

PEMFC용 금속분리판의 내부식성 향상을 위한 설계 연구

Study of Metal Bipolar Plate Design for Improving Corrosion Resistance in PEMFC

정선경, 구영모, 유승을
자동차부품연구원 환경소재연구센터

1. 서론

PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)에 사용되는 분리판의 설계에는 (1) 전기 전도성, (2) 내부식성, (3) 화학적합성, (4) 열전도성, (5) 기체 투과도, (6) 기계적 강도, (7) 중량 및 부피, (8) 제조 용이성 등과 같은 특성이 고려되어야 한다. 종래에 분리판으로 사용해 온 고가의 graphite는 현재까지 계속 이용되고 있으며, 연료전지 자동차의 상용화를 위해서는 내연기관 수준으로 연료전지 제조단가의 저감이 필요하다.

본 연구에서는 고가의 graphite를 대체하기 위하여 저가이며 경량금속인 알루미늄(Al)을 이용한 분리판을 제작하였다. 금속분리판에서 산화·환원반응에 의해 발생하는 부식을 최소화하기 위하여 유로(flow field) 내에 전기전도성 부분(electric conductive area: 이하 ECA로 표기)과 전기비전도성 부분(electric non-conductive area: 이하 ENCA 표기)으로 구분하여 ECA에는 전기전도도와 내부식성이 우수한 Au를 표면 처리하였고, ENCA에는 전기전도성이 없고 내식성이 우수한 polymer 소재인 polytetrafluoro-ethylen(PTFE)을 표면 처리하여 금속분리판을 제조하였다. 이러한 디자인을 이용하여 유로 내에 부식발생이 가능한 면적을 2/3이상 줄일 수 있었다.

2. 실험방법

Al 판재를 이용하여 분리판을 제작하였으며 제작순서를 그림 1에 나타내었다. Al은 가공성이 우수한 Al5052 소재를 선정하였고 CNC를 이용하여 유효면적(active area)이 25 cm²인 유로를 가공하였다. 유로가 형성된 전면에 PTFE 분말을 표면에 분사한 뒤 300℃에서 PTFE 코팅층을 형성시켰다. 기체확산층(GDL: Gas Diffusion Layer)과 맞닿는 PTFE로 코팅된 상태의 ECA 부분을 절삭하여 Al층이 나타나게 한 후 1차 금속 표면처리를 하고 다시 Au 표면처리를 하여 Al/Au-PTFE 분리판을 제작하였다. 그림 2는 제작된 Al/Au-PTFE 분리판과 광학현미경으로 본 PTFE층과 Au층을 나타낸 것이다. Au가 표면처리된 ECA의 표면적과 PTFE가 표면처리된 ENCA의 표면적은 각각 16.71 cm², 37.35 cm²이며, 전체 표면적은 54.06 cm²이다. 즉, 전체면을 내부식성 귀금속으로 코팅하여 분리판을 제작하는 것보다 위의 방법은 귀금속 사용량을 약 70% 정도 감소시킬 수 있다.

본 연구에 사용된 디자인은 분리판 모재가 Al뿐만 아니라 Cu, Ni, Ti, SUS 등 전도성 물질이면 활용이 가능한 형태로 여겨진다.

3. 결과 및 고찰

금속분리판의 부식정도를 관찰하기 위하여 Al시편 및 Au와 PTFE를 표면처리한 Al시편에 대한 부식시험을 수행하였으며 그림 3에 나타내었다. 2010년 DOE 목표 중 분리판 부식

을(I_{corr})은 $16 \mu A/cm^2$ 이하이며 그림 3의 Al과 Al/Au-PTFE의 부식율은 각각 $122 \mu A/cm^2$, $1.38 \mu A/cm^2$ 로 측정되었다. 본 연구에서 제작된 Al/Au-PTFE는 그림 3에서 나타난 바와 같이 단시간의 부식시험에서는 우수한 형태를 보였다. 하지만 Au와 PTFE가 만나는 모서리에서 장시간 운전시에 문제가 발생할 가능성을 배제할 수 없기 때문에 long term 부식시험이 진행 중이다.

Al/Au-PTFE 분리판의 전류·전압 곡선을 알아보기 위하여 $25 cm^2$ 단전지를 제작하였으며, 동일한 유로 디자인을 지닌 graphite 소재의 분리판을 사용한 단전지와 성능 비교를 그림 4에 나타내었다. 운전조건은 상압, 단전지 온도 $70^\circ C$ 이며 연료기체로 수소와 공기를 사용하였다. Graphite 분리판을 사용한 경우에 비하여 Al/Au-PTFE 분리판의 성능이 낮게 나타났다. $0.8 V$, $0.7 V$, $0.6 V$ 에서 graphite의 성능은 각각 $0.201 W/cm^2$, $0.491 W/cm^2$, $0.632 W/cm^2$ 로 나타났으며, Al/Au-PTFE를 이용한 단전지의 성능은 $0.121 W/cm^2$, $0.281 W/cm^2$, $0.421 W/cm^2$ 으로 성능 감소는 각각 약 40%, 43%, 34%로 나타났다.

Graphite 분리판에 비하여 Al/Au-PTFE 분리판의 성능감소 요인을 찾기 위하여 분리판과 GDL의 접촉저항에 대한 시험을 하였으며 시험 개략도는 그림 5에 나타내었다. 단전지와 같은 조건을 맞추기 위하여 가스켓을 이용하였으며 체결압 변화에 대한 접촉저항 변화 값을 그림 6에 그래프로 도시하였다. 체결압이 $100 N/cm^2$ 이상에서 접촉저항이 수렴하는 형태를 보였다. Graphite에 비하여 Al/Au-PTFE의 경우가 접촉저항 값이 높게 나타났으며 체결압 $200 N/cm^2$ 을 기준으로 접촉저항 값이 각각 $0.607 m\Omega$, $1.179 m\Omega$ 으로 측정되었다. Graphite에 비하여 Al/Au-PTFE의 접촉저항 값이 약 2배로 높게 나왔고 성능이 약 2배정도 낮게 나왔기 때문에 접촉저항이 성능감소를 일으킨 요인으로 사료된다. 접촉저항이 낮게 나온 이유로는 분리판 제조시 ECA에 PTFE가 처리된 두께만큼 절삭되어야 하는데 소량의 PTFE가 ECA에 잔존하는 것을 방지하기 위하여 약 $20 \mu m$ 를 더 많이 cutting한 것에 기인한 것으로 사료된다. 즉, 분리판에 있어서 유로가 형성되어있지 않은 유로 외측부위의 표면보다 GDL이 분리판과 접촉하는 유로 형성부위가 더 낮게 되어 있다면 체결시 GDL의 접촉이 잘 이루어지지 않아 접촉저항이 크게 나타나게 될 것이며 위의 Al/Au-PTFE 분리판의 경우도 그와 같은 경우로 여겨진다.

4. 결론

- (1) 기존의 금속분리판의 부식을 방지하기 위하여 분리판 면적 또는 유로 면적을 내부식성 물질로 처리하는 형태에서 ENCA를 내부식성 물질인 PTFE로 표면 처리함으로써 금속분리판 내에서 부식발생이 가능한 면적을 2/3 이상 줄일 수 있었다.
- (2) Al 뿐만 아니라 Cu, Ni, Ti, SUS 등 전도성 물질이면 활용이 가능한 설계형태이며 표면처리 및 성형 등 필요한 물성조건에 따라 분리판 모제의 선정이 가능하다.
- (3) Al/Au-PTFE의 부식율은 $1.38 \mu A/cm^2$ 로 우수하였다.
- (4) Graphite 소재를 이용한 단전지 성능이 $0.6 V$ 에서 $0.632 W/cm^2$ 인 것에 비하여 Al/Au-PTFE 단전지는 $0.421 W/cm^2$ 이었으며 성능감소가 약 34%로 나타났다. 이것은 접촉저항이 graphite 소재에 비하여 약 2배 높은 것에 의한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. D. P. Davies, P. L. Adcock, M. Turpin, S. J. Rowen, J. Appl. Electrochem., 30 (2000) 101.
2. J. Scholta, B. Rohland, V. Trapp, U. Focken, J. Power Sources, 84 (1999) 231.
3. R. Morita, K. Azuma, S. Inoue, R. Miyano, H. Takikawa, A. Kobayashi, E. Fujiwara, H. Uchida, M. Yatsuzuka, Surf. Coat. Technol., 136 (2001) 207.
4. Heli Wang, John A. Turner, J. Power Sources, 128 (2004) 193.
5. S. Rudenja, J. Pan, I. O. Wailnder, C. Leygraf, P. Kulu, J. Electrochem. Soc., 146 (1999) 4082.

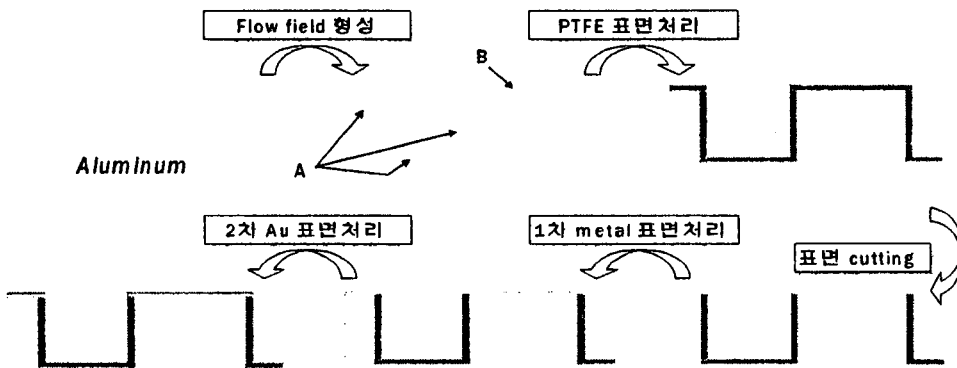
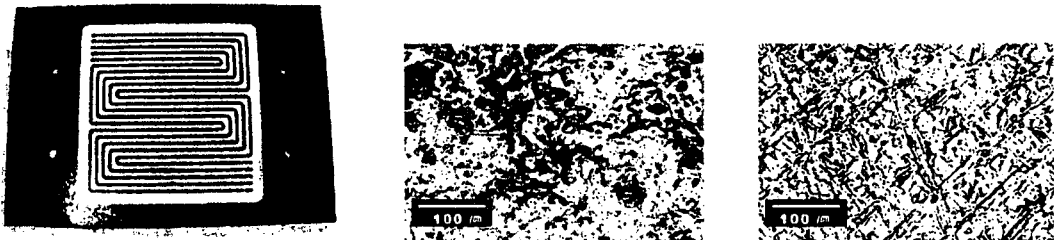


그림 3. Al/Au-PTFE 분리판 제조를 위한 공정도
(A: ENCA, B: ECA)



(a) Al/Au-PTFE 분리판

(b) ENCA 표면

(c) ECA 표면

그림 4. Au-PTFE 표면처리된 Al 분리판 및 표면 미세조직

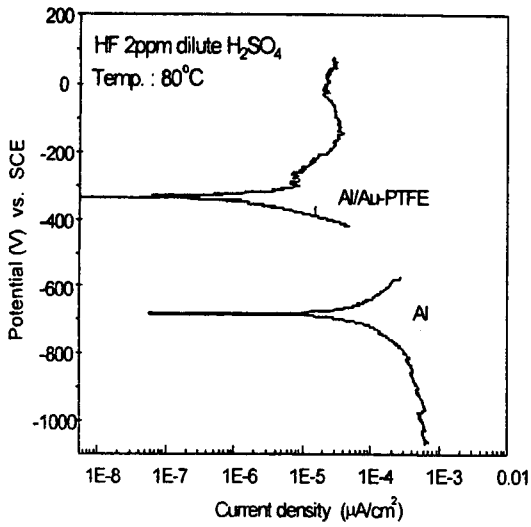


그림 3. Al/Au-PTFE 분리판의 부식율

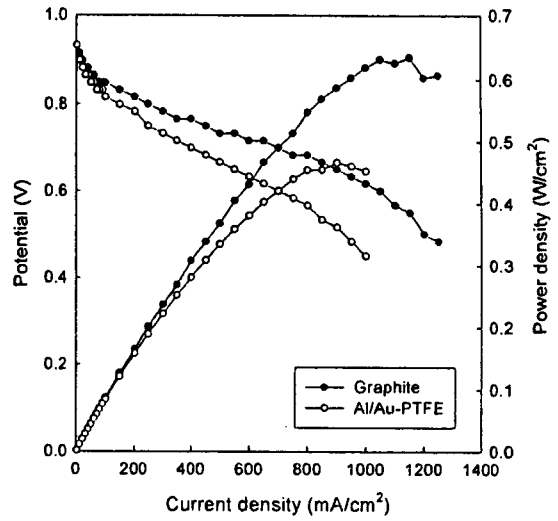


그림 4. 분리판별 성능곡선(80/70/75°C)

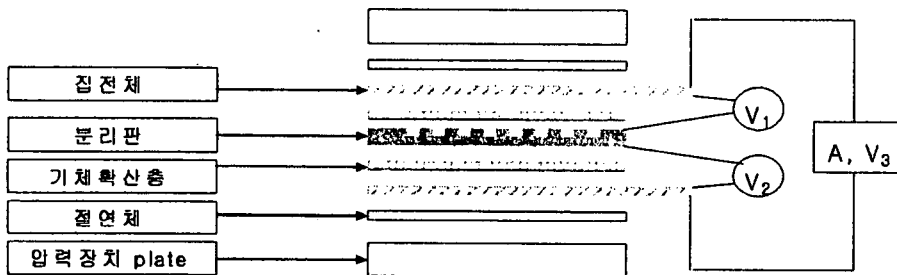


그림 7. 접촉저항 시험 모식도

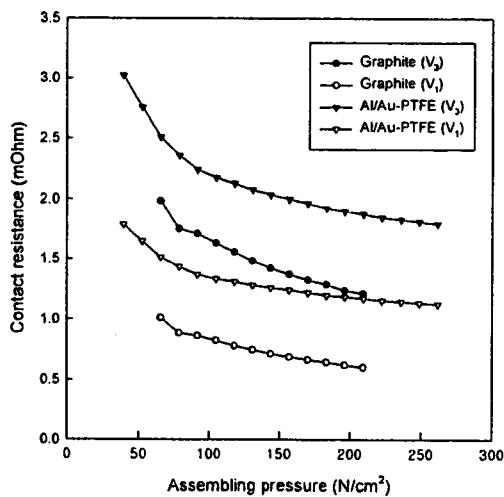


그림 6. 체결압에 따른 분리판의 접촉저항