F-10

자동차용 PEMFC 분리판의 유로설계에 관한 연구

Research of Flow Field Design for Automotive PEMFC Bipolar Plate

구영모, 김명환, 정선경, 유승을
S. Shimpalee*, W-k. Lee* and J. W. Van Zee*
자동차부품연구원 환경소재연구센터
*Department of Chemical Engineering, University of South Carolina

1. 서론

환경오염의 원인인 CO_2 규제로 인하여 저공해 자동차의 개발이 요구되고 있으며 새로운 에너지원 형태로 연료전지 자동차(FCV: Fuel Cell Vehicle)가 급부상하고 있다. 연료전지 자동차는 내연기관에 비하여 에너지 효율이 높고 이산화탄소 등의 대기오염물질 방출을 줄일 수 있으며, 열기관에 비하여 낮은 온도에서 작동하기 때문에 질소산화물의 발생량을 무시할 수 있을 정도로 저감시킬 수 있다는 장점을 가지고 있어 친환경 자동차의 동력원으로 개발되고 있다.

연료전지 스택의 성능을 좌우하는 운전변수로는 온도, 압력, 유량, 가습 등이 있다. 하지만 기본적인 성능을 좌우하는 것은 구성품(전해질막, 분리판, GDL, 촉매 등)의 특성에 따라서 상이하게 나타난다. 본 연구에서는 스택 구성품 중 분리판 디자인에 따른 성능변화에 대한 연구를 수행하였다. 특히 분리판 디자인에 의한 압력분포를 분석하여 성능에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실험방법

연료전지 스택의 성능을 좌우하는 요인들은 식(1)의 연료전지 전압이론식에서 보는 것과 같다. 그림 1에서 나타낸 것과 같이 압력요인은 연료전지 시스템의 운전압력(back pressure) 변화와 분리판 디자인에 의한 스택 내 압력차 변화가 있다. 연료전지 시스템의 운전압력을 상승하시키면 연료전지 성능은 증가하지만 안전성, 물배출 및 BOP 효율이 낮아질 수 있다. 하지만 스택 내 압력차를 증가시킬 경우에는 연료전지 시스템의 운전압력을 상승시키는 것에 비하여 물배출이 원활하고 안전성이 높을 것으로 여겨진다. 본 연구에서는 단위전지를 이용하여 이를 증명하기 위한 연구를 수행하였다.

$$E_{cell} = E_{O_2} - E_{H_2} = E_0 + \frac{RT}{2F} ln(\frac{P_{H_2} \cdot P_{O_2}^{1/2}}{P_{H_2O}}) \quad (1)$$

(E_{cell} = 연료전지 전압, P_{H_2} = 수소분압, P_{O_2} = 산소분압, P_{H_2O} = 수증기분압)

분리판은 반응면적이 25 ㎠이고 유로가 직선형인 1A(유로수 1개), 5A(유로수 5개)와 굴곡

형인 1B(유로수 1개), 5B(유로수 5개)로 설계하였다. 동일 반응면적에서 분리판 내 최소압력차를 보이는 디자인이 A형태이며 최대압력차를 보이는 디자인이 B형태이다. 또한 반응면적이 200 ㎠인 분리판 10A, 23A의 디자인을 설계하였고 여러 형태의 분리판을 이용한 단위전지(25 ㎠과 200 ㎠)에 유량을 변화시켜 성능변화를 시험하였다. 분리판 25-1A, 5A와 200-10A의 디자인을 그림 2에 나타내었다. 여러 종류 분리판을 이용한 단위전지 시험의 운전조건은 다음과 같다. Cell 온도는 70℃이며, 연료기체로 수소와 공기를 이용하였고, 수소 및 공기측 상대습도(relative humidity)는 95~98%로 유지하였다. 압력은 pressure gauge (P_g, bar) 값으로 나타내었으며 세부적인 운전조건은 표 1에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

Anode와 cathode에 분리판 25-1A를 사용하여 유량별 단위전지 시험한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 cathode stoic.이 일정하고 anode stoic.이 2.0에서 1.5로 변하는 (a)와 (d), (b)와 (e), (c)와 (f)를 비교하여 볼 때 성능변화가 없음을 알 수 있다. 그러나 anode stoic.이 일정하고 cathode stoic.이 3.0, 2.5, 2.0으로 변화하는 (a), (b), (c)와 (d), (e), (f)에서는 cathode stoic.이 증가할수록 성능이 증가하였다. 25 ㎠ 1A/1A, 1B/1B, 5A/5A, 5B/5B로 조합된 4 종류의 단위전지 시험에서 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과로 알 수 있는 것은 같은 디자인의 분리판을 이용할 경우 anode 보다는 cathode 유량변화에 의해 성능이 좌우된다는 것이다. 따라서 분리판 설계시 anode 보다는 cathode에 더욱 많은 고려를 해야 할 것으로 여겨진다.

Anode의 분리판을 일정한 형태(1A, 1B, 5A, 5B)로 고정하고 cathode의 분리판(1A, 1B, 5A, 5B)을 변화시켜 유량별, 압력별 시험을 수행하였으며 그림 4에 anode/cathode stoic.이 1.5/2.5이고 압력(P_g)이 0 bar, 1 bar인 경우에 단위전지 25-5B/1A, 1B, 5A, 5B의 성능을 나타내었다. 압력이 0 bar이고 전압이 0.6 V의 cathode 분리판 1A, 1B, 5A, 5B인 경우 각각의 전력밀도가 0.79 W/㎠, 0.80 W/㎠, 0.54 W/㎠, 0.57 W/㎠로 나타났으며 내부 압력차가 작은 5A, 5B에 비하여 내부 압력차가 큰 1A, 1B의 경우가 성능이 높게 나타났다. 압력이 1 bar인 경우에도 전압이 0.6 V에서 cathode 분리판 1A, 1B, 5A, 5B인 경우 각각의 전력밀도가 1.03 W/㎠, 0.97 W/㎠, 0.84 W/㎠, 0.84 W/㎠로 0 bar인 경우와 동일한 경향을 나타내었다. 또한 그림 4의 0 bar와 1 bar인 경우를 비교하여 볼 때 0 bar, 0.6 V의 1A와 1B의 cathode 내부압력차는 각각 0.397 bar, 0.652 bar이다. 전압 0.6 V를 기준으로 내부압력차가 0.397 bar인 1A 분리판과 back pressure 1 bar를 가한 5A나 5B 분리판의 전력밀도가 각각 0.79 W/㎠, 0.84 W/㎠로 비슷하게 나타났다. 즉, cathode 분리판의 설계시 최소압력차 기준으로 설계하는 것보다는 내부 압력차를 주어 설계하는 것이 성능을 향상시킬 수 있으며 최소압력차로 설계된 분리판에 압력을 가하여 연료전지 시스템의 안전성과 BOP 효율을 감소시키는

것보다는 내부 압력차를 상승시켜 상압으로 운전하는 것이 더 유리하다는 것을 알 수 있었다.

Anode 분리판이 일정할 경우 cathode 분리판에 5A보다 1A를 이용한 것이 더 높은 성능을 보이는 것을 CFD로 단위전지를 설계하여 해석하였으며, 전류밀도 600 mA/㎠, cathode 유량 875 cc/min일 때 해석결과를 그림 5에 나타내었다. 공기가 분리판 및 GDL 전체에서 흐르고 있음을 알 수 있다. 특히 1A의 경우 5A에 비하여 분리판의 산(shoulder)과 GDL이 맞닿은 곳에서 유속이 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 내부 압력차가 높으면 공기 중 산소밀도가 높아져 성능이 증가하는 것과 더불어 GDL의 전면적에서 전기화학적 반응이 일어나는 효과에 의해 성능이 상승하는 것으로 여겨지며 이러한 효과에 의해 5A에 비하여 1A의 경우가 성능이 높게 나타난 것으로 사료된다.

반응면적이 200 ㎠인 단위전지 10A/10A, 23A/23A를 이용한 성능을 그림 6에 나타내었다. 반응면적이 200 ㎠로 증가할 경우에도 25 ㎠의 결과와 동일하게 내부 압력차가 높은 경우에 성능이 증가하는 경향을 나타내었다.

4. 결론

(1) Cathode stoic.이 일정하고 anode stoic.(2.0, 1.5)을 변화시켰을 경우는 성능변화가 없었으나 anode stoic.이 일정하고 cathode stoic.(3.0, 2.5, 2.0)을 변화시킨 경우에는 cathode stoic.이 증가할수록 성능이 증가하였다. 따라서 같은 디자인의 분리판을 이용할 경우 anode 보다는 cathode 유량변화에 의해 성능이 좌우되며 분리판 설계시 anode 보다는 cathode에 더욱 많은 고려를 해야 할 것으로 여겨진다.

(2) 전압 0.6 V를 기준으로 anode 분리판에 5B를 이용하고 cathode 분리판에 1A(내부압력차 0.397 bar)를 이용한 상압의 조건과 cathode 분리판에 5A 분리판을 이용한 back pressure 1 bar의 조건에서 전력밀도가 각각 0.79 W/㎠, 0.84 W/㎠로 성능차가 크게 나타나지 않았다. 따라서 cathode 분리판의 설계시 최소압력차 기준으로 설계하는 것보다는 내부 압력차를 주어 설계하는 것이 성능을 향상시킬 수 있으며 최소압력차로 설계된 분리판에 압력을 가하여 연료전지 시스템의 안전성과 BOP 효율을 감소시키는 것보다는 내부 압력차를 상승시켜 상압으로 운전하는 것이 더 유리하다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Oliver J. Murphy, Alan Cisar and Eric Clarke, Electrochimica Acta, 43, (1998) 3829.
2. James Larminie and Andrew Dicks, Fuel Cell Systems, John Wiley & Sons (2000).
4. S. Shimpalee and S. Dutta, Numer. Heat. Tr. A-Appl., 38, (2000) 111 .
5. W. K. Lee, S. Shimpalee, and J. W. Van Zee, J. Electrochem. Soc., 150, (2003) A341.

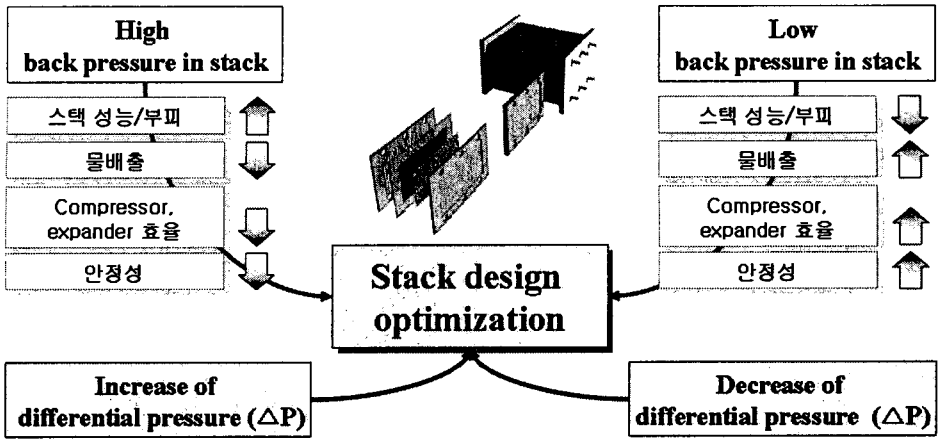


그림 1. 연료전지 시스템 압력에 따른 영향

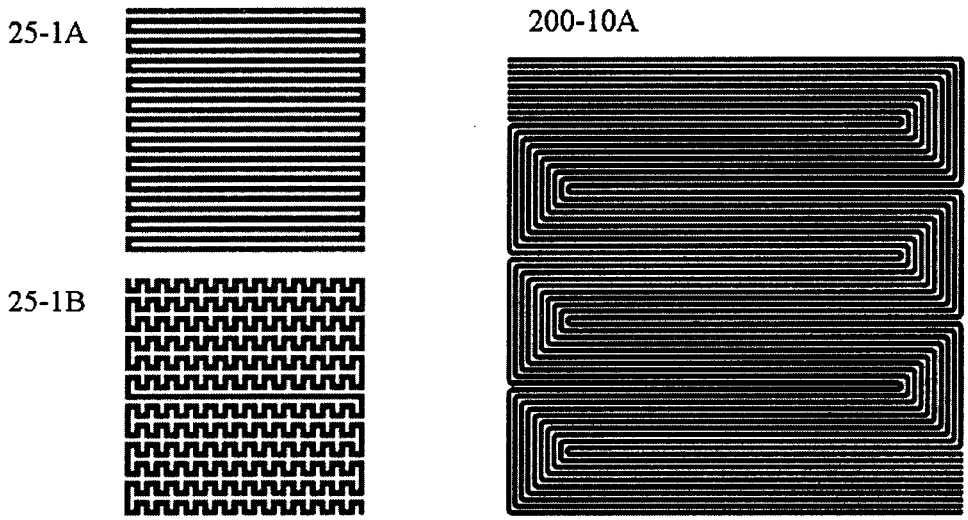


그림 2. 분리판 25 ㎠와 200 ㎠의 디자인

표 1. 분리판별, 운전변수별 성능시험 조건

반응 면적 (㎠)	분리판 (Anode/Cathode)	단위전지 온도 (T_{cell}, °C)	압력 (P_g=bar) (Anode/Cathode)	Stoic. (Anode/Cathode)
25	1A/1A, 1B, 5A, 5B 1B/1A, 1B, 5A, 5B 5A/1A, 1B, 5A, 5B 5B/1A, 1B, 5A, 5B	70	0/0, 1/1	2.5/3.0, 2.0/3.0, 1.5/3.0 2.5/2.5, 2.0/2.5, 1.5/2.5 2.5/2.0, 2.0/2.0, 1.5/2.0
200	10A/10A 23A/23A			

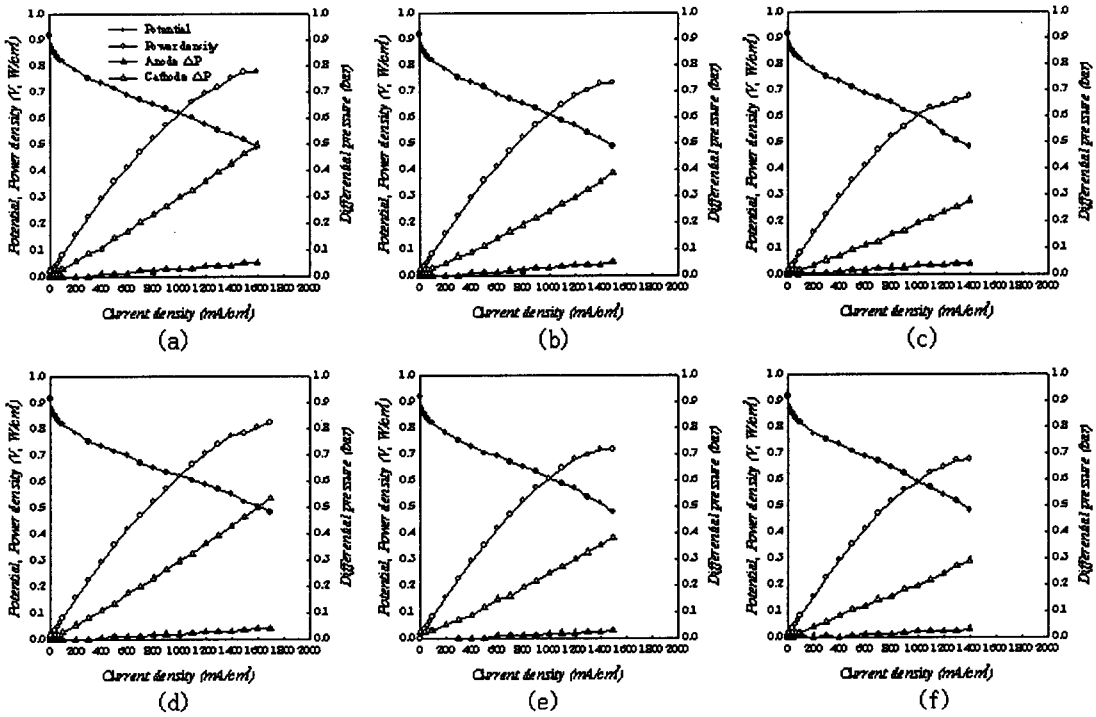
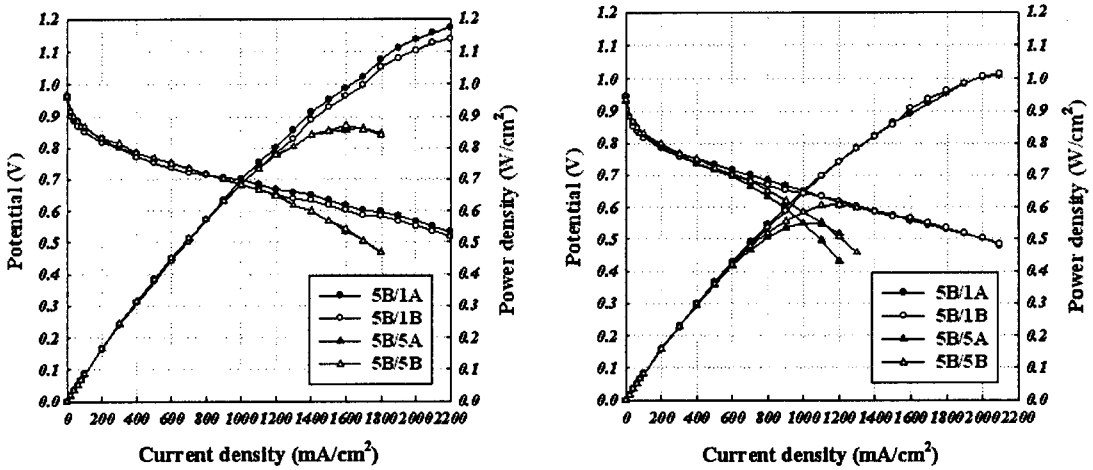
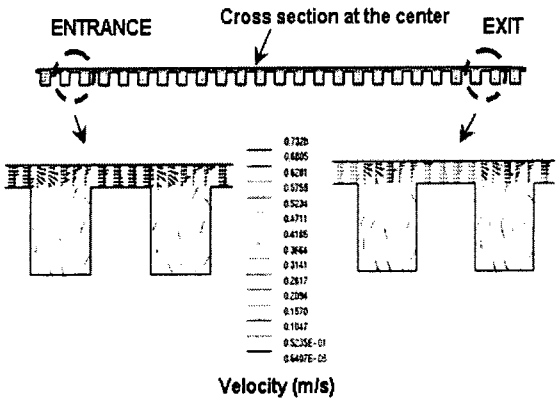


그림 3. 25 ㎠ 분리판(1A/1A)을 이용한 유량별 단위전지 성능 및 내부 압력차
(Anode/cathode stoic.; a=2.0/3.0, b=2.0/2.5, c=2.0/2.0, d=1.5/3.0, e=1.5/2.5, f=1.5/2.0)

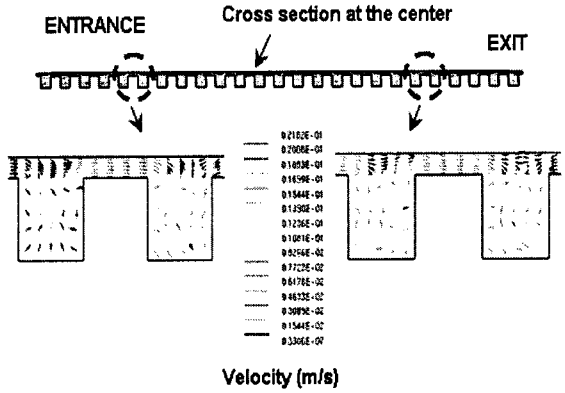


(a) P_g = 0 bar (b) P_g = 1 bar

그림 4. 비대칭 분리판 형태에 따른 단위전지별 성능 (25 ㎠, stoic. 1.5/2.5)

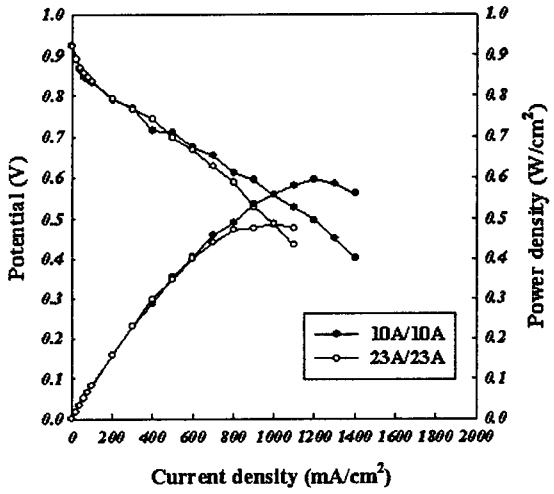


(a) Cathode 분리판이 1A인 경우

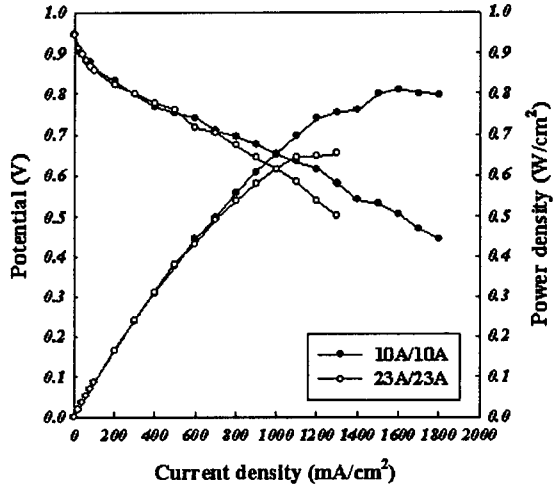


(b) Cathode 분리판이 5A인 경우

그림 5. 25 ㎠ 단위전지의 cathode 분리판과 GDL에서의 유속분포



(a) P_g = 0 bar



(b) P_g = 1 bar

그림 6. 200 ㎠ 분리판별 단위전지 성능 (stoic. 1.5/2.0)