



ISSN 1225-8024(Print)  
ISSN 2288-8403(Online)

<연구논문>

한국표면공학회지  
J. Korean Inst. Surf. Eng.  
Vol. 49, No. 2, 2016.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2016.49.2.159>

## 음이온 교환막 알칼리 수전해를 위한 운전 조건 및 구성요소의 최적화

장명제<sup>a,b</sup>, 원미소<sup>a</sup>, 이규환<sup>a,b,\*</sup>, 최승목<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>한국기계연구원 부설 재료연구소 표면기술연구본부,  
<sup>b</sup>한국과학기술연합대학원대학교 신소재공학부

### Optimization of Operating Parameters and Components for Water Electrolysis Using Anion Exchange Membrane

Myeong Je Jang<sup>a,b</sup>, Mi So Won<sup>a</sup>, Kyu Hwan Lee<sup>a,b,\*</sup>, Sung Mook Choi<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Surface Technology Department, Korea Institute of Materials Science, 797 Changwon-Daero, Sungsan-gu, Changwon, 51508, Korea

<sup>b</sup>Advanced Materials Engineering, Korea University of Science and Technology (UST), 217 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34113, Korea

(Received April 14, 2016 ; revised April 28, 2016 ; accepted April 29, 2016)

#### Abstract

The hydrogen has been recognized as a clean, nonpolluting and unlimited energy source that can solve fossil fuel depletion and environmental pollution problems at the same time. Water electrolysis has been the most attractive technology in a way to produce hydrogen because it does not emit any pollutants compared to other method such as natural gas steam reforming and coal gasification etc. In order to improve efficiency and durability of the water electrolysis, comprehensive studies for highly active and stable electrocatalysts have been performed. The platinum group metal (PGM; Pt, Ru, Pd, Rh, etc.) electrocatalysts indicated a higher activity and stability compared with other transition metals in harsh condition such as acid solution. It is necessary to develop inexpensive non-noble metal catalysts such as transition metal oxides because the PGM catalysts is expensive materials with insufficient it's reserves. The optimization of operating parameter and the components is also important factor to develop an efficient water electrolysis cell. In this study, we optimized the operating parameter and components such as the type of AEM and density of gas diffusion layer (GDL) and the temperature/concentration of the electrolyte solution for the anion exchange membrane water electrolysis cell (AEMWEC) with the transition metal oxide alloy anode and cathode electrocatalysts. The maximum current density was 345.8 mA/cm<sup>2</sup> with parameter and component optimization.

*Keywords : Hydrogen, Water electrolysis, Anion exchange membrane (AEM)*

## 1. 서 론

산업혁명 이후 화석에너지를 사용하기 시작하면서 야기된 문제인 화석연료의 고갈과 환경오염은 인류가 해결해야 할 중대한 과제이다. 2015년 파리

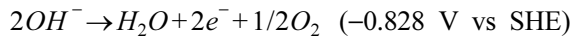
기후협약에서 195개국이 온실가스의 감축에 동의하면서 범세계적으로 신재생에너지의 개발은 더욱 중요해졌으며, 특히 우리나라는 2030년 까지 온실가스 배출전망치 대비 37%를 줄이겠다는 방안을 제시하였다. 신 재생에너지 중에서 수소에너지는 서두에 언급한 문제들을 동시에 해결할 수 있는 차세대 에너지원이며 가까운 미래에 수소 경제가 도래할 것으로 예측되고 있다[1]. 현재는 화석연료를 이용하여 대량의 수소를 생산하기 때문에 엄밀히 말해 수소를 신재생에너지라고 할 수 없다. 반면 물

\*Corresponding Author: Kyu Hwan Lee, Sung Mook Choi  
Surface Technology Department, Korea Institute of Materials Science  
Tel: +82-55-280-3558 ; Fax: +82-55-280-3570  
E-mail: lgh1636@kims.re.kr, akyzak@kims.re.kr

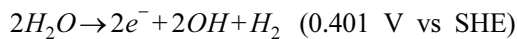
을 전기분해하여 수소를 생산하는 수전해는 지구온난화의 원인인 CO<sub>2</sub>의 발생이 없으며 원료인 물이 무한하다는 장점이 있다. 또한, 다른 신재생에너지원과 조화되었을 때 가장 실용적이고 발전 가능성이 크다고 할 수 있다.

수전해 기술은 고분자 전해질(polymer electrolyte membrane, PEM) 수전해, 알칼리 수전해(alkaline water electrolysis, AWE), 고온 수증기(high temperature steam) 수전해로 구분된다. 이 중 알칼리 수전해는 전극, 전해액, 격막으로 구성되며, 아래의 반응식에서 보는 바와 같이 환원구역에서는 외부전원에서 공급된 전자와 H<sub>2</sub>O가 반응하여 수소기체와 OH<sup>-</sup>가 생성되고 이 OH<sup>-</sup>는 격막을 통해 산화구역으로 이동하여 H<sub>2</sub>O와 산소기체를 생성한다.

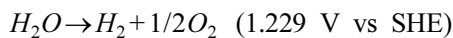
Anode reaction :



Cathode reaction :



Total reaction :



알칼리 수전해에서 요구되는 조건으로는 알칼리 수용액에 대한 내식성이 강하며 산소 또는 수소 발생을 위한 과전압을 낮추기 위한 전극 물질을 필요로 한다. 알칼리 수전해는 비 백금계 촉매가 사용 가능하여 비교적 저렴한 전극물질이 사용할 수 있는 장점이 있지만 알칼리 용액의 반응성으로 인한 부식, 전해액의 보충 그리고 간헐적인 동작에 적합하지 않다. 또한, 산소가 발생하는 산화구역에서는 전극의 산화를 방지해야 하며, 높은 과전압에 의한 효율 저하 문제를 해결해야 한다. 반면에 PEM 방식은 간헐적인 사용이 가능하며 높은 에너지 밀도를 가진다. 그러나 산성 분위기로 인한 촉매의 사용에 제한이 있어 반드시 백금계 촉매를 사용해야 하기 때문에 수소 생산 비용이 증가하게 된다.

따라서 본 연구에서는 AWE와 PEM수전해 방식의 이점을 최대한 이용하고 단점을 극복하려는 방법으로 음이온 교환막(anion exchange membrane, AEM)을 적용한 셀 구조를 사용했다. 연료전지 분야에서는 AEM을 응용한 연구가 많이 소개되었지만, 수전해 분야에서는 최근에서야 적용되기 시작하였다[2-6]. 음이온 교환막 수전해(anion exchange membrane water electrolysis cell, AEMWEC)는 AWE와 PEM방식의 장점을 동시에 채택함으로써

비 귀금속 촉매의 사용으로 인한 비용 절감 효과와 고분자막을 이용한 고전류밀도와 고압 수소 생산을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 AEMWEC 단위 셀의 구성 요소들인 AEM 종류, 가스 확산층(gas diffusion layer, GDL) 밀도와 운전조건인 알칼리 수용액 농도, 온도의 조건을 다르게 하여 최상의 구성 요소 조건 및 운전 조건을 알아보려고 하였다.

## 2. 실험방법

그림 1은 본 연구에 사용된 음이온 교환막 수전해 단위 셀의 개략도이고, AEM을 경계로 산화 및 환원 전극 영역으로 나누어진다. 산화전극은 CuCoO<sub>x</sub> 나노입자촉매(ACTA co., 3030)가 담지되어 있는 Ni foam을, 환원 전극은 Ni/(CeO<sub>2</sub>-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/C 나노입자촉매(ACTA co., 3040)가 담지되어 있는 Microporous layer가 코팅된 carbon cloth 를 사용하였다. 3030의 CuCoO<sub>x</sub>는 생성되는 산소의 침투에 대한 내성 및 알칼리 전해액에 대한 내성이 우수하여 산화전극에 이용되며, 4030의 Ni은 나노입자로 합성되면 귀금속 속의 비등한 활성도를 발휘하며 CeO<sub>2</sub>와 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 고용체를 형성하여 환원분위기에서 촉매의 특성을 향상시키는 역할을 한다. 전극의 면적은 산화 전극이 7.45 cm<sup>2</sup>, 환원 전극이 4.83 cm<sup>2</sup>이다. GDL으로 홀크기가 450 μm 이고, 두께가 1.8 mm 인 Ni foam을 사용했으며, 환원 전극 영역은 3 mm, 산화 전극 영역은 2.9 mm 높이로 고정하고 Ni foam 개수에 변화를 주어 밀도로 표시하여 실험을 진행하였다. AEM은 Fumatech社의 제품들을 사용했고, 강화 여부와 두께에 따라 구분되며, 상세 내용은 표 1에 정리하였다. 단위전지의 전기화학적 특성 분석은

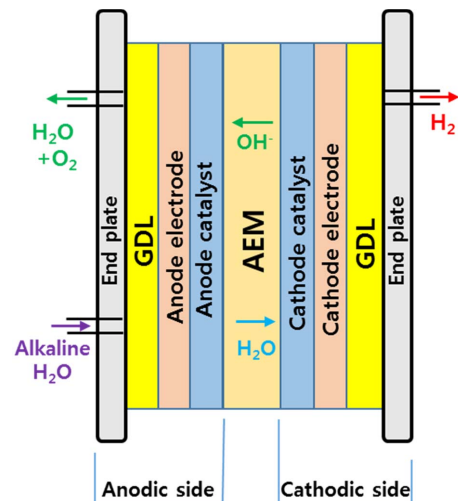


Fig. 1. The schematic diagram of the anion exchange membrane water electrolysis cell (AEMWEC) structure.

Table 1. The physical and chemical data of the AEMs.

Model	Thickness [μm]	Area resistance (in Cl form) [Ωcm <sup>2</sup> ]	Ion exchange capacity (in Cl form) [mmol g <sup>-1</sup> ]	Reinforcement
FAA-3-30 (N30)	30	0.50-0.54	2.04	None
FAA-3-50 (N50)	50	1.1-1.37	2.03	None
FAA-3-PE-30 (PE30)	30	0.8-1.3	1.4-1.6	PE <sup>1</sup>
FAA-3-PK-75 (PK75)	75	1.2-2.0	1.2-1.4	PEEK <sup>2</sup>
FAA-3-PK-130 (PK130)	130	1.8-3.0	1.1-1.4	PEEK <sup>2</sup>

<sup>1</sup>PE : Polyethylene, <sup>2</sup>PEEK : Polyether ether ketone

Potentiostat/Galvanostat(Zive co., MP5) 장비를 이용하여 선형주사전위법(linear sweep voltammetry, LSV)에 의해 실행되었다. LSV 전압범위는 1.2 V에서 1.9 V로 인가하였고 주사속도는 10 mV/sec이다. 수 전해용 알칼리 용액은 KOH (95.0%, SAMCHUN chemical)을 deionized (DI) water에 용해하여 농도를 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4 M로 변화를 주었고, KOH 수용액의 온도를 45, 55, 65, 75, 85°C으로 변화시켜 농도와 온도에 따른 영향을 분석하였다. 수용액 순환속도는 28 mL/min으로 고정했으며 정량펌프(GILSON co., MINIPULS3)를 이용하였다. 수소기체 발생량의 측정은 25°C, 1 atm에서 기체발생량 측정 장치(버블미터)를 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 단위셀 구성 조건에 따른 전기화학적 특성

AEMWEC에서 전극, 전극 촉매, AEM은 활성과 내구성에 중요한 변수로 작용한다. 음이온 교환막 수전해에는 AEM을 기준으로 촉매가 담지된 산화 전극 영역과 환원전극 영역으로 구분되고, 산화전극에 고부식성의 알칼리 수용액이 공급된다. 이에 따라, 알칼리 수용액에 대한 부식성에 강하고 음이온(OH<sup>-</sup>) 교환 성능이 우수하며 다양한 실험조건에 적합한 AEM을 사용하는 것이 매우 중요하다. 본 실험에 사용한 AEM의 안정한 pH 범위는 1에서 14로 알칼리 분위기에 적합하며, 강화재인 PE와 PEEK는 수전해용 전해액인 KOH에 내식성이 강한 고분자성분이다. 그림 2는 셀이 활성화된 후에 AEM 종류 변화를 전압에 따른 전류밀도 변화로 나타낸 그림이다. 성능 활성화가 완료된 이후 초기 성능을 비교해 보면 1.85 V에서 N30의 전류밀도는 308.9 mA/cm<sup>2</sup>으로 가장 높은 값을 가지며, PE30, PK75, N50 그리고 PK130순으로 전류밀도가 각각 272.6, 266.8, 251.9 그리고 208.2 mA/cm<sup>2</sup>으로 감소하고 있다. AEM의 두께, 면저항(Area Resistance, AR) 및 이온 교환 용량(Ion exchange capacity, IEC) 그리고

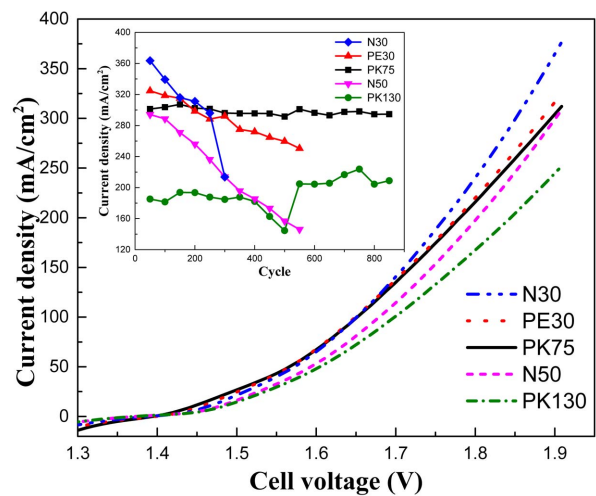


Fig. 2. The polarization curves recorded after the single cells were activated with different AEMs. Inset is the long-term on-off stability test with different AEMs at 45°C, 1 M KOH solution.

강화 여부 등이 복합적으로 작용하여 성능 및 내구성에 영향을 주는 것으로 판단된다. 먼저 N30은 가장 높은 IEC 값, 가장 낮은 AR 값 및 얇은 막 두께를 보유하고 있어 음이온의 이동이 보다 우수하며, 고분자로 강화 되지 않아서 전극과의 넓은 접촉면적을 보여주기 때문에 가장 높은 전류밀도를 보여주고 있다. PE30은 두께는 30 μm로 N30과 같지만 PE강화로 인해 전류밀도는 다소 감소하였는데, 이것은 강화처리로 인한 AEM과 전극이 접촉면이 N30 보다 감소 되었기 때문이다. 같은 이유로 PK75도 PEEK강화되어 AR 값의 증가 및 IEC 값의 감소로 인해 전류밀도가 낮아진 것으로 보인다. N50은 두께가 PK 75 보다 얇고 낮은 AR 및 높은 IEC 값을 고려하면 PK75 보다 높은 성능을 보여 줄 것으로 보이나 그 차이가 크지 않아 성능에서도 근소한 차이를 보인다. 비교된 막들 중 가장 두꺼운 두께, 높은 AR 및 낮은 IEC 값을 갖는 PK130 막의 경우, 가장 낮은 전류밀도를 보여준다. 막의 강화 여부에 따른 각각을 비교해보면 막의 두

게가 두꺼워지고 AR 값이 증가하고 IEC 값이 감소 할수록 성능이 감소하는 것으로 보아 셀의 성능에 두께, AR, IEC 값 및 강화 여부가 주요한 변수로 작용함을 알 수 있다.

하지만 실제 단위셀 운전에서는 알칼리 수용액 및 셀 운전 조건에 의해 AEM의 내구성에 영향을 주기 때문에 장기 안정성 실험을 통해서 가장 적합한 AEM을 선택해야 한다. 그림 2의 삽입된 그림은 각 AEM의 LSV 순환법을 이용한 on/off 테스트 결과로 1.85 V에서 on/off 횟수에 따른 전류밀도의 변화를 나타낸 그림이다. 강화처리가 되지 않은 N30과 N50이 다른 강화 처리된 AEM에 비해 급격히 수명이 감소하고 있다. 강화된 PE30, PK75, PK130의 경우 성능 감소 기울기가 N30, N50에 비해 완만하게 낮아짐으로 강화 처리는 AEM의 수명을 증가시키는데 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 더구나 PEEK강화된 PK75와 PK130의 경향을 보면 테스트 횟수가 증가함에도 불구하고 초기의 성능을 유지하는 것을 볼 수 있다. PEEK강화된 AEM이 우수한 안정성을 보이는 것은 PEEK재질은 다른 폴리머 재료와 비교하여 우수한 파단 강도, 굽힘 강도 등의 기계적 특성을 가지고 있어 생성된 고압의 기체에 대한 변형이 적기 때문이다[7]. 다만 PK130은 전반적으로 전류밀도가 다른 AEM에 비해 낮으며 다소 불규칙한 경향을 나타내고 있는데 이는 PK130이 두꺼운 두께를 가지며 다른 AEM에 비해 높은 AR과 낮은 IEC값을 가지기 때문으로 판단된다. 따라서 초기 성능 평가 및 장기 안정성 테스트 결과 PK75가 AEMWEC에 가장 적합한 AEM임을 알 수 있었다.

AEMWEC에서 GDL의 역할은 공급되는 알칼리 수용액 및 반응 후 생성되는 수소와 산소의 이동통로일 뿐만 아니라 셀 내부의 AEM과 전극에 적절한 압력을 제공해 접촉저항을 감소시켜 전체 반응성을 증가 시키는 역할과 외부에서 인가하는 전압이 저항에 의한 소모 없이 MEA에 도달 할 수 있게 하는 역할도 한다. 따라서 일정 수준 이하의 GDL밀도에서 셀은 정상 작동하지 않으며, 반대로 과도한 밀도 수준은 수용액 및 생성된 기체의 흐름을 방해하여 원활한 수용액과 기체의 공급과 배출을 방해한다. 본 실험에서 GDL은 홀 크기 450  $\mu\text{m}$ 인 Ni foam을 높이 약 3 mm로 고정하고 적층하여 제작하였으며, Ni foam의 개수를 변화시켜 밀도 수치로 환산하여 표현하였다. 그림 3은 산화 구역과 환원 구역의 GDL의 밀도를 전압변화에 따른 전류밀도 변화를 나타낸 LSV그래프이다. 간단히 나타내기 위해 산화 구역의 GDL은 A-GDL, 환원 구역

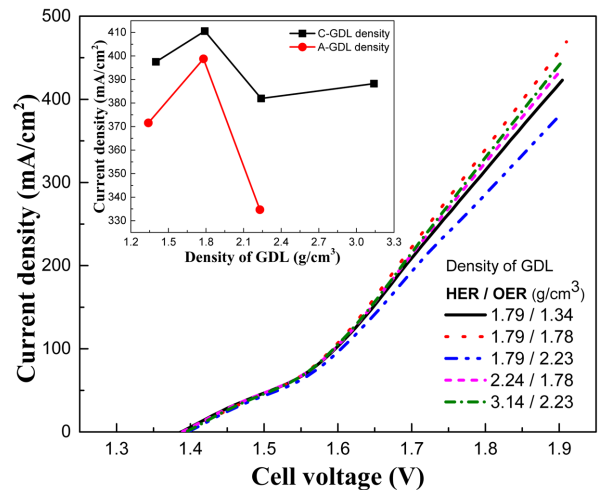


Fig. 3. The polarization curves recorded after the single cells were activated with different the GDL density. Inset is the changes of current density with different GDL density of HER and OER at 45°C, 1 M KOH solution.

의 GDL은 C-GDL로 표기하였다. 그림 3에 나타난 밀도 범위 약 1.34에서 3.14  $\text{g}/\text{cm}^3$ 까지의 범위는 위에서 언급한 안정적인 범위에 해당하며, GDL의 밀도 변화는 전류밀도에 일정부분 영향을 주는 것을 알 수 있다. A-GDL과 C-GDL의 밀도 변화에 따른 전류밀도를 나타낸 그림 3에 삽입된 그래프를 보면 A-GDL과 C-GDL의 밀도가 전류밀도에 미치는 영향이 서로 다른 것을 알 수 있다. 밀도변화에 따른 전류밀도의 변화는 C-GDL보다 A-GDL이 보다 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 이는 생성된 수소만 통과하는 C-GDL에 비해 생성된 산소와 알칼리 수용액이 같이 이동하는 A-GDL의 밀도가 전류밀도에 보다 큰 영향을 주어서 A-GDL의 밀도가 증가할 때 전류밀도가 급감한 것으로 사료된다. A-GDL과 C-GDL 모두 밀도 약 1.8  $\text{g}/\text{cm}^3$ 에서 가장 높은 전류밀도 값을 갖는 것으로 보아 적절한 GDL 밀도가 전류밀도 향상에 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다.

### 3.2 전해액의 조건에 따른 전기화학적 특성

AEMWEC에 공급되는 전해액으로 KOH 수용액을 사용하였다. 셀의 구조 특성상 AEM의 탄산화는 방지 가능하므로 반응성이 우수한 KOH를 전해액으로 사용할 수 있다. 그림 4는 전해액의 온도가 셀 성능에 미치는 영향을 셀의 전압에 따른 전류밀도의 변화로 나타낸 그래프이다. 전해액 온도가 높을수록 최대 전류밀도도 비례하여 증가하며, 셀 전압 1.85 V, 온도 45°C에서 전류밀도가 약 288.2  $\text{mA}/\text{cm}^2$ 인데 반해 85°C에서는 전류밀도가 약 571.1  $\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 2배 가



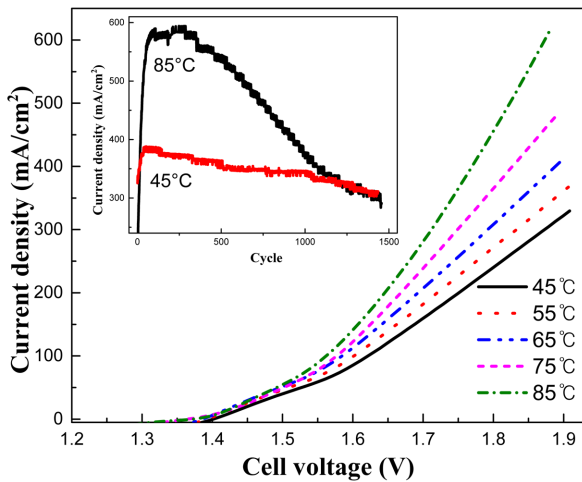


Fig. 4. The polarization curves recorded after the single cells were activated with different temperature of 1 M KOH solution. Inset is long-term intermittent test of 1 M KOH solution at 1.85 V.

카이 전류밀도가 증가하는 것을 알 수 있고, 전류 밀도가 100 mA/cm<sup>2</sup>를 기준으로 온도가 45, 55, 65, 75, 85°C으로 증가 할 때, 과전압은 각각 0.41, 0.38, 0.37, 0.36, 0.33 V로 감소하는 것으로 보아, 수용액의 온도 상승은 전류밀도의 증가뿐만 아니라 과전압도 감소시키는 역할을 하는 것을 확인할 수 있다. 이는 마이크로 사이즈의 Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>가 첨가된 촉매가 높은 온도와 고전류 분위기에서 과전압을 감소시키는 역할을 하기 때문이다[8].

그림 4에 삽입된 그림은 1 M KOH 용액의 온도가 각각 45, 85°C일 때, 1.85 V 에서 on/off 횟수에 따른 전류밀도의 변화를 나타낸 그림이다. 85°C의 경우 약 300 cycle이후로 전류밀도가 감소하기 시작하여 약 1200 cycle에서 45°C보다 낮아진다. 최대 전류밀도 대비 1400 cycle까지의 전류밀도 감소치는 85°C의 경우 약 52.4%, 45°C일 때는 21.9%이므로 45°C에서 AEM의 안정성이 더 우수한 것을 알 수 있다. AEM 에서 열화는 수산기 이온이 작용기에서 두번째로 떨어진 베타 수소에 데미지를 주어 알켄(alkene), 아민(amine) 그리고 물 분자의 형성을 야기하며, 이 반응은 상온에서 서서히 발생하지만, 고온에서는 급격히 발생하기 때문에 저온보다 고온에서 내구성에서 더 큰 문제를 야기한다[9]. 따라서 전해액의 온도가 높아질수록 AEMWEC의 운전초기에는 높은 성능을 나타내지만, 셀의 운전 시간의 증가에 따라 급격한 성능 저하가 발생하는 것이다. 그림 5는 KOH용액의 온도가 45°C일 때, KOH 용액의 농도 변화를 전압에 따른 전류밀도 그래프로 나타낸 그래프이다. 과전압은 순차적인 경향을 보이지 않지만 전류밀도가 50 mA/cm<sup>2</sup>를 기준

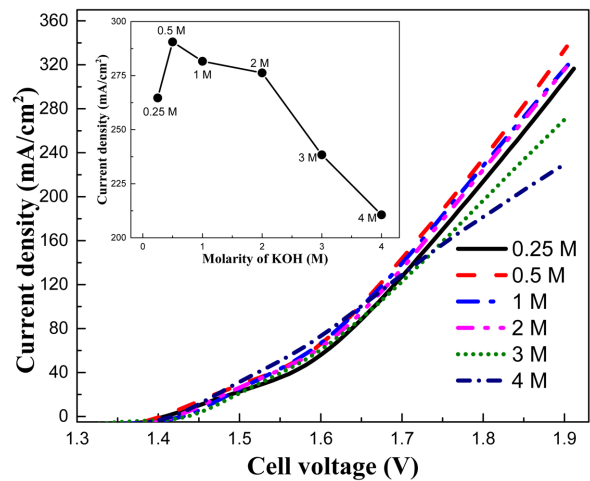


Fig. 5. The polarization curves recorded after the single cells were activated with different concentration of KOH solution at 45°C. Inset is the current density with different concentration of KOH solution.

으로 농도가 높은 4 M일 때 과전압이 0.32 V로 가장 낮으며, 농도가 가장 낮은 0.25 M일 때 과전압이 0.36 V로 가장 높다. 이는 KOH의 농도가 증가할수록 전해액의 이온전도도 증가로 반응성이 향상되어 전류밀도가 향상된다는 보고가 있으며[10], 마찬가지로 고농도의 KOH의 높은 음이온 농도에 의한 높은 반응성이 수전해 과전압에 영향을 준 것으로 예상된다. 농도에 따른 변화를 더 자세히 분석하기 위해 셀 전압 1.85 V에서 KOH의 몰 농도에 따른 전류밀도 변화를 그림 5에 삽입하였다. 전해액 농도 0.5 M에서 약 270 mA/cm<sup>2</sup>의 최대전류밀도 값을 볼 수 있다. 이는 전해액으로 20-30 wt.% KOH 혹은 15-20 wt.% NaOH의 고농도의 알칼리 용액을 사용하는 기존의 알칼리 수전해에 비해 AEM을 사용한 알칼리 수전해는 약 3 wt.%의 낮은 KOH용액 농도로 높은 성능을 발휘하는 수전해가 가능하다는 것을 보여준다[11]. 농도가 0.25 M로 낮아지면 전류밀도는 급격히 감소한다. 농도가 1 M로 증가할 때도 전류밀도는 감소하며 특히, 3, 4 M로 농도가 증가하면서 전류밀도는 급격히 저하된다. 일반적인 알칼리 수전해는 전해액의 농도가 증가할수록 용액의 음이온 전도도 증가에 의해 전류밀도가 증가한다고 알려져 있다[10, 12]. 하지만 AEM을 사용한 본 실험에서는 2 M 이상의 고농도에서는 AEM 내 구성의 한계로 인해 전류밀도가 급격히 감소한다. 또한 고농도의 KOH는 전해액의 비용을 증가시키는 요인이 되며 전해액이 흐르는 셀의 구역이나 산화구역에 부식을 발생시킨다[13, 14] 따라서, 수전해에 적합한 농도를 찾는 것이 중요하며 AEMWEC에서 적합한 KOH 전해액의 농도는 0.5 M이다.

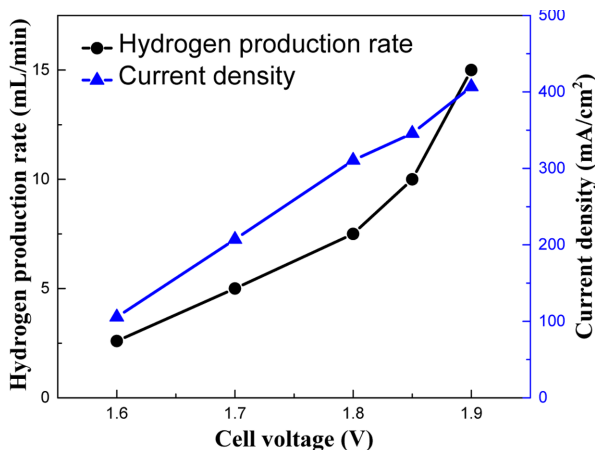


Fig. 6. The hydrogen production rate and current density with different cell voltage at 45°C, 0.5 M KOH solution.

그림 6은 본 연구의 최적화된 조건을 적용하여 음이온 교환막 수전해 단위 셀을 제작 후, 전압에 따른 전류밀도와 수소발생량(hydrogen production rate, HPR)을 측정 한 결과이며, 실험조건은 다음과 같다. AEM은 PK75, GDL의 밀도는 산화와 환원 구역 모두  $1.8 \text{ g/cm}^3$ , 전해액은 0.5 M의 KOH이며 45°C에서 1.6, 1.7, 1.8, 1.85, 1.9 V에서 정전위 측정을 하여 전류밀도와 HPR을 측정하였다. 전압증가에 따라 전류밀도는 선형으로 증가하고 있고, 1.85 V에서 전류밀도  $345.8 \text{ mA/cm}^2$ 의 값을 나타내었다. 마찬가지로 HPR도 전압에 비례하여 증가하여 1.85 V에서 분당 약 10 mL의 수소를 생산하였다. 인가 전압 1.85 V에서 전류는 1.67 A이며 실제 수소발생량은 시간 당 약 837 mL이며, 약 80%의 효율을 기록하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 음이온 교환막을 이용한 알칼리 수전해 단위 셀의 구성 항목의 조건 및 운전 조건에 따른 성능 및 내구성에 대한 영향을 분석하였다. PEEK로 강화된 두께  $75 \mu\text{m}$ 인 PK75음이온 교환막이 비교적 우수한 성능 및 효율을 보이며 장기 안정성 테스트에서도 충분한 내구성을 보였으며 최적의 GDL 밀도는 산화와 환원 구역의 GDL 모두 약  $1.8 \text{ g/cm}^3$ 임을 확인하였다. 전해액 온도가 증가할수록 단위셀의 전류밀도는 비례하여 증가하였고 과전압은 감소하였지만, 전해액의 높은 온도는 장기적인 수전해의 운전 면에서 볼 때 안정성이 크게 떨어뜨리며, 0.5 M 전해액에서 가장 높은 활성을 보여주었다. 셀의 구성요소 및 운전 조건 최적화를

통해서 1.85 V에서 수소발생량은 약 837 mL/h이었고, 수소발생효율은 약 80% 였다.

#### Acknowledgment

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20143010031770).

#### References

- [1] G. W. Crabtree, M. S. Dresselhaus, M. V. Buchanan, The hydrogen economy, *Phys Today.*, 57 (2004) 39-44.
- [2] A. Filpi, M. Boccia, H. Gasteiger, Pt-free cathode catalyst performance in  $\text{H}_2/\text{O}_2$  anion-exchange membrane fuel cells (AMFCs), *ECS Transactions.*, 16 (2008) 1835-1845.
- [3] M. Faraj, E. Elia, M. Boccia, A. Filpi, A. Pucci, F. Ciardelli, New anion conducting membranes based on functionalized styrene-butadiene-styrene triblock copolymer for fuel cells applications, *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry.*, 49 (2011) 3437-3447.
- [4] M. Piana, M. Boccia, A. Filpi, E. Flammia, H. A. Miller, M. Orsini, F. Salusti, S. Santuccioli, F. Ciardelli, A. Pucci,  $\text{H}_2/\text{air}$  alkaline membrane fuel cell performance and durability, using novel ionomer and non-platinum group metal cathode catalyst, *J Power Sources.*, 195 (2010) 5875-5881.
- [5] Y. Leng, G. Chen, A. J. Mendoza, T. B. Tighe, M. A. Hickner, C. Wang, Solid-state water electrolysis with an alkaline membrane, *J Am Chem Soc.*, 134 (2012) 9054-9057.
- [6] C. C. Pavel, F. Cecconi, C. Emiliani, S. Santuccioli, A. Scaffidi, S. Catanorchi, M. Comotti, Highly Efficient Platinum Group Metal Free Based Membrane-Electrode Assembly for Anion Exchange Membrane Water Electrolysis, *Angewandte Chemie.* 126 (2014) 1402-1405.
- [7] Thomas S, Visakh P. *Handbook of Engineering and Speciality Thermoplastics: Volume 3: Polyethers and Polyesters*, First Ed, Wiley-Scrivener (2011) 55.
- [8] S. Marini, P. Salvi, P. Nelli, R. Pesenti, M. Villa, M. Berrettoni, G. Zangari, Y. Kiros, Advanced alkaline water electrolysis, *Electrochim Acta.*, 82 (2012) 384-391.
- [9] S. Chempath, J. M. Boncella, L. R. Pratt, N. Henson, B. S. Pivovar, Density functional theory study of degradation of tetraalkylammonium hydroxides, *The Journal of Physical Chemistry C.*, 114 (2010) 11977-11983.

- [10] K. S. Moon, D. W. Park, The characteristics of hydrogen production according to electrode materials in alkaline water electrolysis, *Journal of Energy Engineering.*, 24 (2015) 34-39.
- [11] H. S. Choi, D. S. Yim, C. H. Rhyu, J. C Kim, G. J. Hwang, Study on the Electrode Characteristics for the Alkaline Water Electrolysis, *Trans. of the Korean Hydrogen & New Energy Society.*, 23 (2012) 117-124.
- [12] A. Appleby, G. Crepy, J. Jacquelin, High efficiency water electrolysis in alkaline solution, *Int J Hydrogen Energy.*, 3 (1978) 21-37.
- [13] S. Adhikari, J. Ai, K. R. Hebert, K. Ho, C. Wang, Hydrogen in aluminum during alkaline corrosion, *Electrochim Acta.*, 55 (2010) 5326-5331.
- [14] M. Pourbaix, *Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions*, First Ed, Pergamon Press, Oxford (1966), 312.