

# PEM 연료전지용 섬유강화 분리판의 특성 평가

이 희섭<sup>1)</sup>, 김 성근<sup>2)</sup>, 안 성훈<sup>\*3)</sup>, 전 의식<sup>4)</sup>, 안 상열<sup>5)</sup>, 안 병기<sup>6)</sup>

## Evaluation of fiber-reinforced bipolar plate for PEM fuel cell

Hee-Sub Lee, Sung-Geun Kim, Sung-Hoon Ahn\*, Ui-Sik Jeon, Sang-Yeoul Ahn and Byung-Ki Ahn

**Key words** : PEM fuel cell(고분자전해질 연료전지), Bipolar plate(분리판), Fiber-reinforced(섬유강화), Electric conductivity(전기전도성), Graphite particles(흑연입자), Mechanical strength(기계적 강도)

**Abstract** : The bipolar plate is a major component of the PEM fuel cell stack, which takes a large portion of stack cost. In this study, as alternative materials for bipolar plate of PEM fuel cells, graphite composites were fabricated by compression molding. Graphite particles mixed with epoxy resin were used as the main substance to provide electric conductivity. To achieve desired electric properties, specimens made with different mixing ratio, processing pressure and temperature were tested. To increase mechanical strength, one or two layers of woven carbon fabric were added to the original graphite and resin composite. Thus, the composite material is consisted of three phases: graphite particles, epoxy resin, and carbon fabric.

By increasing mixing ratio, fabricated pressure and process temperature, electric conductivity was improved. The results of tensile test showed that the tensile strength of two-phase graphite composite was about 5MPa, and that of three-phase composite was increased to 54MPa.

### 1. 서론

연료전지는 최근 지구온난화를 방지하기 위한 기후 변화 협약의 발족과 이산화탄소의 총량 규제, 저공해 자동차 의무 판매 등의 제약이 강화되고 있어서 미래의 친환경 대체에너지원으로 주목 받고 있다. 연료전지는 40% 이상의 높은 에너지 효율과 무공해, 무소음 등의 특징을 가지고 있으며, 보통 사용되는 전해질에 따라 여러 종류로 구분된다. 그 중에서 고분자전해질 연료전지는 높은 전력밀도와 낮은 반응온도, 빠른 시동조건 및 지속적인 연구를 통해 축적된 기술을 배경으로 다양한 분야에서 적용이 기대된다.

연료전지 스택(Stack)은 수소와 산소의 화학반응을 통해 전기를 발생시키는 여러 개의 단위전지가 직렬로 적층된 형태를 이루고 있다. 이 중에서 분리판(Bipolar plate)은 가능한 작은 부피로 적층을 할 수 있게 하는 역할 및 다른 여러 가지 기능을 담당하고 있다. 스택 내에서 (1) 각각 셀 간의 분리, (2) 연료와 공기, 그리고 물이 지나가는 통로 역할, (3) 단위전지 속에서 전류를 흐르게 하는 역할, (4) MEA(Membrane Electrode Assembly)의 지지 역할 등 다

양한 기능을 담당하고 있다<sup>(1)</sup>.

이러한 다양한 조건을 만족시키기 위해 여러 가지 소재를 사용하여 분리판을 제작하려는 연구가 진행되고 있다<sup>(2-5)</sup>. 일반적으로 그래파이트(Graphite) 재료가 주로 사용되고 있으나, 취성이 강해서 다루기가 어렵고, 재료비용 및 가공비가 많이 드는 단점이

- 1) 서울대 기계항공공학부 대학원  
E-mail : hs0896@snu.ac.kr  
Tel : (02)880-9073 Fax : (02)880-9073
- 2) 서울대 기계항공공학부 대학원  
E-mail : idim9@snu.ac.kr  
Tel : (02)880-9073 Fax : (02)880-9073
- 3) 서울대 기계항공공학부  
E-mail : ahnsh@snu.ac.kr  
Tel : (02)880-7110 Fax : (02)883-0179
- 4) 현대모비스 선형연구부 연료전지그룹  
E-mail : usjeonfc@mobis.co.kr  
Tel : (031)288-3504 Fax : (031)280-3040
- 5) 현대모비스 선형연구부 연료전지그룹  
E-mail : syahnfc@mobis.co.kr  
Tel : (031)288-3556 Fax : (031)280-2615
- 6) 현대모비스 선형연구부 연료전지그룹  
E-mail : bk\_ahn@mobis.co.kr  
Tel : (031)288-3505 Fax : (031)280-2787

있다. 알루미늄이나 티타늄, 니켈 등의 금속으로 코팅된 재료도 사용되고 있으나, 코팅된 금속의 부식이나 용해의 문제가 있다.

본 연구에서는 간단한 제작공정으로 입자와 수지로 혼합된 복합재를 제작하고, 이 소재의 전기적/기계적 특성을 평가해 보았다. 그리고 입자와 수지로 제작된 복합재에 탄소섬유를 더 추가하여 3 phase 복합재를 제작하고 마찬가지로 전기적/기계적 특성을 평가하여 분리판용으로서 사용가능성에 대해 확인해 보았다.

## 2. 실험

실험은 고분자 전해질 연료전지 분리판으로서 요구되는 다양한 특성들을 만족시키기 위해 재료와 성형 조건의 특성을 변화시키면서 진행하였다. 이 중에서도 특히 연료전지 전체의 효율을 결정할 수 있는 중요한 성질인 전기적 특성과 다양한 하중에 견딜 수 있는 강도 평가에 초점을 맞추어 실험을 실시하였다.

### 2.1 재료

실험은 18 $\mu$ m 정도의 입자크기에 전기적 전도성이 좋은 흑연입자(P-15)와 열경화성 수지인 에폭시수지(Epoxy resin)를 사용하였다. 에폭시수지(YD-128)와 경화제, 경화촉진제는 (주)국도화학의 제품을 사용하였으며(Table 1), 흑연입자는 (주)카보닉스의 제품을 사용하였다(Table 2, Fig. 1). 탄소섬유(Plain weave: 평직)는 (주)KPI 제품인 KN C123 EPC를 사용하였다(Table 3).

Table 1 Properties of epoxy resin

Properties	Epoxy resin (YD-128)
Density	1.17g/cc
Viscosity	11500-13500 cps at 25 $^{\circ}$ C

Table 2 Properties of graphite particle

Properties	Graphite particle (P-15)
Density (Apparent bulk density)	0.9g/cm $^3$
Diameter	18.8 $\mu$ m

Table 3 Properties of carbon fabric

Properties	Carbon fabric (KN C123 EPC)
Thickness	160 $\mu$ m
Mass	290 $\pm$ 15g/m $^2$

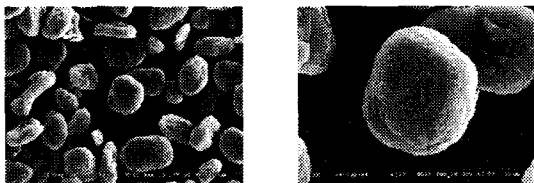


Fig. 1 SEM pictures of graphite particles ( $\times$  1000,  $\times$  3000)

### 2.2 제조 및 실험방법

흑연입자 복합재의 제조 방법은 우선, 에폭시수지

와 경화제 그리고 경화촉진제를 일정한 비율로 혼합한 뒤 흑연입자를 원하는 부피비율로 첨가하여, Hot-press를 이용한 압축성형방법으로 제작하였다.

탄소섬유가 첨가된 3 phase 복합재의 제조 방법 또한, 위의 경우와 마찬가지로 흑연입자와 에폭시수지를 혼합한 뒤, 마지막으로 복합재를 압축성형하기 전에 흑연입자와 에폭시수지 사이에 탄소섬유층을 더 추가하여 금형에 넣고, Hot-press를 이용하여 경화시키는 방법으로 제작하였다. 양 측면에 전도성 입자와 수지로 제작된 복합재가 위치하고, 그 가운데에 탄소섬유층이 위치하는 형상으로 제작하였다 (Fig. 2).

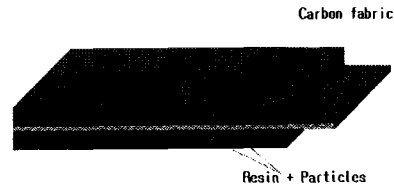


Fig. 2 Cross section of 3 phase composite

### 2.2.1 전기적 특성 평가

제작된 복합재의 전기적 특성을 평가하기 위해 길이, 넓이, 두께가 각각 80mm $\times$  20mm $\times$  2mm인 시편을 제작하고, Milli-ohm meter 장비를 이용하여 저항을 측정하고 그 값을 비교하였다.

Milli-ohm meter는 양쪽의 지그를 이용하여 시편을 물릴 수 있고, 각각의 지그에서는 전류를 흘려주고 이때 발생하는 전압을 측정하여 저항을 계산하는 방식으로 시편의 저항을 측정할 수 있는 장비이다.

### 2.2.2 기계적 특성 평가

제작된 복합재의 기계적 특성을 평가하기 위해 ASTM D638 기준에 의해 시편을 제작하고, 인장강도를 측정하였다.

그리고 표면의 거친 정도를 확인하기 위해 제작된 복합재의 표면조도는 Marsurf XR 20을 사용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 토의

### 3.1 전기적 특성

전기전도성은 연료전지의 효율을 결정하는 분리판의 중요한 특성 중 하나이다. 분리판은 전극지지체의 양쪽에 위치하면서 전지에서 발생하는 전류를 이동시켜주는 역할을 하므로 전기를 전도할 수 있는 성질이 좋아야 한다.

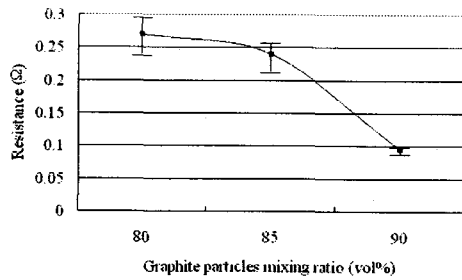
이에 본 연구에서는 흑연입자와 수지로 복합재를 제작하고 첨가비율, 성형압력, 성형온도 조건을 달리 하면서 시편을 제작하고 이에 따른 저항을 측정하여 복합재의 전기적 특성을 평가하였다.

첫 번째로 흑연입자와 에폭시수지로 제작된 복합재의 첨가비율에 따른 전기적 특성을 알아보기 위해 성형압력과 온도를 10MPa과 120 $^{\circ}$ C로 고정하고, 흑연입자의 첨가비율을 80, 85, 90vol%로 증가시키면서 시편을 제작하였다.

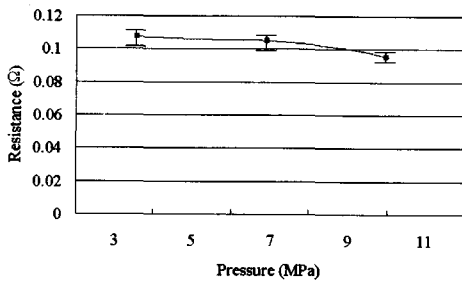
제작된 복합재의 저항을 측정할 결과 흑연입자를 첨가하는 비율이 높아질수록 저항이 감소하는 것을

알 수 있었다(Fig. 3). 이는 전기를 전도할 수 있는 특성을 가진 흑연입자의 밀도가 에폭시수지에 비해 상대적으로 높아지고, 입자간의 간격이 조밀해져서 저항이 감소한 것으로 추측할 수 있었다.

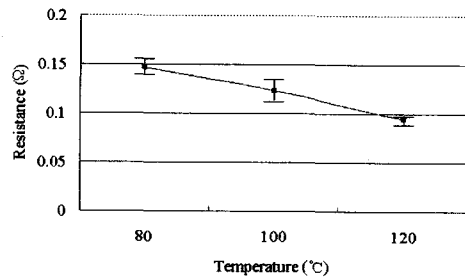
두 번째로 제작된 복합재의 성형압력에 따른 전기적 특성을 확인하기 위해, 첨가비율과 성형온도를 90vol%와 120°C로 하고, 성형압력을 증가시키면서 실험을 진행하였다.



(a) Resistance of specimens with various mixing ratio (120°C, 10MPa)



(b) Resistance of specimens with various processing pressure (90vol%, 120°C)



(c) Resistance of specimens with various processing temperature (90vol%, 10MPa)

Fig. 3 Resistance of specimens with various manufacturing conditions

이렇게 제작된 시편의 저항을 측정한 결과 성형압력이 3.5, 7, 10MPa로 증가할수록 저항이 감소하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 이 또한 첨가비율이 증가하는 경우와 비슷하게, 가해지는 압력의 상승으로 인해 흑연입자들의 간격이 조밀해지고, 밀도가 높아져서 저항이 감소하는 것을 알 수 있었다.

마지막으로 성형온도에 따라 변화하는 전기적 특성을 확인하기 위해 첨가비율과 성형압력조건을 90vol%, 10MPa로 하여 실험을 진행하였다.

성형온도를 80, 100, 120°C로 높이면서 복합재를 제작한 결과, 온도가 상승할수록 저항이 감소하는 특성을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 이는 온도가 높아질수록 분자들의 이동이 활발해져서 입자들이 고르게 분포되며, 또한 에폭시수지도 점도가 낮아져서 수지와 입자들이 고르게 분포할 수 있도록 해주기 때문인 것으로 추측할 수 있었다.

### 3.2 기계적 특성

분리판은 연료전지 스택내에서 직렬로 여러 장 겹쳐서 사용하기 때문에 스택의 체결이 필요하고, 자동차용으로 사용할 경우 활동하는 환경에 잘 견디는 내구성을 얻기 위해 어느 정도 이상의 강도가 필요하게 된다.

이런 이유로 본 연구에서는 전기적 특성 실험에서 가장 좋은 전도성을 보인 성형조건으로 복합재를 제작하고, 이 재료에 대해 인장강도를 측정하여 기계적 강도를 확인해 보았다. 그리고 여기에 탄소섬유를 추가하여 3 phase 복합재를 제작하고 인장강도를 측정하였다.

#### 3.2.1 인장강도 측정

##### 1) 인장강도 측정시편의 형상

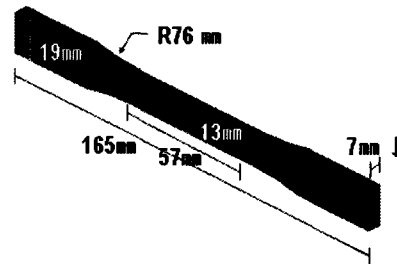


Fig. 4 Dimensions of tensile specimen

전기적 특성 실험에서 가장 좋은 성질을 나타낸 90vol%, 10MPa, 120°C의 성형조건에서 시편을 제작하고 인장시험을 진행하였다.

ASTM D638의 기준에 의해 적절한 시편의 사이즈를 결정하고(Fig. 4), 제작된 시편의 인장강도는 LLOYD Instruments LR 50K 장비를 이용하여 측정하였다.

##### 2) 인장강도 측정 결과

전도성 입자와 수지만으로 제작된 복합재와 탄소섬유층을 더 추가하고 제작한 복합재에 대해 각각 인장강도를 측정하였다. 이렇게 실험을 진행함으로써 탄소섬유를 넣어서 제작한 것이 복합재의 강도에 미치는 영향을 확인할 수 있었다.

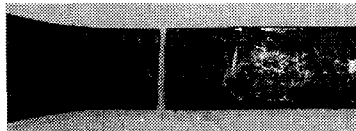
실제 인장강도를 측정한 결과, 탄소섬유를 한 장 넣었을 때 인장강도가 7배 정도 증가하였으며, 2장 넣었을 때는 11배 정도 강도가 증가함을 알 수 있었다(Table 4).

Fig. 5는 실제 파단된 복합재의 형상을 보여주고 있다. 탄소섬유를 사용하지 않은 것은 일반적인 입자강화 복합재의 파단 형상을 보이고 있으며, 탄소

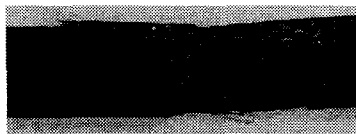
섬유를 사용한 것은 양 측면의 입자와 수지가 떨어  
져나간 형상이 나타남을 확인하였다.

**Table 4 Results of tensile strength**

Specimens	Tensile strength (MPa)	Relative strength
No fabric	4.83	1.0
1-fabric	34.93	7.2
2-fabric	54.06	11.2



(a) No fabric



(b) 1-fabric



(c) 2-fabric

**Fig. 5 Failure modes of specimens**

### 3.2.2 표면 거칠기 측정

연료전지의 스택은 여러 개의 단위전지들의 체결로 이루어지며, 이때 스택 체결의 기밀성을 얻기 위해서는 분리판의 표면이 고르고, 거칠지 않아야 한다.

이런 특성을 확인하기 위해 여러 가지 조건에서 제작된 복합재의 표면 거칠기를 측정한 결과 약 1 $\mu$ m 정도의 표면조도를 얻을 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 흑연입자 복합재를 고분자 전해질

연료전지의 분리판으로 활용하고자 몇 가지 특성을 평가해 보았다.

제작된 복합재는 첨가비율과 성형압력이 증가할수록 저항이 감소하였으며, 성형온도조건은 높을수록 입자와 수지의 분포가 고르게 이루어져서 저항이 감소함을 알 수 있었다.

기계적 특성을 평가하기 위해 인장강도를 측정한 결과 5MPa 정도의 값을 얻을 수 있었으며, 강도 특성의 변화를 알아보기 위해 탄소섬유를 더 추가하여 측정한 결과 54MPa 정도의 값을 얻을 수 있었다. 이로서 탄소섬유의 사용이 복합재의 강도향상에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

또한 제작된 복합재의 표면 거칠기를 측정한 결과 약 1 $\mu$ m 정도의 값을 얻을 수 있었다.

## 후기

본 연구는 2005년도 두뇌한국21사업과 현대모비스 산학협력과제(BKM-2004-28C)의 지원으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## References

- [1] Mehta V, and Cooper J S, 2003. "Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing," *Journal of Power Sources*, Vol. 114, pp. 32-53.
- [2] Kuan H -C, Ma C -C M, Chen K H, and Chen S -M, 2004. "Preparation, electrical, mechanical and thermal properties of composite bipolar plate for a fuel cell," *Journal of Power Sources*, Vol. 134, pp. 7-17.
- [3] Heo S I, Yun J C, Jung C K, and Han K S, 2004. "Fabrication and Characterization of graphite reinforced conductive polymer composites," *Proceeding of the KSCM Spring annual Meeting*, pp. 147-150.
- [4] Yasmin A, and Daniel I M, 2004. "Mechanical and thermal properties of graphite platelet/epoxy composites," *Polymer*, Vol. 45, pp. 8211-8219.
- [5] Krupa I, Novak I, and Chodak I, 2004. "Electrically and thermally conductive polyethylene/graphite composites and their mechanical properties," *Synthetic Metals*, Vol. 145, pp. 245-252.