

고분자 전해질형 연료전지에서 직렬과 병렬 연결방식의 특성분석

김명환, 이승중, 문세기, 김영채
한양대학교 화학공학과

A study on the characteristic of a series and parallel connection
in proton exchange membrane fuel cell

Myong Hwan Kim, Seung Jong Lee, Sei-Ki Moon, Young Chai Kim
Department of Chemical Engineering, Hanyang University

서론

PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)는 활성을 가진 물질(LNG, LPG, 메탄올등)을 개질 해 얻은 수소를 전기화학반응으로 산화시켜 그 과정에서 방출되는 화학에너지를 전기 및 열로 직접 변환시키는 장치로서, 기존의 발전기술과는 달리 연소과정이나 구동장치가 없으므로 효율이 높을 뿐만 아니라 공해물질을 유발하지 않는 새로운 개념의 기술이다. PEMFC는 낮은 온도에서 높은 전력 밀도를 얻을 수 있다는 장점 때문에 휴대용 전기 장치 및 이동 수단의 동력원으로서 이용되어질 수 있다.[1] 그러나 상용화에 있어서 전극 구성 요소들의 가격 경쟁력이 떨어지고 새로운 인프라 구축이 필요하다는 문제점을 가지고 있다. 이 문제점을 보완하기 위해서 전극 촉매의 개발, 좋은 이온전도도를 가진 고분자 전해질의 개발, MEA(Membrane electrode assembly)제조 최적 조건 등 전극 구성요소의 신물질 개발을 위해 연구되어져 왔고[2-4], 최근에는 전기화학반응에서의 반응 메카니즘 규명뿐만 아니라 전지 작동의 최적조건을 위한 온도, 압력, 가습 조건에 대한 연구, 바이폴라 플레이트(bipolar plate) 재료와 디자인에 따른 전지 성능 향상을 위한 연구가 이루어지고 있다.[5-7]

현재 연료전지를 자동차 동력원이나 가정용 전력원으로 사용하기 위해서는 높은 Power를 얻어야만 가능하다. 그러므로 바이폴라 플레이트를 직렬로 연결해서 전압을 증가시키고, 전극면적을 대면적화 하여 전류를 증가시키는 것으로 power를 증가시킬 수 있다. 그러나 대면적화 함에 따라 PEMFC를 가동할 때 가습 및 온도 조절에서의 어려움과 bipolar plate채널에 따른 반응가스의 농도 차이에 의한 전지 성능의 저하가 야기된다. 이러한 전지 성능 저하를 막기 위해서 flow field plate에서 전자 흐름 방향을 변화시켜 새로운 전기적인 연결방식으로 대면적화 함에 따라 발생하는 문제점을 극복할 수 있을 것이라 예상된다.

따라서 본 연구에서는 PEMFC 작동 조건에 따른 전지 성능 평가와 전자 흐름 방식에 따른 single cell에서의 전지 성능을 알아 보았다.

실험

1. 실험 장치

전자 흐름 형태에 따른 성능을 측정하기 위해서 graphite single cell과 test station(Globe Tech Inc.)으로 구성되어졌고, graphite single cell은 Fig. 1에서와 같이 연결 방식을 다르게 하였다. test station은 반응가스(H₂/O₂)의 흐름을 조절할 수 있는 장치와 electric load를 제

어할 수 있는 electronic load box(Model No. HP6050A)로 구성되었다. 반응가스는 유량을 조절하기 위해서 유량조절기를 사용하였고, 유량조절기를 통과한 가스는 가습을 위해 외부 가습통을 사용하여 cell내부로 공급하였다. 또 가습량과 cell온도를 조절하기 위해서 온도 조절기를 사용하였고, cell내부 압력은 backpressure regulator로 조절하였다. graphite single cell은 전지 성능 측정을 위해 electronic load box에 연결되어졌다.

2. MEA제작

MEA는 두 개의 전극 활성화점 사이에 이온 교환막을 넣고 hot pressing하여 제작하였다. 이번 실험에서 사용한 이온교환막으로는 Nafion 117을 사용하였고, 전처리하는 아래와 같은 방법으로 실시하였다. 우선 멤브레인의 불순물을 제거하기 위해서 5wt% H_2O_2/H_2O , 70°C에서 1시간 동안 처리하고 불순물을 씻어내기 위해서 1시간 동안 증류수에 담가 둔다. 다음에 5wt% HNO_3 , 70°C에서 40분 방치한 후 40°C 증류수에서 40분씩 2회 반복하여 멤브레인 표면에 잔존하는 유기 불순물 및 금속 화합물을 제거하였다.

전극은 Vulcan XC-72 carbon위에 담지된 20% Pt촉매를 carbon cloth위에 도포시킨 형태의 E-TEK 전극을 사용하였고, Pt촉매 위에 멤브레인과 전극의 접촉저항을 최소화하기 위해서 5% Nafion 용액을 전극무게의 3.3%를 바르고 상온에서 12시간 방치한 후 진공오븐(80°C)에서 2시간 건조시켰다. 위에서 전처리를 거친 멤브레인과 전극을 스테인레스 스틸 hot plate사이에 넣고 낮은 압력, 100°C에서 5분간 유지시킨 후 130°C, 60atm에서 90초 동안 hot pressing하여 MEA를 제조하였다. MEA의 전극 활성화면적은 $9cm^2$ 이다.

3. 실험조건

Fig. 1 (a)는 일반적인 전자흐름 형태를 가진 single cell로서 전지 작동 최적화를 위해 작동 온도 30°C-80°C, 각 온도별로 전지내부의 압력을 1bar-4bar까지 변화시켜 전지 성능을 알아보았다. H_2/O_2 의 가습 온도는 전지 작동온도보다 10°C/5°C 높게 유지 시켰고, 공급 기체의 유량은 수소이용율을 80%, 산소이용율을 50%로 고정시켰다. 가장 안정된 성능을 보인 온도와 압력 범위에서 Fig. 1 (b)의 성능을 측정하여 비교하였다.

결론

1. 작동 최적화를 위한 온도, 압력의 영향

고분자 막을 전해질로 사용하는 PEMFC에서는 막 특성상 100°C이하에서 작동시켜야만 하는 저온형 연료전지로서 안정된 성능을 얻기 위해서는 전지 내부의 온도, 압력, 전해질의 가습량에 따라 작동 조건을 만들어 주어야만 한다. 전지 내부의 온도, 압력, 가습량에 따라 반응기체의 반응성, 농도, 전해질의 이온전도도의 차이에 의해서 전지 성능의 변화가 초래될 것으로 예상된다. 이번 연구에서 cell작동 온도와 압력의 영향을 알아보기 위해서 Fig. 1 (a)의 single cell을 사용하였다. 동일한 MEA를 사용하여 작동 온도를 30°C에서 80°C까지 변화 시켰고, 각 온도별로 압력을 1bar에서 4bar까지 변화시켜 전지 성능을 알아보았다. Fig. 2은 전 온도 범위에서 가장 안정된 성능을 보인 3bar에서 온도변화에 따른 voltage-current curve와 power-current curve를 나타내고 있다. 온도가 올라감에 따라 전지 성능은 증가하나 증가폭이 70°C이상에서는 감소하는 것을 알 수 있다. Fig.3은 운전 온도 70°C에서 압력 변화에 따른 voltage-current curve와 power-current curve이다. 1bar에서는 전지 성능이 불안정한 상태를 보였고, 압력이 올라감에 따라 전지 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다. 이것은 운전 압력이 증가함에 따라 cell내부 반응기체 농도가 상승되어 전지 성능이 향상되는 것으로 설명할 수 있다. 실험 결과 낮은 온도에서는 전 압력 범위에 걸쳐 안정된 전지 성능을 보였으나 높은 온도에 비해 성능이 떨어지는 것을 알 수 있었고, 높은 온도에서는 압력이 낮을 때 불안정한 voltage-current 거동이 나타났다. 이는 낮은 온도에서는 반응기체의 활성이 떨어져 전지 성능이 감소하는 것이고, 높은 온도 낮은 압력에서는 전해질의 탈수에 의해 이온전도도가 불안정한 것으로 설명되어질 수 있

다. 따라서 가장 안정되고 좋은 성능을 보인 70°C, 3bar에서 다음 실험을 진행하였다.

2. 전자 이동 방향에 따른 전지 성능의 비교

일반적인 PEMFC에서는 anode에서 발생된 전자를 다음 cell의 cathode쪽으로 이동시켜 voltage를 증가시키고, 전극면적을 크게 하여 current를 증가시킬 수 있다. 이는 전자가 최단거리와 큰 면적을 통과하기 때문에 저항을 감소시킬 수 있으나, current를 증가시키기 위해서 대면적화 함에 따라 전지성능의 저하가 야기된다. 이를 보완하기 위해서 전자 흐름 방향을 바꿔 병렬연결에 의해 current를 증가시킴으로서 가능하나, 전자 이동거리가 멀어짐에 따라 저항의 증가를 발생시킬 수 있다. Fig. 4는 전자 흐름 방향에 따른 전지 성능을 비교한 그래프이다. 이 그래프에서 전자 이동 방향에 따라 큰 성능차이를 보이지 않는 것으로 나타난다. 이것은 전자가 이동할 때 발생하는 저항보다 MEA자체가 가지고 있는 저항이 커서 전자 이동에 따른 저항을 무시할 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 전자 이동 방향을 바꿔 current를 증가시킴으로서 대면적화에 따른 전지성능 저하를 보완할 수 있을 것이라 생각된다.

참고문헌

- [1] Z. Poltarzewski, P. Staiti, V. Alderucci, W. Wiczorek, N. Giordano, J. Electrochem. Soc. 139 (1992) 761
- [2] B. Tazi, O. Savadogo, Electrochimica Acta 45 (2000) 4329
- [3] M.S. Wilson, S. Gottesfeld, J. Electrochem. Soc. 139 (1992) L28
- [4] E.A. Ticianelli, C.R. Derouin, A. Redondo, S. Srinivasan, J. Electrochem. Soc. 135 (1988) 2209
- [5] P.L. Hentall, J.B. Lakeman, G.O. Mepsted, P.L. Adcock, J. Power Sources 80 (1999) 235
- [6] D.P. Davies, P.L. Adcock, M. Turpin, S.J. Rowen, J. Applied Electrochem. 30 (2000) 101
- [7] Deryn Chu, R. Jiang, J. Power Sources 80 (1999) 226

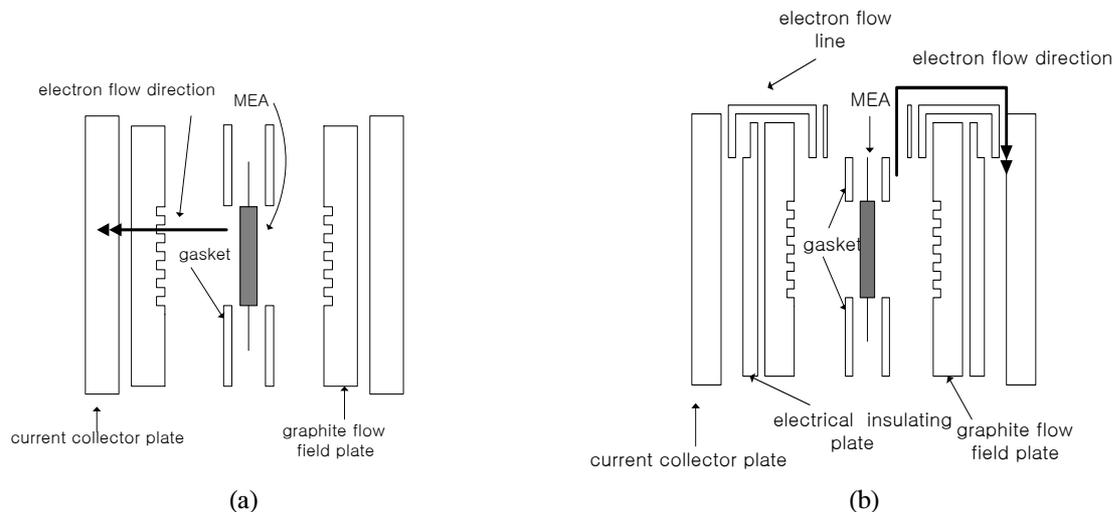


Fig 1. The scheme of (a) series electron flow and (b) parallel electron flow direction

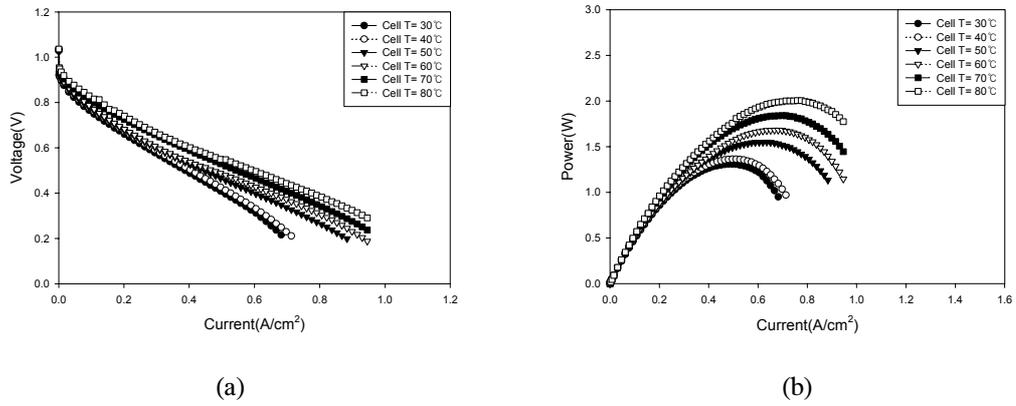


Fig 2. Effect of temperature between 30°C and 80°C on the operating (a) voltage and (b) power at a constant backpressure of 3bar

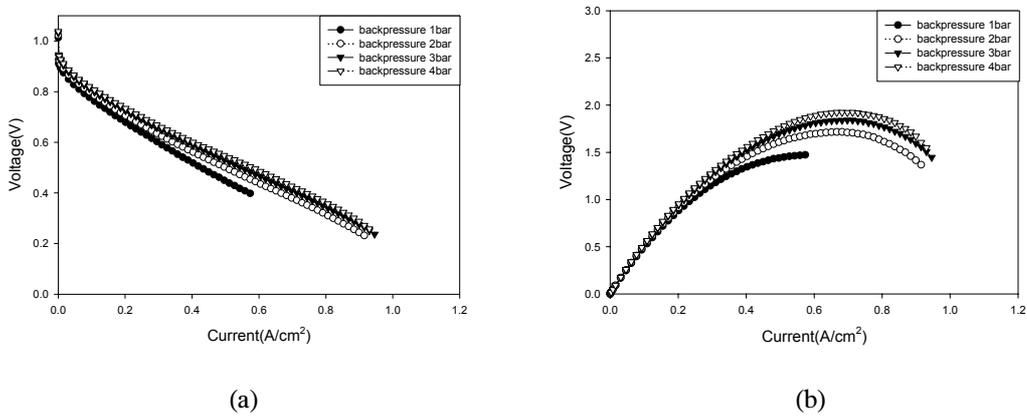


Fig 3. Effect of backpressure between 1bar and 4bar on the operating (a) voltage and (b) power at a constant temperature of 70 °C

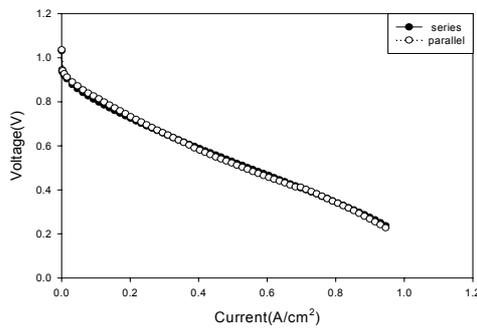


Fig 4. comparison V-I profile of (a) series and (b) parallel electron flow direction