

## 고분자연료전지용 분리판 상용화 기술개발

김정현<sup>†</sup>

\*한국타이어 Fuel Cell 개발팀

### Commercializing Technology Development of Bipolar Plates for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell

JEONGHEON KIM<sup>†</sup>

\*Fuel Cell Development Team, Hankook Tire Co., Ltd., 23-1 Jang-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-725, Korea

#### ABSTRACT

To promote the industry of PEMFC, the commercialization of its parts especially bipolar plate is needed. The bipolar plate is one of key parts for PEMFC, which occupies cost portion of 5~8% in the system. To replace the bipolar plate of machined graphite highly costly, the stamped thin metal or the molded carbon composite has been developed. According to the merits and demerits of each material and its forming process, the stamped metallic plate has been considered to the bipolar plate of PEMFC for automotive, and on the other hand, the molded composite plate has been considered to one for building applications. Hankook Tire Co., Ltd. has developed the carbon composite material and the manufacturing process for the bipolar plates. The developed bipolar plates were proved to be fully applicable to PEMFC of building applications in characteristics and performance, and so government strategic project to develop the mass-production technology for bipolar plates was started and is being conducted by the company. Through the government project for obtaining both the commercialization technology and production capacity for the bipolar plates, the price and the performance of domestic PEMFCs are expected to become competitive in international market.

**KEY WORDS** : Fuel cell(연료전지), PEMFC(고분자연료전지), Bipolar plate(분리판), Separator(분리판), Carbon composite(탄소복합체), Commercialization(상용화), Mass-production(양산화)

#### Nomenclature

PEMFC : polymer electrolyte membrane fuel cell,  
고분자연료전지

#### 1. 서 론

건물용 고분자연료전지(PEMFC)는 전기효율 36%와 열효율 46%를 합한 총에너지효율 82%를 자랑하는 무공해 열병합 분산 발전기이다. 국가 주도의 모니터링 사업을 통해 성능이 검증되어진 대표적인 저탄소 녹색산업 아이টে므로서, Fig. 1에 나타낸 바

<sup>†</sup>Corresponding author : kimjh@hankooktire.com

[ 접수일 : 2011.4.15 수정일 : 2011.6.4 게재확정일 : 2011.6.20 ]

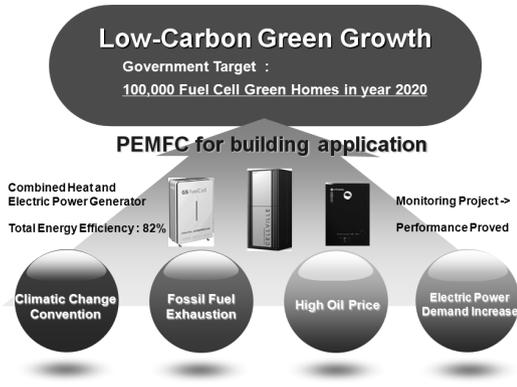


Fig. 1 PEM fuel cell for building applications as a promising green business item in hydrogen economy era

와 같이 정부의 2020년 10만호 연료전지 그린홈 누적 목표가 달성되면, CO<sub>2</sub> 배출저감과 1차 에너지 절감 뿐 아니라 신규일자리 창출에도 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

일본 정부는 가정용 연료전지인 에너팜의 보급 확대를 통해 건물용 연료전지 산업화를 주도하기 위해 노력하고 있다. 여러 시스템 제작사들에서 생산된 가정용 연료전지에 에너팜(ENE FARM)이라는 단일 명칭을 부여하여 일본 내 수요자들의 친밀도를 제고 시키고자 하는 마케팅을 전개 중에 있다. 일본 정부는 가정용 연료전지 시스템 가격을 점차 저감하여 2020년도에는 50만엔 가격과 60만대 보급 목표를 달성한다는 계획을 세워두고 그 실현에 박차를 가하고 있다.

건물용 연료전지의 보급을 촉진시키기 위해서는 주요 부품의 성능과 신뢰도를 향상시키고 가격을 저감하여 시스템 가격을 낮추는 것이 무엇보다 중요하다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 국내에서도 기술적 핵심부품인 MEA(membrane electrode assembly)를 비롯하여 연료개질기, 보조기와 함께 연료전지 산업화를 위한 핵심부품인 분리판의 상용화 기술개발 국책사업이 기획되어 진행되어지고 있다.

이러한 핵심부품들의 상용화 기술개발이 어느 정도 완료되어지는 2012년 이후에는 국산 건물용 연료전지의 가격과 성능 경쟁력이 선진제품 대비하여

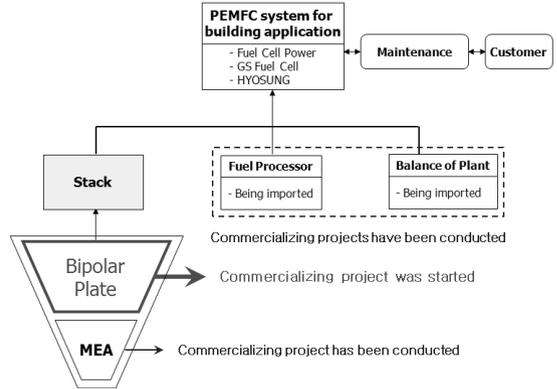


Fig. 2 Government projects for developing commercializing technologies of component parts for PEM fuel cells

대등한 수준으로 향상되어질 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 연료전지 상용화를 위한 몰딩분리판

### 2.1 분리판 기능 및 요구 특성

연료전지에서 분리판은 반응가스를 공급하고, 생성수를 배출시키며, 전기를 이동시키는 주요 역할 뿐 아니라, 셀스택을 지지하고 반응열을 배출하는 등의 부가적인 기능을 수행해야 한다.

이와 같은 분리판의 여러 기능으로 인해 Fig. 3에 나타난 바와 같은 전기화학적, 기계적 및 물리적 특성들이 다양하게 요구되어진다.

전기전도성과 열전도성이 높은 동시에 내부식성 등 높은 화학적 안정성이 필요하다. 또한 냉매나 기

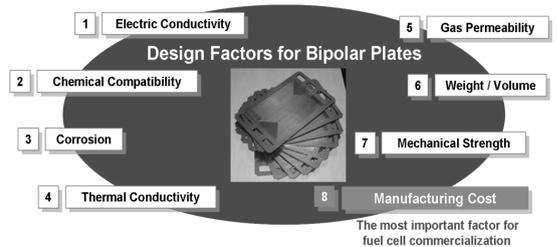


Fig. 3 Required design factors for bipolar plates of PEM fuel cells

Table 1 DOE targets for bipolar plate performance

| Characteristics                                | Units                               | 2005 Status          | 2010 Target          | 2015 Target          |
|--|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Cost   | \$/kW                               | 10                   | 5                    | 3                    |
| H <sub>2</sub> Permeation Flux at 80°C & 3 atm | cm <sup>3</sup> cm <sup>2</sup> sec | < 2×10 <sup>-6</sup> | < 2×10 <sup>-6</sup> | < 2×10 <sup>-6</sup> |
| Corrosion                                      | μA/cm <sup>2</sup>                  | < 1                  | < 1                  | < 1                  |
| Electrical Conductivity                        | S/cm                                | > 600                | > 100                | > 100                |
| Resistivity                                    | Ω/cm <sup>2</sup>                   | < 0.02               | 0.01                 | 0.01                 |
| Flexural Strength                              | MPa                                 | > 34                 | > 25                 | > 25                 |

체에 대한 밀폐성이 우수해야 하며 스택을 지지하는 역할을 하므로 기계적 강도가 높아야 한다.

이러한 여러 요구 물성들과 함께 저 제조비용과 높은 양산성을 또한 필요로 한다. 1kW급 가정용 연료전지 시스템 제작을 위해서는 50~80장 정도로 많은 수의 분리판이 소요되므로 저 제조비용과 고 양산성은 상용화를 위해 필수적이다.

Table 1에는 미국 에너지성(DOE)에서 연도별로 제시한 자동차용 분리판 물성 및 제조비용 목표를 나타내었다<sup>1)</sup>. 여러 요구 물성 목표들과 함께 기재되어 있는 kW당 3달러의 2015년도 분리판 가격 목표(연료전지 자동차 연 50만대 생산 기준)는 달성이 쉽지 않아 보이나, 현재의 경유 자동차 대비 연료전지 자동차가 가격경쟁력을 갖추기 위한 최소한의 목표라고 한다.

## 2.2 상용화를 위한 몰딩분리판

고분자연료전지의 연구개발 단계에 주로 사용되어 온 흑연판 기계가공 분리판은 가공비가 과다하고 양산성이 낮아 상용화 단계에서는 적용이 어렵다. 따라서 연료전지의 상용화를 위해서는 제조비가 저렴하고 양산성이 높은 몰딩방식으로 분리판을 대량 생산할 수 있어야 한다.

몰딩방식으로는 탄소복합체 성형 분리판과 금속재 스탬핑 분리판이 적용 가능하다. Table 2에 두 가지 방식의 몰딩분리판 장단점을 비교하여 나타내었다<sup>2)</sup>.

Table 2에 나타난 바와 같이 금속분리판은 부식

Table 2 Comparison of carbon composite and metal as separator material

|           | Carbon Composite   | Metal  |
|-----------|--|--|
| Benefits  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Resistant to corrosion</li> <li>Stable in shape</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>High mechanical strength</li> <li>Compact</li> </ul>  |
| Drawbacks | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fragile</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Liquate out of metal ion</li> </ul>   |
| Variety   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Thermoset by compression</li> <li>Thermoplastic by injection</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Particles in stainless steel</li> <li>Au coat on stainless steel</li> <li>Pt coat on Ti plate</li> <li>Glassy metals</li> </ul> |

에 의한 촉매 오염이나 계면 전기저항 증대의 단점이 있음에도 경박단소와 양산성의 장점이 크므로 자동차용 등 주로 이동형 연료전지용으로 개발되어지고 있다<sup>3)</sup>.

반면 탄소복합체 분리판은 높은 화학적 안정성으로 인해 수명이 길고, 연료전지 작동 환경에서의 내구성이 우수하므로 주로 건물용 연료전지에 적용되어지고 있다.

## 3. 몰딩 분리판 소재 및 성형공정

건물용 연료전지 산업화와 시장 확대를 주도하고 있는 일본의 가정용 연료전지 시스템 대부분은 탄소복합체 몰딩분리판을 적용하고 있다. 본 서는 주로 건물용 연료전지에 관해 논의하고 있으므로 지금부터는 탄소복합체 몰딩분리판에 관해서만 기술하기로 한다.

탄소복합체 몰딩분리판은 기본적으로 결합재 역할을 하는 고분자 물질과 전기의 통로 역할을 하는 탄소 분말을 균질하게 혼합한 후 압축 혹은 사출 방식으로 성형하여 제조한다.

적용되는 고분자 물질로 압축분리판의 경우는 열경화성 소재, 사출분리판의 경우는 열가소성 소재를 주로 사용하게 된다.

열경화성 소재의 경우, 보다 높은 열화학적 안정성으로 인해 몰딩분리판에 우수한 물성과 넓은 적용 범위를 제공하나 경화(curing)에 필요한 시간이

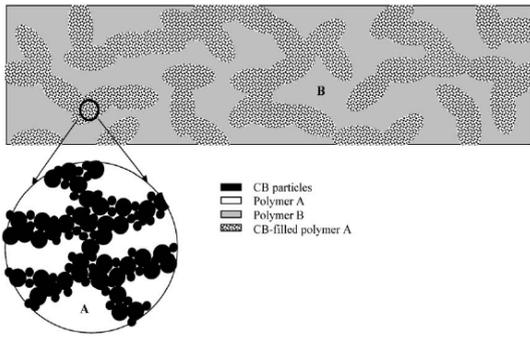


Fig. 4 Schematic of the microstructure of the carbon-filled polymer blend composite. Note that carbon particles are preferentially distributed in one polymer phase, and both polymer phases are continuous in 3D space

소요되고 재활용이 어렵다는 단점이 있다.

열가소성 소재를 적용할 경우에는 사출성형 방식을 사용하여 경화공정 없이 짧은 cycle time으로 생산성을 높일 수 있고, 소재 재활용이 용이한 장점이 있다. 하지만 사출성형을 성공시키기 위한 소재 유동성 확보를 위해 전도성 충전제를 많이 첨가시키기 어렵다는 단점도 있다.

전기 및 열전도성을 높이기 위해서는 탄소재료의 함량을 높여야 하나, 내기체투과성과 기계적 강도, 가공성 측면에서는 고분자 물질의 함량이 높은 경우가 유리하다.

Wu 등은 이와 같은 서로 상충적인 요구 특성들을 만족시키기 위해 탄소재료와의 상용성 차이가 큰 두 가지 이상의 고분자 물질을 사용하여 Fig. 4에서와 같은 내부 조직을 형성시키고자 제안한 바가 있다<sup>4)</sup>.

## 4. 몰딩분리판 기술개발 현황

### 4.1 제품 기반기술 개발

국내에서는 2004년도부터 본격적으로 정부주도의 탄소복합체 몰딩분리판 기술개발 사업이 진행되기 시작했다. 한국타이어가 주관하고 한국에너지기술연구원 등 7개 학연산 기관이 참여한 산업자원부의 “고분자연료전지용 분리판 국산화 기술개발” 사

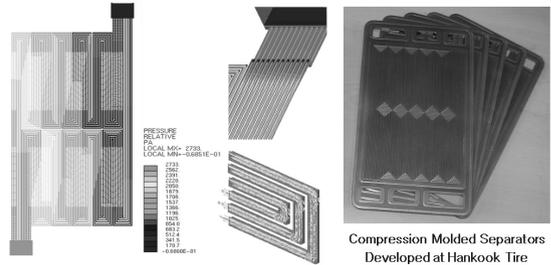


Fig. 5 Simulated, designed and compression-molded bipolar plates at Hankook Tire R&D Center

업을 통해 몰딩분리판 관련된 기반기술 개발이 체계적으로 이루어진 바 있다<sup>5)</sup>.

과제에서는 압축분리판과 사출분리판에 대한 개발이 동시에 이루어져 소재 및 공정에 관한 원천기술 확보와 함께 기반기술 관련된 국내외 특허들의 등록이 이루어졌다.

Fig. 5에는 개발된 기반기술들을 적용하여 한국타이어에서 시험제조한 탄소복합체 몰딩분리판을 나타내었다. 공기/수소 및 냉매 유동장 계산을 통해 유로를 설계하였고, 열경화성 소재를 사용하여 압축성형 방식으로 제조하였다.

Fig. 6에는 개발된 몰딩분리판을 사용하여 시험제작한 연료전지 스택의 I-V polarization curve 를

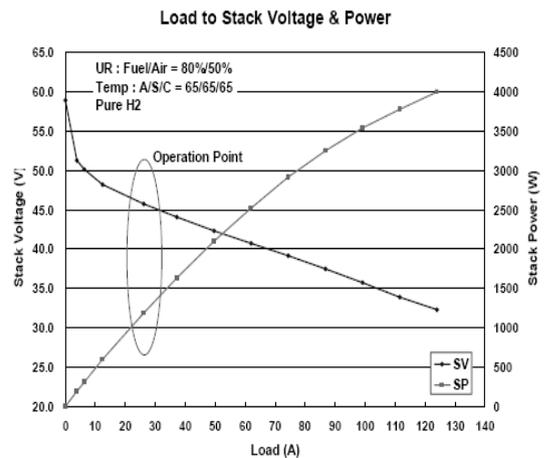


Fig. 6 I-V polarization curve of 60-cell stack of developed molded bipolar plates

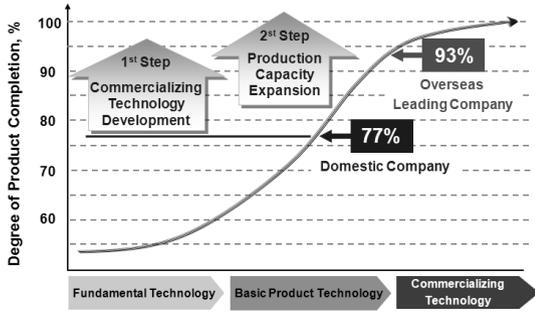


Fig. 7 Estimated product technology level of domestic bipolar plates in comparison to overseas leading company's ones

나타내었다.

60-셀 스택 성능을 평가한 결과로, 연료가스로 수소를 사용할 때 단위셀 기준 0.75V 운전 시 약 210mA/cm<sup>2</sup>의 전류밀도를 나타내는 것으로 확인되었다.

## 4.2 상용화 기술개발

국내의 탄소복합체 몰딩분리판 기술 수준은 양산 기술 및 생산능력까지 고려할 때, 선진 최고기술 대비 약 80% 수준으로 추정된다. Fig. 7에는 해외 선진기술에 대비한 국내 기술 수준을 추정하여 나타내었다.

국내에서는 복합체 몰딩분리판 관련하여 원천기술과 제품 기반기술은 선진업체 대비 상당 수준 확보되어져 있는 것으로 판단된다. 하지만 해외 선진업체에 비해 양산기술, 생산 경험 및 설비의 확보가 매우 취약하여 국가적으로 상용화 기술개발 필요성이 대두되었다.

이에 따라 분리판 양산기술을 개발하여 고성능 저가 분리판 국내 공급체계를 구축하고자 하는 “건물용 연료전지 분리판 상용화 기술개발” 사업이 기획되어져, 한국타이어 주관으로 9개 학연산 기관에서 현재 수행 중에 있다. 지식경제부 산하 한국에너지기술평가원에서 전담하는 신재생에너지 전략기술개발사업의 일환으로 2009년 12월부터 3년간 진행될 예정이다.

분리판 상용화 기술개발 과제는 기 개발된 제품



Fig. 8 Molded bipolar plate for mass-production which is applicable for PEMFC of 1~3kW power range

원천기술을 기반으로 하여 성능은 높이면서도 가격은 저감시킬 수 있는 양산 관련 요소기술들을 개발하는 것이 목표이다.

이를 위해 전체 과제 진행분야를 소재, 성형, 일체화, 평가, 설계 등 5개 범주로 나누어 9개 기관이 분담하여 필수 요소기술들을 개발하고 있다. 현재 2차년도 수행 중인 단계로 과제의 최종 목표 달성을 위해 전 기관이 합심하여 최선의 노력을 기울이고 있다.

본 상용화 기술개발 과제를 통해 1차년도 시험제조에 성공한 양산형 분리판을 Fig. 8에 나타내었다. 1~3kW급 PEMFC 용으로 사용이 가능하게끔 유동장 해석을 통해 유로와 매니폴드를 설계하였고, 활성면적은 200cm<sup>2</sup>로 설정하였다.

현재 셀스택 성능평가가 진행 중이며 평가 결과에 따라 유동장 디자인 및 적용 소재 성분비의 최적화 연구를 계속해서 진행할 예정이다.

## 4.3 글로벌 리더십 확보 전략

국내 탄소복합체 몰딩분리판 기술을 선진제품 수준으로 향상시키기 위해서는 상용화 기술개발과 함께 제품 생산능력 확대도 동시에 이루어져야 할 것으로 사료된다. 지속적인 생산능력 확대를 통해 품질과 가격 경쟁력을 동시에 확보할 수 있을 때, 시장을 주도하는 글로벌 리더가 될 수 있을 것이다.

한국타이어는 현재 수행 중인 연료전지 분리판 상용화 기술개발 과제를 성공적으로 종료시킴과 동

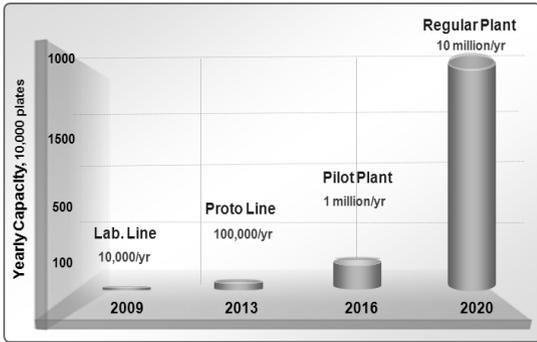


Fig. 9 Master plan for mass-production of bipolar plates at Hankook Tire Co., Ltd.

시에, Fig. 9에 나타낸 바와 같이 순차적으로 생산능력을 확보할 수 있도록 착실히 준비하고 있다. 이를 통해 고분자연료전지용 탄소복합체 몰딩분리판 분야에서의 글로벌 리더십을 확보하고자 한다.

## 5. 요약

건물용 고분자연료전지는 저탄소 녹색산업화에 기여할 수 있는 대표적인 신재생에너지원으로, 정부 주도의 보급사업을 통해 초기 시장창출이 이루어지고 있다.

고분자연료전지 산업화 촉진을 위해서는 분리판을 비롯한 구성 부품의 상용화 기술개발과 저가화가 필수적이다.

탄소복합체 몰딩분리판의 적용은 고분자연료전지 상용화를 앞당기는데 기여할 것이다. 한국타이어에서 개발한 복합체 몰딩분리판은 고분자연료전지 스택 부품으로서의 요구 특성과 성능을 모두 만족시키는 것으로 나타났다.

한국타이어는 분리판 상용화 기술개발과 지속적인

생산능력 확보를 통해 국산 연료전지의 가격 및 성능 경쟁력 향상을 위해 최선의 노력을 다하고 있다.

## 후 기

본 연구의 일부는 지식경제부 한국에너지기술평가원에서 전담하고 한국타이어에서 주관하는 신재생에너지 전략기술개발 사업(그린홈 보급촉진을 위한 건물용 연료전지 분리판 상용화 기술개발)의 지원으로 수행되었고 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) Orest Adrianowycz, "Next Generation Bipolar Plates for Automotive PEM Fuel Cells", DOE Hydrogen Program Review, 2008, Project ID # FC28.
- 2) K. Mitsuda, H. Maeda, M. Matsumura and H. Urushibata, "Technical Issues on Polymer Electrolyte Fuel Cells", 15th World Hydrogen Energy Conference, 2004, 01PL-02.
- 3) 강경민, 김동묵, 최정식, 차인수, 윤영훈, "PEMFC 용 분리판 표면코팅 및 부식성 평가", 한국수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 22, No. 2, 2011, pp. 199-205.
- 4) M. Wu and Leon L. Shaw, "A novel concept of carbon filled polymer blends for applications in PEM fuel cell bipolar plates", Int. Journal of Hydrogen Energy, Vol. 30, 2005, pp. 373-380.
- 5) 김정현 등, "고분자연료전지용 분리판 국산화 기술개발", 산업자원부 기술개발 최종보고서, 2004-N-FC12-P-05, 2007.