



액화수소 생산/저장/활용 기술

Production/Storage/Utilization Technologies for Liquefied Hydrogen  한국기계연구원
KOREAN INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

최병일*, 도규형, 김태훈, 유화룡 / 한국기계연구원

* cbisey@kimm.re.kr, 042-868-7405

기술 배경

- 환경문제가 인류의 생존문제로 부각되면서 전 세계적으로 지구 온난화 문제 해결 및 대기환경 개선을 위한 노력을 하고 있음
- 지구 온도 상승에 주범인 온실가스 배출을 최대한 줄이는 것이 기후 변화 대응에 가장 중요한 해결책 → 유엔기후변화협약에서는 2100년까지 지구 평균온도 상승폭을 1.5°C 이내로 제한하기 위해서는 전지구적으로 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 최소 45% 이상 감축하여야 하고, 2050년경에는 탄소중립을 달성하여야 한다는 경로를 제시
- 지금까지 에너지원으로 주로 사용된 화석연료를 계속 사용하여서는 탄소중립 목표를 달성할 수 없기 때문에 온실가스를 배출하지 않는 태양에너지, 풍력에너지 등의 신재생에너지의 활용이 필요함
- 자연 환경에 영향을 받는 신재생 에너지의 경우 자연 상황을 제어할 수 없기 때문에 필요한 전기량 보다 많이 생산되거나 적게 생산되는 상황이 필연적으로 생길 수밖에 없음
- 신재생에너지로 생산되는 잉여의 전력을 버리지 않고 저장을 하여 전력 생산이 부족할 때 저장된 에너지를 사용할 필요가 있음
- 신재생에너지로 생산되는 잉여의 전력을 저장하기 위한 방법으로는 배터리, 슈퍼 커패시터, 압축 공기 및 수소 저장 등이 존재하며 그 중에 수소는 열과 전기를 생산하면서 온실가스와 미세먼지 등 유해물질 배출이 없는 친환경 에너지로서 각광 받고 있음
- 대량의 수소를 저장하는 방법으로 액화수소, 수소 액상화(NH₃, MCH등) 방식 등이 고려되고 있으나 현재 기술로서 상용화 되어 있는 방식은 고압기체수소 및 액체수소 저장/운송 방식임
- 액체수소(liquid hydrogen)는 극저온 상태(대기압 기준 -253°C)로 냉각하여 액화된 수소이며 기체수소의 부피를 약 1/800로 감소시킬 수 있어 동일 압력에서 기체수소 대비 800배의 체적에너지 밀도를 가지고 있음 (고압 기체수소 (200 bar) 대비 액 4.5배의 저장밀도)
- 액체수소는 대기압에서 대용량 저장이 가능하고, 이에 따라 저장용기의 안전성 부분에서 장점을 가지고 있으며, 낮은 온도로 기존 고압 기체수소에 비해 폭발 위험성이 낮음
- 이러한 장점으로 인해 잉여의 신재생에너지를 저장하는 방식으로 액화수소가 각광 받고 있음

개발 기술 목표

- 기술의 명칭 : 수소액화 플랜트 및 액화수소 공급 시스템
- 목표 : 대용량 수소의 저장 운송, 활용이 가능하도록 하기 위해, 기체수소를 액화하여 액화수소를 생산하는 수소액화 플랜트 및 액화수소의 저장·활용을 위한 액화수소 공급/기화 시스템

액화수소 생산/저장/활용 기술

Production/Storage/Utilization Technologies for Liquefied Hydrogen

기술동향

- 전 세계 40여개 (395 ton/day)의 상용급 수소액화 플랜트가 건설되어 있음 → 3대 주요 기업(Linde(Praxair), Air Liquide, Air Products)만 상용화 기술을 확보하고 있음

Continent	Location	Operated by	Capacity	Commissioned in
America	Canada/USA	Air Products, Praxair Linde, Air Liquide	16 Site 300 TPD	1982~1997
Europe	France, Germany, Netherlands	Air Products, Linde, Air Liquide	4 site 25 TPD	1987~2008
Asia	India, China, Japan	Linde, Iwatani	11 site, 25 TPD	1985 ~ 2008
	Japan	Iwatani(Linde), KHI	5 site 25 TPD	2013 ~2019

표 전 세계 액화수소 생산을 위한 수소액화플랜트 현황

- 소용량(수~수십kg/일)의 경우 본 실증트레에서 실증하려고 하는 상용급과 액화기술이 다르며, 하이리움(강원 규제자유특구), 패리티(충남 규제자유특구) 등 중소기업 위주로 개발이 진행 중임
 - 강원규제자유 특구 : 액화수소생산설비(배관, 밸브) 제작 실증, 액화수소 용기 및 저장탱크 제작 실증
 - 충남규제자유특구 : 수소충전시스템실증(소용량 액화기, 소용량 액화수소 저장용기 포함)
- 상용급(0.5톤/일 이상)의 경우 국내 기술 개발 기업은 전무하며 상용급 수소 액화플랜트의 공정 및 기자재 국산화를 위한 국토교통부 "상용급 액화수소 플랜트 핵심기술 개발 사업(2019~2023)" (주관기관: 한국기계연구원) R&D가 진행 중

기술 내용 - 수소액화 플랜트

- 0.5 ton/day 수소액화 파일럿 플랜트 설계/구축/운영 기술 개발
- 수소액화 파일럿 플랜트 핵심 설비인 극저온 팽창기, 극저온 열교환기, Cold Box, 극저온 밸브, 액체수소 저장탱크 기술 개발

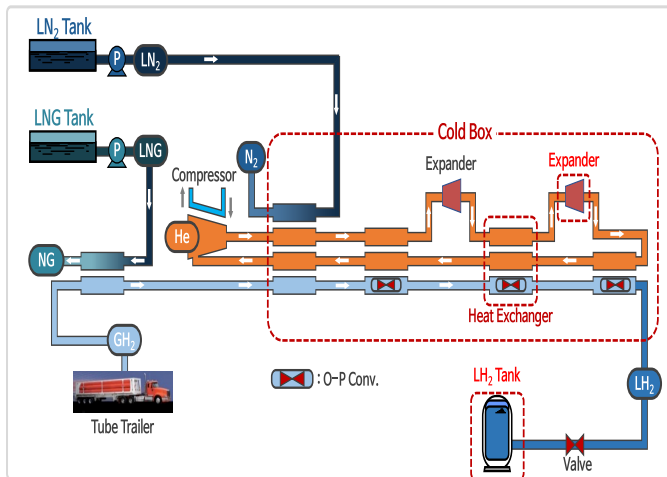


그림 0.5 ton/day 수소액화 파일럿 플랜트 공정 개략도

그림 0.5 ton/day 수소액화 파일럿 플랜트 모형

액화수소 생산/저장/활용 기술

Production/Storage/Utilization Technologies for Liquefied Hydrogen

기술 내용 - 액체수소 기반 고압 기체수소 공급 시스템 기술

- 기존의 수소공급시스템은 저장된 기체수소를 공급하는 방식으로서 디스펜서의 전단부 온도제어를 위한 별도의 예냉 시설이 필요함
- 액체수소 기반으로 기체수소를 공급하게 되면 별도의 예냉 시설이 필요없으며 액체수소의 냉열을 활용하여 예냉이 가능하여 효율적임
- 대기압 보다 조금 높은 압력으로 액체수소를 저장하여 수소를 공급하기 때문에 안전성 측면에서 우수함

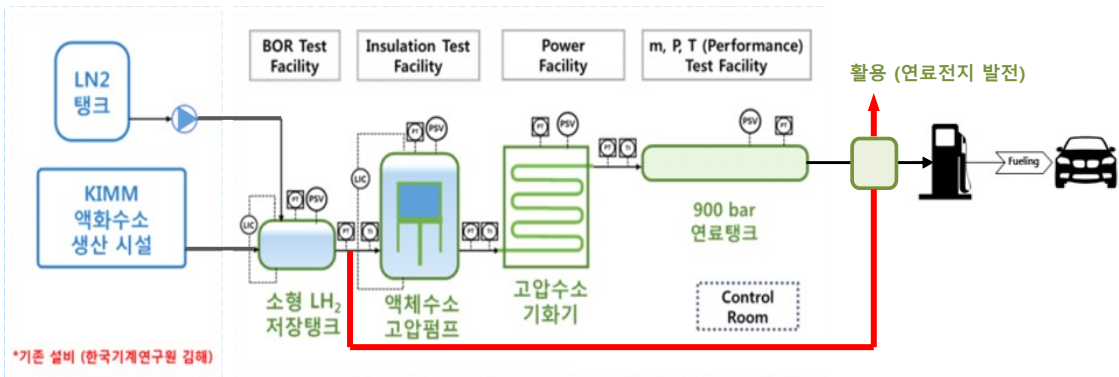


그림 액체수소 기반 고압 기체수소 공급시스템

기술 내용 - 액체수소 연료공급시스템 설계 기술

- 기존의 배터리 기반 모빌리티에 활용되는 리튬이온 배터리 기술은 밀도부분에서 개선 가능한 한계치에 다다르고 있으며, 고 에너지 밀도를 갖는 액체수소를 활용한 연료전지 타입 동력원이 중-장거리용 모빌리티에 활용 가능한 후보가 될 것으로 기대
- - 에너지 효율 및 출력 안정성을 위해 액체수소를 활용한 연료전지와 고출력 운행 시 보조적으로 활용될 배터리가 함께 연결된 하이브리드 동력원을 사용하는 모빌리티용 액체수소 연료공급시스템 설계 기술 개발

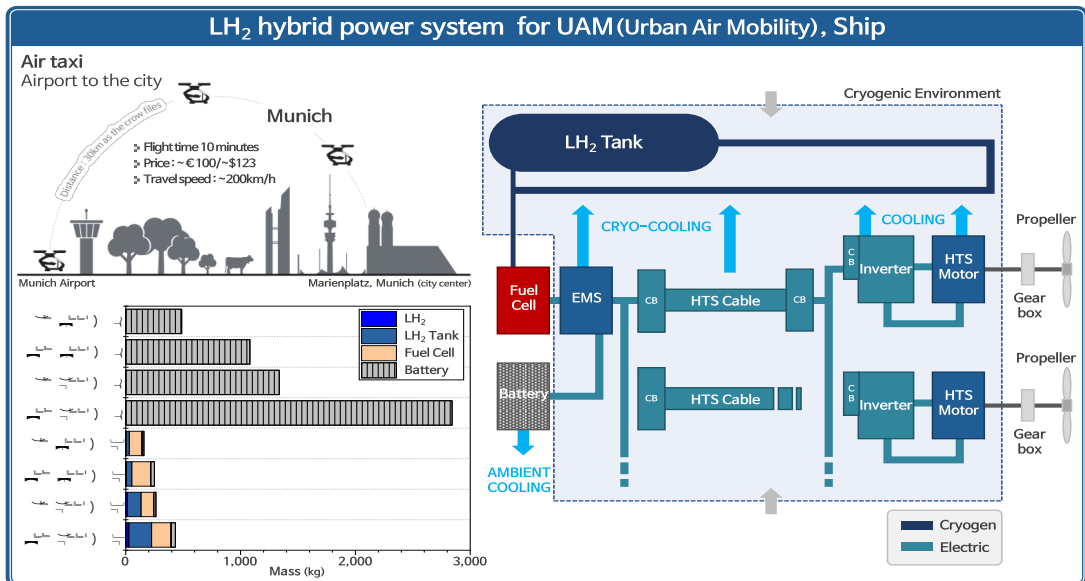


그림 액체수소 기반 고압 기체수소 공급시스템

액화수소 생산/저장/활용 기술

Production/Storage/Utilization Technologies for Liquefied Hydrogen

기존 기술과의 차별성

- 본 기술의 경우 국외 선진사에서 독점하고 있는 상용급 수소액화 공정 및 저장탱크 기술을 실증하는 것으로 국외 기술과의 차별성은 없음.
- 국내에는 본 기술이 개발된 바가 없으며, 현재 진행 중인 강원, 충남 규제자유 특구의 경우 본 기술과는 다른 직냉식 소형 수소 액화기로 기체수소를 기성품인 헬륨 냉동기를 통하여 소용량 액화하는 것으로 본 기술이 가진 팽창기와 열교환기를 가진 상용급 공정과 다름
- 국내에서 대기업과 지자체가 본 기술과 같은 기술을 적용하여 수소액화플랜트 건설을 계획하고 추진하고 있으나, 이는 모두 해외기술 및 제품을 적도입하는 것으로 기술개발 성격이 아님.

시장 전망

- 국내 수소시장은 지속적으로 성장하여 2050년 70조원 매출, 누적 60만개의 일자리 창출 전망
- 또한, 연간 CO2 감축 목표의 약 20%가 수소 활용을 통해 감축되어 기후변화 대응에도 핵심적 역할을 할 것으로 기대

구분	글로벌	국내
시장 규모	2,940조원(2.5조 달러)	70조원
고용창출 효과	3천만 명	60만 명
최종 에너지 소비량 대비 비중	18%	20%
수소 차량	승용차 4억대 트럭·버스 2000만대	승용차 700만대 트럭·버스 100만대
전체 발전량 대비 수소 발전량 비중	9%	10%
연간 CO2 감축 효과	60억톤	1.5억톤

<출처 : Hydrogen Council ('17), 매킨지('18)>

그림 2050년 수소 전망

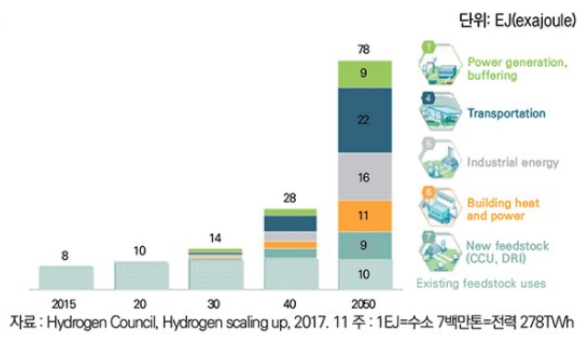


그림 세계 수소 사용량 전망

- 세계 수소시장 전망 자료에서 보듯이 수소 수요는 지속적으로 증가하여 2050년에는 현재의 약 10배 이상 증가할 것으로 예측됨
- 특히 2050년까지 수송부문은 전체 수소 수요에서 가장 큰 비중을 차지할 것으로 전망되며, 향후 수송용 연료전지가 연료전지 시장 성장을 주도할 것으로 전망됨

패밀리 지식재산권 현황

출원국가	출원번호(출원일) / 등록번호	발명의 명칭
한국	KR 10-2019-0158000 (2019.12.02) / 10-2152466 (2020.08.31)	수소변환모듈 및 이를 포함하는 수소액화장치
한국	KR 10-2019-0157999 (2019.12.02) / 10-2328753 (2021.11.15)	수소 액화장치 및 수소 액화방법
한국	C-2019-038725 (2019.11.29)	HyLiqPAP (수소액화 공정 설계 소프트웨어)
한국	C-2020-044879 (2020.11.03)	HybridPAV (액체수소 하이브리드 동력 기반 개인형 항공기 동력원 설계 소프트웨어)