핸드폰용 PEM 연료전지 개발

Development of PEM fuel cell for a cellular phone

*이세원[1], #박민수[1], 이강인[1] 주종남[1]

*S. W. LEE[1], #M. S. Park(pminsoo@prema.snu.ac.kr)[1] , K. I. Lee[1] , C. N. Chu[1]

[1] 서울대학교 대학원 기계항공공학부

Key words : PEM(Proton Exchange Membrane), Banded, Current collector, End plate, I-V curve

1. 서론

산업이 발전함에 따라 에너지 수요는 폭발적으로 증가하고 있지만 현재 주요 에너지원으로 사용되고 있는 화석 연료는 점차 고갈되어가고 있다. 또한 환경에 대한 관심이 증대되고, 환경에 미치는 영향을 제한하는 법률이 엄격해 지면서, 기존의 에너지원을 대체할 수 있는 친환경적인 에너지원이 필요하게 되었다.

이 친환경적인 에너지원 중 대표적으로 기대되는 에너지원 중에는 수소 에너지가 있다. 이 수소 에너지를 이용하여 전기를 발생시키는 장치인 연료전지는 식 (1)과 식 (2)와 같이 수소와 산소를 직접 반응시켜 전기를 얻기 때문에 에너지 효율이 높다. 또한 반응 후 발생하는 부산물이 물 밖에 없기 때문에 친환경적인 발전 장치이다

$$Anode \quad : \quad H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \qquad (1)$$

$$Cathode : \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \qquad (2)$$

휴대폰이나 노트북 컴퓨터와 같은 휴대용 기기에 사용되는 소형 연료전지의 경우 친환경적 특성뿐 아니라, 에너지 저장성에서도 좋은 특성을 보여야 한다. 리튬 이온 전지와 같은 기존의 2차 전지들은 점차 대량의 전력 소비를 요구하는 첨단 기술들을 따라가지 못하고 있다. 휴대폰의 경우 DMB나 WIBRO같은 멀티미디어 서비스가 등장하면서 단위 시간당 큰 전력이 필요하게 되었다. 이에 따라 기존의 전지로는 충분한 사용 시간을 확보하지 못하고 있는 실정이다. 이에 비해 연료전지는 월등히 높은 에너지 저장 능력이 있으므로 이러한 문제를 해결할 대안이 될 수 있다.[1]

연료전지는 대형 발전 장비나 자동차용 전지부터 소형 휴대폰, 노트북 등 그 적용 범위가 광범위하다. 이에 따라 연료전지의 적용 분야에 따라 다양한 형태의 연료전지들이 개발되고 있다. 그 중에 소형 연료전지의 경우 DMFC(Direct Methanol Fuel Cell), PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)등이 적합한 형태로 생각되어지고 있다.

DMFC는 메탄올을 직접 사용하기 때문에, 메탄올에서 수소 가스를 추출하는 역할을 하는 개질기가 필요 없어 부피를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 반면에 PEMFC는 개질기나 수소 저장 탱크를 통해 얻은 수소 가스를 이용하기 때문에 그만큼 부피가 커질 수밖에 없지만 PEMFC는 DMFC에 비해 단위 면적당 출력이 2배 이상 큰 장점을 가지고 있다.[2]

본 실험에서는 DMFC 보다 높은 출력 밀도를 가진 PEMFC를 제작하며 그 부피를 최소화 하여 휴대폰에 사용할 수 있는 30 cc 크기의 연료 전지 스택을 제작하였고 그 성능을 실험을 통해 알아보았다.

2. 핸드폰용 PEM 연료전지 제작

본 실험에서 제작된 연료전지는 단위 전지 6개가 수평으로 적층된 형태이다. 핸드폰의 경우 대부분 리튬이온 배터리를 이용하여 3.6 V 근방에서 작동하므로 이에 필요한 전압을 얻기 위해서는 단위 전지를 필요한 만큼 적층시켜야 한다. 단위 전지의 경우 최대 전압차는 이론상으로 1.2 V정도이지만, 실제 가동 시에는 단위 면적당 전류량을 높이면 여러 가지 손실로 인해 전압이 떨어지게 된다.[3] 따라서 필요한 전압인 3.6 V를 얻기 위해서 단위 전지를 0.5 V에서 0.6 V사이에서 작동시킬 때 6개 정도 단위 전지의 적층이 필요하다.

핸드폰에 연료전지를 이용하기 위해서는 휴대성을 고려해야만 하므로 두께를 최소화 하여야 한다. 따라서 단위 전지의 수직 적층이 불가능하기 때문에, 적층 시 수평 적층 방식을 이용하였다. 수평 적층 방식으로는 밴디드(Banded) 방식을 이용하였다. 밴디드 방식의 경우 한 쪽 유로판에 한 가지 기체만 흐르게 되므로 연료의 누설이 적고 유로의 형태가 간단해지는 장점을 가지고 있다.[4]

밴디드 방식으로 단위 전지를 적층할 때, 각 단위 전지의 전류 컬렉팅(Collecting) 과 양극과 음극의 연결은 연성 PCB를 이용하였다. 연성 PCB는 두께가 50 μm로 두께가 매우 얇고 무게가 가벼우면서도 내화학성과 내열성 등이 우수한 장점을 가지고 있다.

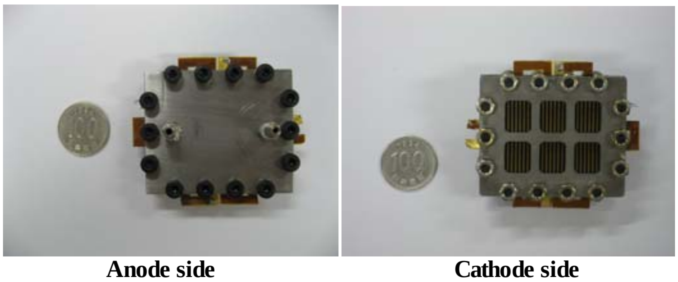
유로는 PAI (Polyamideimide) 재질의 두께 2 mm 판에 싱글 설펜타인 (Single Serpentine) 형태로 제작하였다. 6개의 단위 전지가 수평 적층되어 있는 밴디드 타입의 경우 한 개의 유로판에 6개의 양극이나 음극이 함께 존재하게 되므로 유로판은 비전도체 이어야만 한다. 또한 유로판은 엔드플레이트에서 가한 압력이 고르게 MEA에 전달되도록 해서 MEA와 전류 컬렉터 간의 표면저항을 최소화 시켜야 하므로 압축이나 굴곡 물성이 우수해야 한다. 이런 요소들을 만족시키기 위해 엔지니어링 열가소성 수지인 PAI를 이용하였다.

수소 공급용 유로의 폭과 깊이는 각각 0.8 mm와 1 mm로 제작하였다. 제작된 연료전지는 자연 대류 공급 방식이므로 산소는 자연 대류를 통해 대기 중의 산소를 공급하였다. 단위 셀의 MEA 의 크기는 가로 14 mm 세로 12 mm로 면적은 1.68 cm^2 이며 총 6개가 수평 적층되어 있으므로 총 반응 면적은 10.08 cm^2 이다.

엔드 플레이트는 양쪽 모두 3 mm 의 STS 판을 이용하였다. 엔드플레이트 체결 시 외곽 부분에 볼트와 너트를 이용해 체결하므로 엔드플레이트가 휘어져 MEA 전 면적에 고르게 압이 가지 않는 문제가 발생한다. 이런 문제점을 최소화하기 위해 엔드플레이트에 미리 압력을 가해 소성변형을 일으켜 보상곡선을 만든 후 체결하여, 각각의 단위전지에 고른 압력을 가할 수 있도록 제작하였다.

Table 1 Characteristics of the developed PEMFC

Parts	Specification
Flow Field plates	Anode: Single serpentine flow field (PAI plate) Cathode: Natural convection type (PAI plate)
End plate	3 mm STS plates
Current collector	Flexible PCB
The Assembly method	M4 Bolts & Nuts
The volume of stack	30 cc



Anode side **Cathode side**

Fig. 1 The picure of the developed PEMFC stack

3. 제작된 연료전지 성능 평가 실험

3.1 연료전지 실험 가동 조건

제작된 핸드폰용 PEM 연료전지의 성능을 실험을 통해 살펴보았다. 일반적으로 PEM 연료전지의 경우 70~80 ℃가 최적 온도이므로 그 범위 안에서 실험을 진행하고, 이 온도까지 가열하기 위해서는 히터와 같은 부가적인 장치를 부착한다. 하지만 이런 부가적인 장치는 부피와 무게를 차지하여 휴대성을 떨어뜨리므로 핸드폰용 연료전지에 적용하기에 부적합하다. 따라서 본 실험에서 가열은 연료전지 내에서 반응이 일어나면서 생기는 열만을 이용하여 자체적으로 가열이 되도록 진행하였다. 가습 또한 부가적 장치 없이 연료전지 내에서 반응 후 부산물로 생기는 물만을 이용해 가습하도록 하였다.

연료인 수소는 50 sccm을 공급하였고 반응에 필요한 산소의 경우 자연 대류 공급 방식으로 별다른 공급 장치 없이 대기 중의 산소가 공급 되도록 하였다.

3.2 연료전지 실험 결과

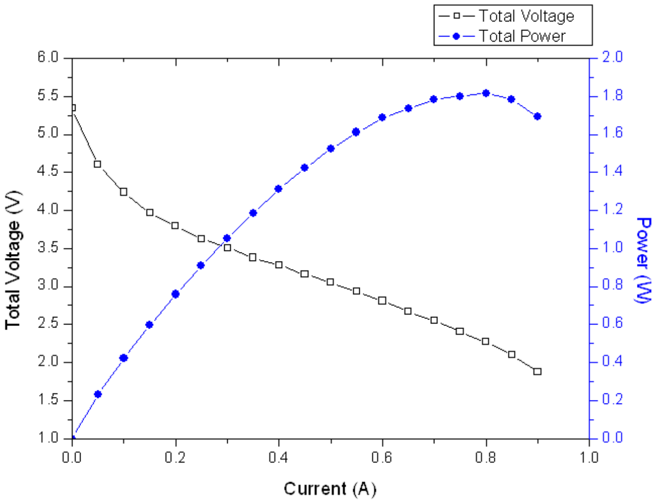


Fig. 2 Total voltage and power performance of PEMFC

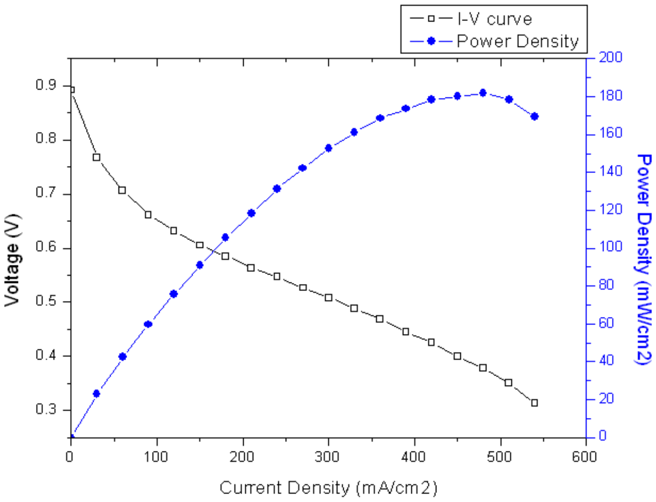


Fig. 3 I-V curve and power density curve of developed PEM fuel cell

Fig. 2는 제작된 핸드폰용 연료전지의 전류량에 따른 전압변화 곡선과 출력 전력 곡선을 나타낸다. 이 곡선을 살펴보면 O.C.V. (Open Circuit Voltage)는 5.35 V로 나타났다. 핸드폰이 가동되는 3.6 V 에서는 전류가 300 mA로 나와 출력은 1.08 W로 나타났다. 제작된 연료전지의 최대 출력은 전압이 2.27 V 이고 전류 800 mA 일때 1.82 W로 나타났다.

각각의 단위 면적당 I-V 곡선과 단위 면적당 출력은 Fig. 3에 나타내었다. 제작된 연료전지의 단위전지가 0.6 V로 가동될 때 단위 면적당 전류는 180 mA/cm^2 이었으며 최대 출력은 각 단위 전지의 전압이 0.378 V 이고 전류 밀도가 480 mA/cm^2 일 때 181.6 W/cm^2 로 나타났다.

4. 결론

본 실험에서 제작된 연료전지는 PEM 타입으로 핸드폰에 적용하기 위해 개발 되었다. 전체 크기는 30 cc 정도이며 핸드폰에 필요한 전압을 얻기 위해 6개의 단위전지가 밴디드 방식으로 수평 적층되었다. 또 자연 대류를 통해 대기 중의 산소를 공급하는 방식으로 제작되었다. 실험 시 가열과 가습은 자체 발열 및 자체 가습을 이용하였다.

성능은 3.6 V에서 전류가 300 mA로 1.08 W의 전력을 나타내었다. 이를 단위 면적당 출력으로 계산하면 108 mW/cm^2 이다. 제작된 스택의 최대 출력은 2.27 V에서 800 mA일 때 1.82 W로 나타났다.

자연 대류를 통해 산소를 공급하는 연료전지의 경우 주변 환경의 온도나 습도에 따라 그 성능이 민감하게 변하는 특징을 가지고 있다. 앞으로 이런 각종 환경의 변화에 따른 성능 변화에 관련하여 추가적인 실험이 필요할 것이다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술개발사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광ㆍ열유체 마이크로부품 기술개발 사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. Norio Numata, "携帯向け燃料電池、業界内標準化," Proceedings of the Fuel Cell Seminar, January Tokyo, Japan, 2005.
2. James Larminie, Andrew Dicks, "Fuel Cell Systems Explained 2nd Edition," 143, 2002.
3. James Larminie, Andrew Dicks, "Fuel Cell Systems Explained 2nd Edition," 46, 2002.
4. Ryan O'Hayre, Daniel Braithwaite, Weston Hermann, Sang-Joon Lee, Tibor Fabian, Suk-Won Cha, Yuji Saito, Frinz B. Prinz, "Development of portable fuel cell arrays with printed-circuit technology," Journal of Power Sources, 124, 459-472, 2003.