

연료전지자동차용 수소 저장 기술 개발 동향

Trend in Development of Hydrogen Storage Technology for Fuel Cell Vehicle

유계현, 류창훈, 유양현, 이중희*
(주)케이시알, 전북대학교 신소재공학부*

1. 서론

에너지로서 수소는 무공해, 중량당 높은 에너지 밀도, 열 및 전기화학적 에너지로 변환의 용이성뿐만 아니라 연소시 환경 오염물질을 배출시키지 않는다는 장점이 있다. 이러한 수소를 연료로 하는 차세대 무공해 자동차인 연료전지자동차는 세계 각국의 에너지 정책 및 환경 정책과 맞물려 실용화 개발에 박차를 가하고 있으며, 세계의 자동차 산업과 에너지 산업의 판도를 뒤바꿀 것으로 예상된다. 현재 GM, 포드, 크라이슬러, 토요타, 현대 등 선도적 자동차 업체들은 이미 실용화를 선언하였고, 2010년까지는 대량 생산과 보급이 이루어질 것으로 전망되고 있다. 일본의 경우 연료전지 자동차의 세계시장 규모를 실용화 초기인 2010년에는 14조원, 2020년까지는 그 10배인 140조원 규모로 성장할 것으로 예상하고 있다.

연료전지자동차의 실용화에 있어서 가장 큰 문제 중 하나는 수소 저장 기술이다. 수소는 가장 가벼운 연료이고, 질량당 에너지 밀도는 가솔린, 액화천연가스나 액화석유가스에 비해 매우 높다. 또한 상온, 상압에서 기체로 존재하므로 체적당 에너지 밀도가 낮고, 석유와 같은 액체 연료에 비해 저장, 운반이 불편하다. 수소에너지를 효율적으로 사용하기 위해서는 단위체적당 수소 저장밀도가 크고, 사용이 용이한 수소 저장 기술의 개발이 필수적이다.

수소를 저장하기 위해 사용되는 방법에는 고압 수소기체 저장 방식, 액체 수소 저장 방식, 수소저장합금이나 화학흡장물질 등 수소흡장물질에 의한 수소 저장 방식, 탄소나노재료를 이용한 저장 방식 등이 있다. 이들 저장 방식은 각기 다른 특징을 가지고 있으며 각 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

연료전지자동차의 상용화를 앞당기기 위해서는 수소의 제조 및 이용, 저장 기술이 상호 보완적으로 발전해야 한다. 특히 수소 저장 기술은 수소 제조 및 이용 기술을 연결하는 중요한 가교역할을 하므로 소홀히 할 수 없는 분야이다. 따라서 현재의 수소 저장 기술 및 이에 대한 기술 개발 동향에 대해 알아보하고자 한다.

2. 수소 저장 기술

1) 기체 수소 저장 방법

수소의 저장 방법 중 가장 널리 사용되는 방법이며, 수소 기체를 압축하여 용기에 충전시켜 저장하는 방법이다. 사용되고 있는 고압 용기로는 사용 재료와 복합재료 강화 방법에 따라 크게 4가지 형태로 구분된다. Type 1은 강 또는 알루미늄으로 만들어진 금속제 용기이고,

Type 2는 강 또는 알루미늄으로 만들어진 금속재 라이너 위에 수지를 함침시킨 보강 섬유를 원주방향으로 감아 적층한 용기이며, Type 3는 강 또는 알루미늄으로 만들어진 얇은 금속재 라이너 위에 수지를 함침시킨 탄소섬유나 유리섬유를 원주와 길이방향으로 감아서 적층한 용기로 금속재 라이너는 하중을 부담하지 않거나 극히 일부분만 부담한다. Type 4는 용기의 경량화를 목적으로 하중의 부담이 없는 비금속 재료 라이너로 만들어진 용기로 비금속 라이너는 하중을 거의 부담하지 않고 가스가 새지 않도록 하는 역할만을 한다. 연료전지 자동차에 사용되는 수소저장 용기는 경량화를 위해 주로 Type 3나 Type 4 용기가 사용되고 있다.

2) 액체 수소 저장 기술

수소의 발열량은 가솔린의 약 2.7배이지만 액체 수소의 비중은 0.071g/cm^3 으로 가솔린의 약 1/10 정도이다. 따라서 가솔린 연료와 동일 주행거리를 유지하기 위한 액체 수소 연료의 체적은 가솔린 연료의 4배 정도가 된다. 비등점이 -253°C 인 액체 수소를 저장하거나 이를 다른 위치로 이송하기 위해서는 항상 극저온 상태가 유지되어야 한다. 액체 수소를 저장하는 저장용기는 다른 극저온 용기와 마찬가지로 매우 우수한 단열을 해야 하는데, 대표적인 단열 방법으로는 진공단열, 다층단열재, 증기냉각 복사실드의 세 가지를 사용하고 있다.

수소를 액화시키면 대기압하의 수소기체에 비해 체적을 1/800로 줄일 수 있으므로 수소 저장 밀도를 높일 수 있지만 수소를 액화시키기 위해 많은 에너지가 필요하고 단열성이 큰 특수용기에만 저장이 가능하므로 저장과 이용에 많은 비용이 소요되는 단점이 있다. 또한 연료전지자동차에 액체 수소 저장 방식을 사용할 경우 액체 수소를 자동차에 공급할 때 10~20% 가까이 증발해버리고, 증발하지 않도록 단열을 시킨다 하여도 하루에 2~3%가 증발되어 손실되므로 현재까지의 기술로는 그다지 효율적이지 못하다. 하지만 체적효율이 우수하여 대용량의 수소를 저장하거나 운반하기에 적합한 방식이다.

3) 수소저장합금을 이용한 수소 저장

수소저장합금이란 다량의 수소를 가역적으로 흡수(저장), 방출(사용)할 수 있는 능력을 보유한 합금을 말하며, 금속수소화물이란 수소저장합금과 수소의 화학물로서 수소저장합금이 수소를 흡수하면 금속수소화물이 된다. 이러한 두 가지 물질의 차이점은 상온, 상압부근에서 금속산화물은 매우 안정하여 분해하기 어려운데 비해 금속수소화물은 분해, 즉 수소 방출이 매우 용이하다는 것이다.

최근 수소저장합금을 이용한 저장기술이 연구되고 있는데, 이 방법은 수소와 반응한 금속수소화합물의 형태로 수소를 저장하는 기술로 가격이 고가이고 무거워서 연료전지자동차용으로 사용하기에는 아직 극복해야 할 많은 과제를 안고 있다. 수소저장합금을 이용하여 수소를 저장하기 위해서는 무게가 가볍고, 저장용량이 크며, 값이 싸고, 수명이 긴 수소저장합금의 개발이 요구되고 있으며, 상용화를 위해서는 열교환이 우수한 합금 저장탱크의 설계와 이의 제작기술이 필요하다.

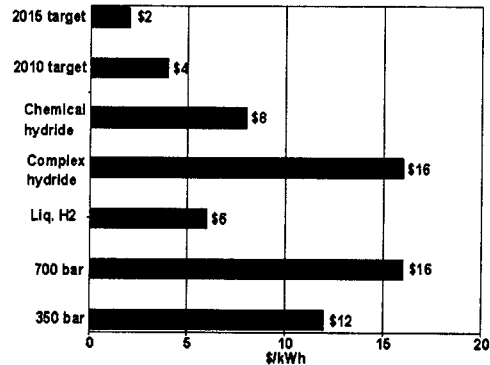
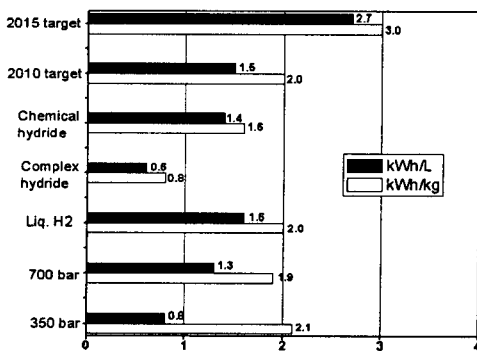
4) 나노재료를 이용한 수소 저장

나노구조재료(Nanostructured Materials)란 여러 가지 물리적 화학적, 기계적 방법으로 제

조된 100nm 이하의 결정 크기를 가지는 재료로 탄소나노튜브나 금속유기구조(MOFs : metal-organic frameworks)등에 수소를 저장하는 방식이다.

현재까지 많은 연구가 진행되고 있는 탄소나노튜브에 수소를 저장하는 방법은 크게 열적 수소저장방법과 전기화학적 수소저장방법으로 나눌 수 있는데, 이러한 수소 저장방법은 전기의 충·방전 조작과 온도에 의해 수소를 삽입(intercalation)·탈리(deintercalation) 시킬 수 있기 때문에 기존의 수소 저장 방식에 비해 간편하고 안전하며, 그리고 적은 양의 나노튜브를 이용하여 많은 양의 수소를 저장할 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한 나노튜브는 탄성력을 갖기 때문에 재활용이 가능하고, 반복적으로 수소를 삽입·탈리하여도 자체의 구조가 변하지 않는 구조적 안정성을 갖는다. 이러한 이유로 탄소나노튜브를 이용한 수소 저장방식에 대한 많은 연구가 수행되었다.

최근에는 탄소나노튜브 이외에 질화보론(BN) 나노튜브나 황화티탄(TiS₂) 나노튜브, 황화몰리브덴(MoS₂)을 수소저장 물질로 사용하는 것에 대한 연구가 진행되고 있는데, 이들 소재에 대한 재조비용, 중량과 체적, 효율, 내구성, 재생성, 수명 등에 대한 검토가 동시에 이루어질 필요가 있다.



(가)system volumetric & weight capacity

(나)system cost per kWh

Fig.1 DOE Hydrogen Storage Targets

3. 고압 수소기체 저장 방식

고압 수소기체 저장방식은 수소 저장방식 중 가장 보편화된 방법으로 수소기체를 350bar 또는 700bar의 고압으로 압축하여 용기에 저장하는 방식이다. 제한된 체적의 용기에 다량의 수소를 채우기 위해서는 고압으로 압축하여야 하는데 용기가 고압에 견디기 위해서는 높은 강도를 갖는 재료가 필요하다.

연료전지자동차에 적합한 수소 저장 장치는 가볍고 수소 저장 효율이 뛰어나며 경제적이야 하는데, 이러한 조건을 만족하는 수소 저장 장치로 복합재료 압력용기를 이용한 고압 수소기체 저장방식이 적극 검토되고 있다. 선진국의 자동차 업계에서는 이 기술에 대한 연구가

활발히 진행되어 고압 수소기체 저장용기를 적용한 연료전지자동차가 실증단계를 거쳐 상용화에 이르고 있다.

고압 수소기체 저장방식은 물리적인 압력차로 수소를 충전하고 방전하게 되므로 다른 수소 저장방식에 비해 저장방법이 간단하고, 응답성도 빠르므로 자동차의 연료전지에 적용하기 용이하다. 또한 압축천연가스의 보급에 의해 200 bar 급의 고압가스저장탱크가 이미 개발되어 있으므로 약간의 추가 개발과 기존의 인프라를 이용하여 수소에 적용이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 압력용기를 자동차에 적용시 체적이 크고, 형상의 변경이 용이하지 않아 공간의 제약을 받으며, 수소기체의 저장 밀도를 높일수록 압력용기가 무거워지는 단점도 가지고 있다. 따라서 연료전지 자동차가 기존의 휘발유나 경유 자동차와 동등한 성능을 내기 위해서는 높은 수소 저장 밀도를 갖는 경량 고압 수소기체 저장 용기를 사용하여야만 한다. 이를 위해 경량, 고강성의 탄소섬유를 적용한 다양한 형태의 복합재료 압력용기가 개발되고 있고, 개발된 압력용기의 타당성에 대한 실증작업이 수행되고 있다.

수소기체 저장 용기가 연료전지 자동차에 적용되기 위해서는 용기의 경량화는 필수적이다. 이를 위해 라이너에 복합재료를 감아서 제조된 형태인 Type 3나 Type 4 용기가 사용되고 있다. Type 3 용기는 캐나다의 Dynetek사에서, Type 4 용기는 미국의 Quantum사, ATP사와 국내의 (주)KCR에서 개발하여 상용화하고 있다. 특히 ATK사는 기존의 실린더형 용기를 탈피한 Conformable Tank를 개발하여 탑재 공간의 활용도를 높이는 연구를 하고 있다.

현재 350bar 급의 수소기체 저장용기는 상용화가 완료되었고, 700bar 급의 용기의 상용화를 위한 실증작업이 수행중이다. 특히 700bar 급의 용기에서는 용기의 경량화를 위해 인장강도가 향상된 탄소섬유를 사용하고 있으며 용기의 가격을 절감시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 또한 Type 4 용기의 라이너 재료는 metalized polymer나 multi layerd polymer, nanocomposite를 사용하여 라이너 두께를 경감시킴으로써 라이너 무게를 줄이고, 고압 환경에서 수소기체가 라이너 재료의 분자사이로 투과되는 것을 방지하는 연구가 진행되고 있다.

4. 결 론

현재 연료전지자동차용 수소 저장 방식으로 고압 수소기체 저장방식이 유력한 방법으로 귀착되고 있다. 하지만 다른 여러 저장방식들도 기술 개발이 급속히 진행되고 있으며, 이들도 곧 상용화될 것으로 전망된다. 따라서 사용목적에 적합한 수소 저장방식과 가격 및 수소 저장효율을 종합적으로 검토해 수소 저장 방식을 선택하고 이에 대해 집중적인 투자가 이루어져야 할 것이다.

값사

본 연구는 과학기술부 프론티어사업인 고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술 개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.