

공기 호흡형 고분자 전해질 연료전지 제작 및 발전 특성 연구

손영준¹⁾, 박구곤²⁾, 엄석기³⁾, 임성대⁴⁾, 양태현⁵⁾, 윤영기⁶⁾, 이원용⁷⁾, 김창수⁸⁾

THE OPERATING CHARACTERISTICS IN AN AIR-BREATHING POLYMER ELECTROLYTE FUEL CELL

Young-Jun SOHN, Gu-Gon PARK, Sukkee UM, Sung-Dae YIM, Tae-Hyun Yang, Young-Gi YOON, Won-Yong LEE and Chang-Soo KIM

Key words : Air-breathing (공기호흡), Polymer Electrolyte Fuel Cells (고분자 전해질 연료전지)

Abstract : Air-breathing polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFC) are highly promising particularly for small-power applications up to tens watts class. A distinctive feature of the air-breathing PEMFC is its simple system configuration in which axial fans operate for dual purposes, supplying both oxidant and coolant in a single manner. In the present study, a nominal 80W air-breathing PEMFC system is developed and investigated to determine the optimal operating strategy through parametric studies (i.e., reactant humidity, and fan-blowing flow rate). The cell voltage distributions are examined as a function of time to evaluate the system performance under various operating conditions.

1. 서론

공기호흡형 고분자 연료전지는 최근 휴대용 전원 장치로서 연료전지 연구 개발자들 사이에 대단히 큰 관심을 끌고 있다. 특히 연료전지 스택 디자인과 시스템 주변 장치 구성을 간단히 할 수 있다는 점은 지금까지의 휴대용 전원 장치 개발 분야에서 공기호흡형 고분자 연료전지의 응용 가능성을 높이는 요인 중의 하나이다.

열 및 물관리는 고분자 연료전지의 주요한 연구 주제로서 소형 연료전지 응용분야에서는 대단히 극복하기 어려운 문제이다. 자동차 또는 정지형 연료전지 응용분야의 경우 외부 가슴장치나 냉각장치를 비교적 손쉽게 적용할 수 있지만, 노트북 컴퓨터 등과 같은 경우에는 시스템의 부피와 무게의 요구 조건을 고려했을 때, 이러한 장치의 설치가 용이하지 않다. 따라서 연료전지 스택의 냉각과 반응 공기의 공급을 동시에 구현하는 공기호흡형 연료전지는 소형 전원 장치로서 여러 가지 제한점을 만족할 수 있는 유력한 기술이라고 볼 수 있다.

직접메탄을 연료전지의 경우 MEA 구성에 따른 연료전지의 성능에 미치는 영향을 중심으로 많은 연구가 있어 왔다.⁽¹⁾⁻⁽³⁾

소형 고분자 연료전지 응용에 대해서는 공기호흡형 연료전지의 성능 변화에 대한 분석과 성능 향상에 관한 내용을 중심으로 많은 연구가 진

행되었다. 주변 운전 환경 변화에 따른 공기호흡형 연료전지의 성능 변화^{(4),(5)}와 GDM 및 집전판의 변화에 따른 성능 변화에 대한 연구⁽⁶⁾가 있어 왔다.

본 연구에서는 연료전지의 공기극 채널이 반응 공기 공급을 하는 동시에 스택의 냉각 또한 동시에 이루어 질 수 있도록 설계를 하였다. 한편 본 공기호흡형 연료전지의 운전 특성으로서 냉각팬 등의 주변 장치에 대한 구동없이 수동적인 운전을 하였을 경우, 외부 공기 조건, 전기 부하 및 각 단위전지의 온도 분포 등에 대해 시간에 따른 운전 상태의 변화가 대단히 심하게 일어나는 것을 볼 수 있었다. 이러한 연료전지의 불안정한 운전 특성을 보완하기 위하여 연료 채널에 슬레노이드 밸브를 설치하고 공기극에 냉각팬을 적절히 구동하여 연료전지의 열 및 물 관리를 안정적으로 할 수 있는 조건을 찾고자 하였다.

2. 실험

실험에 사용된 장치는 Fig. 1에 표시되어 있는

1) 한국에너지기술연구원 고분자연료전지연구단

E-mail : yjsohn@kier.re.kr

Tel : (042)860-3781 Fax : (042)860-3104

2) ~ 8) 한국에너지기술연구원 고분자연료전지연구단

Tel : (042)860-3570 Fax : (042)860-3104

바와 같다. 연료전지는 24셀로 구성되어 있으며, 활성면적은 15.8cm²이다. 스택의 크기는 10(폭)×3.3(높이)×13.2(길이)cm³(약 435cc)이다. 두개의 냉각팬이 공기극의 공기 공급을 하여 스택의 온도와 습도를 조절할 수 있도록 하였다. 한편 K 타입 열전대를 연료전지 스택의 중심부와 외곽부 및 외부에 설치하여 온도를 측정하였다. 실험 데이터는 Agilent 34970A 데이터 수집 장치와 Agilent VEE 프로그램을 사용하였다. 연료로는 순수 수소를 가습없이 공급하였고 후단은 솔레노이드 밸브를 설치하여 운전함으로써 운전 중에 연료의 사용률을 99% 이상으로 유지하였다.

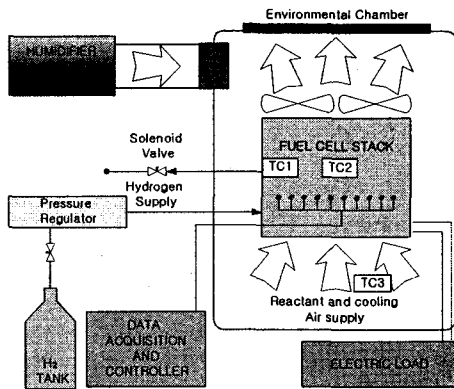


Fig. 1 The schematic diagram of experimental system

연료전지의 운전에 관여하는 다양한 제어 인자들 중에서 본 실험에서는 냉각팬 제어에 집중하여 실험을 하였다.

제어 인자의 영향을 효과적으로 비교, 검토하기 위하여 연료전지의 운전을 아래의 2가지 경우로 분류하였다.

1. 스택의 출력이 초기 설정값에 대비하여 5% 이내로 유지될 수 있도록 제어 인자를 조절 (출력제어).
 2. 스택의 온도가 외부에 대비하여 10℃를 유지할 수 있도록 냉각팬을 조절 (온도제어).
- 위의 2가지 경우에 대해 연료전지의 출력을 약 20 및 35W로 맞추어서 총 4가지 경우에 대해 실험을 수행하였다.

3. 결과

모든 실험은 실시간으로 수행된 데이터를 수집하여 운전 특성에 대한 기본적인 착안점을 얻을 수 있도록 분석하였다.

3.1 출력제어(20W, RH30%)

Fig. 2는 스택의 온도가 올라감에 따라 출력이 떨어지고 있는 것을 보여주고 있다. 스택의 온도가 올라감에 따라 전극에서의 상대 습도가 떨어짐으로써 출력이 지속적으로 감소를 하고 있다. 이에 대해 연료전지의 출력이 초기 시작점에 대비하여 5%가 떨어지는 부분에서 냉각팬을 운전함으로써 스택의 온도를 내리고 상대습도를 조절하

여 출력을 유지하고자 하였다. 이때의 운전 상황에 대해서 Fig.3에 자세히 나타내었다. 각 단위 전지의 전압이 냉각팬의 운전 직후 약간 상승하는 듯 하였으나 이후 급격히 전압이 떨어졌으며 스택의 온도는 큰 변화를 나타내지 못했다. 각 단위전지의 역전압을 방지하기 위하여 스택의 전기부하를 중지하였다(Fig. 3의 네모 표시 참조). 스택의 출력은 냉각팬을 멈춘 후에도 향상되지 않았다. 이 결과는 60℃ 이상의 운전상황에서 MEA의 상대습도가 급격하게 떨어져서 전극 성능이 대단히 악화된 것으로 볼 수 있다.

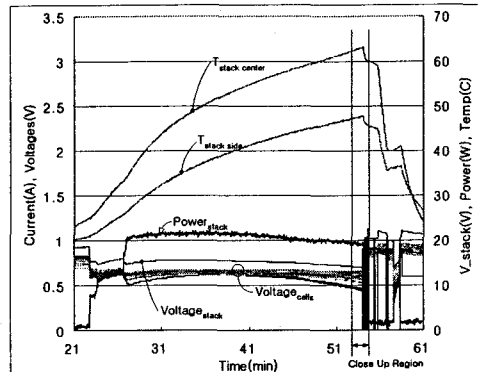


Fig. 2 Dynamic response of an air-breathing PEMFC under the power control mode: $I_{stack}=1.3A$, $P_{stack}=20W$ and RH 30%.

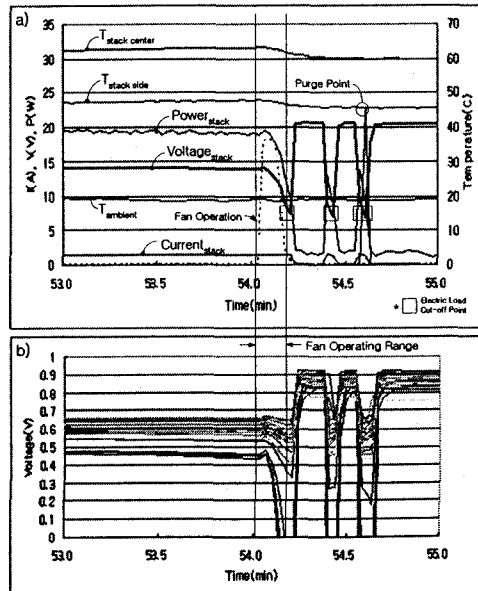


Fig. 3 Detail view of close up region in Fig. 2, a) the representation of operating and control parameters except each cell potential data, b) the trend of each cell potential.

3.2 출력제어(35W, RH30%)

Fig. 4는 스택의 온도가 상승함에 따라 스택의 출력이 3.1의 경우와 마찬가지로 떨어지고 있음

을 보여주고 있다. 3.1의 경우와 같이 초기 출력 값에서 5% 이하가 되는 때에 냉각팬을 동작시켰으나 스택의 온도가 제어되기 전에 연료전지의 출력이 크게 떨어짐으로써 스택의 온도와 막의 상대 습도를 동시에 적절하게 조절할 수 없음을 알 수 있다.

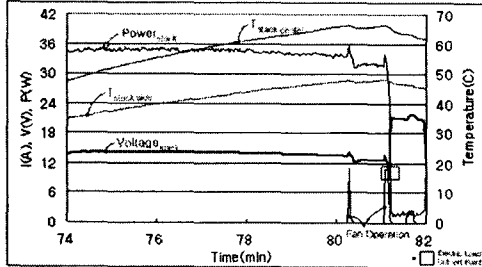


Fig. 4 Operating result from power control mode: $I_{stack}=2.45A$, $P_{stack}=35W$ and RH 30%.

3.3 온도제어(20W, RH30%)

온도 제어를 하는 경우, 스택의 출력이 팬을 동작시키는 순간에 3W 정도 떨어지는 부분(Fig. 5 A영역 참조)은 있었으나 출력 제어를 하는 경우와는 달리 연료전지의 출력이 매우 일정하게 유지되고 있음을 보여주고 있다. 스택의 온도는 외기 온도에 대비하여 온도차를 10°C로 유지하도록 제어하였다. Fig.5의 실험 결과는 본 온도 제어의 경우 모든 제어 관련 인자들이 균형을 이루며 운전될 수 있음을 보여주고 있다.

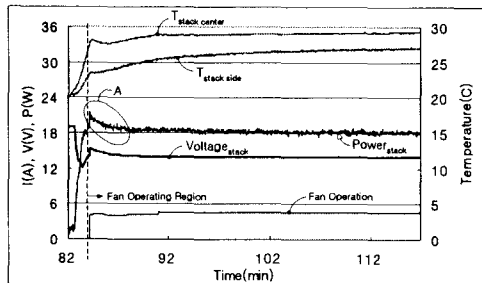


Fig. 5 Operating result from temperature control measurement: RH 30% in the case of 1.3A electric current loading.

3.4 온도제어(35W, RH30%)

Fig. 6은 온도제어를 통해 스택의 출력이 35W 부근에서 큰 성능저하 없이 출력과 온도가 유지되고 있음을 보여주고 있다.

3.3 및 3.4의 실험 결과를 통해서 적절한 시점에서 냉각팬을 통해 온도제어를 하게 된다면 연료전지의 출력과 열의 제어가 가능함을 알 수 있다.

3.5 공기호흡형 연료전지 성능 특성

Fig.7은 KIER 공기호흡형 연료전지의 전형적인 성능곡선이다. 스택의 성능은 앞서 언급한 바와 같이 주변 습도의 환경변화에 따라 달라지거나 잘 조절된 경우에는 최고 88W까지 출력을 낼

수 있는 것으로 나타났다.

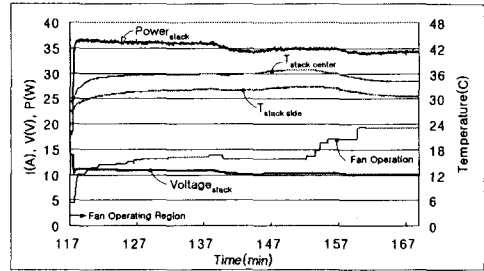


Fig. 6 Operating result from temperature control measurement: RH 30% in the case of 3.2A electric current loading.

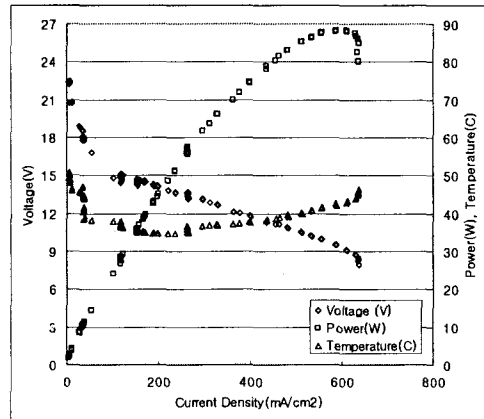


Fig. 7 Polarization curves of the 24cells air-breathing PEMFC stack

4. 결론

공기호흡형 연료전지라 하더라도 스택 규모의 운전에서는 냉각팬과 같은 부가적인 공조 장치 없이는 적절하고 안정적인 출력을 얻기가 어렵다.

공기호흡형 연료전지의 출력은 스택의 온도가 60°C가 될 때까지는 어느 정도 유지할 수 있었으나 그 이상 올라갈 경우는 출력과 단위전지의 전압분포가 적절히 유지되지 않았다. 이 결과는 고분자 연료전지의 운전에 있어 그 이상의 온도 영역에서는 전극의 성능을 유지하기 위해서 상당량의 부가적인 수분 공급이 불가피하다는 사실과 관련이 있다고 볼 수 있다.⁽⁷⁾

스택의 출력과 온도는 외부 습도 30-40% 조건에서 스택 온도 약 30°C를 유지하며 안정적으로 제어되었다.

연료전지의 출력이 냉각팬의 운전에 의해 대단히 민감하게 반응하는 것으로 볼 때, 보다 작은 유량값의 조절이 가능한 냉각팬을 사용함으로써 공기호흡형 연료전지의 성능 제어를 좀더 안정적으로 할 수 있을 것으로 본다. 또한 보다 완전한 제어 인자의 분석을 위해서 다양한 외기의 온도 및 습도 조건하에서 실험을 수행해야 할 것이다.

References

- [1] Chen, C. Y. and Yang, 2003, Performance of an air-breathing direct methanol fuel cell, *J. Power Sources*, 123, pp. 37-42
- [2] Kho, B.-K., Oh, I.-H., Hong, S.-A., and Ha, H.-Y., 2004, The effects of pretreatment methods on the performance of DMFCs, *J. Power Sources*, 50, pp. 781-785
- [3] Chen, C. Y., Yang, P., Lee, Y. S., and Lin, K. F., 2005, Fabrication of electrocatalyst layers for direct methanol fuel cells, *J. Power Sources*, 141, pp. 24-29
- [4] Liu, J., Sun, G., Zhao, F., Wang, G., Zhao, G., Chen, L., Yi, B., and Xin, Q., 2004, Study of sintered stainless steel fiber felt as gas diffusion backing in air-breathing DMFC, *J. Power Sources*, 133, pp. 175-180
- [5] Chu, D. and Jiang, R., 1999, Performance of polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) stacks Part I. Evaluation and simulation of an air-breathing PEMFC stack, *J. Power Sources*, 83, pp. 128-133
- [6] Hottinen, T., Himanen, O., and Lund, P., 2004, Effect of cathode structure on planar free-breathing PEMFC, *J. Power Sources*, 138, pp. 205-210
- [7] Buchi F.N., Srinivansan S., 1997, Operating proton exchange membrane fuel cells without external humidification of the reactant gases. Fundamental aspects, *J. Electrochemical Society*, 144, pp2767-2772