論文 J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 41(10), 788-795(2013)
DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.10.788

무인기용 경량 PEM 연료전지 스택용 마그네슘 분리판의 성능평가

박토순*, 오지현*, 류태규*, 권세진**

Performance Evaluation of Magnesium Bipolar Plate in Lightweight PEM Fuel Cell Stack for UAV

To-Soon Park*, Ji-Hyun Oh*, Tae-kyu Ryu* and Se-Jin Kwon**
Agency for Defense Development*, Korea Advanced Institute of Science and Technology**

ABSTRACT

A magnesium bipolar plate whose surface was protected by thinly deposited silver layer was investigated as an alternative to existing graphite bipolar plate of PEM fuel cells. Thin silver layer of 3 μm was deposited on a magnesium alloy substrate by physical vapor deposition (PVD) method in an environment of 180 ℃. A number of tests were conducted on the fabricated magnesium based bipolar plates to determine their suitability for use in PEM fuel cell stacks. The test on corrosion resistance in the same pH condition as in a PEM operation demonstrated the layer protected the magnesium alloy substrate, while unprotected substrate suffered from severe corrosion. The contact resistance of the fabricated bipolar plate was less than 20 mΩ-cm^2 which was superior to the conventional bipolar plates. A single cell was constructed using the fabricated bipolar plates and power output was measured. Due to the enhanced conductivity caused by low contact resistance, slight increase was observed in current density and output voltage. With low density of the magnesium substrate and ease on machining, the weight reduction of the stack of 30 ~ 40 % is possible to produce the same power output.

초 록

표면에 얇은 은(Ag)층이 증착된 마그네슘 분리판을 PEM 연료전지의 그라파이트 분리판의 대체 재질로 검토하였다. 180 ℃의 온도 환경에서 마그네슘 모재 표면에 3 μm의 얇은 은층을 물리적 증착방법(PVD)을 이용하여 증착하였다. 제작된 마그네슘 분리판을 대상으로 PEM 연료전지 스택 적용 가능성을 확인하기 위하여 다수의 실험을 수행하였다. PEM 연료전지의 동작환경과 동일한 pH에서의 부식실험을 통하여 보호막이 형성된 마그네슘 분리판은 부식으로부터 모재를 적절히 보호하였지만 보호막이 형성되지 않은 경우 심각한 부식이 발생됨을 확인하였다. 제작된 마그네슘 분리판의 접촉저항은 20 mΩ-cm^{2}이하로 기존의 분리판 대비 우수한 성능을 보였다. 이러한 낮은 접촉저항으로 인하여 전기전도도가 개선되어 연료전지의 성능이 향상됨을 확인하였다. 마그네슘 모재의 낮은 밀도와 기계가공의 용이성 때문에 동일한 연료전지 스택의 출력을 기준으로 약 30~40 %의 중량절감이 가능한 것으로 판단되었다.

Key Words : PEM Fuel Cell(PEM 연료전지), Magnesium Alloy(마그네슘 합금), Bipolar Plate(분리판), Corrosion(부식), Silver sputtering(은 물리증착)

† Received: July 23, 2013 Accepted: September 23, 2013
* Corresponding author, E-mail : pts127@add.re.kr
http://journal.ksas.or.kr/
pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

Ⅰ. 서 론

PEM 연료전지는 수소와 산소의 화학적에너지를 직접 전기에너지로 변환시켜 부산물로 물만을 생산하는 친환경적인 에너지 시스템이다[1]. 양극에서는 수소의 산화 반응이 일어나고, 반면에 음극에서는 산소의 환원반응이 일어난다. PEM 연료전지는 단일전지 만으로는 약 0.6 ~ 0.7 V의 출력전압을 얻을 수 있기 때문에 분리판을 사이에 두고 다수의 단일전지가 적층되어야 요구되는 출력을 얻을 수 있고 다양하게 적용할 수 있게 된다.

연료전지용 분리판은 스택을 지지해주는 구조적 골격 역할을 한다. 스택 내의 단일전지 사이에서 전기를 모으는 집전판 역할을 하며, 전지 내부의 물 및 열의 배출통로 역할을 한다. 아울러, 전지 내부로 산소와 수소 등 반응가스를 공급하는 유로를 제공한다. PEM 연료전지 설계시 분리판은 주기적으로 반복 장착되는 품목이기 때문에 기계가공성이 매우 우수하고 적정한 비용으로 대량 자동생산이 가능한 재질로 제작되어야 한다. PEM 연료전지용 분리판은 일반적으로 Table 1에 요약한 바와 같이 미 에너지성(DOE)에서 제시하고 있는 기술적 목표를 기준으로 설계/제작을 하고 있다. 현재는 낮은 접촉저항과 우수한 부식저항 때문에 그라파이트와 그 합성재료가 주로 분리판 재질로 고려된다[2,3]. 그러나, 그라파이트와 그 합성재료는 깨지기 쉽고 반응가스의 투과율이 매우 높은 다공성물질 이다. 그러한 이유로 그라파이트 계열의 분리판을 대체하기 위하여 알루미늄, 스테인레스, 니켈, 티타늄등 금속분리판을 개발하고자하는 많은 연구가 수행되어 왔다[5-6]. 최근에는 정밀하고 초경량의 PEM 연료전지 스택의 개발에 상당한 관심이 집중되고 있다.

금속은 그라파이트 및 그 합성재료에 비하여 높은 기계적강도와 충격과 진동에 대한 우수한 내구성, 제로 기체투과율, 탁월한 기계가공성을 지닌다. 금속의 낮은 밀도 때문에 그라파이트 보다 가볍다[2]. 귀금속과 같은 내부식성이 뛰어난 금속과[4] 스테인레스, 티타늄 등이 주로 분리판 후보 재질로 검토되어 왔다[7-8]. 그렇지만, 이들 금속들은 밀도가 높아 무겁기 때문에 이동식 초경량 PEM 연료전지 스택에는 적절하지 않다. 따라서, 본 연구에서는 알루미늄, 마그네슘 및 베릴륨 등을 경량 PEM 연료전지 분리판용 후보 재질로 검토하였고, 이들 중 베릴륨은 부식에 취약하고 유독성 물질이기 때문에 제외하였다.

Table 1. Requirements of Bipolar Plates

항목구분	요구조건
가격	2010년 : 5$/kW, 2015년 3$/kW
중량	< 0.4 kg/kW
수소 침투율	$<2\times10^{-6} cm^3 cm^{-2} \sec$
부식전류	< 16 $\mu A/cm^2$ @ 0.9V vs. SHE
전기전도도	>100 S/cm
접촉저항	<20 Ωcm^2 @ 140 N/cm^2
기계적 강도	>25 MPa

이들 물질을 PEM 연료전지 분리판으로 적용하기 위해서는 부식방지를 위한 표면처리가 필수적이다. 본연구에서는 PEM 연료전지 분리판 재질로 상용 금속중 밀도가 가장 낮은 금속중 하나인 마그네슘을 선정하였고, 스퍼터링을 이용하여 표면에 은을 증착하였다. 제작된 시편을 대상으로 분리판 재질로서의 적용 가능성을 확인하기 위하여 다양한 성능실험을 수행하였다.

Ⅱ. 마그네슘 분리판의 제작 및 성능실험

2.1 마그네슘 분리판의 제작

시편 재질의 선정시 초경량화를 위한 재질의 밀도와 급속한 화학반응 등 심각한 부작용등을 고려하여 재질을 선정하였다. 마그네슘은 상용 금속 중 밀도가 가장 낮은 금속중 하나이기 때문에 분리판 적용성 입증시 PEM 연료전지 스택의 경량화를 위해서는 최고의 대안 중의 하나이다. 또한, 마그네슘은 농도가 진한 강산 용액에 접할 경우나 고온에서 급속한 화학반응에 따라 수소의 발생량이 한도를 초과할 경우 대기중 산소와 접하면 폭발할 가능성이 있기 때문에 항공우주용 부품등에 적용이 제한되어 왔다. 그러나, 이러한 현상은 순수 마그네슘의 특성이며, 본 연구에서는 pH 2-4의 산성 환경, 60 ~ 100℃의 저온에서 동작하는 PEM 연료전지의 동작환경을 고려하여 고온, 고압 환경이 아니기 때문에 부식 활성에 의한 수소의 축적이 미미하기 때문에 폭발 가능성이 거의 없는 AZ31B 마그네슘 합금을 본 연구의 시편 재질로 선정하였다.

성능평가를 위하여 외곽 크기가 44 mm X 44 mm인 마그네슘을 포함한 분리판 후보물질의 시편을 제작하였다. 또한, 실험결과 비교를 위하여 보조 재질로 알루미늄, 그라파이트 재질을 이용하여 동일 규격의 시편을 제작하였다. 반응가스

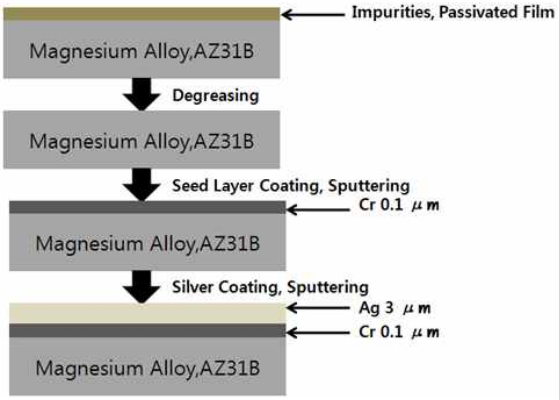


Fig. 1. Surface Treatment Procedure of the Magnesium Bipolar Plate

공급을 위한 유로는 단일 사형(serpentine)으로 제작하였다. 아울러, 유로의 폭과 깊이는 0.5 mm로 동일하게 제작하였다.

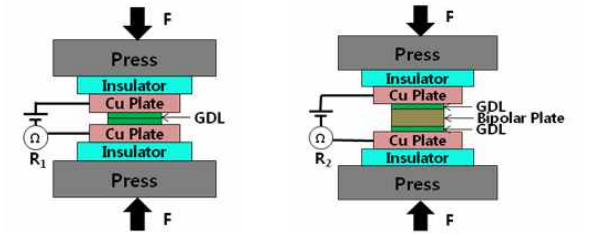
가공된 분리판은 표면에 부착된 이물질, 기름, 산화피막 등의 제거를 위하여 IPA(Iso-propyl alcohol), 아세톤 등을 이용하여 선처리를 수행하였다. 그다음 부식방지를 위하여 물리적증착방법(PVD) 중 스퍼터링을 이용하여 표면처리를 수행하였다(Fig. 1). 마그네슘 분리판 표면에 은을 증착하기 위하여 UTECH 사의 SPS-100 스퍼터를 사용하였다. 증착률은 0.1428 μm/min이었으며, 약 21분간 코팅층을 형성하였다. 이때 스퍼터 내부 온도는 180 ℃였고, 증착 두께는 3 μm이었다.

2.2 성능실험 및 평가

낮은 밀도, 높은 전기전도도와 정밀가공의 용이성 때문에 본연구에서는 마그네슘 합금을 분리판 재질로 선정하였다. 마그네슘은 분리판 재질로써 이러한 많은 장점을 지니고 있음에도 강한 산성환경에서 부식에 매우 취약하기 때문에 연구사례는 매우 드물다. 그러나, 부식은 표면의 화학반응이기 때문에 표면에 적절한 보호 코팅등을 하면 방지가 가능하다. 기존의 전해도금이나 무전해 도금 등은 마그네슘이 강산성의 도금 전해액에서 활성도가 매우 높기 때문에 적용이 거의 불가능하다. 도금 과정에서의 부식진행을 방지하기 위하여 본 연구에서는 물리적 증착방법 중 스퍼터링을 사용하여 마그네슘 표면에 은을 증착하였다[9-11].

2.2.1 동전위 분극실험

은코팅 마그네슘, 무코팅 마그네슘, 알루미늄, 그라파이트 등 분리판 후보 재질과 은, 구리, 니켈 등과 같은 코팅 후보물질 등 다양한 물질을 대상으로 동전위 분극실험을 수행하였다. 모든



(a)Removal of Bipolar Plate (b)Inclusion of Bipolar Plate

Fig. 2. Conceptual Diagram of Contact Resistance Measurement

실험은 안정화된 pH 3의 황산(H_2SO_4)용액에서 25℃의 환경에서 수행 하였다. 기존의 3전극 시스템을 사용하였고[12] 대항전극으로는 백금 박판을 사용하였으며 기준전극으로는 포화 캘로멜(calomel) 전극을 사용하였다. 모든 전극의 전위는 기준전극에 모아져 비교하며 전용 소프트웨어에 의하여 분극저항 곡선이 얻어진다. 영국 Solartron사의 4700 정전위계를 이용하였으며 약 5분 동안 개방회로전압(OCV)에서 안정화시킨 다음 주사율(scan rate)이 1 mV/s로 개방회로전압(OCV)에서부터 양극(anode)쪽 전위쪽으로 데이터를 기록하였다.

2.2.2 접촉저항 측정

Figure 2에 나타낸 바와 같은 실험방법을 사용하여 다양한 분리판 재질과 기체확산층 사이의 접촉저항(contact resistance)를 측정하였다.

실험 목적은 낮은 접촉저항과 높은 부식저항을 갖는 분리판 재질을 선정하기 위하여 실시하였다[13-14]. 장치는 프레스, 압력게이지 등과 연동된 Faraday 계측박스와 자료처리장치 등으로 구성되어 있는 Hyundai EE사의 HSVP-050U를 이용하여 0 ~ 10 bar까지 압축력을 변화시키면서 접촉저항을 측정하였다. 분리판 재질의 접촉저항은 전용 소프트웨어에 의하여 후보 시편이 포함된 총 저항에서 후보 시편을 제거한 후의 총 저항을 뺀 값으로 계산하여 표시하도록 하였다.

2.2.3 접촉각 측정

분리판 표면의 젖음성(wettability)를 측정하기 위하여 코팅 전.후 마그네슘 분리판을 대상으로 표면의 접촉각을 측정하였고 표면에너지를 계산하였다. 이때, 고착식 액적방법(sessible drop method)가 적용되었으며, SEO 사의 Phoenix 300 Goniometer를 사용하였다[15-17].

2.2.4 단일전지의 성능 및 내구성 시험

코팅 전 · 후의 마그네슘, 알루미늄, 그라파이트 등과 같은 4종류의 분리판 시편을 사용하여

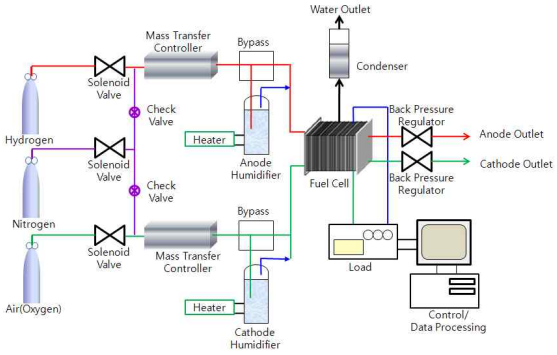


Fig. 3. Test Setup of PEM Fuel Cell

단전지를 제작하였다. 고분자전해질 전극막조립체(MEA)는 미국 Paxitech.사가 제작한 50 μm 두께의 Naffion 112기반 5층 제품을 사용하였고, 음극 및 양극 모두 촉매 담지량이 0.5 mg Pt/cm^{2}이었다. 반응가스의 누출을 최소화하기 위하여 EPDM 고무재질을 가스켓으로 사용하였다.

본 실험에는 Fuel Cell Technology사의 FCT-TS300 장비를 사용하였다. Fig. 3에 표시한 바와 같이 각각의 반응 가스들이 압력조절기를 이용하여 설정된 값으로 조절되어 수소의 경우 150 ccm, 공기의 경우 600 ccm으로 연료전지에 공급된다. 그리고 양극 및 음극 반응가스의 상대습도는 100 %가 되도록 사전 설정하였고, 측정은 25 ℃에서 1초 간격으로 셀 전류를 0.1 암페어씩 증가시키면서 성능 및 8시간의 내구성 시험을 수행하였다.

아울러, 은코팅 마그네슘의 내구성을 확인하기 위하여 3개의 단전지를 직렬로 적층한 스택을 제작하여 성능 및 8시간의 내구성을 확인하였다.

III. 결과 및 토의

3.1 코팅 표면의 검사 및 평가

잘 알려진 바와 같이 금속분리판은 PEM 연료전지의 동작환경과 같은 강한 산성환경에서 부식에 매우 취약하기 때문에 분리판 재질로 사용하기 위해서는 적절한 보호 표면처리가 필수적이다. 물리적증착방법(PVD), 화학적증착방법(CVD), 전해 및 무전해 도금방법 등 다양한 표면처리 방법이 있으나 본 연구에서는 전해 및 무전해 도금시 발생 가능한 부식의 선재 공격과 유독가스의 반응을 이용하는 화학적증착방법(CVD) 보다는 물리적증착방법(PVD)중 스퍼터링을 택하여 표면처리를 수행하였다.

Figure 4는 은코팅 마그네슘 분리판의 X-선 회절 성분검사(XRD) 결과를 보여준다. 특히, 표면의 성분은 거의 대부분 은성분이 검출되었고 산화마그네슘 및 기타 부식성분은 발견되지 않았다. 피크 중 Cr성분의 검출은 모재 표면의 특정 미세부위에서 불균일한 코팅층이 형성되면서 시드레어의 크롬성분이 약간 섞인 결과로 판단된다.

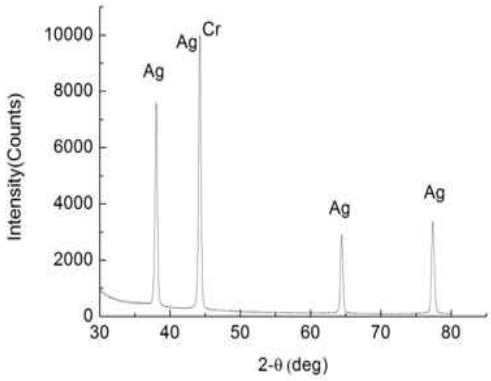


Fig. 4. XRD Result of Coating Surface

따라서, 본연구의 코팅 조건 및 선정된 코팅물질은 PEM 연료전지 동작조건과 유사한 산성환경에서 산화마그네슘을 포함한 부식성분의 생성을 방지하여 마그네슘 모재를 적절히 보호할 수 있음을 확인하였다.

3.2 마그네슘 분리판의 내부식성 평가

금속의 내부식성은 부식전류가 감소할수록, 부식전위가 증가할수록 증가된다.

Figure 5는 PEM 연료전지의 동작환경과 유사한 pH 3의 산성 환경에서 은, 구리, 니켈 등 코팅 후보물질에 대한 동전위 분극실험결과를 표시하고 있으며, Fig. 6은 코팅 전.후 마그네슘, 알루미늄, 그라파이트 등 분리판 후보재질의 동전위 분극실험결과를 표시하고 있다.

은, 구리, 니켈의 부식전류는 각각 0.023, 1.58, 0.25 μA/cm^{2}였으며, 코팅 전.후 마그네슘, 알루미늄, 그라파이트의 부식전류는 각각 0.316, 31.7, 3.3, 0.183 μA/cm^{2}였다. 모든 코팅 물질은 미국 에너지성(DOE)의 기술적 목표값인 수소의 퍼징 조건에서 16 μA/cm^2 이하였고, 무코팅 마그네슘 분리판을 제외하고는 모든 분리판 재질이 목표값을 만족하였다.

코팅물질의 경우 본 연구에서 사용한 pH 3의 환경에서 부식전류가 가장 낮고 부식전위는 가장 높게 나타나므로 내산성 및 내부식성이 가장 높은 것을 알 수 있다. 특히, 코팅 후 마그네슘 분

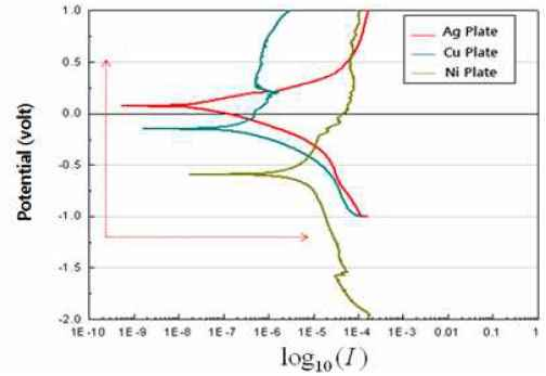


Fig. 5. Potentiodynamic PolarizationTest Result of Coating Materials in pH 3 Sulfuric Acid Solution at 25℃

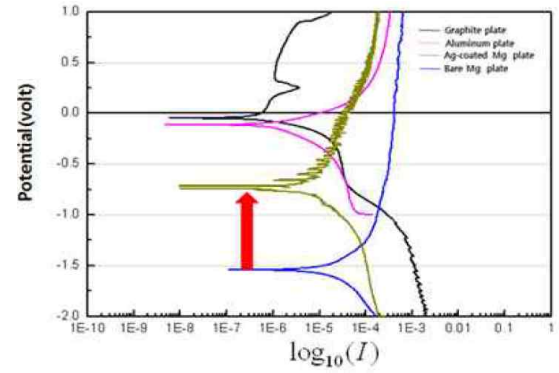


Fig. 6. Potentiodynamic PolarizationTest Result of Bipolar Platge Materials in pH 3 Sulfuric Acid Solution at 25℃

리판의 내부식성은 무코팅 마그네슘 분리판에 비하여 부식전류가 약 20배 낮아지므로 내부식성은 20배 정도 향상됨을 확인하였다.

3.3 마그네슘 분리판의 접촉저항 측정 및 평가

1 ~ 10 bar의 압축력 범위에서 2 bar씩 증가시키면서 분리판 후보재질별 접촉저항을 측정하여

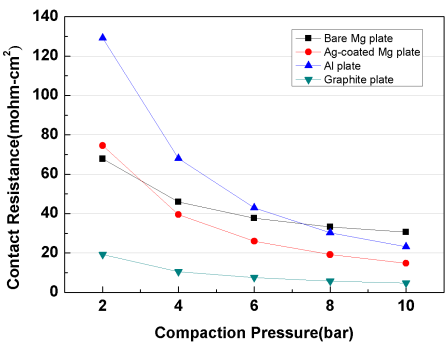
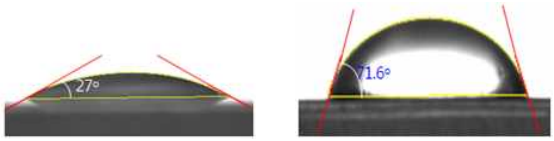


Fig. 7. Contact Resistance of the Selected Bipolar Plate Materials



(a) Bare Magnesium (b) Ag-coated Magnesium

Fig. 8. Contact Angle of Magnesium Plate

Fig. 7에 표시하였다. 다른 후보 재질에 비하여 그라파이트의 접촉저항이 가장 낮게 나타났으며, 약 8 bar 이하의 체결압에서 그라파이트 보다 현저히 높은 접촉저항 값이 8 bar 이상에서 알루미늄 및 무코팅 마그네슘을 제외한 모든 시편에서 급격히 감소하여 미 에너지성 목표값인 20 mΩ-cm^2이하의 값을 보였다. 이를 통하여 적절한 부식방지 코팅 후 마그네슘 분리판은 PEM 연료전지에 적용 가능함을 확인하였다.

3.4 마그네슘 분리판의 젖음성 측정 및 평가

Figure 8에 나타낸 것과 같이 무코팅 마그네슘의 접촉각은 27°로 매우 높은 친수성(hydrophilic)을 지님을 알 수 있으며, 반면, 은코팅 후 마그네슘 붙리판 표면의 접촉각은 71.6°로 약 2.5배 커져 소수성(hydrophobic)이 현저히 커졌음을 알 수 있다. 아울러, Young-Dupre 식에 따라 측정된 접촉각을 기반으로 표면에너지를 계산하면, 무코팅 마그네슘의 경우 137.36 J, 은코팅 후는 95.72 J로 현저하게 낮아짐을 알 수 있었다.

이를 통하여 금속 표면이 소수성을 띨수록 표면에너지가 낮아지고 접촉각이 커지며, 스택 내부에서 생성되는 물의 효율적인 배출을 통한 물넘침(flooding)의 최소화 또는 방지가 가능함을 암시하고 있다.

3.5 단전지의 성능 및 단기 내구성 평가

Figure 9에 나타낸 것과 같이 마그네슘 분리판을 이용한 단전지의 성능곡선은 전형적인 형태를 보였다. 저전류 영역에서의 전력밀도는 초기에는 급격히 떨어지는데 이는 초기 활성화 단계에서 공급 유량 대비 소모유량이 적기 때문에 발생되는 것으로 사료되며, 이후 안정화 단계에서는 내부 전기적 저항이 지배적인 상태에서 거의 선형적으로 감소하였다. 50 mA/cm^2이상의 고전류 영역에서의 전력밀도는 전지의 동작온도 증가 등에 따라 반응가스 내의 수분 함량이 증가하여 농도의 감소에 따른 손실 때문에 큰폭으로 낮아졌다. 다양한 분리판 재질별 단전지 성능은 은코팅 마그네슘이 거장 높게 나타났으며, 특히, 무코팅

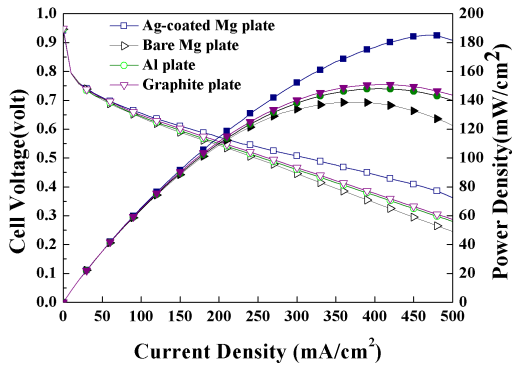


Fig. 9. Performance of Single Cells Assembled by the Selected Bipolar plates

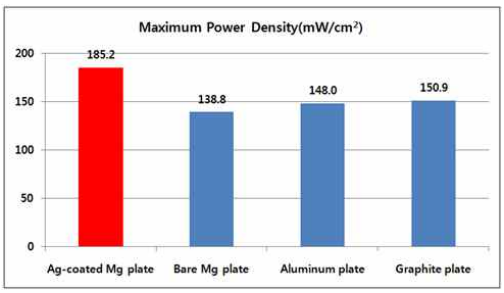


Fig. 10. Maximum Power Density for the Selected Bipolar plates

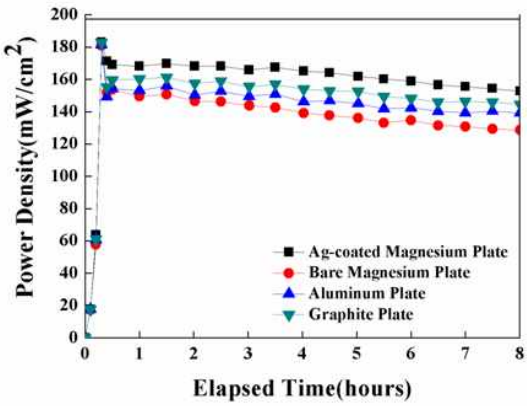


Fig. 11. Short Durability Test Result of Single Cells for the Selected Bipolar plates

마그네슘 분리판 대비 전력밀도가 약 32 %, 그라파이트 분리판 대비 약 23 % 향상됨을 확인하였다(Fig. 10).

Figure 11은 다양한 분리판 시편을 대상으로 수행한 8시간의 단기(short duration) 내구성시험 결과를 나타내고 있다. 은코팅 마그네슘 분리판을 이용한 단전지 성능은 다른 재질에 비하여 시험 기간 동안 훨씬 우수한 전력밀도를 유지하였다. 반면, 무코팅 마그네슘 분리판을 이용한 경우 전력밀도가 다른 후보 시편에 비하여 지속적으로 감소하였으며, 그라파이트와 알루미늄의 경우 거의 일정한 수준으로 유지함을 확인하였다. 이는 마그네슘 분리판의 경우 표면에 부식방지용 표면처리를 하지 않을 경우 PEM 연료전지의 동작환경과 유사한 산성 환경에서 부식 등에 따른 내구성이 큰폭으로 증가함을 암시하고 있다.

따라서, 마그네슘 분리판에 얇은 은층을 증착함에 따라 부식저항을 획기적으로 개선하여 연료전지의 성능을 현저하게 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한, 본 연구를 바탕으로 장기(long duration) 내구성시험을 통하여 은코팅 마그네슘 분리판의 PEM 연료전지 적용 가능성을 확인할 필요성을 확인하였다.

3.6 3-셀 스택의 성능 및 단기 내구성 평가

본 연구에서는 마그네슘 분리판의 은코팅 효과를 추가로 확인하기 위하여 3-셀 스택을 제작하여 성능 및 단기 내구성 평가를 실시하였다. 성능 및 내구성시험은 단전지와 동일 장비를 사용하였으며 8시간 동안 10분 간격으로 전압-전류 곡선의 변화를 측정하였다. Fig. 12에 표시

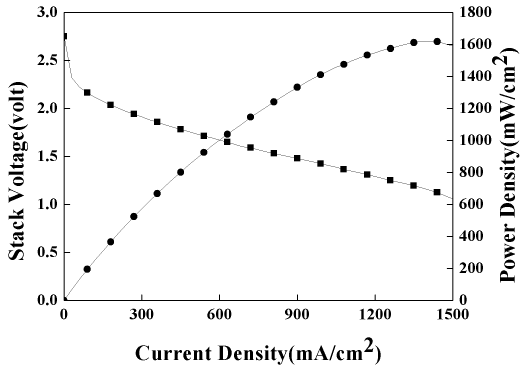


Fig. 12. I-V Performance of 3-cell Stack

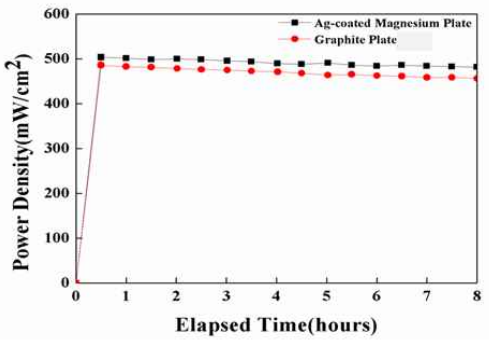


Fig. 13. Short Durability Test Result of 3-cell Stack

Table 2. Weight Comparison for the Selected Bipolar Plates

재질구분	밀도 (kg/m^3)	두께 (mm)	중량 (g)	wt %
마그네슘	1.77	2	6.18	46
알루미늄	2.82	2	9.85	74
그라파이트	1.92	3	10.97	100

Table 3. Weight Estimation and Comparison of the Magnesium Stack

스택 구분	출력 (W)	Cell number	중량 (kg)
H-200(상용)	200	35	1.38
마그네슘	200	106	1.04(추정)
그라파이트	200	106	2.52(추정)

함 바와 같이 3-셀 스택의 전압-전류 성능곡선은 단전지와 마찬가지로 전형적인 형태를 보였다. 또한, Fig. 13은 외부 전압을 +0.4 V로 고정하고 8시간 동안 실시한 3-셀 스택의 내구성 시험결과를 표시하고 있다. 저전류 영역에서는 전력밀도가 급격히 상승하여 안정화된 후 평균 534.4 mW/cm^2을 유지하면서 조금씩 감소함을 보였다. 이러한 현상은 유사 조건에서의 일부 연구사례에 [18-19]에서와 거의 비슷한 경향을 보였으며, 그라파이트 분리판에 대한 유사 연구결과를 이용하여 경향을 비교한 결과 은코팅 마그네슘 분리판이 우수한 성능을 보였다.

3.7 경량화 비교

본 연구에서 선택한 분리판 재질별 시편의 실중량을 측정하여 Table 2에 요약하였다. 마그네슘 분리판은 알루미늄 보다 약 37 %, 그라파이트 보다 약 54% 가벼움을 알 수 있었다.

또한, 마그네슘 분리판으로 스택을 제작할 경우의 경량화 정도를 비교하기 위하여 200 W급 Horion사의 H-200 상용 스택을 기준으로 본 연구에서 제작된 마그네슘, 그라파이트 스택의 중량을 예측하여 비교하여 Table 3에 표시하였다. 본 연구에서 제작된 분리판의 규격사양이 기존의 상용스택과 다르기 때문에 대부분 유사한 동작조건에서 동일 출력을 얻도록 분리판의 반응면적을 스케일링하는 방법을 사용하였다. Horizon사의 H-200 스택은 35셀을 적층하여 200W를 내고 있으나 본 연구에서 제작된 마그네슘 분리판은 반응면적이 32 mm X 32 mm이므로 최소 106셀을 적층해야 한다. 이를 기준으로 계산결과를 비교하면 마그네슘 스택은 H-200 스택보다 22.7 %, 3 mm두께의 그라파이트 분리판을 사용한 스택보다 58.7 % 가벼운 스택제작이 가능함을 확인할 수 있었다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 물리적증착방법(PVD) 중 스퍼터링을 이용하여 얇은 은층을 증착한 마그네슘 분리판과 비교용 시편을 제작하였다. 이를 바탕으로 경량 PEM 연료전지 제작시 적용가능성을 확인하기 위하여 재질별 동전위 분극실험, 접촉저항 측정실험, 접촉각 측정실험, 단전지 성능 및 내구성시험, 은코팅 마그네슘 분리판을 이용한 3-셀 스택의 성능 및 단기 내구성시험을 수행하였다.

PEM 연료전지의 동작환경을 모사한 pH 3의 황산용액에서 은코팅 마그네슘 분리판 무코팅 마그네슘 분리판에 비하여 내부식성이 100배 향상됨을 확인하였으며, 접촉저항 실험결과 그라파이트를 제외하고는 체결압이 증가할수록 급격히 감소하여 미 에너지성(DOE)의 기술적 목표값인 20 $m\Omega\text{-}cm^2$ 이하를 만족함을 확인하였다. 아울러, 마그네슘 분리판은 코팅 후 접촉각이 2.5배 증가하여 매우 높은 친수성이 소수성으로 변화됨을 확인하였다. 또한, 마그네슘을 비롯한 알루미늄, 그라파이트 등 분리판 재질별 단전지 성능 및 8시간의 단기 내구성 시험결과 은코팅 마그네슘 분리판이 월등한 성능을 보였다. 더불어, 은코팅 후 마그네슘 분리판의 추가적인 내구성을 확인하기 위한 3-셀 스택의 성능 및 8시간의 단기 내구성 시험결과 유사조건에서의 문헌조사에서 확인한 그라파이트 실험 데이터와 비교할 때 훨씬 높은 전력밀도를 유지함을 확인하였다.

향후 마그네슘 분리판을 무인기용 경량 PEM 연료전지 스택에 적용하기 위해서는 수백에서 수천 W급 스택을 제작하여 장기적인 내구성을 추가적으로 확인할 필요가 있으며, 분리판의 표면처리를 위한 표준절차 개발이 선행되어야 한다. 또한, 연료전지의 작동 온도를 적정 수준에서 제어하고 스택의 물 넘침(flooding) 현상 등을 효과적으로 제거할 수 있도록 는 방안이 모색되어야 한다. 더불어, 분리판의 경량화 뿐만아니라 수소공급방법 개선, 가스 공급장치 및 가습장치를 동시에 경량화 할 필요가 있다.

후 기

이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구결과임(No.

R0A-2007-000-20065-0)

References

1) K. Joon, (1998), Fuel cells – a 21st century power system, Journal of Power Sources, 71, pp 12-18

2) V. Metha, J.S. Cooper, (2003), Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing, Journal of Power Sources, 114, pp 32-53

3) P.L. Hetall, J.B. Lakeman, G.O. Mepated, P.L. Adcock, J.M. Moor, (1999), New materials for polymer electrolyte membrane fuel cell current collectors, Journal of Power Sources, 80, pp 235-241

4) J. Wind, R. Spah, W. Kaiser, G. Bohm, (2002), Metallic bipolar plates for PEM fuel cells, J. Power Sources, 105, pp 256–260.

5) Allen Hermann, Tapas Chaudhuri, Priscila Spagnol, (2005), Bipolar plates for PEM fuel cells : A review, Int. J. Hydrogen Energy, 30, pp 1297–1302.

6) H. Wang, M.A. Sweikart, J.A. Turner, (2003), Stainless steel as bipolar plate material for polymer electrolyte membrane fuel cells, Journal of Power Sources, 115, pp 243-251

7) J.E. Gray, B. Luan, (2002), Protective coatings on magnesium and its alloys-a critical review, Journal of Alloys and Compounds 336, pp 88-113

8) A.S. Woodman, E.B. Anderson, K.D. Jayne, and M.C. Kimble, (1999), Development of Corrosion-Resistant Coatings for Fuel Cell Bipolar Plates, American Electroplaters and Surface Finishers Society, AESF SUR/FIN '99 Proceedings, 6/21-24.

9) Georg Reiners, Michael Griepentrog, (1995), Hard coatings on magnesium alloys by sputter deposition using a pulsed d.c. bias voltage, Surface and coatings Technology, 76-77, pp 809-814

10) F. Hollstein, R. Wiedemann, J. Scholz, (2003), Characteristics of PVD-coatings on AZ31hp magnesium alloys, Surface and coatings Technology, 162, pp 261-286

11) P. Hones, M. Diserens, F. Levy, (1999), Characterization of sputter-deposited chromium oxide thin films, Surface and Coatings Technology, 120-121, pp 277-283

12) Yue Hung, (2008), Performance Evaluation and Characterization of Metallic Bipolar Plates in a Proton Exchange Membrane(PEM) Fuel Cell, PhD Thesis, Stoney Brook University, pp 10-11

13) D.P. Davies, P.L. Adcock, M. Turpin and S.J. Rowen, (2000), Bipolar plate materials for solid polymer fuel cells, J. Applied Electrochemistry, 30, pp 101-105

14) Y. Wang and D.O. Northwood, (2007), Effects of O2 and H2 on the corrosion of SS316L metallic bipolar plate materials in simulated anode and cathode environments of PEM fuel cells, Electrochimica Acta, vol. 52, no. 24, pp 6793-6798

15) Gullaume Lamour et al., Contact Angle Measurements Using a Simplified Experimental Setup, Journal of Chemical Education, vol. 87, No. 12, pp 1403-1407

16) J. Ihonen, F. Jaouen, G. Lindberg, G. Sundholm, (2001), A novel polymer electrolyte fuel cell for laboratory investigation and in-situ contact resistance measurements, Electrochimica Acta, 46, pp 2899-2911

17) D.P. Subedi, (2011), "Contact Angle Measurement for The Surface Characterization of Solids", the Himalayan Physics vol Ⅱ, pp 1-4(deepaksubedi2001@yahoo.com)

18) Po-Chang Lin, Benhamin Y. Park, Marc J. Madou, (2008), Development and Characterization of a miniature PEM fuel cell stack with carbon bipolar plates, Journal of power sources, 176, pp 207-214

19) R. Jiang, D. Chiu, (2001), Voltage-time behavior of a polymer electrolyte membrane fuel cell stack at constant current discharge, Journal of Power Sources, 92, pp 193-198