한국에너지공학회(1998년도)
추계 학술발표회 논문집p306-311

2kW 고분자 연료전지 스택 개발

전영갑, 김창수, 백동현, 정두환, 신동렬
한국에너지기술연구소

Fabrication of 2kW Polymer Electrolyte Fuel Cell Stack

Y.-G. Chun, C.-S. Kim, D.-H. Peck, D.H. Jung, D.R. Shin
Korea Institute of Energy Research

1. 서론

고분자 연료전지 (polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC))는 기존의 발전 방식에 비하여 효율이 높고 공해 물질의 방출이 거의 없이 에너지를 얻을 수 있는 새로운 형태의 발전 방식이다. 또한 다른 형태의 연료전지에 비하여 작동온도가 낮고 전력밀도가 높다는 장점이 있어 자동차나 잠수함 등의 수송용 전원과 가정 및 단위 건물 등의 정지형 발전에 응용하기 위한 개발과 연구가 활발히 진행되고 있다. PEMFC에 관한 연구 개발의 중요한 분야들로는 고성능 전극과 전해질막 개발, 전해질/전극 접합체(MEA) 제조기술 개발 및 가스유로를 포함한 스택구조 설계 등이 있다. 대부분의 kW급 PEMFC에는 200~300㎠ 정도의 전극면적이 요구되므로 kW급 스택의 제조를 위하여 대면적의 고성능 전극 및 MEA 제조와 그에 관련된 연구가 필요하다.

본 연구에서는 2kW 및 300W PEMFC 스택 및 대면적 MEA 제작 기술과 스택의 운전 특성에 관한 연구를 수행하였다. 또한 현재 시판 및 구입 가능한 전해질막으로 제작한 MEA의 단위전지 성능을 서로 비교 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 MEA 제조

전해질막은 3% H_2O_2 수용액으로 유기 불순물을 제거한 다음에 20% NaOH 수용액으로 처리하여 Na^+ 형태로 바꾸어서 MEA 제작에 사용하였다. 전극용 슬

러리는 5wt% NAFION 용액, 20wt% Pt/C 촉매와 글리세롤을 사용하여 제조하였다. 이 슬러리를 이형판에 코팅한 슬러리를 건조시켜서 전해질의 양면에 hot-pressing법으로 코팅층이 전해질막에 전사되도록 하였다. 전극의 백금함량은 0.2 mg Pt/㎠로 조절하였다. 이렇게 제조한 MEA는 0.5M H_2SO_4 용액으로 처리하여 사용하였다. 가스 확산층은 탄소천에 탄소분말과 PTFE 현수액을 섞은 슬러리를 코팅하여 방수처리하여 사용하였다.

2.2 성능 시험

1) 소형 단위전지

MEA 접합체를 전극 활성면적이 50㎠이고 유로가 S자형인 단위전지에 MEA를 장착하여 80℃의 온도에서 성능시험을 실시하였다. 수소와 산소는 전지에 공급되기 직전에 외부 가습기를 통과시켜 가습시켰다. 가습기의 온도는 수소가스의 경우 85℃, 산소가스의 경우 80℃로 유지하였다. 수소와 산소의 공급량은 각각 1.2 ℓ/min과 0.8 ℓ/min으로 일정하게 유지하였으며, 이들의 배출압은 1기압으로 유지하였다.

2) 대면적 단위전지

대면적 단위전지는 kW급 스택 제작에 그대로 적용할 수 있도록 냉각부와 내부가습기의 물이 동일한 유로를 따라 흐르고 전체는 전지부와 가습부로 구성되도록 하였다. 수소와 산소가스는 스택의 가습부에서 전해질막을 통해 투과되는 수증기로 포화되어 전지부에 공급되도록 하였다. 물은 반응열을 발생하는 전지부를 냉각시킨 후에 가습부에 도달하여 반응기체를 가습시킨다. 가스유로가 S자 형태이고 전극면적이 217㎠인 1종류와 300㎠인 2종류의 대면적 단위전지를 사용하였다. 전극면적이 300㎠인 단위전지는 각 유체 도입관들 사이의 기밀성이 좋도록 여러 가지 방법으로 설계하였다.

3) 스택 운전

대면적 단위전지의 구조를 그대로 확장하여 2kW과 300W 스택을 제작하여 운전하였다. 2kW 스택은 전극면적이 300㎠이며 직선형 유로인데 반해 300W스택은 전극면적이 50㎠이고 S자 형태의 유로이다. 2kW 스택을 운전하기 위해서 수소가스를 빠른 속도로 순환시킬 수 있고 산소가스는 소모되는 양만큼 공급되는 스택운전 설비를 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

그림1은 소형 단위전지에서 상용 MEA(GORE PRIMEA 6000)와 상용 전해질막(GORE-SELECT, NAFION 115)에 전사코팅법으로 전극을 코팅한 MEA들의 성능시험 결과를 보여준다. GORE MEA와 GORE 전해질막에 전사코팅한 MEA의 성능이 0.6V에서 1200mA/㎠로 거의 비슷함을 알 수 있다. 이와 같은 성능은 동일한 운전 조건에서 문헌에 보고된 GORE MEA의 성능과 비슷하고, 본 연구에서 실시한 전사코팅법에 의한 MEA 제조방법이 매우 유용한 것으로 판단된다. NAFION 115 전해질막으로 제조한 MEA는 0.6V에서 800mA/㎠ 이상의 성능을 보였으며 이는 같은 조건에서 다른 연구자들이 보고한 성능보다 우수한 값이다.

그림2는 여러 종류의 전해질막을 사용하여 전사코팅법으로 제작한 MEA들의 성능 시험 결과를 보여준다. 성능은 NAFION 115, HANWHA, DOW, FLEMION T, GORE-SELECT 막의 MEA 순으로 증가하였다. 이들 막의 두께는 각각 120㎛, 130㎛, 115㎛, 120㎛와 20㎛이었다. FLEMION T의 성능은 0.6V에서 950mA/㎠로 같은 두께인 NAFION 115의 성능보다 우수하였으며 DOW의 것과 비슷한 결과를 나타내었다. 여기서 주목할 점은 NAFION 115에 비해 국산 HANWHA 막이 약간 더 두꺼움에도 불구하고 0.6V에서 850mV/㎠의 보다 우수한 성능을 보인다는 것이다. 이는 지금까지 주로 사용하던 NAFION 115를 국산 HANWHA 전해질막으로 대체할 수 있는 가능성을 시사한다.

그림3은 MEA 제작시 취급이 용이한 두께의 HANWHA 전해질막을 선정하기 위하여 두께가 다른 HANWHA전해질막을 사용하여 제조한 MEA의 성능시험 한 결과를 보여준다. 전해질막의 두께가 170㎛, 130㎛, 70㎛로 감소함에 따라 MEA의 성능은 0.6V에서 750mV/㎠, 850mV/㎠, 910mV/㎠로 증가하였다. 두께가 얇아지더라도 MEA 제조는 가능하였으나 취급에 매우 세심한 주의가 필요하였다. 적당한 전해질막의 두께는 장시간 운전에 따른 전해질막의 내구성 시험 등을 통해 결정될 수 있을 것이다.

그림4는 전극면적이 다른 단위전지에서 NAFION 115로 제조한 MEA의 성능시험한 결과이다. 이때 수소와 산소의 유량은 각 부하에 필요한 정량에 수소는 약 1.2배, 산소는 약 2배로 조절하여 공급하였다. 전극면적이 넓은 단위전지의 성능이 전극면적 50㎠의 것에 비해 낮음을 알 수 있다. 전극면적이 217㎠인 단위전지 보다 300㎠인(A, B) 단위전지의 성능이 크게 향상되었다. 그리고 전극면

적 300㎠인 단위전지 A와 B의 성능은 0.5V에서 각각 750mV/㎠와 680mV/㎠로 A가 B보다 높은 성능을 나타내었다. 단위전지의 성능이 향상된 것은 넓은 유체 도입관 사이의 거리, 기밀성 향상과 수소와 산소의 적은 유로수 설계에 따른 유로 내 압력강하를 유발시킨 것에 기인하는 것으로 생각된다. 유로 내의 기압 강하는 반응 생성물인 물의 제거를 쉽게 하는 것으로 알려져 있다.

그림5는 전극면적 300㎠인 직선형 유로의 전극 30개로 구성된 2kW급 스택과 전극면적 50㎠인 S자형 유로의 전극 24개로 구성된 300W급 스택의 성능 시험 결과를 보여준다. 수소와 산소의 공급유량은 각 부하에 필요한 정량에 수소는 약 1.5배, 산소는 약 2배로 조절하였다. 300W급 스택은 약 25A(0.5A/㎠)일 때 전체 전압은 12.5V이고 단위셀 전압은 약 0.52V였으며, 2kW급 스택은 140A (0.46A/㎠)일 때 전체 전압은 16V이고 단위셀 전압은 약 0.53V이었다. 현재는 5kW 스택의 제작과 스택의 성능향상을 위한 스택내 유체관 사이의 기밀성 향상방안, 가스유로의 형상 및 유로수 등에 관한 연구를 진행하고 있다.

4. 결론

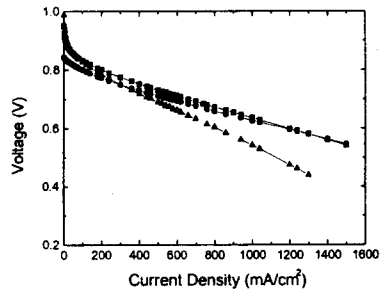
고분자 연료전지의 핵심 요소기술의 확보를 위하여 전사코팅법에 의한 MEA 제조기술을 개발하여 소형 단위전지 및 대면적 단위전지에서 성능을 평가하였으며 2kW스택에 적용 운전하였다. 상용 전해질막으로 제조한 MEA의 성능이 상용 MEA의 성능에 근접하였으며, 이러한 결과는 본 연구에서 실시한 전사코팅법에 의한 MEA 제조방법이 실제 kW급 고분자 연료전지 스택에 유용하게 적용할 수 있음을 알수 있었다. 국산 HANWHA 전해질막으로 제조한 MEA가 NAFION 115 전해질막으로 제조한 MEA 보다 우수한 성능을 나타내었으며 이러한 결과는 외국산 전해질막을 국산으로 대체할 수 있는 가능성을 보였다. 내부가습이 가능한 구조의 대면적 단위전지, 300W 및 2kW 스택을 제작 운전하여 그 성능을 평가하였으며, 현재는 5kW 스택 제작과 성능향상을 위해 가스유로형상, 유체관 구조, 기밀성 유지방안 등에 대한 연구를 진행하고 있다.

참고문헌

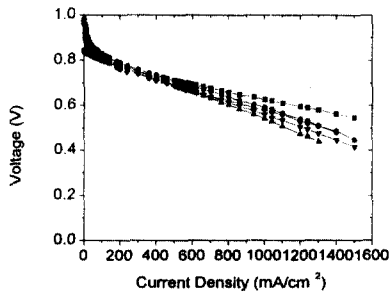
1. Lehman, P.A., Chamberlin, C.E., 1991, "Design of a photovoltaic-hydrogen- fuel cell energy system", Int. J. Hydrogen Energy, vol.16, no.5, pp.349-352.
2. Wilson, M.S., Valerio, J.A., Gottesfeld, S., 1995, "Low platinum loading

electrodes for polymer electrolyte fuel cells fabricated using thermoplastic ionomers", Electrochimica Acta, vol.40, no.3, pp.355-363.

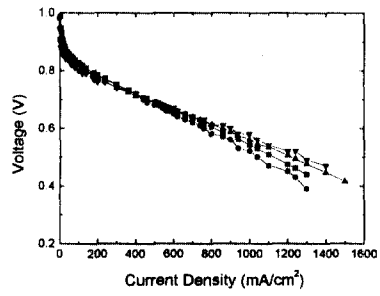
3. Chun, Y.-G., Kim, C.-S., Peck, D.-H., Shin, D.-R., 1998, "Performance of a polymer electrolyte membrane fuel cell with thin film catalyst electrodes", J. Power Sources, vol. 71, pp.174-178.
4. Voss, H.H., Wilkinson, D.P., Watkins, D.S., 1993, "Method and apparatus for removing water from electrochemical fuel cells", U.S. Patent, No. 5,260,143.



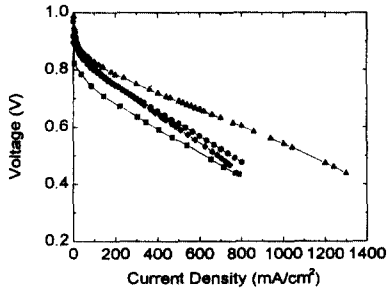
(Fig.1) 상용 MEA와 전사코팅법으로 제조한 MEA의 성능 비교 (GORE PRIMEA 6000(■), GORE-SELECT막+전사코팅법(●), NAFION 115막+전사코팅법(▲); 전지온도=80℃; 전극면적=50㎠; 산소유속=0.8 ℓ/min; 수소유속=1.2 ℓ/min; 수소/산소=1/1 atm).



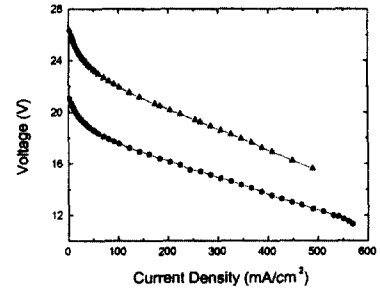
(Fig.2) 여러 종류의 전해질막을 사용하여 전사코팅법으로 제조한 MEA의 성능 비교 (NAFION 115(▲), HANWHA(▼), DOW (◆), FLEMION T(●), GORE-SELECT(■); 전지온도=80℃; 전극면적=50㎠; 산소유속=0.8 ℓ /min; 수소유속=1.2 ℓ /min; 수소/산소=1/1atm).



(Fig.3) 두께가 서로 다른 HANWHA 전해질막으로 제조한 MEA와 NAFION 115로 제조한 MEA의 성능 비교 (NAFION 115(■), HANWHA: 170㎛ (●), 130㎛ (▲), 70㎛(▼); 전지온도=80℃; 전극면적=50㎠; 산소유속=0.8 ℓ /min; 수소유속=1.2 ℓ /min; 수소/산소=1/1atm).



(Fig.4) 전극면적이 다른 단위전지에서의 NAFION 115로 제조한 MEA의 성능(전극면적: 50㎠ (▲), 217㎠(■), 300㎠(●)(A), 300㎠(◆)(B); 전지온도=80℃; 수소유량=1.2H_2; 산소유량=2O_2; 수소/산소=1/1atm).



(Fig.5) 전극면적이 300㎠인 전극 30개로 구성된 2kW 스택(▲)과 전극면적이 50㎠인 전극 24개로 구성된 300W 스택(●)과 의 성능.