

물의 전기분해에 의한 수소 제조기술과 경제성 분석

심규성[†], 김창희, 박기배

수소에너지연구센터, 한국에너지기술연구원, 대전광역시 유성구 장동 71-2

Economic analysis of hydrogen production technology using water electrolysis

Kyu-Sung Sim[†], Chang-Hee-Kim, Kee-Bae Park

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

ABSTRACT

According to the rapid depletion of the fossil fuels, the electricity and hydrogen will gradually take charge of the future energy supply. Especially, in order to control the supply and demand of electricity, energy storage medium is necessary and this could be solved by the combination of water electrolysis and fuel cell. Although electricity can be generated from such alternative energies as hydropower, nuclear, solar, and wind-power resources, alternative energy storage medium is also required since regenerative energies, solar and wind-powers, are intermittent energy resources. In this regard, hydrogen production from water electrolysis was recognized as a superb method for electricity storage.

In this work, the current development and economic status of alkaline, solid polymer, and high temperature electrolysis were reviewed, and then the practical use of water electrolysis technology were discussed.

주요기술용어 : Water electrolysis(수전해), Hydrogen production(수소제조), Alternative energy (대체에너지), Alkaline electrolysis(알칼리전해), Solid polymer electrolysis (고체고분자전해), High temperature electrolysis(고온수전해)

1. 서 론

수소는 현재 화학공업의 원료와 공정가스로 널리 사용되고 있으며, 장차 청정에너지 매체

로 연료전지가 실용화되면 그 수요가 급격히 증대될 것이므로 화석연료가 아닌 1차 에너지원 으로부터 수소를 제조하는 기술의 개발이 필요하다. 이는 현재 수소의 주요 제조원인 천연가스와 석유의 가채량이 감소하고 점차 그 가격이 상승 될 것을 예상되고 있으므로, 미래의 수소는 청정

[†] Corresponding author : kssim@kier.re.kr

에너지원으로 수력, 원자력, 지열, 풍력 및 태양에너지 등의 대체에너지원으로부터 제조하여야 할 것이다.

비화석 에너지로부터의 수소 제조기술로 지금까지 알려지고 실용화된 기술은 물의 전기분해이다. 열화학법, 태양광이용법 및 생물학적 제조방법 등의 기타 방법들은 아직까지 기초연구 단계로 실용화 기술이 개발되기 위해서는 많은 문제점들이 해결되어야 한다. 현재 상용화 되어있는 태양력 및 풍력과 같은 신재생에너지들은 태양이 비추거나 바람이 불 경우에만 생산이 가능한 비연속적인 에너지원이므로, 이를 연속적인 형태로 이용하기 위해서는 다른 수단으로 에너지 저장하여, 태양이 비추지 않거나 바람이 불지 않아도 연속적으로 사용할 수 있게 하여야 한다. 이에 따라 물의 전기분해에 의한 수소제조가 가장 바람직한 전력저장 수단으로 평가되고 있다^{1~3)}.

아직까지 물의 전기분해로 제조되는 수소는 현재 가장 경제적인 제조방법으로 평가되는 천연가스 수증기 개질방법에 비해 3배 정도 고가이다.⁴⁾ 물론 수력전기가 풍부한 캐나다나 노르웨이 등은 물의 전기분해로 값싼 수소를 만들고 있지만, 대부분의 국가에서는 석탄과 같은 화석연료로 전력을 얻고 있으므로 전력가격이 상대적으로 비싸지게 된다.

본 고에서는 물의 전기분해에 의한 수소의 제조방법에 대하여 검토하고, 국내의 전력생산 방법에 따른 요금체계를 조사하여 수전해기술의 도입 가능성을 분석하였다. 또한, 현재 가장 값싸게 수소를 제조하는 천연가스 수증기 개질방법을 비롯하여 태양전지나 풍력 등의 대체전원으로부터 수전해에 의해 수소를 얻게 될 경우의 수소 제조가격을 함께 비교하였으며, 장치 물의 전기분해 기술에 대한 역할에 대하여도 검토하였다.

2. 물의 전기분해 기술

물의 전기분해 기술로는 알칼리 수용액 전해법, 고체고분자 전해질 이용 전해법(PEM), 고온수증

기 전해법(HTE) 등에 있다. 알칼리 수용액 전해법은 오래전에 실용화된 방법이나 KOH 등의 강알칼리를 사용하므로 전극의 부식문제, 낮은 전해효율로 이를 개선하는 연구가 계속 이루어지고 있다^{5~8)}. 고체 고분자막 전해질을 사용하는 방법은 최근에 개발된 방법으로 순수를 사용하고, 전해효율도 높으나 장치의 비용이 고가이다. 한편 고온 수증기 전해법은 700℃ 이상의 고온에서 전기분해를 수행하므로 낮은 전해전압으로 큰 효율을 얻을 수 있는 장점이 있으나, 고온에서 사용할 수 있는 고체 전해질의 개발이 필요하며, 아직 기초연구 단계에 머물러 있다.

2.1. 알칼리 수용액 전해법

순수한 물은 전기전도도가 아주 작으므로 알칼리 수전해의 경우 보통 25 내지 30wt%의 KOH 수용액으로 전기분해를 수행한다. 물을 전기분해하면 순수한 수소와 산소를 얻을 수 있으며, 이때의 전극반응은 다음과 같다.

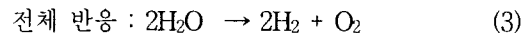
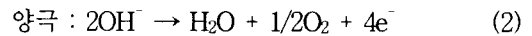
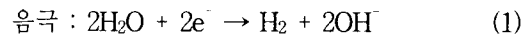


Fig. 1에서 보는 바와 같이 음극에서는 (1)의 반응으로 물로부터 수소와 OH⁻ 이온을 생성하고, 양극에서는 OH⁻ 이온이 전해질을 통하여 (2)와 같은 반응으로 산소를 발생한다.

전기분해가 실용화 된 초기에는 단극식 탱크형 전해조가 주류를 이루었으나, 최근에는 보다 에너지 효율이 높은 복극식 전해조와의 경쟁으로 그 수가 점차 감소하고 있으며, 지금은 Electrolyzer Corporation, Ltd.만이 제작하고 있다⁹⁾. 모든 복극식 filter press 전해조는 액체-고체 분리를 위한 plate와 frame filter press의 원리로 디자인 되었으며, 많은 업체에서 생산하고 있다^{10,11)}.

현재 상업적으로 개발되어 주로 사용되고 있는 방법으로 80℃ 정도의 알칼리 수용액(25~35%

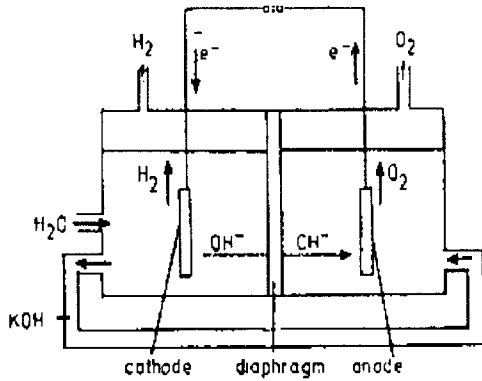


Fig. 1. Diagram of alkaline electrolysis

KOH)을 전해질로 니켈과 철 전극을 사용하여 상압에서 물을 전기분해하는 것이다. 최근 개발되고 있는 방법에서는 알칼리 수용액의 농도를 40%까지, 그리고 40기압 정도의 고압에서 사용할 수 있다. 기존의 에너지 변환효율과 전류밀도도 77~80%와 0.13~0.25A/cm² 에서 80~90%와 0.2~2.0A/cm² 까지 증대하고 있다.

2.2. 고체고분자 전해질 이용 전해법

고체고분자 전해질(solid polymer electrolyte)을 이용한 수전해법은 고체고분자 전해질 막을 전해질로 사용하고 있다. 이 전해질 막은 알칼리 수전해에서의 KOH전해질과 격막을 합쳐놓은 것과 같은 역할을 수행한다. Fig. 2는 고체고분자 전해질 수전해의 원리를 보여주는 것으로, 양극(anode)에서 촉매전극에 의해 물로부터 산소기체와 수소이온이 발생된다. 수소이온은 물분자와 함께 고체고분자전해질 막을 통하여 음극으로 이동하여 외부회로를 통해 도달한 전자와 음극(cathode)에서 만나 수소기체를 발생한다.

전체적인 전극반응 메카니즘은 [Anode:H₂O → 2H⁺ + 2e⁻ + ½O₂ ↑ || Cathode:2H⁺ + 2e⁻ → H₂ ↑]으로 표현되며 고체고분자 전해질막은 그 양쪽 면에 주로 귀금속 계통으로서 양극/음극의 역할을 수행하는 촉매금속의 얇은 막이 부착된다. 양전극

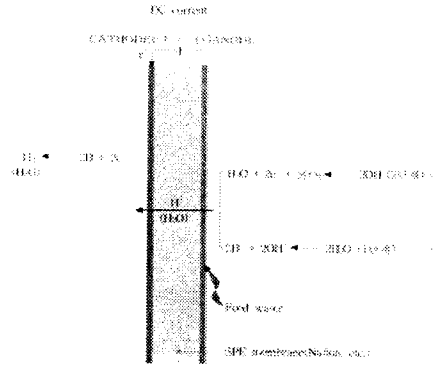


Fig. 2. Diagram of solid polymer electrolyte electrolysis

물질로는 이리듐 계통이, 음전극 물질로는 백금 계통이 전해질의 전극물질에 적합한 재료로 사용되고 있다. 고체고분자 전해질막 재료로는 미국 듀폰(DuPont)사에서 개발한 perfluorosulfonic acid polymer인 Nafion이 널리 사용되고 있다.¹²⁾

이들의 물리적 특성으로는 산소의 용해도가 크고, 수소이온의 전도성이 크며, 비중이 낮고, 화학적 안전성 및 기계적 강도가 큰 것을 꼽을 수 있다. 물의 전기분해에 가장 널리 사용되고 있는 전해질막은 Nafion 117이며, 건조된 상태에서 두께는 약 0.175mm이다¹³⁾. 전해질막에 촉매전극의 부착방법으로는 General Electric Co.에서 개발한 hot press법¹⁴⁾이 널리 사용되고 있다. 화학증착법으로 함침법이나 환원제 침투법 등이 Takenaka 등에¹⁵⁾ 의해 사용되었고, 기타 화학증착법 등을 사용할 수 있다. 집전층은 다공성의 가스 투과층으로 전극에 접하여 전류를 통하게 하고, 고분자 전해질 전극의 전체에 전류분포를 균일하게 하며, 전기화학 반응에 의하여 생성된 기체를 기공을 통하여 배출시키는 통로로 제공하고 있다. 보통 양극에는 Ti 다공질체를, 음극에는 다공성의 탄소체를 사용한다.

SPE 수전해와 알칼리 수전해를 비교하면 SPE 수전해법은 알칼리 수전해보다 전기분해 효율이 높고 컴팩트화가 가능하다. 그리고 순수를 사용함으로써 알칼리 수용액을 사용할 때의 전극 및 장

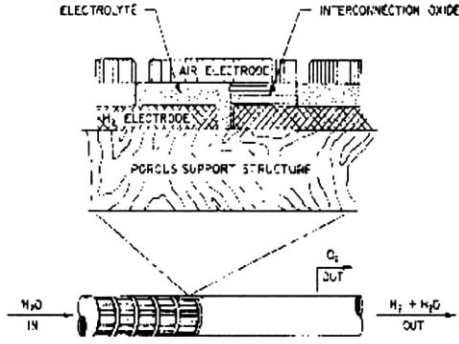


Fig. 3. Diagram of high temperature electrolyzer cell

치의 부식을 방지할 수 있고 양극과 음극 사이의 거리가 거의 없으므로 저항을 최소화 할 수 있다. 이로 인해 알칼리수전해에 비하여 높은 전류밀도를 실현할 수 있는 수전해법이다.

2.3. 고온수증기 전해법

물의 전기분해에서 효율을 높이는 또 하나의 방법은 전기분해 온도를 올리는 것이다. 즉 열역학적으로 볼 때, 물을 분해할 경우 액상보다는 수증기상 분해가 총에너지 요구량이 낮으며, 전기분해에 필요한 최소의 전기에너지는 온도가 높을수록 감소하기 때문이다. 물의 전기분해 온도를 실온에서 1,000℃로 올리면 물분해 반응의 가역 전위가 낮아져 이론적인 에너지 요구량은 20% 정도 감소한다. 이에 따라 고온 수증기 전기분해법은 전기분해 효율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 보이며, 현재까지 알려진 고온 작동 전해질로는 고체 산화물 막으로 산소이온 전도성 안정화 Zirconia가 있다. 고온수증기 전기분

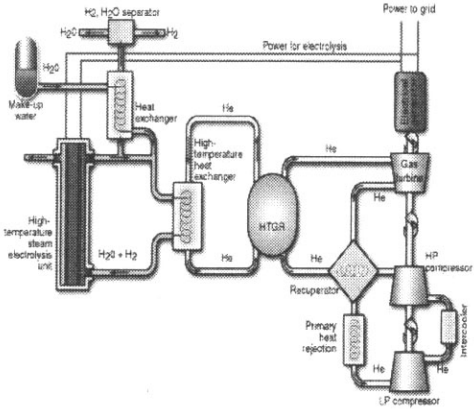


Fig. 4. Diagram of high temperature electrolysis using HTGR(High Temperature Gas-cooled Reactor)

해는 고체전해질 전기분해라고도 하며, Westinghouse에서 최초로 전해셀을 제작한 바 있다¹⁶⁾.

고체 전해질에서 60년대에 개발된 전기화학 cell들은 anode와 cathode의 간격이 크므로 전해질의 저항이 크게 나타났으나, 1976년 Westinghouse에서 박막 cell을 개발함에 따라 큰 진전이 이루어졌다¹⁷⁾. 즉 Fig. 3과 같이 전극과 전해질 그리고 연결층들이 다공성 기판위에 20μm 정도의 두께로 화학적으로 증착되어 구성되어졌으며, 이같은 구조에서 전해질의 저항은 상당히 감소되었다. 또한 전해온도를 낮출 수 있는 고체 전해질의 개발도 이루어지고 있으며, Kobayashi 등은 SrZr_{0.9}Yb_{0.1}O_{3-δ}의 partial protonic conductor를 사용하여 460~600℃에서 전류효율을 측정하였고,¹⁸⁾ Matsumoto 등은 이들을 이용한 고온 수

Table 1 Market price by generation sources

	원자력	유연탄	무연탄	유류	LNG	복합	수력	양수	기타	합계
2001	39.96	41.57	57.10	77.52	144.66	81.24	58.11	82.81	0.00	48.17
2002	39.87	42.55	49.14	70.96	108.77	74.19	54.57	90.39	46.51	47.51
2003	40.05	42.31	51.20	75.60	118.97	81.90	57.48	102.74	53.11	48.99
2004(1-6)	39.74	40.75	49.49	76.51	135.33	73.46	65.30	140.36	58.68	48.98

전해 연구를 수행하고 있다¹⁹⁾. 미국의 INEEL에서는 고온가스로(HTGR)를 이용한 고온의 열원을 이용하여 대량으로 수소를 제조하기 위한 연구를 수행하고 있다²⁰⁾. Fig. 4는 INEEL의 HTGR을 이용한 고체산화물 전해질 수전해 기술의 개념도이다.

3. 전기분해 기술의 경제성

3.1. 발전기술 및 전기가격

세계 각국의 전기요금은 그 나라의 주요 발전 방식에 따라 요금이 결정되며, 수력발전이 풍부한 캐나다와 노르웨이 등은 발전단가가 1¢/kWh 이하인 반면에 석탄이나 원자력 등을 이용하는 국가에서는 10¢/kWh 이상의 비용이 요구되기도 한다.

국내의 경우 2004년 5월 31일 현재 발전 설비용량은 총 56,979,907kW이며, 이중 수력이 3,877,059kW, 화력이 37,295,850kW, 원자력이 15,715,683kW, 대체에너지에 의한 설비용량은 91,315kW로 되어있다. 화력발전의 열효율은 40% 내외이며, 발전종류별 전력의 평균 거래단가를 보면 Table 1과 같다²¹⁾. 2003년의 경우 원자력, 유연탄, 무연탄, 수력, 유류, 복합, 양수, LNG 순서로 가격이 높고, 이들의 평균가격은 48.99원/kWh이다. 또한 부하별 거래단가는 2003년의 경우 기저와 일반이 각각 41.26과 80.25원/kWh로 나타나 있다. 이는 전력회사의 거래단가로 일반 소비자 요금과는 차이가 있다. 2003년의 판매단가는 저압 90.46원/kWh, 고압 67.82원/kWh로 합계 74.68원/kWh로 나타나 있다.

국내생산 전력의 대부분이 원자력과 유연탄에 의한 것으로 기저부하에 해당된다. Table 1에서 주목할 점은 2001년부터 2004년까지 4년간 발전 원별 거래단가가 전체적으로 크게 변하지 않았는데 비하여 대량 전력저장 수단으로 건설되어 운영되는 양수발전의 거래단가가 2001년의 경우 기저가격의 2배 정도였던 것이 점차 그 가격이 상승하여 2004년의 경우는 기저단가의 3배 이상으로

증대된 것이다. 이는 장차 물의 전기분해와 연료 전지를 이용하는 전력저장기술의 경제성이 도입될 수 있는 근거가 될 수 있을 것으로 판단된다.

3.2. 전기분해에 의한 수소제조 효율

물을 전기분해하면 순수한 수소와 산소를 얻을 수 있다. 0°C 760torr에서 1gmole의 수소를 생성하는데 필요한 전기량은 전류효율이 100%라고 가정하면 2Faraday 이다. 25°C, 1기압에서 (3)식의 56.69kcal/gmole에 해당하는 Gibbs 자유에너지 변화에 따른 열역학적 이론 분해전압은 1.229V이며, 이 반응은 흡열반응으로 25°C, 1기압에서 반응열(ΔH)은 68.32kcal/mole 이다. 이와 같은 자유에너지 변화와 엔탈피 변화의 차이는 전체반응에서 엔트로피 변화에 따르는 것으로, 이를 조정하기 위해서는 반응계에 열을 공급하거나 제거해 주어야 한다. 전해 Cell의 Thermoneutral voltage(E_{tn})은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_{tn} = \Delta H/nF \quad (4)$$

실제의 경우 이값은 1.48V 보다 다소 큰 값을 가지게 되는데, 이는 전해액으로 공급되는 물의 온도를 올려주고 발생하는 기체에 의해 물이 증발되는데 따른 열이 필요하기 때문이다.²²⁾ 전해 시스템에서 열손실은 곧 에너지 손실을 의미한다. 이들은 다음식과 같이 정의되는 고발열전압(Higher-heating-value voltage) VHHV과 비교하여 정량적으로 계산할 수 있다.

$$V_{HHV} = [H(H_2)_T + H(O_2)_T + H(H_2O)_{25°C}]/nF \quad (5)$$

여기서 H는 괄호안의 표시된 물질의 엔탈피에 따르는 값이다.

물의 전해가 25°C에서 2.5V로 수행되었다면 이때의 에너지 효율은 (1.48/2.5) x 100= 59.2% 이다. 에너지 효율은 전해 Cell을 높은 온도로 하면 증대되는데 이는 이론적인 최저 전기에너지(열역

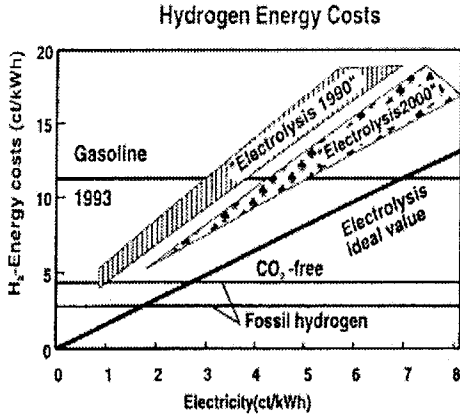


Fig. 5. Comparison of hydrogen costs

학적 분해전압 E_{rev} 가 높은 온도에서는 낮아지기 때문이다. 반면에 고발열전압의 온도의존은 작아서 25℃에 1.48V가 1000℃에서는 1.49V이다.

전기분해에 의한 수소제조에서 전해조만의 전해효율은 80~90% 정도이다. 전해장치에서 물분해의 전체효율은 정류장치, 모터, 팬 등의 전해장치에서 소비되는 모든 전력이 포함되므로 전해조의 전해효율보다 작게 된다. 판매되고 있는 전해장치의 소비전력을 감안하면 효율은 60~70% 정도에 그치고 있다.

3.3. 전기분해에 의한 수소제조 기술의 경제성

물의 전기분해 기술은 비화석에너지로부터 수소를 얻을 수 있는 방법으로 유일하게 실용화된 기술이다. 앞서 기술한 바와 같이 캐나다나 노르웨이 등은 수력발전이 풍부하여 값싼 전력을 얻을 수 있으므로 전기분해로 경제성 있는 수소를 제조할 수 있다. 그러나 대부분의 국가에서는 원자력과 화석연료를 이용하여 전력을 생산하고 있으며, 화석연료에 의한 전력생산의 열효율이 40% 내외인 것을 감안하면 전기분해에 의한 수소의 제조가격은 화석연료에서 직접 수소를 제조하는 것보다 비싸지게 된다.

물의 전기분해에 의한 수소의 제조가격은 전해

Table 2 Future hydrogen supply cost

수소 제조방법	공급가격 (US-\$/GJ)
Natural gas with CCS	7-11
Coal with CCS	8-11
Biomass(gasification)	10-18
Onshore wind	17-23
Offshore wind	22-30
Thermal solar electricity	27-35
Solar PV	47-75
Nuclear	15-20
HTGR cogeneration	10-25
Gasoline/diesel(conventional)	6-8
Naturalgas(conventional)	3-5

장치의 가격과 물분해에 소요되는 전기요금에 따르게 된다. W. Peschka는 전기분해 수소가 화석연료로부터의 수소보다 3배 정도 비싸며, 이 차이는 전해조의 효율증대 만으로는 극복할 수 없다고 Fig. 5에서 보여주고 있다²³⁾. 이는 결국 전기분해에 소요되는 전기요금을 얼마만큼 값싸게 공급할 수 있는가에 따라서 달라질 수밖에 없다. 대부분의 국가에서 전기요금이 4~6ct/kWh 임에 비추어 기존의 전기분해에 의한 수소가 화석연료로부터의 수소보다 3배 정도 비싸게 된다. 이상적인 전기분해의 경우에도 전기요금이 2ct/kWh 이하에서 화석연료로부터의 수소와 가격경쟁을 할 수가 있다. 이산화탄소처리 비용을 포함한 화석연료로부터의 수소에 대해서도 전기요금이 3ct/kWh 이하가 되어야 경제성을 확보할 수 있다.

Table 2는 2020년 미래의 수소 공급가격을 비교한 것이다²⁴⁾. 주로 원자력이나 신재생에너지원에 의한 수소제조 가격을 수력발전 수소와 이산화탄소 처리비용을 포함한 화석연료로부터의 수소가격과 비교한 것이다. 천연가스로부터 제조된 수소보다 대체전원에 의한 수소 제조가격이 풍력이나 원자력의 경우 2배정도, PV의 경우는 5배 이상 비쌀 것으로 예측하고 있다.

한편 원자력 발전이 널리 보급된 프랑스, 벨기에, 캐나다, 일본, 한국 등의 국가에서는 이들의 기저부하에 의한 잉여전력으로 심야전기의 할인 정책을 사용하고 있다. 이 경우 전력요금을 통상의 2분의 1 내지 3분의 1 가격으로 공급하고 있으므로 심야전력을 이용한 물의 전기분해 수소 제조기술은 어느 정도 경제성을 확보할 수 있다. 앞서 국내의 전력요금에서 양수발전의 경우 통상의 전력요금보다 3배 이상의 가격을 보이고 있으므로, 기저부하의 잉여전력을 이용한 전력저장 수단으로 양수발전과 함께 물의 전기분해기술을 적극 검토할 필요가 있다.

3.4. 물 전기분해기술의 미래

자연계에 존재하는 다양한 형태의 에너지를 전기로 변환시키는 발전기술은 크게 수력발전, 화력발전, 원자력발전, 기타 발전기술의 4가지로 나눌 수 있다. 기타 발전기술에 이용되는 에너지는 주로 조력, 풍력, 태양광 등의 대체에너지원이다. 최근 화석연료 자원의 고갈 및 환경문제로 대체에너지에 의한 발전기술이 폭넓게 신장되고 있다. 그런데 이들에 의한 발전특성은 전력의 생산이 비연속성이므로 수요와 공급을 조절하기 위하여 전력을 저장하는 장치가 필요하다. 현재 축전지를 이용하여 전력을 저장하는 시스템이 이용되고 있지만, 축전지는 고가이고, 유지보수와 수명 등의 문제로 이를 대체할 수단이 요구되고 있다. 이에 적합한 기술로 수소라는 매체의 도입이 검토되고 있다. 즉 잉여전력이 얻어지면 물을 전기분해하여 수소로 저장하고, 필요시 연료전지로 전력을 공급하는 시스템으로 연속적인 전력을 공급할 수 있게 된다. 따라서 물의 전기분해기술은 미래의 에너지시스템에서 중요한 위치를 차지하게 될 것이다.

아직까지 태양전지나 풍력 등의 대체전원으로 얻어지는 전력은 고가이므로 이들에 의한 전기분해로 수소를 생산하는 것은 경제성이 없는 것으로 판단되고 있다. 그러나 최근의 기술발전으로

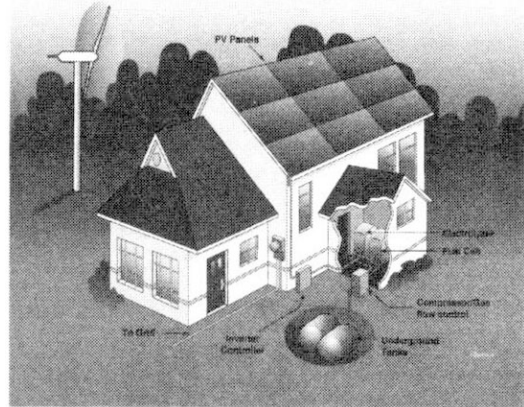


Fig. 6. Conceptual design of future house using renewable electricity

풍력의 경우는 발전단가가 지역에 따라서는 기존의 발전단가에 근접하고 있으므로 장치 여건의 변동에 따라 경제성을 확보할 수도 있을 것이다. 이는 연료전지의 상용화 기술개발이 함께 이루어져야 하며, 최근 널리 검토되고 있는 분산형 전원 시스템의 도입은 태양광발전과 풍력 발전을 함께 이용할 수 있는 차세대 전력공급기술이 될 수 있을 것이다. Fig. 6은 이와 같은 개념을 도입한 미래주택의 모습을 보여주고 있다.

4. 결론

물의 전기분해 기술 중 알칼리 전기분해는 현재 대규모 전해수소의 생산에 이용되고 있다. 그러나 이 방법은 전기분해 효율과 전류밀도가 비교적 낮으므로 이같은 결점을 보완하기 위하여 개량된 알칼리 전기분해 방법, 무기막 알칼리 전기분해 방법 등으로 효율을 올리기 위한 전극의 개량이나 동작온도의 상승으로 전류밀도를 올리는 등의 연구개발이 이루어지고 있다.

알칼리 전기분해에 비해 많은 장점을 가진 것으로 알려진 고체고분자 전해질 전기분해는 소용량의 특수 목적으로 개발되어 제한적으로 사용되고 있으나, 전해장치의 가격이 고가이므로 시스템 가격의 저렴화가 가장 큰 관건이다. 또한 고온가

스 냉각로의 개발로 고온을 얻을 수 있게 됨에 따라 고체산화물 전해질을 이용한 고온 수증기 전해기술 연구가 다시 시작되고 있다. 최근에는 연료전지의 개발과 더불어 연료전지와 전기분해를 가역적으로 수행하는 regenerative fuel cell 장치의 개발연구도 수행되고 있다.^{25,26)}

물의 전기분해 기술이 환경친화적인 수소를 얻을 수 있는 방법으로 유일하게 실용화된 기술이다. 그러나 화석연료 → 전력 → 수소로 이어지는 과정에서 전력생산에 따른 효율감소로 화석연료에서 직접 수소를 생산하는 것보다 경제성이 떨어질 수밖에 없다. 다만 off peak 시의 기저부하 전력을 이용할 경우에는 비교적 저렴한 가격으로 수소제조가 가능하므로 이에 대한 검토가 필요하다.

현재 대용량 전력저장 수단으로 양수발전소가 건설되어 운영되고 있으나, 건설비가 막대할 뿐만 아니라 건설에 따른 환경문제를 유발하고 있다. 발전단가도 최근에는 기저 전력가격의 3배에 이르고 있어 물의 전기분해에 의한 수소제조로 전력을 저장하는 방안에 대하여 신중히 접근할 필요가 있다.

또한 풍력이나 태양전지 등의 신재생에너지를 이용한 대체전력은 비연속적이므로 이를 계통선에 연계하여 사용하지 않을 경우에는 저장수단이 필요하며, 효율적인 저장방법으로 수전해를 이용한 수소제조가 가장 유력한 기술이 될 수 있을 것이다. 따라서 연료전지의 상용화 기술과 함께 분산형 전원시스템의 도입은 차세대 전력공급기술이 될 수 있을 것이며, 미래 에너지시스템의 근간으로 자리 잡게 될 것이다.

후 기

이 논문은 과학기술부의 지원으로 수행하는 21세기 프론티어연구개발사업(수소에너지사업단)의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) W. Kreuter and H. Hofmann, Int. J. Hydrogen Energy Vol. 23, No. 8, 1998, pp. 661-666 in S. S. Se(Edi.), "Hydrogen and Human Life", Hydrogen-press, Korea, 2002, pp. 105-203.
- 2) C.A. Schug, Int. J. Hydrogen Energy Vol. 23, No. 12, 1998, pp. 1113-1120
- 3) Dennis Anderson and Matthew Leach, Energy Policy, Vol.32, 2004, pp. 1603-1614
- 4) M. Momirlan and T. N. Veziroglu, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 6, 2002, pp. 141-179
- 5) B. Campillo, P.J. Sebastian, S.A. Gamboa, J.L. Albarran and L.X. Caballero, Materials Science and Engineering: C 19, 2002, pp. 115-118
- 6) F.S. Hoor, C.L. Aravinda, M.F. Ahmed and S.M. Mayanna, J. of Power Sources Vol. 103, 2001, pp. 147-149
- 7) Ph. Vermeiren, W. Adriansens, J.P. Moreels and R. Leysen, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 23, No. 5, 1998, pp. 321-324
- 8) M.U. Kleinke, M. Knobel, L.O. Bonugli and O. Teschke, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 22, No. 8, 1997, pp. 759-762
- 9) A.T. Kuhn, ed., Industrial electrochemical processes, Elsevier, 1971
- 10) Commercial brochures from Brown Boveri & Cie.
- 11) Commercial brochures from Norsk Hydro Notodden Fabrikker.
- 12) Leo J.M.J. Blomen and Michael N. Mugerwa, Fuel Cell Systems, Plenum Press, 1993
- 13) NAFION Product Bulletin, DuPont Company
- 14) General Electric Company, DOE report No. DOE/ET/26202-1, 1981
- 15) H. Takenaka, E. Torikai, Y. Kawami and N. Wakabayashi, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 7, No. 5, 1982, pp. 397-403
- 16) A.P. Isenberg, Proceedings of the symposium

- on electrode materials and processes for energy conversion and storage, Princeton Vol. 77-6, 1978, p. 682
- 17) S. Dutta, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 15, No. 6, 1990, pp. 379-386
 - 18) T. Kobayashi, K. Abe, Y. Ukyo and H. Matsumoto, Solid State Ionics Vol. 138, 2001, pp. 243-251
 - 19) Hiroshige Matsumoto, Makoto Okubo, Seiji Hamajima, Koji Katahira, and Hiroyasu Iwahara, Solid State Ionics, Vol. 152-153, 2002, pp. 715-720
 - 20) J. S. Herring, J. E. O'Brien, C. M. Stoots, P. A. Lessing, Proceedings of ICAPP '04, Pittsburgh, USA, 13-17 June, 2004
 - 21) 전력통계속보 제308호, 한국전력공사, 2004, pp. 55-84
 - 22) R. P. Viswanath, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 29, 2004, pp. 1191-1194
 - 23) W. Peschka, Hydrogen energy progress XI, Proc. of the 11th World Hydrogen Energy Conference, Stuttgart, Germany, 23-24 June 1996, p. 1467
 - 24) C-J. Winter, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 29, 2004, pp. 1095-1097
 - 25) W. Smith, J. Power Sources, Vol. 86, 2000, p. 74
 - 26) Sung-Dae Yim, et al., Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 15, 2003, pp. 12-22