할 수 있다. 탄소 배출량을 줄이고 항만과 도시의 전기 수요를 충족시킬 수 있는 수소에너지를 생산하는 한편, 수소전지 등을 제조해 교역에 활용할 수 있다. 임항 수소에너지산업은 항만에 경제적 이익을 지속적으로 제공할 수 있으며, 수소에너지 기술의 발전에 따라 임항 지역의 다른 제조품을 생산하는 에너지원도 교체될 수 있다. 특히, 그린수소 산업의 발전은 반드시 대규모 풍력이나 태양광 등의 1차 에너지를 기반으로 삼아야 한다. 따라서 한국 항만이 수소에너지를 발전시키려면 풍력 및 태양광 수소 제조 등 시설 건설이 우선되어야 한다.

2) 중국과의 수소에너지 무역을 점차 강화할 필요가 있음

수소에너지 무역은 환경보호 요구와 수소에너지 생산량 증가에 따라 점차 확대될 것이며, 수소에너지 생산 규모에서 중국의 우위는 분명하다. '탄소 배출' 인증체제에서는 풍력 등 청정에너지를 '수전해' 방식으로 제조한 수소에너지만이 진정한 그린수소 에너지이기 때문에 중국의 수소에너지는 그린수소 에너지 자질을 갖추지 못하고 있다. 그러나 수소에너지를 2차 에너지로 직접 사용하는 데에는 오염이 없고 에너지원으로 항만 등 현장에서 사용할 수 있다. 배출 인증 기준이 아직 국제무역에서 명확하게 규정되지 않았기 때문에 한국의 탄소배출량 산정에는 영향을 주지 않는다. 동시에 한국 항만들의 경우 수소에너지 무역과 관련 시설을 조속히 도입하는 것은 미래 글로벌 수소에너지 무역에서 기회와 우위를 선점하는데 도움이 될 것이다.

3) 항만의 수소에너지 장비에 대한 정책적 지원이 시급함

한국 산업통상자원부가 5,000억 원 규모의 수소에너지 펀드를 조성하는 한편 한국 정부도 금융 지원을 확대하고 있다. 산업은행 등 정책금융기관도 수소에너지 펀드가 참여하는 프로젝트와 기업에 각종 금융 혜택을 제공하고 있으며, 산업통상자원부는 수소에너지 관련 사업 및 신기술 개발과 관련한 규제를 완화했다. 그러나 임항지역의 풍력, 태양광 등 수소에너지 첨단산업과 항만기계의 수소에너지 사용에 대한 특별 지원은 부족하다. 현재 중국 항만에서 사용하는 수소에너지 설비에 대한 경제성 분석 결과에서 보다시피 설비 구입과 종합 사용 원가는 모두 순수 전기 동력 설비보다 높다. 따라서 정부의 재정 지원과 수소에너지 및 부품 수입과 관련한 세제 지원정책이 필요하다.



CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

칼럼 원문

氢能源在中国港口领域的应用及发展趋势

撰文 | 上海国际航运研究中心 港口发展研究所 助理所长 谢文卿

为应对全球气候变化，中国已承诺在2030年前实现“碳达峰”，为此港口等交通领域能源正加速向低碳化转型。近年，中国港口除了港机设备的常规性“油改电”外，液化天然气（LNG）、氢能、氨气、生物燃料、风能、太阳能等新能源体系都在加快构建并尝试扩大应用。众所周知，LNG由于使用成本低和污染少于柴油等特点，在港口船舶领域的应用比例越来越高，但其因无法真正实现“零排放”，仍是中短期内的过渡性能源，而太阳能、风能等难以长期储存；相较之下，氢能源不仅易于获得，且作为可以跨地区、跨季节的能量转化渠道更受关注，未来更有望成为港口物流领域的主要清洁能源之一。

表1 港航物流产业各种新能源选择优势及劣势比较

能源	优势	劣势
LNG	相比燃油可减少氮化物排放量超过80%，减少CO2排放量超过20%，硫化物和颗粒物排放可忽略不计。技术成熟。	加注基础设施不足，新造和改装LNG动力船的成本都相对较高。仅凭LNG燃料难以实现航运业的减排目标。
LPG	无硫氧化物排放，CO2减少约10%，颗粒物减少约90%。技术成熟。	作为炼油厂副产品的LPG，由于来源、产量等原因，缺乏LNG所具有的优势。
甲醇	减排效果与LNG一致，室温下呈液态，便于运输，泄漏也能够实现生物降解。技术成熟。	价格远低于柴油，但目前生产的主要原料是煤和天然气，因此甲醇的碳排放量并不低。
生物燃料	生物燃料可减少CO2排放约85%，在动力方面与重油等效，无需对船舶进行改造。	从产量、供应、原料来源和制造成本等方面看，中短期内不具备大规模广泛使用条件。
氢能源	能量密度比化石燃料低50%，可满足“零碳”排放，取之不尽（电解海水制取）。	生产成本低，尚不具经济性，无法实现规模化供应。储存与运输困难、泄漏后有爆炸危险。
氨气	能量密度比化石燃料低50%左右，燃烧时不会排放CO2，更容易储存、运输和处理。	具有腐蚀性，且易挥发、易燃，在通风、温度和气压控制方面需要特殊的安全防御措施。
燃料电池	高效率、无污染、建设周期短、易维护	燃料的制备、运输、储存方式还不够安全可靠
风能	取之不尽、无污染	布置难，易受海况影响，尚难满足需求
太阳能	取之不尽、无污染	造价高，技术要求高，能量转换效率有待提高

一、中国氢能源开发时间短但具备基础

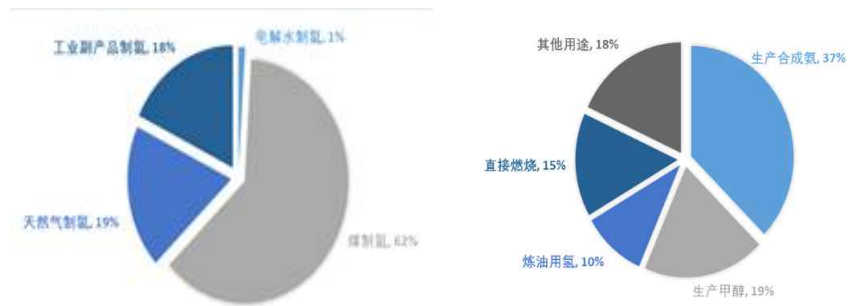
氢能源以氢气作为能源载体，是一种储量大、来源广、效率高、清洁低碳、可再生的二次能源，其不管是直接燃烧还是采用电化学转化，产物只有水且能量转化效率高，被誉为21世纪最具发展潜力的二次能源。2019年，中国首次将氢能源写入政府工作报告，并于当年6月发布《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》，才真正开始加快了

CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

氢能存储、运输技术的研究；在2020年4月中国国家能源局发布的《中华人民共和国能源法》中，氢能才首次被列能源范畴。在此之前，根据中国法规“氢”只能作为“危化品”，而非能源。

中国虽然将“氢”作为能源进行研发和利用的时间较短，但国内一直存在一个以化石能源制氢和工业副产氢回收的生产和非能源利用的“氢气产业”，并且这一产业已经有相当规模。根据中国氢能联盟的数据显示，2021年中国氢气产能约为4100万吨，实际产量约3342万吨，换算热值占终端能源总量份额仅2.7%。且其中真正通过“电解水”方式获得的绿色氢能仅占1%，而用途上大部分也用于制氨和甲醇等燃料。



数据来源：中国煤炭加工利用协会

图1 中国氢气来源占比与主要消费途径

二、中国氢能产业正加速拓展应用场景

与“氢气”产业相比，中国“氢能”产业发展还处于初级阶段，氢气产量中仅有1%左右作为能源使用。目前，中国氢气产量和储氢材料产销量世界第一，为氢能技术开发利用和氢能产业创造了有利条件，使近年中国氢能产业得到快速发展，应用场景不断增多，但目前仍主要集中在氢能源车辆。截至2021年年底中国氢燃料电池汽车保有量约9315辆，已成为全球最大的燃料电池商用车市场，2022年中国已建成加氢站250座以上。目前，中国已投产的加氢站从地域分布来看，主要集中在广东、江苏、上海、湖北、河北等地，并且服务对象主要为城市公共交通设备，少有港口专用加氢站，未来加氢站的建设数量及地域分布还有待完善。

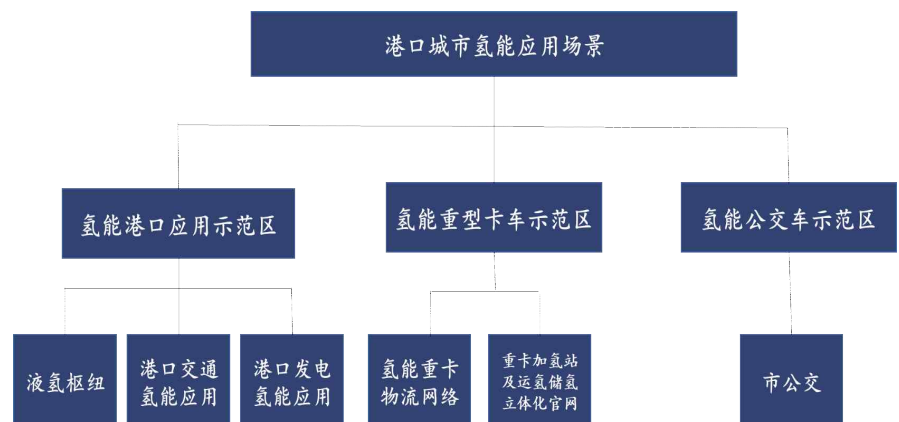


图2 中国港口城市氢能应用场景



CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소·건설·현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

中国已掌握了部分氢能基础设施与燃料电池相关的核心技术，制定出台了国家标准112项次，具备一定的产业装备及燃料电池整车的生产能力。从产业规划看，中国发布《中国制造2025》、《国家创新驱动发展战略纲要》，以及2022年3月国家发展和改革委员会、国家能源局联合印发的《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》，都在积极鼓励氢能产业发展。同时，国内已有北京市、河北省、上海市、浙江省、山东省、广州市等数十个省（市）和地区发布了氢能产业发展规划/实施方案/行动计划；根据已经发布的规划目标，预计到2025年燃料电池汽车累计推广量将超过15万辆，加氢站将超过1000座，氢能产业累计产值将超过9600亿元。另从研发投入看，尽管中国的氢能源布局较晚，但正逐渐成为研发预算投入增幅最大的国家。

三、中国港口对氢能源的利用现状

(1) 打造“产销用”一体化氢能港口

“氢港”主要指具备氢能源使用、氢能产业培育和氢能贸易的港口，近期则以临港氢能产业培育和港机等设备的氢能源应用为主，中远期随着氢能技术的成熟，逐步开展氢能源贸易，形成“产-储-销-用”一体的全产业链条。现阶段，中国已有一批初具规模的“氢港”，分别位于山东省青岛市、上海市临港新片区、天津市滨海新区、江苏省张家港市、浙江省宁波市等地区。同时，深圳盐田、大连太平湾等港口也都相继对建设氢能港口制定了规划。未来将主要发挥以下3方面作用：一是形成氢能产业示范区，带动当地的氢能产业链发展；二是为航运提供氢燃料，助力其实现脱碳；三是作为氢能进出口的关键枢纽，根据国际可再生能源署（IRENA）预计，到2050年全球大约1/4的氢气将用于国际贸易，其中一半将通过船舶运输，将带动氢能的全球化应用。

表2 中国主要氢能港口发展情况

港口	主要发展情况
上海	上海市发展改革委发布《上海市氢能产业发展中长期规划（2022-2035年）》，规划提出到2025年建设各类加氢站70座左右，燃料电池汽车保有量突破1万辆，氢能产业规模突破1000亿元，在交通领域带动二氧化碳减排5-10万吨/年，打造国际氢能示范港口。
山东	山东青岛港全自动化码头（二期）投产运营，打造全球首个“零排放”的氢动力自动化港口。2019年11月，青岛港投用氢动力自动化轨道吊，采用氢燃料电池加锂电池组的动力模式，为全球首创。2022年6月，全国首座港口加氢站-山东港口青岛港前湾港加氢站取得青岛市加氢站第一个《气瓶充装许可证》。
天津	2020年，天津港区域打造氢能产业链，推动加氢基础设施建设，开展氢燃料电池物流车、叉车、港口机械等示范运营。2022年2月，天津港引入30台氢能源集卡，全过程零碳、零污染物排放适应集装箱码头作业运行需求。
宁波	宁波港口物流应用示范试点，重点针对北仑、大榭开发区，推进氢燃料电池物流车、港区集卡、叉车等应用。2022年建成加氢站2座以上，车辆应用规模达到100辆以上。
深圳	南山区政府、招商局港口集团、深圳能源集团在深圳西部港区共同推动氢能中重载、中远途车型，以及氢能船舶、氢能工程机械等综合示范运营。

CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

(2) 港口应用领域集中拖车集卡

目前，中国港口对氢能的利用以氢能燃料电池为主，工作原理并非直接采用燃烧氢气的方法，而是依靠其阳极（H₂）、阴极（O₂）以及电解液等构成部件，通过电化学反应将燃料中的化学能直接转换成电能；工作过程只需要燃料（氢气）和氧化剂（空气或纯氧）持续输入，氢能燃料电池就可以连续产生电能。

以山东青岛为例，《青岛市氢能产业发展规划（2020—2030年）》中提出，推动建设氢能港口等多种氢能发展示范形式，在青岛港开展燃料电池港口机械和物流运输示范应用。目前，青岛港自主研发的全球首创“氢动力”自动化轨道吊等，解决了一键锚定、永续充电、自动摘锁、AGV轻量化等难题，作业效率提升30%，缩减人员50%以上。用清洁能源车辆逐步替换港口现有燃油车辆，推动与港口作业衔接配套的长途物流公司逐步更换清洁能源车辆，规模有望达到7万—10万辆。

然而，氢能源在拖车集卡应用上仍存在不足。目前，氢能车辆单车价格、氢能源价格均居高不下，应用氢能设备虽具有一定的社会效益与环保效益，但经济性差，港口企业推广应用氢能车辆的积极性不高。

表3 中国港口不同能源形式的集装箱车辆经济性比较

项目	氢能	纯电动	备注
购置费 (万元)	140	90	纯电、氢能购置免税
能耗单位 (元/kg、元/kwh)	30	0.8	国内港口实际运营
年燃料成本 (万元)	12	7	年运行300天
全寿命周期总费用 (万元)	260	270	—

此外，在物理特性上，氢热值（143MJ/kg）较高，是同质量焦炭、汽油等化石燃料热值的3—4倍，而通过燃料电池可实现综合转化效率90%以上。不过以分析整车能源效率时常用的“油井到车轮”（WTW）生命周期效率指标来看，氢能燃料电池车辆的表现一般不如纯电动车，主要受到目前制氢、储氢、输氢，以及燃料电池能量转化技术不成熟的影响。

为此，过去3年中国重点研发计划启动实施“可再生能源与氢能技术”重点专项，科技部通过该重点专项部署了27个氢能研发项目，研发经费投入约5亿元。其中，燃料电池技术类有14个，占总项目的51.9%；制氢技术类5个，占比18.5%；储氢技术类6个，占比22.2%；加氢站技术类2个，占比7.4%。

(3) 中国港口氢能利用技术短板

而在上游制约氢能源发展的两大问题就是氢燃料的储存和运输，国内为港口流动机械等专业供氢厂家少，运输方式单一，氢气使用成本较高。同时，国内氢气使用主要以气态氢为主，现阶段氢气运输主要采用的是长管拖车运输，运输压力多为20MPa，单车次可运输347kg，国内“储氢瓶”主要以35MPa型“氢瓶”为主，70MPa型“氢瓶”技术较国际落后，因拖车运输压力低，设备加氢时间相对较加注柴油、LNG时间长，影响码头作业效率。此外，国内流动机械相关氢能源标准规范需要进一步完善，提高氢能的储运效率、降低氢能的储运成本是目前氢能储运技术的发展重点。

另从“零排放”的一次能源角度看，全球大部分港口“氢能”都因地制宜，主要利用“海

CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

上风电”进行氢能制取，而中国利用风电、太阳能通过“电解水”方式制氢的量尚且十分小，无论是供应船舶或是港口自用都不足以达到“零碳能源”标准。

四、中国港口城市正构建氢能产业链

中国港口城市已初步形成相对完整的氢能产业链。天津、青岛、大连、上海、福州、广州等开展了氢能制取、储运、加注、燃料电池动力系统及氢能应用全产业链项目，形成了一批龙头企业。天津依托石化产业，优势布局氢能产业，形成了制氢、加氢、用氢的全产业链条；青岛港联合同济大学、上汽集团等开展氢能制取、储运、加注、燃料电池动力系统及氢能应用全产业链项目。大连在氢气制备储运、氢燃料电池系统及零部件、氢燃料电池整车整机等方面，拥有众多经验丰富的企业，已初步形成相对完整的氢能产业链。上海引进了一批氢能产业链企业，初步形成了集膜电极等关键零部件研发、燃料电池动力系统生产和加氢站基础设施配套等较为完整的氢能产业框架体系。福州在氢气供应、燃料电池核心零部件、整车生产研发等产业链环节具有一定基础。广州部分氢能企业已完成整合氢能核心零部件、供氢系统、整车厂商等上下游产业的供应链体系，推动了当地氢能产业的提速发展。

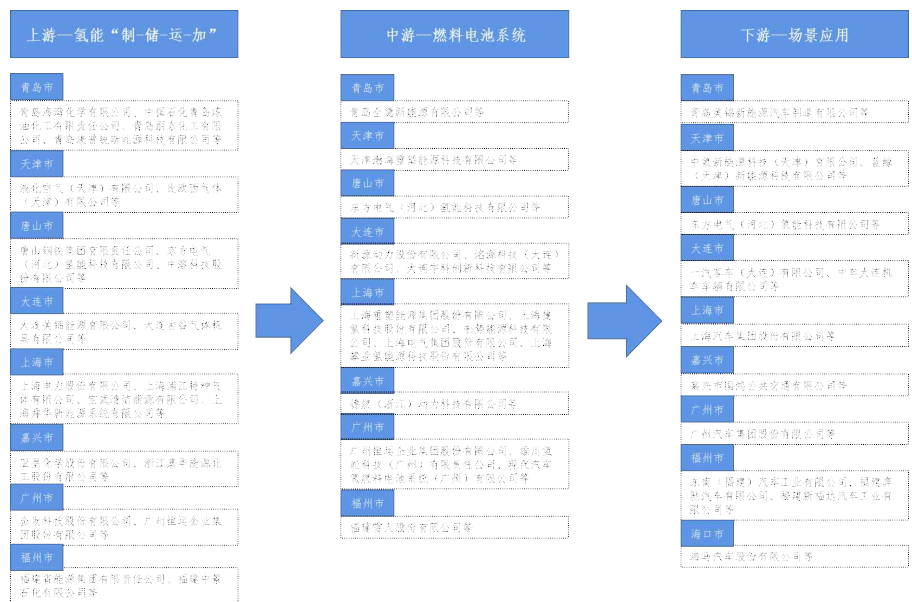


图3 中国部分港口城市的“涉氢”企业

五、氢能源应用对韩国港口的启示

中国虽然氢气资源体量较大，但不同于国际上风能电解水制氢，大部分都是化石能源制氢和工业副产氢回收，无法发挥真正减排效果。而国际上对绿色氢能研究和应用较早的是日本与德国，2022年已将“P to G(Power to Gas)”（可再生能源制氢+天然气管道掺氢）示范项目在钢铁和物流行业进行大规模应用，2020-2024 年在欧盟境内计划建成装机容量6GW 的电解槽，可再生氢年产量超过 100 万吨。日本则在氢能和燃料电池领域拥有的优先权专利占全球 50%以上，并在多个关键技术方面处于绝对领先地位。综合中国与国际经验对韩国港口氢能利用有以下启示：

(1) 港口应以氢能产业链为发展方向

港口具有滨海的特殊地理优势，本身是发展风能、太阳能、潮汐能的理想场所；同时也是发展“电解氢”产业的最佳集聚区。从中长期看，港口氢能不仅仅只为满足港机设备与周边物流仓储设施的自用需求，加强政策扶持，培育一批氢能制造企业，打造

CONTENTS

- ▶ 통계로 보는 중국 : 중국의 수소 충전소 · 건설 · 현황
- ▶ 전문가 칼럼 : 중국 항만부문의 수소에너지 응용 현황 및 발전 동향 분석

“产-储-销-用”一体的全产业链条将更适合未来氢能发展需要。而氢能技术则可引入日本等相关企业进行合作，逐步在临港地区打造绿色氢能制造产业集群，一方面生产的氢能可以降低碳排放并满足港口与城市电能需求，而制造的氢能电池等可供贸易使用；另一方面临港氢能产业能持续为港口提供经济效益，同时随着氢能技术的发展，也可对临港地区其他生产制造产品的能源进行更迭。值得一提的是，绿色氢能产业的发展必须基于大规模风电或太阳能等一次能源基础上，因此韩国港口要发展氢能，首先要加强“风电制氢”、“光伏制氢”等设施建设。

(2) 与中国逐步加强氢能贸易

氢能贸易的趋势随着环保要求与氢能产量的提升将逐渐扩大，中国在氢能生产规模上的优势显而易见。虽然在“碳排放”认定体制中，唯有风电等清洁能源“电解水”方式制成的氢能才是真正的绿色氢能，因此中国的氢能并不具备绿色氢能资质，但氢能作为二次能源在直接使用上并无任何污染，可作为能源在港口等本地使用。由于排放认定标准在跨境贸易中尚无明确规定，因此并不影响韩国碳排放量的测算，同时韩国港口提前布局氢能贸易的相关设施装备，也有利于今后在全球氢能贸易中抢抓先机，占据优势地位。

(3) 港口氢能装备亟需政策扶持

韩国产业通商资源部虽已成立了规模达5000亿韩元（约合人民币25.6亿元）的氢能基金，同时韩国政府也进一步加大金融支援，产业银行等政策性金融机构为氢能基金参与的项目及企业提供各种金融优惠；产业部放宽涉氢能项目及有关新技术研发的管制措施。但对临港地区“风电/光伏”等氢能前端产业和港口机械使用氢能的后端应用缺少专项扶持，正如当前中国港口使用氢能设备的经济性分析，其设备购置与综合使用成本均高于当前的纯电力设备，需政府给予一定财税支持，以及对氢能或配件进口的相关税收进行一定政策倾斜。