

국내 부생수소 현황과 수소 유통 인프라

심규상, 김종원, 김정덕, 황갑진, 김홍선*

*한국에너지기술연구원, 수소에너지연구센터, **(주)덕양에너지젠

Status of Domestic Byproduct Hydrogen and Infrastructure

Kyu-Sung Sim, Jong-Won Kim, Jung-Duk Kim, Gab-Jin Hwang, Heung-Sun Kim

*Korea Institute of Energy Research, Hydrogen Energy Research Center
71-2 Jang-dong Yusong-ku Daejeon 305-343, Korea

**Duckyangk Engegen Corp.
863-3 Yeocheon-dong Nam-gu Ulsan 680-090, Korea

ABSTRACT

A long-term energy system in the future is expected to be based on the ideal circulation system between water and hydrogen in the sense that the hydrogen prepared from water eventually returns to water again after its use. Currently, with respect to the hydrogen energy system, it is predicted that the turning-point at which the production cost of hydrogen will become to be lower than that of fossil fuels would be after 2010. However, fuel cell technology would be able to be practically used for the applications to the transportation vehicles and small-scale power sources from 2004, and therefore, an efficient construction of the infrastructure covering hydrogen production and supply systems would be required with short-/mid-term technologies for the CO₂ reduction associated with fossil fuel utilization. In this paper, the hydrogen quantity available in domestic market has been estimated focusing on the hydrogen by-produced from domestic industries, and also the infrastructure for hydrogen-driven vehicles like fuel cell cars has been reviewed.

주요기술용어 : Byproduct hydrogen(부생수소), Hydrogen infrastructure(수소인프라), Hydrogen vehicle(수소자동차)

1. 서 론

에너지는 국가의 안전 및 경제 사회발전을 이
룩하는데 있어 절대적인 요소이자, 미래 산업을

유지하는 원동력이며, 에너지 자원이 부족한 국
내의 신에너지 제조기술은 21세기 에너지안보
및 국가 경쟁력을 결정하는 중요한 요소기술이
다. 수소는 이 같은 신에너지의 매체로서 사용

후 환경공해가 없는 청정에너지이므로, 다음 세기의 에너지 주역으로 평가되고 있다. 1970년대 말부터 시작된 수소에너지 관련 연구는 수소의 제조, 저장, 이용 등의 각 분야에서 많은 연구개발이 이루어져 몇 가지 분야에서는 실용화에 접근하고 있다. 그러나 그 용도가 우주개발 또는 군사용 등의 특수 분야에 한정되어 있다. 장기적으로는 물로부터 수소를 제조하고 사용 후 다시 물로 돌아가는 이상적인 수소-물의 순환시스템을 기대하고 있다. 현재 노르웨이나 캐나다 등의 값싼 수력전기를 얻는 지역을 제외하고 전기분해에 의한 수소의 생산가격은 화석연료에서 얻어지는 수소보다 3배 정도로 비싸다¹⁾. 기술의 발전에 따라서는 환경적 요소뿐만 아니라 경제적 측면에서도 수소의 생산단가가 화석연료의 생산단가보다도 낮게 되는 시점은 전문가에 따라 이견이 있으며, 대체로 2010년 이후에 도래할 것이라고 예측되고 있다.

이미 1960년대부터 우주에서나 사용하던 고급 기술인 연료전지가 최근 기술개발의 진전에 따라 자동차와 발전 등의 분야에도 파급되고 있다. 일본 도요다 등의 자동차업계에서는 2004년까지 상용화와 시판을 목표로 연료전지자동차의 개발에 박차를 가하고 있다²⁾. 이에 따라 연료전지에 필요한 수소의 공급을 위하여 수소의 제조기술로부터 공급에 이르는 인프라의 구축과 함께 기존 화석연료를 바탕으로 하는 연료체계에서 이산화탄소의 배출을 줄일 수 있는 수소에너지시스템의 중단기적 활용기술의 필요성이 증대될 것이다.

일본의 경우 수소자동차가 2020년 500만대 정도 차지한다고 가정할 때, 연간 140억Nm³(현재 전세계 수소 생산규모는 5천억Nm³으로 추산됨) 규모의 수소가 필요한 것으로 예측하고 있다. 국내에서도 이미 연료전지자동차의 시제품이 제작되어 시험운행 중이며, 2004년부터 상용화 제품이 출현할 전망이다. 이에 따라 국내 유통시장에 내놓을 수 있는 수소의 양을 산업체에서 부생되는 수소를 중심으로 추산하였으며, 장차 수소

자동차 운행에 대비한 수소 인프라에 대하여도 검토하였다.

2. 수소자동차 현황

1980년대부터 선진국을 중심으로 시작된 수소자동차 개발에 있어서, 기업체 차원에서의 본격적인 움직임은 연료전지가 자동차의 동력원으로 환경상 유리하다고 인식된 이후이다. 현재 자동차분야가 차지하는 온실가스 배출량은 전체의 24%를 점유하고 있다³⁾. 세계적으로 수소자동차의 적용은 1990년대 초 제정된 캘리포니아주의 대기오염방지법으로서 당초 예정은 1998년 이후에 생산하는 신차의 2%를 대기오염물 배출이 전혀 없는 차(ZEV, zero emission vehicle)로 하는 것이었다. 그러나, 자동차 업계의 맹렬한 반대로 제1, 제2 phase의 시행을 유예하고, 2003년부터 시작하는 제3 phase(ZEV 10% 도입)를 완전 실시하는 것으로 하였다. 현재 세계적으로 행해지고 있는 연료전지자동차의 개발 경쟁은 2003년에 캘리포니아에 첫 번째로 진출하는 것을 목표로 하고 있는 것이다.

2000년 11월에 캘리포니아 연료전지 partnership이 시작되어, 미국, 독일, 캐나다, 일본, 한국 등의 연료전지자동차와 버스가 Sacramento시의 도로를 주행하는 시험을 계속하고 있다. 이러한 차의 대부분은 350기압의 고압 수소탱크를 탑재하고 있다. 현재 차량탑재형 개질기를 이용하여 메탄올이나 가솔린 등을 원료로 하여 연료전지에 수소를 공급하는 방법도 연구되고 있지만, CO₂의 배출이 생긴다는 점에서 완전한 ZEV라고 하기는 어렵다. 순수한 수소의 경우는 앞서의 고압 수소탱크를 이용하여 직접 연료전지에 사용이 가능하지만, 인프라 구축이 미비되어 있고, 에너지밀도를 비교하면 기존 차량의 연료탱크보다 용적이나 무게가 크다고 하는 단점이 있다. 기타 액체수소 저장탱크를 이용한 방법, 수소화합물 분해기술을 이용한 수소 저장기술들이 연구, 검토되고 있다⁴⁾.

연료전지자동차의 시장규모는 2004년 전후하여 소량 양산이 시작되고, 2010년 전후 본격 양산에 들어갈 것으로 전망되고 있다. 노무라와 다임크라이슬러⁵⁾의 예측은 2005년 1만대, 2010년 10만대, 2015년 50~470만대, 2020년 150~900만대로, 연료전지자동차의 본격적인 실용화는 2015년 이후로 예상하고 있다. 그러나, 수소 인프라 문제는 수소자동차가 어떠한 형태로 진행될 것인가에 따라 달라질 수 있으며, 특히 수소저장기술의 개발이 큰 요인으로 작용할 것이다. 앞서 기술한 바와 같이 수소자동차의 수소저장탱크에 직접 수소를 공급하는 방법이 최선이나, 아직까지 적합한 저장방법이 개발되어 있지 않으므로, 메탄올 등의 차량탑재형 개질기술을 적용하는 방법도 검토되고 있다. 따라서 인프라에 투자한다는 것 자체가 현재로서는 기회이자 위험 요소이어서, 자동차업체, 정부와 긴밀한 공조가 이루어져야 할 부분이다.

3. 국내 부생수소 발생현황

수소는 태양광, 태양열, 석탄이나 석유와 같은 1차 에너지를 변환시켜 얻을 수 있는 2차 에너지에 해당되며, 에너지원보다는 화학제품의 원료 및 화학공장의 공정가스로 널리 사용되고 있다.

부생가스를 제외하고는, 일반적으로는 천연가스 개질이 가장 값싼 방법이나, 국내 석유화학에서는 주로 Naphtha cracking이 이용되며, 대규모 석유화학단지인 울산, 나주, 대산 등에서 상당량이 생산되고 있다. 하지만 석유화학 공정용 또는 화학공업 원료로 쓰이는 탓에 자체적인 수요 공급이 거의 이루어진 상태로 볼 수 있어, 유통시장에 내놓을 수 있는 것은 우선 부생가스를 위주로 추산함이 타당할 것이다. 국내 산업에서 부생가스로서 수소가 대량으로 발생하는 곳은 제철소와 가성소다 업체, 스티렌모노머 공장이다.

Table 1. 제철소에서 발생하는 가스의 조성

(Source: RIST)

부생가스 종류	포함 광양 (2000)			
	(단위: 백만Nm ³ /hr)			
BFG (Blast Furnace Gas)	1.8		2.2	
COG (Coke-Oven Gas)	0.23		0.265	
LDG (Linz Donawitz Converter Gas)	0.11		0.14	
CFG (COREX Furnace Gas)	0.14			
총발열량	22.7 trillion kcal		21.6 trillion kcal	
총소비량	22.7 trillion kcal		21.6 trillion kcal	
조성	BFG Vol %	COG Vol%	LDG Vol%	CFG Vol%
CO ₂	20.7	3.1	17.8	33.0
CO	20.0	8.4	64.2	43.0
H ₂	3.2	56.4	2.0	21.0
CH ₄	-	26.6	-	1.0
CmHn(Higher Hydrocarbon)	-	2.0	-	-
N ₂	54.1	2.3	15.9	2.0
발열량 (kcal/m ³)	750	4,400	2,000	

3.1 제철소 부생가스

2001년 현재 유연탄은 6,340만톤이 수입되었으며, 국내의 포항제철만 해도 소요 에너지의 약 94%를 석탄으로부터 얻고 있으며, 철광석의 환원반응에 석탄을 이용하는 과정에서 생기는 막대한 양의 부생가스(열량기준으로 원료탄의 42% 수준)를 거의 전량 연료로 소비한다. 단위 열량당 가격으로 석유의 절반 수준(2001년 원유 1배럴당 26\$, 석탄 1톤당 38\$수준)이므로, 제철소에서 석탄의 소비를 증가시켜 부산가스를 증산하고, 제철소 내의 필요에너지를 석탄베이스의 에너지로 이용하는 것이 바람직하다. 제철가스는 Fig. 1과 같이 코크스를 제조하는 코크스로서 발생하는 COG(Coke Oven Gas), 고로를 중심으로 하는 제선과정에서 발생하는 BFG(Blast Furnace Gas), 그리고 전로를 이용하는 제강과정에서 발생하는 LDG(Lintz Donawhitz Gas)가 있는데, 각각의 조성은 Table 1에 보인 바와 같다.⁶⁾ 이 가스들은 정화장치를 거쳐 제철 각 공정의 소요열량에 따라 일정 비율로 혼합된 후, 코크스爐 연료, 高爐 연료, 철재 가공열원 등으로 이용하고 전력생산에도 일부 이용된다. BFG는 화학원료로서 가치가 있는 CO, H₂의 함량이

낮아 연료로 이용하는 것이 일반적이거나, COG는 수소를 얻거나 혹은 포함된 탄화수소를 부분산화 또는 수증기 개질을 하여 합성가스를 얻을 수 있으며, LDG는 분리하여 CO를 얻을 수 있다. COG에는 불순물이 많아 상당한 전처리가 필요하나, LDG에는 비교적 불순물이 적어 간단한 전처리를 거치면 대부분 화학원료로 사용할 수 있다. 제철공정의 특성상 각 가스의 상호간, 그리고 타 연료와도 열량기준으로 상호대체가 가능하므로, 단순에너지로의 이용보다 훨씬 부가가치가 높은 사업이 부각된다면 타 용도로 전환 이용될 수 있어 CI화학의 원료로서 검토되어 왔다.

포항 제철에서 부생되는 가스의 종류와 조성을 보면, 수소가 56.4% 함유된 COG는 495×10³Nm³/hr 이며(연간 330일 기준 3.92×10⁹Nm³/yr), 이것은 19.7만톤의 수소(현재 국내 유통시장의 연간 수소 소비량은 1.6만톤 수준임)에 해당하는 막대한 양이다. 포철 자체에서 필요로 하는 수소는 COG 중의 일부를 PSA(Pressure Swing Adsorption)에 의해 정제하게 된다.

현재 포항제철에서는 COG로부터 H₂를 회수하기 위하여 H₂ PSA를 포항에 700Nm³/hr 2기, 광양에 500Nm³/hr, 550Nm³/hr 각 1기를 사용하고 있으며, 나머지는 자체에서 보일러용 연료로 사용하고 있다⁷⁾. 제철소의 에너지 수지에 영향을 주지 않고, 또는 일부 타 연료로 대체하는 경우 어느 정도까지 수소 정제용으로 쓸 수 있는지에 대한 분석이 필요하다.

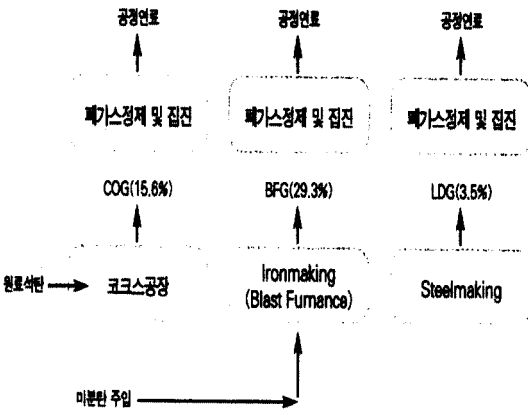
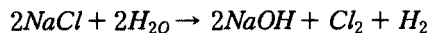


Fig. 1. 제철소에서의 석탄 변환 과정.
(자료: 포항제철)

3.2 가성소다공업

식염전해법에 의한 가성소다의 제조반응은 다음과 같다.



양극에서는 염소가스가 발생하며, 음극에서는 가성소다가 만들어짐과 동시에 수소가스가 발생

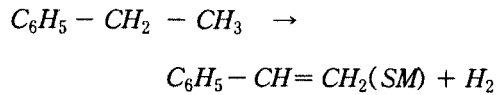
한다. 반응식에서 보는 바와 같이 질량비율로 본다면 가성소다 80에 대해서 2(즉 가성소다 1톤당 280m³)의 수소가 발생되는데, 수증기를 함유하는 외에는 거의 불순물이 없다. 수소의 순도는 99.9%이상이어서 압축수소로 시판도 되고 있다. 국내 가성소다 생산업체는 백광산업 10만톤, 통양화학 4.5만톤, 삼성정밀화학 16만톤, 한화종합화학 62만톤, LG화학 18만톤 규모로 알려져 있다.⁸⁾

국내 가성소다 생산량은 1998년 844천톤, 1999년 916천톤, 2000년 1,135천톤의 생산 규모이다. 즉, 1998년 LG화학의 6만톤 증설과 1999년 삼성정밀화학 ECH 플랜트 자가 소비분 염소 증설에 따른 가성소다 잉여분 6만톤, 그리고 2000년 한화석유화학의 15만톤 증설로 총 113.5만톤의 생산규모가 되었으며⁹⁾, 연간 2.8만톤의 수소가 발생된 것으로 계산된다. 발생수소의 대부분 석유화학공업이나 합성염산 제조공정 중에 재투입(가성소다 업체에서는 대부분 합성염산의 제조도 겸하고 있음)하고 있는 것으로 조사되었으며, 상당한 양이 보일러 열원으로 이용되고 있다.

3.3 스티렌모노머(SM:styrene monomer) 제조

스티렌모노머는 플라스틱을 만드는 초기물질

중 사용량이 많아 중요성이 큰 물질이다. SM으로부터 생산되는 플라스틱으로 PS(polystyrene), ABS(acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer) 등이 있다. 국내 스티렌모노머의 2000년 생산량은 2,466천톤으로서(2000년 시설능력은 동부화학 21만톤, 여천 NCC 14만톤, LG화학 33만톤, SK에버텍 56만톤, 현대석유화학 39만톤, 삼성종합화학 67만톤 등 총 230만톤) 이중 90%이상이 에틸벤젠의 탈수소화로 생산된다. 이 과정은 흡열반응으로 수소가 발생된다.



대략 에틸벤젠의 탈수소화로 200만톤이 생산된다고 보고, SM 1톤당 19kg의 수소가 발생된다면, 3.8만톤(=4.26억Nm³)의 수소가 발생되는 것으로 추산된다.

3.4 수소 발생원 및 수소농도

앞서 살펴본 바와 같이 부생가스로서 수소가 대량으로 발생하는 곳은 제철소와 가성소다 업체, 스티렌모노머 공장이며, 기타 화학공정에서 수소의 발생원과 이들중에 포함된 수소의 농도는 Table 2와 같이 요약할 수 있다. 대부분

Table 2. 수소의 발생원

Feed source	H ₂ in feed %	Feed source	H ₂ in feed %
Steam reforming	64~96	Methanol loop purge	68~84
Ethylene off-gas	35~98	Butadiene off-gas	79
Catalytic reformer off-gas	75~90	Ammonia loop purge	60
chlorine off-gas	98	Toluene HDA H ₂ purge	57
Dissociated ammonia	75	Cyclohexane H ₂ purge	42
H ₂ CO cold box	94~99.5	LPG dehydrogenation	58
EB-styrene off-gas	80~85		

50% 이상의 수소를 포함하고 있으므로 이들을 PSA 등의 방법으로 정제하여도 고순도의 수소를 얻을 수 있다¹⁰⁾.

4. 국내 수소 유통현황

이미 알려진 바와 같이, 국내에서의 수소 유통량은 파이프라인으로 56%, 카트리지로 44%의 양을 공급하고 있으며, 정제수소의 공급 가능량은 현재 유통량(유통시장 시간당 2만2천Nm³ 규모, 330일 기준 연간 1.57만톤, 1.74억Nm³)의 대략 2.5배 수준이어서 상당히 많은 여유가 있는 것으로 보인다. Table 3과 Fig. 2는 각각 2002년 현재 국내 유통 수소생산 원료 및 생산능력¹¹⁾과 국내 수소 제조업체 현황¹²⁾을 보여주고 있다.

대표적인 국내의 수소 유통업체는 덕양에너지, SPG산업 및 BOC가스코리아가 있다. 국내에서 유통되는 수소의 대부분은 석유화학공장에서

자체소비를 위하여 생산된 수소중 여분의 것과 부산물로 생성된 것을 정제한 것이며, 지금까지의 부생가스 이용현황으로 볼 때 가격 등의 조건이 맞는다면, 현재보다도 수배의 수요증대가 있다해도 큰 어려움 없이 공급이 가능할 것으로 판단된다. 즉 국내의 수소자동차 도입계획에 비추어 본다면, 중단기적 관점에서의 수소공급은 현재 국내에서 발생되고 있는 부생가스를 이용하여 충분히 가능한 것으로 판단되고 있으며, 장기적으로는 수소제조와 공급에 대한 대비가 있어야 할 것이다.

5. 수소 인프라

수소 공급시설은 수소자동차를 공급함으로써 대기질 개선효과가 큰 대도시를 중심으로 먼저 이루어질 전망이다. 이 경우 기존 천연가스의 경우와 같이, 일정 지점을 반복 운행하는 시내버스

Table 3. 국내 유통 수소생산 원료 및 생산능력 (단위: Nm³/h)

업체명	원료공급처	제조방식	생산능력	평균수급량	공급여유분
덕양에너지	삼성BP화학	Naphtha	2,000	800	1,200
	SK	"	10,000	800	9,200
	삼성정밀화학	"	3,000	500	2,500
	태광산업	"	15,000	8,000	7,000
	삼성종합화학	LPG	3,000	1,400	1,600
	현대석유화학	Naphtha	3,000	400	2,600
	한화석유화학	SM공정	5,000	300	4,700
	소계		41,000	12,200	28,800
비오씨 가스코리아	포항제철	Cokes	300	200	100
	현대석유화학	Naphtha	9,000	7,000	2,000
	소계		9,300	7,200	21,00
SPG산업	삼성BP화학	Naphtha	2,000	700	100
	이수화학	탈수소	1,000	300	500
	효성T&C	LPG	400	300	100
	동진씨메캡	소금물분해	400	300	100
	LG화학	병커-C유	700	500	200
	백광산업	소금물분해	1,500	1,000	500
	소계		6,000	3,100	2,900
총계		56,300	22,500	33,800	

Product specification”(ISO 14687:1999) 등 연료전지 자동차의 시장 도입에 대비한 기술표준이 이루어졌다¹³⁾.

미국의 경우 캘리포니아 연료전지 파트너쉽(CaFCP; California Fuel Cell Partnership) 주관으로 2002년부터 2003년까지 주내에서 승용차 및 시내버스를 이용한 연료전지자동차 시범운행을 하고 있으며, 이를 통하여 상업화 과제를 탐색하고, 연료 인프라 구축과제 및 해결방안을 탐색하고 있다. 이를 위하여 최근 San Francisco Bay Area의 Richmond에 Fig. 3에서 보는 바와 같이 수소 충전소를 설치하여 가동하고 있다. 이 설비는 캐나다의 Stuart Energy에서 제작하여 설치되었다. 기타 CaFCP의 기술합작사로는 UTC Fuel Cells와 Quantum Technologies가 포함되어 있다¹⁴⁾.

Fig. 2. 국내 수소 제조업체 현황.

를 중심으로 이루어질 가능성이 크며, 수소주입 시설 등은 천연가스의 예에서 얻은 경험이 중요하게 사용될 것이다. 수소자동차 보급 확대에 따른 전국적인 규모의 유통망 구축과 이에 부수되는 공급설비를 구축하는 것은 쉬운 일이 아니며, 자동차업계 외에 기존 수소유통업계의 참여가 필요한 부분이며, 정부의 지원이 필요한 분야이다.

이미 미국, 일본, 오스트레일리아에 이르기까지 18개의 수소 전담기관이 있고, 또한 국제표준기구(ISO)에서도 수소에너지 기술에 대한 국제적 표준을 준비할 시기가 도래했다고 판단하여, ISO/TC-197이라는 위원회를 발족시켜 "Liquid hydrogen- Land vehicle fueling system interface"(ISO 13984:1999) 와 "Hydrogen fuel-

Fig. 3. Stuart Energy의 수소충전소.

앞서 살펴본 바와 같이 국내의 수소공급 시장은 부생수소의 발생 및 이용 현황으로 볼 때 가격 등의 조건이 맞는다면 현재보다도 수배의 수요증대가 있다해도 큰 어려움 없이 공급이 가능한 것으로 판단되고 있다. 이에 따라 중단기적 관점에서 보면 수소공급은 현재 국내발생 부생가스를 이용하여 충분히 가능하므로, 국내에 수소자동차가 보급되기 시작하여도 이에 필요한 수소의 공급은 당분간 큰 차질이 없을 것이다.

다만 장기적으로 수소자동차가 본격적으로 공급이 될 경우에는 수소제조와 공급에 대한 대비가 있어야 할 것이다. 또한 수소 공급시설은 수소자동차를 공급함으로써 대기질 개선효과가 큰 대도시를 중심으로 먼저 이루어질 것으로 전망되고 있다.

수소에너지체제로 가는 전환점에서 자동차 산업의 국내 비중을 고려할 때, 수소인프라 문제는 장차 국내 에너지시스템 체계에 큰 변화를 요구하고 있으며, 이를 추진하기 위해서는 국내 가스 제조 및 유통업체, 자동차업체 그리고 정부의 공동참여가 요망되고 있다.

Fig. 4. TotalFinaElf의 수소충전소.

또한 일본 경제산업성에서는 연료전지자동차 프로그램을 통하여 동경과 요코하마 지역에 6개소의 수소충전소를 설치하고, 연료전지자동차용 차고를 설치하는 등 인프라 구축에 나서고 있다¹⁵⁾.

유럽의 경우도 Clean Urban Transport in Europe(CUTE) 프로젝트를 통하여 2002년부터 2004년까지 유럽 주요 10개 도시에서 연료전지 버스를 시범 운행함으로써 상업용 버스에 연료전지 기술을 적용하고, 시장경험을 확보하며, 수소인프라 테스트를 수행하고 있다.

Fig. 4의 사진에 나타난 바와 같이 금년 10월 독일 베를린에 처음으로 수소 충전소가 TotalFinaElf 그룹에 의해 건설되어 개통되었는데, 액체수소와 고압가스를 동시에 충전할 수 있으며, 액체수소는 Linde가 공급하고, 기체수소는 미국 Hogen사의 고압막전해조로 생산되어 실린더에 250기압으로 저장된다¹⁴⁾.

6. 결 론

참 고 문 헌

- 1) M. Momirlan, T.N. Veziroglu, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 6, 2002, pp. 141-179.
- 2) 이기춘, 연료전지기술 Workshop, 한국화학공학회, 2002, pp. 77-87.
- 3) 김창수, 현대자동차 연료전지 워크숍 2002 발표자료집, 2002, pp. 15-38.
- 4) Louis Schlapbach, *MRS Bulletin*, September, 2002, pp. 675-679.
- 5) 권문식, 현대자동차 연료전지 워크숍 2002 발표자료집, 2002, pp. 3-13.
- 6) RIST(포항산업과학연구원)
- 7) 성진기, 산업체 부생가스의 분리, 회수 및 재활용을 이용한 국가 에너지 절약 방안 검토, 에너지자원 기술정보 14호, 1997,

- pp. 18-28.
- 8) 가성소다산업 동향 및 전망, Hanwha weekly, 2001. 1.
 - 9) 2002 화학시장정보 총람, 내외정보 2002
 - 10) 이창하, 제1회 에너지절약을 위한 분리기술 Workshop, 1998, pp. 91-112.
 - 11) i가스저널 제39호, 2002. 10.
 - 12) i가스저널 제40호, 2002. 11.
 - 13) International Organization for Standardization
 - 14) The news letter of HyWeb and the German Hydrogen Association(DWV), 4th Quarter 2002.
 - 15) T. Hijikata, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 27, No. 2, 2002, pp. 115-129.