

공기공급 조건이 스택성능에 미치는 영향

박창권^{*}, 오병수^{*}

*전남대학교 기계시스템공학부

The effect of PEMFC stack performance at air supply condition

Chang Kwon Park*, Byeong Soo Oh*

*Dept. of Mechanical Engineering, Chonnam National University
300 Yongbong-Dong, Bukgu, Gwangju 500-757, Korea

ABSTRACT

Research has been proceeded on fuel cell which is fueled by hydrogen. Polymer electrolyte membrane fuel cell(PEMFC) is promising power source due to high power density, simple construction and operation at low temperature. But it has problems such as high cost, temperature dependent performance. These problems could be solved by experiment which is useful for analysis and optimization of fuel cell performance and heat management.

In this paper, when hydrogen flows constantly at the stoichiometry of $\xi=1.6$, the performance of the fuel cell stack was increased and the voltage difference between each cells was decreased according to the increase of air stoichiometry by 2.0, 2.5, 3.0. Therefore, the control of air flow rate in the same gas channel is important to get higher performance.

Purpose of this research is to expect operation temperature, flow rate, performance and mass transportation through experiment and to help actual manufacture of PEM fuel cell stack.

KEY WORDS : stoichiometry (화학량론), PEMFC(고분자 전해질형 연료전지), performance (성능), optimization (최적)

1. 서 론

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.

[†]Corresponding author : parranmal@empal.com

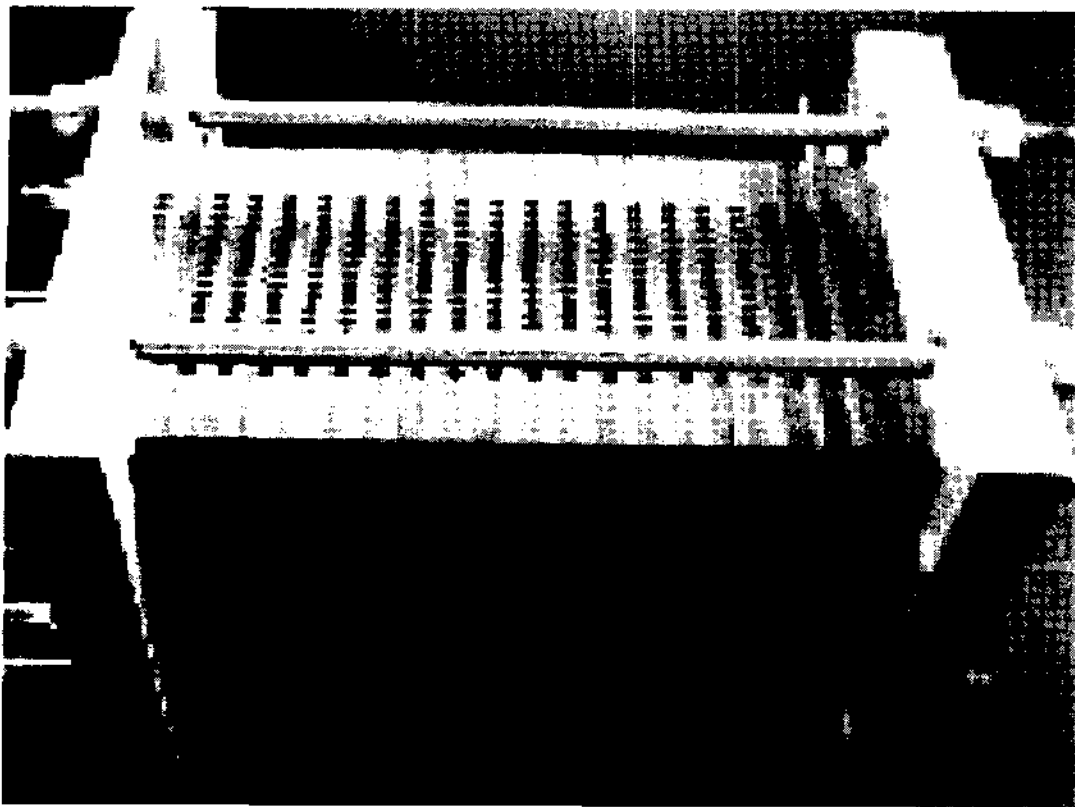


Fig. 1 A picture of PEMFC stack

현재 추세로 볼 때, 온실가스 증가는 2030년에 산업화 이전의 이산화탄소 농도의 2배가 될 것이고, 2100년에는 3배가 될 것이다. 현 수준에서 CO₂ 배출을 동결시킨다면 CO₂ 양이 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 전기화학적 장치이다. 연료전지는 동력원의 시스템 효율이 50% 이상이고 NO_x, SO_x 등의 유해 가스의 배출이 없는 청정 고효율 발전 시스템이다. 절대적으로 자원이 부족한 우리나라의 현실에서 연료전지는 차세대 동력원으로 주목 받을 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 20개로 구성된 스택을 제작하였다. cell간 냉각은 주위 공기의 대류로 이루어진다. 제작된 연료전지 스택을 이용하여 가습조건, 온도 조건 등의 변화에 따른 성능의 변화와 일정전류에서 시간의 변화에 따른 각 셀의 전압강하, 스택 성능

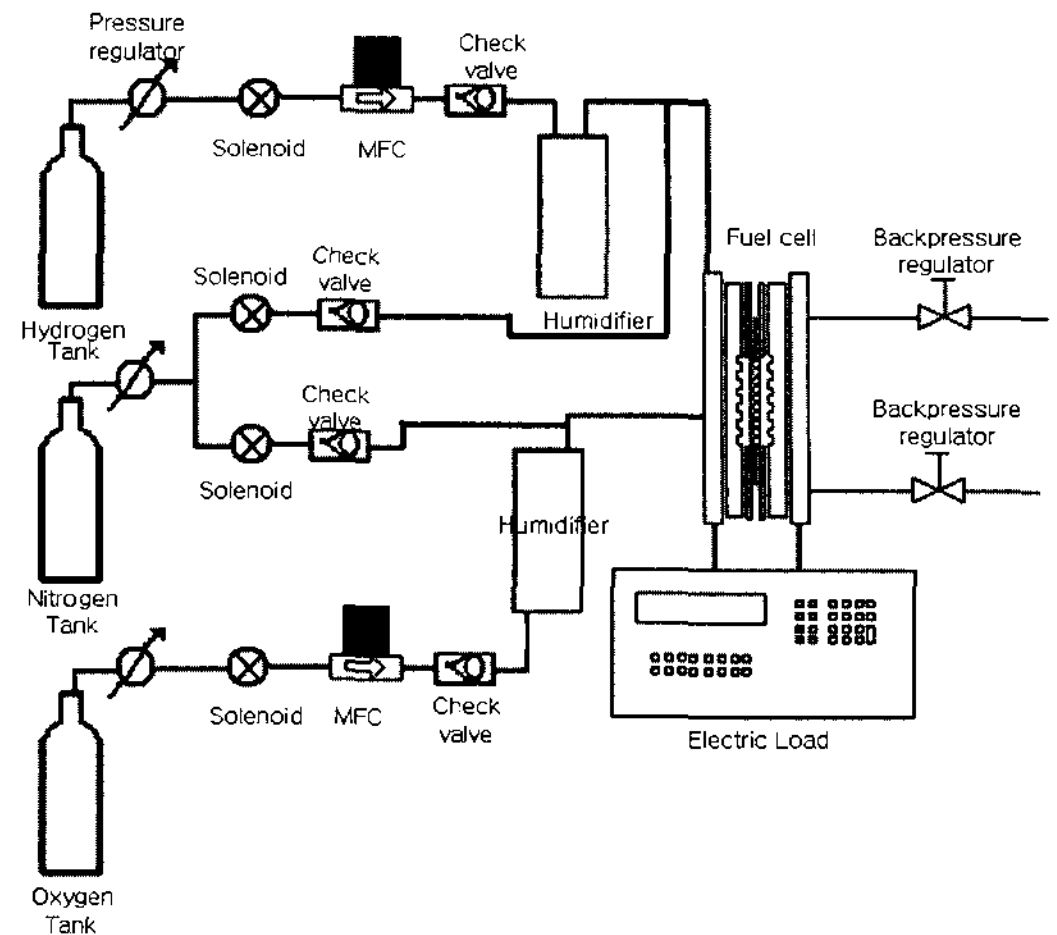


Fig. 2 Schematic diagram of fuel cell test system

의 변화, 정전류 특성을 실험하였다. 이러한 실험을 통하여 연료전지를 더욱 깊게 연구하는 계기를 마련하고자 한다.

2. 연료전지 스택 제작 및 실험

2.1 스택 제작^{6)~10)}

실험에 사용된 MEA는 3M사에서 제작된 MEA를 사용하였고 활성면적은 100cm²이고 백금 로딩량은 연료극과 공기극 모두 0.4mg Pt/cm²이다. 그리고 bipolar plate는 graphite를 사용하였고 유로의 형태는 사행성(serpentine) 형태로 제작하였다.

Fig. 1은 단위전지 20개를 적층하여 제작한 연료전지 스택 사진이다. 유체 흐름의 방향으로 수소는 스택의 왼쪽 위에서 유입되어 각각의 cell에 공급되어 왼쪽 아래로 배출되고 공기는 오른쪽 위에서 유입되어 각각의 cell에 공급되어 오른쪽 아래로 배출된다. 그리고 전지의 양쪽에 공기 냉각유로를 설치하여 냉각할 수 있게 하였다. 전지 집전체인 구리판은 크롬 코팅을 하여 스택의 양쪽 끝에 설치하였다.

2.2. 연료전지 시스템 구성

Fig. 2는 연료, 공기 및 질소의 공급 시스템을

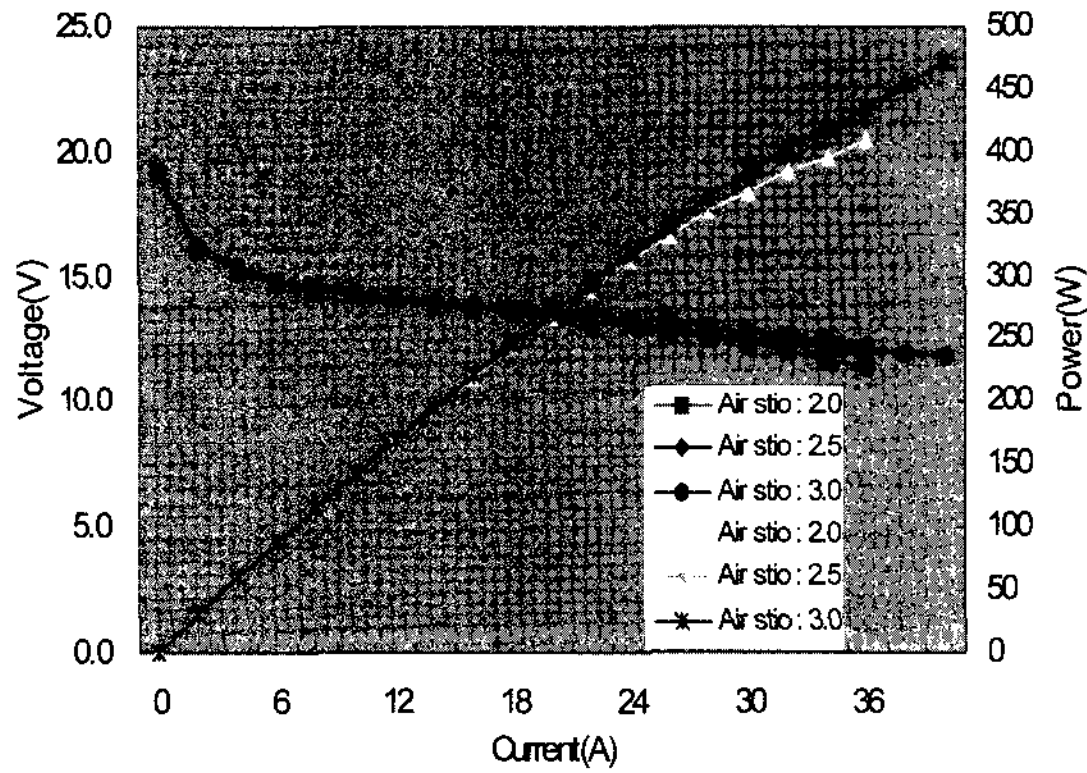


Fig. 3 Influence of air flow rate on the stack current vs. voltage and power on the stack performance (hydrogen humidification temp.=20°C, air humidification temp.=20°C, stack temp.=60°C)

나타낸 도식이다. 수소와 공기탱크출구에 압력 조절기(Pressure regulator)를 설치하여 일정한 압력으로 유지하였고 안전을 위하여 수소 센서를 실험실 상부에 설치하여 수소의 누출을 감지하고 safety solenoid valve를 작동하게 하였다.

질량유량계(MFC)를 이용하여 유량을 일정하게 유지하면서 연료전지에 공급하게 설치하였고 파이프 라인의 중간에 체크 밸브(check valve)를 설치하여 수소나 공기의 역확산을 방지하였다.

스테인레스 스틸을 이용하여 버블식 가습기를

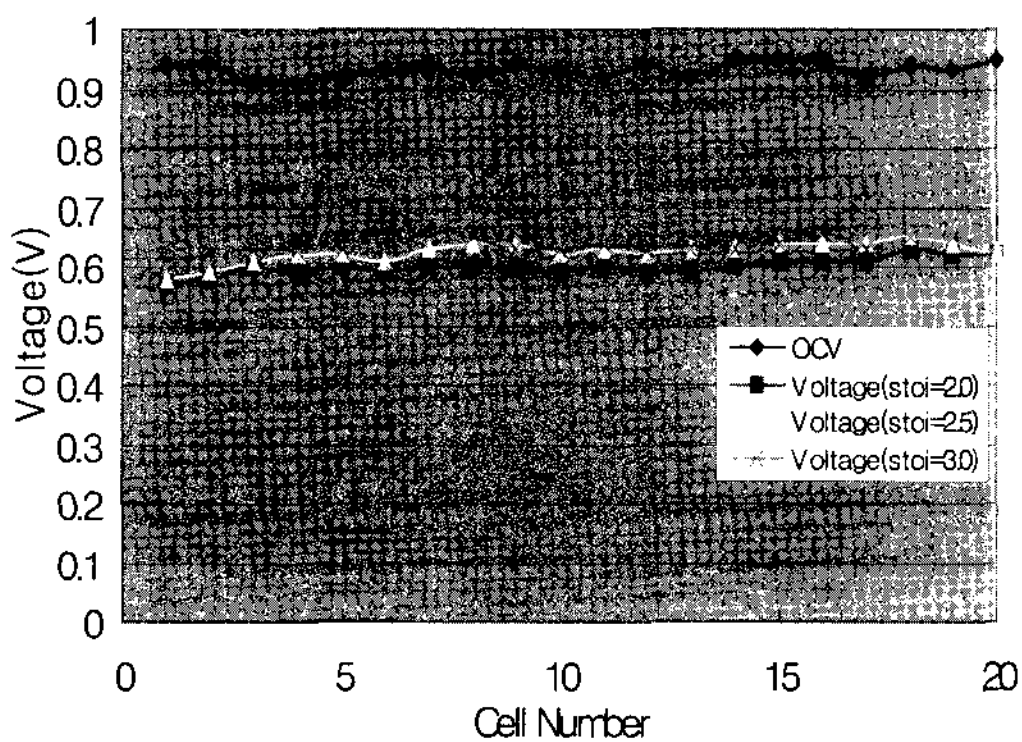


Fig. 4 Voltage distribution of fuel cell stack among different air flow rate (hydrogen humidification temp.=20°C, air humidification temp.=20°C, stack temp.=60°C)

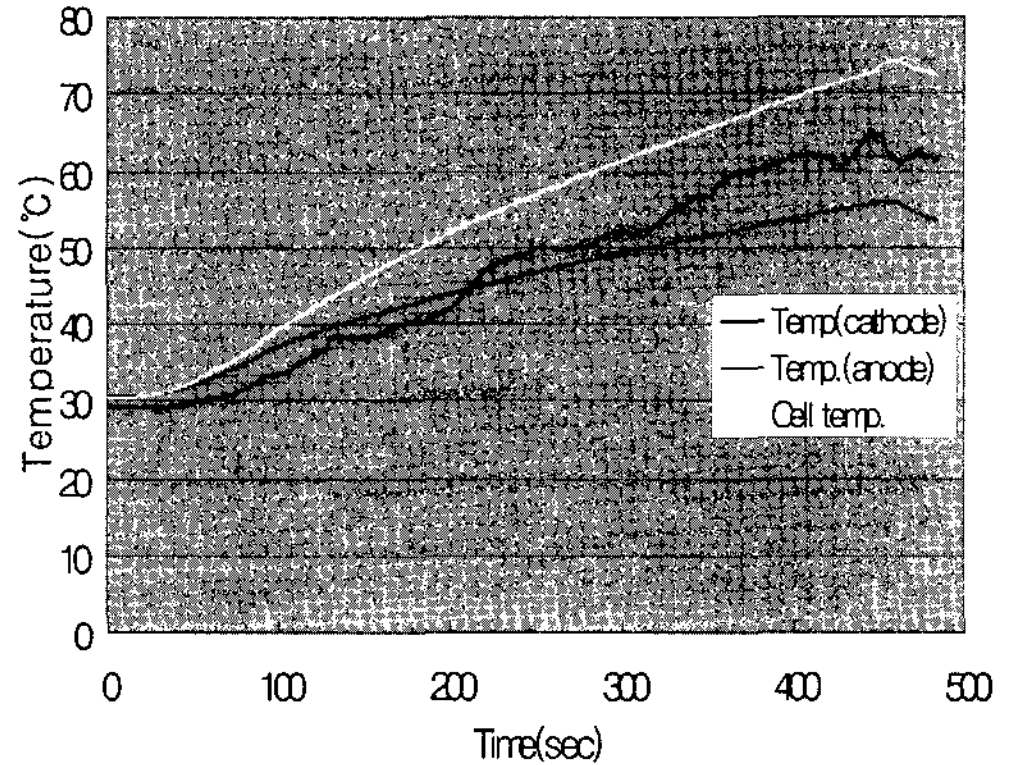


Fig. 5 Transient of temperature obtained from stack and anode and cathode outlet. (hydrogen stoichiometry =1.6, stoichiometry : 2.0, current=30A)

제작하여 내부에 heating coil을 이용하여 가습 온도를 제어하여 연료극과 공기극측에 가습한 공기와 수소를 공급하였다. 연료극과 공기극의 출구에 back pressure regulator를 설치하여 연료전지 출구의 압력을 제어하였다.

연료전지 작동 후에는 질소를 이용하여 연료전지 내부와 라인에 있는 수소와 공기를 제거하도록 시스템을 구성하였다.

2.3 연료전지 성능 측정장치 구성

PEM 연료전지 스택의 성능 측정을 위하여 Electric Load(EL-500P)를 사용하였다. 최대 출력은 500W, 최대 전류 100A이며 일정전류, 일정전압, 일정 저항 실험이 가능하다.

온도는 K-type thermocouple과 PT 100Ω thermister를 사용하였다. 질량유량계(MFC)는 Alicat scientific에서 제작된 유량계를 사용하여 일정 유량을 유지하였다.

연료전지 표면의 온도 측정을 위해 NEC San-ei의 TH3100 열화상 측정장치를 사용하였다. HgCdTe 센서를 사용하고 액체 질소 냉각 방식이며 측정범위는 -50~2000°C이다. 전체적인 제어는 National Instruments사의 PXI 장비와 프로그램은 Labview를 이용하여 측정 및 제어하였다.

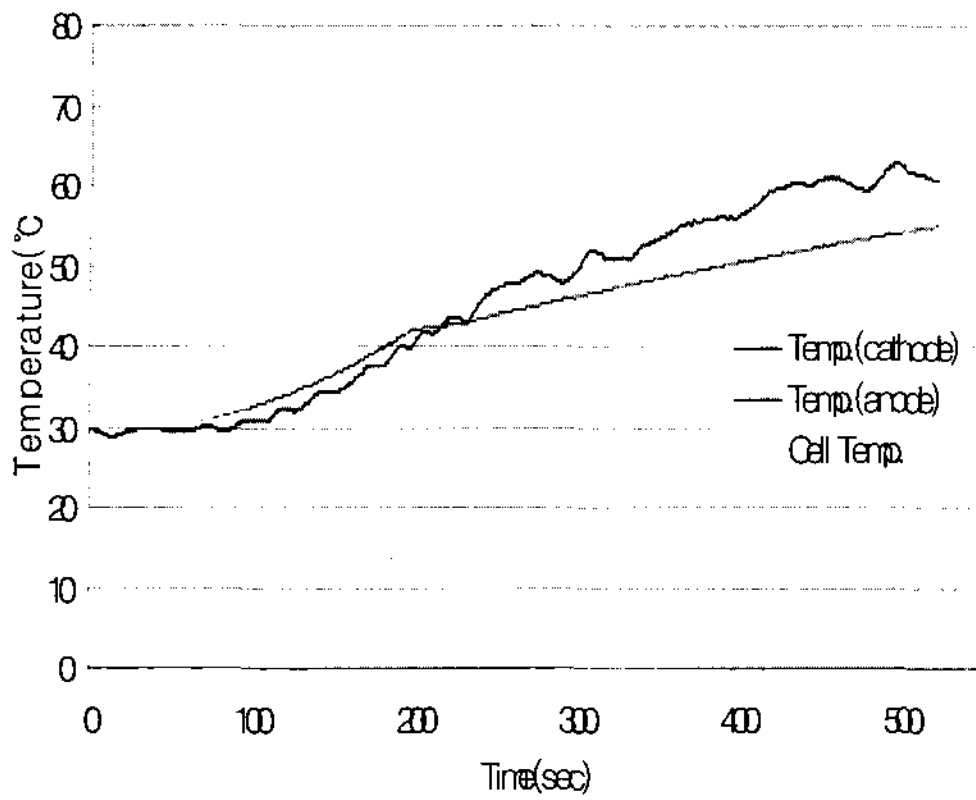


Fig. 6 Transient temperature variation at stack outlet and stack (hydrogen stoichiometry =1.6, air stoichiometry : 3.0, current =30A)

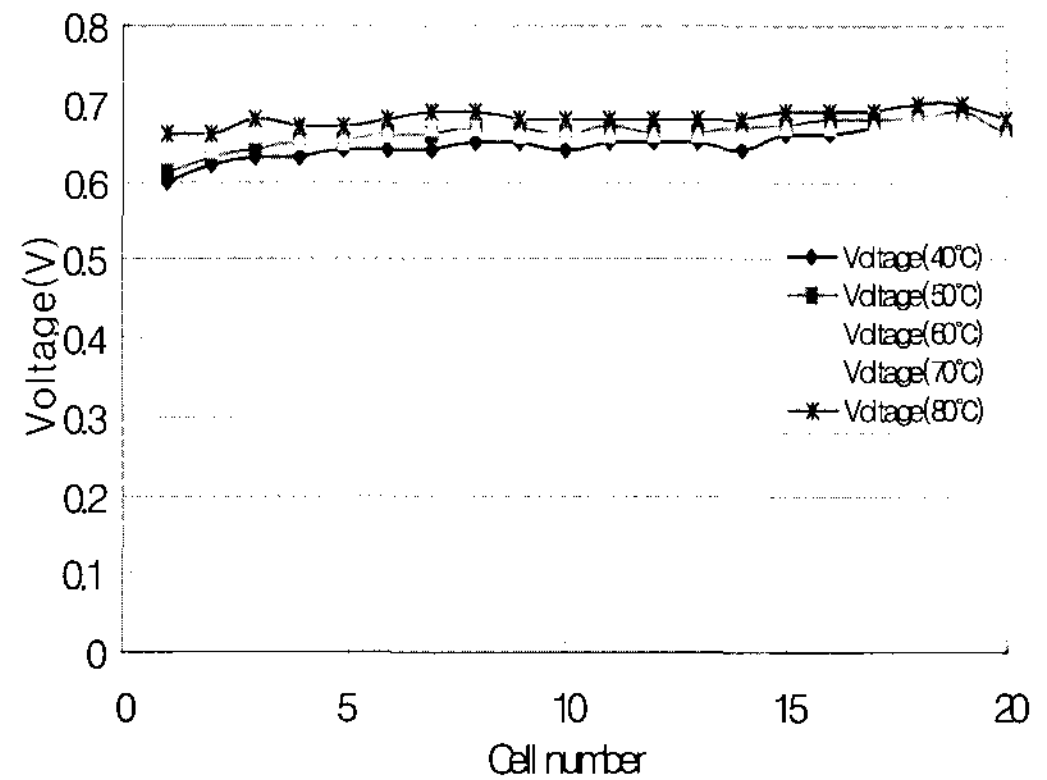


Fig. 8 Cell voltage distribution of PEM fuel cell stack at different air humidification temperature (hydrogen humidification temp.= 70°C, hydrogen stoichiometry =1.6, air stoichiometry ξ =2.0, stack temp.=70°C current=30A)

3. 결과

500W급 PEMFC 스택에는 활성층(Active layer)이 100cm²인 carbon paper를 사용하는 3M사의 7-Layer MEA를 사용하였고, 유로의 형상은 널리 알려진 serpentine형식을 사용하였다. 유로의 깊이는 수소와 공기극이 동일하고 공기와 수소의 확산속도가 확연히 차이 나기 때문에 공기측 유로 폭을 수소측보다 넓게 하였다. 스택의 냉각은 송풍기를 이용한 강제대류를 이용하였다.

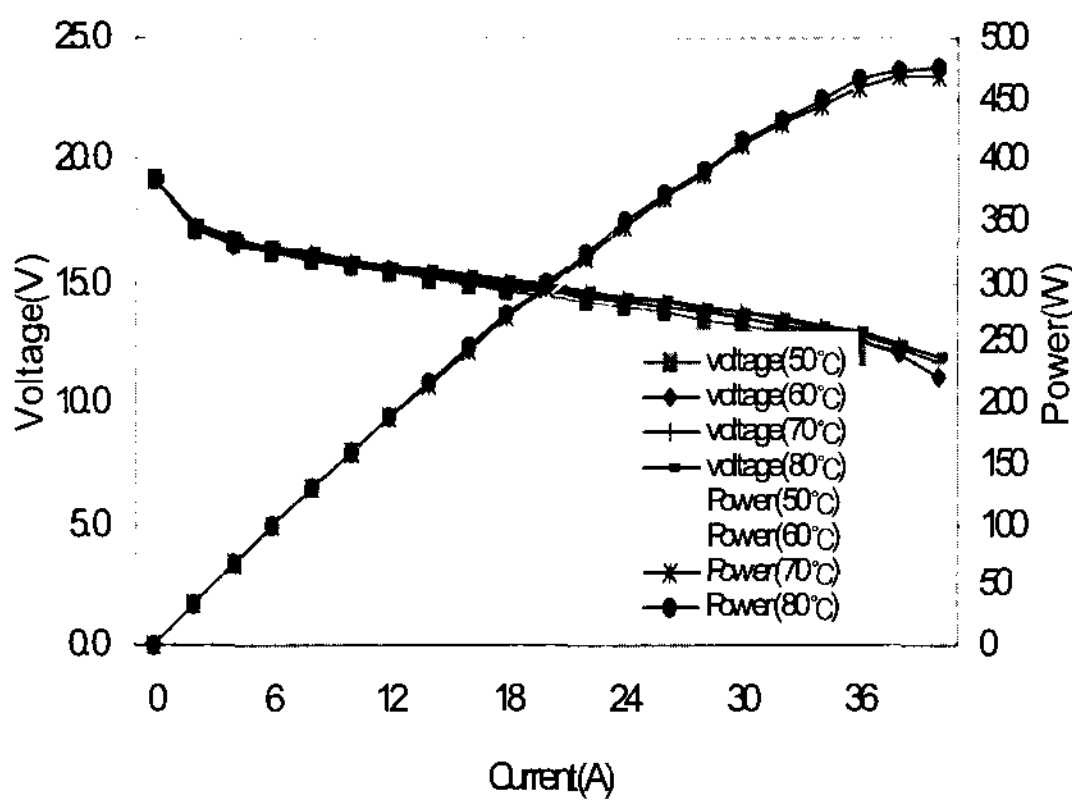


Fig. 7 Influence of air humidification temperature on the stack current vs. voltage and power (hydrogen humidification temp.= 70°C, hydrogen stoichiometry = 1.6, air stoichiometry ξ =2.0, stack temp.=70°C)

3.1 유량의 변화에 따른 스택 성능 변화

스택에서 유량의 변화에 따른 성능의 변화와 전위의 변화를 확인하기 위하여 수소의 공급량은 ξ =1.6으로 고정하고 공기 공급량을 화학양론비(ξ)로 2.0, 2.5, 3.0으로 변화시키면서 스택 표면 온도 변화, 온도의 변화, 전위의 변화와 성능을 측정하였다.

Fig. 3은 공기 유량의 변화에 따른 성능변화를 나타낸 그래프이다. 공기 공급량이 ξ =3.0에서 472W로 가장 좋은 성능을 보인다. 저 전류에서는 산소와 수소의 소비량이 적기 때문에 성능이나 전압의 차이가 작지만 고 전류로 가면 수소와 산소의 소비량이 많아지기 때문에 공기의 유량이 많아질수록 성능 차이가 커지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4는 공기 유량 변화에 따른 전류밀도가 30A일 때 각 셀의 전압 분포를 나타낸 그래프이다. 공기 공급량이 ξ =2.0에서 0.57~0.63V, ξ =2.5에서 0.58~0.65V, ξ =3.0에서 0.61~0.66V의 전압분포를 나타낸다. 전체적인 분포는 수소의 입구가 있는 20번 셀쪽이 공기 입구가 있는 1번 셀보다 전압이 높게 나오는데 이것은 확산속도가 빠른 수소보다 상대적으로 확산속도가 느린 공기의 소비 때문이다. 그리고 공기의 유량이 많아질수록 각 셀들의 전압 불균일이 점차 사라지는 경향을 보인다.

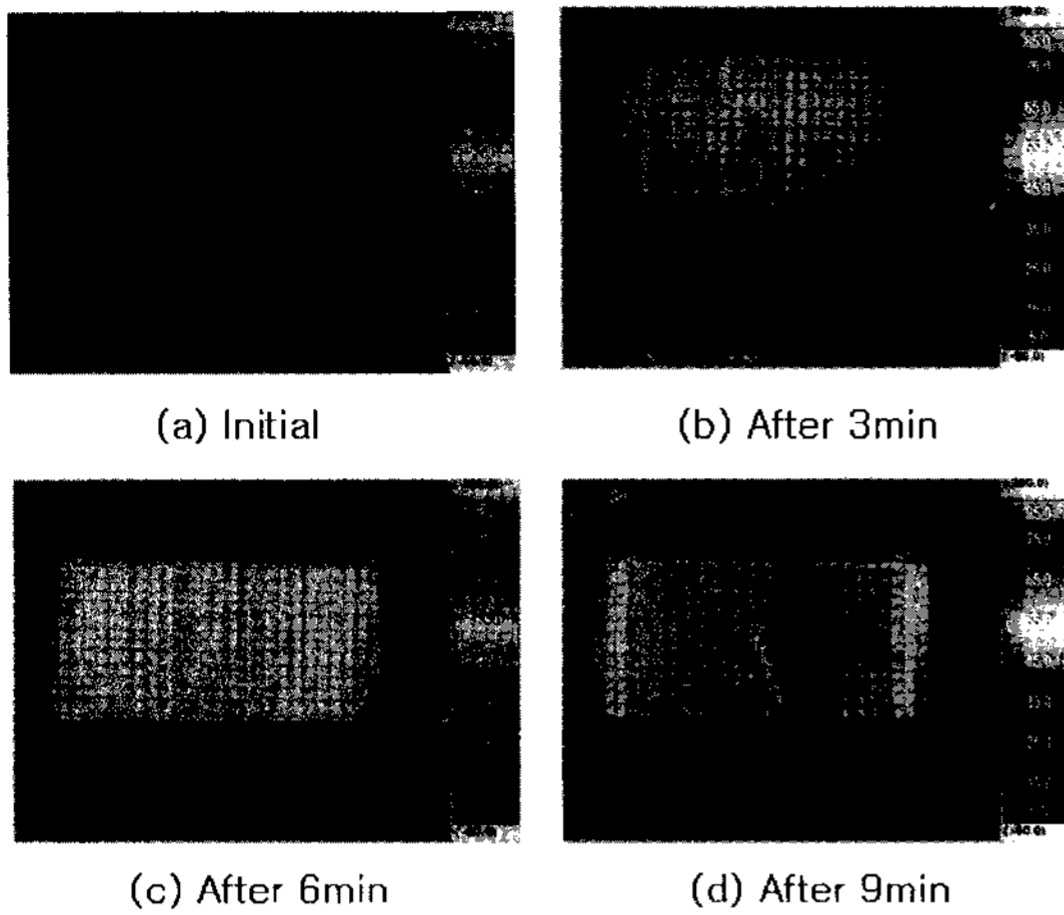


Fig. 9 Temperature distribution of PEM fuel cell stack (Stack current=30A, hydrogen stoichiometry =1.6, air stoichiometry $\xi=2.0$, hydrogen humidification temp.=70°C, air humidification temp.=60°C, air cooling, environment temp.=19°C)

Fig. 5은 유량이 수소 유량이 $\xi=1.6$, 공기의 화학양론비가 3.0일 때 시간의 변화에 따른 연료극 출구, 공기극 출구와 스택의 온도변화를 나타낸 그래프이다. 연료극과 공기극의 가습온도를 20°C로 일정하게 공급하면서 전류를 30A로 일정하게 유지한다. 전체적인 냉각은 자연 냉각을 이용하였다.

Fig. 6는 유량이 수소의 유량은 $\xi=1.6$, 공기의 화학양론비가 3.0 일 때 시간의 변화에 따른 연료극 출구, 공기극 출구와 스택의 온도변화를 나타낸 그래프이다. 두 개의 그래프에서 스택의 온도는 72°C 까지 도달하는 데 걸리는 시간은 공기 공급량이 $\xi=2.0$ 에서 440초, $\xi=3.0$ 에서 520초 걸린다. 이러한 시간의 차이는 공기에 다량 포함된 질소가 반응에 관여하지 않고 냉각효과를 내는 결과이다. 이렇듯 공기의 유량이 증가하면 반응물인 산소의 유량도 증가하지만 비례적으로 질소의 유량도 증가하여 스택의 온도가 증가하는 시간이 좀 더 소요하게 된다.

3.2 공기극 가습온도 변화에 따른 성능 변화

가습온도의 영향을 살펴보기 위하여 연료극의

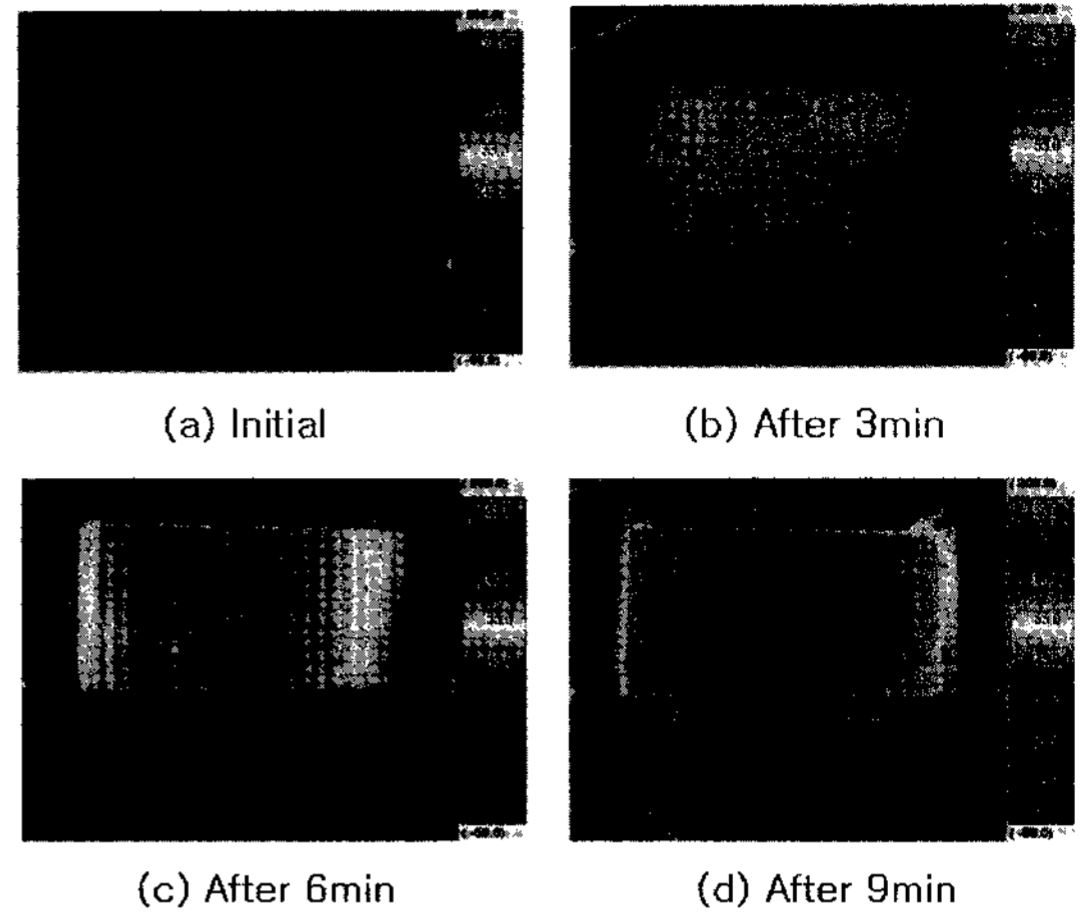


Fig. 10 Temperature distribution of PEM fuel cell stack (Stack current=30A, hydrogen stoichiometry =1.6, air stoichiometry $\xi=2.0$, hydrogen humidification temp.=70°C, air humidification temp.=80°C, air cooling, environment temp.=19°C)

가습온도를 70°C로 유지하고 공기극의 가습온도를 10°C단위로 변화시키면서 실험을 하였다. 이때 스택의 온도는 70°C이고 수소 공급은 $\xi=1.6$ 이고 공기 공급량을 $\xi=2.0$ 으로 유지시켰다.

Fig. 7은 수소의 가습온도를 일정하게 유지하고 공기의 가습온도 변화에 따른 성능변화를 나타낸 그래프이다. 저 전류에서는 온도에 따른 성능의 변화가 거의 없이 비슷한 성능을 보이지만 고 전류로 갈수록 성능 변화의 크기가 커지는 경향을 보인다. 스택의 온도가 70°C를 유지할 때 스택의 온도보다 10°C높게 공기를 가습한 조건에서 성능이 가장 높게 나왔다.

Fig. 8은 수소 가습온도를 70°C로 하고 공기의 가습온도를 40~80°C로 변화하고 전류를 30A로 일정하게 유지한 상태에서 각 cell의 전압분포를 나타낸 그래프이다. 가습온도가 40, 50°C에서는 스택의 온도보다 공기 가습온도가 낮기 때문에 원활한 가스공급이 이루어지지 않아 다른 온도에 비하여 전압이 낮게 나타나고 전체적인 경향은 공기의 입구가 있는 1번 셀에서 전압이 낮게 나타난다. 40°C에서 최고 전압과 최저 전압의 차이는 0.08V정도 나오지만 80°C에서는 0.04V로 줄어드는 것을 볼

수 있다. 공기의 가습온도가 높아질수록 스택의 cell 간의 전압차이가 줄어들고 전압도 높게 나타난다.

Fig. 9은 수소 공급량 $\xi=1.6$, 공기 공급량 $\xi=2.0$, 수소 가습 온도 70°C, 공기 가습온도 60°C이고 전류가 30A로 일정하게 유지될 때 시간의 변화에 따른 연료전지 표면의 온도 변화를 측정된 그림이다. 초기에 25°C로 일정하게 유지한 상태에서 가습된 반응물이 스택에 유입되면 비교적 균일하게 표면의 온도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 스택에서 보면 스택의 양쪽 끝에 있는 전지는 5~10°C 정도 중앙보다 낮게 측정이 되는데 이것은 바깥쪽에 있는 end plate에서의 냉각효과와 대류의 영향 때문에 이러한 현상이 일어난다.

Fig. 10는 수소 공급량 $\xi=1.6$, 공기 공급량 $\xi=2.0$, 수소 가습 온도 70°C, 공기 가습온도 80°C이고 전류가 30A로 일정하게 유지될 때 시간의 변화에 따른 연료전지 표면의 온도 변화를 측정된 그림이다. 초기에 스택의 온도는 27°C로 유지되고 시간이 경과함에 따라서 최대 72°C까지 표면 온도가 상승하게 된다. 표면의 온도분포를 보면 스택의 가운데 부분의 온도가 높게 나타나고 양쪽 끝쪽의 셀에서 온도가 낮게 나타난다. 이것은 바깥쪽 cell에서의 대류 열전달과 금속으로 제작된 end plate의 영향으로 보인다. 그러나 이것은 스택의 외부 표면 온도를 나타낸 것이고 내부의 온도 변화는 전극의 위치나 냉각방식에 따라서 다르게 나타난다. 연료전지에서 스택의 온도분포를 균일하게 유지하는 것은 연료전지 내부의 수분 조절에 효율적이며 스택의 성능에 중요한 영향을 미친다..

4. 결 론

20Cell PEM 연료전지 스택을 제작하여 연료전지 운전 조건을 바꾸면서 시간의 변화에 따른 온도변화, 전압변화, 가습온도의 변화, 유량의 변화, 스택 표면 온도의 분포 등을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연료극의 유량을 일정하게 유지하고, 공기극의 공기의 유량이 화학양론비(ξ)로 2.0, 2.5, 3.0으

로 변화시킨 경우에 성능이 증가하는 것을 볼 수 있고 각 cell 간의 전압 차이가 점점 작아지는 것을 볼 수 있다. 따라서 같은 유로를 사용하는 연료전지에서 연료극의 유량보다 공기극의 유량에 대한 조절이 성능변화에 변수로 작용한다. 따라서 유로 설계에서 연료극보다 공기극의 유로 설계를 더욱 신중하게 고려해야 할 것이다.

2) 스택의 온도분포는 스택 중앙 부분의 온도가 높고 스택의 양쪽 끝쪽 cell이 낮은 것은 금속으로 제작된 end plate에 접해 있어 대류에 의한 열전달이 많았기 때문이다. 그리고 스택 온도가 빠르게 증가하는 것은 냉각방식이 자연대류이고, 스택에서 전류밀도가 높고, bipolar plate 두께가 얇아 자체의 열용량이 작기 때문이다.

3) 공기의 가습온도가 50~70°C로 변화할 때 스택의 온도변화가 시간의 변화에 거의 비슷한 경향을 나타내고 스택의 온도가 정상상태에 도달하는 시간이 전압이 일정 전압에 걸리는 시간과 비슷하게 나타난다. 이것은 촉매의 활성화에 영향을 미치는 온도와 전압과의 상관관계를 나타낸다. 그리고 스택의 온도를 70°C로 유지할 때 스택의 온도보다 10°C높게 가습한 공기에서 가장 좋은 성능을 얻었다.

후 기

This research was supported by the Program for the Training of Graduated Students in Regional Innovation which was conducted by the Ministry of Commerce Industry and Energy of the Korean Government(2007)

참 고 문 헌

1) Young-Gab Chun, Chang-Su Kim, Dong-Hyun Peck, Dong Ryul Shin, " Performance of a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell with

- Thin Film Catalyst Electrodes", Journal of power Source, 71, 1998, pp. 174-178
- 2) Joan M. Ogden, Margaret M. Steinbugler Thomas G. Kreutz "A comparison of hydrogen, methanol and gasoline as fuels for fuel cell vehicle : implications for vehicle design and infrastructure development", Journal of Power Source 79, 1999, pp. 143-168
- 3) Venki Raman, "The Hydrogen Fuel Option for Fuel Cell Vehicle Fleets", International Congress and Exposition, 1999
- 4) J. M. Norbeck, J. W. Heffel, et al, "Hydrogen Fuel for Surface Transportation", Society of Automotive Engineers, 1996
- 5) Joan M. Ogden, "Developing an infrastructure for hydrogen vehicles : a Southern California case study", International Journal of Hydrogen Energy, 24, 1999, pp. 709-730
- (6) G. J. K. Acres and et al. "Electrocatalysts for fuel cells", Catalysis Today, 38, 1997, pp. 393-400
- 7) Zhigang Qi, Mark C. Lefebvre, Peter G. Pickup, "Electron and proton transfer in gas diffusion electrodes containing electronically conductive proton exchange polymers", Journal of Electroanalytical Chemistry, 459, 1998, pp. 4-9
- 8) Curtis Marr, Xianguo Li, "Composition and performance modelling of catalyst layer in a proton exchange membrane fuel cell", Journal of Power Sources, 77, 1999, pp. 17-27
- 9) M. Woehr, K. Bolwin, W. Schmurnberger, M. Fischer, W. Neubrand, G. Eingengerger, "Dynamic modelling and simulation of a polymer membrane fuel cell including mass transport limitations", Int. J. Hydrogen Energy, 23(3), 1998, pp. 213-218
- 10) N. Djiali, D. M.Lu, "Influence of heat transfer on gas and water transport in fuel cells", Int. J. Thermal Sci., in print, 2002