

Cathode에 따른 휴대용 PEM 연료전지의 성능 변화

*이 세원²⁾, 이 강인²⁾, **박 민수¹⁾, 주 종남²⁾

Performance of the PEMFC for the mobile devices according to cathode

*Sewon Lee, Kangin Lee, **Minsoo Park, Chongnam Chu

Key words : PEMFC(고분자 전해질형 연료전지), Cathode(캐소드), Fuel cell(연료 전지), Air-breathing (자연 대류)

Abstract : In this paper, experiments of air-breathing proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) for mobile devices were carried out according to the cathode conditions. These conditions are defined by the cathode flow field plate type (the channel type, the open type) and the cathode surface direction. Single cell and 6-cell stack were used in this experiments. The experimental results showed that the open type cathode flow field plate gave better performance for small size PEMFCs because the open type cathode plate allowed better air convection than the channel type cathode plate. In the experiments related to the direction of the slits on the cathode flow field plate, the horizontal slit cell was better than the vertical slit cell. With respect to the cathode surface direction, when the cathode surface is placed in the direction normal to the ground, PEMFC generated more stable power in the mass transport loss region.

1. 서론

최근 환경에 대한 관심이 높아지면서 친환경적인 에너지에 대한 요구가 늘어나고 있다. 또한, 랩탑(lap top) 컴퓨터, 휴대폰과 같은 휴대용 기기의 기능이 향상되고 요구하는 전력량이 늘어나면서, 기존의 리튬 이온 기반 2차 전지로는 충분한 사용 시간을 얻지 못하고 있다. 이에 수소 연료 전지가 휴대용 기기를 위한 전력 공급 장치의 새로운 대안으로 활발히 연구되고 있다.¹⁾ 수소 연료 전지는 부피당 에너지 저장량이 리튬 이온 전지의 약 2배정도이기 때문에 휴대용 기기의 사용 시간을 비약적으로 늘릴 수 있다.²⁾ 또한 수소 연료 전지는 반응 후 생성물이 물 밖에 없기 때문에 친환경적이다.

원래 휴대기기용 연료전지로는 별도의 개질기가 없어 부피 측면에서 유리한 직접 메탄올 방식(DMFC)이 많이 연구되어 왔다. 하지만 최근에는 고분자 전해질형 연료 전지(PEMFC)를 사용한 제품들도 많이 발표되고 있다. 고분자 전해질형 연료 전지는 일산화탄소에 의해 피독이 되는 약점이 있지만, 물 관리가 용이하고 연료 전지 자체의 수명이 길다는 점에서 새로이 각광받고 있다.^{3,4)} 또한 일산화탄소에 의한 피독 문제도 금속을 이용한 수소 발생 장치의 개발로 해결되어, 고분자 전해질형 연료 전지에 대한 지속적인 연구가 진

행되고 있다.⁵⁾

고분자 전해질형 연료 전지 중에서도 특히 자연 대류 방식은 산소 공급을 위한 장치가 필요 없기 때문에 부피 측면에서 휴대용 기기에 유리하다. 하지만 자연 대류 방식은 주변 공기 유동 조건에 따라 성능 차이가 크다. 따라서 본 연구에서는 자연 대류 타입 연료 전지가 좋은 성능을 낼 수 있는 최적의 캐소드(cathode) 주변 대류 조건을 찾기 위한 실험들을 진행 하였다.

2. 실험 설계

2.1 연료 전지

단위 전지와 6셀 스택(6 cell stack), 크게 두 가지에 대하여 실험하였다. 단위 전지로는 실제 휴대용 기기에 적합한 전압을 낼 수 없다. 하지만 단위 전지는 적층 과정에서 발생할 수 있는 요인들을 배제하고 실험할 있고, 유로 제작이 쉬워 다양한 유로 형태에 대해 실험할 수 있으므로,

1) 서울대학교 차세대 기계항공시스템 창의설계 인력 양성사업단

E-mail : pminsoo2@snu.ac.kr

Tel : (02)880-7147 Fax : (02)887-7259

2) 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : nowesl@prema.snu.ac.kr

Tel : (02)880-7147 Fax : (02)887-7259

단위 전지에 대한 실험을 먼저 수행하였다.

MEA는 Nafion 212와 카본 클로쓰(carbon cloth)로 만들어졌다. 백금 촉매는 각 면에 1.0 mg/cm² 만큼이 사용되었고, 단위 전지의 총 반응 면적은 1.68 cm²(1.2 cm x 1.4 cm)이다. 엔드 플레이트는 스테인리스 스틸을 사용하였는데, 에노드(anode)는 10 mm, 캐소드는 3 mm 두께의 판을 사용하였다. 유로판의 재질은 폴리 아미드 이미드(Poly-Amide imide, PAI)를 사용하였다. 에노드 유로판은 두께가 2 mm이고, 유로는 싱글 섀펜타인(single serpentine) 형태로 만들어졌다. 유로의 단면적은 0.8 mm² (0.8 mm x 1 mm)이다. 캐소드 유로판은 두 가지 형태로 만들었다. Fig.1은 본 실험에서 사용된 두 가지 형태의 유로판으로 오픈(open) 타입과 채널(channel) 타입의 사진이다.

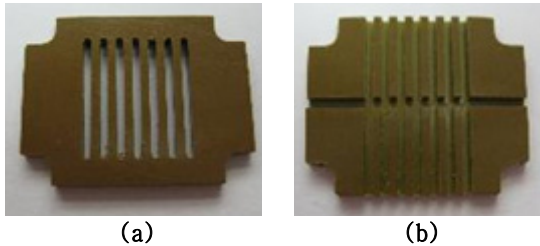


Fig. 1 Flow field plate of the cathode; (a) open type, (b) channel type

오픈 타입은 두께 1 mm PAI판을 사용하였고, 폭 0.8 mm, 길이 13 mm의 슬릿(slit)이 7개 뚫려 있다. 채널 타입은 폭 0.8 mm, 길이 1 mm의 채널이 7개 있고, 이 채널들에 수직한 하나의 채널이 관통하고 있다.

단위 전지 실험 결과에 기초해서, 6셀 스택에 대한 실험을 진행하였다. 휴대용 기기에 사용하기 위해서는 연료 전지의 크기가 작아야 한다. 따라서 적층시에 부피가 작은 수평 적층 방식을 사용하였다. 수평 적층 방식으로는 밴디드(banded) 형식을 적용하였다. MEA는 단위 전지와 같은 방식으로 제작하여 3행 2열로 배치하였다. 각 단위 전지의 반응 면적은 2.24 cm² (1.4 cm x 1.6 cm)이고, 스택 전체의 반응 면적은 13.44 cm²이다. 엔드 플레이트(end plate)는 양 쪽에 모두 3 mm 두께의 스테인리스 스틸을 사용하였고, 커런트 콜렉터로는 연성 PCB를 사용하였다.

2.2 실험 환경

가열, 가습을 위해서는 별도의 장치가 필요한데, 이 장치들은 전체 시스템의 부피를 크게 하기 때문에, 휴대용 기기에 적합하지 않다. 따라서 실제와 같은 조건에서의 성능을 알아보기 위해 가열, 가습이 없는 조건에서 실험을 진행하였다. 단위 전지에는 30 sccm, 6셀 스택에는 50 sccm의 수소를 공급하였다. 캐소드 반응면은 대기에 노출시켰다. 외부의 공기 유동에 의한 오차를 줄이기 위하여 실험은 950 mm x 1650 mm x 2800 mm의 폐쇄 공간에서 진행되었다. 공기의 온도는 25 ± 0.5 °C이고, 이때의 상대 습도는 58 ± %로 유지하였다.

3. 실험 결과

3.1 단위 전지

3.1.1 캐소드 종류에 따른 성능 변화

Fig.2는 오픈 타입과 채널 타입 단위 전지의 전류 밀도에 따른 전압 변화 곡선을 나타낸 것이다. 채널 타입이 오픈 타입보다 매스 트랜스포트 손실(mass transport loss) 구간이 일찍 나타나는 것을 확인할 수 있다. 채널 타입은 0.1 A/cm²에서 나타나는데 비해, 오픈 타입은 0.5 A/cm²에서 나타난다. 이것은 채널 타입에 비해 오픈 타입에서 공기 공급이 원활하다는 것을 의미한다. 이전 연구들에서는 채널 타입이 공기 공급에 더 유리하다고 알려져 있었다.⁶⁾ 하지만 그것은 크기가 충분히 큰 연료 전지에 해당하는 결과이다. 채널 타입에서 채널 단면적이 큰 경우 공기 소통이 원활이 이루어지지만, 단면적이 작은 경우에는 오히려 공기 소통에 불리하다. 실제로 이전 연구에서의 채널 단면적은 2 mm²이고, 본 연구의 채널 단면적은 0.8 mm²로 단면적에서 확연한 차이를 보인다. 반면 open 타입은 판이 얇은 경우, 반응면과 공기 사이의 거리가 짧아져서 공기와의 접촉이 유리해진다. 이러한 이유로 소형 연료 전지에서는 오픈 타입이 채널 타입보다 약 3배 정도 높은 전력을 보였다.

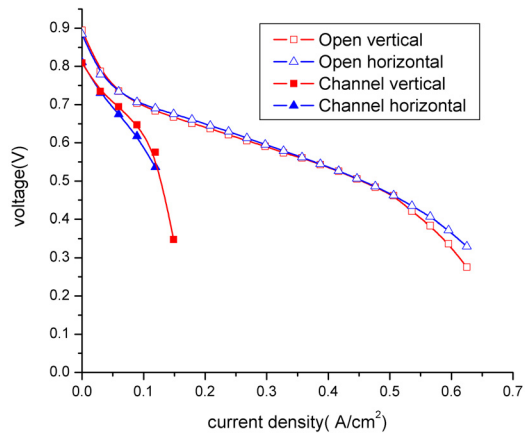


Fig. 2 IV curves of the open type and the channel type according to direction

3.1.2 유로 방향에 따른 성능 변화

채널과 슬릿의 방향에 따른 실험을 수행하였다. Fig.2에서 채널 타입의 경우 채널이 세로 방향으로 놓여 있을 때의 성능이 더 좋은 것을 확인할 수 있다. 채널 안에 공기는 반응열에 의해 가열되고, 가열된 공기는 밀도가 작아져 상승하게 된다. 따라서 채널이 공기의 유동 방향과 같은 세로 방향으로 있을 때 유동이 원활하게 이루어지는 것이다.⁶⁾

오픈 타입의 경우 최대 전력 밀도는 가로, 세로 모두 233 mW/cm²으로 비슷했지만, 최대 전력일 때 안정성에서 차이를 보였다. 즉 슬릿이 가로로 놓여 있을 때 최대 전력에서 안정성이 더 우수하였다. 이는 물 증발량의 차이 때문이다.

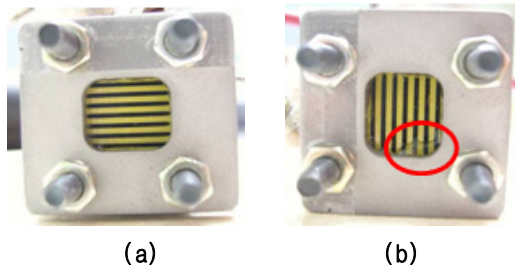


Fig. 3 Condensed water droplet of the open type PEMFC; (a) horizontal slit (b) vertical slit

Fig.3은 오픈 타입 연료 전지가 매스 트랜스포트 손실 영역에서 구동될 때의 캐소드의 사진이다. Fig.3 (a)는 가로 슬릿이고, (b)는 세로 슬릿이다. 세로 슬릿 아래쪽에 물이 응결되어 있는 것을 확인할 수 있다. 오픈 타입의 경우 응결된 물은 슬릿의 아래쪽에 모이게 된다. 이 때, 가로 슬릿에서는 생성된 물이 넓게 퍼지지만, 세로 슬릿의 경우 생성된 물이 좁은 슬릿에 모이게 된다. 넓게 퍼진 물은 표면적이 커서 증발에 유리하지만 좁은 곳에 모인 물은 표면적이 작아 증발이 원활하지 않고, 응결된 상태로 반응면을 덮게 된다. 결국 반응을 방해하여 매스 트랜스포트 손실 영역에서 전압 안정성의 차이를 보이게 된다.

3.2 6셀 스택

3.2.1 유로 방향에 따른 성능 변화

실제로 휴대용 기기에 적용될 수 있는 6셀 스택에 대한 실험을 수행하였다. 우선 단위 전지와 6셀 스택을 비교하여 같은 특성을 보이는지 확인하기 위해 6셀 스택을 이용하여 유로 방향에 따른 성능 실험을 다시 수행하였다. Fig.4는 이 실험의 결과를 전류 밀도에 따른 전압 변화 곡선으로 나타낸 것이다.

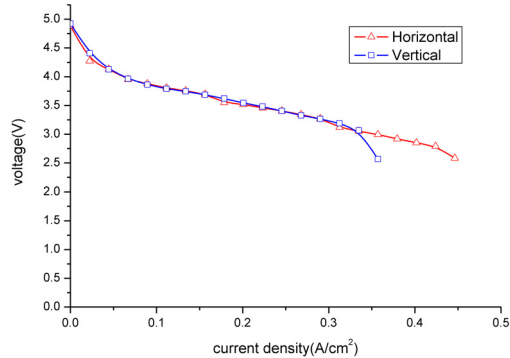


Fig. 4 IV curves of the open type 6 cell stack

위에 보인 바와 같이 6셀 스택도 단위 전지와 동일한 경향을 보인다. 매스 트랜스포트 손실 구간에서 가로 슬릿이 더 안정적인 경향이 더욱 확연해져서, 6셀 스택에서는 매스 트랜스포트 손실이 나타나는 시점과 최대 전력 밀도에서도 차이를 보였다. 세로 슬릿의 경우 약 0.3 A/cm²에서 매스 트랜스포트 손실이 나타났고, 가로 슬릿의 약 경우 0.45 A/cm²에서 나타났다. 또한 최대 전

력 밀도도 세로 슬릿은 171.21 mW/cm², 가로 슬릿은 197.21 mW/cm²으로 가로 슬릿이 더 우수한 성능을 보였다. 이 실험을 통해 가로 슬릿이 더 좋은 성능을 낸다는 것을 다시 확인할 수 있었다.

3.2.2 캐소드 방향에 따른 성능 변화

6셀 스택은 구동 중에 자체 반응열에 의해 온도가 60 ℃까지 올라간다. 이 열은 6셀 스택 주변 공기를 가열하고, 가열된 공기는 상승하게 된다. 결국 6셀 스택이 구동할 때, 셀 주변에는 온도 차에 의한 공기 유동이 발생한다. 따라서 공기와 반응면이 직접 접촉하는 캐소드면의 방향에 따라 반응면이 노출되는 유동 환경이 바뀌어 성능에서도 차이를 보이게 된다. Fig.5는 캐소드면을 옆으로 했을 때와 위, 아래로 했을 때의 실험 예를 나타낸 개념도이다.

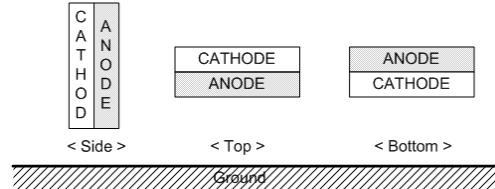


Fig. 5 Schematic diagram of the cathode direction

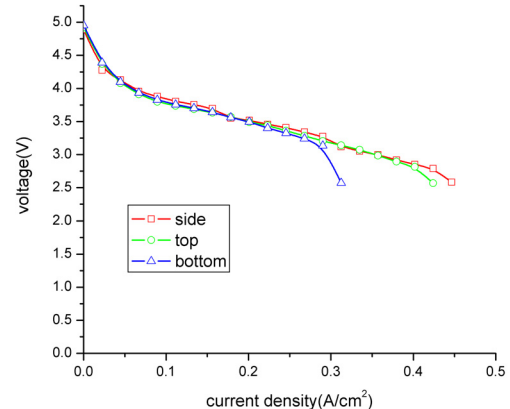


Fig. 6 IV curves of 6 cell stack according to cathode directions

Fig.6에 보인 바와 같이 각 실험에 따라 매스 트랜스포트 손실 구간의 시작점이 다른 것을 확인할 수 있다. 즉 옆면(side)의 경우 0.43 A/cm², 윗면(top)의 경우 0.4 A/cm², 아랫면(bottom)의 경우 0.3 A/cm²의 순서로 각각 매스 트랜스포트 손실의 시작점이 빨리 나타났다. 이것은 캐소드의 방향에 따라 공기 공급에 차이가 있다는 것을 의미한다.

캐소드 면과 수평 방향으로 발생하는 유동은 큰 저항 없이 이루어진다. 반면에 캐소드면과 수직인 유동은 셀 자체에 의해 저항을 받게 되어 원활한 공기 공급이 이루어지지 않는다. 즉, 옆면의 경우 유동이 큰 저항 없이 발생하여 공기 공급이 원활하고, 윗면과 아랫면의 경우는 그렇지 못하여 공급이 원활하지 않다. 이에 따라 성능 차이가 발생하였다.

Fig.7은 앞에서의 실험 결과를 바탕으로 6셀 스택을 설치하고, 실제로 휴대폰을 구동한 사진이다. 실험에 사용한 휴대폰의 필요 정격 전압은 3.7 V로, 6셀 스택으로 정격 전압에 적합한 전압을 발생 시킬 수 있었다.



Fig. 7 Demonstration of the cellular phone powered by 6 cell stack PEMFC

4. 결론

본 연구에서는 캐소드면 주변의 대류 조건이 자연 대류 타입 고분자 전해질형 연료 전지의 성능에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 자연 대류 연료 전지는 주변 공기의 영향을 직접적으로 받기 때문에 대류 조건에 따라서 성능의 변화를 보였다. 대류 조건 중에서도 캐소드 유로 판의 형태와 채널의 방향, 캐소드 면의 방향에 따라 성능에 변화가 있는 것을 확인할 수 있었다. 특히 산소의 공급량과 관련이 있는 매스 트랜스포트 손실 구간에서 확인한 성능 차이가 발생하였다. 따라서 휴대폰 기기에 자연 대류 연료 전지를 적용할 때에는 다음과 같은 사항이 고려되어야 할 것이다.

1) 소형 연료 전지에서는 오픈 타입이 채널 타입보다 유리하다. 이는 오픈 타입에서 공기와의 접촉이 더 용이하기 때문이다.

2) 오픈 타입에서는 가로 슬릿이 세로 슬릿보다 유리하다. 이는 가로 슬릿이 생성된 물의 증발에 더 유리하기 때문이다.

3) 캐소드 면이 중력 방향과 수직하게 위치하는 것이 더 유리하다. 이는 유동이 저항을 덜 받고 원활하게 이루어지기 때문이다.

References

- [1] Agnolucci, P., 2007, "Economics and market prospects of portable fuel cells," Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 32, Issue 17, pp. 4319-4328.
- [2] Dyer, C.K., 2002, "Fuel cells for portable applications," J. of Power Sources, Vol. 106, Issue 1-2, pp. 31-34.
- [3] Gottesfeld, S., 2007, "Fuel cell techno-personal mile stones 1984-2006," Vol. 171, pp. 37-45.
- [4] Knights, S.D., Colbow, K.M., St-Pierre, J. and Wilkinson, D.P., 2004, "Aging mechanisms and lifetime of PEFC and DMFC," J. of Power Sources, Vol. 127, Issue 1-2, pp. 127-134.
- [5] Gil, J.H., Chung, C.R. and Jang, J.H., 2007, "Hydrogen Generator," KIPO Patent 10-2007-0004663.
- [6] Tabe, Y., Park, S.K., Kikuta, K., Chikahisa, T. and Hishinuma, Y., 2006, "Effect of cathode separator structure on performance characteristics of free-breathing PEMFCs," J. of Power sources, Vol. 162, Issue 1, pp. 58-65.