

카트 연료전지용 분리판 개발

황 상 업¹⁾, 하 흥 용²⁾

Investigation of separator for use in small carts

Sang Youp Hwang, Heung Yong Ha

Key words : Direct Methanol Fuel Cell (직접메탄올연료전지), Channel (채널), 유로(Flow field), 분리판 (Separator)

Abstract : 본 연구에서는 소형 카트용 스택제작에 사용하기 위한 분리판에 관한 연구를 진행하였다. 분리판의 두께가 감소해야 스택의 부피를 줄이고 출력밀도를 높일 수 있기 때문에 분리판 두께 감소를 위한 채널의 깊이 최적화 실험을 진행하였다. 이를 위해 캐소드 채널 깊이에 따른 DMFC 성능의 변화를 관찰하기 위해 캐소드 채널의 깊이를 0.3 mm 에서부터 1.0 mm 로 변화시켰다. 채널깊이가 0.5 mm 일 때 가장 좋은 성능을 보였는데, 원인으로서는 단면적 감소에 의한 선속도의 증가와 내부 압력증가를 들 수 있다. 채널깊이 변화에 따른 영향을 분석하기 위해 마노미터를 이용하여 차압을 측정하였고, 임피던스 분석법을 통해 전극의 저항을 측정하였다.

Nomenclature

- ρ : density, kg/m³
- Q : flow rate, sccm, (STP) cm³/min
- μ : viscosity, N·s/m²
- D : diameter, m

1. 서 론

직접메탄올연료전지 (Direct Methanol Fuel cell, DMFC)는 수소를 연료로 사용하는 고분자 전해질 연료전지와 동일한 구조와 작동원리를 가지고 있지만, 연료로 수소가 아닌 액상의 메탄올을 사용한다. 메탄올은 수소에 비해 에너지 밀도가 크고 운반, 저장이 간편하며, 안정한 화합물이라는 장점을 갖는다. 따라서 연료공급 체계가 단순하고 전체 장치가 간단하여 소형화가 가능하다.

이런 직접메탄올연료전지의 성능을 향상시키기 위해 전해질막, 촉매, 전극-전해질 막, 접합체, 분리판 등의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 직접메탄올연료전지의 핵심 부분 중 하나인 분리판 (separator, bipolar plate)은 연료를 공급하고 전류를 집전하는 역할을 하게 되는데, 분리판의 유로구조 즉, 골 (channel)과 산 (rib)의 크기 및 상대적인 비율이 DMFC의 성

능에 큰 영향을 미치게 된다.

기존의 연구는 애노드 분리판의 구조를 변화시키는 연구가 많이 진행되어 왔다. H. Yang et al.⁽¹⁾은 채널의 형태에 따른 성능 변화를 관찰하였는데 Parallel flow fields (PFF)와 Single serpentine (SSFF) 두 가지 형태의 채널에서 SSFF의 성능이 우수하다고 하였다. 이에 대한 원인으로서는 애노드에 반응에서 생성되는 CO₂의 제거가 SSFF에서 잘 일어나기 때문이라고 설명하였다. C.W Wong et al.⁽²⁾와 H. Yang et al.⁽³⁾은 채널의 깊이에 따른 연구를 진행하였는데 동일한 Open ratio에서 채널의 깊이가 감소할수록 성능이 증가하게 되는데 이것은 선속도의 증가로 인한 gas diffusion layer에서 물질전달이 원활히 일어나기 때문이라 말하고 있다. 하지만 채널의 깊이가 너무 감소하게 되면 오히려 생성물인 CO₂의 제거가 잘 일어나지 않기 때문에 성능이 오히려 감소한다고 설명하고 있다.

이처럼 기존의 연구는 애노드 쪽의 분리판을

-
- 1) 한국과학기술연구원
E-mail : sangyouphwang@hotmail.com
Tel : (02)958-6852 Fax : (02)958-5199
 - 2) 한국과학기술연구원
E-mail : hyha@kist.re.kr
Tel : (02)958-5275 Fax : (02)958-5199

변화하는 실험이 많았다. 하지만 본 연구에서는 캐소드 쪽의 분리판을 변화시키는 실험을 진행하였다. 채널깊이를 변화시켜 가면서 성능의 변화를 관찰하였고, 성능변화의 원인을 알아보기 위해 차압 및 임피던스 측정 등을 수행하였다.

2. 실험방법

고분자 전해질 막으로는 상용으로 시판되고 있는 듀폰사의 나피온 115를 사용하였다. 지지체로 쓰이는 탄소종이는 Toray Inc. 에서 제조한 것으로 테트라플로로에틸렌 (tetrafluoroethylene, PTFE)으로 20 wt.% 발수처리 된 것이며, 이 위에 PTFE가 포함된 탄소층을 형성시켜 사용하였다. 탄소종이 상부에 도포된 탄소층의 양은 전극 면적을 기준으로 1.0 ~ 2.0 mg/cm²로 하였다.

애노드 촉매로는 백금-루테튬 블랙 (Pt-Ru black, Johnson Matthey Co., USA)을 사용하였으며, 이오노머로는 5 wt.% 나피온 용액을 사용하였다. 촉매의 사용량은 금속촉매 무게를 기준으로 각 전극 모두 3 mg/cm² 가 되도록 하였다. MEA는 140°C에서 5분 동안 8MPa의 압력을 가하여 가열 압착 (Hot-pressing)하였다.

단위전지의 성능측정은 애노드에 메탄올 수용액 1.0 M, 0.9 cc/min 으로 공급하였고, 캐소드의 공기는 무가습 공기를 사용하였다. 운전조건은 80°C 1기압 조건이었다.

애노드 분리판의 채널은 곡사형으로 되어 있으며, 채널깊이가 1.0mm, 폭 1.0mm로 구성되어 공극율이 51% 인 것을 사용하였다. 캐소드 분리판도 애노드와 동일한 구조를 가지고 있으며, 깊이를 0.3, 0.5, 0.8, 1.0 mm로 변화시켜가며 실험을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 공기극 깊이에 따른 성능변화 관찰

Fig.1 에서는 동일한 유량을 공급하는 조건에서 캐소드 채널의 깊이를 변화시키면서 성능을 측정 한 것으로서, 캐소드 채널의 깊이가 감소할수록 전체적인 성능이 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 채널의 깊이가 0.3 mm로 감소하면 생성물인 물 제거의 어려움으로 인한 성능감소가 일어나는 것으로 판단된다. 채널의 깊이가 1.0 mm에서 0.5 mm로 감소하게 되면 성능이 증가하게 된다. 이에 대한 원인으로서는 세가지들을 들 수 있다. 첫째, 단면적 감소로 인한 선속도 (Linear velocity)의 증가가 있다⁽⁵⁾.

$$\text{Linear velocity} = \frac{\text{Flow rate}}{\text{Area}} \quad (1)$$

식(1)에서와 같이 유량이 일정할 때 단면적이 감소하게 되면 선속도가 증가하면서 채널에서 GDL까지의 물질전달이 좋아지게 된다⁽³⁾. 이것은 Reynolds number (Re)의 변화로 설명할 수 있다⁽²⁾. Reynolds number는 아래와 같이 정의되는데:

$$\text{Re} = \frac{\rho Q_m D}{\mu A} \quad (2)$$

Reynolds number는 채널의 깊이가 감소할수록 증가하므로, 물질전달이 좋아지게 되는 것이다. 성능 증가 요인의 세 번째는 채널 깊이가 감소에 의한 차압 (pressure drop)의 증가로 인한 성능 증가가 있다.

$$\bar{V} = \frac{\Delta P_s}{L} \cdot \frac{r_w}{2} \cdot \frac{r_w}{4\mu} = \frac{\Delta P_s D^2}{32L\mu}$$

$$\Delta P = \frac{\bar{V}L}{r^2} \cdot \alpha \quad (3)$$

식(3)은 Hagen-Poiseuille 식을 나타낸 것이다. 위의 식에서 동일한 조건은 'α' 상수로 놓고 채널의 반지름에 따라 차압의 변화를 나타내도록 간단히 정리하였다. 반지름이 감소함에 따라 차압은 감소율의 제곱으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 반지름이 조금만 감소해도 차압이 크게 변한다는 것을 말해주고 있다. 차압이 증가하게 되면 내부압력이 증가하고, 따라서 반응물의 분압이 증가하므로, Nernst 효과에 의해 성능이 증가하게 된다.

이러한 예상 결과를 바탕으로 채널 내에 공기의 선속도를 동일하게 하고, 측정된 차압만큼을 back pressure를 통해서 보정함으로써, 채널 감소에 따른 성능 증가 요인을 비교 분석하였다.

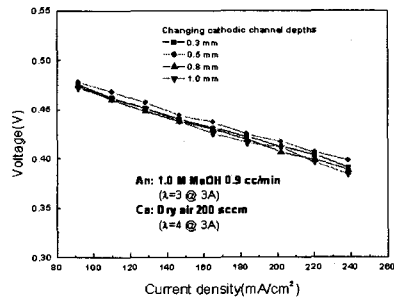


Fig. 1 Effect of cathode channel depth on the performance : 1.0 M MeOH 0.9 cc/min and dry air 200 sccm at 80°C (Anode λ = 3, Cathode λ = 4 at 3A)

3.2 동일한 선속도 실험 (Linear velocity)

성능 변화의 원인을 확인하기 위하여, 식(1)에 해당하는 선속도를 동일하게 하기 위하여 유량을 바꿔서 실험하였다. 캐소드 채널은 1.0 mm

로 동일하게 하면서 유량을 200, 250, 400, 667 sccm으로 변화 시켜가면서 실험하였다. 이는 식 (1)에 적용하면, 200 sccm을 기준으로 250 sccm은 0.8 mm의 선속도를 얻을 수 있고 400 sccm은 0.5 mm, 667 sccm은 0.3 mm의 선속도를 얻을 수 있다. 아래에서 예를 들었다.

$$\frac{200 \text{ sccm}}{1 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm}} = \frac{x \text{ sccm}}{1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}}$$

$$x = 667$$

$$\frac{200 \text{ sccm}}{1 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}} = \frac{x \text{ sccm}}{1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}}$$

$$x = 400$$

Fig. 2 는 유량을 바꿔가며 실험한 결과이다. 유량이 증가할수록 성능이 점차적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 무가습 운전 조건이기 때문에 MEA에 충분한 수화가 되지 않으면서 일어난 현상이라고 생각된다. 결과적으로 채널의 감소에 따른 성능변화는 선속도의 증가가 큰 원인으로는 작용하지 않은 것으로 생각된다.

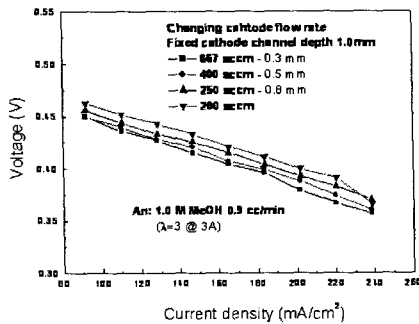


Fig. 2 Effect of air flow rate on the performance : 1.0 M MeOH 0.9 cc/min and dry air fed at 80°C

3.3 Back pressure 증가실험

채널 깊이가 감소에 따른 성능 변화의 주된 요인이 내부 차압에 의한 것이라 가정하여, 캐소드 채널 깊이를 1.0 mm로 고정 후 back pressure를 다르게 주어 성능변화를 관찰하였다. Back pressure는 Table 1 에서 얻은 값만큼 증가시켰다. Fig. 3 은 back pressure를 증가시켰을 때의 성능이다. 압력이 증가할수록 성능이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이에 따른 원인으로서는 물질전달의 증가와 공기의 분압 증가를 들 수 있다⁽⁴⁾. Fig. 1 에서의 성능과 Fig. 3 의 성능이 비슷한 경향을 보이게 되는데, 이로써 캐소드 채널 감소에 의한 성능 증가는 내부 압력의 변화가 가장 큰 요인이라 볼 수 있다.

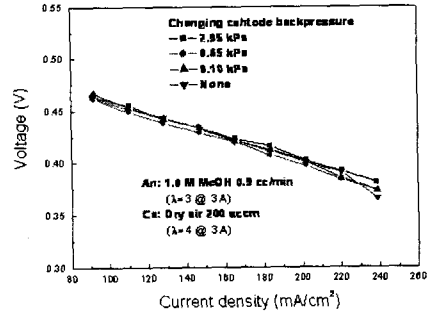


Fig. 3 Effect of cathode back pressure on the performance : Methanol 0.9 cc/min and dry air 200 sccm at 80°C

Table 1 Pressure drop of cathode side

| Channel depth (mm) | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.0 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Pressure drop (kPa) | 2.91 - 2.93 | 0.63 - 0.66 | 0.08 - 0.09 | 0.01 - 0.03 |

4. 결론

직접메탄올연료전지의 연료를 공급하는 캐소드 채널의 깊이를 다르게 하여 특성을 살펴보고, 그에 따른 원인분석을 해보았다. 깊이가 줄어들면서 성능이 증가하는 현상을 보임을 알 수 있었다. 이것은 내부 선속도의 증가와 차압의 증가로 인해 반응물의 물질전달이 활발해지고 반응물의 분압이 증가하여 농도분극이 감소하여 성능이 증가하기 때문이다.

전체적으로 보면, 채널이 감소함에 따라서 성능 증가가 크게 일어나지는 않지만, 채널깊이의 감소는 분리판 두께를 감소시키는 요인이 되고, 따라서 스택의 부피와 무게를 감소시켜, 결과적으로는 스택의 출력밀도를 증가시키는 효과를 보이게 된다.

References

- [1] Yang, H. and T.S. Zhao, 2005, "Effect of anode flow field design on the performance of liquid feed direct methanol fuel cells", *Electrochimica Acta*, vol 50, p. 3243-3252.
- [2] Wong, C. W. Zhao, T. S. Ye, Q. Liu, J. G., 2006, "Experimental investigations of the anode flow field of a micro direct methanol fuel cell", *Journal of Power Sources*, . vol. 155, No. 2, p. 291-296.
- [3] Yang, H., T.S. Zhao, and Q. Ye, 2004, "Addition of non-reacting gases to the anode flow field of DMFCs leading to improved performance", *Electrochem. Comm.*, vol. 6,

No. 11, p.1098-1103.

[4] Hsieh, Shou-Shing., Sheng-Huang Yang, Jenn-Kun Kuo, Chin-Feng Huang, Huang-Hsiu Tsai, 2006, Energy Conversion and Management, vol. 47, p. 1868-1878

[5] warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott, 2001, Unit operations of chemical engineering , 6th edition, p 66, Korean language Edition Copyright, McGraw-Hill Korea.