

## 연료전지자동차용 수소제조와 저장·운반기술동향

길상철 · \*황용길\*

한국과학기술정보연구원, \*동아대학교 명예교수 ReSeat program

### Technical Trends of Hydrogen Manufacture, Storage and Transportation System for Fuel Cell Vehicle

Sang-Cheol Kil and \*Young-Gil Hwang\*

Korea Institute of Science and Technology and Information  
\*Professor Emeritus of Dong-A University : ReSeat Program

#### 요 약

화석연료를 사용하는 선박이나 자동차는 CO<sub>2</sub>가스를 과대하게 발생하므로 지구 온난화에 영향을 주기 때문에 화석연료 대신 수소를 사용하는 수소연료전지자동차(FCV)가 크게 각광을 받고 있다. 우리나라는 현대자동차가 FCV자동차를 미국, 일본, 독일 등의 선진국들의 자동차회사와 경쟁적으로 개발하고 있다. 수소는 제철소의 코크스 공장, 석유화학공장의 부산물로 얻으며, 석탄, 메탄가스 등을 고온에서 증기와 반응시켜서 메탄 수증기개질법과 압력스윙흡착법 또는 막분리형멤브레인개질 법을 이용한 수소분리형개질법으로 고순도 수소를 제조하거나 물을 전기분해하여 제조한다. 수소는 전자공업, 금속 및 화학공업, 로켓 연료 및 공장, 병원, 가정용 등의 연료전지시스템이나 FCV의 연료로 사용하고 있다. 수소의 저장은 수소용기에 수소를 압축하는 방법과 액화수소로 저장하는 방법이 일반적이고, 최근 수소화물이나 유기화학하이드라이드법으로 저장하여 수소스테이션에 운반해서 사용한다. 우리나라는 현재 13개소의 수소스테이션이 가동 중에 있으며, 향후 43개소를 설치할 계획이다.

**주제어** : 수소제조, 수소저장, 유기케미컬하이드라이드, 스팀.메탄개질법, 멤브레인수소분리형개질법

#### Abstract

The earth has been warming due to CO<sub>2</sub> gas emissions from fossil fuel cars and a ship. So the hydrogen fuel cell vehicle(FCV) using hydrogen as a fossil fuel alternative energy is in the spotlight. Hyundai Motor Company of Korea and a car companies of the US, Japan, Germany is developing a FCV a competitive. Obtained hydrogen as a by-product of the coke plant, oil refineries, chemical plants of steel mill, coal is reacted with steam at high temperatures, methane gas, manufacture of high purity hydrogen Methane Steam Reforming and hydrogen detachable reforming method using the Pressure Swing Adsorption or Membrane Reforming technical or decomposition of water to produce electricity. Hydrogen is the electronic industry, metal and chemical industries, which are used as rocket fuel, etc. are used in factories, hospitals, home of the fuel Ene.Farm system or FCV. And a method of storing hydrogen is to store liquid hydrogen and a method for compressing normal hydrogen to the hydrogen container, by storing the latest hydride or Organic chemical hydride method is used to carry the hydrogen station. Korea is currently 13 hydrogen stations in place and in operation, plans to install a further 43 places.

**Key words** : Hydrogen manufacture, Hydrogen storage, Organic chemical hydride method, Steam methane reforming, Membrane reforming

· Received : September 25, 2015 · 1st Revised : November 26, 2015 · 2nd Revised : December 15, 2015 · Accepted : December 28, 2015

\*Corresponding Author : Young-Gil Hwang (E-mail : y-h34109@hanmail.net)

Dong-A University Professor Emeritus, HWAIN Apt. 404, Bosudae-Ro 311, Seo-Gu, Busan City, 49203, Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

화석연료를 사용하는 자동차 등이 CO<sub>2</sub> 가스를 과대하게 발생하므로 지구의 온난화문제를 야기하고 있다. 특히 BRICs 등의 인구나 자동차는 폭발적으로 증가하고 있어서 세계자동차회의(WBCSD)에서는 2050년까지 보급하는 자동차수는 현재 전세계보유량의 2.5배 약 25억대로 증가하고, 세계 인구는 90억 명으로 증가할 것으로 예측하고 있다.<sup>1)</sup> 지구온난화 문제를 해결하는 한 방법으로 한국을 비롯한 선진각국에서는 화석연료 대체 에너지를 사용하는 예코카를 경쟁적으로 개발하고 있다. 예코카 중에도 리튬이온 2차전지를 탑재한 전기자동차(EV), 수소연료전지자동차(FCV) 등이 개발되어 상업화 실증단계에 있다.

화석연료 대체에너지인 수소를 FCV에 안정공급하고, 확보문제를 해결하여 지구환경을 보존하고 지속적 경제 성장을 달성하는 데는 늦어도 22세기에는 이뤄질 것이라고 예측한다. 수소를 동력으로 변환시키는 에너지시스템은 엔진(내연기관)과 연료전지가 있다. 연료전지를 전기에너지로 변환할 수 있는 이론적 효율은 83%이며, 수소의 열에너지로부터 기계에너지로 변환할 경우의 에너지 변환 효율은 최대 40% 정도이다.<sup>2)</sup> 그러므로 연료전지 자동차 개발이 진행되어 2015년도부터 한국, 미국, 일본, 독일 등의 선진국 들이 상업화 실증에 돌입하고 있다.

수소는 광석의 환원제, 암모니아제조, 석유정제, 광파이버제조, 로켓연료, 연료전지자동차, 엔에팜(Eno.Farm), 수소제트비행기 등 다양한 동력기관에 사용할 수 있는 무공해 에너지이다. 수소의 제조는 석탄이나 메탄 등의 화석연료를 고온에서 수증기와 개질반응시키고 시프트반응과 정제과정을 통하여 순수한 수소를 제조한다. 수소의 저장은 고압용기에 압축저장하거나 -253°C에서 액화저장 및 유기하이드라이드방법으로 저장하여 운반하여 사용한다. 수소의 운반은 수소압축탱크에 20MPa 로 압력용기에 압축해서 운반하는 경우와 액화수소 탱크 및 유기하이드라이드에 수소 저장한 액체를 탱크로리나 화물차 등을 이용해서 수소스테이션까지 운반해서 사용한다.

본고는 수소연료전지를 탑재하는 자동차와 가정, 공장이나 병원 등의 연료전지시스템(Eno.Farm)에 사용하는 수소의 새로운 제조법과 저장 및 운반에 관하여 조사 분석한 결과를 국가 발전을 위하여 이 계통에 연구하는 기술자들에게 정보를 전해주는데 목적이 있다.

## 2. 수소의 제조와 저장

### 2.1. 수소의 특성과 연료전지

2015년도에 세계 FCV 생산량은 약 6,000대로 예상하며 2025년에 25만대, 35조원 규모<sup>3)</sup>로 예상되며, 한국, 일본, 독일, 미국 등의 선진국들은 차세대 FCV자동차 생산에 경쟁적으로 박차를 가하고 있다. 수소를 자동차 연료로 사용할 경우에 수소가 대기나 산소가 있는 용기 내에서 폭발성이 있기 때문에 취급에 주의할 필요가 있다. 수소의 일반적 성질은<sup>4)</sup> 다음과 같다. 공기 중의 폭발범위는 4.0~75.0%이고 최소 발화 에너지는 0.02mJ이며 공기 중의 화염온도는 2318K이다. 수소는 가연범위와 발화 범위가 가솔린이나 천연가스에 비하여 넓고 연소온도는 높아서 연소속도가 빠르고 정전기 정도의 에너지에도 착화하고 화염은 투명해서 눈에 보이지 않고 냄새도 없으므로 소화할 때는 대단히 위험하므로 주의하여야 한다. 수소를 연료로 사용하는 연료전지의 종류를 Table 1에 제시하였다.<sup>5)</sup>

Table 1에서 보이는 바와 같이 저온동작형과 고온동작형 연료전지가 사용되고 있는데, 고온동작형 연료전지는 동작과 정지를 반복하는 차량에는 고온으로 유지하기 어려우므로 전지를 동작시키려면 외부의 에너지를 이용하기 때문에 운행하는 자동차 등에 외부전원 사용이 적당하지 않다. 표 중의 고분자고체연료전지(PEFC)는 동작온도가 빙점이하에서 100°C 사이로 넓은 저온영역이 있기 때문에 FCV용 연료전지로 사용하고 있다. 이 고체고분자연료전지는 일반적으로 전해질막, 촉매층, 가스확산층 및 세퍼레이터로 구성되어 있다. FCV자동차가 주행 시에, 수소 1회 충전(약 5 kg H<sub>2</sub>)시간 3분에 500 km 이상 주행하는 능력이 있으며, 가솔린자동차와 거의 같은 능력을 갖춘 시장의 주행조건에 맞는 FCV 자동차이다. 현대 투싼, 일본 TOYOTA FCV 등과 선진국의 자동차 회사들이 경쟁적으로 개발하며 시장을 개척하고 있다. 이로 미루어 FCV에 관한 기반시설 확충에 대한 개발 연구가 많이 진행될 것으로 보인다.

### 2.2. 수소제조

현재 실행하고 있는 수소제조법과 각 제조법에 대한 점유율 및 수소 제조반응에 대하여 Table 2에 개략적으로 제시하였다.<sup>6)</sup> 사회에서 실제 사용하는 수소는 천연가스(CH<sub>4</sub>)나 석탄 등의 화석연료를 원료로 사용하여 700~1000°C, 15~25기압 하에서 수증기에 의한 수증기개질법(SMR : Steam Methane Reforming)과 shift

Table 1. The type of hydrogen fuel cell<sup>5)</sup>

	고체고분자형 (PEFC)	알칼리형 (AFC)	인산형 (PAFC)	탄산용융염형 (MFC)	고체산화물형 (SOFC)
전해질	고체 고분자	KOH수용액	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 수용액	MCO <sub>3</sub>	YSZ
연료	수소, 메탄개질, 메타놀개질	순수한 수소	메탄개질, 메타놀개질	메탄개질, 석탄가스화	메탄개질, 석탄가스화
운전온도(°C)	빙점이하 ~ 100	상온 ~ 150	약 200	650 ~ 700	700 ~ 1000
발전효율(%)	40 ~ 60	약 60	40 ~ 50	45 ~ 60	50 ~ 60
특징	고출력밀도, 저온동작	불순물에 열화		귀금속 불요, 가스터빈가능	귀금속불요, 가스터빈용가
운영분야	자동차, 엔에팜 등	우주선	중소규모 분산화 전원	대규모전력 사업용	대규모전력사업용

Table 2. Hydrogen-manufacturing process and market share and process temperature<sup>6)</sup>

원료와 제조법	점유율(%)	온도(°C)	화학반응
메탄 수증기개질	48.0	800 ~ 900	수증기개질 : C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> + nH <sub>2</sub> O = nCO + (n + m/2)H <sub>2</sub> shift 반응 : CO + 2nH <sub>2</sub> O = nCO <sub>2</sub> + (2n + m/2)H <sub>2</sub> C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> + O <sub>2</sub> = n/2CO + (n + m/2)H <sub>2</sub>
오일/납사개질	30.0		
석탄가스화	18.0	1000 ~ 1500	CH <sub>x</sub> O <sub>y</sub> + (1 - y)H <sub>2</sub> O = (x/2 + 1 - y)H <sub>2</sub> + CO CO + H <sub>2</sub> O = H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>
물 전기분해	3.9	-	H <sub>2</sub> O = 1/2O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub>
바이오매스(폐목재 등)	<0.1	800 ~ 1200	목질 바이오매스열분해 H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> 등 생성, 가스분해로 H <sub>2</sub> 회수(예, Omuta BlueTower)
바이오 수소		실온	바이오매스를 발효에 의해 H <sub>2</sub> 발생

반응에 의해 제조된다.<sup>7)</sup> 수소는 제철소의 코크스공장과 오일 정유공장에서 부산물로 생산된다. 또한 물을 전기 분해, 가스소다제조공장에서 부산물로 수소를 생산하며, 바이오매스를 이용하여 수소를 생산하는 방법도 있다.

Table 2에서, 천연가스를 수증기개질법에 의해 수소 48%, 오일정제시 30%, 석탄 가스화 18%를 점유한 바와 같이 정유공장이나 제철회사의 코크스 공장에서 일부 부생수소를 생산하고 있으며 전기분해법은 가스소다 제조공장에서 부산물로 생산하고 있으나 전력을 이용하여 생산하는 경우는 희소하다. Table 2 중에 메탄가스를 이용하여 수소를 제조하는 방법과 리사이클링 측면에서 바이오매스(폐목재, 계분, 돈분 등)를 이용하여 수소를 제조하는 방법에 대하여 소개한다.

바이오매스를 이용한 수소제조 방법으로서, Saito 등은 PVC, PE, PVA, PS 등의 수지를 Ca(OH)<sub>2</sub>와 Ni(OH)<sub>2</sub>를 혼합하여 Fritsh, P-7 유성밀(포트와 불은 ZrO<sub>2</sub>)에서 700rpm 회전하여 5시간동안 미카노케미컬분쇄하는 동안 400 ~ 500°C에서 수소가 93 ~ 98% 발생하였는데

PVA가 수소 발생률이 98% 이상이었다. 그리고 셀룰로오스를 Ca(OH)<sub>2</sub>, Ni(OH)<sub>2</sub>와 혼합한 (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>-6Ca(OH)<sub>2</sub>-0.5Ni(OH)<sub>2</sub>)것은 400 ~ 530°C 범위에서 93% 이상 수소로 되어 정제하면 99.99%의 수소로 제조된다. 이러한 기초실험을 이용하여 폐목질, 등겨, 오니, 계분, 돈분 등을 이용하여 수소제조한 예가 Table 3에 제시되었다.

수소의 새로운 제조방법으로 바이오매스기술을 개발하고 있는 것 중에 목질, 폐지, 돈분, 계분, 및 정미소 등겨 등을 원료로 하여 저온에서 수소를 생산하는 방법을 개발하고 있다. 이 저온방법은 이들의 원료를 용매인 Ca(OH)<sub>2</sub>와 Ni(OH)<sub>2</sub>를 적당량 혼합 후 미세하게 분쇄하여 400 ~ 500°C로 가열하는 것이고, 고온법에서는 셀룰로오스, 목질과 Fe, Ag, Pt 등의 촉매를 첨가하여 분쇄하고 800 ~ 1200°C로 가열하면 수소농도가 높은 혼합 가스(H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO)가 발생되는데 이 가스를 분리하여 99% 이상의 수소를 제조하는 기술이 연구 개발되고 있다.

Table 3에서 보이는 바와 같이 바이오매스를 저온법

Table 3. Hydrogen production using a bio-mass<sup>6)</sup>

방법	대상원료	원료 직경 (mm)	첨가물 (촉매)	처리공정	가열온도 (°C)	수소발생량 m <sup>3</sup> /kg cellulose	수소농도 (%)
고온법	cellulose, 목질	10 ~ 50	촉매 (FeAg, Pt 등)	조분쇄+가열	800 ~ 1200	0.36 ~ 0.48 at 600°C	50 at 700°C
저온법	cellulose, 목질 (하수오니, 퇴비, 계분, 돈분 등)	미분 (<1)	Ca(OH) <sub>2</sub> Ni(OH) <sub>2</sub>	조분쇄+가열 (비 산소분위기)	400 ~ 500	0.73 at 600°C	50 이상 at 450°C

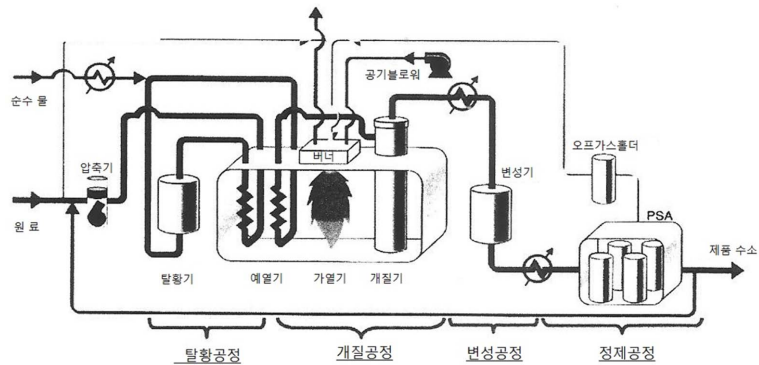


Fig. 1. The hydrogen-manufacture system by steam reforming.<sup>8)</sup>

으로 처리한 공정이 우수한 결과를 보이고 있으며 저온법에 사용한 원료는 폐지, 계분, 돈분이나 등겨 등을 사용해서 분쇄비가 적게 드는 이점이 있다.

일본 Hukuoka Ken Omuta city는 현재 바이오매스를 원료로 사용하는 수소제조공장을 건설하여 가동 중에 있다. 공장 계획은 목질칩 투입량 150톤/일, 고순도 수소제조량은 7200Nm<sup>3</sup>/day 규모이다. 저온법에서 수소 가스 발생수율은 97%정도인데, 고온법은 60~70%이므로 더욱 수율향상에 대하여 연구개발하고 있다.

### 2.3. 수소제조장치와 수소분리형 리포머

Tokyo Gas Co.는 연료전지자동차(FCV)의 시장도입을 위하여 온사이드방식의 수소제조장치 Fig. 1을 개발하고<sup>8)</sup>, 이장치의 원리를 이용하여 우수한 막분리형 반응기 Fig. 2를 개발하였다.<sup>9,10)</sup> Fig. 1은 천연가스 등의 원료가스를 이용한 수소제조 공정은 탈황공정, 개질공정, 변성공정과 정제공정을 통해서 순수한 수소를 제조한다. 탈황공정은 원료가스 중의 황화물이 수소와 반응하여 황화수소로 생성되어 흡착한 것을 물을 통과시켜서 탈황한다. 개질공정 SMR (Steam Methane Reforming)은 700~800°C에서  $CH_4 + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + 3H_2$ 로 개질된 후 변성공정 180~220°C에서 shift 반응하여  $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$ 로 변성되어 가스조성(H<sub>2</sub> 78%, CO<sub>2</sub> 20%,

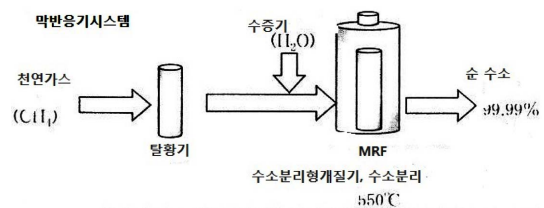


Fig. 2. The hydrogen manufacturing process by Membrane Reforming.<sup>9,10)</sup>

CO 1%, CH<sub>4</sub> 1%)으로 된 혼합가스를 상온으로 냉각시키면서 응축수는 제거되고 정제공정으로 이동되어 압력스윙흡착(PSA : Pressure Swing Adsorption)에 의해 99.99%의 수소가 제조된다.

(독립법인) 신에너지.산업기술총합개발기구(NEDO)는 Fig. 1의 수소제조장치의 개발실적을 활용하여 Fig. 2에 제시하는 40Nm<sup>3</sup>/h 수소제조장치로서, 막분리기술을 적용한 수소분리형리포머(MRF : Membrane Reformer)를 개발하였다. 이 MRF는 간단하고 콤팩트하며 효율이 높은 개질기 이다.<sup>9,10)</sup>

Fig. 2는 탈황기에서 황화수소를 제거하고, MRF 장치는 SMR, Shift 반응기와 PSA정제기 및 PSA off Gas용 버퍼탱크로 구성되어있다. 이장치의 내부온도는 500~550°C에서 SMR와 Shift 반응이 동시에 진행되고

PSA에서 수소를 선택적으로 분리 정제한다. Tokyo Gas Co.는 2000년도부터 NEDO 사업 중에서 수소분리막 모듈의 고성능화나 개질기 구조의 최적화와 실용화 기술개발을 하여왔다. 2008년도에 개량형 40 Nm<sup>3</sup>/h급 MRF를 개발하여 종래의 SMR과 PSA를 이용한 40 Nm<sup>3</sup>/h급 시험기와 개량형 MRF의 성능을 비교하여 Fig. 3에 제시하였다.<sup>9)</sup>

Fig. 3에서 보이는 바와 같이 시험기SMR의 성능곡선도 개량기MRF의 성능곡선에 병기하여 비교되었다. 개량기에서는 원료도시가스유량 11.2 Nm<sup>3</sup>/h를 투입할 시, 수소제조량은 40.5 Nm<sup>3</sup>/h, 수소순도는 99.999%, 수소제조효율은 81.4%(HHV)의 성능을 보이고, 이 성능은 시험기에 비교하여 효율이 5포인트 향상되었다. 개량기의 전화율(도시가스가 개질된 가스비율)은 85%로서 시험기에 비하여 7포인트 향상되었다. 40 Nm<sup>3</sup>/h 용량의 개량기의 크기는 종래형의 SMR과 PSA를 이용한 제조장치의 1/3 ~ 1/2 정도로 축소되어 MRF의 콤팩트성이 실증되었다. NEDO 사업에 의한 연구개발을 통하여 신형 수소제조장치 HyGeia-A 300 Nm<sup>3</sup>/h를 종래의 수소제조량 200 Nm<sup>3</sup>/h의 장치에 비하여 능력은 1.5배 향상되고 설치면적은 40%축감되었다.

2.4. 촉매일체화제조모듈

촉매일체화수소제조모듈(MOC : Membrane On Catalyst)은 MRF의 제조기술의 중요한 촉매 반응과 막분리형 수증기 개질효율을 높이는 기술로서, 세라믹기술을 이용

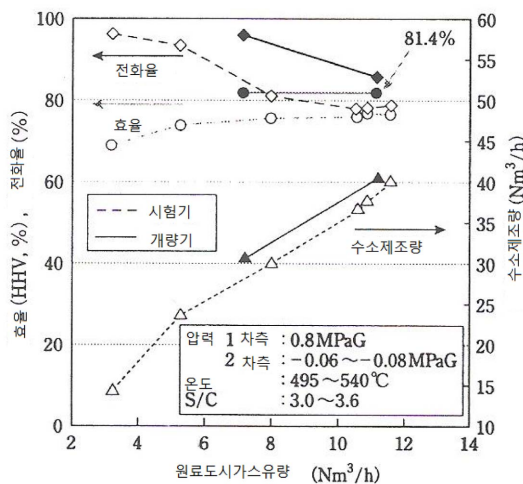


Fig. 3. Comparison of the SMR and MRF capacity of 40 Nm<sup>3</sup>/h.<sup>9)</sup>

하여 콤팩트하게 실현하였다. Kurokawa 등의 보고<sup>9)</sup>에 의하면 MRF에 탑재된 모듈의 외형 규격은 폭 40 mm × 길이 460 mm × 두께 10 mm의 평판형이고 두께 20 μm 이하의 Pd계 수소분리막이 금속제 지지체의 양면에 배치되어 있는 개량기에서는 이 막모듈 2개와 개질촉매를 일체화한 반응관을 최소단위의 수소제조반응관으로 하고, 개량기에는 8개 반응관을 1유닛으로 하여 16유닛 계 128개의 반응관을 탑재하였다. 그런데 Takagi 등의 보고<sup>10)</sup>에서 촉매일체화모듈 외관 사진과 내부구조를 Fig. 4과 Fig. 5에 제시하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 MOC는 길이가 300 mm, 직경이 10 mm이고 MOC 단면구조는 개질촉매겸 지지체(Ni-YSZ)를 골격으로 하는 다공질지지체(두께 1.9mm), PdAg합금계 수소분리막(막 두께 10 μm이하)와 Pd-Ni 양자 사이의 상호확산을 방지하기위한 다공질확산방지층(YSZ : 20 ~ 30 μm)이 배치되었다. 수소분리막은 확산방지층표면에 Pd를 무전해 도금한 다음 Ag를 전해도금한 수소분리막이 제조되었다.

Fig. 5의 제조공정은 개질촉매겸 지지체의 부분은 NiO와 YSZ(이트리아 안정화 질코니아) 및 조공재(造孔材) 수지입자로 형성된 조립분말 (a)을 스프레이 드라이

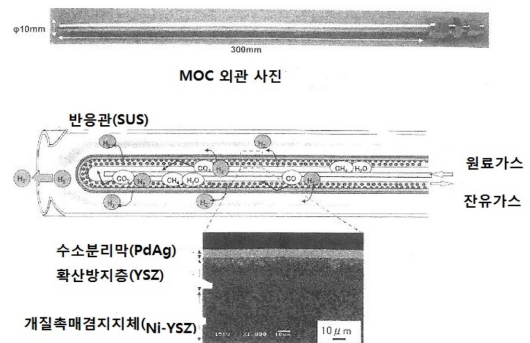


Fig. 4. A cross sectional view and hydrogen production process of MOC and external photo.<sup>10)</sup>

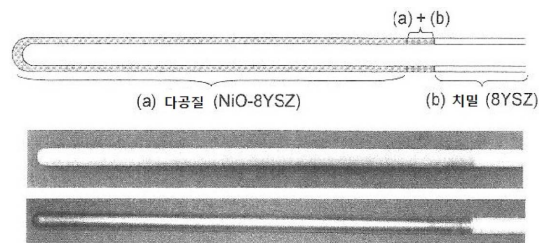


Fig. 5. Supported structure of MOC, (upper)after sintering, (under)after plating.<sup>10)</sup>

로 제조한다. 다음 치밀부 형성용 YSZ 조립분말(b), 분말a와 분말b를 혼합한 분말(C), 분말 a의 순으로 형틀에 꼭 채워서 성형한 다음 일체 프레스 성형하여 소성한다. 확산 방지층(YSZ)은 슬러리데이프법으로 도막하고 소성한다. 이 촉매일체화수소제조모듈을 이용하여 연속개질시험 하여 8,000시간 동안 운전하였을 경우 정상으로 작동되었다.

2.5. 수소의 각 제조방법에 대한 경제성과 원단위

수소는 여러 가지 1차에너지인 화석연료개질, 전기분

해 및 부산물 수소 등으로 생산 되는 에너지이고 기타 바이오매스 등을 이용해서도 수소가 생산되는데, 어떠한 방법으로 수소를 생산하는 것이 안정하고 제조비가 절감되며 환경 부하를 줄이는 방법에 대하여 검토할 필요가 있다. 각 제조방법에 대한 정량적 비교는 현 시점에서 존재하지 않으나 개략적 수소의 실용화단계, 안정성, 환경성(CO<sub>2</sub>배출) 경제성 관계를 Table 4에 제시한다.<sup>17)</sup> 그리고 각 제조방법에 대한 수소 1 Nm<sup>3</sup>당 원단위를 Table 5에 제시하였다.<sup>7)</sup>

현재 수소이용은 석유정제과정에서 수소화탈황이나

Table 4. Safety and economy, according to the hydrogen production process<sup>17)</sup>

	실용화단계	안정성	환경성(CO <sub>2</sub> )	경제성
부생수소	기존 방법으로 수소생산량 많다	본래목적대로하나, 생산량에 좌우 됨	CO <sub>2</sub> 배출되나 환경부하는 추가 않됨	부산물을 활용하기 때문에 경제적이다
화석연료개질	기존에 도입되어 있고 실용화 단계	안정성 있고 대규모 생산 가능	CCS를 사용하지 않는 한 CO <sub>2</sub> 배출	기술 확립되어 있고 제조비가 저렴하다
물전기분해(화력)	기존에 도입된 실용화 단계	대규모로 안정하게 생산 가능	CCS를 사용 안하므로 CO <sub>2</sub> 배출	개질에 비해 비용이 높지만 비교적 염가
물전기분해(재생에너지)	기술적으로 확립 되었으나 에너지 발전에 저비용이 과제	제에너지 종류에 따라 출력 변동이 있다.	CO <sub>2</sub> 는 배출 안 된다.	재생에너지전력을 사용하기 때문에 비용이 고가다.
바이오매스	기술 확립되어 있으나 제조비 절감이 과제다.	공급자가 분산되어 있다.	CO <sub>2</sub> 배출은 무시할 정도다.	현 단계에서는 비용이 많이 든다.
열분해	연구개발 단계 일부는 실증연구 실시	안정적 공급이 가능	열을 이용하는 열원에 따라 다르다.	N.A.
광촉매	기초연구단계 현재 변환효율 0.5% 정도	기상조건에 따라 좌우 됨	CO <sub>2</sub> 는 전혀 배출 안 된다.	N.A.

Table 5. Basic unit for a variety of hydrogen-producing<sup>7)</sup>

	수소제조	제조가격(원/Nm <sup>3</sup> )	비고
부산물	가성소다	200	각종 자료 인용, 상세내용 불명
	제철소	240 ~ 320	각종자료 120 ~ 200원/Nm <sup>3</sup> , 2003년 163원/Nm <sup>3</sup> , 최근 281원/Nm <sup>3</sup>
	석유화학	200	각종자료 인용, 상세내용 불명
목적 생산	석유정제	230 ~ 370	각종자료 100 ~ 240/Nm <sup>3</sup> , 2003년에 111원이 최근 237원/Nm <sup>3</sup>
	화석연료 개질	310 ~ 580 (운전만)	개질기의 설비비 포함하지 않은 개질효율 70%, 도시가스 17원/MJ, A중유 14원/MJ, LPG 29원/MJ, 나프타 18원/MJ PSA용전력은 0.33kwh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> , 2012년 전력평균가격 165/kwh
	전기분해	840 (계통전력)	전해장치의 설비비 포함않됨, 전해효율70%, 계통전력은 2012년의 전력평균단가 165원/kwh
	전기분해	760 ~ 1360 풍력, 태양광	풍력발전 300만원/kw, 태양광 10kw이상 290만원/kw, 10 kw 미만 385만원/kw, 발전단가 추이는 각각 149, 236, 268/kwh이다. 수소제조는 발전사이드에서의 전해를 하기 때문에 송전비없음.

한국가정 전기료 140원/kw

각종 공업 프로세스에 대한 산업가스 등으로 사용되고 있는 실정이다. Table 4에서 보는바와 같이 수소의 제조는 부생수소의 활용이나 각 각의 이용 장소에서 화석 연료개질이나 화력 전기로 물분해 등에 의해 생산하는 수소는 CO<sub>2</sub>가스에 의한 환경부하는 있으나 안정공급성과 경제성이 있기 때문에 사용하고 있는 상황이다. 장래 FCV자동차나 엔에팜시스템 등의 확대에 의해 수소 수요가 확대되면 대량의 수소를 값싸고 안정하게 공급하는 시스템을 확립할 필요가 있다.

Table 5에서 보는 바와 같이 가정소다, 제철소 및 석유정제 부산물로 사용하는 수소 제조가격은 저가로 비슷한 단가이고 화석연료 개질에서 운전만 고려했을 때 제조비용이 높게 보였으며 화력발전소에 의한 제조비용은 부생수소의 3배 이상이고 풍력, 태양광을 이용하여 생산한 수소비용은 계통전력비용과 비슷한 경우와 약간 더 비용이 많이 드는 것으로 나타났다. 그러므로 현재 FCV나 에네팜 등에 사용하는 수소는 부생수소를 사용하는 상황이다.

### 3. 수소의 저장

#### 3.1. 수소의 저장법과 수소밀도

수소를 치밀하게 저장하는 방법은 수소의 원자와 원자사이의 거리를 좁히는 기술이다. 수소저장 시의 압축가스, 액체수소 및 수소저장재료의 수소원자간 평균거리를 Table 6에 제시하고, Table 7에 수소저장시스템에

**Table 6.** The average distance of several hydrogen atoms of hydrogen storage materials<sup>11)</sup>

	수소원자간 평균 거리(nm)
표준상태의 기체	2.70
압축가스(35MPa)	0.40
압축가스(70MPa)	0.34
액체수소	0.28
수소저장재료	0.21

**Table 7.** The performance of hydrogen-based systems<sup>11)</sup>

	체적밀도 (g/l)	중량밀도 (%)
압축가스 (35MPa)	25	~5
압축가스 (70MPa)	30	~5
액체수소	60	~5
수소저장재료	50	~2

서의 각각의 수소저장기술에 대한 중량수소밀도와 체적수소밀도를 제시하였다.<sup>11)</sup>

Table 6의 수소저장재료의 원자간 거리가 제일 좁은 것은 수소가 다른 원소와의 화학적 상호작용에 의해 결합되었기 때문에 압축수소나 액화수소보다도 원자간 거리가 짧아져서 수소를 높은 밀도로 저장할 수 있다. 또 수소를 재료 중에 가둘 수 있기 때문에 필요한 수소압력은 압축수소나 액화수소보다 일반적으로 낮아서 저가의 저압수소용기를 사용할 수 있는 특징이 있다.

수소저장재료의 역사는 짧아, 1970년에 실온에서 동작하는 수소흡장합금 LaNi<sub>5</sub>이 발표된 계기로부터 시작되었다. 수소저장합금은 금속이 형성하는 격자사이에 수소가 침입하거나 침입형 수소화합물을 형성한다. 수소흡장합금은 Ni수소전지의 부극재료로 1990년에 상품화되어, 대부분의 하이브리드자동차에 Ni수소전지가 탑재되었다고 알려졌다. Toyota 자동차와 NEDO는 공동으로 “Laves상 관련 BBC합금”을 개발하여 수소흡장합금의 수소흡장량을 비약적으로 향상시켜서 2.5~3.0 mass%의 흡장량을 실온에서 달성하였다.<sup>11)</sup>

고해리압수소저장합금이 저온에서도 수소를 흡장, 방출할 수 있는 Ti-Cr-Mn계합금이 개발되었다.<sup>2)</sup> Ti<sub>1.16</sub>Cr<sub>0.92</sub>Mn<sub>1.08</sub>은 33 MPa, 296 K에서 2 mass%의 수소를 흡장하고 압력을 강하하면 0.1 MPa까지 수소를 방출하는데 수소방출량(유효수소량)은 1.8 mass% (11 kgH<sub>2</sub>/100 l)이다. 233K에서도 1.6mass% 이므로 저온시동성이 양호한 시스템 구축이 가능함을 시사하고 있다. Ti<sub>1.1</sub>CrMn은 296K에서 33MPa 압력으로 수소를 가압하면 수소흡장속도가 빨라서 60초 이내에 1.8mass% 수소를 흡장한다. 이 흡장합금의 압력은 대기압 하에서 5분 내에 수소를 100%방출한다.<sup>2)</sup> 이 흡장재료 이외에도 AB<sub>2</sub>형, AB<sub>5</sub>형, Ti-Fe계 등의 수소흡장합금과 여러 가지 수소화물이 보고되고 있다. 수소화물의 대부분은 착체계수소화물이고, 이 착체계 수소화물에는 수소화물의 원자를 바꾸는 방법으로 수소를 발생하고 반대방향의 원자를 바꾸는 방법으로 재차 수소화물이 재생된다. 착체계수소화물은 질소원소를 중심으로 한 아미드계, 붕소원소를 중심으로 한 보론이미드계 등이 알려져 있다. 착체계수소화물의 수소방출량은 수소흡장합금보다 크다. 최근에는 자원이 풍부하고 가볍고 염가인 Mg 및 Al의 수소화물이 7.7 mass% 및 10.1 mass%의 흡장량이 있다고 보고되어 실용화를 위하여 연구 개발하고 있다. (주)한국에너지재료 부설연구소는 2010년에 고성능수소저장합금을 교육과학기술부, 21세기 프론티어연구개발사업에 의해 개

Table 8. Typical physical properties of organic chemical hydride<sup>13)</sup>

물성	MCH-톨루엔		사이크로헥산-벤젠		데칼린-나프탈린	
	MCH	톨루엔	사이크로헥산	벤젠	데칼린	나프탈린
화학적식	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>
분자량	98.15	92.14	84.16	78.11	138.3	128.6
상온, 상태	액체	액체	액체	액체	액체	고체
밀도(g/cm <sup>3</sup> )	0.769	0.867	0.799	0.847	0.896	0.975
융점(°C)	-127	-95	6.5	5.5	-33transe	80.3
비점(°C)	101	111	81	80	185transe	218
H <sub>2</sub> 저장밀도(wt%)	6.2	-	7.2	-	7.3	-
H <sub>2</sub> 저장밀도(kg-H <sub>2</sub> /cm <sup>3</sup> )	47.4	-	56.0	-	65.4	-

발하였다.<sup>12)</sup> 개발된 Ti계 수소저장합금은 1 m<sup>3</sup>부피에 수소 약 130 kg를 상온 상압 하에서 흡장할 수 있는 고성능 합금으로 수소 최대저장용량이 2.0 mass%이상이고 기존의 수소저장합금 LaNi<sub>5</sub>보다 약33%의 우수한 이용효율을 확보하였다.

### 3.2. 유기케미컬하이드라이드법에 의한 수소 흡장

수소를 유기케미컬하이드라이드(OCH : Organic Chemical Hydride) 법으로 고정시켜서 탱크나 철도차량 등을 이용하여 저장 수송하는 방법이 개발되었다. 톨루엔 등의 방향족화합물에 수소를 고정하는 대표적인 OCH의 물성을 Table 8에 제시하였다.<sup>13)</sup> Fig. 6에 각종 수소저장과 수송방법의 중량저장밀도 및 체적저장밀도를 제시하여 비교하였다.<sup>14)</sup> OCH법은 톨루엔에 수소를 고정시킨 MCH(Methylcyclohexane)계에서 7.1 wt%, 55.5 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, MCH계의 수소저장밀도는 6.1 wt%, 47.0 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>이고 또 데칼린계의 수소저장밀도는 미국 에너지성의 개발목표 값인 6.5 wt%, 62.0 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>에 비해 7.2 wt%, 64.9 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>로서 높은 값이다.

수소가스는 약 1/500 체적의 MHC 액체로 된다. 액화수소법에서 1/800, 천연가스를 액화한 LNG의 체적은 1/600로 압축된다. OCH 법은 상온, 상압관계 없이 저장밀도가 높다는 것을 알 수 있다. 각 저장재료의 탈수소반응 평형 전환율은 300~320°C의 반응온도에서 거의 100%에 도달한다. 일본의 Chiyoda Co.는 2013년에 OCH법의 실증 실험에서 MCH를 사용하였다. 데칼린계는 융점이 높고 액체로 하려면 용매가 필요하고 반응장치가 복잡하게 예상되며 또 사이크로헥산계도 냉간지에서 용매가 필요한 것 이외에 벤젠의 대량 사용은

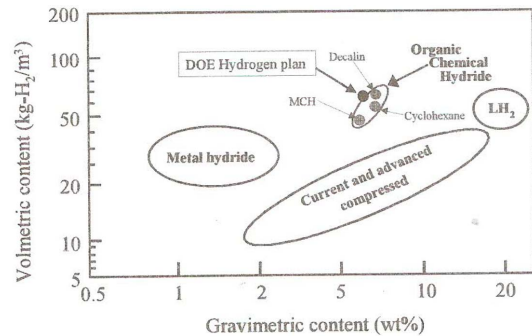


Fig. 6. Comparison of the gravimetric storage density and volumetric storage density of the compounds.<sup>14)</sup>

국민이 수용하는 관점에서 곤란하다고 생각되기 때문에 MCH계를 선택하였다.

## 4. 수소저장과 수송 및 수소스테이션

### 4.1. 수소저장

수소저장기술은 용기에 압축하거나 액화법, 흡장합금에 흡장법 및 케미컬하이드라이드법으로 저장 수송하는 방법이 있다. 일본은 2005년도에 압축수소자동차연료장치용 용기의 기술기준 (JARIS001)을 책정하여 35MPa 자동차용 압축수소용기가 인가되어 차량에 탑재하게 되었다. 압축용기의 재료는 A6061T6와 SUS316L만 허가되었는데 현재 실용화되고 있는 금속제라이너를 이용한 압축수소가스저장용기(VH3)는 수소가스를 기밀하게 유지하기위하여 라이너주위를 탄소섬유강화수지(CFRP)로 둘레를 감아서 강화한 2중구조로 되어 있다.<sup>15,16)</sup>



가솔린자동차는 일반적으로 가솔린 한번 충전에 500 km를 주행하는데 이와 같은 성능으로 연료전지자동차에 수소 5 kg을 3분 내에 충전하여 500 km이상을 주행할 수 있으나 문제는 가솔린 탱크 50l에 비해 수소 5 kg드리 용기는 약 200 l이므로 가솔린 탱크에 비해 4배나 더 커서 자동차 내부의 거주공간에 문제가 있으므로 강력한 CFRP재료를 이용한 초고압 수소용기(70MPa)가 개발되고 있다. 수소를 액화저장 하는 방법은 수소를 -253°C까지 냉각하여 상압하의 수소체적에 비해 약1/800로 된 액화수소의 형태로 저장 및 수송한다.<sup>17)</sup> 통상 압축가스에 비해 효율이 높고, 액화설비는 대규모이므로 설비비가 많이 든다.

4.2. 수소의 저장 수송 시스템

수소스테이션에 수소 수송방법은 스테이션이 설치된 부지(敷地) 내에서 수소를 제조하여 사용하는 온사이드 방식과 정유공장 등의 수소생산 공장에서 수송하여 사용하는 오프사이드 방식으로 대별하는 수송시스템을 Fig. 7에 도시하였다.<sup>8)</sup>

수소압축기 이후의 설비는 기본적으로 온사이드와 오프사이드는 공통이다. 수소를 고압으로 압축하여 축압

기에 저장하고, FCV와 축압기의 압력 차이에 의해 분배기를 통하여 수소를 충전한다. 대 유량의 압축기를 이용하여 수소를 가압하면서 직접 FCV에 충전할 수 있다. 일본은 2014년 현재 수소스테이션이 30개소가 건설중인데 반수이상이 온사이드방식이므로 SMR 수소제조장치를 사용하고 있다. 한국은 주식회사 덕양이 2014년도에 천연가스를 원료로 사용하여 SMR 시간당 50,000 Nm<sup>3</sup>의 수소를 생산하는 공장을 증설하였다. 우리나라도 온사이드방식으로 수소를 FCV에 공급하는 시기가 다가올 것으로 예상된다.

4.3. 유기케미컬하이드라이드법에 의한 수소저장 수송시스템

OCH법은 톨루엔 등의 방향족화합물의 수소화반응에 의해 MCH 등의 포화환상화합물로 고정시켜서 상온, 상압하의 액체상태로 대량저장 수송하여 탈수소반응에 의해 수소를 회수하여 사용한다.<sup>18,19)</sup> 수소가 저장된 MCH는 탱커, 로리, 철도화물, 차량 등으로 수송하여 이용하는 단계까지의 OCH법에 의한 수소저장수송시스템을 Fig. 8에 도시하였다.

Fig. 8은 일본의 Chiyoda Co.가 MCH를 이용하여

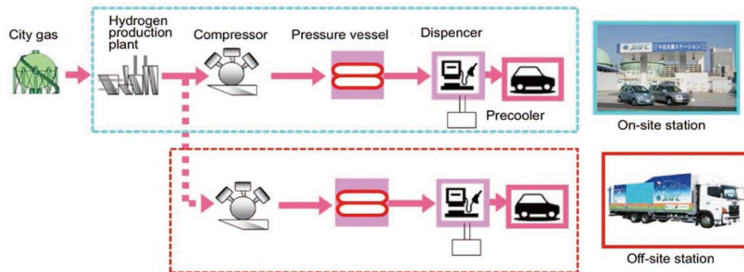
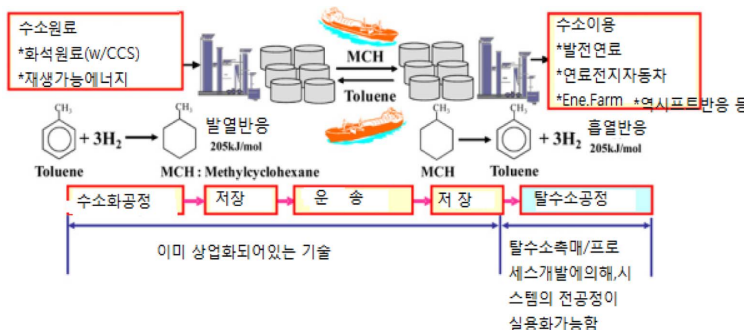


Fig. 7. Hydrogen station systems of On/off side.<sup>8)</sup>



"SPERA수소" 시스템의 전체구성

Fig. 8. Full configuration of "SPERA Hydrogen<sup>®</sup>" system.<sup>18)</sup>

대량의 수소를 수송하는 시스템이다. 톨루엔과 MCH를 이용할 경우, -95 ~ +100°C의 넓은 온도범위에서 액체 상태를 유지하기 때문에 지구상의 어떠한 환경에서나 용매가 필요 없다. MCH계의 수소저장밀도는 6.1 wt%, 47.0 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>이고 수소가스는 약 1/500 체적의 MCH의 액체로 된다. 그림에서 보는 바와 같이 각종 1차에 너지로부터 생산한 수소를 MCH형으로 저장시켜서 수소 사용처까지 운반하여 촉매에 의해 탈수소한 수소를 FCV, 엔에팜 및 각종 공업 이용 처에 공급한다. 탈수소에 사용된 촉매는 나노Pt알루미나 촉매이다. 약 10 nm의 미세한 세공이 가지런하게 분포된 알루미나담체에 1 nm의 Pt입자가 균일하게 담지 된 촉매를 활용하여 약 320°C에서 탈수소하고, 탈수소 후의 MCH 전환율은 95%이상, 톨루엔 선택율은 99%이상이다.

4.4. 수소스테이션<sup>17)</sup>

수소스테이션은 FCV자동차에 수소를 충전하는 충전소이다. 일본은 FCV의 주행거리를 늘리기 위하여 충전압력을 고압화 하는 현재 건설 중의 스테이션은 거의 70 MPa 충전할 수 있게 하여 자동차에 수소 충전은 3분정도에 할 수 있게 건설하고 있다. 현재 건설되고있는 스테이션을 제외하고 30개의 수소스테이션 중의 반수이상인 온사이드스테이션이라 SMR 수소제조장치를 사용하고 있다. 오프사이드 스테이션은 근처에 수소 출하 거점이 있는 경우 설치조건이 되나 여분의 수소가 있으면 사용할 수 있는 양만 수송할 수 있는 이점이 있다.

NEDO는 실용화의 주 과제로서 FCV와 함께 수소의 비용을 삭감하기 위한 로드맵을 Table 9에 제시하였다.<sup>8)</sup>

Table 9에서 보는 바와 같이 수소공급비용은 FCV 자동차가 증가할수록 수소 단가는 감소하고 온사이드스테이션 건설비도 감소되고 있다. 오프사이드스테이션의 경우도 수송비가 년도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 수소스테이션가동율과 온사이드와 오프사이드의 수소비용 1일에 대한 FCV 충전대수를 보면 건설비 반액보조금 50억원(2013년) 온사이드스테이션에서 FCV 20대/일 충전 시 수소비용은 약 2300원/m<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>, 120대/일 충전할 경우 약 700원/m<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>으로 감소되는 현상을 보였다. 검토조건에서 수소스테이션의 충전능력을 300 Nm<sup>3</sup>/h, 건설비를 2013년도에 온사이드 보조금 반액 50억원, 오프사이드 반액 38억원을 가정하였다. 2025년 32조원의 수소차 선두주자를 선점하려는 목표로 한국 현대자동차와 일본, 독일 및 미국의 자동차회사들은 2015년에 FCV를 6000대, 2015년에는 25만대의 생산하는 계획인데 현대 자동차는 2018년에 투싼 후속모델을 내놓고 세계시장점유율을 40~50%를 달성할 목표로 박차를 가하고 있다.<sup>3)</sup> FCV 증가에 따라 수소스테이션도 증가하게 되므로 선진 세계 각국의 수소 스테이션 인프라 계획을 Table 10에 제시하였다.<sup>17)</sup>

Table 10에서 보이는 바와 같이 수소스테이션은 2015년을 기준으로 하여 수소연료전지자동차(FCV : Fuel Cell Vehicle)가 증가하여 2025년도에 25만대까지 증가할 것을 예상하여 수소스테이션도 각국이 스테이션 설치수를 증가시키는 계획을 하고 있다. 수소 용도가 확장됨에 따라 도시가스 시설과 함께 가정에까지 수소를 활용할 수 있는 친환경 청정사회의 시대가 오기를 기대해본다.

FCV의 보급 확대는 자동차 기술개발뿐만 아니라 수

Table 9. NEDO road map for hydrogen cost per year of transition<sup>8)</sup>

년 도		2014년	2015년	2020년	2030년
수소공급가격(원/Nm <sup>3</sup> )		1200	900	600	600~400
OsST 시설 비용 (억원)	300 Nm <sup>3</sup> /h 용량	100~50	40~30	15	비용 저하
	500 Nm <sup>3</sup> /h 용량	-	-	20	비용 저하
OsST중 수소제조장치 비용 (억원)	300 Nm <sup>3</sup> /h 용량	18	약 9	5	-
	500 Nm <sup>3</sup> /h 용량	-	-	8	-
OfST에 수소 수송 비용 (원/Nm <sup>3</sup> )	압축수소	약 200	약 150	약 100	-
	액화수소(액화비 제외)	약 60	약30~60	약 30	-
	OfST에 H <sub>2</sub> 공급비	약 300		약 20~30	-

OsST=On side Station, OfST=Off Side Station

Table 10. Hydrogen station Infrastructures Plan in each country<sup>17)</sup>

나라	2013년 현재	2015년	2023년	비고
한국	13스테이션(수)	43 스테이션	200 스테이션	영국, 프랑스 등의 북유럽은 수소스테이션 인프라 정비 계획 중
일본	19 스테이션	100 스테이션	- 스테이션	
독일	15 스테이션	50 스테이션	400 스테이션	
캘리포니아	10 스테이션	- 스테이션	100 스테이션	USA는 인프라계획, H <sub>2</sub> USA발족

소인프라정비가 중요하다.<sup>20)</sup> 단순히 수소스테이션을 설치하는 것뿐만 아니고 수소를 무엇으로부터 제조하는가를 포함하여, 염가의수소를 안정적으로 공급하기위한 수소제조, 운반, 공급기술의 개발, 대량수소를 안전하게 취급할 수 있는 규격과 기준의 정비 등이 필요하다. 또 수소스테이션에 관한 고압가스 보안법을 중심으로 한 법규제 등이 국제적으로 대단히 엄하므로 안전 확보를 전제로 한 국제적조화도 필요하다.

## 5. 결 론

화석연료를 사용하는 선박이나 자동차는 CO<sub>2</sub>가스를 과대하게 발생하므로 지구 온난화에 영향을 주고 있으므로 지구환경 보호차원에서 CO<sub>2</sub>가스를 발생하지 않는 화석연료 대체 청정에너지를 사용하는 수소연료전지자동차(FCV)가 크게 각광을 받고 있다. 우리나라는 현대자동차가 FCV자동차를 미국, 일본, 독일 등의 선진국들과 경쟁적으로 개발하고 있다.

수소의 용도는 금속의 환원제, 정유 정제, 전자공업, 화학공업 및 로켓엔 연료, FCV, 공장이나 가정용 연료전지 연료 등으로 사용되고 있다. 수소제조 방법은 기존의 정유공장이나 제철소 코크스 공장 및 가성소다 전해공장에서 부산물로 생산하고 있으며 근래 새로운 방법으로는 종래의 메탄수증기 개질법과 압력스윙 흡착 방법을 이용한 막분리기술을 적용해서 수소분리형 리포머(MRF : Membrane Reformer)를 개발하여 실용화 단계에 있으며 이 방법은 CO<sub>2</sub>회수도 용이하고 콤팩트한 고효율 수소제조 시스템이다.

수소는 무색 무취하고 가볍고 미세한 기체이고 정전 기에도 연소 폭발할 수 있는 기체이므로 저장과 운반하는 기술이 중요하다. 저장 기술로는 수소 흡장합금에 296 K에서 2 mass%의 수소를 흡장하고 압력을 강하면 0.1 MPa까지 수소를 방출하는데 수소방출량(유효수소량)은 1.8mass%(11kgH<sub>2</sub>/100 l) 등 이고, 압력용기에 약 35 MPa 고압으로 압축하는 방법과 유기케미컬 하이

드라이드 (OCH)법인 톨루엔에 수소를 고정시킨 MCH (Methylcyclohexane)계에서 7.1 wt%, 55.5 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, MCH 계의 수소저장밀도는 6.1 wt%, 47.0 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>정도로 저장하여 사용하는 방법이다.

저장한 수소는 수소 스테이션까지 탱크로리나 화물차 등으로 운반하여 사용하는데, FCV가 실용화단계에 있으므로 수소스테이션의 건설비용이 약 50억 원 정도이므로 선진 각국이 정부 보조를 받아 설치하고 있는 실정이다. 일본은 2015년에 100개소 설치예정이고 독일은 50개소, 미국은 현재 10개소, 우리나라는 현재 13개소의 수소스테이션이 가동 중에 있으며, 향후 43개소를 설치할 계획이다.

이 연구는 연료전지자동차용 수소의 제조, 저장, 그리고 운반에 관한 최근 정보를 조사, 분석하여 관련 과학기술자에게 제공함으로써, 국가경제발전과 친환경사회 구축에 도움을 주고자 한다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학기술정보연구원(KISTI)이 미래창조과학부 과학기술진흥기금과 복원기금을 지원받아 2015년도 ReSEAT 프로그램에 의해 수행하게 되었음을 감사드립니다.

## References

1. Kazuo Shimizu, 2015 : Automobile Society with Diversified Eco-car, Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.69, No.1, pp. 79-84.
2. Yoshitsugu Kojima, 2008 : Development and future prospects of hydrogen storage technology for Fuel Cell Vehicles, Hydrogen Energy System, 33(4), pp.49-58
3. Economic issue, 2015 : First Mover toward a hydrogen Fuel cell Vehicles, JOSEON ECONOMY, No. 29250
4. Miishi Youshi, The latest technology trends in the hydrogen storage system, www.jsae.or.jp/~dat1/mr/motor29/

- mr.2906.pdf
5. Kojima kouiji, et al., 2014 : Toyota FCV development and future of the automobile, Hydrogen storage materials - towards the hydrogen society to come 62(6), pp.24-28
  6. Zhang Qiwu, et al., 2014 : High-purity hydrogen produced from the resin and the pulverized biomass of the low temperature heat, KINZOKU, 84(5), pp.399-406
  7. Production of hydrogen, transport. For storage, 2014 : pp.1-41 www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/.../005\_02\_00.pdf
  8. Taniguchi Hiroyuki, 2014: Hydrogen Production by Steam Reforming unit for hydrogen station, KINZOKU, 84(5), pp.392-398
  9. Kurokawa Hideto, 2014 : The development of hydrogen separation type reformer, KINZOKU, 84(5), pp.412-417
  10. Yosuihiro Takagi, 2015 : Development of Membrane On Catalyst for Hydrogen Production by Steam Methane Reforming, Ceramics, jp, 50(4), 289-292
  11. Akiba Estuo, 2012 : Hydrogen storage materials - towards the hydrogen society to come, Engineering Materials, 60(1), pp.42-43
  12. <http://gir5101.blog.me/40183609843>
  13. Yoshimi Okada and Makoto Yasui, 2013 : Storage and Transportaion Technology of Hydrogen Energy in Large-scale, Chemical Engineering, 77(1), pp.46-50
  14. Yoshimi Okada, et al., 2006 : Development of dehydrogenation catalyst for hydrogen storage and transportation system by the Organicchemicalhydride method, Hydrogen Energy System, 31(2), pp.8-12
  15. Keitaro Horikawa, 2010 : Current research trends in aluminum alloys for a high-pressure hydrogen gas container, LIGHT METAL, 60(11), pp.542-547
  16. Sakaguchi Yoshjki, 2014 : Type3 High Pressure Hydrogen Container, Engineering Materials, 62(6), pp.67-70
  17. With respect to the developer for the realization of hydrogen society, 2014, pp.1-23 www.jimi.jp/policy/policy\_topics/pdf/pdf146-1.pdf
  18. Yoshimi Okada, 2010 : Development of catalytic dehydrogenation of organic chemical hydride method for mass storage establish distance transport storage of hydrogen energy technology, Chemical Engineering, 74(9), pp.468-470
  19. Imagawa Kenichi and OKADA Yoshimi, 2014 : The development of mass storage and transportation technology (SEPARA Hydrogen<sup>®</sup>) of hydrogen, KINZOKU, 84(5), pp.407-411
  20. Hidemi Onaka, 2011 : Introduction of Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Infrastructures into Japanese Market, Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, 65(11), pp.68-73



#### 황 용 길

- 동아대학교 금속공학과 교수
- 현재 동아대학교 명예교수
- 한국과학기술정보연구원, ReSEAT 프로그램 전문연구위원



#### 길 상 철

- 1990년 산업연구원 책임연구원
- 2000년 산업기술정보원 책임연구원
- 현재 한국과학기술정보연구원 책임연구원