공기호흡형 마이크로 연료전지의 특성 연구
Characterization of air-breathing micro fuel cells

하홍용, 김영진, 고백균, 홍성안, 오인환
한국과학기술연구원, 연료전지연구센터

1. 서론

이동통신기기의 발달로 고성능의 휴대용 전원에 대한 수요가 증가하고 있으며, 기존의 배터리가 갖고 있는 여러 가지 불편한 점들, 예를 들어, 작은 용량, 짧은 사용시간, 긴 충전시간, 짧은 수명, 폐기시의 공해유발 등과 같은 문제점들로 인해 새로운 전원에 대한 요구가 증가하고 있다[1,2]. 연료전지에서 휴대용 전원으로 사용 가능한 형태로는 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)와 직접메탄올 연료전지(DMFC)가 있다. 고분자 전해질 연료전지의 경우에는 연료인 수소의 저장 및 공급이 관건인데, 일반적으로는 수소 저장합금인 금속수소화물(matal hydride)을 사용하나, 금속수소화물은 무겁고, 가격이 비싸며, 수소의 재충전이 불편한 단점이 있다. 최근 들어서는 마이크로 연료개질기(micro fuel processor)를 사용하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으나[3], 일산화탄소를 제거하는 문제로 인해 실용화에는 거리가 있으며, 이러한 문제를 해결하기까지는 많은 노력과 시간이 소요될 전망이다. 직접메탄올 연료전지는 수소대신 메탄올을 연료로 사용하기 때문에 장치가 간단해지는 장점이 있어서 휴대용 전원으로서 가능성이 큰 것으로 알려져 있다[4]. 그러나, 전극성능이 낮고, 메탄올의 크로스오버로 인해 성능 저하와 수명단축이 야기되는 문제가 있다. 따라서, 이러한 메탄올 저감을 위한 고분자 전해질 막의 개발과 메탄올 산화용 애노드 촉매의 개발에 관련하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 마이크로 연료전지는 수와트급 이하의 직접메탄올 연료전지를 가리키며, 휴대폰 등의 전원으로 사용하기 위한 목적으로 개발되고 있다. 마이크로 연료전지는 상온, 상압에서 공기호흡(air breathing) 및 수동적 메탄올 공급 (passive methanol feed)의 조건으로 운전이 이루어지기 때문에 장치가 매우 간단해지는 장점이 있으나, 반응물의 공급 및 생성물의 제거가 원활치 못한 제한이 있다.

본 연구에서는 마이크로 연료전지의 단위전지 및 모노폴라 스택에서 나타나는 여러 가지 운전 특성에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. 실험방법

메탄올 연료전지의 애노드 촉매로는 백금-루테늄(Pt-Ru black) 합금분말을 사용하며 캐소드 촉매로는 백금(Pt black) 분말을 사용하였다. 또한 촉매와 이오노머를 이소프로필알콜에 넣어 초음파 교반기에서 잘 혼합하여 촉매잉크로 만든 후 탄소천에 골고루 뿌려 촉매층을 형성시켰다. 직접 메탄올 연료전지의 전해질은 고체 고분자 전해질 연료전지의 전해질과 동일한 나피온 115(Du-Pont)를 사용하였다. 제조된 애노드 및 캐소드용 전극을 전해질 표면의 양쪽에 놓고 고온 압착시켜 전해질-전극 어셈블리(MEA)를 제조하였고, 제조된 전해질-전극 어셈블리를 전지틀에 장착하여 성능 테스트를 하였다. 공기호흡형 마이크로 연료전지는 상온에서 운전하며, 캐소드에 공급되는 산화제로는 외부의 공기가 자연적으로 공급되도록 하고, 애노드에 공급되는 메탄올은 강

제로 순환시키지 않고 셀에 부착되어 있는 메탄올 저장고로부터 자연확산에 의해 공급되도록 하였다. 여기에서 공기호흡형이라 함은 외부에서 강제로 공기를 불어주지 않고, 공기중의 산소가 농도차에 따른 자연확산에 의해 캐소드 (전극이 공기와 접촉되도록 캐소드 분리판에 수십개의 작은 구멍들이 만들어져 있다) 쪽으로 이동되어 전극반응에 참여하게 되는 형태를 말한다. 스택은 모노폴라 형태로 제작하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 상온 공기호흡형 마이크로 연료전지 단위전지에서의 메탄올 농도의 영향을 살펴본 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 4M의 농도에서 가장 높은 성능을 나타냈으며, 33mW/cm^2 @ 0.4V, 40mW/cm^2 @ 0.3V의 성능을 보였다. 메탄올 농도가 4M 이상인 경우에 낮은 성능을 보이는 것은 메탄올 크로스오버가 너무 심한 때문인 것이며, 낮은 농도에서 는 전극에서의 메탄올 농도가 낮아지기 때문이다. 4M 농도에서 최고 성능을 나타내는 것은 메탄올을 강제로 공급해주는 경우와 큰 차이를 보이는데, 메탄올을 강제로 공급해주는 경우에는 일반적으로 1~2M 농도에서 최고성능을 보인다. 이러한 차이는 전극의 반응지점 즉, 촉매층에서의 메탄올 농도와 관련이 있는 것이다. 즉, 강제 공급의 경우에는 메탄올 용액의 혼합이 매우 빠르게 이루어지기 때문에 분리판 채널과 촉매층에서의 메탄올 농도 구배가 크지 않게 된다. 그러나, 자연확산에 의해 메탄올이 공급되는 경우에는 채널과 전극 촉매층 사이의 농도차가 매우 커지게 된다. 따라서, 최적 농도가 메탄올 공급방법에 따라 달라지게 되는 것이다.

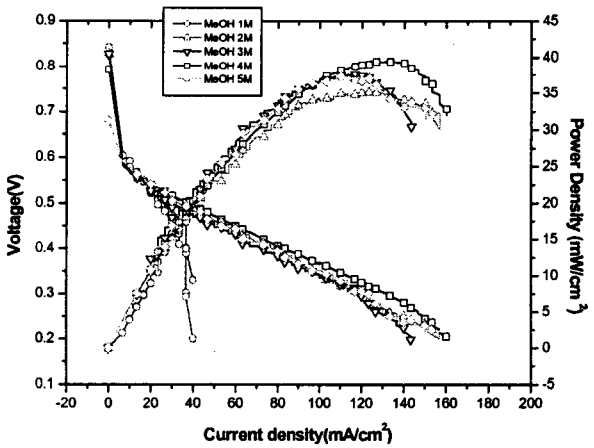

그림 1. 메탄올 농도에 따른 공기호흡형 단위전지의 성능변화

그림2는 공기를 강제로 공급해준 경우와 공기호흡형의 경우에 대한 비교실험 결과이다. 메탄올 농도에 관계없이 공기호흡형(passive)이 공기 공급형(air blowing)에 비해 높은 성능을 나타냈는데, 이것은 전지의 반응온도와 관계 있는 것으로 보인다. 즉, 셀의 온도는 반응열에 의해 상온이상으로 증가하게 되는데 외부에서 공기를 불어주게 되면 셀 온도가 낮아지므로써 성능이 낮아지

게 되는 것이다. 이것은 공기를 불어주므로써 생기는 산소 농도증가에 따른 긍정적인 효과보다 온도하강에 따른 부정적인 효과가 더 크게 나타난 결과로 보인다.

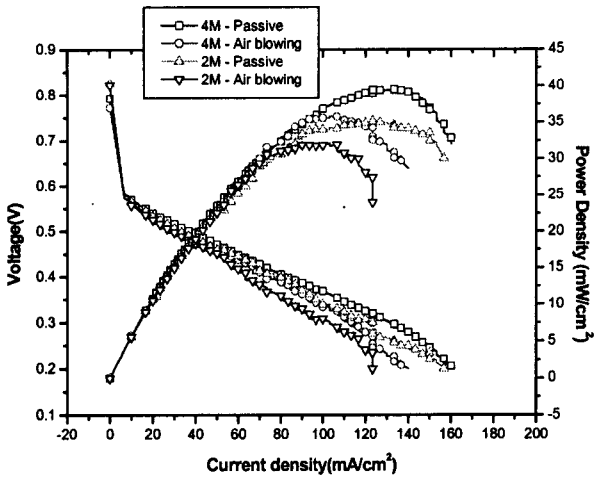

그림 2. 공기공급 형태에 따른 전지 성능 비교

그림3은 6개의 단위전지로 구성된 모노폴라 스택의 성능을 나타낸 것으로 각 단위전지의 전극 면적은 4.5cm^{2}이며 전체 면적은 27cm^{2}이다. 그림에서 보면 단위전지에서와 마찬가지로 스택에서도 농도에 따른 성능변화가 나타났으며, 4M에서 가장 높은 성능을 보였다. 즉, 스택과 단위전지는 유사한 운전특성을 보인다는 것을 알 수 있다. 그림4는 스택에 대한 메탄올 및 공기의 공급형태에 따른 성능변화를 도시한 것이다. 공기와 메탄올이 완전 수동형으로 공급되는 경우(passive)가 메탄올을 공급해주거나 (MeOH flowing) 공기를 불어주는 경우 (air blowing)에 비해 높은 성능을 나타냈다. 메탄올을 흘려줄 때 성능이 떨어지는 것은 메탄올 농도가 4M로 높기 때문이다. 농도가 낮은 경우에는 passive에 비해 메탄올을 흘려줄 때 높은 성능을 보이게 된다. 또한, 공기를 흘려주는 경우에 성능이 낮아지는 것은 앞에서 설명한 바와 같이 공기 공급에 따른 셀의 온도 저하가 일차적인 원인인 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구를 통해서 공기호흡형 및 수동형의 조건에서 운전되는 마이크로 연료전지는 공기와 메탄올을 강제로 공급해주는 경우와는 매우 다른 운전특성을 보인다는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 메탄올 농도 및 공기 공급 형태에 따른 영향은 강제공급형에 비해 매우 다른 모양을 나타냈다. 즉, 일반적으로 메탄올을 흘려주는 경우에는 2M 농도에서 가장 높은 성능을 보이는 반면에, 수동형 연료전지에서는 4M 농도가 최적 운전조건이었으며, 공기를 외부에서 불어주는 것이 그렇지 않은 경우에 비해 오히려 성능이 낮아졌다.

마이크로 연료전지를 배터리 대체용으로 사용하기 위해서는 이와 같은 여러 가지 운전조건에 따른 성능평가를 수행해야 하며, 이러한 평가를 통해 최적 운전조건을 찾고, 전체 시스템의 효율을 향상시키기 위한 방안이 마련되어야 할 것이다.

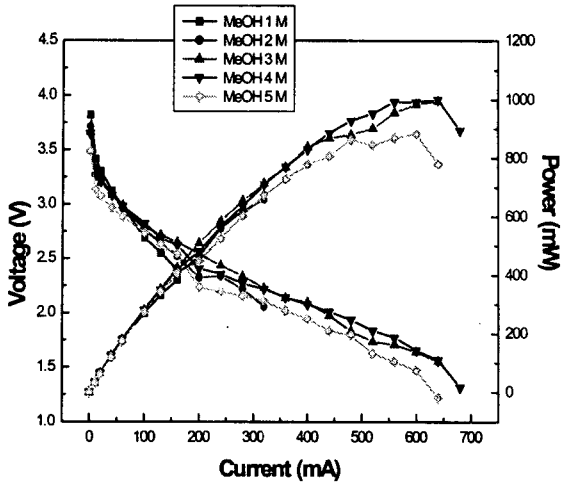

그림 3. 모노폴라 스택의 농도에 따른 성능 변화

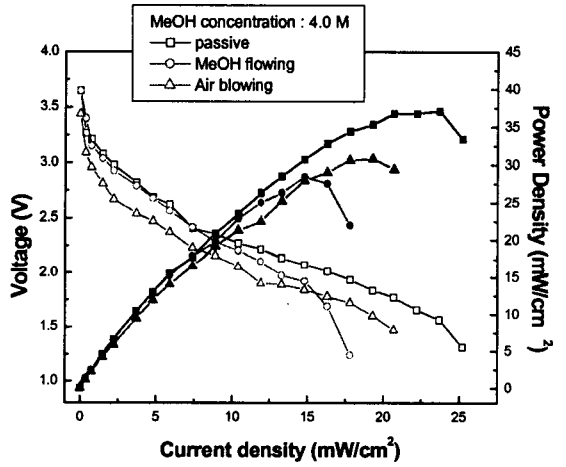

그림 4. 모노폴라 스택의 반응물 공급 형태에 따른 성능변화

참고문헌

1. H. Voss and J. Huff, J. Power Sources, 65, 155-158 (1997).
2. C.K Dyer, J. Power Sources, 106, 31-34 (2002).
3. J.D. Halladay, Small Fuel Cells 2002, Apr. 21-23, 2002, Washington D.C.,
4. K. Scott, W.M. Taama and P. Argyropoulos, J. Power Sources, 79, 43-59 (1999).

감사의 글

본 연구는 기초기술연구회의 정책연구사업으로부터 연구비를 지원받아 수행된 것이며, 이에 감사드리는 바입니다.