

## Wire Mesh 적용을 통한 PEMFC 성능 향상에 관한 연구

진상문<sup>†</sup>, 백석민\*, 허성일\*, 양유창\*, 김세훈\*

\*현대자동차 환경기술연구소

## A Study on Performance Improvement of PEMFC Using Wire Mesh Cell Structure

SANGMUN JIN<sup>†</sup>, SUKMIN BEACK\*, SEONGIL HEO\*, YOOCHANG YANG\*, SAEHOON KIM\*

\*Hyundai Motor Company Eco-Technology Research Institute 104 Mabuk-dong, Giheung-gu, Young-si, Gyeonggi-do, 446-912, Korea

### ABSTRACT

Metal bipolar plate applied to Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell is getting most attractive due to their good feasibility of mass production and low cost. But it is one of the immediate causes of performance decline because it is difficult to reduce channel pitch of metal bipolar plate. In this study, mesh was inserted in between bipolar plate and GDL to obtain uniform contact pressure without reducing channel pitch. The section measuring and performance test were carried out to confirm the mesh structure distributes contact pressure equally in reacting area. The performance of 3 type mesh structures developed in this study were higher than the normal cell at all over the current range. Especially, it showed that the mesh cell performance was increased and pressure drop was decreased with diminishing mesh gap size. The Mesh structure was more sensitive to humidification and contact pressure change than the normal cell.

**KEY WORDS** : PEMFC(고분자 전해질 연료전지), Metal bipolar plate(금속분리판), Wire mesh(메쉬), GDL(가스 확산층)

### Nomenclature

GDL : gas diffusion layer  
MEA : membrane electrode assembly  
OCV : open circuit voltage  
 $A_m$  : open area of wire mesh  
 $L_m$  : opening of wire mesh

$D_m$  : wire diameter of wire mesh

### 1. 서 론

고분자 전해질 연료전지(polymer electrolyte membrane fuel cell, PEMFC)는 다른 연료전지에 비해 낮은 온도인 약 65~80°C 정도에서 작동하며, 시동 시간이 짧고 높은 전류밀도를 갖기 때문에 전세계 유수의 자동차 회사들이 차세대 청정 수소자동차의

<sup>†</sup>Corresponding author : sangmunjin@hyundai.com  
[ 접수일 : 2010.7.30 수정일 : 2010.8.16 게재확정일 : 2010.8.20 ]

동력원으로 고분자 전해질 연료전지(PEMFC) 개발에 총력을 기울이고 있다.

연료전지의 구성 요소인 분리판은 양면에 수소 및 공기유로가 각기 형성되어 있는 전기전도성 판으로, 연료전지 개발 초기 단계에서는 전기전도성 및 내부식성이 우수한 흑연계 소재를 가공 또는 성형하여 제작하는 것이 일반적인 제작 방법이었다. 하지만 기존의 소재는 양산성이 낮기 때문에 최근에 들어서는 박판의 금속계 소재 성형 및 표면 코팅 공정을 이용해 생산성을 확보하는 방향으로 개발이 진행되고 있다<sup>12)</sup>.

이러한 개발 방향 변화는 양산성 확보라는 이점이 있지만 박판 금속재료 성형 시 발생하는 crack 및 spring back과 같은 문제가 발생한다. 분리판 유로 채널 간격을 충분히 넓혀 성형 난이도를 낮추는 방향으로 이를 해결할 수도 있으나, 이는 다시 carbon fiber로 구성된 GDL(gas diffusion layer)의 저장성 문제와 결부되어 반응기체의 확산성 및 생성수의 배출성을 저하시켜 연료전지 성능 저하를 야기한다<sup>3)</sup>.

이에 본 연구에서는 분리판 및 GDL 사이에 반응기체 확산 정도를 향상시키고 균일한 면압 분포를 유도하여 연료전지의 성능을 향상시킬 수 있는 mesh cell 구조체의 특성 평가를 수행하였다.

## 2. 연료전지 셀 구조 분석

### 2.1 Normal Cell 구조

일반적인 연료전지 셀은 양극과 음극에 해당하는 분리판과 반응기체의 확산을 돕는 GDL사이에 화학반응이 일어나는 MEA(membrane electrode assembly)가 위치하는 구조로 구성되어 있다. 분리판은 박판 금속에 반응기체 및 냉각수 유로를 성형하고, 전도성과 내식성 향상을 위해 추가적으로 표면 처리하여 제작하게 된다. GDL은 미세 carbon fiber가 압착되어 반응기체 및 생성수가 원활히 이동할 수 있는 다공체 구조로 이루어져 있다.

연료전지 성능의 극대화를 위해서는 분리판의 유로 채널이 조밀하게 하여 GDL 및 MEA로의 면압을 균일하게 분포시켜야 하며, GDL은 반응 전면에

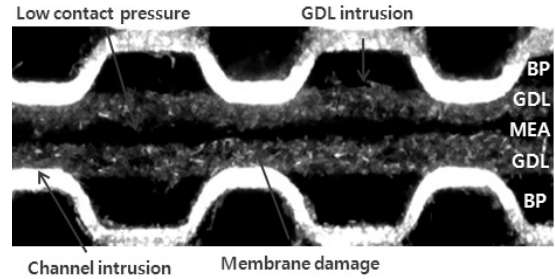


Fig. 1 Cross section view of normal cell structure.

걸쳐 일정한 투과성을 지녀야 한다. 하지만 금속을 성형하면서 발생하는 crack과 spring back을 방지하기 위해서는 분리판 채널 간격을 줄이는데 한계가 있다.

Fig. 1은 일반적인 연료전지 셀 구조의 단면을 현미경을 통해 촬영한 사진이다. 채널 간격이 충분히 확보되어 성형불량은 발생하지 않았지만 채널 간격이 넓음에 따라 채널/랜드(channel/land)영역에 따라 GDL 눌림 양상이 달라짐을 확인할 수 있으며 이는 다음과 같은 문제를 야기한다.

1. 반응기체 확산성 및 생성수 배출성 저하 : 채널 간격이 크게 되면 분리판과 GDL이 접촉하는 랜드면으로 응력이 집중되게 되게 된다. 이는 GDL의 다공성 구조가 파괴되어 가스 투과성이 나빠지게 되며, 반응기체 확산성 및 생성수의 배출성을 저하시키게 된다. 또한 GDL이 노출되어 있는 채널면의 경우에는 작용압력이 낮아 GDL이 분리판 채널부로 튀어나오게 되어 채널공간의 유체 흐름성을 저하시킨다<sup>4)</sup>.

2. 전극막 손상 : GDL 구조가 파괴된 랜드부 영역에서는 carbon fiber들이 전극막까지 침투하게 되어 막 손상을 야기 시키며 이는 연료전지 내구성 저하의 치명적인 원인이 된다<sup>5)</sup>.

3. 전기 전도성 불균일 : GDL이 노출되어 있는 채널부의 경우에는 반응기체의 공급이 원활하여 화학반응은 활발하나 GDL 및 MEA사이의 면압 부족으로 접촉저항이 증가하게 되어, 반응에 의해 생성된 전자의 이동을 어렵게 한다.

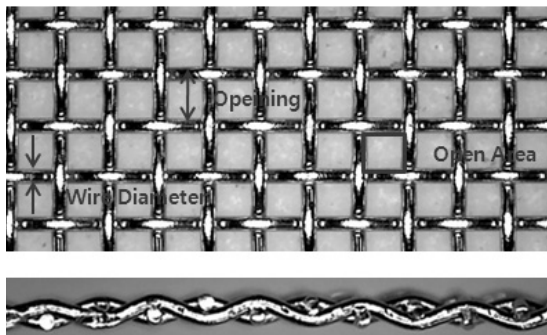


Fig. 2 Wire mesh structure (50 mesh).

## 2.2 Mesh Cell 구조

일반적인 셀 구조의 가장 큰 문제점은 분리판의 채널/랜드부 간격과 저항성 GDL에 의해 반응면에 작용하는 면압의 불균일성이 발생하는 것이다. 하지만 분리판 및 GDL의 제작 공정 특성상, 분리판 성형성 향상 및 고강성 GDL 개발 기술에 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 분리판 랜드부에서 GDL로 작용하는 면압을 분산시키고 반응기체의 투과성을 향상시킬 수 있는 금속 wire mesh를 삽입하여 일반적인 셀 구조의 문제점을 해결하고자 하였다.

Wire mesh는 분리판 소재와 동일한 금속 와이어가 종횡으로 1 : 1 교차되는 3차원 격자구조로 실물 사진을 Fig. 2에 나타내었다. 통상 wire mesh 사양을 구분 할 때는 일직선상의 거리 1inch(25.4mm)내에 존재하는 격자의 개수로 나타낸다. 예를 들어 50mesh라고 명칭하는 사양은 1inch당 총 50개의 격자구조가 존재한다는 것을 의미한다. 그리고 이러한 mesh 사양은 wire의 직경을 나타내는 선경  $D_m$ , 단위 면적당 평행한 중횡선 사이의 뚫린 공간의 비율을 나타내는 공간율  $A_m$ , 그리고 인접한 두 wire의 안쪽 면에서의 수직거리를 나타내는 공간폭  $L_m$ 에 의해 결정되며 다음의 식으로부터 산출된다.

$$L_m = \frac{25.4}{Mesh} - D_m \quad (1)$$

$$A_m = \left( \frac{L_m}{L_m + D_m} \right)^2 * 100\% \quad (2)$$

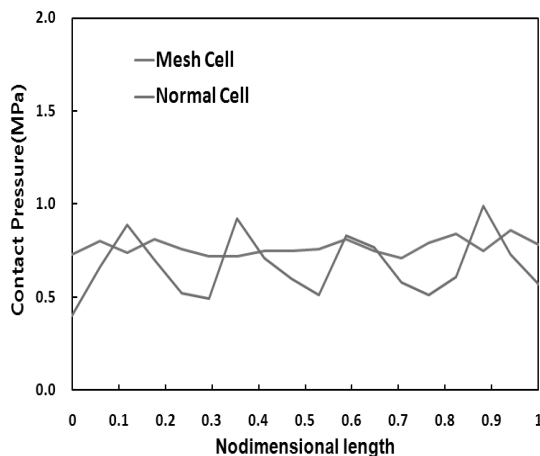


Fig. 3 Contact pressure distribution in normal cell and mesh cell structure.

Mesh 구조에 의한 면압 분산 효과를 확인하기 위해 mesh 유무에 따른 반응면의 접촉 면압을 측정하여 4개의 채널에 해당하는 결과값을 Fig. 3에 나타내었다. 면압 결과값은 tekscan 사에서 제작한 면압 측정 sheet(sensor resolution : 2\*2mm)를 GDL과 MEA 경계면에 삽입하여 연료전지 단위셀을 구성한 후, 일정 가압력을 유지한 채 1분간의 면압 분포를 평균하였다. Normal cell 결과에서는 반응면에 작용하는 면압이 일정간격으로 높고 낮음을 반복하고 있는데 이는 분리판의 채널/랜드부 간격에 따라 GDL에 가해지는 압력 편차가 발생하고 이러한 편차가 GDL과 MEA 경계면에 그대로 나타나기 때문이다. 하지만 mesh cell의 경우 mesh가 GDL에 가하는 압력을 분산시킴으로서 반응면에 작용하는 면압이 상대적으로 균일해 짐을 확인할 수 있다.

## 3. 성능 평가

### 3.1 평가 사양 및 조건

Normal cell 및 mesh cell 구조의 특성 파악과 성능 비교를 위해 5셀 단위스택을 제작하였으며, 냉각수 입구 온도 65°C 기준으로 수소, 공기 모두 50% 가습 조건에서 성능 평가를 수행하였다.

Table 1 Mesh specification

	GDL	Dm (mm)	Lm (mm)	Am (mm)	Cell Pitch			
Normal	Felt				동일			
24mesh	Paper					0.14	0.46	50.9
50mesh	Paper					0.14	0.36	58.2
60mesh	Paper					0.14	0.28	51.8

Mesh cell 구조의 경우, mesh 추가로 인해 기존 cell 구조 대비 부피가 증가한다는 단점이 있다. 이에 felt type의 GDL을 사용한 normal cell 구조와 동일한 부피를 유지하기 위해 상대적으로 얇은 두께를 가지는 paper type의 GDL을 사용하여 전체 cell pitch를 동일하게 유지하였다. 또한 mesh의 격자구조가 훼손되지 않기 위해서는 2가지의 mesh 특성 변수(L<sub>m</sub>, A<sub>m</sub>)을 동시에 변경시킬 수 없다. 이에 본 연구에서는 normal cell 구조와 동일한 cell pitch를 유지할 수 있는 mesh 선경을 고정한 다음, 공간율이 큰 순서에 해당하는 3가지 type의 mesh를 선정하였다(Table 1).

### 3.2 Mesh 사양별 I-V성능 및 차압 평가

Fig. 4는 normal cell과 3가지 종류의 mesh cell 구조로 제작된 스택의 I-V 성능 곡선을 나타내고 있다. 3가지 type의 mesh cell 구조가 전 구간에 걸

쳐 normal cell 구조보다 높은 성능을 보이고 있으며, 그 중에서도 특히 60mesh가 전류밀도 1.0A/cm<sup>2</sup> 이후의 고전류 영역에서 월등한 성능 향상을 보이고 있다. 이는 60mesh의 경우 다른 두 사양과 유사한 수준의 공간율을 가지면서도 mesh 격자의 간격이 조밀하여 면압 분산 효과가 가장 크기 때문으로 예상된다. 이러한 이유로 반응기체의 원활한 공급과 반응에 의한 생성된 물의 배출이 적절히 이루어지기 때문에 고전류 영역에서 발생하는 mass transfer loss에 의한 성능 저하가 나타나지 않는 것이다.

Mesh cell 구조의 OCV(open circuit voltage) 또한 normal cell 대비 상대적으로 높은 수준을 유지하고 있는데, 이 또한 mesh의 응력 분산 효과에 의해 carbon fiber에 의한 MEA 막 손상이 최소화 됐기 때문이다.

Fig. 5는 I-V 성능 평가와 동시에 측정된 공기층의 입출구 압력차를 나타낸 그래프이다. 압력차를

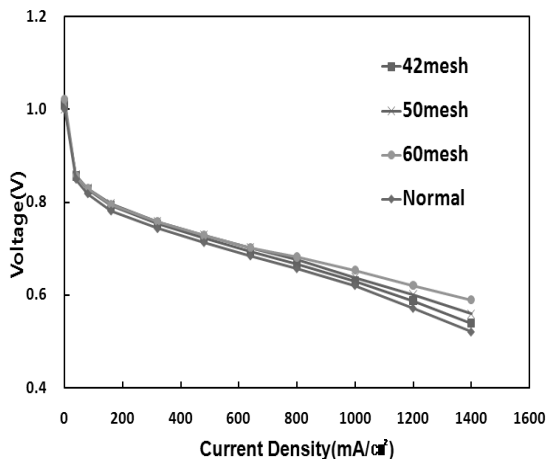


Fig. 4 I-V performance curve.

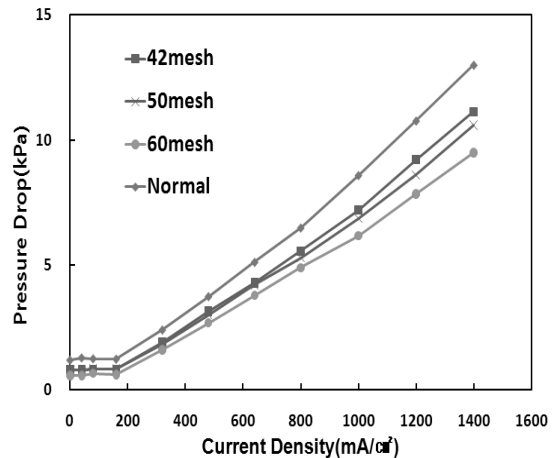


Fig. 5 Cathode pressure drop curve.

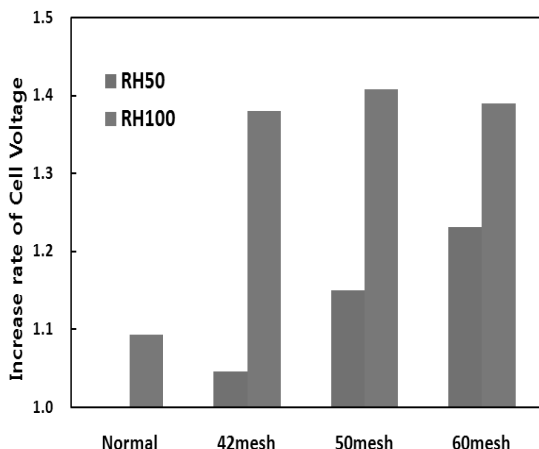


Fig. 6 Cell voltage improvement ratio at 1.2 A/cm<sup>2</sup>.

비교한 이유는 mesh에 의한 면압 분산 효과가 크다면 그만큼 GDL을 균일하게 압축시켜 채널 내로의 침투량이 적다는 것이고, 이는 곧 반응기체의 통로가 되는 채널 공간이 확보되어 입출구 압력차가 작아지는 효과로 나타나기 때문이다. 결과를 살펴보면, I-V 성능 평가와 동일한 순서로 차압이 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 특히 60Mesh의 경우 채널 내로의 GDL 침투량이 작아 가장 낮은 수준의 차압을 나타내고 있으며 앞서 논의한 I-V 성능 평가와 일맥상통한 결과를 보여주고 있다.

### 3.3 Mesh 사양별 가습 영향도 평가

앞서 I-V 성능 및 차압 평가를 통해 mesh cell 구조가 반응기체 확산 및 물 배출성 향상에 이점이 있다는 것을 확인하였다. 이는 mesh cell 구조가 반응기체의 가습 정도에 따른 성능 변화가 normal cell과는 다른 거동을 보일 수 있다는 것을 의미한다. 이에 반응기체의 가습 정도를 50%에서 100%로 높혀 mesh 사양별 성능 변화정도를 확인하였다.

Fig. 6은 전류밀도 1.2A/cm<sup>2</sup>에서 normal cell의 RH50%일 때의 cell voltage값을 기준으로 하여 각 mesh 사양의 가습에 따른 성능 향상 비율을 나타낸 그래프이다. Mesh cell 구조가 normal cell에 비해 가습에 더 민감한 반응을 보임을 확인할 수 있으며,

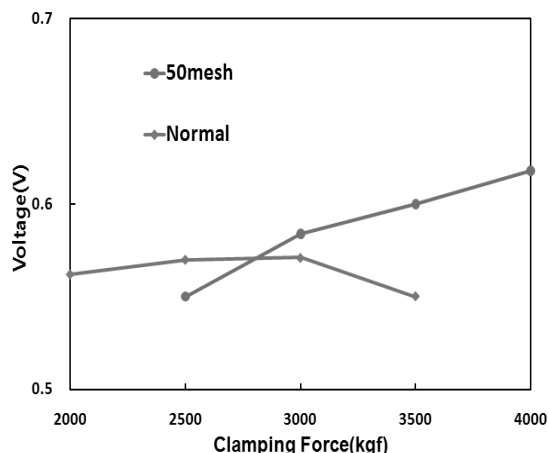


Fig. 7 Change of cell voltage at 1.2 A/cm<sup>2</sup> with clamping force.

고가습일 경우에는 mesh 사양별로 확연한 성능 차이를 보이지 않고 있다. 이는 연료 전지 셀의 운전 조건이 고가습 조건일 수록 mesh cell 구조의 효과가 극대화 되는 것으로 의미한다.

### 3.4 체결압 영향도 평가

마지막으로 앞서 평가한 I-V 성능 및 가습 영향도 평가를 종합하여 mesh cell 구조의 중간 성능을 보이고 있는 50Mesh에 대해 스택 체결압을 달리하여 성능 평가를 수행하였다.

Fig. 7에 전류밀도 1.2A/cm<sup>2</sup>에 해당하는 평균 전압값을 체결압에 따라 나타내었다. normal cell 구조에서, 특정 체결압 이전에서는 성능 변화가 미미한 경향을 보이는 이유는 분리판의 랜드부와 GDL의 면접촉으로 인해 충분한 접촉 면적이 확보되어 체결압에 따른 성능 변화가 미미하다. 그리고 일정 임계압력 이상에서는 뚜렷한 성능 저하를 볼 수 있는데 이는 랜드부와 접촉하고 있는 GDL면의 다공성구조가 급격히 파괴되기 때문이다.

Mesh cell 구조 결과에서는 normal cell 구조와 달리 본 연구에서 평가한 체결압 범위에서는 체결압이 증가함에 따라 성능도 향상되고 있다. 이는 분리판과 wire가 점 또는 선 접촉을 하게 되어, 접촉

압력이 높아질 수 록 접촉저항 감소의 효과가 크기 때문이다. 그리고 체결력을 증가시키더라도 mesh의 응력 분산 효과로 인해 GDL의 다공성 구조가 급격히 파괴되는 현상이 발생하지 않음으로써 성능저하가 발생하지 않는 것이다.

따라서 mesh cell 구조로 구성된 연료전지 스택의 성능을 극대화 하기 위해서는 구조적 안정성이 보장되는 범위 내에서 체결력을 최대로 하고 이를 일정하게 유지시키는 것이 중요하다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 금속 분리판의 성형성 부족으로 인한 cell pitch 증가와 GDL 저장성 문제로 인해 발생하는 연료전지의 성능 저하를 막기 위해 분리판과 GDL 경계면에 wire mesh를 삽입한 mesh cell 구조를 개발하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Mesh cell 구조의 면압 분포 측정을 통해 mesh cell 구조의 면압 분산 효과를 확인할 수 있었다.
- 2) 성능 및 차압 평가에서 mesh cell 구조의 효과를 정량적으로 입증할 수 있었으며, mesh 구조의 최적화를 통해 연료전지 성능을 극대화 할 수 있음을 확인하였다.
- 3) 가습 민감도 평가를 통해 고가습 운전조건이 가능한 연료전지 시스템에서 mesh cell 구조의 효과가 극대화 될 수 있음을 예측할 수 있었다.
- 4) Mesh cell 구조의 안정적인 성능 유지를 위해서는 일정 스택 체결압 유지가 중요한 문제임을 체결압 영향도 평가를 통해 확인하였다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술개발 사업의 일환(2008-N-FC12-J-02-2-200)으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) J. S. Cooper, "Design analysis of PEMFC bipolar plates considering stack manufacturing and environment", *Int. J. of Power Sources*, Vol. 129, 2004, p. 152.
- 2) X. Li, I. Sabir, "Review of bipolar plates in PEM fuel cell", *Int. J. of Hydrogen Energy*, Vol. 30, 2006, p. 359.
- 3) 김영민, 이종현, 임세준, 안병기, 임태원, "In-Situ 분석법에 의한 연료전지 특성 연구", *한국수소 및 신에너지학회논문집*, Vol. 20, No. 3, 2009, pp. 208-215.
- 4) Y. H. Lai, P. A. Rapaport, C. Ji, V. K. Li, I. Sabir, "Channel intrusion of gas diffusion media and the effect on fuel cell performance", *J. of Power Sources*, Vol. 184, 2008, p. 120.
- 5) J. Kleemann, F. Finsterwalder, W. Tillmetz, "Characterisation of mechanical behaviour and coupled electrical properties of polymer electrolyte membrane fuel cell gas diffusion layersChannel intrusion of gas diffusion media and the effect on fuel cell performance", *J. of Power Sources*, Vol. 190, 2009, pp. 92-102.