

저온영역에서 고분자 전해질형 연료전지의 실험적 연구

박창권*, 김용범*, 오병수**

(주) 경동나비엔*, 전남대학교 기계시스템공학부**

1. 서론

근대 공업화 사회의 경제적 성장은 산업혁명 이후 화석 연료에 기반을 두고 있으며 현재 전 세계 에너지 수요의 약 80%가 화석 연료로 충당하고 있다. 이러한 화석 연료는 각각 손쉬운 방법으로 바로 손에 넣어 편리하게 사용할 수 있다. 인류는 이러한 화석 연료를 비교적 효율적으로 사용하는 법을 익혀 필요로 하는 에너지 이용형태를 창출해 왔다.

현재 추세로 볼 때, 온실가스 증가는 2030년에 산업화이전의 이산화탄소 농도의 2배가 될 것이고, 2100년에는 3배가 될 것이다. 현 수준에서 CO₂배출을 동결시킨다면 CO₂양이 2배되는 것을 2100까지 지연시킬 수 있을 것이다. 이산화탄소 배출은 결국 현재 수준의 30%로 떨어져야 미래의 어떤 시점에서 현재농도의 2배 수준으로 평형을 유지할 것이다. 현재 세계 경제의 팽창과 인구증가는 에너지 효율의 극적인 향상과 다른 경제 분야에서 근본적인 변화를 필요로 할 것이다.¹

연료전지는 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환하는 전기화학적인 장치이다. 연료전지는 동력원의 시스템 효율이 50% 이상이고 NO_x, SO_x 등의 유해 가스의 배출이 없는 청정 고효율 발전시스템이다. 절대적으로 자원이 부족한 우리나라의 현실에서 연료전지는 차세대 동력원으로 주목받을 것이다. 연료전지는 금속, 전기, 전자, 기계 및 제어 산업과 부수적인 장치를 공급하는 새로운 시장을 창조해 낼 수 있다.^{2~5}

본 연구에서는 3M사에서 제작된 MEA와 공기, 수소, 냉각 유로를 가공한 graphite plate를 이용하여 단위전지 3개로 구성된 스택을 제작하였다. cell간 냉각은 주위 공기의 대류로 이루어진다. 제작된 연료전지 스택을 이용하여 0℃ 이하의 저온에서 성능의 변화와 일정전류에서 시간의 변화에 따른 전압강하, 스택 성능의 변화, 정전류 특성을 실험하였다. 이러한 실험을 통하여 연료전지를 더욱 깊게 연구하는 계기를 마련하고자 한다.

2. 실험

2.1 연료전지의 구성

1) MEA (Membrane Electrode Assembly)

이 실험에서는 Nafion 212를 사용하였고 전극의 활성면적은 $7.1 \times 7.1 \text{cm}^2$ 이다. Cathode 전극에 백금 로딩량은 0.4mg pt/cm^2 , Anode는 0.2mg pt/cm^2 이다. 전극은 탄소 종이(carbon paper)이다. 그리고 MEA 물성치는 표 1에 표시하였다.

2) Bipolar plate

Graphite는 전도도와 내부식성이 뛰어나 재료이지만 높은 가격과 충격에 약한 단점을 가지고 있다. 가스 유로는 Anode와 Cathode가 사행성(serpentine type)으로 같은 형상을 갖지만 다른 반응물을 때문에 유로의 깊이와 유로의 개수가 다르게 제작을 하였다. 그리고 유로의 양쪽면에 냉각 유로를 두어 공기를 통한 냉각을 하였다.⁶

3) 스택의 구성

Fig. 3은 간략한 연료전지 스택의 구성도이며 Fig. 4는 실제 제작한 연료전지 스택의 사진이다. 스택은 단위전지 3개를 적층한 구조이고 연료전지에서 발생하는 열의 냉각은 blower를 이용하여 강제 냉각하는 공랭식을 채택하였다. 그리고 스택의 온도를 측정하기 위하여 공기와 수소의 입구, 출구 그리고 bipolar plate의 측면에 K-type 열전대를 부착하였다.

2.2 실험 장비 및 조건

1) 연료전지 성능 측정 시스템

연료전지 성능 측정 시스템은 수소를 공급하는 시스템, 외부의 공기를 공급하는 압축기, 가습시스템 그리고 연료전지에서 발행되는 전기에너지를 소모하는 Electric load로 구성되어진다. Fig. 3은 연료전지 성능 측정 시스템의 개략도이다.

2) 실험 조건

저온영역에서 실험을 하기위하여 먼저 Anode와 Cathode에 가습을 하지 않은 무가습 상태로 작동을 하였다. 무가습 상태에서 Cathode의 반응기체로 공기를 사용하여 성능의 변화를 측정하였다. 이때 수소의 유량은 1.5, 공기의 유량은 6으로 유지하면서 실험하였다.

항온조 내에서의 실험은 Fig. 4에서와 같이 연료전지 외부에 충분한 길이의 파

이프를 설치하여 연료전지에 유입되는 가스의 온도를 충분히 떨어뜨리게 하였다. 그리고 안전을 고려하여 상층부에 수소센서를 설치하여 수소의 누출여부를 확인했고 덕트를 설치하여 외부로 공기를 배출하는 역할을 하게 만들었다. 항온조의 온도조건은 0, -10, -20℃로 유지하면서 실험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 항온조를 이용하여 스택 주위의 온도와 공급되는 반응물의 온도를 0~20℃까지 유지하면서 스택의 성능변화를 확인하는 실험을 수행하였다. 반응물로는 공기와 수소를 가습하지 않은 상태로 공급하였다.

Fig. 5는 항온조를 0℃와 -10℃로 일정시간 유지한 다음 일정한 전류(20A)로 작동시킬 때 Anode, Cathode, 스택 온도변화를 측정한 그래프이다. 0℃로 항온조를 유지할 때 공급되는 반응물의 온도는 0℃로 유지되고 스택의 온도는 10℃를 유지하였다. 스택을 넣어둔 항온조를 -10℃로 유지할 때 공급되는 반응물의 온도는 -10℃로 유지되고 스택의 온도는 0℃로 유지되었다. 상온에서 실험과 마찬가지로 Anode 출구에서 온도보다 Cathode에서 온도값이 더 높게 나오고 정상상태에 이르는 온도가 상온에 비하여 많이 소요된다.

Fig. 6은 일정전류(20A)로 연료전지를 작동시킬 때 저온에서 시간의 변화에 따른 전압의 변화를 나타낸 그래프이다. 정상상태에 걸리는 시간이 0℃에 비하여 -10℃가 5분정도 더 소요가 되고 전압 차는 약 0.12V 차이가 난다. 이러한 차이는 온도에 따른 촉매 활성화의 영향 때문이다.

Fig. 7은 0℃이하에서 스택이 작동할 때 성능의 변화를 나타낸 그래프이다. 0℃로 작동할 때 최대 출력이 36.67W, -10℃로 작동할 때 최대 출력이 31.86W가 나온다. 저 전류밀도에서는 0℃와 -10℃에서 성능의 차이가 거의 없지만 고 전류밀도 영역으로 가면 성능의 차이가 점점 커져 최대 11% 차이가 난다. Anode 출구에서 나오는 기체는 수증기 함유량이 낮지만 Cathode 출구에서 나오는 기체는 반응 후에 생성되는 수증기를 많이 함유하고 있어 출구를 단열시키는 장치가 필요하다.

Fig. 8은 저온 실험 전후의 연료전지 성능의 변화를 측정한 그래프이다. 저온 실험 전 최대 출력은 50.75W이고 저온실험 이후에 최대 출력은 41.76W로 측정되었다. 따라서 저온실험 전후로 성능이 최대 17.7%의 성능저하가 나타났다. 이것은 저온실험을 거치면서 0℃이하에서 연료전지에 손상이 발생한 것으로 볼 수 있다.

4. 결론

저온 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 저온실험에서 저 전류영역보다 고 전류영역에서 성능변화가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.
2. 0°C 이하의 저온실험 이후에 스택의 손상을 확인할 수 있었다.
3. 0°C 이하의 저온에서 물의 결빙으로 발생하는 스택의 손상을 보호하는 장치와 입출구 단열장치의 필요성을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Qiangu Yan, Hossein Toghiani, Young-Whan Lee, Kaiwen Liang and Heath Causey, "Effect of sub-freezing temperatures on a PEM fuel cell performance, startup and fuel cell components", Journal of Power Sources, 160(2), 1242-1250, (2006)
2. Yih-Hang Chen, Cheng-Ching Yu, Yen-Chun Liu and Chiou-Hwang Lee, "Start-up strategies of an experimental fuel processor", Journal of Power Sources, 160(2), 1275-1286, (2006)
3. M. Oszcipok, M. Zedda, D. Riemann and D. Geckeler, "Low temperature operation and influence parameters on the cold start ability of portable PEMFCs", Journal of Power Sources, 154(2), 404-411, (2006)
4. M. Oszcipok, D. Riemann, U. Kronenwett, M. Kreideweis and M. Zedda, "Statistic analysis of operational influences on the cold start behaviour of PEM fuel cells", Journal of Power Sources, 145(2), 407-415, (2005)
5. S. Giddey, F. T. Ciacchi and S. P. S. Badwal, "Design, assembly and operation of polymer electrolyte membrane fuel cell stacks to 1 kWe capacity", Journal of Power Sources, 125(2), 155-165, (2004)
6. Allen Hermann, Tapas Chaudhuri, Priscila Spagnol, "Bipolar plates for PEM fuel cells:A review", Int. J. of hydrogen energy, 30, 1297-1302, , (2005)

Table 1 MEA properties

Membrane thickness	50 μ m	
Catalyst	Cathode	0.4mg pt/cm ²
	Anode	0.2mg pt/cm ²
Electrode	Carbon paper	
Gasket	Teflon	
Active area	50cm ² (7.01cm×7.01cm)	

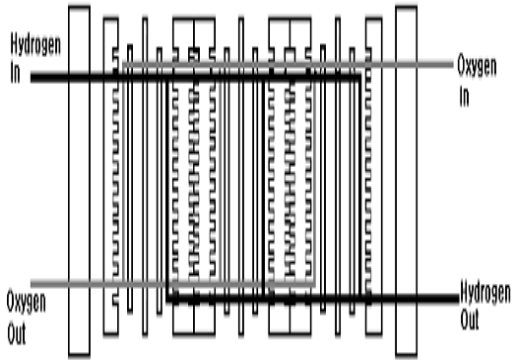


Fig. 1 Schematic diagram of fluid flow in the PEMFC stack

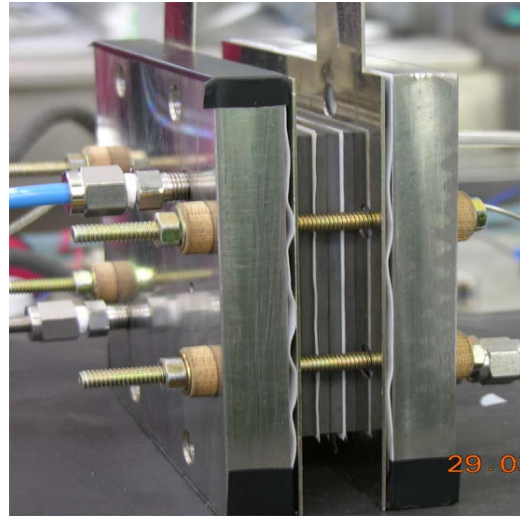


Fig. 2 PEM fuel cell stack

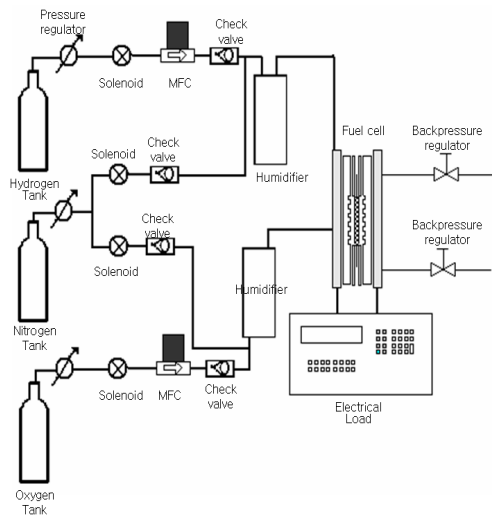


Fig. 3 Schematic diagram of PEM fuel cell system



Fig. 4 Inner display of temperature chamber

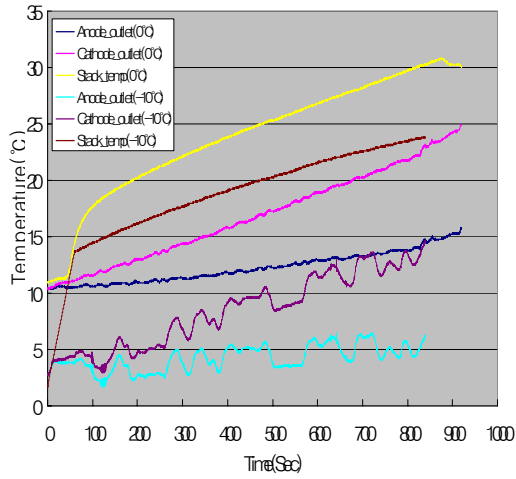


Fig. 5 Temperature variation at anode outlet, cathode outlet and stack when the temperatures of supplying gases were 0°C and -10°C

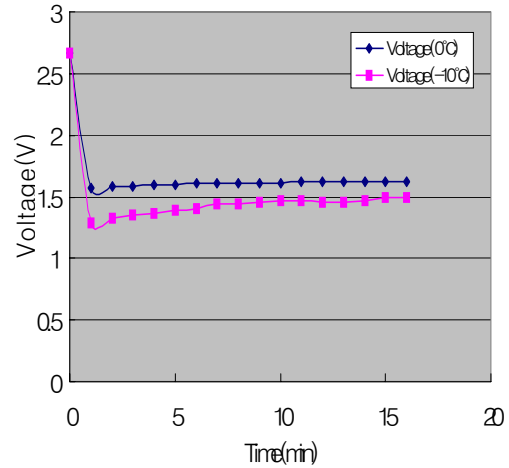


Fig. 6 Transient variation of voltage at constant current of 20A

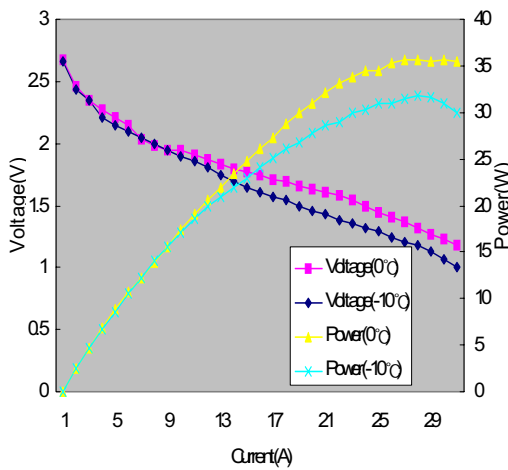


Fig. 7 Performance curve at supplying temperatures of 0°C and -10°C without humidification

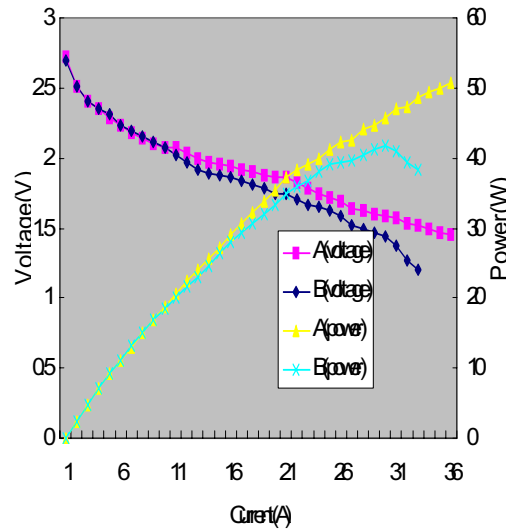


Fig. 8 Performance difference between before (A) and after (B) the sub-zero temperature tests.