

## 활성탄소섬유를 이용한 고분자 전해질형 연료전지 전극의 제조

신창섭<sup>†</sup> · 이경덕 · 이승재\* · 이태희\*\*

충북대학교 안전공학과

\*Department of Applied Science, Brookhaven National Laboratory

\*\*연세대학교 화학공학과

(1997년 10월 27일 접수, 1998년 3월 25일 채택)

## Fabrication of the Electrode for Proton Exchange Membrane Fuel Cell by Using Activated Carbon Fiber

Chang Sub Shin<sup>†</sup>, Kyoung Duck Lee, Seung Jae Lee\* and Tae Hee Lee\*\*

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

\*Department of Applied Science, Brookhaven National Laboratory

\*\*Department of Chemical Engineering, Yonsei University

(Received 27 October 1997; accepted 25 March 1998)

### 요 약

미세기공이 발달된 활성탄소섬유를 카본블랙에 혼합하여 고분자 전해질형 연료전지용 전극을 제조하고 그 성능을 단위전지 실험으로 측정하였으며, 기공구조와 백금분산율을 측정하여 이를 전지성능 실험결과와 비교하였다. 실험결과 활성탄소섬유의 사용은 전극의 구조를 개선시키고 백금분산율을 증가시킴으로써 연료전지의 성능을 향상시켰다. 활성탄소섬유의 질량비가 30%인 전극이 가장 높은 단위전지의 성능과 백금분산율 그리고 가장 낮은 전하전달 저항을 보였다. Brushing 법, rolling 법 등 전극제조방법, 백금함침 등 전극재료의 제조순서, 그리고 전극의 두께 등이 단위전지의 성능에 주는 영향을 분석하였다.

**Abstract**—The electrodes for proton exchange membrane fuel cell were prepared by mixing carbon black with activated carbon fiber which has well-developed micropore and the performances of electrodes were observed in a unit cell. The performances were compared with pore structure, dispersion of platinum and preparation procedure of electrodes. The optimal mixing ratio showing the highest single cell performance was 30 wt% ACF to 70 wt% carbon black. This ratio could be directly related with the highest dispersion of platinum and the lowest charge transfer resistance.

Key words: Fuel Cell, Carbon Black, ACF, Electrode

### 1. 서 론

60년대 초기 실용화 단계에서 우주 및 군사용으로 사용되었던 고분자 전해질형 연료전지는 80년대에 들어와서 무공해 자동차(zero emission vehicle)의 동력원으로서 새롭게 주목받아 현재 그 연구와 실증 실험이 활발하게 진행되고 있다[1, 2].

연료전지의 실용화를 위한 필수적 연구로는 전극과 전해질 막의 개발, 적층기술, 값싼 연료 및 산화제의 사용, 직류/교류 변환기술, 전체 시스템의 구성 등을 들 수 있다. 이 중 전극 개발의 목적은 연료전지의 전기화학 반응에서 일어나는 여러 가지 과전압을 줄이는데 있다. 즉, 높은 교환 전류밀도를 갖는 촉매를 사용하거나 활성촉매의 면적을 넓혀 줌으로써 활성화 과전압을 줄이고[3-5], 이온 전도성이 뛰어난 막을 사용하거나 막 및 전극의 두께를 줄임으로써 저항

과전압을 줄일 수 있다[6-8]. 또 반응물과 생성물의 이동을 쉽게 하기 위하여 전극과 막/전극 어셈블리의 구조를 최적화함으로써 농도 과전압을 최소화하기도 한다[9].

고분자 전해질형 연료전지에서 전극 개발의 과제는 적은 양의 촉매로 높은 에너지 밀도를 얻는 것인데, 이를 위해 반응 기체와 proton의 흐름 통로를 원활히 하고, 촉매가 반응 표면에 고르게 분산되도록 전극을 제조하여야 한다. 액상의 전해질을 사용하는 인산형 연료전지의 경우 촉매층은 친수성이어야 하는 반면, 고체막을 전해질로 사용하는 고분자 전해질형 연료전지의 경우에는 촉매층 내부로 전해질의 침투가 없이 단지 생성된 물의 제거만이 필요하기 때문에 촉매층은 친수성일 필요가 없다. 그리고 전해질과 직접적으로 접촉하지 못하는 촉매를 이용하기 위하여 Nafion과 같은 이온 전도성 물질을 사용하므로 촉매 활성점을 제공하는 미세기공이 많을수록 효율적이라 할 수 있다[10]. 이렇게 넓은 촉매점을 제공하기 위해서는 많은 미세기공과 넓은 표면적으로 이루어진 담체를 사용하여야 한다. 연료전지 반응은 기본

<sup>†</sup>E-mail: csshin@cbucc.chungbuk.ac.kr

적으로 반응기체, 촉매 활성점 및 전해질이 공존하는 삼상대에서 일어나기 때문에 이에 부합하는 전극구조를 형성하는 것이 필요하다. 이를 위하여 전극은 반응의 촉매 활성점을 공급하는 미세기공과 반응기체를 공급하는 기체 확산층으로 구성된 거대기공의 비율을 조절하므로써 이상적인 반응 삼상구조를 만드는 것이 중요하다[11-13].

본 연구에서는 카본블랙에 미세기공이 발달된 활성탄소섬유를 적절히 혼합한 다음, 제조 변수와 제조 방법을 변화시켜 고분자 전해질형 연료전지 전극을 제조하였으며, 제조한 전극의 성능을 단위전지에서 측정하였고, 촉매의 특성 및 구조를 관찰하여 이들이 전지 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 전극의 제조

전극의 구성재료는 활성탄소섬유(ACF-25, Kuraray Chemical Co.)와 카본블랙(Vulcan XC-72, Cabot Co.)을 사용하였다. 전극 제조시 혼합을 쉽게 하기 위하여 이들을 planetary mill로 분쇄하였고, 탄소입자 속에 잔존해 있을 각종 불순물을 제거해 주기 위하여 600 °C 공기 분위기에서 3시간 동안 열처리를 하였다. 전극을 제조하는 방법에는 rolling법을 비롯하여 brushing법, sputtering법 등 여러 가지가 있으며, 본 연구에서는 백금촉매층을 얇게 만들 수 있는 brushing법을 주로 사용하였으며, 이와 함께 지금까지 가장 일반적으로 사용되어온 rolling법도 함께 사용하였다. Fig. 1은 brushing 또는 rolling법으로 Pt/ACF 및 Pt/C 촉매를 제조하는 과정이다. 여기서 백금을 담지하는 방법으로서 Colloidal법[14]을 사용하였으며, 이때 백금 함침량은 0.8 mg Pt/cm<sup>2</sup>로 제조하였다. 백금 담지후 활성탄소섬유와 카본블랙의 구성비율을 달리하여 전극을 제조하므로써, 전극의 기하학적인 구조를 변화시켰다. 이때 전극의 발수성 및 기공구조를 변화시키기 위하여 테프론 또는 글리세린을 결합제로 사용하였다. 한편 이와 같이 제조한 전극을 백금산 용액에서 펄스법으로 전기 도금하여 전극 표면 위에 얇은 백금 촉매층을 만들어 이들이 전지효율에 주는 영향을 분석하였다.

### 2-2. 물성 측정

담지된 백금의 분산율을 측정하기 위하여 화학흡착장치(Chemi-

sorb 2700, Micrometrics Co.)를 사용하였다. 이때 흡착제 및 환원제로서 수소를, 산화제로서 산소를 각각 사용하였으며, 촉매의 환원은 300 °C에서 하였고 수소의 흡착은 35-100 °C 범위에서 행하였다[15]. 또한 Colloidal 법으로 백금을 함침시키는 과정에서 담체에 흡착되지 않고 용액 중에 남은 백금의 유실률은 원자흡광 분석장치로 측정하였다.

액체질소온도하에서 질소흡착장치(ASAP 2400, Micrometrics Co.)를 사용하여 활성탄소섬유와 카본블랙의 비표면적, 기공부피를 측정하였고, 탈착등온선으로부터 기공크기분포를 계산하였다. 그리고 주사전자현미경(SEM, 5410LV, JEOL)을 이용하여 전극의 표면과 파단면을 관찰하였다.

### 2-3. 단위전지의 성능 측정

단위전지의 성능을 측정하기 위하여 여러 가지 방법으로 제조한 전극과 전처리한 고분자막(Nafion 115, Du Pont Co.)으로 막/전극 어셈블리를 구성하였다. 반응 표면적을 확장시키기 위하여 0.6 mg/cm<sup>2</sup>의 5 wt% Nafion 용액(Aldrich Chemical Co.)을 전극 위에 칠하고, 잔존 용매를 제거하기 위하여 80 °C에서 2시간 동안 건조하였다. 이렇게 처리한 전극과 고분자막을 140 °C, 1,000 kg/cm<sup>2</sup>에서 hot pressing하므로써 막/전극 어셈블리를 제조하였다. 여기서 막/전극 어셈블리는 양쪽에 테프론 가스켓, 흑연 블록 및 전류 집전체를 차례로 놓고 고정시켰다. 가스켓은 반응 기체의 crossover 및 고분자막의 열적인 손상을 방지하기 위하여 반응면적을 제외한 부분을 테프론 가스켓으로 덮었다. 흑연 블록은 반응기체와 전극의 접촉을 극대화하기 위하여 기체 흐름 통로를 series parallel 형으로 설계하였으며, 반응면적은 5 cm<sup>2</sup>이었다. 전류집전체에는 전기히터를 장치하여 전지의 온도 조절을 병행하였다[16].

수소와 산소는 유량 조절기 및 가습기를 거쳐 단위전지로 유입되도록 한 뒤, 가습기의 온도가 단위전지의 온도보다 항상 10 °C 높게 유지하였다. 단위전지내의 압력은 수소극 및 산소극의 출구에 연결한 배압조절장치(44-2300 series, Tescom Co.)로 양쪽을 동일하게 조절하였다. 이때 단위전지에서 발생하는 전압과 전류의 특성은 DC electronic load(HP-6050A, Hewlett Packard Co.)를 사용하여 측정하였다. 본 실험은 반응 기체의 유량을 양론비 2배(수소: 100 cc/min, 산소: 100 cc/min)로 고정하였고 50-70 °C, 1-2 atm에서 실시하였다[17].

### 2-4. 저항 측정

여러 가지 방법으로 제조한 전극 및 막에서의 각종 저항은 단위전지 운전 중 0.6 V에서 Lock-in amplifier(PAR model 5210, EG&G)를 사용하여 측정하였다. 대전극은 수소전극에, 작동전극은 산소전극에, 기준전극은 수소기준 전극에 각각 연결하였고, 측정 주파수 범위인 70 mHz-5 kHz에서 10 mV의 진폭에 따른 전류응답을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 전극제조 담체의 특성

활성탄소섬유는 직경이 약 7-15 μm인 가는 섬유로서, 황산화시킬 경우 미세기공들이 모두 표면에 노출되고 흡착 속도가 빠르다는 특성이 있다. Fig. 2는 활성탄소섬유와 카본블랙의 기공 분포를 나타낸다. 카본블랙은 기공이 중기공과 대기공을 중심으로 이루어져 있는데 비하여 활성탄소섬유는 20 Å 이하의 미세기공이 대부분의 기공을 형성하는 것을 볼 수 있다. 이들의 표면적과 기공부피를 Table 1에 비교하였다. 활성탄소섬유는 카본블랙에 비하여 7배 이상의 큰 표면적을 가지고 있으며, 특히 전체 기공부피 중 95% 이상을 미세기공이 구성하고 있다. 이로써 카본블랙에 활성탄소섬유를 적절히

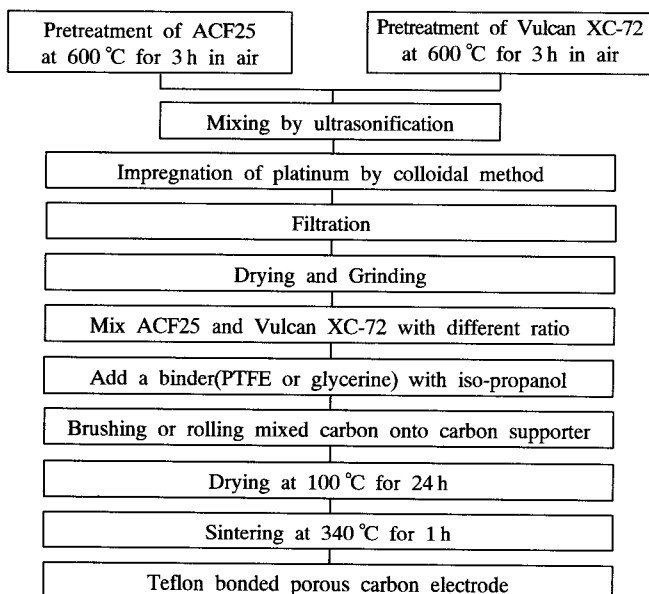


Fig. 1. A flow diagram for the preparation of ACF25/Vulcan XC-72 electrodes using brushing or rolling technique.

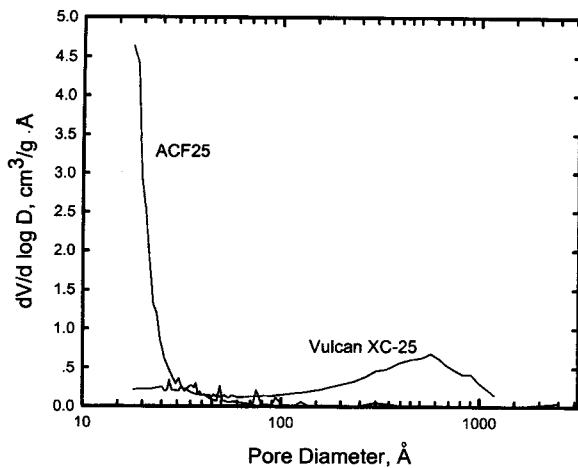


Fig. 2. Pore size distribution of ACF25 and Vulcan XC-72.

Table 1. BET surface area and pore volume of ACF25 and Vulcan XC-72

Sample	BET surface area (m²/g)		Pore volume (cc/g)		Average pore diameter (Å)
	Total	Micropore	Total	Micropore (Å)	
Vulcan XC-72	297	95	0.588	0.041	79.2
ACF25	2088	2070	0.914	0.876	17.5

Table 2. Dispersion of platinum and its loss after impregnation of 20 wt% platinum on ACF25 and Vulcan XC-72

Support	Platinum dispersion (%)	Platinum loss (%)
Vulcan XC-72	13.6	31.6
ACF25	37.6	11.8

혼합하여 전극을 제조할 경우 반응기체의 흐름통로를 구성하는 대기공과 촉매활성점을 제공하는 미세기공이 혼합된 구조를 형성할 수 있을 것으로 생각할 수 있다.

일반적으로 연료전지에서 소량의 촉매로 높은 전류밀도를 얻기 위해서는 전극의 촉매 분산율을 높여야 하며 또한 제조과정에서의 백금유실률을 낮추어야 한다. Table 2는 활성탄소섬유 및 카본블랙에 각각 백금을 함침시킬 때의 분산율과 유실률을 보인 것이다. 활성탄소섬유는 카본블랙보다 백금 분산율이 2.7배가 높은 반면, 백금 유실률은 오히려 1/3 정도로 낮아, 카본블랙과 적절히 혼합하여 전극을 제조할 경우 높은 효율을 나타낼 수 있을 것을 알 수 있다.

### 3-2. 활성탄소섬유의 혼합비

전극을 brushing법으로 제조한 경우 활성탄소섬유와 카본블랙의 혼합비에 대한 단위전지의 성능을 Fig. 3에 나타내었다. 여기서 혼합비가 3:7인 전극이 최고의 단위전지 성능을 나타내었는데, 이는 이러한 혼합비의 경우 가장 효율적인 전극구조를 형성하는 것으로 판단할 수 있다. 즉, 미세기공이 주로 발달된 활성탄소섬유와 중대기공 중심의 카본블랙의 이상적인 조화는 혼합비 3:7인 경우로 이때 최적의 반응 삼상계 구조를 형성하여 전지 성능을 높여준 것으로 생각된다. 한편 백금촉매의 높은 분산율과 낮은 유실률을 갖는 활성탄소섬유만으로 제조된 전극은 반응기체의 통로를 제공하지 못하므로써 전지의 성능이 가장 낮게 나타났다. Fig. 4는 단위전지 운전 중 0.6 V의 정전위에서 측정된 막/전극 어셈블리의 저항을 보여준다. 여기서 막과 전극 계면에서의 전하전달 저항은  $0.457(5:5) > 0.323(2:8)$

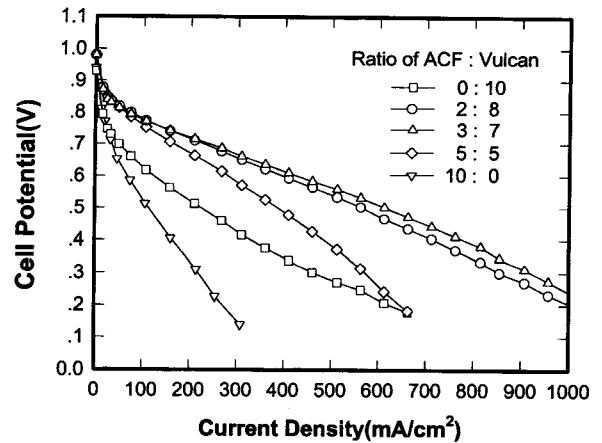


Fig. 3. Cell potential vs. current density plots for brushing technique-made electrodes with different mixing ratio of ACF25 and Vulcan XC-72.

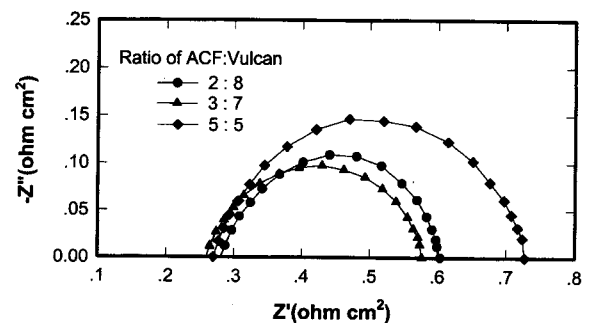


Fig. 4. Complex impedance plots for electrodes with different mixing ratio of ACF25 and Vulcan XC-72 at 0.6 V.

$0.316(3:7) \Omega\text{cm}^2$ 의 순으로 감소하므로써, 전지 성능과 역비례함을 알 수 있다.

한편, rolling법을 사용하여 전극을 제조한 경우 활성탄소섬유의 혼합비의 변화가 전극성능에 주는 영향을 나타낸 것이 Fig. 5이다. Rolling법으로 제조한 시료의 경우 혼합비에 따른 전류밀도는 brush-

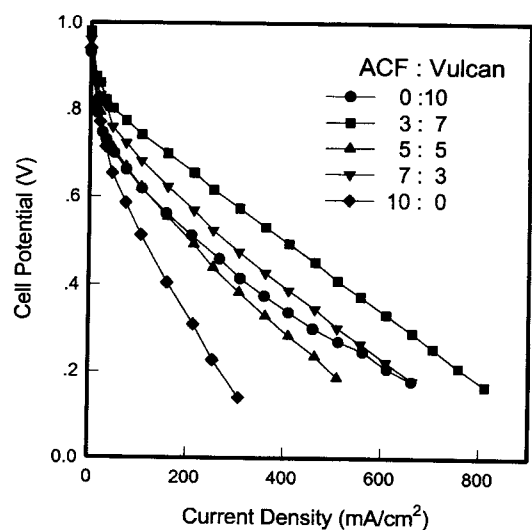


Fig. 5. Cell potential vs. current density plots for electrodes prepared by rolling method with various ratio of ACF 25 and Vulcan XC-72 at 70 °C, 1 atm.

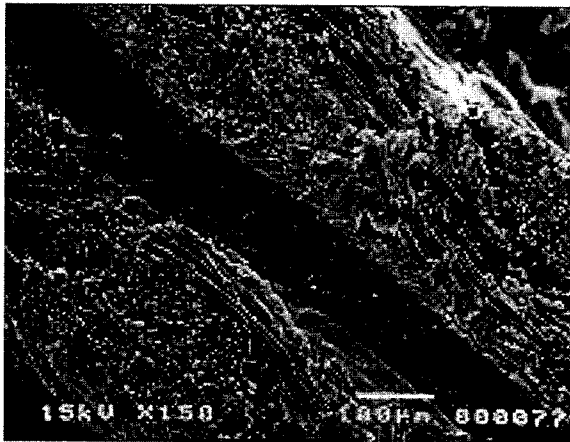
(a) surface ( $\times 20,000$ )(b) cross section ( $\times 150$ )

Fig. 6. SEM photographs of ACF25/Vulcan XC-72 electrode prepared by brushing method.  
[Pt/(3ACF+7Vulcan)]

ing의 경우와 같이 활성탄소섬유와 카본블랙의 혼합비가 3:7인 경우 가장 높은 전류밀도를 나타내고 있으며, 활성탄소섬유만을 사용하여 전극을 제조한 경우 가장 낮은 효율을 나타내고 있어 제조방법이 다름에도 불구하고 혼합비에 따른 영향이 같았으며, 이러한 혼합비가 전극구조형성에 가장 적합함을 알 수 있다.

Fig. 6은 brushing법으로 전극을 제조하여 표면과 파단면을 관찰한 SEM 사진이다. 표면 사진에서는 테프론과 결합된 카본과 이들 사이에 잘 발달된 기체 흐름 통로를 볼 수 있으며, 파단면의 사진은 가운데의 막(접합전 두께: 0.127 mm)과 양단의 전극 층이 hot-pressing으로 잘 접합되어 있는 것을 알 수 있다. 전극층은 안쪽의 얇은 촉매층(접합전 두께: 약 0.03 mm)과 바깥쪽의 기체확산층인 카본직물(carbon cloth)층(접합전 두께: 약 0.27 mm)으로 구성되어 있다. 사진에서 막(접합후 두께: 약 0.1 mm)과 카본직물(접합후 두께: 약 0.25 mm) 사이의 매우 얇은 촉매층이 hot-pressing 후 카본직물의 구조 속으로 일부 침투된 것을 확인할 수 있다.

### 3-3. 전극제조변수의 영향

활성탄소섬유와 카본블랙의 혼합 시점을 백금함침 전후로 달리하여 전극을 제조한 후 측정된 단위전지의 성능을 Fig. 7에 비교하였다. 여기서 ACF25와 Vulcan XC-72의 혼합비는 3:7로 하였으며 백

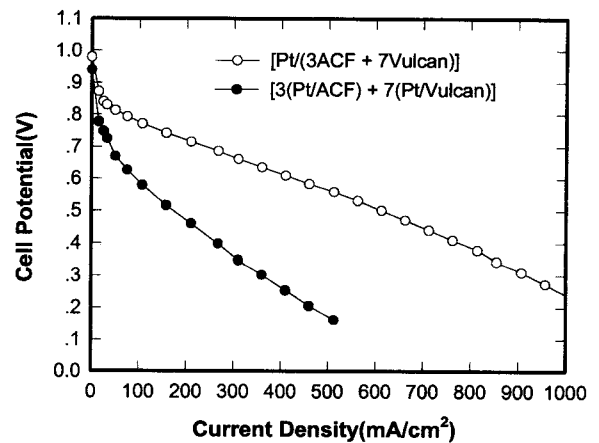


Fig. 7. Cell potential vs. current density plots for electrodes prepared with different mixing procedure.

Table 3. Cell performance and platinum dispersion of the electrodes prepared with different mixing ratio (brushing method)

Sample	Pt dispersion of electrodes(%)	Current density at 0.7 V(mA/cm <sup>2</sup> )
3(Pt/ACF)+7(Pt/Vulcan)	13.6	41
Pt/(3ACF+7Vulcan)	48.7	240
Pt/(5ACF+5Vulcan)	37.1	165

금의 함침은 20 wt%를 기준으로 하였다. 전지 성능은 활성탄소섬유와 카본블랙을 먼저 혼합한 후 백금을 함침한 경우가 각각의 담체에 백금을 함침한 후 혼합한 경우보다 우수하였다. 이는 전자의 경우 백금을 함침하기 전에 기공이 각기 다른 카본을 혼합함으로써 전극 구조가 치밀해지고 결국 전극 활성점에 보다 많은 백금이 위치하기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 활성탄소섬유와 카본블랙을 각각 분리하여 백금을 함침한 후 전극을 제조한 경우 함침된 백금 중의 일부가 혼합에 의해 함몰되어 버릴 수 있는 것으로 판단된다. 전지의 성능은 백금분산율과 밀접한 관계를 갖는데 제조된 전극 중의 백금분산율과 이를 이용한 단위전지의 전류밀도를 Table 3에 나타내었다. 백금분산율은 활성탄소섬유와 카본블랙을 먼저 혼합한 후 백금을 함침한 경우(48.7%)가 각각의 담체에 백금을 함침한 후 혼합한 경우(13.6%)보다 3배이상 높았으며, 이는 전지성능에 큰 영향을 주었다. 활성탄소섬유와 카본블랙의 혼합비가 3:7일 경우 높은 분산율을 나타내었으며, 전류밀도도 0.7 V에서 240 mA/cm<sup>2</sup>로 가장 높은 값을 나타내고 있다.

한편 Fig. 8은 결합제를 달리하여 제조한 전극의 전지성능 결과이다. 일반적으로 많이 사용되는 PTFE와 글리세린을 각각 결합제로 사용한 경우로 글리세린의 경우 성능이 크게 저하됨을 관찰할 수 있다. 이는 전극의 소성 과정에서 비점이 낮은 글리세린이 열적인 변형을 일으키며, 전극의 기공을 막아 버림으로써 반응기체의 흐름을 방해하고 백금 활성점을 감소시키게 되기 때문이라고 생각된다. 전극의 기체 확산층으로는 탄소종이를 사용하였으며 Fig. 8에서 기체 확산층 유무에 따른 단위전지 성능을 비교하였다. 확산층이 형성된 경우 전극의 성능은 월등히 우수하였으며, 이는 기체 확산층이 촉매층의 지지체 및 전류 집전체로서의 역할을 수행하기 때문이라고 생각된다. 기체 확산층은 기체의 흐름 통로를 제공하며, Nafion과 같은 이온 전도성 물질을 사용하는 경우 확산층 내부의 비활성 촉매를 활성화시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. Fig. 9는 전극 두께에 따른 전지성능을 비교한 것으로서, 활성탄소섬유와 카본블랙을 3:7로 혼

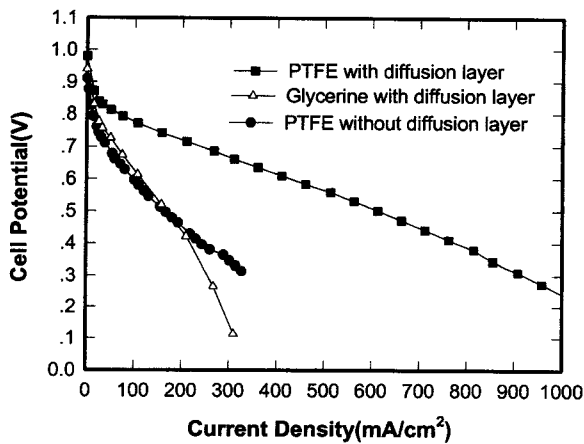


Fig. 8. Effects of binder and gas diffusion layer on cell potential vs. current density plots.

[Brushing, {Pt/(3ACF+7Vulcan)}]

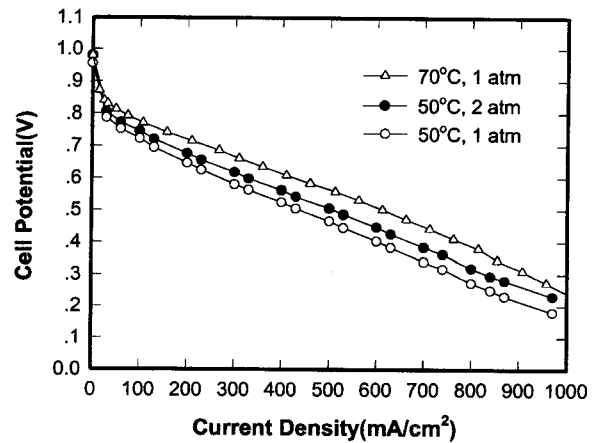


Fig. 10. Effect of operating conditions on the cell potential vs. current density plots for the electrode.

[Brushing, {3(Pt/ACF)+7(Pt/Vulcan)}]

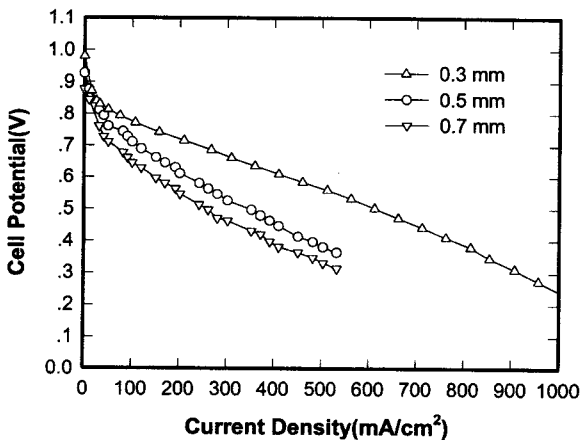


Fig. 9. Effect of electrode thickness on cell potential vs. current density plots.

[Brushing, {Pt/(3ACF+7Vulcan)}]

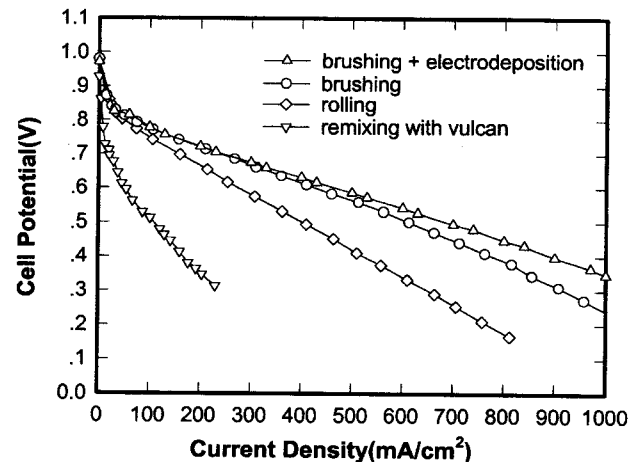


Fig. 11. Cell potential vs. current density plots for electrodes prepared by different fabrication method.

[Pt/(3ACF+7Vulcan)]

합한 Pt/[ACF+C] 촉매를 사용하여 brushing 방법으로 전극을 제조한 경우이다. 전극의 두께가 두꺼울수록 전지의 성능이 저하되는 것을 알 수 있는데, 이는 저항 과전압 영역에서 기울기의 증가를 초래한다. 이 저항 과전압은 막저항, 반응층의 이온저항, 단위전지와외의 접촉저항 및 물질전달 저항을 포함한 막/전극 계면저항을 나타낸다. 이 중에서 물질전달 저항은 전극 두께 변화에 따른 성능 변화에 가장 큰 변수이며, 이는 반응 기체가 활성점으로 이동하고 생성물이 제거되는 것을 어렵게 한다. 한편 Fig. 10은 단위전지의 성능에 대한 운전 조건의 영향을 보여준다. 전지의 운전온도 및 압력이 올라갈수록 성능이 향상되었으며, 이는 반응활성과 반응물의 농도가 커지는 것으로서 설명할 수 있다.

### 3-4. 다른 방법으로 제조된 전극과의 비교

제조 방법을 달리하여 만든 전극의 단위전지 성능을 Fig. 11에서 비교하였으며, 이때 모든 전극의 활성탄소섬유와 카본블랙의 혼합비를 3:7로 고정하였다. 전극을 brushing법으로 제조한 경우와 rolling법으로 제조한 경우, brushing법으로 제조한 전극표면에 백금을 전기도금한 경우, 그리고 혼합된 담체로 제조한 전극분말에 다시 카본블랙을 재혼합하여 제조한 경우 등의 성능을 비교하였다. 그림에서와 같이 rolling법 보다는 brushing법의 경우 훨씬 높은 전류밀도를

를 나타내어 전극제조방법이 전극효율에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었으며, brushing한 다음 여기에 백금을 전기도금하면 효율이 더 증가하였으나 그 차이는 그리 크지 않았다. 이 경우 교류 임피던스법으로 측정된 막/전극 계면에서의 전하전달 저항은 전기도금한 전극( $0.216 \Omega \text{cm}^2$ )이 brushing한 전극( $0.316 \Omega \text{cm}^2$ )보다 작게 나타나 이러한 원인으로 효율이 증가된 것으로 판단된다. 한편 제조된 전극 분말에 다시 카본블랙을 재혼합하여 전극을 제조한 경우 전류밀도가 아주 낮게 나타났으며, 이 경우 과량의 카본블랙 첨가로 인하여 이미 형성되었던 촉매활성점들이 함몰되었기 때문으로 사료된다.

## 4. 결 론

고분자 전해질형 연료전지에서 백금을 담지시킨 활성탄소섬유와 카본블랙을 혼합하여 전극을 제조한 다음, 단위전지에서 성능을 측정할 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 백금촉매 연료전지 전극을 제조하는 경우 활성탄소섬유의 혼합에 의하여 전극의 효율이 향상하였으며, 이는 미세기공으로 구성된 활성탄소섬유의 높은 백금분산율과 효율적인 전극구조의 형성에 따른 것이다.

(2) 활성탄소섬유와 카본블랙을 3:7로 혼합한 다음 Colloidal법으로 백금을 담지시킨 촉매를 사용하여 brushing법으로 전극을 제조한 경우 0.7 V 전위에서 전류밀도 240 mA/cm<sup>2</sup>로 최대값을 얻었다. 이는 이때의 가장 높은 백금분산율과 가장 낮은 전달저항으로 설명할 수 있다.

(3) Rolling법에 비하여 brushing법으로 제조한 전극의 경우 0.7 V 전위에서 1.5배 이상의 큰 전류밀도를 얻었으며, 전극의 두께가 얇을수록 높은 전류밀도를 얻었고, brushing법으로 제조한 전극에 백금 전기도금을 추가한 경우 전지성능이 향상되었다.

(4) 활성탄소섬유와 카본블랙을 혼합하여 담체를 만들 경우 이들 담체를 미리 혼합한 상태에서 백금을 담지시킨 경우가 각각에 백금을 담지하여 혼합한 경우 보다 높은 백금분산율을 나타내었고 이에 따라 전지 효율도 좋았다.

## 감 사

본 연구를 수행하는데 있어 한국과학재단의 특정기초 연구과제(과제번호:93-0600-01-3)에 의한 연구비 지원과 저자 중의 이승재는 문교부로부터 1996년도 해외 Post-Doc. 프로그램의 지원을 받은 바 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Kordesch, K. and Simader G.: "Fuel Cells and Their Application", VCH, Weinheim(1996).
2. Hirschenhofer, J. H., Stauffer, D. B. and Engleman, R. R.: "Fuel

- Cell Handbook, Rev.3", DOE/METC-94/1006, U.S. DOE(1994).
3. Fritts, S. D. and Gopal, R.: *J. Electrochem. Soc.*, **140**, 3337(1993).
4. Statti, P., Poltarzewski, Z., Alderucci, V., Maggio, G. and Giordano, N.: *Int. J. Hydrogen Energy*, **19**, 523(1994).
5. Appleby, A. J.: *J. of Power Sources*, **37**, 223(1992).
6. Srinivasan, S., Velez, O. A., Parthasarathy, A., Manko, D. J. and Appleby, A. J.: *J. of Power Sources*, **36**, 299(1991).
7. Scherer, G. G.: *Ber. Bunsen-Ges. Phys. Chem.*, **94**, 1008(1990).
8. Eisman, G. A.: *J. of Power Sources*, **29**, 389(1990).
9. Appleby, A. J.: Proc. of Fuel Cell for Traction Applications, Stockholm(1994).
10. Dhar, H. P.: *J. Appl. Electrochem.*, **23**, 32(1993).
11. Kunz, H. R. and Gruver, G. A.: *J. of Electrochem. Soc.*, **122**, 1279(1975).
12. Holze, R. and Vielstich, W.: *J. Electrochimica Acta*, **29**, 607(1984).
13. Stonehart, P. and Ross, P. N.: *Catal. Rev. Sci. Eng.*, **12**, 1(1975).
14. Jalan, V. M. and Bushnell, C. L.: U.S. patent **4**, 316, 059.
15. Lee, S. J., Kim, D. K., Shin, C. S. and Lee, T. H.: *Energy Engg. J.*, **4**, 309(1995).
16. Lee, S. J., Choi, K. H., Lee, T. H., Cho, W. I., Rho, Y. W. and Kho, Y. T.: *HWAHAK KONGHAK*, **34**, 105(1996).
17. Lee, S. J., Choi, K. H., Lee, T. H., Cho, W. I., Rho, Y. W. and Kho, Y. T.: *HWAHAK KONGHAK*, **34**, 188(1996).