Carbon Science

Vol. 1, No. 2 September 2000 pp. 98-102

Technical Review

# Carbon Materials for Fuel Cell System

**Doo Hwan Jung**♠

Fuel Cell Research Center, Korea Institute of Energy Research, P.O. Box 103, Yusong, Taejon 305-343, Korea

♠e-mail: *doohwan@kier.re.kr*

*(Received August 17, 2000; accepted August 28, 2000)*

## 1. 서 론

우리 나라는 부존자원의 빈곤으로 국민생활과 국가 경제발전에 기본이 되는 에너지의 대부분을 외국에서 수입하여 사용하고 있다. 더욱이 선진국 진입을 목표로 하는 2000년대 초기까지는 급격한 전력 수요의 증가와 이에 부수되는 발전소 건설에 필요한 막대한 시설 투자, 공해 가스의 배출 및 발전소 건설부지 선정의 어려움 등과 같은 많은 문제에 처하게 될 것이다. 그러므로 에너지 이용 효율의 혁신적 향상과 공해 문제를 동시에 해결 할 수 있는 새로운 에너지 기술의 개발과 이용이 절실히 요구되고 있다. 또한 국제적으로도, 화석 에너지 고갈과 대기 환경보존 차원에서 청정에너지 이용 확대와 에너지 이용 효율 향상을 위한 노력이 전개되고 있으며 아울러 강력한 환경 규제도 시행되고 있다. 따라서 기술개발을 통한 신 에너지 기술 확보 여부가 우리 나라 미래의 에너지 수급 및 선진국 진입 여부를 결정하는 요소가 될 것이다.

신 에너지 기술 중 연료전지 발전은 탄화수소계열의 연료에 포함된 수소와 공기중의 산소를 전기 화학적 방법으로 반응시켜서 직접 전기를 생산하며 부수적으로 반응열도 생성한다. 또한 연료전지는 탄화수소계열의 연료 즉 LNG, 메탄올, 석탄가스 등 연료 선택 폭이 크며, 다양한 용량 및 전력 수요지 내에 설치가 용이한 점 등도 큰 장점이 된다. 그러므로 연료전지 발전은 앞서 설명한 우리나라 에너지 기술의 요구에 부응하며, 2000년대 에너지 기술 자립에도 크게 기여 할 수 있는 신 에너지 기술이라고 할 수 있다[1, 2].

연료전지 발전 기술은 1960년대 미국의 우주선 전력 공급용 연료전지 발전기 개발이 본격적인 기술개발 동기가 되었으며, 전력사업용의 연료전지 연구개발은 1970년대부터 미국과 일본에서 각각 TARGET Project, Moonlight Project 등 국가적 연구개발 과제로 추진되어 왔다. 따라서 연료전지 발전기술은 미국, 일본이 독점하고 있으며 이에 대한 방어적 전략에서 유럽국가(이태리, 네덜란드, 독일 등)가 '80년대부터 개발에 주력하고 있다. 이와 같은 연구개발 결과로 최근 인산형 연료전지(Phosphoric Acid Fuel Cell)기술은 실용화 단계까지 와 있으나 중요기술보호 측면에서 선진국들의 기술보호 정책은 더욱 강화되고 있다.

우리나라도 2000년대 과학기술 선진국 진입을 목표로 특정 기술 분야에서 세계 일류 수준의 기술 경쟁력 확보를 하기 위한 핵심 기술을 선정하여 집중 개발하고 있는 선도기술 개발사업(G7 프로젝트)에 신 에너지 개발사업을 포함시켜 수행하고 있으며 그중 연료전지 발전기술 개발을 중요한 과제로 선정하여 추진하고 있다.

연료전지 발전 기술 중 인산형 연료전지 발전이 실용화에 제일 많이 근접되어 있다. 일본의 경우는 인산형 연료전지의 실용화를 위하여 인산형 연료전지 기술 연구조합(Phosphoric Acid Fuel Cell Technology Research Association)을 구성하고 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)와 함께 도시에너지센타형(Urban Energy Center Type) 5,000 kW 및 현지 설치형(on-site) 1000 kW급을 1994년부터 시범운전하고 있다. 한편 일본에서의 연료전지 개발방식은 개발 초기에는 상용화를 위해서 기본 요소기술을 경시하고 제조기술과 운전경험들을 축적하여 가장 효과적인 방법을 찾아왔으며 이 일환으로 Tokyo Electric Power Company에서는 도쿄 항구 근처 Goi Thermal Power Station에서 미국의 스택기술(IFC)과 일본의 시스템(Toshiba) 및 운전기술을 연계해서 세계에서 가장 큰 11 MW급 인산형 연료전지 발전 플랜트의 운전시험을 수행한 바 있다[3]. 이와 같은 현장실험은 연료전지 발전 플랜트의 공학적 설계기술과 신뢰성을 높이는데 크게 기여할 것이며 여러 가지 운전기술이 축적될 것이다. 그러나 이러한 개발방식, 즉 연료전지의 기본 요소기술을 등한시하고 대형 시범사업과 공학적인 개선에 치중한 개발방식은 고효율, 고신뢰성 및 경제적 가격 목표도달이라는 장애요인을 극복하지 못함으로서 현재의 연료전지를 상용화하는데 문제가 있음을 깨닫게 되었다. 따라서 일본은 최근 이러한 문제점 극복을 위해서 정부, 전력회사, 제조회사 및 연구소 등이 정부의 대폭적인 지원 하에 기본 요소기술을 연구하는 계획을 추진하고 있다.

## 2. 연료전지 종류 및 특성

연료전지는 내부 전해질에 의하여 다음 Table 1 의 5가지 형태로 구분된다[1, 4]. 각 연료전지는 근본적으로 같은 원리에 의해서 작동한다. 서로 다른 점은 연료의 종류, 운전 온도, 전해질이다. 이중 탄소재료를 가장 많이 사용하는 연료전지의 형태는 인산형 연료전지와, 고체고분자형 연료전지로 촉매 지지체, 촉매 담체, 바이폴라 플레이트 판, 분리판 등이 각자의 기능을 달리한 탄소재료로 구성되어있다. 본 고에서는 대표적으로 인산형 연료전지에서의 탄소재료의 이용 기술에 대하여 서술한다.

Table 1. Types of fuel cells

| 연료 전지 형태 | 전 해 질 | Anode 반응 | Cathode 반응 | 온도 |
|---|---|---|---|---|
| 인산형(PAFC) | 인산 (액체) | $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ | $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow H_2O$ | 200°C |
| 알칼리형(AFC) | 수산화칼륨(액체) | $H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$ | $O_2 + H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ | 80°C |
| 고분자전해질형(PEMFC) | 나피온 Dow 폴리머 | $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ | $½O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ | 상온~100°C |
| 직접메탄올형(DMFC) | 나피온 Dow 폴리머 | $CH_3OH + H_2O \rightarrow 6H^+ + CO_2 + 6e^-$ | $3/2O_2 + 6H^+ + 6e^- \rightarrow 3H_2O$ | 상온~130°C |
| 용융탄산염형(MCFC) | Lithium or potassium carbonate(액체) | $H_2 + CO^=_3 \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^- CO + CO^=_3 \rightarrow 2CO_2 + 4e^-$ | $O_2 + CO_2 + 4e^- \rightarrow 2CO^=_3$ | 650°C |
| 고체산화물형(SOFC) | Yttria-stabilized zirconia (고체) | $H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^- CO + O_2 \rightarrow CO_2 + 2e^- CH_4 + 4O^{2-} \rightarrow 2H_2O + CO_2 + 8e^-$ | $O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$ | 1000°C |

인산형 연료전지는 인산을 전해질로 사용하기 때문에 불려지는 이름이며 이 기술은 20년 이상 개발되고 개선되어 왔다. 또한 많은 운전 시간으로 연료전지 시스템에서 가장 안정되고 믿을 만한 시스템으로 확립되었다. 이 기술은 전기 생산에 비교적 순수한 수소(70% 이상)를 요구하고 천연가스 또는 메탄올을 개질 한 연료가 수소원으로 사용된다. 인산형 연료전지는 이산화탄소($CO_2$)에 내성이 있으나, 백금 촉매는 특히 낮은 운전 온도에서는 일산화탄소(CO)가 해독을 끼쳐 촉매 성능을 현저히 감소시킨다. 200°C에서 일산화탄소 불순물 준위의 1~2% 상승은 허용할 수 있다.

인산형 연료전지 내의 전극은 탄소 지지체의 표면위에 촉매로써 백금이나 백금 혼합물을 도포하여 제조한다. 전극은 지지층 혹은 가스 확산층, 전극 촉매층 전해질 지지층 그리고 전류 집전층을 포함한다. 지지층은 전극 촉매와 가스 상태의 연료 및 가스 생성물 사이의 경계를 제공한다. 전극 촉매층은 전극 촉매를 지지하는 테프론이 도포된 다공성 탄소가 일반적으로 사용되고 있다. 백금 혼합 촉매는 순수 백금 촉매 보다 Cathode 활성도를 향상시키기 위하여 사용한다.

인산형 연료전지의 운전 온도는 약 200°C이다. 이것은 인산 전해질의 안정도를 위하여 허용하는 최대 값이다. 이 기술로 현재까지 순수한 발전 효율은 40~50% 정도이다. 이 수준보다 높은 효율을 갖기 위해서는 전지와 스택 구성품의 지속적인 개발과 종합시스템의 효율적인 제어가 필요하다.

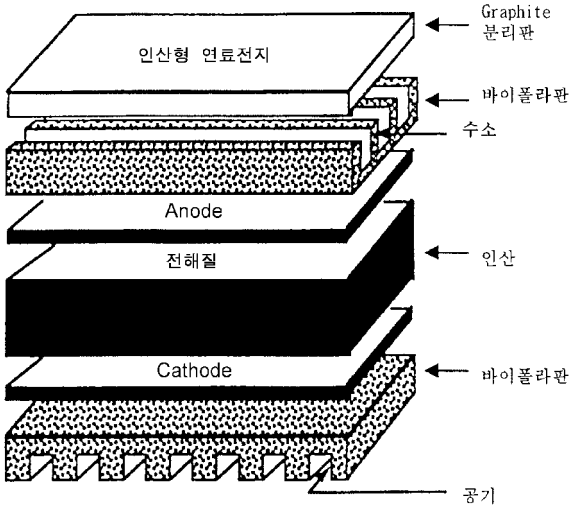


Fig. 1. Schematic configuration of PAFC stack.

인산형 연료전지의 반응이 발열 반응이므로 연료전지의 최적 작동온도인 200°C로 유지하기 위해서는 시스템을 냉각시켜야 하며 이때 생성되는 반응열을 이용하면 연료전지 시스템의 총 효율은 70% 이상 높일 수 있다.

## 3. 구성별 사용탄소 재료

연료전지는 크게 연료전지 본체(stack), 연료개질장치, 전력변환장치로 구성되며 탄소재료가 많이 사용되는 연료전지 본체는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 전극(음, 양극), 전해질층, Bipolar plate 분리판 및 전류 집전체로 구성된다. 전극은 전극 지지체(carbon paper, carbon cloth) 위에 Pt/C 촉매 등을 코팅하여 제조한다. 전해질층은 전해액(인산 등)을 함침하고 있는 필름으로 구성된다. Bipolar plate는 요구되는 시스템에 부합되게 다공성 또는 치밀한 탄소재료로 구성되며 분리판은 치밀한 탄소 재료가 일반적으로 사용된다.

### *가. 전극지지체*

전극 지지체는 촉매층을 지지하는 역할 외에도 전극 촉매층과 분리판 사이의 전류 집전체 역할을 하며 전지내의 반응물과 생성물의 촉매층의 안과밖으로 통하는 매개체가 된다. 따라서 전극 지지체는 Porous해야 한다. 즉 전극 지지체는 분리판을 통과하여 들어온 수소 혹은 산소가 전극 반응면(촉매층)에 도달할 수 있도록 50~90% 정도의 기공율을 가진 탄소종이를 주로 사용한다. 이 탄소종이는 반응 기체 중에 포함되어 있는 수분이 기공사이를 막는 현상을 방지하기 위하여 PTFE (polytetrafluoroethylene)양 및 소결 조건을 조절하여 방수 처리되어야 한다. 또 전극 지지체는 전극 촉매층의 형태를 일정하게 유지하여 전해질과 접촉면을 일정하게 만들어준다. 전극 내의 저항을 최소로 하기 위해서는 전극 지지체의 전도도는 매우 높아야 한다. 따라서 인산형 연료전지와는 달리 전극 지지체의 촉매층 반대면에 탄소만으로 된 층을 만드는 경우도 있다.

전극의 지지체로 주로 사용되는 탄소종이(carbon paper)는 탄소섬유와 Resin의 혼합물을 성형 소결하여 만들며 resin으로는 Phenolformaldehyde, Polypropylene sulfide, colloid 8440 등이 사용된다. 이 때 기공율은 60~80% 정도이며 평균 기공크기는 20~40 μm, 열전도율은 2.0 Btu/hr·ft$^2$이다. 연료전지에서

전극 지지체로 주로 사용한 탄소종이는 Kureha E-715와 Toray TGP-H-90이 있으며 이들의 물성치를 Table 2와 Table 3에 각각 나타내었다.

고체고분자 전해질형 연료전지에서는 탄소종이 대신에 탄소천을 전극지지체로 사용하는 경우도 있다. 이때 탄소천을 먼저 방수 처리한 다음 한쪽면에는 촉매층을, 다른 면에는 탄소층을 형성시킨다. 현재 알려진 탄소 천의 공급처는 일본 Kureha, Toray, Showa Denko사 등이 있고, 영국의 Carbon Cloth International Ltd 그리고 국내의 한국 화이바에서 소량 제조하는 것으로 알려져 있다.

전극지지체를 방수 처리하는 방법은 다음과 같다. 적당한 크기로 탄소종이나, 탄소천을 자른 다음, FEP120(Tetrafluoroethylent + Hexafluorethylene의 copolymer, Dupont Co.)을 20 wt%로 희석시킨 수용액에 약 20~30초간 담근 후 공기 중에서 하루동안 건조시킨다. 이것을 다시 375ºC에서 18분간 소성 시킨다.

### *나. 전극촉매층*

전극 촉매층은 일반적으로 백금이 첨가된 탄소분말이 사용되며 이 탄소분말은 반응면적을 넓히는 역할을 한다. 현재 전극 촉매층 제조에 많이 사용되고 있는 탄소분말을 Vulcan XC-72, Monarch 880(Cabot. Co) 및 Schawinigan Acetylene Black 외 여러 가지가 있다.

전극의 성능을 향상시키고 전지 수명을 늘리기 위해서는 고성능 전극 촉매층을 제조하여야 한다. 전극 촉매층은 전극 지지체와 마찬가지로 반응가스와 전해질막에 공급될 물, 그리고 전기화학반응 결과 생성된 반응물들이 통과될 수 있도록 적당하게 방수처리 되어야 한다.

전통적인 방법으로 전극 촉매층을 제조하는 방법에서는 방수효과를 내는 첨가제로 PTFE가 사용되고 있는데, 이 PTFE는 방수성 외에 전극 촉매층 내에 입자들이 서로 잘 결합되도록 하는 역할을 한다. 따라서 PTFE는 전극 촉매층 내에 균일하게 분포되어야 한다.

연료전지에서 수소와 산소 가스를 사용하기 위하여 이들을 전해질에 공급시켜 주어야 한다. 그 외에 가스와 전해질 사이의 경계층에서 반응이 일어나도록 촉매를 설치하여야 한다. 전기화학 반응에 의해 전자를 이동시키기 위해서 전기 전도성이 우수한 도체를 거쳐 촉매에 도달하도록 한다. 이를 위하여 가스확산 전극이 필요하다. 가스확산 전극으로는 다공성이고 전기전도성이 좋은 재료, 예를 들면 Carbon paper 또는 Carbon cloth를 사용하며 이 전극의 가스 측은 방수처리하고 전해질 측과 마주 놓이는 쪽에는 촉매를 입힌다.

연료는 전극의 기공을 통하여 가스공간과 전해질 사이의 경계영역으로 확산되어 들어와서 전해질에서 녹아들고 기공에 있는 촉매 쪽으로 이동한다. 이런 3상 경계(고체-액체-기체)에서 전기화학 반응이 일어나고 여기서 관련된 전자는 전극을 거쳐 변환되므로 이 영역만 반응과 관련이 된다. 가스 측은 방수성이므로, 기공에 있는 전해질의 모세관력과 전극의 반발력이 평형상태를 유지하게 되어 소위 렌즈 모양을 형성하게 되고 3상 경계가 형성된다. 확산 경로가 짧기 때문에 이 층에서만 반응이 일어날 수 있다. 그러므로 전극에 기공을 가능한 많게 하여 활성 면적을 넓혀야 한다.

### *다. 바이폴라판*

바이폴라판은 전지 형태에 따라 다공성(porous bipolar plate) 바이폴라판과 치밀한 바이폴라판(non porous bipolar)으로 나누어지고 이때에 사용되는 탄소가 각각 상이하다. 다공성 바이폴라판 구조는 기체분배 역할을 하는 다공을 탄소체가 가지고 있는 형태이며, 치밀한 바이폴라는 반응기체 통로 및 분리판 역할을 동시에 수행하는 형태이다(Fig. 2).

1) 비다공성 Bipolar plate(non-porous)

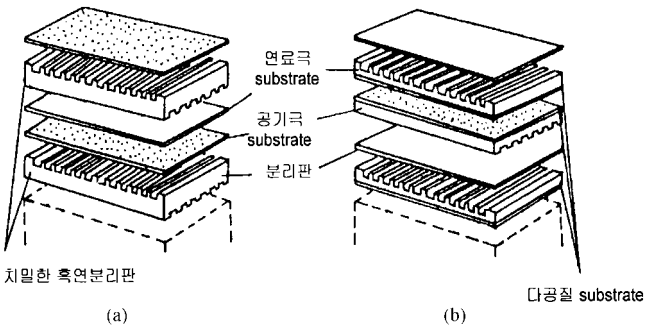


Fig. 2. Structure of PAFC stacks with (a) nonporous bipolar plate and (b) porous bipolar plate.

Table 2. Properties of the Kureha E-715 carbon paper [5]

| 두께(mm) | 기공도(%) | 밀도(g/m$^2$) | 저항(Ω/m$^2$) |
|---|---|---|---|
| 0.4 | 88 | 150 | 0.5 |

Table 3. Properties of the Toray carbon paper [6]

| 물성 \ 종류 | TGP-30 | TGP-60 | TGP-90 | TGP-120 | TGP-510 |
|---|---|---|---|---|---|
| 두께(mm) | 0.09 | 0.17 | 0.26 | 0.35 | 1.5 |
| 체적밀도(g/cm$^2$) | 0.42 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.51 |
| 기공율(%) | 75 | 73 | 73 | 73 | 72 |
| 가스투과도(mmag/mm) | 28 | 32 | 32 | 32 | 40 |
| 비저항(Ω · cm) 면수직방향(면방향) | 0.07(0.005) | 0.07(0.005) | 0.07(0.005) | 0.07(0.005) | 0.07(0.005) |
| 열전도도(cal/cm · sec · ºC) | $6\times10^{-3}$ | $6\times10^{-3}$ | $6\times10^{-3}$ | $6\times10^{-3}$ | $6\times10^{-3}$ |
| 강도(kg/cm$^2$) | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 |

(1) 제조방법

미국 ERC(Energy Research Corporation)에서 제작한 5"×15"의 bipolar plate의 제조방법을 소개하면 다음과 같다[7].

- 우선 입경이 6 μm 되는 Carbon powder와 phenol-formaldehyde(PF) resin 혼합
- 입경이 50 μm 되는 Carbon powder를 3:7의 비율로 잘 혼합한후 이를 PF resin(15~30%)와 혼합
- 4,300 psi, 350°F 약 5분간 압축
- 약 3,000°C에서 소결(불활성 기체 분위기)

(2) 물리적 특성

비다공성 Bipolar plate(non-porous)는 전기적 저항이 적어야 하고, 높은 밀도, 높은 기계적 강도를 요구한다.

이러한 특성들은 bipolar plate 제조시의 resin 함량에 크게 영향을 받게 된다. ERC에서 보고된 각각의 특성을 살펴보면 값은 0.005~0.04 Ωcm의 범위이고 밀도는 1.7~1.9 g/cc 범위이다.

2) 다공성 Bipolar plate(porous)

(1) 제조방법

일본 Kureha Chemical Co.의 제조방법을 살펴보면 다음과 같다.

- Carbon fiber, PVA(polyvinyl alcoholl)와 phenol resin 혼합
- 1차 혼합물 위에 PVA의 양을 5~20% 줄일 조성의 혼합물을 투입
- 100~200°C에서 5~100 kg/cm$^2$의 압력으로 2~60분간 압축
- 1500~2400°C에서 소결(불활성 기체 분위기)

(2) 물리적 특성

Table 4. Properties of porous bipolar plate [5]

| | ribbed layer | non-ribbed layer |
|---|---|---|
| 두 께 | 1.6 mm | 0.5 mm |
| 밀 도 | 0.56 g/cm$^3$ | 0.65 g/cm$^3$ |
| 기 공 율 | 65% | 59% |
| 평균기공직경 | 32 μm | 24 μm |
| 기체통과율 | 340 ml/hr cm$^2$ mmAq | |
| 꺾임강도 | 160 kg/cm$^2$ | |
| 전기적저항 | 26×10$^{-3}$ Ωcm | |

다공성 bipolar plate는 gas channel을 가지는 ribbed layer와 non-ribbed layer의 두 부분으로 구성되며 이 두 부분의 특성은 Table 4와 같다.

### *라. 분리판(Separator)*

단위전지 적층시 사용되는 분리판은 전기저항이 작고, 가스투과율이 작으며 강도가 높아야 한다. 제조방법은 graphite와 glassy carbon의 혼합물에 resin을 첨가하여 압축성형하여 소결한다. 일본의 Kobe steel과 Tokai Carbon사에서 제작하고 있는 분리판의 물성은 Table 5와 같다. Tokai Carbon사의 T2183 분리판은 glassy carbon과 graphite의 혼합물로 구성이 되어있으며 glassy carbon과 graphite 자체로만 된 분리판과의 물성 비교를 Table 6에 나타내었다.

또한 Tokai carbon사에서는 porous bipolar plate(ribbed electrode라고도 표현함)의 양면을 밀봉하여 분리판의 양면에 접착시킨 형태의 혼용분리판(Hybrid separator)을 제작하고 있다. 이러한 형태는 전기적 저항 및 열적 저항을 감소시킬 수 있으며 가스의 누출을 크게 줄일 수 있다.

## 4. 결 론

연료전지는 환경공해가 적고 발전효율이 우수하기 때문에

Table 6. Properties of the fuel cell separator (Tokai Carbon) [9]

| | T2183 | glassy carbon | graphite (G347) |
|---|---|---|---|
| 밀도(g/cc) | 1.71~1.76 | 1.46~1.50 | 1.80 |
| 전기저항(mΩcm) | 1.2~1.6 | 4.0~4.5 | 1.1 |
| 열전도도(kcal/mh°C) | 7 | 7~8 | 100 |
| 가스투과성(cc/cm$^2$min) | 10$^{-6}$↓ | 10$^{-7}$↓ | 102~104 |
| 꺾임강도(kg/cm$^2$) | 1050~1150 | 1000~1200 | 530 |
| Young's Modulus(kg/mm$^2$) | 3200~3500 | 3000~3300 | 1180 |
| 충격강도(kg · cm/cm$^2$) | 6.5~7.5 | 2.1~3.6 | 2.9 |
| 열팽창계수(×10$^{-6}$/°C) | 0.9~1.4 | 2.0~2.2 | 4.0 |
| 경도(Shore) | 75~82 | 100~110 | 50 |

Table 5. Properties of the fuel cell separator (Kobe steel) [8]

| 물 성 | 특성범위 | 측정치 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 최대크기 | 1000×1000 mm | – | |
| 두께 | 0.8~1.0 mm | – | |
| 정밀도(크기) | ±0.2 mm(/700 mm) | – | |
| 평활도 | ±0.5 mm | – | |
| 거친정도 | ≤12.5Rz | 10Rz | JIS B0601 |
| 밀도 | 1.40~1.55g/cm$^3$ | 1.53 g/cm$^3$ | |
| 전기적 저항 | 3.5~4.0 mΩ cm | 3.7 mΩ cm | 면방향 |
| 꺾임강도 | 800~1200 kgf/cm$^2$ | – | |
| 적층압축 강도 | ≤1000 kgf/cm$^2$ | 1810 kgf/cm$^2$ | JIS R7212 20 mm |
| 가스투과성 | ≤10$^{-4}$ cm$^3$/min cm$^2$ | 10$^{-5}$ cm$^3$/min cm$^3$ | $N_2$, 차압 0.2 kgf/cm$^2$ 두께 |
| 열팽창계수 | – | 2.1×10$^{-6}$/°C | RT~200°C |
| 열전도도 | – | 4.9 kcal/m h °C | 200°C, Ruby laser 환원 |

원자력을 잇는 차세대 발전형태로서 기술선진 각국에서는 국가적인 차원에서 연구가 활발히 진행되고 있다. 연료전지의 발전형태 중 인산형 연료전지 및 고체고분자 연료전지는 시스템 구성의 핵심부분인 스택(본체) 재료가 대부분 탄소재료로 구성되어 있다. 각 구성별 탄소재료는 다공성, 치밀성 탄소 복합제, 탄소섬유 종이, 유리상 탄소 등 다양한 탄소가 이용되고 있으나 한국에서는 인접국가인 일본, 또는 미국에서 전량 수입하여 사용하고 있는 실증이다. 연료전지가 상용화되는 시점에는 상술한 탄소재료의 수요가 폭발적으로 증가할 것으로 판단된다. 또한 연료전지에 사용되는 유사 탄소재료는 환경정화용, 자동차 배기 정화용, 산업용 실링제, 수처리용, 2차전지 및 에너지 저장시스템의 전극제 및 분리판 등 그 응용분야가 다양하여 현재에도 많은 양이 사용되고 있다. 따라서 장차 21세기의 기술 선진국을 이루기 위해서는 전 산업에서 필수적으로 사용되는 탄소 재료의 개발은 필수적이라 할 것이다.

## 참고문헌

[1] Choi, S. H. *J. Korean Ind. & Eng. Chemistry* **1992**, *3*, 558l.
[2] Jung, D. H. *Trans. KIEE* **1994**, *43*, 569.
[3] Shin, D. R. et al.: “Component and cell technology development for phosphoric acid fuel cell”, 1995, MOST report 9511101112AG1.
[4] Williank, D. B. *J. of Power Sources* **2000**, *86*, 52.
[5] Masatomo, S., et al., U.S. Patent 4,459,342, 1984.
[6] Toray Industry Inc., “Toray graphite-paper TGP”, composite fabrication dept.
[7] Abens, S. G. et al., “Improvement of phosphoric acid fuel cell stack”, final technical report, ERC, 1980.
[8] Kobe Steel Inc., “High strength carbon material GC-composite”, Kobe steel technical report, 1989.
[9] Suzuki, Y. et al., “Advanced material for PAFC”, Tokai carbon, 1989.