[참고자료] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 11, No. 3, 1991

석유에 대체될 에너지 개발의 방향(1)
〈태양—수소 에너지 시스템을 중심으로〉

김 길 환
한국수소에너지학회 회장

The Path Toward Solar–Hydrogen Energy System as the Best Alternative in Future(1)

Kim, Kil Hwan

President, Korean Hydrogen Energy Society

1. 서 론

우리인간은 자연에서 발생했고 자연의 일부로서 자연속에서 자연과 더불어 공존해온 것이 전래의 기본적인 생활형이었다. 오늘날의 문명인이 하루에 소비하는 평균에너지 소비량은 미국의 경우 230,000kcal나 되어 원시인의 그것의 100배가 넘는 것으로 알려져 있다.

이와같은 거대한 에너지는 주지하는 바와 같이 대부분 주로 이 지구상의 귀중한 자연자원으로서 그 매장량이 유한한 화석에너지로 충당되고 있으며 이 막대한 에너지 소비의 결과 현대문명인의 생활이 윤택해 지고 안락하고 편리해진 것은 사실이다.

그러나 그 반면에 자연자원의 낭비 내지는 탕진의 위기감과 심한 공해로 인한 우리들의 삶의 터전인 자연환경의 황폐화를 우리후손들에게 물려주게 되는 엄청난 대가를 치러야만 한다.

자원과 환경양면에 걸친 오늘날 우리사회의 심각한 에너지문제의 기원은 근본적으로 자연과 인간과의 조화·균형을 도외시하고 한결같이 효율과 경제성, 안락과 편익만을 앞세운 자연의 수탈에서 비롯되는 오늘날의 에너지 시스템의 낭비구조에 있다고 믿어진다. 따라서 공해없고 깨끗하고 자연의 순리에 따라 갱신성이고 고갈될 염려가 없는 에너지원과 에너지매체를 기축으로 하는 새로운 에너지 시스템으로의 전환이 시급하고 불가피하다고 하겠다.

자연계에 부존돼 있는 에너지원에는 화석연료, 핵연료, 태양에너지 등 여러가지가 있는데 보통 우리주변에는 우리의 용도에 적합하고 사용에 편리한 형태로는 존재하지 않는다. 따라서 이와같은 에너지원(1차에너지)의 변환과 저장·수송 등의 유통구조가 필요하며 이 유통부분을 2차에너지 시스템이라고 하며 에너지원의 입수에서 최종이용에 이르는 전체에너지 시스템내의 중요한 subsystem으로 돼있다.

Fig. 1은 현대사회의 이와같은 에너지의 흐름을 표시한 것인데 1차에너지는 대다수의 선진국의 경우 석탄, 석유등 화석열료 특히 석유에 크게 의존하고 있다. 이들 1차에너지는 휘발유, 중유, 등유등 석유제품, 도시가스, 코크스등의 연료와 전력과 같은 2차에너지로 변환되

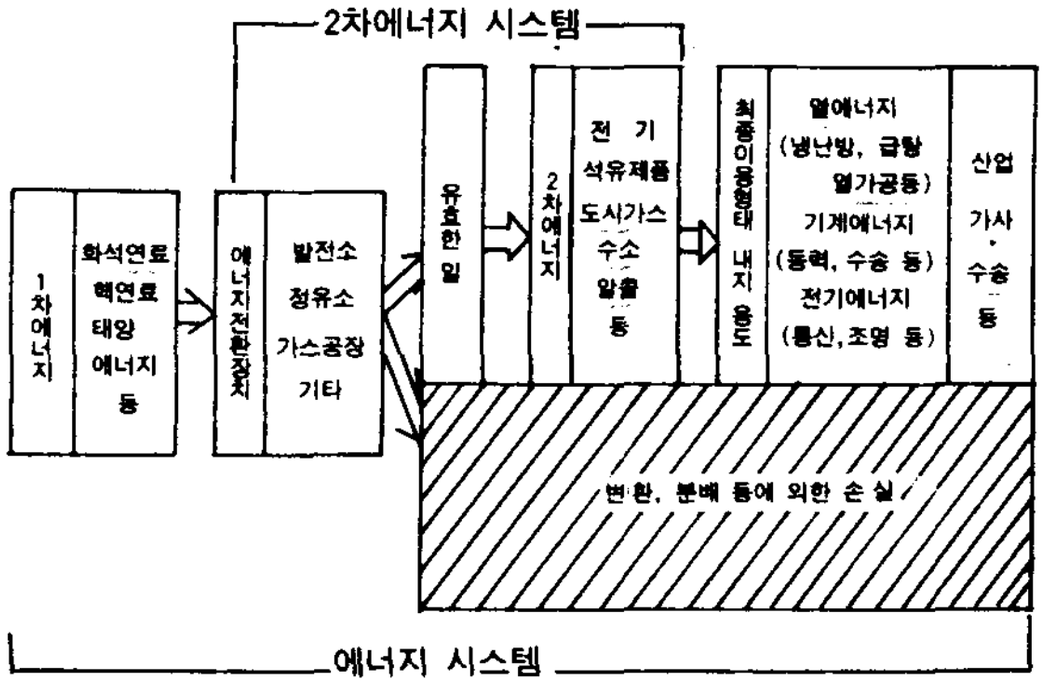


Fig. 1 현대사회의 에너지의 흐름

어 최종 소비자에 공급된다. 에너지의 최종이용형태 내지 용도는 실로 다기다양하지만 이들을 크게 분류하면 열, 동력 및 전기·전자의 세 그룹으로 간추릴 수 있을 것이다.

현대사회의 이와같은 에너지 수요구조에 가장 적합하고 사용에 편리한 2차에너지는 석유와 전력이라 하겠으며 오늘날의 높은 생활수준을 유지해나가는데 필수불가결하다. 특히 석유는 비단 연료로서 뿐만아니라 물질원료로서 대량으로 광범다양하게 사용되고 있어 그 제품은 우리생활의 모든 국면에 침투·범람하고 있다. 현대문명이 석유문명이라고 표현되는 것도 결코 우연한 일이 아니다.

전력은 대단히 질이 높고 깨끗한 에너지로서 다기다양하게 이용되며 석유와 상호보완적, 상호의존적인 짝을 이루어 현재의 2차에너지의 핵심이며 주류를 이룬다. 앞으로 우리사회·경제가 보다 선진화하여 정보와 써비스분야가 차지하는 비중이 커짐에 따라 전기·전자에너지의 수요는 더욱 늘어날 것으로 전망된다.

그러므로 앞으로 우리가 지향하고 개발해야 할 에너지 시스템이 도달해야 할 목표는 전력에너지와 호환성이 뛰어나고 석유와 같이 수송이나 저장이 용이하고 다양한 용도에 효율적으로 편리하게 사용될 수 있는 새로운 에너지 매체를 모색하여 이것으로 석유를 대체하는 것으로 집약될 수 있다고 믿어진다. 이와같은 시점에서 앞으로 전기에너지와 연계하여 2차에너지의 쌍벽을 이루게 될 것으로 믿어지는 것은 다음에서 논급할 여러가지 특성에 비추어 궁극적으로 수소밖에 없다고 생각된다.

에너지 매체로서 수소의 특성을 살펴보면,

① 수소의 원료로서 물은 이 지구상에 보편적으로 분포·부존돼 있을 뿐 아니라 그 량이 무진장하여 자원적인 제약을 받지 않아 화석연료나 핵연료 자원과는 대조적이다.

② 단위무게당의 열량이 휘발유가 kg당 15,000kcal, 중유 9,900kcal, 석탄 6,000kcal인데 비해 월등하게 높아 29,000kcal나 된다. 또 단위시간에 발생하는 에너지(연소속도) 다시 말해서 발생마력은 다른 어떤 연료보다도 크다. 따라서 로켓발사용 연료로서 미국의 사단로켓의 제2, 제3단 연료로서 사용되었고 장래의 초음속 젯트기의 유망연료로 지목되고 있다.

③ 수소를 공기중에서 연소하면 산소와 화합해서 물이되어 유해한 오염물질이 발생하지 않아 깨끗하고 공해를 발생하지 않는다.

④ 전력은 저장이 곤란하고 수송에 많은 손실이 수반되는데 수소는 후술하는 바와 같이 저장이나 수송이 용이하고 편리하다. 또 현재 실용단계에 도달했다고 평가되는 연료전지를 이용해서 높은 효율로 수소를 전력으로 변환할 수 있고 전력으로는 물의 전기분해로 수소를 생산할 수 있어 전력과의 호환성이 좋을 뿐 아니라 상호보완적 상호의존적 관계에 있다. 종래 석유를 열원으로 사용하던 발전용연료나 도시가스, 또 자동차와 같은 가동(mobile)동력용 연료와 같은 분야를 수소로 대체하여 전력의 단점을 보완한다든가 하는 것은 바람직하고 가능하다.

⑤ 물에서 수소를 생산하고 그 수소를 대기권에서 연소하여 물로 되돌리므로써 지구상의 물순환과정에 따르기 때문에 환경에 미치는 충격이 없어 생태적이다.

2. 수소의 제조기술

수소가 상술한 바와같이 많은 장점을 지니고 있음에도 불구하고 현재 보편적인 연료로서 아직 본격적으로 사용되지 않고 있으며 그 용도내지는 소비내역도 석유정제, 암모니아합성,

메타놀제조 등 화학원료로서의 사용이 93%나 차지하고 나머지는 반도체정제, 금속, 야금, 전자 등 분야에서 초고순도로 정제한 수소가 이용된다.

제법도 종래의 물의 전기분해법과 아울러 천연가스나 석유, 석탄등 화석연료를 원료로하는 수성가스법, 수증기개질법 및 부분산화법등 종래의 제법에 의존하고 있어 근본적으로 화석에너지 권에서 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

따라서 우리가 현재 당면하고 있는 자원과 환경의 모순을 극복하고 애로를 타개하여 수소가 우리들의 궁극적인 에너지로 널리 실용화되자면 무궁무진하고 공해없는 태양에너지로 무진장한 물을 분해하여 수소를 값싸게 대량으로 생산할 수 있는 새로운 기술의 개발이 선행돼야 할 것이다.

2.1 물의 전기분해

종래의 물전해법의 에너지효율은 50~60% 정도에 지나지 않지만 이 효율을 75% 이상으로 높이기 위해서는 보다 고온·고압상태에서 전해할 필요가 있다. 일본의 국책연구인 Sun-shine 계획중에는 이 물의 전기분해에 있어서 고온·고압형의 연구가 하나의 테마로 채택돼 있으며 전해조의 전압·전류특성에 있어서 전류밀도가 0.4A/m²일 경우 온도를 70℃에서 120℃로 올리므로서 10% 이상의 효율향상을 볼수 있었다고 한다. Table 1은 세계의 주요한 물전해시설의 개발현황의 일부를 예시한 것이다.

그러나 전해액을 고온으로하면 장치등의 재료의 부식이 심해지고 고압의 수소와 산소의 혼합에 의한 폭발의 위험성이 커진다는 문제점이 앞으로의 연구 과제로 남는다.

한편 수용액 전해질 대신 이온도전성인 고체 고분자전해질(solid polymer electrolyte, SPE), 예를들어 미국의 G.E.사가 개발한 Nafion이란 일종의 플라스틱의 막을 사용하는 방법이 있는데 Fig. 2에서 보는 바와같은 메커니즘으로 이 막의 양면에 촉매전극을 부착하고 양극측에 순수한 물을 유입시켜 전극간에 전압을 걸면 양극에는 산소와 수소이온이 생기는데 수소이온은 막을 통과하여 음극으로 이동하여 음극에서 전자와 결합해서 수소가 된다. 이 방법은 전류밀도를 높혀도 분해전압이 상승하지 않으므로 효율이 좋고 장치의 구조도 단순화 할 수 있고 소형으로 대용량화할 수 있으므로 차세대의 전해법으로 기대되고 있다. 다만 막이 강산성을 나타내므로 막에 부착시킨 전극이나 촉매재료의 부식대책이 앞으로 큰 연구과제라 하겠다.

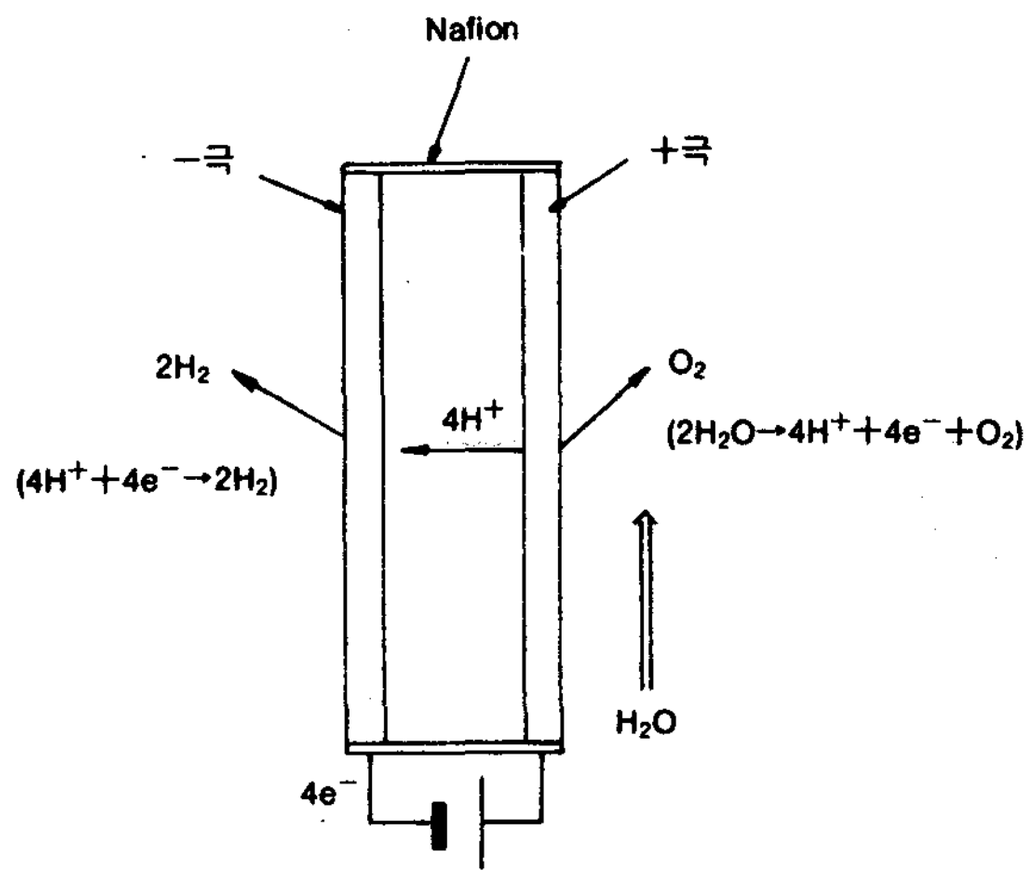


Fig. 2 SPE에 의한 물의 전기분해기구

이밖에 서독의 Dornier & Lurgi사나 미국의 Westinghouse사에서는 물을 수증기로 만들어 이것을 전기분해하는 증기상 전해(vapor phase

Table 1 세계의 주요한 물전해조의 예

형식및 국명 / 조사항목	Lurgi사 (서독)	Sun Shine계획 (일본)	SPE(G.E.사) (미국)
H_2발생량(Nm^3/h)	~750	4(TP),20(PP)	50
전해액	30% KOH	30% KOH	순수+고체전해질
온도(℃)	90	120	80~150
압력(atm)	30	20	20~ 60
전류밀도(mA/㎠)	200~300	~400	1,000
단셀압력(V)	1.8~1.85	1.65~1.70	1.75
에너지효율(%)	80~83	90	85
개발단계	1950년대	PP종료	PP운전중

출전 : 일본능율협회 「신에너지와 재료」
주 : TP: test plant. PP : pilot plant

electrolyser, VPE)란 방법을 개발한 바 있다.

물의 전기분해에 의한 수소생산은 전기료가 저렴한 카나다, 노르웨이등과 같은 나라에서는 대단히 유리한 방법이라 하겠다.

2.2 태양에너지를 이용한 물의 분해

태양에너지를 이용한 수소의 제법으로는 태양열로 고온을 만들어 물을 직접 분해하거나 태양열에 의한 수증기로 터빈을 돌려 발전해서 물을 분해하거나 또는 광화학반응을 이용하는 등 다양한 방법과 가능성이 있는데 근래의 태양에너지 이용을 위한 새로운 기술의 개발에서 특히 주목할 만한 일은 태양전지의 빠른 진보라 하겠으며 그 중에서도 70년대 중반의 비정질(amorphous) 실리콘의 태양전지의 개발은 위대한 성과라고 할 수 있다. 태양전지는 P형과 N형의 반도체의 접합 즉 P—N접합을 사용하여 거기에 입사한 빛으로 생긴 전자와 정공의 쌍을 P—N접합에 형성돼 있는 전계로 분리하여 전력으로 변환하는 것인데 이 P—N접합을 만드는데는 오랫동안 단결정이 사용되었었다. 단결정은 복잡한 생산과정과 에너지가 소요되어 비싸게 먹히게 되므로 1970년대초부터 보다 값이 싼 다결정으로 대체되어 원가가 크게 절감되어 급속한 보급을 보게되었다. 그러나 비정질을 이용하게 되면 실리콘 반도체를 대량으로 처리해서 제조하는 것이 가능해지므로 더욱 값이 저렴해 질것이 기대된다.

태양전지의 연구는 서독이 세계에서 가장 먼저 착수하였는데 1986년 Vienna에서 열린 제6회 세계수소에너지회의에서 발표된 HYSOLAR 계획은 서독이 일조조건이 좋은 사우디아라비아와 공동으로 추진하는 연구계획인데 태양전지의 전력으로 물을 분해하여 수소에너지로 변환하는 시스템이다. 일본서도 태양전지에 의한 발전연구가 유명한 기업들에 의하여 각처에서 다양하게 진행되고 있다.

태양전지는 수소에너지 시스템과 유기적으로 결부·조합되어 일체가 되므로써 비로서 그 기능이 유감없이 발휘될 수 있는 것이다.

태양광이나 태양열뿐만 아니라 풍력, 수력, 파력, biomass, 해양온도차 등 태양에너지의 흐름에서 파생된 태양에너지의 모든 변신이나 지열과 같은 자연에너지도 각지역의 여건에 따라 유리하게 발전에 이용될 수 있으므로 물분해에 의한 수소생산과 결부될 수 있다.

또 전력을 거치지 않고 광화학반응에 의한 물의 광분해도 가능성이 엿보이며 광반도체, 광촉매등을 이용한 방법이 연구되고 있다.

특히 혼다(本多)·후지시마(藤嶋)효과를 바탕으로 광반도체를 사용한 방법은 흥미가 깊다.

2.3 열화학사이클법

물을 대량으로 분해해서 수소를 생산하는 방법으로는 직접열분해법이 있다. 그러나 이 방법으로는 온도를 3000℃까지 올려줄 필요가 있는데 이와같은 고온에서 용해되거나 파손되지 않고 안전하게 사용할 수 있는 용기재료는 없다.

열화학법은 몇단계의 화학반응을 조합해서 실시가능한 온도범위에서 물을 분해하는 방법이며 가파른 언덕길을 단숨에 오르자면 힘이들지만 지그자그로 올라가면 행정은 길어지지만 구배가 완만해져 힘이 덜드는 것과 같은 원리이다.

예를들어 금속 M이 물과 반응해서 다음식과 같이 금속산화물과 수소가 생성될 경우

$$M+H_2O \longrightarrow MO+H_2$$

여기서 가열하므로써 이 금속산화물이

$$MO \xrightarrow{열} M+\frac{1}{2}O_2$$

와 같이 분해하면 이 두식을 합쳐

$$H_2O \longrightarrow H_2+\frac{1}{2}O_2$$

와 같이 되면 M와 MO는 상쇄되어 M에서 시작하여 다시 M으로 되돌아오는 싸이클이 완결되고 이 과정에서 M은 순전히 촉매로서만 작용하고 물만이 수소와 산소로 분해되는 결과가 된다.

이것은 열화학사이클에 의한 수소제조의 원리를 설명하는 가장 간단한 예이다.

이밖에 3단계 또는 4단계 반응공정으로 구성되는 사이클도 있지만 모두 같은 원리이다.

구체적인 예로는

$$SnBr_2+H_2O \rightarrow SnO+2HBr(800℃)$$

$2HBr+Hg \rightarrow HgBr_2+H_2$(200℃)

$SnO+HgBr_2 \rightarrow SnBr_2+Hg+\frac{1}{2}O_2$(500℃)

와 같은 일련의 반응을 들수 있는데 이 3식을 합치면

$H_2O \rightarrow H_2+\frac{1}{2}O_2$가 되어 $SnBr_2$를 비롯한 물 이외의 물질은 모두 회수되며 물을 직접 열분해하는데 비해 필요온도가 200℃~800℃로 낮아지게 된다.

이와같은 열화학사이클방식의 수소생산에 있어서는 물이외에 사용하는 물질을 소모하지 않을 뿐아니라 물도 다시 물로 되돌아오기 때문에 자원적으로나 환경적으로도 이상적인 제조법이라고 할 수 있다.

왜 이와같은 바람직하고 만족할 만한 화학사이클이 오늘날까지 공업적으로 이용되지 않았을까? 이에 대한 답변은 간단하다. 요컨대 학문으로서 이와같은 사이클화학이 종래 존재하지 않았었다는 점과 아울러 또하나의 이유는 구지 이러한 고도의 기술을 구사해 가면서 수소를 만들필요가 없었고 순도높은 소량의 수소는 전기분해로, 대량으로라면 나프사를 원료로 간단히 만들어낼수 있었기 때문이다. 석유는 특히 60년대에 그토록 헐값으로 살 수 있었다.

수소제조의 이 사이클화학은 일찌기 Funk등이 1964년초에 착안한 후 이탈리아의 Ispra 연구소에서 1969년 Marchetti의 주도하에 응용연구가 시작되었다. 1970년대에 접어들어서는 일본의 요코하마(横浜)대학의 太田교수도 이 신기술개발에 동참한 것을 비롯하여 세계각국의 저명한 연구기관에서 활발한 연구가 전개되었다. 이리하여 현재까지 100종 이상의 각종 열화학사이클이 실용화에 유망한 것으로 제안발표되었다. Table2는 그 일부를 예시한 것이다.

Table 2 각종열화학사이클

옥 소 계	1. $6MgO+6I_2 \xrightarrow{150℃} Mg(IO_3)_2+5MgI_2$
사 이 클	2. $Mg(IO_3)_2 \xrightarrow{600℃} MgO+I_2+2.5O_2$
	3. $5MgI_2+5H_2O \xrightarrow{400℃} 5MgO+10HI$
	4. $10HI \xrightarrow{400℃} 5H_2+5I_2$
유 황 계	1. $SO_2+I_2+2H_2O+ \underset{\text{상온}}{\overset{\text{전지반응}}{}} H_2SO_4+2HI$
사 이 클	2. $H_2SO_4 \xrightarrow[Fe_2O_3]{850℃} H_2O+SO_2+0.5O_2$
	3. $2HI \xrightarrow{400℃} H_2+I_2$
철-취소계	1. $3FeBr_2+4H_2O \xrightarrow{650℃} Fe_3O_4+5HBr+H_2$
사 이 클	2. $Fe_3O_4+8HBr \xrightarrow{\sim 200℃} 3FeBr_2+4H_2O+Br_2$
	3. $SO_2+Br_2+2H_2O \xrightarrow{\sim 80℃} H_2SO_4+2HBr$
	4. $H_2SO_4 \xrightarrow{850℃} H_2O+SO_2+0.5O_2$
광열전기	1. $2FeSO_4+I_2+H_2SO_4 \xrightarrow{광} Fe_2(SO_4)_3+2HI$
hybrid	2. $2HI \xrightarrow{400\sim 450℃} H_2+I_2$
사 이 클	3. $Fe_2(SO_4)_3+H_2O \xrightarrow{전해} 2FeSO_4+H_2SO_4+0.5O_2$

그러나 이 방법에도 여러가지 결점이 있다. 그 하나는 이 열화학사이클과정의 열손실이다. 사이클단계를 진행시키기 위해서는 원료를 수송하고 가열하고 또 압축하거나 팽창시키거나 할 필요가 있는데 그 하나하나의 단계에서 에너지 투입이 필요하며 열손실이 일어나게 마련이다. 여기서 열손실이라고 함은 가해진 열이 모두 물을 분해해서 수소를 만드는데 사용되지 않고 팽창이나 압축, 냉각이나 가열과 같은 다른 목적으로 소비된다는 것을 의미한다. 이와같은 열손실을 감안한다면 수소제조를 목적으로 하는 열화학사이클은 아직 경제적이라고 할만큼 효율적이 못되는 형편이다.

다음에 결점으로 지적되는 것은 용기에 미치는 영향이다. 800℃는 수용할 수 있는 온도라고는 하였으나 역시 고온임에는 틀림없고, 실온이나 100℃ 정도에서 사용하는데 비하면 부식되기 쉽고 쉬 못쓰게 될 것이다.

또 사이클의 불완전성도 간과할 수 없는 단점이다. 이론상으로는 사이클이 완결되어 수소와 산소로 분해하는 물이외의 물질이 모두 100% 회수되는 것으로 돼 있지만 실제로는 100% 효율로 재생되는 것은 없으며 예컨대 99.8%란 효율로 반응이 진행될 경우 중간생성물이 점차 축적되게 된다. 매시 수백톤이란 대량의 수소를 만들때 0.2%의 손실에 수반되는 고체의 중간생성물의 축적은 막대한 량이 될

것이다. 고체반응물은 일반적으로 반응율이 크지않는데 이것은 그 표면에서 밖에는 반응이 일어나지 않기 때문이다.

이밖에 각반응에서 생성된 2~3종류 이상의 반응생성물을 어떻게 효율적으로 분리하느냐하는 어려움도 무시할 수 없다. 생성물중의 하나가 고체나 액체이고 나머지가 기체일 경우등은 분리가 어렵다고 할 수 없지만 두가지가 모두 기체이거나 액체일때는 분리가 까다로워진다.

이상과 같은 점을 종합적으로 감안해 볼때 열화학사이클법은 수소생산의 바람직하고 유망한 제조법으로 기대되지만 아직 타개해야할 기술적 애로가 남아있어 실용화, 공업화될때까지는 아직 시간이 더 필요하다고 하겠다.

이밖의 물분해의 세가지방법 즉 ①전기분해 ②광분해 및 ③열화학분해 중에서 ①②, ②③, ①③의 두가지 또는 ①②③의 세가지를 조합해서 각자의 장점을 살려 종합하는 이른바 hybrid 법도 광범다양하게 연구되고 있다.

2.4 생물을 이용한 물분해

남조류나 질소고정균등의 박테리아 중에는 광합성기능의 일부가 억제되는 조건하에서 수소를 발생한다는 것이 알려져 있어 이것을 적극적으로 이용해서 수소를 만들어보자는 연구가 진행되고 있다.

이와같이 생물이 지니고 있는 광—화학에너지 변환능력을 이용해서 공학적으로 수소를 만드는 가장 단순한 방법은 광합성의 메커니즘 연구로 노벨상을 받은바 있는 미국의 저명한 화학자 M.Calvin 교수가 제안한 바와같이 생장속도가 빠른 C_4 식물 예를 들면 사탕수수, 옥수수, Sudan grass 등을 재배하여 탄수화물로 돼 있는 식물체와 물을 반응시켜 CO_2와 H_2로 하는 방법일 것이다. 그러나 식물체는 그대로도 연료가 되므로 합리적인 방법이라고는 할 수 없다.

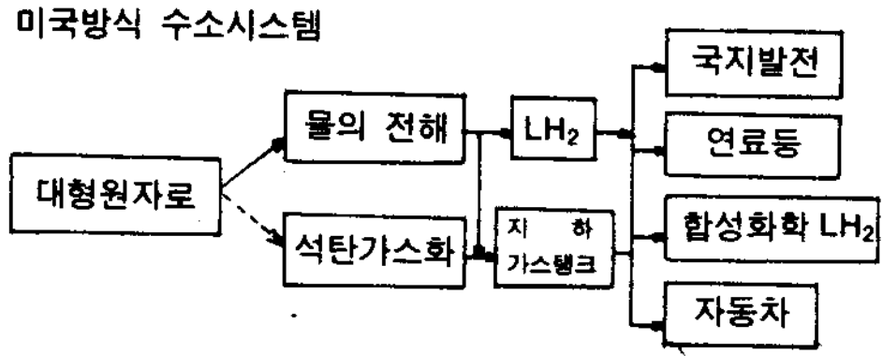
한편 어떤 종류의 박테리아나 해조류는 광합성작용으로 공기중에 산소가 아니라 수소를 방출한다는 것이 발견되어 이와같은 생물을 직접 배양 또는 증식하여 수소를 생산하고저 하는 구상도 있다. Miami대학의 A.Mitsui교수는 Florida주변 해역에서 녹조류, 광합성세균을 다수 채취하여 수소발생능력이 우수한 종을 분리·배양하고 있는데 이중에는 blue green algae BG-7등 상당히 능력이 높은 것이있다. 이 조류는 하루에 1㎖H_2/㎖(조현탁액·algae suspensin) 정도의 수소발생능력이 있어 100억m^3의 수소를 생산하자면 깊이 50㎝ 면적 3.3㎢의 배양용적이면 족하다는 계산이 된다. 유전자공학과 같은 첨단기술로 유전자를 개량하여 더욱 고성능의 algae를 개발하는 것도 결코 꿈은 아닐 것으로 믿어진다. 그러나 생물의 이와같은 광화학반응의 자연적인 능력을 그대로 이용하는 방법은 이 생물을 생육·관리하기 위하여 각종 영양물질을 비롯하여 시설장비, 노력등 비용이 많이 든다는 단점이 있다. 따라서 더욱 경제적이고 합리적인 배양에서 수소생산에 이르는 전과정에 걸친 종합적인 기술개발에 노력을 계속해야 할 것이다.

3. 수소에너지 시스템

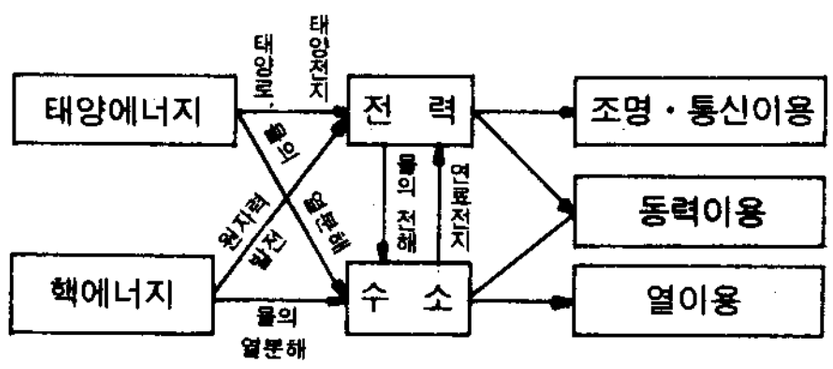
화석에너지권을 벗어나 수소를 에너지매체의 핵심으로하는 현재까지 제안된 수소에너지 시스템의 대표적인 예로 미국과 일본의 시스템을 Fig. 3에 표시하였다.

누술한 바와 같이 수소에너지 시스템이 하나의 안정된 에너지 시스템으로서 실용화되어 우리 경제·사회에 확고하게 정착할 수 있느냐 없느냐의 관건은 무엇보다도 무진장한 물을 원료로 대량생산이 되느냐 안되는냐에 달려있겠는데 미국방식(Fig. 3a)의 수소시스템은 물의 전기분해의 에너지원으로 대형원자로를 활용한다는 구상이다. 그러나 핵에너지는 방사능오염에 대한 방호대책이 확립돼 있지 않는한 바람직하지 못하다고 아니할 수 없으며 더군다나 석탄가스화에 까지 핵에너지에 의존한다는 것은 에너지수요 충족에만 치충하고 환경오염의 위험성을 도외시한 시스템이라 하겠다. 생산된 수소가 깨끗하더라도 그 생산과정에서 환경이 다른 오염원으로 오염이 계속된다면 현재와 같이 화석에너지에 의존한 시스템과 결과적으로 다를바가 없을 것이다.

(a) 미국방식 수소시스템



(b) Clean energy system (오오다교수제안)



(c) 이상적 수소에너지 시스템의 미래상 (Solar-Hydrogen Energy System)

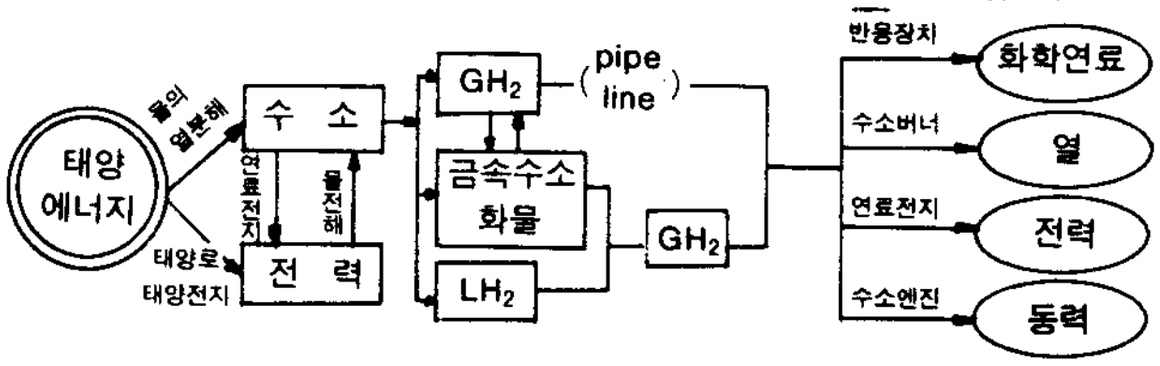


Fig. 3 수소에너지 시스템

일본의 clean energy system(Fig. 3b)에 있어서는 태양에너지와 핵에너지의 두에너지원을 모두 활용한다는 구상인데 태양에너지의 현재까지의 개발단계로 보아 태양에너지만으로 대량의 에너지를 집약적으로 이용할 수 없는 실정에 비추어 현실적이고 과도적인 시스템이라고 하겠으며 장차 태양에너지 이용기술이 더욱 발달하면 점진적으로 핵에너지를 대체할 수 있을 것으로 믿어진다.

수소를 무엇을 원료로 생산하는냐하는 문제와 아울러 어떤 에너지원으로 생산하느냐가 그에 못지않게 중요하다. 새로운 에너지시스템의 이상적인 미래상은 따라서 태양에너지 위주로 구성된 Fig. 3c와 같이 될 것으로 생각된다.

편집자주 : 후편은 태양에너지(12권1호) 다음호에 계속될 것입니다.