

## 수소 생산을 위한 알칼라인 수전해장치 상용품 제작

김보연<sup>1</sup> · 김동진<sup>1</sup> · 강은영<sup>1</sup> · 김태완<sup>1</sup> · 심희찬<sup>1†</sup> · 이택홍<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(주)지앤씨, <sup>2</sup>호서대학교 화학공학과

### Commercial Production for the Hydrogen Generation with Alkaline Electrode Cells

BO YEON KIM<sup>1</sup>, DONG JIN KIM<sup>1</sup>, EUN YOUNG KANG<sup>1</sup>, TAE WAN KIM<sup>1</sup>,  
HUI CHAN SIM<sup>1†</sup>, TAECK HONG LEE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GnC.Ltd, Gomae-Dong Giheung-Gu Yongin-Si Gyeonggi-Do, 400-21, Korea

<sup>2</sup>Chemical Engineering, Hoseo University, Sechul-ri, Baebang-eup, Asan-Si, Chungnam, 165, Korea

**Abstract** >> For the hydrogen production, Gas Lab and Gnc make alkaline water electrolyzer and found optimized condition of experimental parameters of cell material and operating procedures. For the commercial production, we saved electric power consumption and caloric based efficiency with over 70%. Used cell pressures are 10 bar, 30 bar and consumed electricity is 4,000 A/m<sup>2</sup>, 4.19 kW (T=100°C) at 10 bar. Another data is 2,000 A/m<sup>2</sup>, 3.92 kW (T=95°C) at 30 bar. Applied voltage is 1.75 V (100°C, 10 bar), 1.64 V (95°C, 10 bar), 1.81 V (85°C, 30 bar), 1.76 V (95°C, 30 bar). As cell temperature increase, applied voltage has been decreased and current has been increased. The concentration of KOH solution is 30 weight %.

**Key words** : Hydrogen(수소), Electrode system for hydrogen generation(수소발생장치), Membrane(격막), Commercial production(상용생산), Electric power(전력)

## 1. 서 론

최근 수소에너지는 공해물질이 배출되지 않는 가장 이상적인 대체 에너지로 각광받고 있다.

수소 생산 방법으로는 크게 탄화수소를 사용하는 방법과 탄화수소를 사용하지 않는 방법 두 가지로 나눌 수 있다. 탄화수소를 사용하는 방법으로는 SMR (Steam Methane Reforming), POX (Partial OXidation), ATR (Auto-Thermal Reforming) 등이 있으며, 탄화수

소를 사용하지 않는 방법으로는 생물학적, 광전기적, 열화학적, 물 전기분해 등이 있다<sup>1)</sup>.

현재 SMR (천연가스 개질법)이 주된 생산 방법이나 SMR법은 환경오염의 문제가 있고 천연가스의 공급이 제한적이며, 생산 수소의 순도가 낮다. 수소의 순도를 확보하기 위해 추가 정제법인 PSA (Pressure Swing Adoption)가 필수적으로 필요하고 이로 인해 비용이 높아지는 문제점들이 있어 감소하는 추세이다. 탄화수소를 사용하지 않는 방법 중 물 전기 분해법은 환경오염이 적고 효율이 높아 최근 증가하고 있는 추세이다. 또한 전기분해법은 가장 오래된 수소 제조방법으로 실용화된 기술이며, 열량기준 전체 효

<sup>†</sup> Corresponding author : taeclee@hoseo.edu

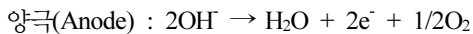
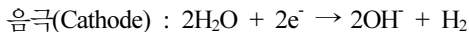
Received: 2015.6.22 in revised form: 2015.6.25 Accepted: 2015.6.30

Copyright © 2015 KHNES

율이 약 65% 내외로 효율을 더 높이는 방법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

물 전기 분해법의 방법으로는 HTE (High Temperature Electrolysis)법, PEM (Polymer Electrolyte Membrane) 수전해, Alkaline 수전해 법이 있다<sup>2)</sup>.

HTE법은 고온수증기를 이용해 물을 전기분해 하는 방법이다. 고체 전해질을 사용하여 부식이 없고, 전해액을 보충할 필요가 없어서 유지보수에 유용하지만 고온(700°C 이상)에서 분해를 하는 방법이기 때문에 고체전해질은 아직까지도 기초 연구 단계에 머물러 있다. PEM 고압 수전해 방법은 전해액 대신 순수한 물을 사용하는 방법으로 에너지 효율이 높고, 수소 순도가 높지만 고분자 분리막의 가격이 높고, 내구성이 짧아 설계비용도 많이 든다. Alkaline 수전해법은 양극과 음극사이에 이온격막을 삽입하고 알칼리 용액(KOH, NaOH)을 주입하고 양극에서 일정한 전압과 전류를 흐르게 한다<sup>3)</sup>.



Cell은 Fig. 1과 같은 구조로 위의 반응식은 Cell의 Membrane에서 일어나 수소를 발생시킨다.

전해액으로 20~40%의 KOH, NaOH를 사용하고, 기술적 성숙도와 신뢰도가 높아 현재 실용화 단계까지 도달하였다. 알칼리 용액을 KOH나 NaOH를 사용하는 이유는 비도전율이 크고 양극 전극에 대한 부식이 작으며 대기 중 CO<sub>2</sub> 흡수도가 낮으며 가격이

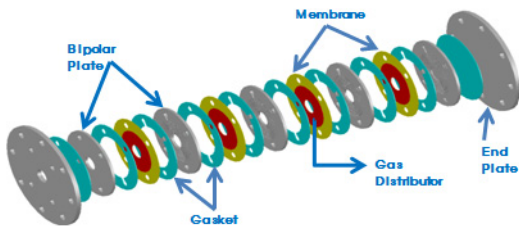


Fig. 1 Structure of Electrolyzer

저렴하기 때문이다.

최근 자료에 의하면 수소 제조 기술 관련 특허 출원 건수는 2003년 51건에서 2014년 211건으로 4배 이상 증가하는 추세를 보이며 앞으로의 신재생에너지의 추세를 간접적으로 보여준다.

본 연구에서는 Alkaline 수전해 장치를 이용하여 전기사용에 대한 비용을 줄일 수 있으며, 이는 공급에 제한이 없는 미래지향적인 에너지 생산방식이라 할 수 있다. 도시가스배관이 없는 지역 및 도서산간 지역에 설치하여 수소 생산을 할 수 있고, 수소 ESS 시스템으로 일일 24시간 연속 운전이 가능하므로 신재생 에너지를 보다 효과적으로 사용할 수 있는 태양광 및 풍력 등을 이용한 상용품을 제작 및 연구하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

Fig. 2는 수전해장치를 구성하고 설계하기 위한 P&ID이며 Fig. 3은 전면사진이다.

Table 1은 장치 Power Supply의 사양을 나타내었다. 장치를 구축하기 위한 부속 기기로서 가장 중요한

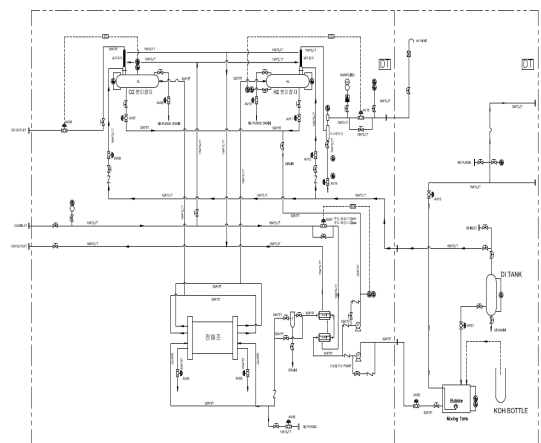


Fig. 2 Alkaline electrolyzer P&ID



Fig. 3 Front view of alkaline electrolyzer

Table 1 Hydrogen Generator Power Supply specification

Model	AH2P-1KA
Input power	80 kVA
Input current	1,000 A
consumption power	100 %
Weight	800 kg
Input voltage	3 $\phi$ 380 V
Frequency	50 / 60 Hz
Working voltage	52 V
Designed voltage	92 V

설비 중 하나 인 10 Nm<sup>3</sup>/hr-H<sub>2</sub> 성능을 지니고 있는 전해조, 수소와 산소를 분리 할 수 있는 분리기, KOH 수용액을 만들기 위한 초순수 제조장치와 혼합장치가 있다. 연속운전 시 계속해서 증가하는 온도를 제어 할 수 있게 열교환기를 설치하였으며 불순물을 제거하는 필터와 수분을 제거하기 위한 수분흡착탑을 사용하였고, 분리기 상단에 응축기를 설치하여 수소의 순도를 높일 수 있게 하였다. Pipe는 SUS 304, Tube는 15A, 25A, 40A, 50A와 나머지 부속품은 플랜지, 엘보우 및 리듀서 등을 사용해 유로를 형성하였으며 그 유로를 통해 공급펌프로 수용액을 공급하고 순환펌프를 이용하여 4~7회/hr로 순환시켜준다. 또한 actuator valve, ball valve, check valve를 사용하여 유체의 흐름을 제어 할 수 있게 하였다.

Table 2 DI water manufacturing equipment specification

Model	LIMITE 100
Production	Max 100 L/hr
Mixing rate	0~35 $\mu$ s/cm
Control	Microprocessor Type
Filter	Pre Filter, Carbon Filter, RO mambrane
Parts	UV/UF Filter, Pressure Controller
Size	400 × 550 × 1050 mm
Power	220 volt, 50/60 Hz, Single phase
Power consumption	0.5 kW

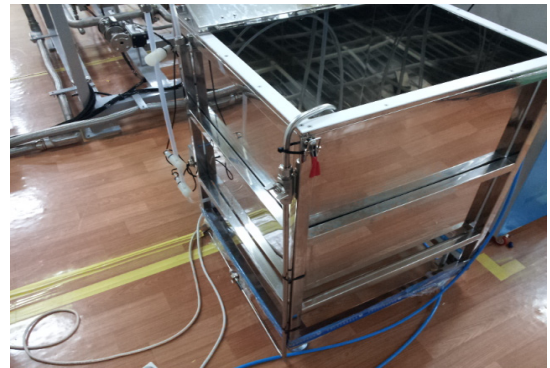


Fig. 4 Mixing tank for KOH solution

### 2.1.1 혼합 탱크

Table 2는 혼합 탱크에 유입되는 DI Water 제조장치의 사양이다. Fig. 4는 혼합탱크의 전면사진으로 내부온도는 63°C이다. 제조 시에 화학반응이 일어나 열이 발생하기 때문에 별도의 열교환기를 설치하여 안정성을 높였다. 혼합 탱크에서는 DI Water에 고형의 KOH를 질량비로 계산된 양만큼 녹여 30% 수용액을 만들어 전해질을 제조한다.

### 2.1.2 Electrolyzer

Fig. 5은 전해조의 전면사진으로 10 Nm<sup>3</sup>/hr의 수소발생 용량을 가지고 있으며 발생량에 따라 크기에 변동이 있다. 공정온도는 90°C 이하이며, PCW (Precess cooling water)를 이용하여 온도를 유지시키고 공정압력은 320 bar 이하이다.

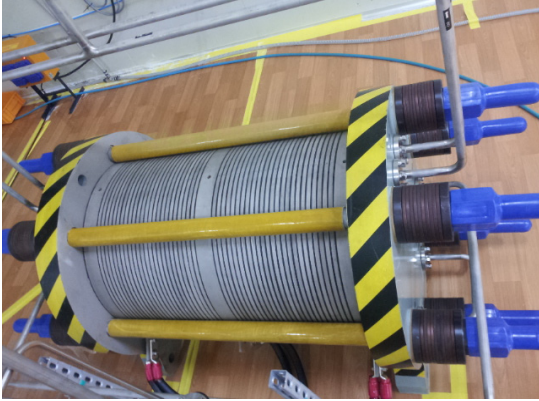


Fig. 5 Cell side view of Electrolyzer

전해조는 membrane, anode, cathode, gasket, cell frame으로 구성되어있으며 가스켓은 압축용착으로 격막에 부착되어 있고 전극은 mesh 타입으로 되어 있으며 anode는 Ni, cathode는 Ni+Al으로 이루어져 있다. Middle plate는 tongue and groove face flange에 돌기형 모양의 판을 용접하여 사용하였다.

### 2.1.3 Separator

Fig. 6은 분리기로 유량계지 센서와 내부 온도 및 압력을 측정하는 센서를 가지고 있다. 생산된 가스(수소, 산소)를 1차적으로 수집하고 수소의 순도를 높이는 방법으로 수분을 제거하기 위한 냉각기를 상부에 설치하여 온도차이로 인해 수분이 냉각되어 제거될 수 있게 설계하였다. 사양은 부피 270 L, 중량 279 kg, STS304 재질로 제작되었다.

## 2.2 실험 방법

30 wt% KOH 수용액은 DI water를 혼합기에 담고 90% KOH를 넣어 bubble 및 heating을 30분간하여 수용액을 제조한다. 수전해 장치의 내부의 반 이상 정도를 수용액으로 채울 때까지 공급펌프를 이용해 공급한다. 공급한 전해질 수용액은 설정된 값으로 세팅되어 있는 전해조에 유입되어 전기를 받아 수소와



Fig. 6 Decanter of Hydrogen and Oxygen gas collection

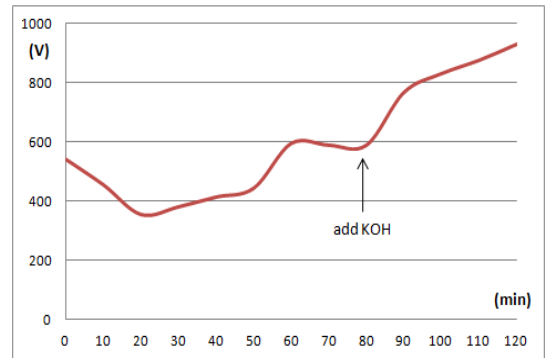


Fig. 7 Current change with time (min)

산소로 분리되어 기포로 발생된다. 52 V의 전압을 주어 시간에 따른 전류값의 변화를 확인하였으며 이것을 이용하여 장치의 전력소모값을 확인할 수 있었다.

전기를 공급하고 시간이 지남에 따라 전류값이 증가하였는데, 약 한 시간 후에는 전류값의 증가폭이 일정한 것으로 확인되었다.

분리된 수소와 산소는 전해질과 함께 분리기로 흘러가고 수분을 잡기 위해 분리기 상부에 냉각기를 설치하였다. 분리되지 않은 KOH 수용액은 다시 순환펌프로 유입되고 전해조로 공급시켜 계속 순환시켜준다. 수소의 발생량을 확인하기 위해 유량계를 설치하여 일정한 양이 나오기 시작할 때의 유량을 측정하였다. Vent의 경우 지면에서 5 m 이상의 높이에 설치하였으며 외부로 유출된 토출부는 비가 들어오

지 않게 지면과 평행하도록 하였고, 수소는 폭발의 위험이 있어 발화성 물질이 닿지 않는 곳으로 설치하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 사용되었던 알칼라인 수전해 장치는 수소 10 Nm<sup>3</sup>/hr가 생산가능하다. Fig. 8-11은 실험을 통해 얻은 데이터이며 사용전력 및 그에 따른 장치 효율을 확인 할 수 있다.

Fig. 8, 9는 운전압력 10 bar에서의 membrane 재질 A에 대한 결과 그래프이며 이때 사용전력 4.19 kW (T=100°C), 3.92 kW(T=95°C)의 공급되는 전압은 1.75 V (100°C), 1.64 V (95°C)이다.

Fig. 10, 11의 운전압력은 30 bar이며 membrane은 다른 재질 B로 하여 운전하였다. 이때 사용전력은

5.0 kW (T=85°C), 4.92 kW (T=95°C)이고 공급되는 전압은 1.81 V (85°C), 1.76 V (95°C)이다. 그래프 상에서 보는 바와 같이 운전온도가 증가할수록 사용되는 전압값이 적어지고 전압값이 증가할수록 전류값이 증가함을 확인 할 수 있었다.

장치의 효율은 전력을 열량으로 환산한 값으로 계산하였을 때, 사용전력 당 수소 10 Nm<sup>3</sup>을 100분위로 나타내면 68%의 에너지 효율을 얻을 수 있다.

### 4. 결론

수소 10 Nm<sup>3</sup>/hr 생산가능한 알칼라인 수전해 장치를 제작하여 운전 특성을 살펴 보았다. 특히 멤브레인 재질을 변화 시키고 및 전압과 전류등의 운전조건의 영향을 살펴보았다. 운전온도가 증가할수록 사용되는 전압값이 적어지고 전압값이 증가할수록 전

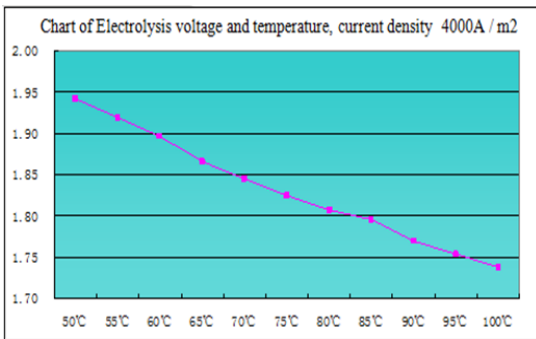


Fig. 8 Applied voltage change with cell temperature (membrane A)

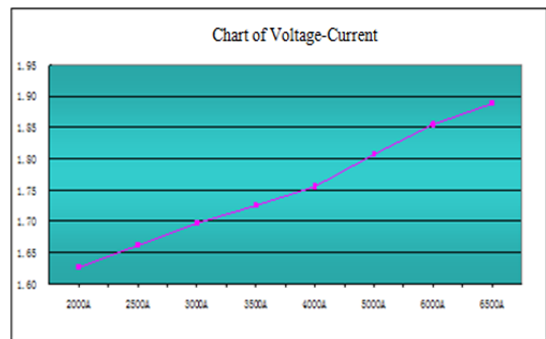


Fig. 9 Current change with cell voltage variation (membrane A)

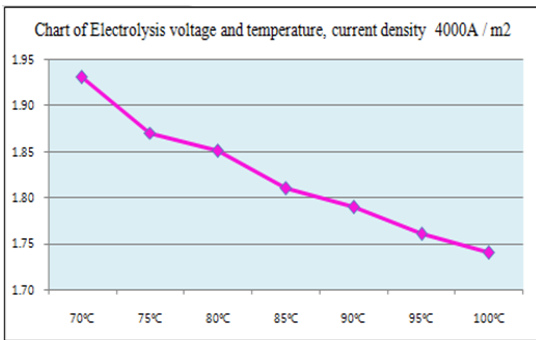


Fig. 10 Applied voltage change with temperature (membrane B)

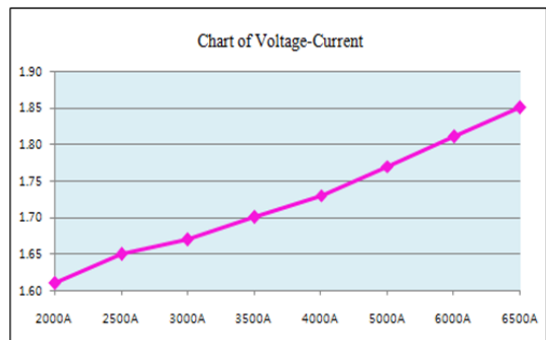


Fig. 11 Current change with voltage variation (membrane B)

류값이 증가함을 확인 할 수 있었다. 앞으로 지속적으로 에너지 효율 상상을 위한 노력이 필요하며 에 필수적으로 연구가 필요한 전극의 주요 구성 부품인 membrane 재질을 변화시켜 효율 향상을 위한 연구가 필요하다.

## References

1. T. H. Lee, T. W. Kim, T. S. Park, W. S. Choi, H. Y. Kim, and H. K. Lee, "Hydrogen Impurities Analysis From Proton Exchange Membrane Hydrogen Production", Korea Hydrogen and New Energy Society, Vol. 18, 2007, pp. 357-365.
2. J. Y. Lee, Y. M. Lee, and S. H. Uhm, "Understanding Underlying Processes of Water Electrolysis", Korea Ind Eng. Chem., Vol. 19, 2008, pp. 357-365, 481-494.
3. C. S. Byun, S. G. Lim, S. K. Kim, and H. K. Shin, "A Study on the Variation of Anion Exchange Membrane of Hydrogen Generator of Alkaline Electrolysis", J. of KIEEME, Vol. 26, 2013, pp. 563-566.
4. Y. C. Bak, "Status for the Technology of Hydrogen Production from Coals", Energy R&D, Vol. 15, No. 2, 1993, pp. 191-201.
5. O. S. Joo, "Hydrogen Production Technology", Korean Chem. Eng. Res, Vol. 19, 2011, pp. 481-494.
6. J. E. Son, "Hydrogen & Fuel Cell Technology", Korean Chem. Eng. Res., Vol. 42, No. 1, 2004, pp. 1-9.
7. Y. S. Yun, "Hydrogen Production by Gasification Technologies", Energy Eng. J., Vol. 13, No. 1, 2004, pp. 1-11.
8. H. S. Choi, C. H. Rhyu, S. U. Lee, C. S. Byun, and G. J. Hwang, "Study on Anion Exchange Membrane for the Alkaline Electrolysis", Korea Hydrogen and New Energy Society, Vol. 4, 2007, pp. 481-494.
9. H. J. Hyu, "Hydrogen Generation Characteristics of SMART System with Inherent CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> Separation", Korea Hydrogen and New Energy Society, Vol. 18, 2007, pp. 382-390.