

# 수소에너지 개발 현황 및 전망



김 종 필

한국건설기술연구원 설비연구실장

●1947년생  
●HVAC 및 수소에너지 시스템을 전공하였으며 냉난방 공기조화분야 및 수소를 에너지 매체로 한 주택 냉·난방 및 발전분야에 관심을 가지고 있다.

## 1. 머리 말

인류사회 발전의 원천은 에너지이며, 보다 풍요로운 삶을 누리기 위해서는 미래 에너지원을 어더한 방법으로 확보하느냐가 전 인류에 부여된 주요한 과제이다. 에너지에는 1차 에너지로서 석탄, 석유와 같은 화학에너지와 플라이휠과 같은 기계 에너지가 있으며, 또 이러한 1차 에너지원을 응용계에 연결하는 에너지 매체로서 전기에너지와 같은 2차 에너지가 있다. 그러나 석유, 석탄, 천연가스 등의 화석연료가 중심으로 되어 있는 현재의 에너지 시스템은 화석연료자원의 고갈과 소모화 경향에 의해 심각한 위기에 처해 있으며, 태양, 지열, 풍력 등의 저급에너지를 어떻게 이용할 것인가의 문제가 제기되기 시작하였다. 이러한 관심속에서 등장한 것이 수소이며, 1차계(에너지원), 2차계(에너지 매체) 및 이용계들을 유기적으로 결합하여 에너지 경제가 최적이 되도록 계통화, 조직화한 수소 에너지 시스템은 탈석유시스템이며 청정에너지(clean energy)를 공급하는 시스템이다. 수소는 원료가 거의 무한정한 물이므로 고갈될 염려가 없고 재생이 가능할 뿐만 아니라 자연환경을 오염시키지 않는 청정에너지로 21세기 연료원으로 가장 적합한 2차 에너지라 할 수 있다.

이 글에서는 수소에너지의 개념 및 수소를

사용하는 첨단기술에 대해 개괄적으로 기술하고자 한다.

## 2. 수소에너지의 특징

수소는 연소하면 물이되므로 공해가 없고 지구상에 거의 무진장으로 존재하는 물을 분해해서 만든다.

수소에너지의 사상은 근본적으로 재생가능(renewable)이란 개념에 바탕을 두고 있다. 다시 말하면 물에서 만들어 이용하고 다시 물로 되돌아 간다는 개념(recycle)이다. 따라서, 태양에너지 등을 이용해서 물을 분해하는 기술에 의하여 만들어진 연료가 수소에너지인 것이다.

인류의 문명을 20세기 가까이까지 오랜 세월에 걸쳐 지탱해 온 석유연료의 연장상에 있으면서도 자원을 초월하고 벗어난 인공에너지가 바로 수소연료인 것이다.

수소에너지의 장점은 아래와 같이 요약할 수 있다.<sup>(1)</sup>

### (1) 생태적이다. (ecological)

물에서 생성되어 다시 물로 되돌아가는 수소에너지는 원래 식물의 광합성 기능의 일부에 의거한 것으로 생태적으로 건전하기는 이 이상의 에너지가 없다.

### (2) 에너지효율이 높다(energetic)

모든 연료 중에서 단위무게당의 칼로리는 월

등하게 높고 또 단위시간에 발생하는 에너지 즉, 발생마력은 다른 어떤 연료도 미치지 못한다. 그러므로 로켓을 발사하는 연료로 사용되고 있으며 장래의 초음속제트기 또는 마하 20 이상의 속도를 낼 수 있는 극초음속기 등의 중추적 연료로 지목된다.

(3) 경제성이 높다(economical)

수자원은 거의 무진장이며 핵융합을 포함한 핵에너지나 태양에너지도 거의 무한량이다. 1차 에너지계(에너지원)와 2차계(에너지 매체)를 이용계에 유기적으로 결합시켜 최적시스템으로 유도하면 오늘날보다 높은 경제성이 기대된다. 21세기를 하나의 이정표로 삼아 수소경제의 시대를 지향해 나가야 할 것으로 믿는다.

3. 수소의 성질

일반 대중이 수소라는 말에서 받는 느낌으로서 가장 많게는 “작고도 가벼운 분자”라는 것. 다음에 어느 연령층 이상의 사람들은 “수소폭탄”, 또 좀 노령인 사람들은 “폭발하기 쉬운 기체”라고 한다.

수소분자는 두 개의 양자(proton)를 핵으로 하여 조성되어 있다. 이 두 개의 핵은 스핀(spin, 자전함으로써 생기는 자기능률)을 가지고 있는데 이 스핀의 방향이 서로 평행인 것과 반평행인 것과의 두 가지 종류의 수소분자가 존재하게 되는 것이다.

그림 1에는 이들 두 종류의 수소분자를 표시하고 있는데 스핀끼리가 평행인 것을 오르토

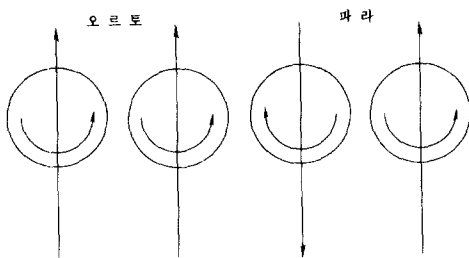


그림 1 오르토수소와 파라수소

(ortho), 반평행인 것을 파라(para)라는 접두어를 붙혀 두 가지를 구별한다.

오르토수소에 있어서는 두 핵의 자기능률이 평행이므로 자기적인 상호작용으로 항상 보다 안정하고 에너지상태가 낮은 상태로 이행하려는 경향이 있다. 따라서 파라수소가 보다 안정하며 일반적으로 수소라고 하면 원칙적으로 파라수소를 지칭한다. 그러나 수소를 제조할 때에 고온으로 이뤄지는 것이 많아 열에너지 때문에 제조한 수소의 몇 할 가량은 오르토의 상태로 되어 있다.

표 1 수소성질의 일람표

물 성	수 치
분자량	2.016
비점(1atm)	20.268 K
기체밀도(표준상태)	83.764 g/m <sup>3</sup>
액체밀도(표준비점)	0.0708 g/m <sup>3</sup>
임계압력	12.8 atm
임계온도	33.19 K
임계점밀도	0.0314 g/m <sup>3</sup>
증발열	445.59 J/g
용해열	58.23 J/g
승화열	507.39 J/g
정압비열(표준상태)	14.89J/g-K
비열비(표준상태)	1.383 (C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub> )
정압비열(표준비점, 액체)	9.69 J/g-K
3중점압력	0.0695 atm
3중점온도	13.803 K
음속(표준상태)	1,294 m/s
압축계수(표준상태)	1.0006
자동인화온도(표준상태)	858 K
공중의 연소속도(표준상태)	2.7 m/s
화염의 온도	2,323 K
HHV(고칼로리치)	141.86 kJ/g
LHV(저칼로리치)	119.93 kJ/g
폭발한계(공기중)	18.3-65 H <sub>2</sub> Vol.%
폭발한계(산소중)	15-90 H <sub>2</sub> Vol.%
가연한계(공기중)	4-75 H <sub>2</sub> Vol.%
가연한계(산소중)	4-96 H <sub>2</sub> Vol.%
최소점화에너지(공기중)	0.02 mJ

주) 상기 수치는 파라수소에 관한 것임

수소는 영하 253°C (20K)에서 액체가 되는데 만약 수송이나 저장을 액체로 할 때는 오르토 수소가 파라수소로 자연히 변해가기 때문에 에너지(열)가 방출되고 그로 인하여 액체의 기화가 진척되어 액화저장의 능률이 나빠진다. 표 1은 파라수소에 관한 물성치의 일람표이다.<sup>(2)</sup> 이 표 중의 특성에 관해서 특히 중요한 것에 한하여 응용적 견지에서 관찰해보고자 한다.

수소의 분자량은 모든 자연계에 존재하는 분자 중에서 최소이다. 또한 H는 가장 단순한 분자이며 은하계 우주에서 가장 풍부하게 존재한다. H를 1.00이라고 하면, He는 0.063, O는 0.0006, C는 0.0004, N는 0.00013으로 H에 비해서 현저히 소량이다. 또 수소는 지표면에서 단독으로 자연에 존재하는 것은 드물어 대부분이 물로서 존재하고 그 다음은 화석연료나 바이오매스 속에 화합물로서 포함되어 있다.

비점은 20K 가량이고 이 이하의 낮은 비점인 것은 헬륨뿐이다. 헬륨에 비해서 수소는 풍부하고 값이 싸기 때문에 초전도체의 임계온도가 액체수소의 온도인 20K 이상이 되면 전력시스템과 수소시스템의 고도의 협조가 가능해진다. 즉, 전력저장을 저항이 없는 초전도코일로 하거나 송전손실이 없는 초전도선(cable)을 이용하면 전력시스템의 고도화가 가능하다. 그러기 위한 냉각제(coolant)로서 액체수소를 사용하면 프로세스의 도중에서 기화한 수소를 전력의 일부를 써서 재액화할 수 있고 또 케이블에서 기화한 수소는 그대로 연료로서 터미널에서 꺼내서 이용할 수 있다. 특히 공기저항이 작은 성층권 혹은 전혀 저항이 없는 우주공간에서는 형상이 크더라도 가벼운 것이 본질적으로 중요하므로 수소는 최량의 연료인 것이다.

비열은 큰 값을 나타내며 표준상태에서 14.9 J/g-K이므로 공기의 14배 이상이 된다. 이것은 분자가 작고 그 열운동이 자유활발한 것이 원인이다. 이와 같이 큰 비열 때문에 큰 터빈발전기의 냉각은 수소기체를 사용하는 것이 가장 효과적이며 미국에서는 1950년 이래 제작된

10만 KW이상의 발전기에는 모두 수소냉각 장치를 적용하고 있다. 에너지로서의 이용에 직접 필요한 물성치가 표 1의 하부 10줄에 기재되어 있다.

자동인화온도는 858K, 섭씨로는 585도이며 예상한 것보다 높은 편이다. 수소자동차를 디젤엔진으로 작동시킬 때에는 피스톤을 압축해서 고온으로 할 필요가 있는데 이 온도로 하자면 기술이 필요하다. 한편 최소점화 에너지는 극히 작고 메탄가스의 15분의 1로 된다. 따라서 전기착화가 용이하다. 엔진의 경우는 반대로 이것이 너무 지나치게 용이하다는 면도 있는 것이다. 또 석유제품의 사용 급증으로 그 마찰로 인한 정전기가 쉽게 일어나므로 우리의 몸에 언제나 발생하는 상황이 되어 있는데 그 방전에 의한 수소착화의 안전면도 큰 과제인 것이다.

연소속도는 표준상태에서 매초 2.7m라는 빠른 속도이다. 그 때문에 수소발생원 혹은 bombe 등의 저장원 등으로 수소의 발생속도, 분출속도가 충분하지 않으면 화염이 발생원이나 bombe 속으로 역류해서 폭발할 때가 있다.

불꽃의 온도는 2323K(2050°C)로 대단히 높다. 칼로리는 그다지 크지 않다. 그러나 발생열은 온도가 높고 질이 좋은 것을 방출한다. 또 수소의 불꽃으로 물질을 처리하면 환원염이 불순물을 환원하여 정화하는 기능을 가지므로 석유나 천연가스와 같이 불꽃이 물질을 산화해서 오염하는 것과는 반대로 대단히 깨끗한 불꽃인 것이다. 이 때문에 반도체 제조 등에 이용된다.

폭발한계와 가연한계가 모든 기체연료 중에서는 최고급의 넓은 범위이다. 이것은 수소의 이용의 안전면에서 충분히 주의하지 않으면 안될 일이지만 현재는 수소센서(sensor)의 극히 성능이 우수한 것이 시판되고 있으며, 이들 센서와 자동화된 안전장치의 시스템이 수소에너지 시스템 보급면에 있어서의 관건이라고 할 수 있을 것이다.

#### 4. 에너지 변환과 수소

물리나 화학의 현상에서 분류되는 에너지는 다음과 같은 다섯 종류가 있다.

(1) 역학에너지 : 운동하고 있는 물체나 상대적으로 높은 위치에 있는 물체 등이 일을 할 수 있는 능력을 갖는 것을 말한다.

(2) 전기에너지 : 전자에너지라고 하고 전류가 하는 일, 정전기나 자기가 할 수 있는 능력을 지칭한다.

(3) 화학에너지 : 연료 등 화학반응에 의하여 일을 방출할 수 있는 이치인데 이것은 연료가 화학에너지를 가지고 있기 때문이다. 수소는 가장 대표적인 화학에너지의 매체이다.

(4) 광에너지 : 양자에너지라는 표현도 있으며 지표면에 부단히 내리쬐이고 있는 큰 에너지원이다.

(5) 열에너지 : 우주의 가장 낮은 온도는 영

하 273°C (0°K)) 정도인데 그 이상의 온도인 것은 반드시 이 최저온도에 이동하려고 하여 일을 하는 능력을 잠재적으로 갖고 있는 꼴이 된다. 두 종류의 온도의 열원은 이와 같이 해서 일을 할 수 있는 능력을 지니고 있으며 열에너지를 갖는다고 표현된다.

그런데 이들 다섯 종류의 에너지는 자연계에서도 시시각각으로 서로 변환되어 가고 있으며 표 2는 이들 에너지의 상관관계를 일람표로 나타낸 것이다.

수소가 화학에너지를 갖는 것은 명백하다. 또 열로 변하는 것은 알려져 있으며 금속수소화의 현상으로 가열에 의하여 금속수소화물에서 수소가 발생 방출될 때에는 압력을 갖는다는 것도 알려져 있다. 즉 역학에너지에도 관여한다. 또 전기분해, 물의 광분해 등을 통하여 전기에너지나 광에너지에도 깊은 관계를 갖는다.

우선 표 2의 에너지 변환에 관해서 수소가

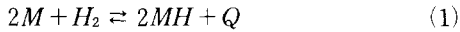
표 2 에너지 변환의 수단 일람

변환전 \ 변환후	역학에너지	전기에너지	화학에너지	광에너지	열에너지
역학에너지	단일기계 유체변속기 프라이휠	발전기 마찰전기 압전기	기계화학연효과 금속수소화	트리포 루미네스스	마찰 충돌 금속수소화
전기에너지	모터 리니어모터	콘버터 인버터 마이크로파 발전	전기분해 전기화학반응	엘렉트로 루미네스스, 방전제이저	주울(joule) 열 펠티에(peltier) 열 마이크로파흡수
화학에너지	기계화학효과 폭발 초팽창 금속수소화	일차전지 이차전지 농도차발전	화학반응	화학루미네스스 화학레이저	연소 희석열 금속수소화
광 에너지	광압 광자로켓	광전효과 태양전지	광화학반응 광전극반응	형광 인광 메이저	광흡수 놀보르나겐
열 에너지	열기관 대류 형상기억합금 금속수소화	제베크효과 열전자방사 알카리금속 열전소자	열화학반응 증류 금속수소화	온도방사	히트펌프 히트파이프 금속수소화

큰 역할을 하는 현상이나 방책에 대해서 고찰하고자 한다.

역학에너지 → 화학에너지의 금속수소화라고 쓰여져 있다. 실은 다섯 종의 에너지끼리의 변환 중에서 역학에너지와 화학에너지의 변환이 가장 까다로우며 자연계에는 드물다. 그러나 이것을 수소를 매체로 하면 가능하다는 것은 그림 2에 표시돼 있다. 당초 금속  $M$ 와 수소 가스  $H_2$ 를 넣은 용기를 나란히 놓고 이 두 개의 용기사이의 밸브를 열어주면 수소는  $M$ 속에 흡장된다. 이 때 역학에너지로 압축기를 작동하여 수소가스의 압력을 높이면 그에 응하여 금속의 수소화물  $MH_x$ 의 수소화의 정도를 계량하는  $x$ 가 커지게 된다.

식 (1)은  $M$ 과  $H$ 와의 결합화학에너지량이 증가하여 결국 역학에너지가 화학에너지로 되어 저장되고 있는 것을 나타낸다.



식(1)에서의 발열  $Q$ 는 반응열의 일종인데 이것은 포의 역학에너지 → 열에너지의 란에 기재돼 있는 금속수소화에 의한 에너지변환이다.

전기에너지 → 화학에너지의 란에는 전기분해가 있다. 이 중에서 물을 전기분해하면 가장 이상적인 수소에너지생성이 된다. 이것의 역은 화학에너지 → 전기 에너지의 란에 있는 2차전지의 일종, 연료전지인 것이다.

화학에너지 → 역학에너지의 란에도 금속수소화가 등장한다. 이것은 그림 2에서 압축기대신 가압기를 가져와서 수소의 압력을 감소시키거나 진공으로 하면 금속수소화물  $MH_x$ 의  $x$ 가

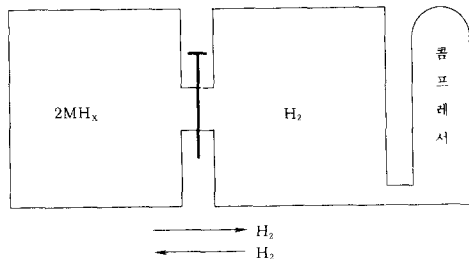
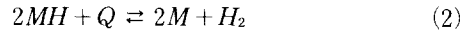


그림 2 역학에너지와 화학에너지의 변환

점차 작아져 마침내 영이 된다. 즉 역학에너지로 화학에너지를 작게 하고 있는 것이다.

광에너지 → 화학에너지의 란에는 광화학반응이나 광전극법 등을 들고 있다. 이 역반응 즉 화학에너지 → 광에너지의 변환을 예를 들어 광전극법의 역반응으로 가능한가 하는 질문도 있을 법하다. 물론 원리적으로는 가능하지만 높은 광자 밀도(밝은 빛)를 얻는 것은 어려운 것이다.

광에너지 → 역학에너지의 란의 금속수소화는 이역의 란에서 설명한 것의 역의 현상이다. 즉 그림 2에서 식 (2)와 같이 간단한 반응을 가정하면 금속수소화물에 열을 투입해서 수소를 발생시킬 때 이 수소의 압력으로 거꾸로 압축기 등을 구동할 수 있는 꼴이 된다.



이것은 로봇의 액튜에이터나 저온의 발열이나 태양열을 사용한 발동기의 동력원에도 응용할 수 있다. 마지막으로 열에너지끼리의 변환의 란에도 금속수소화라고 기재돼 있다. 이것은 최근 갑자기 중요시되어온 금속수소화를 사용한 히트 펌프의 원리를 나타낸다. 이상과 같이 수소가 차지하는 비중이 얼마나 큰가를 실감할 수 있다.

## 5. 수소를 사용하는 첨단기술

수소를 이용한 첨단기기가 개발, 보급되어 수소에너지 문명의 실현이 가까워지고 있다는 느낌은 미국, 소련, 프랑스 등의 군사대국에 있어서 수소에너지를 이용하고 있는 군장비에 있어서 강렬하게 피부로 느껴진다. 본장에서는 이와 같은 수소에너지를 이용한 첨단기술의 일부를 소개하고자 한다.<sup>(3)</sup>

### 5.1 금속수소화 사이클을 이용한 난방기기

금속의 수소화가 일어날 때의 반응열을 이용하여 난방기기를 만들어 보고자 하는 시도는 이미 1975년 경부터 있었으며, 이러한 초기 난

방시스템의 원리는 그림 3과 같다. 그림 3의 원리를 살펴보면 공장의 배수, 가정의 온배수 혹은 태양열 집열기로 비교적 낮은 온도의 온수밖에 얻을 수 없는 경우에 사용하였으며 이들의 저온열원을 우선 수소를 흡장한 상태의 합금  $M_2$ 에 넣어준다. 그러면  $M_2$  속의 수소가 탈장되어 방출된다.

이 수소가 제2의 수소흡장합금  $M_1$ 에 흡장되도록 한다. 이것은  $M_1$ 과  $M_2$ 와의 수소흡장특성이 달라서  $M_2$ 는 저온에서만 수소를 대량으로 흡장 및 방출하고  $M_1$ 은 반대로 고온에서만 수소를 많이 흡장 및 방출하는 성질을 가지고 있기 때문이다.  $M_1$ 이 이와 같이 해서  $M_2$ 에서의 수소를 흡장하면 거기서 반응열이 발생하고 그 열로 물을 가열하여 고온으로 만들어 난방용 라디에이터로 보내는 것이다.

이 시스템은 여름의 냉방은 필요치 않으냐 겨울의 추위가 혹심하고 또한 공장 등에서 많은 공장배수가 외기온보다 높은 온도로 얻어지지만 그대로는 공장 등의 난방에 쓸 수 없을 정도의 낮은 온도일 경우에 유효하다.

## 5.2 시속 1백85km의 수소자동차

수소자동차에 대한 연구는 1970년대 초 미국과 유럽의 자동차업체에서 본격화되었다. 독일의 벤츠(Benz)사는 1970년대 초반에 금속수소화물을 이용한 수소저장용기를 사용하여 수소가스를 연료로 하는 수소자동차를 시험적으로 만들어 주행시험을 하였다. 수소는 현재의 휘발유 엔진을 조금만 보완해 주면 단독 또는 휘발유와의 혼합상태로 사용될 수가 있으며 휘발유만을 사용하는 경우보다 더 높은 효율을

나타낸다. 수소자동차의 시험주행에서 얻은 최대속도는 1백85km/h로 충분한 개발 가능성을 갖고 있다.

BMW는 최근 액화수소를 연료로 하는 6기통 3.5리터 용량의 승용차엔진을 개발했다. 이 엔진은 가동시 열교환기에서 액화수소가 가스화되어 연소되는 것이다. BMW의 이번 개발이 장차 액화수소를 동력원으로 하는 트럭과 버스의 탄생으로 이어질 것으로 보고 있다.

특히 대체에너지 개발의 필요성을 절감하고 있는 일본에서는 수소자동차, 수소오토바이 등의 제작과 효율성 향상에 집중투자를 하고 있다. 그러나 수소연료 엔진의 실용화 여부는 수소제조공장의 효율성 향상으로 수소의 제조단가를 얼마만큼 낮출 수 있는가와 기존의 석유에너지 단가의 변동에 의해서 결정될 것이 예상된다. 수소가 에너지원으로서 경제성을 갖추게 되면 수소로 가는 자동차 또는 만화책에서 나오는 물만 사용하는 맹물자동차를 타보는 날이 오게 될 것이다.

## 5.3 폐열을 이용한 히트펌프(Heat Pump)

수소를 에너지원으로 사용하는 방법 이외에 에너지 전달매체로 사용하는 방법이 있다. 그 중에서 히트펌프를 예로 들어보자. 이것은 금속수소화물을 이용한 일저장기술의 응용으로서 수소저장합금이 수소화반응시에 발생하는 약  $35\text{kJ/molH}_2$ 의 높은 열량변화와 각종 공업의 플랜트에서 발생하는 폐열을 이용하는 방법이다.

수소저장합금과 수소가 반응하여 금속수소화물을 형성할 때에는 발열반응, 역반응일 경우는 흡열반응이므로 각종 폐열 등의 저급에너지원을 이용하면 열에너지를 수소라는 화학에너지 형태로 저장하는 것이 가능해져서 냉난방시스템에 적용할 수 있게 된다.

히트펌프의 원리를 나타내는 그림 4에서 각 직선들은 수소저장합금의 온도에 따른 평행수소분압을 표시한다. 재료의 특성에 따라 그림에서의 직선의 위치는 고정된다. 일정한 온도

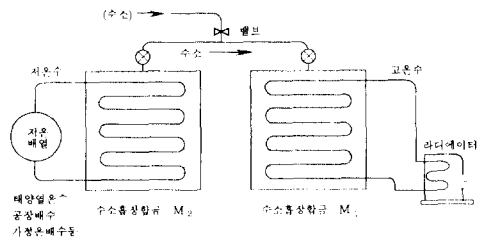


그림 3 금속수소화 사이클을 이용한 난방 시스템

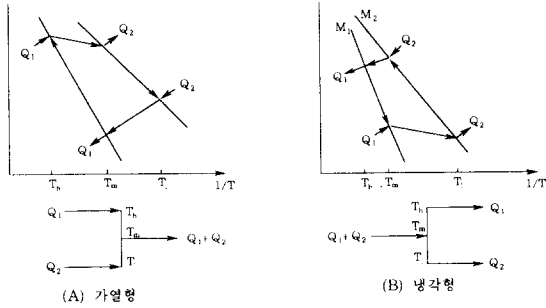


그림 4 히트 펌프의 원리

에서 수소압력이 평형수소분압보다 높으면 수소화반응이, 반대로 낮으면 수소의 분해반응이 진행된다. 또한 온도가 증가함에 따라 평형수소분압은 증가한다. 이러한 원리를 이용하여 서로 다른 반응용기 내에 서로 다른 특성을 갖는 수소저장합금을 넣고 수소의 이동통로를 연결하여 그림에서의 순환루트와 같이 반응용기의 적절한 온도변화와 반응용기 간의 수소이동을 유발시키면 우리가 원하는 히트펌프를 간단하게 얻을 수 있다.

예를 들면 가열형 히트펌프의 경우 한 번의 순환과정을 거치면서 열의 이동관계를 살펴보면 고온 ( $T_h$ )에서  $Q_1$ 의 열을 공급하여 실내온도 ( $T_m$ )에서  $Q_2$ 의 열을 방출함으로써 저온 ( $T_l$ )에서  $Q_2$ 의 열을 흡수하여, 실내온도 ( $T_m$ )에서  $Q_1$ 의 열을 방출시키는 히트펌프 효과를 얻게 된다. 이에 따른 열효율은 고온에서  $Q_1$ 의 열을 공급받아 실내온도에서  $Q_1 + Q_2$ 의 열을 얻게 됨으로써 1과 2사이의 높은 값을 가지게 되어 항상 60~40°C의 실내온도 유지가 가능하다.

이러한 금속수소화물을 이용한 히트펌프는 프레온 가스를 압축 팽창시켜 기화열을 이용하는 기존의 기계적 히트펌프에 비해서 화학반응을 통한 열이동을 응용한 것이기 때문에 화학 히트펌프(chemical heat pump)라고도 불리운다. 에너지의 효율적인 활용이라는 관점에서 볼 때 현재 이 분야에 대한 실용 가능성이 제일 큰 것으로 인식되고 있다.

금속수소화물을 이용한 히트펌프는 고온에서의 열량공급원  $Q_1$ 의 종류에 따라 다양하게 응용될 수 있다. 약 200°C 부근의 열원이면 충분히 활용할 수 있기 때문에 각종 플랜트에서 나오는 회수 불가능한 폐열을 이러한 시스템에 적용시킨다면 엄청난 양의 에너지 절약효과와 새로운 에너지원의 개발을 기대할 수 있다.

또한 자동차의 에어컨으로도 사용할 수 있는데 이 때는 자동차의 배기가스 열을 공급원으로 사용한다. 특히 소형승용차의 경우 기존의 에어컨을 탈면 유류 소비량이 많고 엔진에 무리가 많이 가는 단점이 있는 반면에 금속수소화물을 이용한 히트펌프는 폐열로써 실내의 냉난방을 동시에 효율적으로 유지할 수 있어서 상업화가 가장 가까운 분야로 크게 각광받고 있다.

우리 나라와 같은 경우는 연탄보일러를 열원으로 사용하여 가정용 냉난방 장치의 개발이 가능하다. 하루에 연탄 몇 장을 사용하여 냉방 및 온방을 마음대로 조절할 수 있다는 것은 대중의 측면에서 볼 때 획기적이라 할 수 있으며 계량기의 눈금이 빨리 돌아가는 것을 염려하지 않아도 될 때가 그리 멀지는 않을 것이다.

실제로 금속수소화물을 이용한 히트펌프 분야에 대한 연구는 미국의 "브룩하벤" 국립연구소, 독일의 벤츠사 등에서 시범적으로 제작되기 시작하여 최근에는 그 실용가능성이 충분히 인식되기에 이르고 있다. 특히 열에너지자원이 빈약한 일본에서는 1977년 이후 금속수소화물을 이용한 히트펌프의 제작에 여덟 개 이상의 서로 다른 대형 프로젝트가 수행되었으며 최근에는 이미 상품화한 것도 있다.

일본의 "세키스" 케미컬 인더스트리에서 1983년에 개발한 태양열보조냉난방시스템의 성능은 난방에서 1백75kcal/kg-alloy/hr(온수공급 58kcal/kg-alloy/hr 포함)이었다. "츄 덴키 코교"에서는 140~160°C의 더운 공기와 32°C의 냉각 탑을 결합하여 0~15°C의 냉수를 얻는데 성공했으며 이 때에 출력은 80kcal/kg-alloy/hr이었다. 두 종류 이상의 수소저장재료를 결

합하여 100°C 가까운 저온의 폐열을 회수하는 시도도 진행 중이다.

### 5.4 압축기(Compressor)

금속수소화물을 이용한 압축기는 움직이는 부분이 없어서 기계적인 압축기에 비해서 소음이 없는 장점이 있다. 수소저장합금의 수소화 반응에 대한 평형수소분압이 온도가 증가함에 따라 커진다는 기본적인 원리를 응용한 것이다. 저온에서는 낮은 압력의 수소를 반응관으로 흘려주어도 재료자체의 평형수소분압보다 낮아서 수소화반응을 일으켜 금속수소 화합물의 상태로 저장된다. 그러나 온수나 증기 등을 이용하여 반응관의 온도를 증가시키면 평형수소분압이 증가하는데 이 때는 수소를 저장하고 있는 금속수소화물로부터 수소가 방출되어 반응관의 압력을 높게 된다. 압축기에서 필요로 하는 압력은 그림 5와 같이 반응관에 쓰여지는 수소저장합금의 특성과 방출단계에서의 열원의 온도에 따라 다양한 수치를 얻을 수 있다.

이러한 금속수소화물을 이용한 압축기는 손쉬운 조작에 의하여 사용될 수 있으며 기계적 압축기에 비해서 제조가격이 저렴하고 저품질 에너지를 이용할 수 있다는 장점이 있다.

### 5.5 연료전지

연료전지는 천연가스, 메탄올 등 연료 중의 수소와 공기 중의 산소를 전기화학적으로 반응

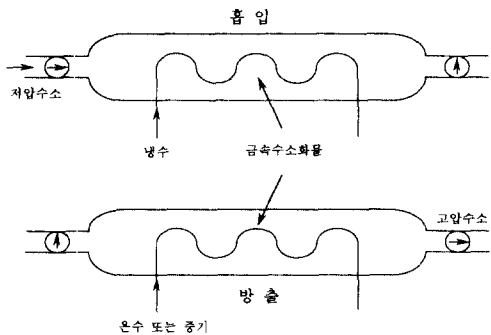


그림 5 금속수소화물을 이용한 압축기 원리

시켜 전기를 생산하는 최첨단의 발전장치로서 운동부분이 없으며 또 고온의 열을 발생하지 않기 때문에 에너지변화(화학에너지 → 전기에너지)를 할 때 엔트로피의 발생도 거의 없는 탁월한 발전장치이다.

미국에서는 제미니나 아폴로 계획의 우주선 전원용으로 개발된 것을 계기로 space shuttle 에도 이용되어 Pratt & Whitney사, Life System 사, United Technology사 등 다채로운 기업이 에너지성, NASA, 국립연구소(Argonne 등)와 협력하여 개발을 추진하고 있다.

연료전지의 단점은 촉매전극에 약간의 백금과 같은 고가인 귀금속이 꼭 필요하다는 점인데 이런 단점의 기술적 극복이 중요하다. 또 대량의 안정된 가격으로 수소가 공급될 수 있는 시스템의 확립도 불가결하다.

그림 6은 연료전지의 이용형태를 도표로 나타낸 것이며,<sup>(3)</sup> 장차 분산형 발전시스템으로서 가정의 전력공급용으로도 유효하게 사용될 전망이다.

## 6. 맺음말

수소를 에너지매체로 하여 체계적으로 이용하기 위하여 다음과 같은 사항이 예상된다.

첫째, 물에서 수소를 만들기 위하여 어떠한 에너지원을 사용해야 하는 문제이다. 화석연료나 원자력으로는 깨끗한 에너지시스템이라는 본래의 목적에 어긋난다. 그래서 태양에너지를 이용하는 것이 원칙이라고 생각한다.

둘째, 수소의 수송과 저축의 방법인데, 파이프라인이나 고압분배와 같은 종래의 방법을 극

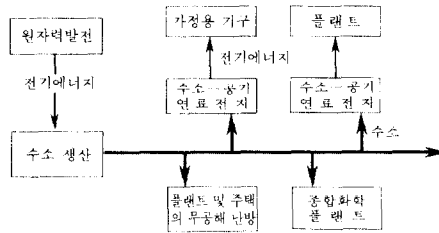


그림 6 수소연료전지의 이용예




복하는 혁신적인 금속수소화물법이 중요하다고 생각된다. 철·티탄합금, 란탄·니켈합금, 마그네슘·니켈합금 등은 합금 체적의 1000배에 가까운 수소를 흡장할 수 있는 특성을 가지고 있다.

세째, 수소에너지가 석유에 대체되기 위해서는 에너지를 수소로 변경함으로써 석유로는 불가능했던 것이 가능해질 수 있는 이용법을 개발하는 일이다.

네째, 수소를 2차 에너지로 사용함으로써 전력계통과의 협조체제가 확립되어 에너지원, 에너지매체, 에너지이용의 협조적이며 유기적인 시스템이 가능해질 것으로 생각된다. 전력이 남아돌 때는 물분해로 수소를 만들어 저축하고

전력이 부족할 때는 연료전지를 사용하여 전력으로 바꾼다.

### 참 고 문 헌

- (1) 김길환, 1988, "수소에너지", 21세기문화사.
- (2) Bockris, J.O.M., 1980, "Energy Options", Halsted Press and London, Taylor and Francis.
- (3) Balthasar, W., 1984, "Hydrogen Production and Technology: Today, Tomorrow and Beyond", Int.J.Hydrogen Energy, Vol.9, No.8, pp.649~668. 

### ■ 국제학술대회 참가안내 ■

#### International Symposium on Advanced Vehicle Control 1992(AVEC '92)

장 소 : Pacific Convention Plaza, Yokohama, Japan

일 시 : 1992. 9. 14. — 9. 17.

논문제출일정 : 초록제출마감(1991. 12. 2.)

수락통보(1992. 2. 1.)

논문제출마감(1992. 7. 1.)

분 야 : Vehicle Dynamics ; Advanced Vehicle Design ; Vibration and Motion Control ; Application of Control Theory ; Mechatronics, Sensors and Actuators ; Intelligence and Information ; Modeling and Simulation Technology ; Car—Driver—Environment System ; Navigation and Traffic ;

연락처 : Prof. Seto, Department of Mechanical Engineering, National Defence Academy, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka—shi, Kanagawa, 239 Japan