

수소-산소 혼합가스 발생 스택의 효율 연구

이상호*, 문일식**[†], 김창희*, 강경수*, 박주식*, 배기광*

*한국에너지기술연구원 열화학수소연구단,

**순천대학교 화학공학과

A Study on the Efficiency of Hydrogen-Oxygen Mixture Gas Generation Stack

Sang-Ho Lee*, Il-Sik Moon**[†], Chang-Hee Kim*, Kyoung-Soo Kang*, Chu-Sik Park*, and Ki-Kwang Bae*

*Hydrogen Energy Research Group, Korea Institute of Energy Research, 71-2, Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-343, Korea

**Department of Chemical Engineering, Suncheon National University, 315, Maegok-dong, Suncheon-si, Jeonnam 540-742, Korea

ABSTRACT

The characteristics of hydrogen-oxygen mixture gas generation stack was experimentally studied in terms of efficiency. For this purpose, the mixture gas generation stack was fabricated by connecting 7 cells in series following the Tero Ranta report. In order to avoid the instrument inaccuracy, all measuring equipments were re-tested and calibrated by Korea Laboratory Accreditation Scheme (KOLAS) certified laboratories. Since the amount of produced gas is most crucial in determining the efficiency, two gas collecting methods such as bottle trap method and wet gas meter method were adopted. From the experimental results, it was found that both KOH fume and steam evaporated along with hydrogen-oxygen mixture gas, and these by-product gases could cause the misestimation of the stack efficiency. The current, voltage, and energy efficiencies of the hydrogen-oxygen mixture gas generation stack was evaluated based upon the stack efficiency calculation method summarized in this work.

KEY WORDS : hydrogen(수소), oxygen(산소), mixture gas(혼합가스), stack(스택), efficiency(효율)

Nomenclature

E_c : 음극 평형 전압, V

E_a : 양극 평형 전압, V

E^0 : 표준 전극 전압, V

F : Faraday 상수, 96,485 Coulomb electron⁻¹mol⁻¹

R : 가스 상수, J mol⁻¹K⁻¹

[†]Corresponding author : ismoon@sunchon.ac.kr

- a : activity
- η_a : 활성과전압, V
- η_c : 농도과전압, V
- η_Ω : 음과전압, V
- E_{real} : 실제 셀에 인가되는 전압, V
- ϵ_v : 전압효율, %
- ϵ_i : 전류효율, %
- N : Avogadro's number, $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- e : 전자의 전하량, $1.602 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$
- ϵ_e : 에너지효율, %

1. 서 론

수소는 지구상에 가장 풍부한 원소로써 현 화석 연료를 대체할 미래 청정에너지로 주목받고 있다. 따라서 세계적으로 수소에너지 기반의 수소경제사회 구축을 위하여 수소에너지개발에 많은 연구가 이루어지고 있다¹⁻³⁾.

수소에너지를 제조하는 방법에는 화석연료에서의 직접 추출, 광화학, 생물학, 열화학 등의 직접적인 방법과 물을 전기분해하여 제조하는 간접적인 방법으로 나누어진다⁴⁾. 이 중 물을 전기분해하여 얻는 수전해법은 오랜 기간 연구되어 많은 기술적 축적을 이루어왔다⁵⁻⁷⁾.

수전해법을 기술수준별 단계를 나누면 제 1단계인 알칼라인 (alkaline) 수전해법, 제 2단계인 고체고분자전해질 (PEM) 수전해법, 그리고 제 3단계인 고온수증기전해법 (HTSE)로 나누어진다. 알칼라인 수전해기술은 이미 상용화되었고, 효율, 가격, 순도, 장기안정성 등에서 우수한 PEM수전해법과 HTSE 기술에 대해 전 세계적으로 많은 연구가 추진되고 있다⁸⁾.

수소는 직접적인 에너지원으로써 뿐만 아니라 에너지 운반체로써의 활용이 큰 장점으로 알려져 있다. 따라서 안전하며 효율적인 저장을 위하여 고순도의 수소 제조가 요구된다. 이를 위해 수전해법에서는 수소와 산소의 분리를 위하여 분리막이나 분리막 기능을 갖고 있는 전해질 연구에 많은 노력을 기울이고 있다.

이러한 점을 고려할 때, 수소-산소 혼합가스는 이미 폭발 한계 영역에 있어 에너지 저장이 불가능하므로 에너지 운반체로써의 역할을 하지 못하는 큰 단점을 가지고 있다. 따라서 수소-산소 혼합가스 발생장치는 on-site, real time 적용 용도로서만 한정되어 국내·외에서 절단, 용접, 용융 등의 범위에서 제한적으로 사용되고 있다.

하지만, 이러한 활용이 다른 방법으로 생산된 수소를 산소와 혼합하여 직접 사용하는 방법과 비교가 되고 있다. 따라서 둘 사이의 정확한 경제성 분석이 필요하며 이를 위해서는 먼저 수소-산소 혼합가스 발생 장치의 정확한 효율 평가가 요구된다.

국내에 사용되는 수소-산소 혼합가스 발생 장치는 일반적인 알칼라인 수전해 장치에 수소와 산소 분리용 격막이 없는 것과 동일하다. 본 연구에서는 William Rhodes, Ernest Spring, Yull Brown, 그리고 Bob Boyce 등에 의해 개발된 개념을 Tero Ranta가 설계하여 보고한 고효율의 7개의 셀이 직렬로 구성된 스택을 제작하였다^{9,10)}. 정확한 효율 계산을 위하여 먼저 수전해 효율의 종류 및 계산 방법들을 정리하였고 이를 이용하여 스택의 효율을 평가하였다.

2. 실 험

2.1 스택 제조방법

Fig. 1은 본 연구에 사용된 수소-산소 혼합가스 발생 스택의 도시화된 그림이다. 스택은 총 7개의 단위셀이 직렬로 연결되었다. 전극(electrode)은 stainless steel(304 grade)를 사용하였고 표면적을 증가시키기 위하여 # 400의 SiC emery paper로 전체표면을 균일하게 연마하였다. 스페이서(spacer)는 soft PVC를 사용하였고 엔드플레이트(end plate)는 전체 스택의 지지를 위해 hard PVC를 사용하였다. 각 홀에 M8 size stainless steel 볼트를 사용하여 조립하였고 PTFE 튜브를 볼트에 삽입하여 절연하였다. 스페이서는 온도가 증가함에 따라 팽창하는 특성이 있으므로 초기에 80 kgf·cm의 torque로 조립된 스택을 측정온도에 도달했을

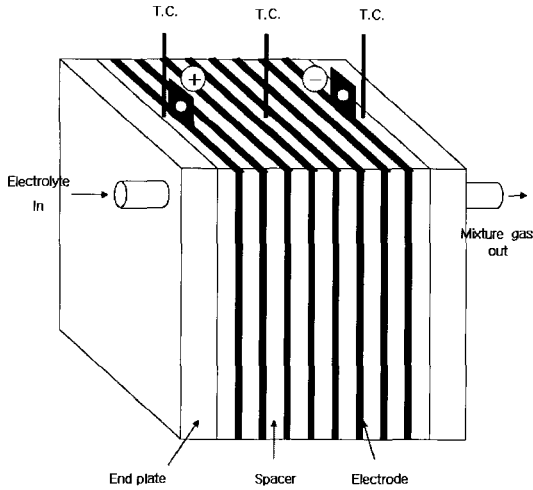


Fig. 1 Hydrogen-oxygen mixture gas stack composed of 7 cells in series

때 다시 같은 torque로 재채결하였다.

Thermocouple (T.C.)은 K-type을 사용하였으며 절연을 위하여 수축튜브로 외부를 감쌌고 용액의 침투를 막기 위하여 실리콘으로 밀봉하였다. 그 다음 KOLAS인증기관인 표준과학연구원에서 교정된 표준 수은온도계로 10-100℃까지 6 point로 소수점 첫째자리까지 교정하여 사용하였다. 스택의 정확한 온도측정을 위하여 7개의 단위 셀 중 최외각 2개와 중앙 1개에 T.C.를 위치시켜 평균값을 구했다. T.C.나 스페이서 사이로의 가스의 누설은 감지되지 않았으나 완벽한 밀봉을 위하여 스택 외부를 다시 절연체로 도포하였다.

2.2 전기화학 실험방법

전해질로 28 wt.% KOH 용액을 사용하였고 이는 KOH(Junsei, Japan) 분말을 D.I. water에 용해하여 제조하였다. 매 실험마다 500 g의 새로운 용액을 스택에 주입하였으며 각 셀에 같은 양의 전해질이 주입되도록 용액 레벨을 맞추었다. 본 실험을 위하여 실온을 23±1℃ 범위내로 일정하게 유지하였고, 각 실험은 3회 이상 실시하여 그 평균값으로 하였다.

스택에 일정한 전류(정전류)값 11 A를 D.C.

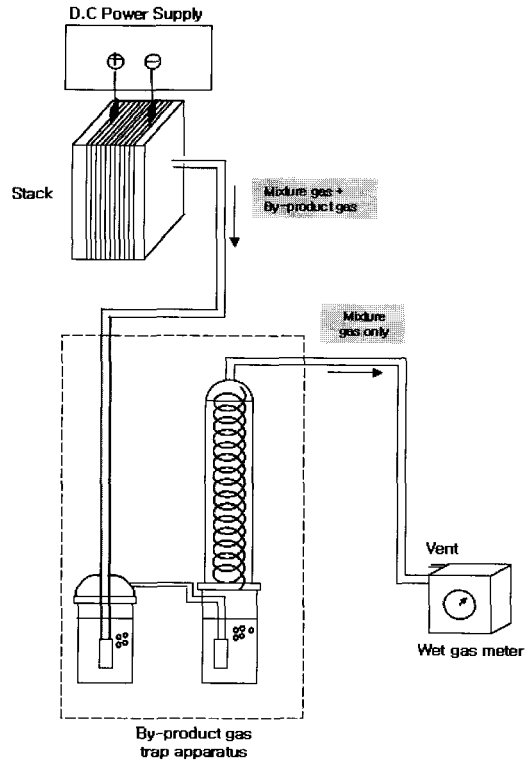


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental set-up used in this work

power supply(H.P., 6032A)를 이용하여 인가하였으며, 이때 얻어지는 전압 값과 스택의 온도는 data acquisition system(Agilent, 34970A)을 이용하여 측정하였다. 모든 측정 장치는 KOLAS 인증기관에서 교정 후 사용하였다. 전류 인가 후 시간에 따라 스택의 온도가 상승하였고 그 상승속도가 최저로 되는 온도조건에서 측정을 시작하였다. 자세한 실험장치도는 Fig. 2에 나타내었다.

2.3 수소-산소 혼합가스양 측정방법

혼합가스의 발생량은 효율 계산 시 매우 중요한 인자이므로 정확한 측정이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 정확한 측정을 위하여 bottle trap법과 습식가스미터법의 두 가지 방법을 사용하였다. Bottle trap법은 일정한 온도로 유지되는 수조 속에 500 ml 플라스크를 물로 채운 후 뒤집어서 생

산된 가스를 포집한 후 그 무게변화를 측정하여 생산된 가스량을 계산하는 방법이다.

습식가스미터법은 습식가스미터(Sinagawa, W-NK-1)를 이용하여 생산된 가스량의 적산량을 게이지로부터 읽는 것으로 일정시간 가스를 흘려보내면서 습식가스미터와 가스가 평형에 유지되도록 한 다음 측정을 시작하여 생산량을 계산하는 방법이다. 습식가스가 연결된 장치 사진은 Fig. 2에 나타내었다. 본 습식가스미터는 (주)자인테크놀로지 에서 교정 후 사용하였다.

$$E_a = E_{O_2}^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{O_2}^{1/2} a_{H_2O}}{a_{OH^-}^2} \quad (5)$$

25°C에서 $E_{H_2}^0$ 는 -0.828 V이고 $E_{O_2}^0$ 는 0.401 V이다. 만일 물, 수소, 그리고 산소의 activity가 1 (수소와 산소의 압력은 1 atm이다)이라면, 위의 수식은 25°C에서 다음과 같이 정의 된다.

$$E_c = -0.828 - 0.059 \log a_{OH^-} \quad (6)$$

$$E_a = 0.401 - 0.059 \log a_{OH^-} \quad (7)$$

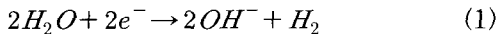
3. 결과 및 고찰

3.1 수전해 효율 계산의 이론적 고찰

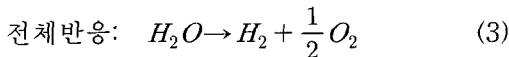
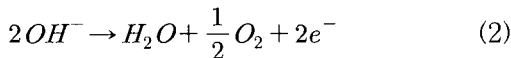
3.1.1 수전해 에너지

일반적으로 전기분해에 의한 수소제조는 KOH나 NaOH등의 수용액을 전기분해하여 얻어진다. 이때의 전기화학적 반응은 양극(anode)과 음극(cathode)에서 동시에 발생한다. 각 전극에서의 기본적인 전기화학반응은 다음과 같다¹¹⁾.

음극(cathode)반응:



양극(anode)반응:



음극과 양극에서의 평형 전압은 다음과 같이 표현된다.

$$E_c = E_{H_2}^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{H_2O}^2}{a_{OH^-}^2 a_{H_2}} \quad (4)$$

식 (6)과 식 (7)로부터 $E_a - E_c$, 즉 25 °C에서 물을 전기분해하여 수소를 얻을 수 있는 최소한의 이론적인 전압은 1.229 V로 계산될 수 있다.

1 mole의 물로부터 1 mole의 수소와 0.5 mole의 산소를 생산하기위한 최소한의 전기에너지량은 2 F, 즉 236.96 kJ이다. 한편 1 mole의 수소가 연소하여 낼 수 있는 열의 양은 25 °C에서 285.58 kJ이다. 따라서 수전해에 의한 에너지 효율은 η_{H_2} 는 아래와 같이 표현된다.

$$\eta_{H_2} = \frac{\text{수소의 연소열}}{1 \text{ mol 수소 생산 전기적 에너지}} \times 100$$

$$= \frac{285.58 \text{ kJ}}{236.96 \text{ kJ}} \times 100 = 120.5\% \quad (8)$$

이는 물이 25°C에서 1.229 V로 전기분해 되기 위해서는 285.58 - 236.96 = 48.62 kJ의 값만큼 전해 셀의 주위로부터 열이 흡수되어야 한다는 것을 의미한다.

수전해 셀에서는 전해 반응(촉매활성, mass transfer 등) 및 장치의 구성요소(전극, 전해질, 집전체 등)에 대한 저항이 존재하기 때문에 평형 전기에너지 이상의 과량의 전기에너지가 필요하게 된다. 공급된 과량의 전기에너지는 다시 열에너지로 변환되어 물의 전기분해에 필요한 열에너지로

사용된다.

따라서 25°C에서 전해셀에 285.58 kJ, 즉 1.481 V의 전기에너지가 인가된다면 수소와 산소를 isothermal 하게 생산할 수 있다. 1.229 V와 1.481 V는 각각 평형 전압과 thermoneutral 전압이다. 이들 값은 온도에 따라 변화하나 100°C까지는 그 값의 변화량이 1%이내 이므로 수전해 작동 온도가 이 영역 안에 있으면 보통 25°C 값을 사용한다.

3.1.2 수전해 효율^{12,13)}

1) 전압효율

실제 셀에 전류가 흐를 때 과전압이 발생하여 이론값보다 많은 전압을 인가해야 수소가 발생할 수 있다. 과전압은 크게 촉매 활동에 기인한 활성화 과전압 η_a , 반응물과 생성물의 mass transfer에 기인한 농도과전압 η_c , 그리고 셀의 ohmic 저항에 관련된 음과전압 η_Ω 등이 있다. 따라서 실제 셀에 인가되는 전압 E_{real} 은 다음의 식으로 표현된다.

$$E_{real} = E_r + \eta_a + \eta_c + \eta_\Omega \quad (9)$$

이에 따라 수전해셀의 전압 효율은 다음의 식으로 표현된다.

$$\epsilon_v = \frac{1.481 V}{E_{real}} \times 100 \quad (10)$$

2) 전류(Faraday)효율

일반적으로 수전해셀의 전류효율 ϵ_i 는 아래와 같이 정의된다.

$$\epsilon_i = \frac{\text{수소발생량}}{\text{전류량으로 계산된 수소생산량}} \times 100 \quad (11)$$

식 (3)에 따르면 1 mole의 수소를 생산하기 위하여 1 mole의 물에 두 개의 전자가 사용된다. 따라서 2N개의 분자가 1 mole의 수소생산에 사용되었으며, 이를 전하량으로 계산할 때 다음의 식으로

표현된다.

$$2Ne = 2F \quad (12)$$

1 mole의 수소는 표준상태(0°C, 1기압)에서 22.4 L이므로 이의 생산을 위해서는 $2 \times 96,485$ Coulombs의 전하량이 필요하다. 따라서 “인가된 전류량으로부터 계산된 수소생산량은 다음의 식으로 정의된다.

$$\frac{22.4 NL}{2 \times 96,485 C} \times \text{인가전류}(A) \times \text{인가시간}(s) \times \text{셀의 수} \quad (13)$$

전류효율을 크게 하기 위해서는 부생가스와 side reaction 특히 부식반응을 줄여한다.

3) 에너지효율

수전해셀의 에너지효율 ϵ_e 은 전류효율과 전압 효율의 곱으로 계산되며 다음의 식으로 표현된다.

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_v \times \epsilon_i}{100} \quad (14)$$

3.2 혼합가스 발생 스택의 효율

3.2.1 Bottle Trap법에 의한 효율 측정

1) 부생가스 제거 전

혼합가스 발생 스택에 11A의 전류를 인가하고 스택의 온도 변화량이 일정해지는 약 58°C에서 가스 포집을 시작하였다. 전체 가스포집에 소요된 시간은 약 4분 정도이며 이때 스택의 온도변화는 0.5°C 이내였다. 생산된 가스는 5개의 500 ml 삼각 플라스크에 각각 30초 동안 연속적으로 포집하였고, 가스와 수조 물의 평형을 위해 22.5°C에서 1시간 30분 간 유지하였다.

가스량 계산은 500 ml 삼각 플라스크에 물을 가득 채웠을 때의 무게와 포집된 후의 남은 무게차이로부터 구하였고, 이를 Boyle-Charle's 법칙을

Table 1 The amounts of hydrogen production and corresponding current efficiencies measured from the stack by bottle trap method (applied current : 11 A, elapsed time : 30 s)

실험 #	amount of mixture gas (at 22.5°C) /ml	amount of hydrogen (at 22.5°C) /ml	amount of hydrogen at STP /ml	current efficiency at STP /%
1	453.39	302.26	279.25	104.14
2	452.97	301.98	278.99	104.04
3	454.11	302.74	279.69	104.30
4	453.56	302.37	279.35	104.18
5	455.65	303.77	280.64	104.66
평균	453.94	302.62	279.58	104.26±0.24

이용하여 표준상태(0°C, 1기압)로 환산하여 부피를 계산하였다. Table 1은 위의 실험조건에서 구한 스택의 수소발생량 및 전류효율이다. 여기서 수소량은 혼합가스의 2/3의 비율로 환산하여 구했고 전류효율은 식 (11)과 식 (13)을 이용하여 계산하였다.

Table 1에서 보듯이 전류효율이 5번의 실험 모두 100%를 넘었다. 표준편차가 0.24로 아주 낮은 것을 고려할 때, 이는 실험상의 오차가 아니라 스택에서 발생하는 가스가 순수 혼합가스 이외에 다른 종류의 부생가스들이 포함되어 이론적인 전류효율보다 높은 효율을 얻은 것으로 판단되었다.

따라서 스택의 전해질로 사용된 KOH의 fume이 혼합가스에 포함되었는지를 확인하기 위하여 리트머스지를 이용하여 산·염기 분석을 수행하였다. 생성가스를 리트머스지에 1분간 직접 접촉시킨 결과 리트머스지가 남보라색(pH>10)으로 변하였다. 이는 전해질의 KOH가 혼합가스와 함께 발생된다는 것을 의미하며, 위에 포집된 가스량에는 KOH fume도 포함되었다는 것을 알 수 있다.

또한 가스 포집 시 스택의 온도가 약 58°C로 유지되었던 점을 고려할 때 혼합가스에 과량의 수증기도 KOH fume과 함께 포함되어 있다는 것을 알 수 있었다.

따라서 정확한 스택의 효율을 계산하기 위해서는 혼합 가스 이외의 부생가스 즉, KOH 및 수증

Table 2 The amounts of pure hydrogen production and corresponding current efficiencies measured from the stack by bottle trap method (applied current : 11 A, elapsed time : 30 s)

실험 #	amount of pure mixture gas (at 22.5°C) /ml	amount of pure hydrogen (at 22.5°C) /ml	amount of pure hydrogen at STP /ml	current efficiency at STP /%
1	403.94	269.29	248.79	92.78
2	401.61	267.74	247.35	92.25
3	407.36	271.57	250.90	93.57
4	402.60	268.40	247.96	92.47
5	397.33	264.89	244.72	91.26
평균	402.57	268.38	247.94	92.47±0.84

기를 모두 제거하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 Fig. 2에 보이는 바와 같이 부생가스 제거 장치를 사용하였고, 이는 KOH fume 제거를 위한 bubbling trap장치와 잔여 수증기 제거를 위한 콘덴서로 구성되어 있다. 여기서 콘덴서는 1°C로 유지하였다.

2) 부생가스(by-product gas) 제거 후

Table 2는 부생가스를 제거한 후의 혼합가스 발생 스택으로부터 구한 표준상태 순수환산수소량 및 순수전류효율이다. 여기서 순수는 부생가스가 제거되었다는 것을 의미하며 전류효율은 위와 마찬가지로 식 (11)과 식(13)을 이용하여 계산하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 수소-산소 혼합가스 발생 스택의 표준상태 순수전류효율은 92.47±0.84%로 측정되었다.

이 측정값은 일반적인 고체고분자전해질(PEM) 수전해 스택으로부터 보고되는 전류효율 97~100%의 값보다 작다. 이는 혼합가스 발생 스택이 고염기성의 전해질을 사용하므로 전극의 부식이 동반되어 인가된 전류가 순수전극반응으로만 전환되지 않은 것으로 생각된다. 실제로 반응 후에 스택을 분해해서 전극을 보면 전극이 검게 부식된 것을 관찰할 수 있었다.

따라서 동반되는 부식반응을 고려할 때 정확한 전류효율 측정을 위해서는 충분한 시간 동안 가스

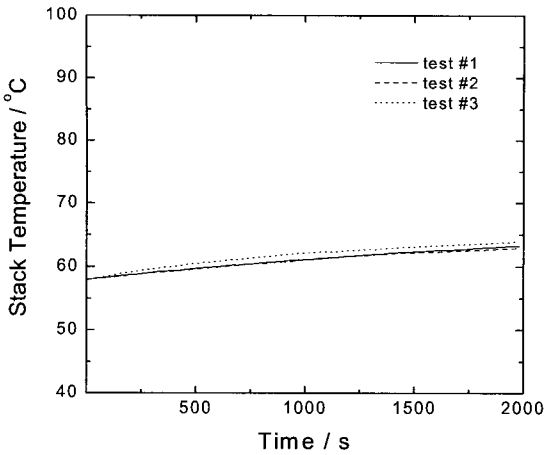


Fig. 3 Plots of stack temperature against time measured on the hydrogen-oxygen mixture gas generation stack. Applied current was 11 A

량을 측정하여 효율을 계산해야만 한다. 왜냐하면, 전극물질이 균일하지 않은 경우 전극의 물리적·화학적 특성에 따라 부식속도가 시간에 따라 변화될 수 있기 때문이다.

이러한 근거로 정확한 효율들, 즉 전류, 전압, 에너지효율 등을 계산하기 위하여 습식가스미터법을 이용하여 생산된 가스량을 측정하였다. 또한 부생가스를 제거하기 위하여 위와 마찬가지로 부생가스 제거 장치를 사용하였다.

3.2.2 습식가스미터법에 의한 효율 측정

스택에 11 A의 전류를 인가하고 스택의 온도

Table 3 The amounts of pure hydrogen production and corresponding current efficiencies measured from the stack by wet gas meter method (applied current : 11 A)

실험 #	amount of pure hydrogen at STP (at 0°C) /L	elapsed time /s	amount of pure hydrogen calculated from the applied current at STP /L	current efficiency at STP /%
1	16.74	1977	17.76	94.27
2	16.74	1978	17.77	94.22
3	16.74	1982	17.80	94.03
평균				94.18±0.13

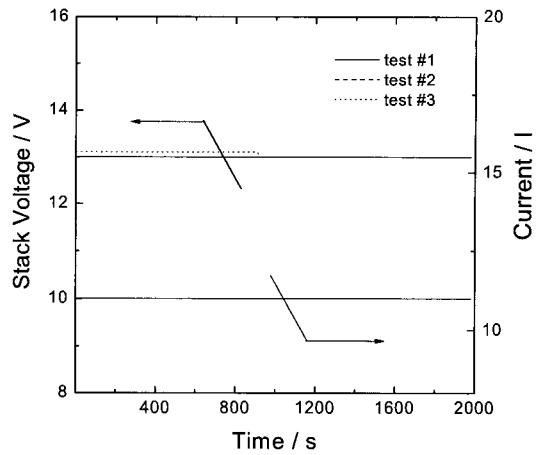


Fig. 4 Plots of stack voltage (left ordinate) and current (right ordinate) against time measured on the hydrogen-oxygen mixture gas generation stack

변화량이 일정해지는 온도인 약 58°C에서 습식가스미터를 이용하여 혼합가스량을 측정하였다. 본 실험은 3번 실시하였으며 가스량을 27 L로 고정하였고 이때 걸린 시간을 측정하여 정확한 효율을 계산하였다. 1회 가스측정에 소요된 시간은 약 2,000 s 이내였다.

Fig. 3은 인가전류 11 A에서 가스측정시간동안 변화된 스택 온도를 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 측정시간 동안의 온도변화가 3번의 실험 모두 비슷하며 약 2,000 s 동안 6°C의 온도가 상승하였다.

Table 3은 인가전류 11 A에서 습식가스미터법을 이용하여 측정한 스택의 표준상태 순수환산수소량 및 순수전류효율이다. 발생 가스온도 20.5°C에서 고

Table 4 The voltage and energy efficiencies measured from the stack by wet gas meter method

실험 #	thermoneutral voltage /V	measured real voltage /V	voltage efficiency /%	energy efficiency /%
1	10.37	13.0	79.75	75.10
2	10.37	13.0	79.75	75.10
3	10.37	13.0	79.75	75.10
평균			79.75±0.00	75.10±0.10

정된 27 L는 Boyle-Charle's 법칙을 이용하여 표준상태(0°C, 1기압)로 환산하여 부피를 계산하였다. 위의 표에서 보는 바와 같이 습식가스미터로 측정된 스택의 효율은 94.18±0.13%로 많은 차이는 아니지만 bottle trap법에 의한 값보다 약 2%정도 높게 나왔다.

Fig. 4는 정전류 11 A를 인가하였을 때 가스양 측정시간동안 얻어진 스택의 전압변화 값이다. 실험 # 1과 2는 측정시간동안 13 V로 일정하게 유지되었고 실험 # 3은 13.1 V로 유지되다가 920 s에서 13 V로 측정 종료까지 일정하게 유지되었다. 여기서 0.1 V는 1% 오차 이내이므로 계산의 편의를 위하여 모두 13 V로 고려하여 전압 및 에너지 효율을 계산하였다.

스택을 구성하는 단위셀의 수는 총 7개이므로 스택의 이론 전압 값은 $1.481 \text{ V} \times 7 = 10.37 \text{ V}$ 로 계산된다. 식 (10)과 식 (13)을 이용하여 스택의 전압 효율과 에너지효율을 계산하여 Table 4에 정리하였다.

본 연구를 통해 수소-산소 혼합가스 발생 스택의 정확한 효율들, 즉 전류효율 94.18±0.13%, 전압 효율 79.75±0.00%, 그리고 에너지효율 75.10±0.10%를 구할 수 있었다. 이때 인가 전류는 11 A였고, 이에 대응하는 전류밀도는 약 0.1 Acm^{-2} 이었다.

일반적으로 수전해 스택에 대한 효율비교는 전류효율을 제외하고는 일정한 전류밀도에서 해야 한다. 그 이유는 전류가 증가하면 과전압이 증가되고 이에 따라 효율이 감소되기 때문이다.

현재 격막이 있는 알칼라인 수전해 시스템의 경우 에너지효율이 0.2 Acm^{-2} 에서 약 80%까지 보고되고 있고⁴⁾, 고체고분자 수전해 시스템의 경우 에너지효율이 좀 더 높은 전류밀도인 1 Acm^{-2} 에서 국내기술이 83%⁷⁾ 외국기술이 88%¹⁴⁾ 수준까지 도달했다.

본 연구에서 사용된 수소-산소 혼합가스 발생 스택의 경우 격막이 있는 알칼라인 수전해 시스템의 현 기술수준에는 도달해 있지 못하나, 과전압을 낮추는 최적의 스택이 구성된다면 더 높은 효율 향상을 기대 할 수 있으리라 본다.

4. 결 론

본 연구는 수소-산소 혼합가스 발생 스택의 효율을 평가하는 것으로 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 안정된 운전 온도 조건 범위에서 수소-산소 혼합가스 발생 스택의 혼합가스 생산 시 부생가스(KOH fume과 수증기)가 같이 배출되었다.
- 2) 가스양 측정 시 bottle trap법과 습식가스미터법으로 측정된 값들 사이에 큰 차이는 없었으나 전극의 부식반응 등을 고려할 때 장기 가스량 측정이 가능한 습식가스미터법이 더 정확한 것으로 사료된다.
- 3) 수소-산소 혼합가스 발생 스택의 전류효율, 전압효율, 에너지효율은 각각 94.18 ± 0.84 , 79.75 ± 0.00 , $75.10 \pm 0.84\%$ 로 측정 되었다. 이때 인가 전류는 11 A였고 이에 대응하는 전류밀도는 약 0.1 Acm^{-2} 이었다

후 기

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

참 고 문 헌

- 1) M. Sakurai, H. Nakajima, K. Onuki, K. Ikenoya, S. Shimizu, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 24, 1999, p. 603.
- 2) J. Rifkin, "The Hydrogen Economy", Korean Translation Copyright, Minumsa, 2002.
- 3) A. G. Dutton, A. L. Bristow, M. W. Page, and J. Watson, 2nd European Hydrogen Energy Conference, 2005, P. 52.
- 4) 김종욱, 김종원, 김창수, 배기광, 오시덕, 윤왕래, 이종태, 한상섭, 황갑진, "알기 쉬운 수소에너지", 한국에너지기술연구원, 대전 2005.
- 5) R. L. LeRoy, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 8, 1983, p. 401.

- 6) M. N. Mahmmod, A. K. Turner, M. C. M. Man, and P. O. Fogarty, Chem. Ind, 1984, p. 50.
- 7) C.-H. Kim, K.-B. Park, and K.-S. Sim, 207th Meeting of The Electrochemical Society, 2005.
- 8) H. Wendt, "Electrochemical Hydrogen Technologies -Electrochemical Production and Combustion of Hydrogen", Elsevier, The Netherlands, 1990.
- 9) Y. Brown, US Patent 4081656, 1978.
- 10) T. Ranta, "Common-duct series-cell electrolyzer with anamalous gas production rate", Internal Report, 2005.
- 11) T. Ohta, "Solar-hydrogen Energy Systems", Pergamon Press, Oxford, 1979.
- 12) J. Larminie and A. Dicks, "Fuel Cell Systems Explained", Wiley, 2003.
- 13) F. Barbir, "PEM Fuel Cells-Theory and Practice", Elsevier, London, 2005.
- 14) 수소제조 기술의 개발, WE-NET 2단계 보고서, Japan, 2001.