

고분자 연료전지의 성능에 미치는 분리판 채널 형상의 영향

Effects of Channel Configuration of Flow Field Plates on the Performance of a PEMFC

윤영기, 이원용, 박구곤, 양태현, 김창수
한국에너지기술연구원 저온연료전지연구센터

1. 서론

고분자 연료전지의 성능은 전극-전해질 접합체(MEA)의 성능, 분리판의 유로 형상, 작동조건 등에 의해 많은 영향을 받게 된다(1-4). 우선 한개의 셀을 고려해보면 활발한 전기화학 반응, 즉 우수한 성능을 얻기 위해서는 두 가지의 중요한 인자를 고려해야만 한다. 그 첫 번째는 전극에 반응물을 신속하게 전달시키고 반응에서 생긴 부산물을 전극 바깥쪽으로 빠르게 제거하도록 하는 원활한 기체의 확산이다. 또 다른 중요한 인자는 활발한 전기화학 반응을 유지시키기 위해 필수적인 빠른 전자 전달이며, 이것은 우수한 전기전도도에 의해 달성된다. 분리판에 한정지어 생각할 때 빠른 기체의 확산은 유로의 채널의 폭이 크고 리브의 폭이 작은 경우에 유리하다. 전도도의 경우는 리브의 폭이 큰 경우가 접촉면적이 커지기 때문에 유리하다. 따라서 분리판의 유로의 형상을 최적화하기 위해서는 기체 확산과 전기전도의 양측면에서의 절충점을 찾아야만 한다. 그러나 현재까지 분리판의 연구 부분에서 기체확산과 전기전도를 동시에 고려한 연구는 거의 없는 실정이다. 이다. 본 연구에서는 분리판의 유로 형상을 최적화 하기 위한 일환으로서 리브의 폭이 다른 분리판에서의 고분자 연료전지의 성능을 조사하였다. 그리고 실험 결과를 전기전도와 기체확산의 양면에서 논의 하였다.

2. 실험 방법

전극-전해질 막 접합체 제작

20 wt.%의 Pt/C(HiSPEC 4000 Fuel Cell Catalyst, Johnson Matthey)를 cathode 와 anode 양 전극에 공통적으로 촉매로서 사용하였다. 촉매 슬러리는 5wt.%의 Nafion 용액과 혼합하여 백금 촉매와 전해질 막 사이의 접촉을 원활하게 하였다. Nafion 과 Pt/C의 혼합 슬러리는 마그네틱 스티러를 사용하여 교반함으로써 제조 하였다. 백금 촉매와 Nafion의 비는 무게비로 3:1이 되도록 하였다.

MEA의 제작은 Nafion 112 전해질막에 촉매 슬러리를 직접 분무하여 이루어 졌다. 0.19 mm 두께의 탄소 종이를 지지층으로 사용하였으며 지지층은 PTFE로 처리하여 발수성을 부여하여 확산층에 적합한 성질을 갖도록 하였다. 건조된 MEA와 확산층을 120도의 온도에서 50 기압의 압력으로 3분30초 동안 압착하여 MEA-확산층 접합체를 제작하였다. 백금의 담지량은 cathode와 anode 양측에서 모두 $0.4\text{mg}/\text{cm}^2$ 으로 유지 되었다.

접촉 저항

다양한 접촉에 대한 접촉저항을 가해지는 압력의 함수로서 측정하였다. 압력의 범위는 일반적으로 스택의 체결시 사용되는 범위인 5 기압에서 15기압 까지였다. 접촉 물질은 확산재(carbon paper 0.19mm), 확산층, 촉매층, 그래파이트 평판 및 채널과 리브의 폭이 동일한 분리판 이었다.

채널과 리브의 형태

분리판의 유로 형상을 최적화하기 위한 일환으로 리브의 폭을 변화시키며 단위전지의 성능을 측정하였다. 그림 1에 나타낸 것과 같이채널의 폭을 1mm 로 고정시키고 리브의 폭을 0.5mm에서 3.0mm 까지 변화시켰다.

단위전지 운전

각기 다른 리브의 폭을 가진 단위전지는 셀온도 65도에서 수소/공기 이용률 80%/40%에서 운전 되었다. 완전 가습조건에서 가습기의 온도는 80도였고, 건조 조건에서는 55도로 유지하였다.

3. 결과 및 고찰

고분자 연료전지 스택의 적절한 체결 압력을 결정하기 위해 다양한 접촉들에 대한 전기적 접촉저항을 측정하였으며 그 결과를 그림 2에 나타내었다. C paper, C cloth 와 Cat 는 각각 탄소천, 탄소종이 및 촉매층을 나타낸다. 모든 경우에서 체결압력이 증가함에 따라 접촉저항이 감소함을 알 수 있다. 탄소천과 탄소종이를 비교하면 탄소종이의 경우가 더 저항이 훨씬 더 작음을 알 수 있다. 두 경우 모두 낮은 저항 값을 얻기 위해서는 15기압 이상의 체결압력이 필요함을 알 수 있다. 또한 접촉면적이 접촉저항에 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 평판의 그래파이트 접촉쪽이 유로가 있는 분리판 보다 저항이 작기는 하지만 산술적으로 접촉면적에서 계산되어지는 값인 1/2 보다는 큰 값이라는 점을 고려해야만 한다.

전기전도는 활발한 전기화학 반응을 위해 필수적인 요소이며 분리판의 넓은 리브폭, 확산재, 확산층, 촉매층 등의 셀 구성요소들의 전도도가 높으면 전기전도에 유리하다. 하지만, 셀 성능에는 고려되어야 할 중요한 인자가 또 하나 존재한다. 기체 확산은 셀 내에서 전극으로의 반응물의 원활한 전달과 부산물의 제거를 통해 전기화학반응을 활발히 계속 일어나게 하는 중요한 인자이다. 전기전도와 기체 확산, 이 두 인자는 서로 경쟁관계에 있는 것으로 보인다. 전기전도를 증가시키려 하면 기체 확산이 저하되고, 또 기체확산을 증가시키려 하면 전기전도도가 떨어지게 된다. 따라서, 전기전도와 기체확산의 양측면의 절충점이 존재할 것이다.

그러므로, 분리판의 유로를 설계할 때 이러한 두 인자를 고려해야만 한다. 그러나 이에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 이 두 인자가 셀 성능에 미치는 영향을 이해하는 첫 단계는 실험적으로 그 영향을 측정하는 것이다. 이 두 인자들은 복잡한 방식으로 서로 연관 되어 있으므로 이론적인 연구나 수치적인 접근이 실제로 상당히 어렵다. 따라서, 다음 단계는, 실험결과에 기초하여 수치적인 해석을 행하는 것이다.

전기전도와 기체확산, 두 인자가 셀 성능에 미치는 영향을 이해하기 위해 분리판 유로의 리브의 폭을 변화시키며 100% 가습조건과 건조조건에서 단위전지의 성능을 측정하였고, 그 결과를 각각 그림 3(a) 와 (b) 에 나타내었다. 채널의 폭은 1mm 로 고정시키고 리브의 폭을 0.5mm에서 3mm 까지 변화 시켰다. 양쪽 모두 리브의 폭이 감소할수록 단위전지의 성능이 증가함을 알 수 있다. 그러나 100% 가습조건에서의 성능 향상 폭이 건조조건보다 큰 것을 고려하면 물의 증기압이 큰 기체 혼합물의 경우가 더 기체확산이 어려움을 알 수 있다.

그림 4(a) 와 (b) 는 그림 3을 재구성하여 각각 100% 가습조건과 건조조건의 전류 및 전류의 비를 나타낸 것이다. 그림 4(a)에서 채널의 면적비가 클수록 가습조건에 상관없이 성능이 향상됨을 알 수 있으며, 저압이 낮은 영역, 다시 말하면 전류가 큰 영역에서의 성능향상이 두드러짐을 알 수 있다. 이것은 고 전류 조건에서는 채널의 면적비가 큰 쪽이 유리함을 나타낸다.

그러나 일반적인 고분자 연료전지의 운전조건에서 100% 가습은 많은 에너지를 소모하기 때문에 현실적으로 구현하기 어렵다. 따라서, 그림 4(b) 에 나타낸 것과 같은 100% 가습조건과 건조조건을 전류비를 조사하는 것도 의미 있는 것으로 보여 진다. 전류비는 채널 면적비가 작을수록 그리고 전압이 낮을수록 커짐을 알 수 있다. 작은 채널 면적비는 리브의 폭이 크며 그 밀을 통과하는 기체의 확산이 어려워짐을 의미한다. 그러나 이 경우 리브 밀쪽의 물을 보유하는 능력은 증가하는 것으로 보여 진다. 저 전압조건, 즉, 고전류 조건에서는 더 많은 양의 물이 생성 되므로써 반대의 경우가 성립되는 것으로 보여 진다. 따라서 전류가 증가 할수록 가습정도가 높아져서 전압이 감소할수록 전류비가 증가하는 것으로 보인다.

4. 결론

다양한 리브폭을 가진 분리판에 대해 셀 성능을 측정한 결과, 리브의 폭이 감소할수록 셀 성능이 증가하는 것으로 관찰 되었다. 증가의 폭은 저 전압에서 더 컸으며, 이는 채널 면적비가 큰 쪽이 고 전류 작동에 유리함을 지시한다. 100% 가습조건과 건조조건에서의 전류비를 조사한 결과 리브밀 쪽에서 물을 보유하는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. J. H. Lee and T. R. Lark, *J. Power Source* 73 (1998) 229.
2. M. Nojonen, T. Mennola, M. Mikkola, T. Hottinen and P. Lund, *J. Power Sources* 106 (2002) 304.
3. S. Dutta, S. Shimpalee, and J.W. Van Zee, *J. Heat & Mass Transfer* 44 (2001) 2029.
- V. Kudriavtsev, R. Das, in: *Proceedings of the 4th International ASME/JSME/KSME*

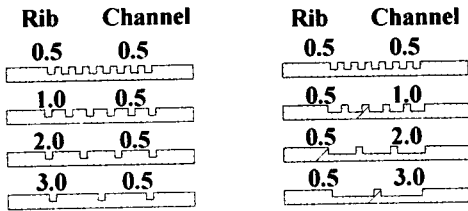


Figure 1. Schematic diagram of rib and channel configurations used in this study

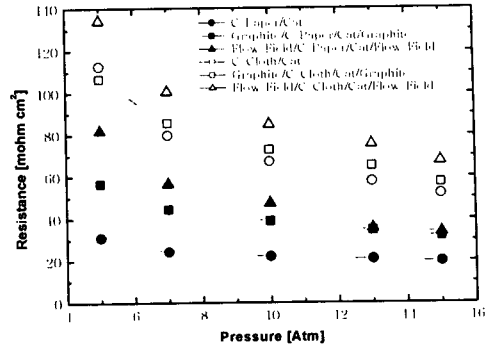


Figure 2. Electric resistance of various contacts as a function of applied pressure

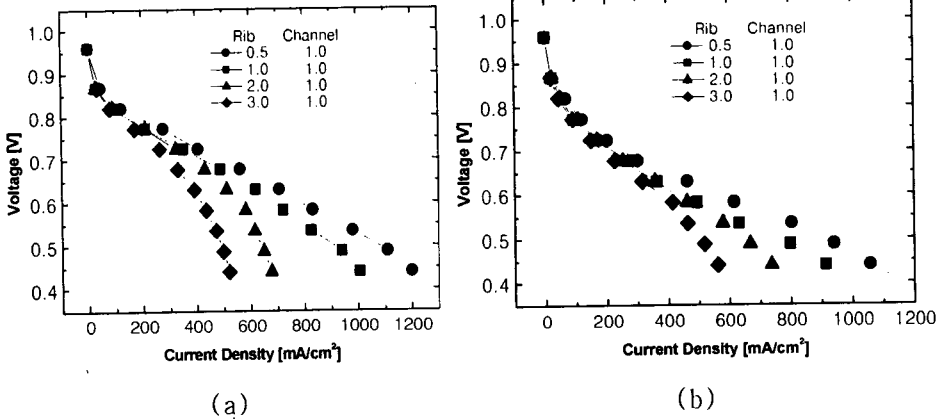


Figure 3. Performance of single cells possessing different rib width. (a) fully humidified condition, and (b) drying condition. The active area of a cell was 80 cm² and operating gases were pure hydrogen and air with utilization of 80% and 40%, respectively.

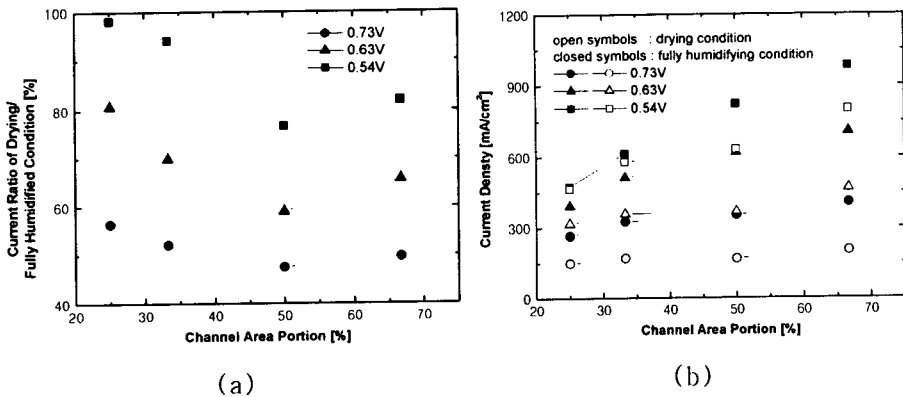


Figure 4. (a) Current density as a function of channel area portion, and (b) current ratio of drying condition to fully humidified condition.