

## 공기호흡형 고분자연료전지의 운전특성에 대한 연구

손 영준, 임 성대, 박 구곤, 김 경연, 김 민진, 이 원용

### The Operating Characteristics of Air-Breathing Type PEMFCs

Young-Jun Sohn, Sung-Dae Yim, Gu-Gon Park, Kyoungyoun Kim, Minjin Kim, Won-Yong Lee

**Key words** : Air-breathing(공기호흡), PEMFC(고분자연료전지), portable(휴대용), time-dependent(시간의존)

**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 fanblowing 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 이동형 전원을 활용함에 있어 주변 시스템의 간소화 및 부가 운전 동력의 최소화할 가능하게 할 수 있는 가능성 때문에 최근까지 많은 주목을 받아왔다.

열 및 물의 관리는 연료전지의 연구에 있어 매우 중요한 연구 주제이며 연료전지의 성능을 확보하는데 필수적인 내용이다. 이를 위해 고분자 연료전지 시스템에는 연료, 산화제 및 냉각수의 공급을 통해 연료전지의 열과 물을 관리할 수 있는 계통 설계가 수반되며 이에 따라 시스템은 복잡하고 많은 구성품이 필요하게 된다. 하지만, 이동 전원을 위한 연료전지 응용 분야에서는 상업화에 요구되는 부피와 무게를 만족하기 위해서는 보통의 시스템 구성을 전부 갖추기에 무리가 있게 된다. 따라서 연료 공급 계통만 설치하고 스택의 냉각과 산화제 공급을 동시에 관리할 수 있는 가능성을 가지고 있는 공기 호흡형 연료전지의 연구가 소형 연료전지 시스템에서 필요하다고 할 수 있다.

소형 이동 전원을 위한 연료전지의 연구는 최근 10년간 매우 활발하게 이루어져 왔다.<sup>(1-10)</sup> 그러나 대부분의 연구는 단위 전지의 현상 분석이나 해석에 치중되었으며 실제 응용 가능한 용량의 스택 규모에서의 연구는 상대적으로 부족한 면이 많았다. 이에 본 연구에서는 공기 호흡형 연

료전지가 가지고 있는 시간과 주변 조건에 따른 다양한 성능의 변화에 대한 운전 특성 연구를 통해 소형 이동 전원용 연료전지 시스템의 구축을 위한 실제 운전 정보를 연구하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 실험 장치 구성

실험을 위해 24셀로 구성된 공기호흡형 스택을 제작하였다. 연료전지의 활성 면적은 15.8cm<sup>2</sup>이며, 스택의 부피는 약 435cc이다. MEA에는 Nafion 112를 사용하였고 GDL로는 SGL사의 carbon paper를 사용하였으며 촉매 및 기타 부품의 조립은 자체 개발한 것을 활용하였다. 두개의 냉각팬과 각 부분에 설치한 thermo-couple을 통해 스택의 온도 및 상대 습도를 제어하고 운전 데이터를 확보하였다. 연료는 순수 수소를 사용하였고 dead end 형태로 운전을 하였으며 운전 중의 연료 이용률은 99%에 가깝도록 유지하였다. 공기 호흡형 연료전지에서는 주변 공기를 직접 산화제로 사용하기 때문에 실험을 위해 주변 공기의 온도 및 습도를 환경 챔버를 통해 제어하여 일정한 조건에서 실험이 되도록 하였다.

실험을 통해 나오는 데이터는 Agilent 34970A와 Agilent VEE 데이터 수집 프로그램을 활용하여 기록 및 분석을 하였다.

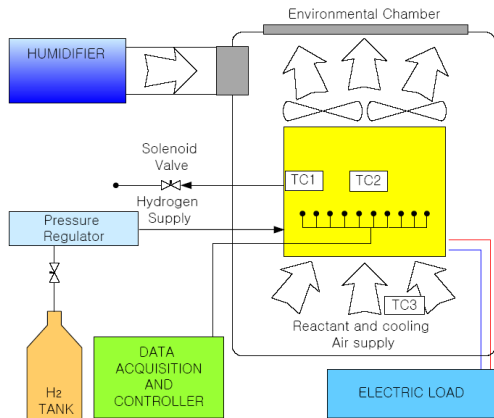


Fig. 1 The schematic diagram of experimental system

## 2.2 실험 운전 구성

본 실험을 구체적으로 하기 위해 두 가지의 운전 모드를 상정하였다. 스택의 운전을 제어함에 있어 냉각팬의 운전 시점을 다음과 같이 설정하였다. 첫째는 스택 출력의 초기 설정을 해 두고 냉각팬의 운전 없이 순수한 공기 호흡형 운전을 하다가 스택의 운전 및 주변 조건의 변화로 인해 출력의 안정화가 이루어지지 않고 5%의 출력 변화를 보일 경우 냉각팬을 운전하는 것과 둘째는 초기에 고정된 스택 출력의 안정화 여부와 상관없이 스택의 온도를 제어 인자로 하여 주변 온도 대비 10°C 이내로 유지되도록 냉각팬을 제어하는 것이다. 이와 같은 제어에 대하여 운전 인자의 관점에서 첫째는 ‘출력 제어’, 둘째는 ‘온도 제어’로 통칭하기로 한다. 각 제어 모드에 대해 스택의 출력 전류를 1.3A (20W 상당), 3.2A (40W 상당)로 나누어 총 4가지 경우에 대해 실험을 하였다.

## 3. 결과

모든 스택의 운전 인자들에 대한 운전에 따른 영향들은 주변 조건 및 시간에 따라 매우 유동적으로 변화함을 관찰하였다.

### 3.1 출력 제어 (1.3A 운전)

그림 2는 1.3A의 스택 출력 전류를 고정시켜 놓고 순수한 공기 호흡 모드로 운전을 하면서 스택 온도가 상승하고 그에 따라 상대 습도 등 운전 조건이 변화하면서 스택의 출력이 불안정해지는 것을 보여주고 있다. 그림 3은 스택의 출력이 초기값에 대비하여 약 5% 정도 감소하였을 때 스택의 온도를 제어하기 위하여 냉각팬을 작동한 직후에 대한 변화를 상세히 나타내기 위해 확대한 그래프이다. 이 경우 냉각팬을 작동하였을 때 스택의 전압이 상당히 급격하게 떨어지며 온도를 제어하기에 전혀 용이하지 않은 상황을 보여주고 있다. 냉각팬의 동작 이후 특정셀에 역전압이 걸리는 것을 막기 위해 수차례 출력을 cut-off 하였다.

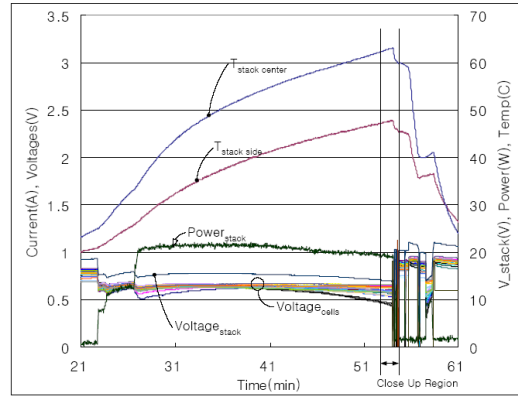


Fig. 2 Dynamic response of an air-breathing PEMFC under the power control mode:  $I_{stack}=1.3A$ ,  $P_{stack}\approx 20W$  and RH 30% at  $T_{ambient}=17^{\circ}C$ .

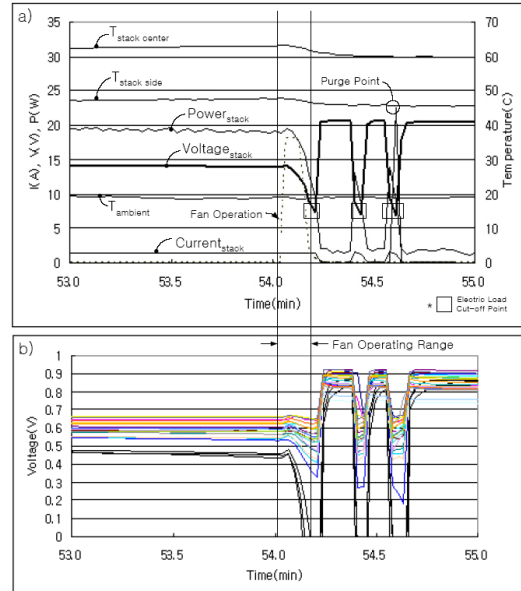


Fig. 3 Detail view of close up region in Fig. 2. a) the representation of operating and control parameters except each cell potential data, b) the trend of each cell potential.

### 3.2 출력 제어 (3.2A 운전)

그림 4는 스택의 전류를 3.2A로 고정시켜 운전한 결과를 보여주고 있다. 순수한 공기 호흡 모드의 운전으로는 스택 성능이 충분히 나오지 않아 스택의 전류값을 유지시키기 어려웠기 때문에 2.45A로 운전을 하였으며 3.1절의 운전과 동일한 전략으로 제어를 한 결과 비슷한 운전 패턴을 보이며 제어가 되지 않는 것을 보여주고 있다.

3.1 및 2절의 실험 결과에 따르면 냉각팬만으로는 60°C에 이를 동안 순수 공기 호흡형만으로 유지하는 방식으로는 스택의 온도 및 반응 공기의 상대 습도를 동시에 제어하여 안정적인 운전을 하기에는 적절하지 않음을 알 수 있는 결과라고 결론을 내릴 수 있다.

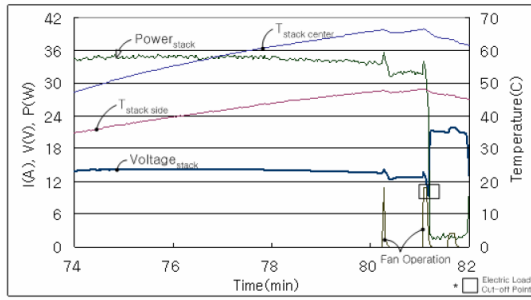


Fig. 4 Operating result from power control mode:  $I_{stack}=2.45A$ ,  $P_{stack}\approx 35W$  and RH 30% at  $T_{ambient}=17^{\circ}C$ .

### 3.3 온도 제어 (1.3A 운전)

출력 제어와는 달리 앞서 언급한 실험 방법으로 스택의 출력의 불안정화를 기다리지 않고 주변 온도와의 관계를 고려하여 냉각팬을 운전하였다. 그림 5는 냉각팬 가동시 스택의 출력이 초기에 떨어지는 현상은 있으나 빠른 속도로 안정화되면서 시간의 변화에 상관없이 지속적인 운전이 가능함을 보여주고 있다.

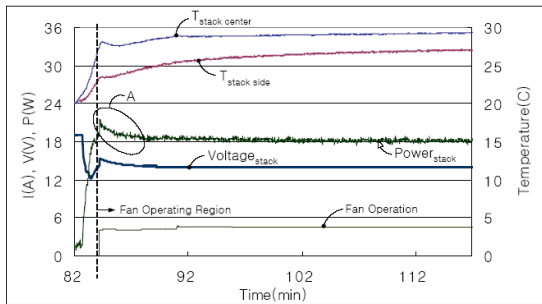


Fig. 5 Operating result from temperature control measurement: RH 30% at  $T_{ambient}=17^{\circ}C$  in the case of 1.3A electric current loading.

### 3.4 온도 제어 (3.2A 운전)

그림 6에서 3.3절과 마찬가지로 안정적인 운전을 하는 것을 알 수 있다.

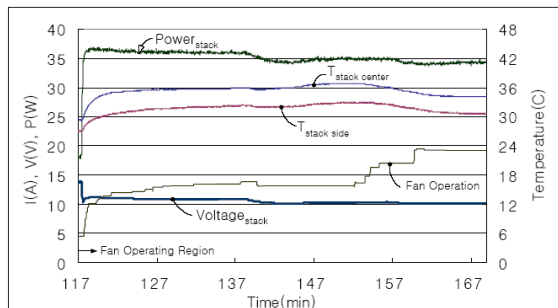


Fig. 6 Operating result from temperature control measurement: RH 30% at  $T_{ambient}=17^{\circ}C$  in the case of 3.2A electric current loading.

## 4. 결론

공기 호흡형 스택은 단위전지와는 달리 온도의 제어가 필요하게 되어 냉각팬의 사용이 불가피 하였으며 이 경우 온도 제어를 위주로 했을 때 안정적인 운전 결과를 얻을 수 있었다. 공기 호흡형 스택의 경우 스택 온도와 반응 공기의 상대 습도를 동시에 제어해야 하기 때문에 반응 기체의 유로에 대해 보다 주의깊은 설계 및 해석을 해야 하므로 보다 상세한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## References

- [1] 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
- [2] Chen, C. Y. and Yang, 2003, Performance of an air-breathing direct methanol fuel cell, *J. Power Sources*, 123, pp. 37-42
- [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] 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
- [5] Hottinen, T., Himanen, O., and Lund, P., 2004, Effect of cathode structure on planar free-breathing PEMFC, *J. Power Sources*, 138, pp. 205-210
- [6] Jiang, R. and Chu, D., 2001, Stack design and performance of polymer electrolyte membrane fuel cells, *J. Power Sources*, 93, pp. 25-31
- [7] 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
- [8] 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
- [9] Noponen, M., Mennola, T., Mikkola, M., Hottinen, T., and Lund, P., Measurement of current distribution in a freebreathing PEMFC, *J. Power Sources*, 106, pp.304-312
- [10] Schmitz, A., Tranitz, M., Wagner, S., Hahn, R., and Hebling, C., 2003, Planar self-breathing fuel cells, *J. Power Sources*, 118, pp. 162-171