

연료전지차량용 수소저장시스템 개발 동향

The development of hydrogen storing system for fuelcell vehicle

이성근, 임태원 현대자동차 (주)

요 약

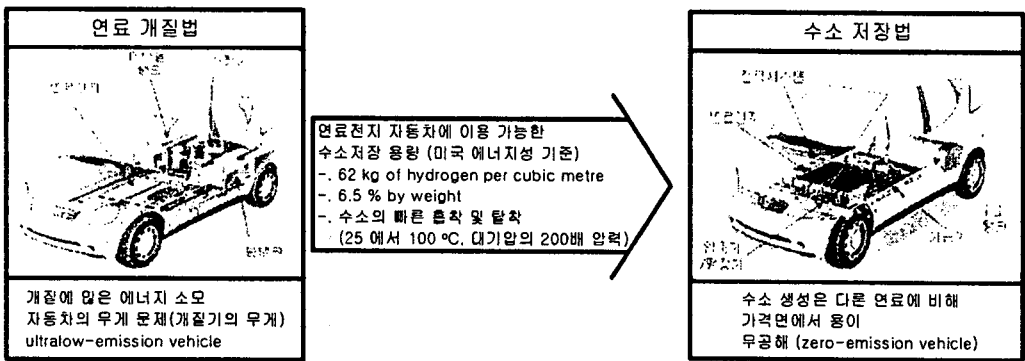
지구의 환경보존과 에너지원의 효율적인 이용을 위하여 고효율의 환경친화적 청정에너지 기술개발을 활발히 진행중에 있으며, 이중 수소를 이용한 연료전지차 개발이 최근 가장 각광을 받고 있다. 연료전지차 실용화를 위해서는 여러 가지 기술적으로 해결해야 과제가 많으나, 그 중에서도 연료로 사용하고 있는 수소의 안전한 저장 문제가 중요하다고 하겠다. 수소를 저장하는 방법은 여러 가지 있으나, 현재 기술로 이용 가능한 것은 압축저장 방식이다. 현재 소개되고 있는 연료전지차 대부분에는 350 bar 압축수소저장용기가 탑재되어 120~300km까지 주행이 가능하다. 이는 소비자 입장에서 수소충전을 자주해야 하는 불편사항이다. 이를 보완하기 위해서 초고압 (700 bar) 수소저장시스템과 저압이면서 수소를 더 많이 저장할수 있는 신 수소저장물질 개발을 각 연구기관에서 활발히 연구중에 있다. 국내에서도 최근에 연료전지차의 관심이 높아지면서 연료전지차량용 부품 개발을 정부과제로 연구중이거나 예정이다. 수소저장분야도 21세기 프론티어사업을 통하여 산.학.연 합동으로 연구를 활발히 진행중에 있다. .

1. 기술 개발의 필요성

최근 환경보존과 에너지 고갈로 인해 대체에너지 개발에 많은 업체에서 연구중에 있으며, 각국의 환경을 보호하기 위해 관련 법규를 제정하여 실시하는 나라가 증가 추세에 있다. 특히, 세계 자동차시장의 반을 차지하고 있는 미국에서는 주별로 ZEV(Zero Emission Vehicle) 법규를 제정하여 판매되는 가솔린차량의 일정 비율만큼 ZEV를 필히 공급해야하는 강제조항이 있고, 유럽에서는 CO₂를 2008년까지 주행거리 1 km당 140 g, 2012년까지 120 g/km으로 줄이기로 확정되었다. 현재의 가솔린 엔진 개념을 전면적으로 바꾸지 않는 한 달성하기 힘든 목표이기 때문에 무공해 자동차의 개발이 필수적이다. 배터리를 이용한 전기자동차는 성능

의 제한과 충전시간, 배터리 가격 등으로 상용화에는 상당한 시간이 필요할 것으로 판단된다. 최근에 선진 자동차업체는 연료전지차가 미래의 무공해자동차로 상용화가 될 것이고, 연료전지차는 환경 뿐만 아니라 수소에너지라는 고효율 대체 에너지로 향후 가솔린엔진을 완전히 대체할 것으로 보고 있다.

연료전지차의 연료로 사용되는 수소공급원은 메탄올이나 가솔린을 개질하여 수소를 공급하는 연료개질법과 수소를 저장했다가 직접 수소를 공급하는 수소저장법이 있다. 수소를 저장하는 방법은 여러 가지 있으나, 최근에 연료전지차에 탑재되어 있는 수소저장시스템은 대부분 수소가스를 압축하여 저장하는 방식이다.



고압기체 수소저장 기술은 수소 저장 기술 중 실용화 가능성이 가장 높은 기술이며, 그 기술의 개념은 경량, 고강성 복합 소재의 압력용기에 수소 가스를 고압으로 압축하여 저장하는 기술로 압축천연가스와 함께 가스 상태의 에너지를 고효율화 하는 기술로 대표되고 있다. 이 기술이 특히 주목받는 이유는, 기존의 수소저장 기술 중 액화가스상태의 저장을 제외한 저장효율 면에서 가장 월등하고, 액화가스저장용기의 복잡성 및 외부 열기 차폐기술의 고려 등으로 비교 할 때 시스템 구성이 단순하고 경제적이기 때문이다. 이러한 고압 수소 기체 저장 기술은 대다수의 선진국의 승용자동차 등 수송기기 분야의 연료전지 자동차에 대한 최적의 연료 저장 시스템으로 인식되고 있는 실정이다. 따라서 선진국의 자동차 업계는 지난 몇 년간 이 기술을 적용한 연료전지 자동차의 실용화를 위해 고압 수소 기체 저장시스템의 개발과 더불어 이 저장된 고압수소 기체를 효과적으로 연료전지 자동차에 공급, 운용하는 저장/공급 통합 시스템의 개발에 노력을 다하고 있으며 이미 많은 자동차 제조사에 의해 차량의 실증을 보이는 등 많은 성과를 보이고 있다. 이러한 차량에 적용하는 수소 연료 저장/공급 시스템은 정치식 고압 수소저장 시스템과 달리 차량에서 발생 할 수 있는 여러 가지 환경 및 사용자의 안전성을 고려한 높은 신뢰성을 요구하고 있다. 그리고 수소는 에너지원으로 보았을 때의

특징으로 질량당 에너지 밀도는 높으나 용적에너지 밀도가 극단적으로 낮다. 따라서 수소를 연료로 사용 할 때는 압축도를 높일 필요가 있다. 그러나 800bar로 압축을 하여도 에너지 밀도는 가솔린의 주성분인 옥탄의 1/3도 되지 않는다. 그러나 연료전지에 수소를 사용하면 자동차의 상용지역에서는 가솔린의 약 3배의 열효율을 얻을 수 있어 낮은 체적에너지 밀도의 단점을 보완 할 수 있다.

2) 개발효과

고압 수소 기체 저장/공급 시스템의 개발은 단순 복합재용기의 개발과 달리 고압 가연성 가스의 활용을 위한 각종 밸브, 압력조절기(레귤레이터), 필터 등을 포함하는 연료전지의 연료 공급 시스템으로서 차량 뿐 만 아니라 정치식의 고압 수소 저장 시스템으로의 적용이 가능한 시스템이다. 이런 측면에서 현재 연료전지로 대량 적용이 유력시 되는 플로톤교환막식(고분자전해질식) 연료전지의 연료 공급에서 가장 효율적이라고 여겨지는 압축수소저장/공급시스템 기술은 연료전지 보급 촉진 인프라 구축이라는 측면에서 기대되는 시스템이다.

CaFCP의 미국 캘리포니아주의 예상 수요만 보더라도 연료전지 자동차용 고압 수소기체저장시스템의 시장성과 그 파급 효과는 매우 클 것으로 예상하고 있다.

3) 사회, 문화적 측면

대체에너지원인 수소를 연료전지차량 및 발전용으로 사용할 경우 화석연료를 이용한 내연기관을 통해 나오는 대기오염물질(CO₂, NO_x, 미세먼지) 등이 발생되지 않아 환경문제에 획기적으로 기여할 수가 있다. 이는 현재 전 세계적으로 추진되고 있는 CO₂ 저감 및 지구 환경 개선 운동에 부합되는 것으로서 고압수소저장 시스템 기술 개발을 통한 수소연료 자동차의 상용화를 앞당길 수 있다면 사회적 문화적으로 그 영향력이 크다고 할 수 있다.

2. 차량용 수소저장시스템의 요구조건

수소를 저장하는 방법은 여러 가지가 있다. 어떤 형태로 수소를 저장하든 연료전지자동차 입장에서는 거의 동일한 요구조건이 필요하다.

- 안전성 확보
- 충분한 수소 저장 능력
- 온도에 상관없이 일정한 수소 공급 가능
- 충분한 가격 경쟁력이 있는 시스템
- 환경오염 물질 미 생성(방출)

- 가능한 소형, 경량화 시스템
- 빠른 수소 저장/공급 가능
- 10년 이상의 내구성 확보

이상에서 살펴 본 것처럼 연료전지차의 실용화를 위해서는 가솔린차의 연료시스템과 경쟁 될 수 있는 수소저장시스템 개발이 필연적이다.

3. 수소저장시스템별 비교

1) 압축수소방식

연료전지차의 일충전주행거리는 최소 400km 이상은 가능해야 할 것이다. 350 bar 기준으로 400km를 가기 위해서는 200L의 수소 탱크가 필요하다. 수소탱크의 부피가 너무 커지면 자동차의 상품성은 떨어지기 때문에 최근에는 초고압 700 bar 수소저장시스템을 각 자동차회사에서 연구 개발중에 있다. 현재까지 개발된 기술로 가장 실용화에 근접된 기술이나, 고압화 따른 안전성 확보가 가장 큰 과제라 할수 있겠다.

2) 액체수소방식

수소저장 밀도는 350 bar 고압시스템보다는 높고 700 bar 초고압시스템보다는 낮은 편이다. 액체수소저장 방식은 액화/기화시의 에너지 손실과 수소 Vent등의 문제, 수소 저장시 20K 이하의 극저온으로 저장해야 함으로 단열 기술의 확보, 이에 따른 시스템 가격 경쟁력 저하 등이 문제점이라 하겠다.

3) 수소저장합금

수소저장합금은 Ni-MH 2차전지의 음극재료로 이미 사용 되었던 것으로, 수소를 흡장하여 금속간화합물을 만드는 물질을 이용한 것으로 수소저장능력이 비교적 낮은편이다. 대략 업체에서 발표하는 수준을 보면 2~3wt%로 350 bar 고압저장 시스템보다 낮거나 동일한 수준이다. 수소흡장시 발열반응으로 충전시간이 길고, 또한 방출시는 어느정도의 온도가 필요하다. 즉, 수소 흡/방출시 속도와 히터가 별도로 있어야 하는 문제점을 갖고 있다.

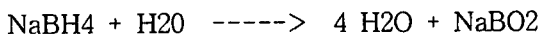
4) 탄소나노튜브(CNT)

CNT를 이용한 수소저장은 1997년 미국 IBM의 Bethune등에 의해 처음 시도되었고, 탄소나노튜브에 수소를 저장할 수 있다는 사실이 알려지면서 최근 전 세계적으로 수소저장에 관한 많은 실험들이 비밀리에 진행되고 있고, 동시에 이론적 계산 및 컴퓨터 모사실험을 통한 많은 연구 결과들도 보고되고 있다. 탄소나노튜브의 수소저장은 처음으로 Dillon등이 1.63 ~ 2nm의 기공을 가진 순도 높은 Single-Walled carbon nanotube을 사용하여 113K에서 5 ~ 10 wt%의 수소저장 밀도를 보인다고 발표하였다[3]. 뒤에 Chambers등은 herringbone형태의 탄소섬유를 이용하여 상온, 12 MPa에서 67 wt% 수소흡장능을 보인다고 발표하여 세상을 놀라게 하였다[4]. DOE의 목표치 6.5 wt%가 훨씬 넘어서는 이러한 연구 결과들은 실험과정에서의 정밀성 부족으로 인해 재현성이 크게 의심 받고 있다.

5) Chemical Hydride

NaBH₄를 물과 촉매를 이용하여 NaBH₄와 물에 있는 수소를 분해하여 이용하는 기술로 세계적으로 밀레니움셀에서 상용화된 제품이 출시된 상태이다. 아직 시스템 가격이 비싸고, NaBH₄ 회수율이 적어 앞으로 풀어가야 할 숙제중 하나이다.

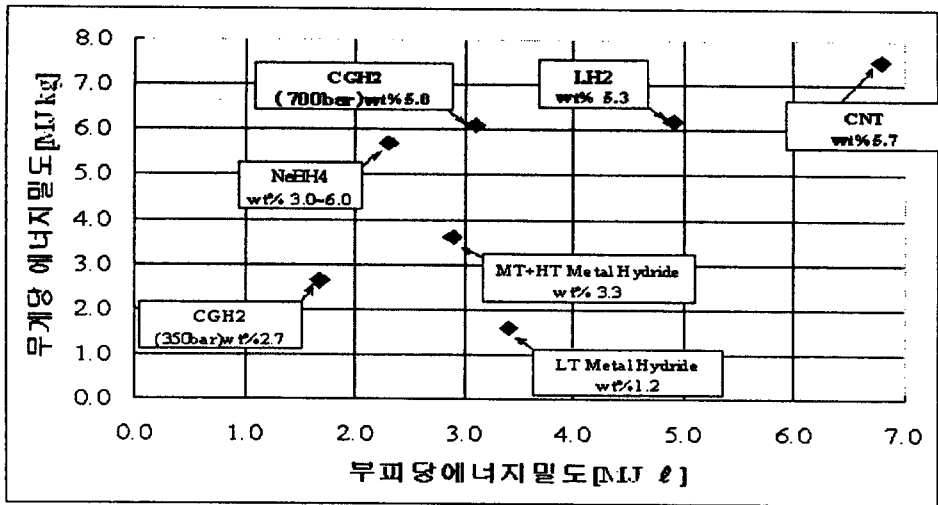
cat.



6) Alanate Light Hydride

주기율표에서 가벼운 원소인 리튬 (Li), 보론 (B), 나트륨 (Na), 알루미늄 (Al) 등은 수소와 안정된 이온결합을 한다. 이중 LiBH₄ 와 같은 화합물은 수소의 함유량이 18 wt%에 이른다. 그러나 이러한 화합물들은 수소의 탈착이 80°C~600°C에서만 일어나고 수소 흡탈착 반응의 가역성이 명확하게 규명되어 있지 않다.

'Alkali metal aluminum hydrides' 인 Alanates는 NaAlH₄, Na₂LiAlH₆ 등의 합금으로 열역학적으로는 상온에서 약 5.6wt%의 수소 흡장능을 가지나 느린 반응속도, 가혹한 조건 하에서만 가역적인 특성을 가지기 때문에 수소흡장 합금으로 고려되지는 않았었다. 그러나 최근 연구에서 TiO₂를 NaAlH₄에 도핑하여 탈착 반응의 온도를 낮추는 등 Ti, Zr 등의 촉매 첨가를 통하여 100°C 이하에서 반응을 시작하여 4wt%이상의 우수한 수소 흡장능과 가역성을 가지게 되어 연료전지용으로도 응용이 가능할 것으로 예상된다. Alanates는 gas 상태에서 hydride 시킬수 없고 화학공정을 통해야 하나 일단 hydride 상태가 되면 보통의 MH 합금과 같은 성질을 가지는 특징이 있다.



4. 해외 고압수소저장시스템(연료전지차량용)개발동향

세계적인 자동차 회사 및 고압가스관련 회사들은 향후 수소가스의 대체에너지화 기조에 따라 고압수소저장시스템의 개발에 주력하고 있는 실정이다. 특히, 자동차회사를 중심으로 연료전지차량의 연료인 수소가스의 저장 및 공급시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고, 현재 연료전지차량용 고압수소저장시스템 관련 기술에 대한 가시적인 성과가 발표되고 있다. 특히, 연료전지차량의 주행거리를 늘리기 위해 고압수소시스템의 멀티탱크시스템화 기술개발이 주류를 이루고 있다.

해외 주요 자동차 업체에서는 고압수소저장시스템을 차량에 탑재하여 연료전지차량의 연료인 수소 공급장치로 사용하고 있다. 가솔린 또는 디젤 연료와 같이 액체상태의 연료를 탑재하는 경우에는 저장용기의 형상 및 위치 선정이 비교적 자유로우나, 현재 고압수소 저장용기의 경우 기술적 제약성 때문에 형상 및 크기의 한계성을 지니고 있어 연료전지차량용 연료공급시스템으로 사용되었을 경우 시스템구성기술/안전설계/시스템제어기술 등이 복합적으로 요구되고 있다. 혼다사 연료전지차량의 고압수소저장시스템의 경우 2개의 탱크를 모듈화 시켜 수소시스템을 구성하고 있으며 안전 관련하여 수소/압력/온도 센서 등을 장착하였으며 통합제어기를 자체 개발하여 시스템 성능효율화 및 안전성을 확보하였다. 도요다사의 경우는 고압수소저장용기를 4개로 구성하여 연료전지차량에 장착하여 사용 중에 있으며 관련하여 고압수소저장시스템 구성하여 향후 상용화에 대한 기술을 개발 중에 있다.

5. 국내 고압수소저장시스템 개발 동향

국내에서는 1980년대부터 고압용기의 국산화 연구를 시작하여, 1984년 국책연구 개발사업의 일환으로 한국기계연구원에서 섬유강화 복합재료 압력용기의 국산화 개발 연구를 수행한 바 있고, 현재 까지 주로 압축천연가스 차량을 위한 강재 용기 및 복합재 용기를 국책연구개발사업(G7 등)으로 연구하여 왔다. 이는 강재 라이너에 실린더 부만 복합재로 보강한 Type II와 알루미늄 경량 라이너 위에 유리섬유를 필라멘트 와인딩한 type III 용기로서 사용압력은 210 bar 이다. 그리고 복합재 제조사나 가스공급처를 중심으로 한 연구개발이 수행 되었으나 수요처의 부족과 선진 해외제조사의 시장 선점으로 인한 후발 단품 복합재 용기 제조사의 역할이 약화되고 있는 실정이다. 본 연구개발에서는 주관기관인 복합재 연구기관과 긴밀한 협력관계를 유지하여 수소저장 뿐 만 아니라 공급/조정 시스템의 통합개발로 연료전지 차량 개발과 보조를 이루어 선진 기술에 보다 빨리 접근 할 수 있는 시스템기술을 얻고자 한다. 복합재를 이용한 압력용기나 유사제품 개발은 주로 항공우주 분야에 많이 적용하고 있다. 최근 시험 발사된 KSR-III 과학 로켓 개발 사업에서 적용된 추진제 가압용 헬륨충전탱크는 대표적인 고압가스용 복합재 압력용기로 그 형태는 CLPE (Crosslinked Polyethylene) 라이너를 탄소섬유로 필라멘트 와인딩한 Type IV 형태이다.

복합재 압력용기에 대한 연구는 학계와 연구계를 중심으로 라이너 형상설계 기술, 와인딩 패턴 설계 기술, 구조해석 기술 등이 90년대부터 약 10여 년간 연구되어 이 분야의 기술은 크게 부족함이 없는 상태이나, 고성능의 필라멘트 와인딩 제작 기술, 라이너 제작 기술, 시험평가 및 인증 기술 등이 부족하고 이들 기술의 체계화 및 실용화 기술이 부족한 실정이다. 특히 복합재 고압력 용기는 다양한 시험평가 항목이 요구되는데, 국내에 시험평가를 위한 설비는 미흡한 실정이다. 이러한 이유로 기 개발된 압력용기인 CNG 용기는 국내 개발에도 불구하고 신뢰성 문제 와 연계되는 상대물과 조립상태의 신뢰성 문제 등 로 적용이 미루어지고 있다. 수소저장을 위한 고압용기의 국산화 기술 개발은 아직 시도된 바 없으며, 현재까지 국내에서는 2001년 현대차가 연료전지 시제차량인 Santa Fe에 미국의 Quantum 사의 용기 및 공급시스템을 공동개발 적용하였고, 2002년도에는 내장형 레귤레이터가 장착된 350bar 수소 저장시스템을 적용하여 안전성을 획기적으로 개선한 시스템을 개발 한 이력이 있다. 그러나 복합재 용기 및 내장형 레귤레이터를 포함한 연료 공급시스템은 아직 해외에서 조달 되는 관계로 국산화의 필요성을 강조 되고 있다. 전지 차량의 연료공급시스템을 함께 개발함으로써 초기부터 신뢰성과 안전성을 고려한 어셈블리 설계 기술과 각 주요 부품 국산화 개발이 필요하다.

6. 결 론

위에서 살펴 본 것처럼 수소를 저장하는 방법은 여러 가지가 있다. 이중 실용화에 가장 근접되어 있는 기술은 고압압축기술을 이용하여 저장하는 방식이다. 국내에서도 고압수소기체저장 분야의 연구는 여러 기관과 업계에서 수행하고 있으나 아직까지 상당 부분 해외 기술에 의존하고 있다. 고압수소기체 저장용기 및 각종 부품들은 수소연료전지자동차의 핵심부품중으로 국내 개발이 절실히 필요하다. 21세기 프론티어 사업 등 정부 주도의 과제를 통하여 우리의 핵심역량을 키우고 산.학.연 공동 개발을 실시하여 개발기간 단축과 각 부문의 역량을 특화시킬 필요가 있다. 향후 초기 연료전지차량에는 고압수소저장탱크가 탑재되어 시판 예정이므로, 우선 고압수소저장시스템의 상용화를 위한 연구와 개발을 해야 할 것이다. 물론 기초연구로 학교나 연구기관에서는 새로운 방식의 수소저장물질 개발에도 힘을 써야 할 것이다.

이 연구(논문)은 과학기술부의 지원으로 수행하는 21세기 프론티어연구개발사업(수소에너지사업단)의 일환으로 수행되었습니다.

This Research(Paper) was performed for the Hydrogen Energy R&D Center, one of the 21st Century Frontier R&D Program, funded by the Ministry of Science and Technology of Korea