

# 수소가스 충전시스템 기술동향

오시덕 | (주)효성 중공업연구소

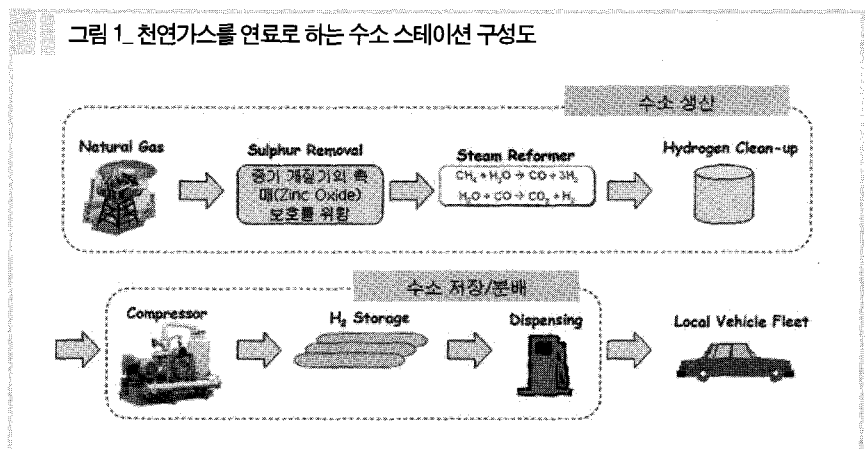
## 1. 수소에너지 시대의 도래

화석연료는 20세기 인류의 생활환경을 획기적으로 개선하는데 기여하였으나, 에너지 자원의 고갈과 지구 온난화라는 큰 숙제를 인류에게 남겨주었다. 이에 1960년대 이후 각국에서는 태양광/태양열, 풍력, 수력, 지열, 조력, 수소 등 대체에너지원의 개발에 관심을 기울여왔다. 대체에너지 자원 중 에너지 밀도가 높은 수소는 에너지 매개체로서 집중적인 관심을 끌고 있으며, 가까운 미래에는 수소를 사용하는 가장 효과적인 에너지 변환기구인 연료전지 중심의 수소 에너지 사회가 도래할 것으로 예상하고 있다. 화석연료에서 수소연료로 전환될 경우 대도시 대기오염을 크게 줄일 수 있으며 석유에 대한 의존도를 낮출 수 있고 심각한 기후 변화를 야기한다고 알려진 온실가스 축적을 줄일 수 있을 것이다. 이와 같은 이유로 인해 미국, EU, 일본 등은 기술 활성화 및 상용화 촉진을 목표로 한 수소관련 기술 주도권 장악을 위해 수십억 달러 이상의 연구비를

쏟아 붓고 있다. 자동차 및 에너지 관련업계도 시험용 차량 제작 및 수소연료충전소 구축에 추가적으로 수십억 달러를 투자하고 있다. 에너지 및 환경문제 개선에 기여하게 될 수소 시대의 도래를 위하여서는 여러 가지 넘어야할 기술적 과제가 있는데, 수소를 직접 사용하는 수소엔진이나, 연료전지 기술과 같은 이용기술은 물론이고, 수소를 저렴한 가격으로 생산해 내는 생산 또는 변환 기술, 그리고 생산된 수소를 저장 및 분배하는 기술이 함께 개발되어야 한다.

그림 1은 천연가스를 원료로 하는 수소 스테이션의 구성도를 나타낸 것으로써, 크게 수소 생산 및 정제하는 부분과 수소 압축, 저장 및 분배 부분으로 구분할 수 있다. 수소는 재생가능 에너지를 이용한

그림 1 천연가스를 원료로 하는 수소 스테이션 구성도



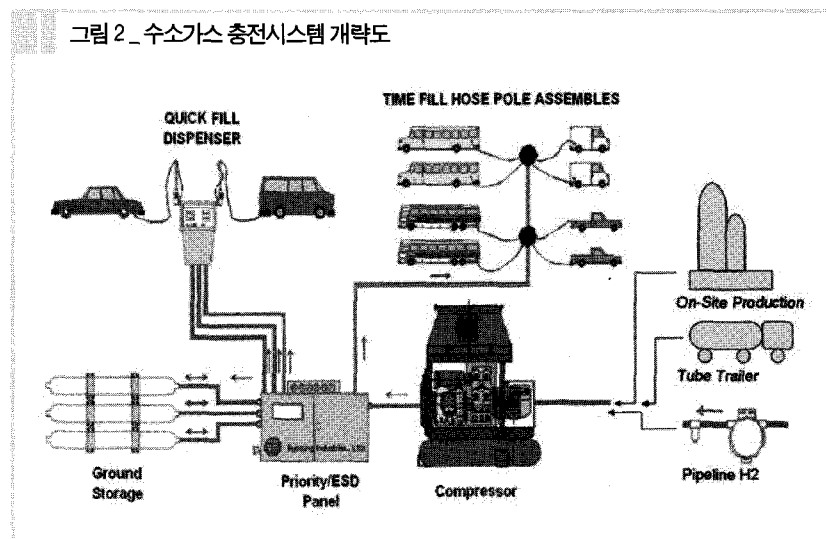
전기 분해 등으로 생산이 가능하나, 현재 기술 수준에서 화석연료로부터 제조하는 방법이 가장 경제적인 것으로 알려져 있다. 천연가스에서 황성분을 제거한 후 증기 개질기를 통해 수소로 전환하고, 일산화탄소와 같은 잔여가스를 제거하여 순도가 높은 수소를 생산할 수 있다. 정제를 마친 수소가스는 압축기를 이용하여 저장용기에 일시 저장하였다가 디스펜서를 통해 연료전지 자동차(Fuel Cell Vehicle, 이하 FCV)에 공급된다.

## 2. 수소가스 충전시스템

수소 이용기기 중에 관심을 갖고 있는 FCV의 경우에는 적정량의 수소를 가솔린 엔진 자동차에서처럼 연료탱크에 탑재해야 한다. 그러나 수소는 가장 가벼운 원소이기 때문에 기존의 연료탱크에 넣는다면 다른 연료에 비해 훨씬 적은 양밖에 담을 수 없다. 이로 인해 연료탱크에 필요량을 저장하기 위해선 압축이나 액화를 하거나 아니면 탄소나노 튜브(carbon nanotube)나 메탈 하이드리드(metal hydride)와 같은 형태의 첨단 저장시스템을 사용해야 한다. 그러나 액화 수소의 경우 일반적으로 부피는 작으나 많은 에너지가 필요하며, 대용량 용기의 경우 체적이거나 무게 기준으로 에너지 밀도는 높으나, 소용량의 경우에는 액화에너지, 보일 오프 손실 등으로 성능이 떨어진다. 고체상 저장(Gas-on-solid)의 경우에는 에너지 밀도가 높고, 싸게

제작할 수 있는 가능성은 있으나, 압축과 냉각이 필요하여 장치가 복잡하다는 단점이 있다. 메탈 하이드리드는 체적 에너지 밀도가 높고 안전하나 무게대비 에너지 밀도가 아주 낮다. 또한 화합물 형태의 경우에는 무게대비 에너지 밀도는 높으나 독성, 수소의 순도 유지 및 화합물의 재생에 있어서 많은 문제점을 내포하고 있다. 이에 반해 압축 수소는 체적이 크고 수소를 압축하는 데 에너지가 소비된다는 단점이 있으나 이미 고압용기 관련 기술이 성숙단계에 이르렀고, 무게대비 에너지 밀도가 높다는 장점으로 상기에 나열된 기술 중에 가장 상용화에 근접한 기술로 평가 받고 있다. 현재 전 세계적으로 설치되어 운영되고 있는 수소 충전소의 수소 공급방식을 수소가스 압축(CH<sub>2</sub>, compressed hydrogen), 액화 수소(LH<sub>2</sub>, liquified hydrogen) 및 액화 압축 수소(LCH<sub>2</sub>, liquid to compressed hydrogen)등으로 구분한 조사에 따르면, 최근 2년간 91%이상이 수소가스 압축 방식을 채택하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 PDC 2단 다이아프램 압축기 수소가스를 FCV에 충전하는 수소가스 충전시스템은 그림 2에 도시된 바와 같이 가스압축기, 저장용기, 디스펜서,



그리고, 제어시스템 등으로 구성되고, 고압의 가스를 취급하므로 안전을 위해 각종 보호 장치를 갖추고 있다. 현장에서 생산된 수소가스(On-Site Production), 튜브 트레일러(Tube Trailer)를 통해 공급된 수소가스, 또는 천연가스와 같이 파이프 라인을 통해 공급된 수소가스를 350~700기압까지 압축한다. 압축된 가스는 저장용기에 일시에 저장되었다가 충전이 필요할 경우 디스펜서를 통해 FCV에 공급된다. 압축기, 저장용기 및 FCV 사이에 가스의 흐름과 방향을 제어하는 역할은 Priority/ESD Panel 이 담당한다. 또한 주차장을 이용하여 밤샘 충전이 가능한 경우 저용량의 압축기만으로 FCV에 가스를 충전하도록 구성할 수도 있다.

### 3. 수소가스 충전시스템 주요 구성기기

압축기의 경우에는 왕복동 압축기와 다이어프램 압축기로 양분되어 생산이 되고 있다. 왕복동 압축기

는 피스톤의 왕복운동에 의해 가스가 일정압축비로 압축이 되며, 보통 3~4단 이상의 다단으로 구성되어 있고, 각단 사이에서 고온의 가스를 냉각시켜 준다. 다이어프램 압축기는 세그먼트 4 Quatum 수소 저장 탱크 겹의 다이어프램의 운동에 의해 압축이 일어나고, 여기서 다이어프램의 운동은 피스톤과 압력펌프에 의해 제어가 된다. 다이어프램 압축기(그림 3)는 압축비가 크고 다이어프램에 의해 수소와 오일이 분리되어 수소가스 오염이 전혀 없다는 특징이 있다.

그림 Dispenser 수소 연료탱크는 Dynetek사에 의해 수소나 천연가스와 같은 압축가스 저장용 경량 복합재 실린더 개발 및 제작이 이루어졌다. 이 회사의 압축 수소 저장용기는 Daimler Chrysler, Ford 및 Nissan과 같은 많은 연료전지 승용차나 버스에 사용되고 있고, Stuart Energy사의 충전소에 수소 저장 시스템 공급 계약을 체결한 바 있다. 또 Quantum Technologies는 700기압까지 저장할 수 있는 복합재 용기(그림 4)를 개발하였으며, Ford, GM, Hyundai, Suzuki 와 Toyota 등에 공급하고 있다.

수소 디스펜서의 경우에는 Fueling Technologies (FTI)가 수소동력자동차의 수소 디스펜서를 공급하고 있으며, 캘리포니아에 위치한 Sunline Transit에 최초로 납품을 하였고 캐나다, 스웨덴 등지에 디스펜서를 공급하고 있다. 또 Stuart Energy(그림 5)에서도 간단

그림 3 \_ PDC 2단 다이어프램 압축기

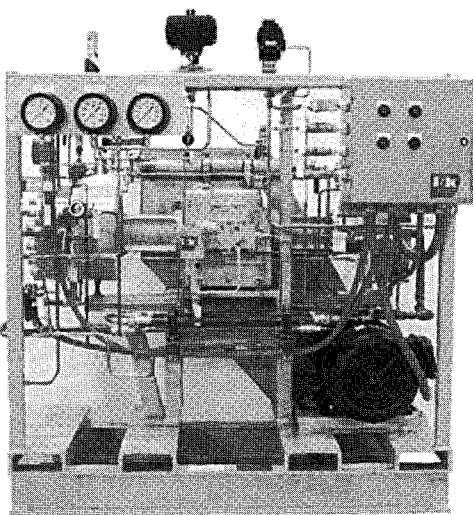


그림 4 \_ Quatum 수소 저장 탱크

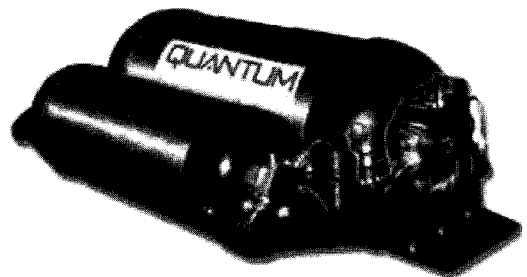
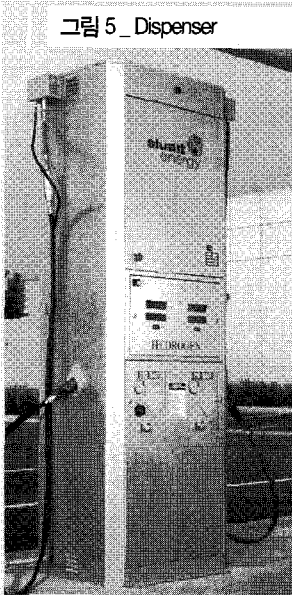


그림 5\_ Dispenser



한 모델이나 소비자의 요구에 따라 모든 기능을 갖춘 다양한 용도의 수소 디스펜서를 생산하고 있다.

#### 4. 국내 · 외 수소 충전소 동향

현재 전 세계적으로 87개소의 수소 충전소가 운전되고 있으나, 아직 진정한 의미의 상용화는 이뤄지지 않은 상태라 할 수 있다. 그러나 최근 1~2년간 상용화에 가까운 충전소를 만들기 위한 노력이 계속되고 있으며, 캘리포니아 주에서 향후 5~6년간 200기의 수소충전소를 건설하겠다고 계획이 발표되면서 관심이 집중되고 있다. 미국의 경우 캘리포니아 연료전지 파트너십 (CaFCP ; California Fuel Cell Partnership) 주관으로 2002년 이후 승용차 및 시내버스를 이용한 연료전지자동차를 시범 운행하고 있으며, 이를 통하여 상업화 과제를 탐색하고, 연료 인프라 구축 등 상용화와 관련한 제 문제의 해결 방안을 탐색하고 있다. 이 프로그램의 일환으로 최근에 San Francisco Bay Area의 Richmond에 수소충전소를 설치하여 가동하고 있다. 이 설비는 캐나다의 Stuart Energy에서 제작하여 설치되었다. 또한 일본 경제 산업성에서는 연료전지자동차 프로그램을 통하여 동경(그림 6)과 요코하마 등에 11개소의 수소충전소를 설치하고, 연료전지자동차용 차고를 설치하는 등 인프라 구축에 나서고 있다. 유럽의 경우도 상업용 버스에 연료전지 기술을

적용하고, 시장 경험을 확보하며 Clean Urban Transport in Europe(CUTE) 프로젝트를 통하여 2002년부터 2004년까지 유럽 주요 10개 도시에서 연료전지버스를 시범 운행함으로써, 수소인프라 테스트를 수행하고 있다.

우리나라의 경우 과기부 고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술 개발사업단과 산자부 수소·연료전지 사업단 주도로 수소에너지 생산, 저장과 수소스테이션 기술개발사업이 진행되고 있다.

그림 6\_ 쇼와 셀/이와타니 수소 충전소(일본 동경)



#### 5. 수소가스 충전의 기술적 이슈

압축된 수소 가스를 자동차로 빠르고 경제적으로 공급하느냐를 결정짓는 요소는 압축기 용량, 저장용기 구성 및 제어개념에 따라 결정되며, 이에 따라 결정되는 것이 디스펜싱 방식이다. 그림 7은 캐스케이드 디스펜싱 방식으로써 저장용기를 저압, 중압 및 고압 탱크로 구분하여 차량과의 압력차가 일정이상 되도록 저압 저장용기에서부터 순차적으로 차량에 공급하는 방식이며, 일반적으로 FCV가 많지 않은 경우와 고속충전을 원하는 경우에 유리하다. 한편 그

그림 7\_캐스케이드 디스펜싱 다이어그램

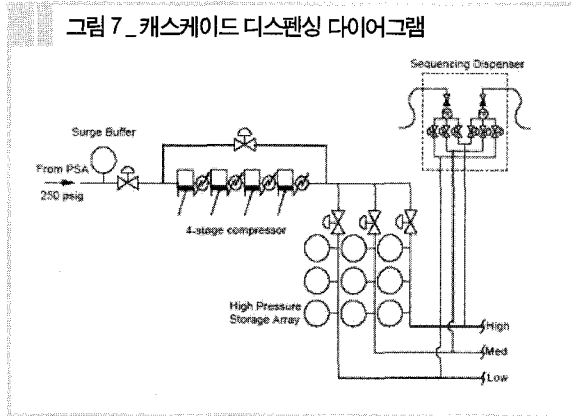
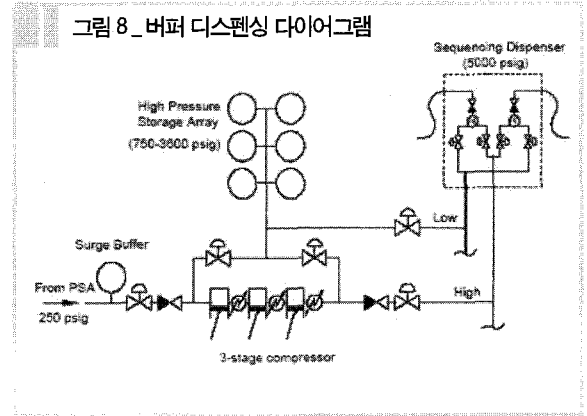


그림 8\_버퍼 디스펜싱 다이어그램



림 8은 버퍼 디스펜싱 방식으로써 단일압력의 저장 용기에서 충전을 하다가 압축기에서 충전을 마무리 하는 방식으로써 차량이 많고, 고속충전이 필요한 경우 또는 소용량의 압축기로 밤샘 충전을 할 경우에 적합한 방식이다. 디스펜싱 방식의 결정은 충전소 공급자나 사용자에게 있어서 경제성 및 이용 편의성을 결정하는 중요한 이슈이다.

## 6. 수소가스 충전 시뮬레이션 기술

수소가스 충전시스템은 FCV 보급을 위해 필수적인 인프라므로 상용화뿐만 아니라, 초기 데모 프로젝트 수행시에도 적절한 용량 산정, 기기 구성과 제어방식 채택을 통해서 신뢰할 수 있는 시스템을 구축해야 한다. 당사에서는 국내 1위 CNG 충전소 엔지니어링, 설계, 제작, 설치 및 운전경험을 바탕으로 수소가스 충전시스템에 대하여도 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 다른 설비와 마찬가지로 수소 디스펜싱 시스템의 경우에도 수요처의 부하에 최적의 용량의 산정은 설비 도입의 경제성 확보에 중요한 요건이 된다. 즉, 수요처의 수요보다 적은 용량을 설치하여

운전하는 경우에는 수요자의 불편을 초래하게 되고, 수요보다 큰 용량을 설치하여 운전하는 경우에는 충전소의 이용 효율이 떨어져서 충전 사업자에게 경제적인 손실을 입히게 된다. 이러한 최적의 용량 산정에 필수적인 요소 중의 하나가 충전시스템의 성능을 평가할 수 있는 충전시스템 실시간 시뮬레이션이라고 볼 수 있다. 특히, 당사가 개발하여 사용 중인 수소가스 충전 시뮬레이션 프로그램은 기존에 경험에 의하여 유량계수를 추정하는 방법을 탈피한 배관의 직경, 배관의 길이 및 밸브의 특성을 고려한 순시 유량 계산법을 국내의 문헌 및 실험적 검증을 통해 개발함으로써, 시험에 의존하지도 않고도 설치하게 될 충전시스템의 충전시간 및 충전량 등의 충전성능은 물론 요구 조건에 최적의 구성기기 조합 및 용량, 운전 모드 등을 예측할 수 있게 하였다.

그림 10은 시뮬레이션을 이용하여 시스템 엔지니어링 자료를 도출하여 낸 사례를 나타낸 것으로써, PEM(Proton Exchange Membrane)-FCV의 경우 운전온도를 80℃이하로 유지하여야 하기 때문에 연료 탱크내 가스의 온도가 이 값을 초과하면 압도록 하여야 한다. 충전속도 요구조건을 만족하면서, 탱크내 가스온도가 최대온도이하로 유지하는데 필요한 최대 충전 속도 등 운전의 제약조건과 관련한 사항에 대하여도 시뮬레이션을 통해 검증할 수 있다.

그림 9\_ 수소충전 시뮬레이션 프로그램

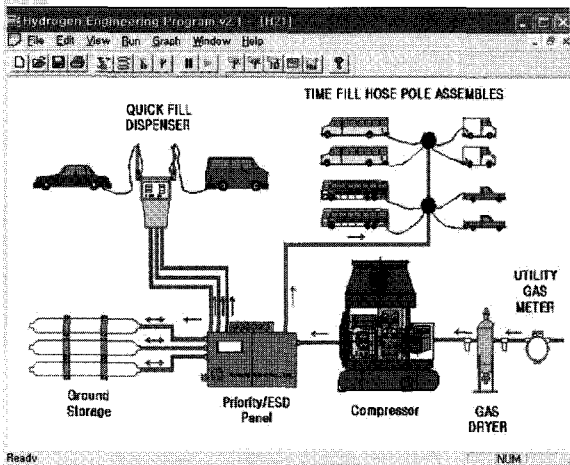
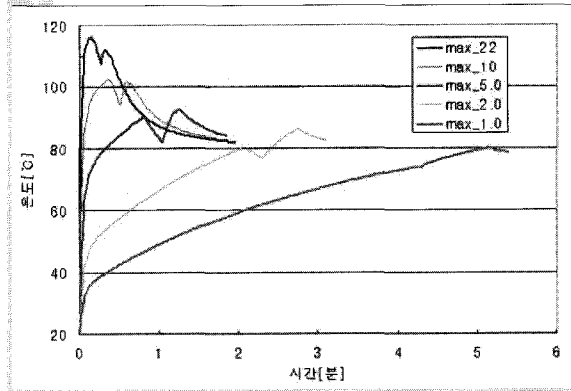


그림 10\_ 시뮬레이션을 이용한 설계자료 분석



## 7. 결론

현재 상용화에 가까운 기술은 앞에서 설명한 바와 같은 압축가스를 이용한 수소가스 충전시스템이나, 수소 에너지 시대에 대비한 기술적 과제들로 첫째 화석연료로부터 수소를 생산하는 기술뿐만 아니라, 풍

력, 태양광, 조력과 같은 재생 가능한 에너지원으로 부터 생산된 전력을 이용하여 전기분해에 의한 수소 생산기술을 포함하는 낮은 에너지를 이용하여 효율적인 수소를 생산하는 기술개발, 둘째 가스 압축을 위해 막대한 에너지비용이 소요된다는 현재의 기술적 난제를 극복하기 위하여 압축효율 향상 또는 탄소 나노튜브 등 고효율 수소 저장기술에 대한 기술개발, 마지막으로 수소공급망의 확충과 관련한 기술 등이 있다.