



수소 저장/운송 기술 개요 및 현황

김수현 고등기술연구원 책임연구원 shkim0605@iae.re.kr

1. 서론

정부는 올해 1월 “수소경제 활성화 로드맵”을 발표하고 2040년 최종 소비에너지의 5%를 수소에너지로 활용하는 장기적인 계획을 수립하였다. 수소는 전기와 같은 에너지 운반체로서 화석연료, 재생에너지 등 다양한 1차 에너지원으로부터 생산될 수 있다. 이미 석유화학 산업에서는 많은 양의 수소를 사용하고 있으나 우리가 궁극적으로 추구하고자 하는 수소 경제, 수소 사회의 관점에서는 수소의 활용처가 수송용, 가정용, 발전용 등 다양한 분야에서 사용될 수 있다. 수소를 에너지원으로 사용할 경우 미세먼지 절감 등 대기 질을 개선할 수 있고, 재생에너지를 이용해 수소를 생산할 경우는 온실가스를 감축시켜 지속가능한 에너지 활용 기반을 구축할 수 있다. 수소의 공급 체계는 생산-저장/운송-활용으로 구분될 수 있으며, 각 단계별 다양한 기술이 존재하기 때문에 전주기적으로 여러 형태의 수소 공급 모델(Supply Chain)이 도출될 수 있다. 특히 수소의 저장과 운송은 수소의 경제적인 공급을 위해 가장 중요하게 검토되어야 할 부분으로 저장, 운송의 단위 기술뿐만 아니라 생산, 활용 부분과의 연계를

고려한 통합적인 분석을 통해 그 방법을 결정해야 한다. 본 원고에서는 수소의 저장/운송 기술 개요 및 동향에 대해 살펴보고자 한다.

2. 수소 저장 기술

수소의 저장 기술은 수소의 물리적인 성상에 따라 고체 저장, 액체 저장, 기체 저장으로 나눌 수 있으며 이 밖에도 금속 수산화물, 액체 유기 화합물과 같이 다른 물질과의 결합 형태로 저장하여 활용하는 방법이 있다([그림 1]). 현재 가장 보편적으로 적용되는 수소 저장 기술은 수소를 기체형태로 저장하는 것이다. 그러나 기체로 저장하기 위해서는 [그림 2]에서 나타난 바와 같이 부피당 에너지 밀도가 낮은 수소의 특성으로 인해 고압으로 압축하여야 하며, 이에 따라 고압에서 안전하게 저장할 수 있는 용기 개발이 필수적이다. 수소 저장을 위한 용기는 [그림 3]과 같이 Type 1부터 Type 4까지 4가지 종류가 개발되어 있으며 용기의 몸통 부분과 용기 내측(라이너) 부분을 구성하는 재질 및 강도에 따라 구분된다. Type 1은 강철, 알루미늄



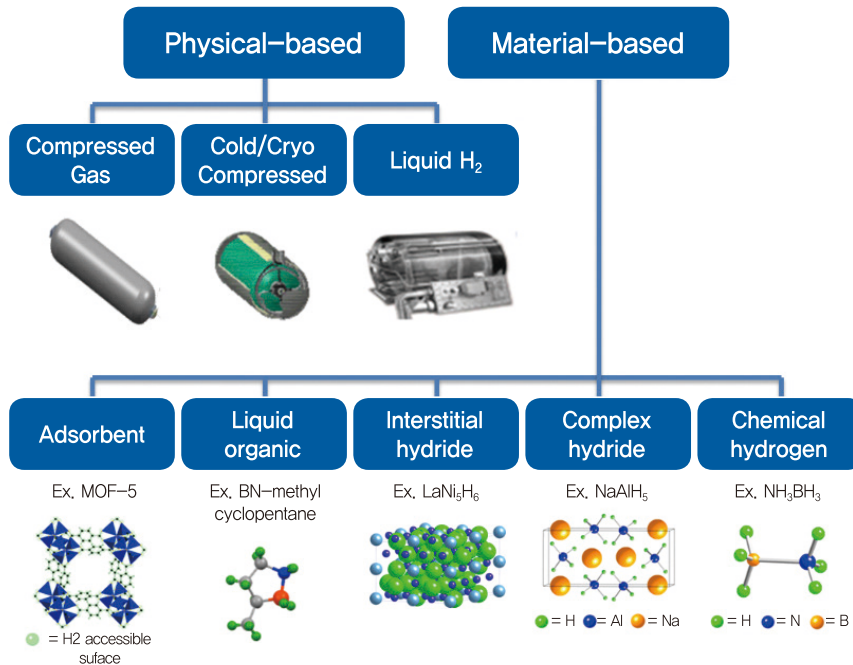
이슈와 시선

수소 저장/운송 기술 개요 및 현황

늄 등과 같은 금속으로 제작된 용기로 금속재료 용기인 Type 1은 강철, 알루미늄 등 금속만으로 제작된 용기이고, Type 2는 Type1의 용기에 몸통부분을 복합재료로 보강하여 용기의 두께를 감소시킨 것으로 Type 1에 비해 용기가 가벼운 장점이 있다. Type 1과 Type 2의 저장압력은 소재의 제약에 따라 150~300 bar까지 가능하다. Type 3는 알루미늄 라이너에 탄소섬유 복합재료를 보강한 형태로 금속 재료 용기에 비해 무게가 가

벼우나 대형 용기를 제작하는 경우는 금속용기보다 내구성이 높지 않은 단점이 있다. Type 4는 플라스틱과 같은 비금속 라이너에 탄소섬유 복합재료로 용기 전체를 보강한 것으로 기체 저장 용기 중 무게가 가장 가볍고 내구성이 우수하다. Type 3와 Type 4는 350~700 bar까지 저장에 가능하여 현재 수소 전지 자동차 및 충전소에서는 Type 4 용기가 주로 사용된다.

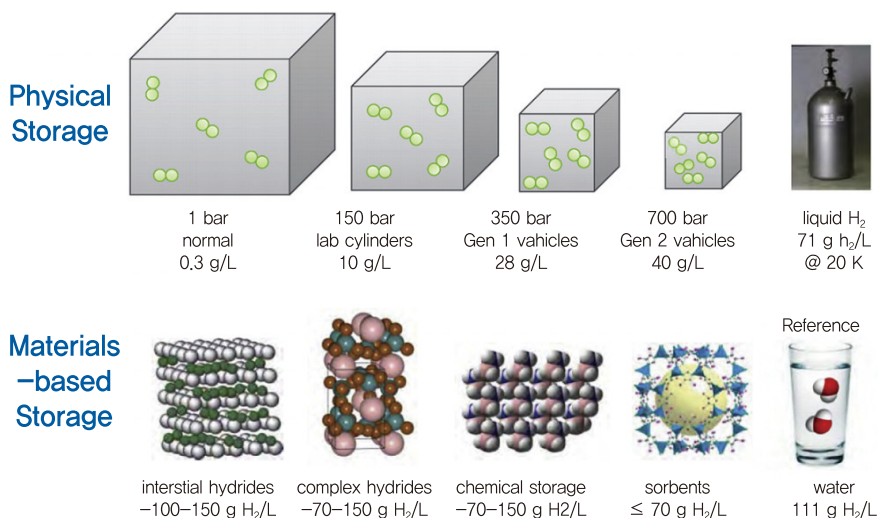
[그림 1] 수소 저장 기술의 개략도(1)



자료: DOE (www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage)



[그림 2] 수소 저장 기술의 개략도(2)



자료: Ren(2017)

[그림 3] 기체 저장 용기 종류

Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
금속제 용기(철, 알루미늄)	금속제 용기 + 유리섬유 부분보강	알루미늄 라이너 + 탄소섬유	플라스틱 라이너 + 탄소섬유
Type I	Type II	Type III	Type IV

수소의 액체 저장은 수소를 극저온 상태(영하 253 도)로 냉각하여 저장하는 방식으로 1 bar 기준에서 기체로 수소를 저장하는 것과 비교하면 동일한 부피에 약 240배의 수소를 저장할 수 있다. 액체 저장은 대기압에서 저장이 가능하기 때문에 기존 고압 기체 수소 저장에 비해 폭발 위험성이 낮고 저장 용기의 안전성 부분에서 장점을 가진다. 또한 기체 저장에 비해 대용량

저장이 가능하기 때문에 수소 수요량이 증가하여 대용량 저장 및 수송이 필요한 경우에는 기체 저장보다 경쟁력 있는 기술이 될 수 있다. 그러나 액화 및 저온 유지를 위한 에너지 비용이 높고, 아직까지 국내는 소용량 액화 장치 운전 수준으로 기술 개발을 위한 시간과 투자에 많은 노력이 필요하다. 액체 저장의 다른 형태로 액상 유기 화합물(LOHC, Liquid Organic



이슈와 시선

수소 저장/운송 기술 개요 및 현황

Hydrogen Carrier)을 이용한 수소 저장 방법이 있으며, 이는 수소 저장 용량이 높고 취급이 간편하다는 장점이 있으나 액상 유기 화합물에 저장된 수소를 활용하기 위해 필요한 탈수소화 과정에서 많은 에너지 소모가 필요하다는 단점이 있다. 고체 저장은 낮은 압력 하에서 수소를 고체 물질의 내부 또는 표면에 저장하고 저장된 수소를 재방출하여 활용한다. 고체 수소 저장에 활용될 수 있는 물질은 수소 저장 합금, 금속수소 화물, 다공체 흡착 물질 등이 있으며, 수소 저장 밀도, 경제성, 효율 측면에서 수소 저장 합금이 가장 유망한 것으로 평가 되고 있다. 또한 재생에너지와 연계한 수소 생산 시 저장을 위한 용도로서 정치형의 대규모 장기 저장에 활용 가능한 기술로서 활발한 연구개발 및 실용화가 이루어지고 있다.

3. 수소 운송 기술

수소의 운송 기술은 기체 운송, 액체 운송으로 구분

되며 기체 운송은 튜브트레일러를 이용한 고압 기체 운송과 배관을 이용한 저압 기체 운송, 액체 운송은 액화 수소 운송과 액상 수소 운송으로 나뉜다. 현재 국내의 수소 수송은 전량 기체 수송으로 이루어지고 있으며 배관으로 운송되는 양이 93%, 튜브트레일러로 운송되는 양이 7% 이다. 국내 수소 운송 업체는 덕양, SPG, SDG, 린데코리아, 에어리퀴드 등이며 국내사용 수소 대부분이 울산, 여수, 대산 지역의 석유화학단지에서 생산된 부생수소가 근거리에 구축된 배관을 이용해서 운송된다. 배관 공급 압력은 20 bar 정도이고 전체 구축 배관 길이는 약 200 km 이다. 고압 기체 수송의 경우 현재 국내에는 Type 1의 용기에 200 bar까지 수소를 압축하여 운송하는 형태가 일반적이며 약 450대의 튜브트레일러가 운영되고 있다. Type 4를 이용한 튜브트레일러는 개발 및 실증 단계로 450 bar까지 압축하여 수소를 운송이 가능하고 Type 1 용기를 사용하는 경우에 비해 운송할 수 있는 수소의 양이 많고, 운송 트럭의 중량을 낮출 수 있는 장점이 있다.

[그림 4] 국내 수소 배관 구축 사례(울산)

울산(덕양)	울산(SPG)	울산(SDG)	수소배관 구축 모습
42.4 km	26.6 km	30 km	
			 - 깊이 1.2m, 직경 15cm



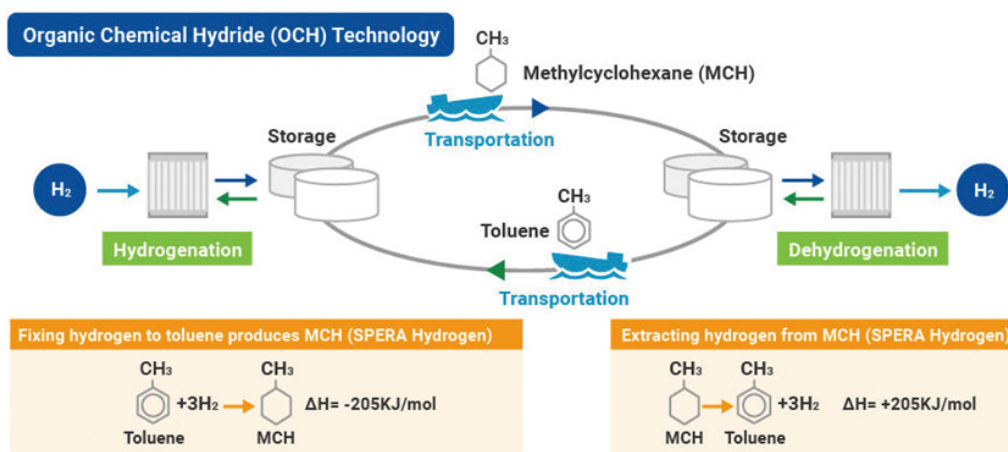
[그림 5] 고압기체 수소 형태

200Bar(Type 1)	450 bar(Type 4)
 	
- 실린더 부피 : 1,200/2,290 (L) - 수소충전량 : 180/340 (kg) - 중량 : 31 톤	- 실린더 부피 : 1,845 L - 수소충전량 : 950 kg - 중량 : 20 톤

액체 수소 운송방식 중 액화 방식은 저장 방식과 동일하게 수소를 대기압 기준 영하 253℃까지 냉각하여 액체 상태로 탱크로리를 통해 운송하는 방식이다. 해외에서는 이미 액화 저장 탱크 및 액화수소 탱크로리를 보유하고 있고, 특히 일본에서는 해외 수소 수입을 고려한 5톤/일 규모의 액화플랜트 개발 등 수소 액화 기술 개발 및 운영에 많은 노력을 기울이고 있다. 우리나라는 2023년까지 0.5 톤/일 규모의 수소 액화 실

증 플랜트를 구축하고 핵심설비의 국산화를 위한 연구개발을 수행중이다. 액체 상태로 수소를 운송하는 또 다른 방법은 액상유기화합물에 수소를 저장하여 운송하는 방법이 있으며, MCH(Methylcyclohexane), Dibenzyltoluene 등의 유기화합물을 이용하여 수소를 저장하여 운송하고, 수소 활용 처에서 탈 수소화하여 활용하는 기술로 국내는 원천기술 개발, 해외는 실증 단계([그림 6])로 연구를 수행하고 있다.

[그림 6] Toluene-Methylcyclohexane을 이용한 수소 운송 및 저장 방법



자료: www.chiyodacorp.co.jp/service/speira-hydrogen/innovations



이슈와 시선

수소 저장/운송 기술 개요 및 현황

4. 시사점(향후 추진과제, 정책 제언 등)

수소 저장 및 이송은 수소 생산-저장/이송-활용 전주기적 단계에서 생산 부분, 활용부분과 연계하여 다양한 기술이 적용 가능한 부분으로 수소 생산지역, 수소 생산방식, 수소 저장 및 운송 용량, 수소 운송 거리, 활용 분야 등을 통합적으로 고려하여 적용 가능한 저장/운송 기술을 선택해야 한다. 정부의 수소 경제 활성화 로드맵 실행의 주요한 목표인 수소 공급 가격을 달성하기 위해서는 국내 수소 생산, 해외 생산 수소 수입을 고려한 경제성 있는 수소 저장/운송 기술 적용의 포트폴리오 수립이 필요하다. 특히 고압기체 수송을 제외하면 국내의 수소 저장 및 운송 기술은 아직 해외 기술에 비해 상용화 수준이 낮고 핵심 기술 확보 및 핵심 부품 국산화를 위한 연구개발이 지속적으로 이루어져야 한다.

Journal of Hydrogen Energy, 42(1), 2017,
289-311

〈웹사이트〉

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>
www.chiyodacorp.en/service/speira-hydrogen/innovations

참고문헌

〈국내 문헌〉

김수현, 수소 보급활성화를 위한 저장 및 운송기술 동향,
오토저널, 41(2), 2019
유영돈, 수소의 저장, 운송 및 충전, 기술과 혁신,
Vol.433, 2019

〈외국 문헌〉

Jianwei Ren., Nicholas M.musyoka et. al.,
Current research trends and perspectives
on materials-based hydrogen storage
solutions: A critical review, International