

## 활성탄소섬유 사용에 의한 인산형 연료전지 산소전극의 성능 향상

최경환 · 유재현 · 설용건 · 신창섭\* · 유승곤\*\* · 이태희†

연세대학교 화학공학과

\*충북대학교 안전공학과

\*\*충남대학교 화학공학과

(1997년 1월 13일 접수, 1997년 2월 26일 채택)

## Enhancement of Cathode Performance of PAFC by Using Activated Carbon Fiber

Kyoung Hwan Choi, Jae Hyun Liew, Yong Gun Shul, Chang Sub Shin\*,  
Seung Kon Ryu\*\* and Tae Hee Lee†

Dept. of Chemical Engineering, Yonsei University

\*Dept. of Safety Engineering, Chungbuk National University

\*\*Dept. of Chemical Engineering, Chungnam National University

(Received 13 January 1997; accepted 26 February 1997)

### 요 약

비표면적이 큰 활성탄소섬유(ACF)를 기존의 전극 구성재인 카본블랙과 혼합하여 인산형 연료전지의 전극으로 제조하였으며, 제조된 각 전극의 성능을 190°C, 100% 인산 전해질하에서 반쪽 전지 실험을 통하여 측정하였다. 활성탄소섬유에 담지된 백금 입자는 30 Å 이하로 고분산되어 반응표면적을 증가시켰다. 백금이 담지된 카본블랙에 대한 활성탄소섬유의 질량비가 30%일 때 전극성능은 700 mV에서 928 mA/cm<sup>2</sup>를 나타내었으며, Tafel slope는 123 mV/decade로 카본블랙만으로 구성된 전극의 145 mV/decade와 비교해 볼 때 향상된 전극특성을 나타내었다.

**Abstract**—The electrodes for phosphoric acid fuel cell were fabricated from the mixture of activated carbon fiber(ACF) and carbon black as an existing electrode constituent. The performance of the electrode was measured through a half cell at 190°C, 100% phosphoric acid electrolyte. Pt particles loaded on ACF were highly distributed below 30 Å, which increased reaction surface area. When the ratio of ACF to carbon black was 30%, the electrode performance showed the value of 928 mA/cm<sup>2</sup> at 700 mV and the Tafel slope of 123 mV/decade, which proved the enhanced electrode characteristics in comparison with 145 mV/decade of the electrode composed of carbon black only.

**Key words:** Activated Carbon Fiber, PAFC, Activation Overpotential, Acid Absorption

### 1. 서 론

연료전지는 다양한 연료의 사용이 가능하며 발전효율이 30% 정도인 기존의 발전장치보다 효율이 10-25% 더 높아 수력, 화력, 원자력 다음으로 제4의 전원으로서 최근 관심의 대상이 되고 있는 발전 기술이다[1-5]. 특히 인산형 연료전지는 발전용으로 이미 상업화 단계에 있다.

다른 연료전지와 마찬가지로 인산형 연료전지에서도 수소 연료의 산화는 비교적 빠르나, 인산에 대한 산소의 낮은 용해도 및 용해된 산소의 촉매 표면으로의 느린 확산 등으로 인하여 산소 환원 반응이 느린 것과, 산소의 환원시 높은 과전압으로 인한 성능 감소가 한계 요인이 되고 있다. 따라서 연료전지의 기초 연구로써 인산 전해질 중 탄소전극에 담지시킨 백금촉매 위에서의 산소 환원 반응을 전기화학적으로 실시한 많은 연구가 진행되어 왔다[6-9].

인산형 연료전지의 전극은 일반적으로 전극반응이 일어나는 촉매

층(미시기공)과 촉매층에 반응가스를 공급하는 기체확산층(거시기공)으로 나눌 수 있다. 촉매층은 통상 촉매를 담지한 카본블랙을 테프론 등의 발수제 수지로 결합시킨 친수성으로 되어 있고, 발수성 부근이 가스 네트워크를, 친수성 부근이 전해질 네트워크를 형성한다. 이러한 전극구조하에서 연료전지 반응은 촉매, 전해질 및 반응물이 동시에 접촉하는 3상대에서 일어난다. 그러므로 다공성 전극내에서 전극성능을 향상시키기 위해서는 (1) 촉매층내의 백금을 고분산시켜 반응표면적을 증가시키는 방법과 (2) 반응기체가 전해질을 통해 확산하여 백금촉매에 도달하는 거리를 줄여 인산에 대한 산소의 낮은 용해도 및 확산속도를 보상시키는 방법, 즉 백금이 담지된 전해액 네트워크인 미시기공과 기체확산 통로인 거시기공의 비를 조절하여 원활한 3상대를 형성시키는 방법이 필수적이다[10-13].

본 연구에서는 수십 Å 이하의 미시기공으로만 구성된 비표면적이 큰 활성탄소섬유에 백금을 담지시킨 촉매분말과 카본블랙에 백금을 담지시킨 촉매분말을 질량비에 따라 혼합하여 하나의 전극반응층을

구성하였다. 또한 제조된 각 전극을 반쪽전지에서 성능을 측정하고 Tafel slope 및 저항값을 계산하여 비교하였다.

## 2. 이 론

물질전달저항이 무시할 만하고 수소산화반응이 빠르다고 가정하면 전압과 전류의 관계는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$E = E_0 - b \log i - R i \quad (1)$$

여기서,

$$E_0 = E_r + b \log i_0 \quad (2)$$

$E_r$ 은 연료전지반응에 대한 열역학적 가역전위이고,  $i_0$ 와  $b$ 는 산소환원반응에 대한 교환전류밀도와 Tafel slope이며  $R$ 은 저항값을 나타낸다.

이때 전류밀도  $i$ 와 과전압  $\eta$  사이의 간단한 관계식인 Tafel 방정식은 다음과 같다.

$$\eta = a + b \log i \quad (3)$$

여기서 상수  $a$ ,  $b$ 는 다음과 같다.

$$a = -\frac{2.303RT}{\alpha nF} \log i_0 \quad (4)$$

$$b = \frac{2.303RT}{\alpha nF} \quad (5)$$

$\eta$ 를  $\log i$ 에 대하여 도식할 경우 기울기  $b$ 를 Tafel slope라 부르며, 이로부터 전달계수( $\alpha$ )가 얻어지며 절편으로부터 교환 전류 밀도( $i_0$ )를 구할 수 있다.

식 (1)은  $i$ 에 대하여 미분하면 다음과 같다.

$$\frac{dE}{di} = \frac{-b}{i} - R \quad (6)$$

낮은 전류밀도에서는 식 (6)의 우변의 첫 항인 Tafel slope가 지배적이고, 높은 전류밀도에서는 두번째 항인 저항과전압이 지배적인 항이 된다.

## 3. 실험

### 3-1. 전극제조

활성탄소섬유는 등방성 석유피치계 탄소섬유를 900 °C에서 질소와 과염수증기로 30분간 표면처리하여 얻은 후 전극 구성재로 사용하기 위해 planetary mill로 분쇄하였다. 탄소활성화 장치의 개략적인 그림을 Fig. 1에 나타내었다. 카본블랙(Denka Black, 일본 전기화학사)은 불순물을 제거하고 젖음 성질을 변화시키기 위하여 500 °C, 공기 중에서 5시간 동안 열처리시켰다. Table 1은 기존의 전극 구성재인 카본블랙과 활성탄소섬유의 물리적 성질을 비교한 것이다[14-16].

담체에 백금을 담지시킨 Pt/C 촉매와 Pt/ACF 촉매를 따로 제조하였는데, 백금의 양은 두 담체에 대하여 각각 10 wt%가 되도록 고정하였다. 백금의 담지는 먼저 카본블랙 혹은 활성탄소섬유를 증류수에 완전히 분산시킨 용액에, 염화백금산( $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$ , Kojima Chemical Co.) 용액을 sodium dithionite( $Na_2S_2O_4$ , Shinyo Pure Chemical Co.)로 환원시킨 용액을 70 °C에서 천천히 교반하면서 첨가하였다. 이 혼합용액을 70 °C에서 24시간 동안 건조한 후 백금이 담지된 시료를 수소기체 분위기에서 300 °C로 1시간 동안 소결시켰다. Fig. 2는

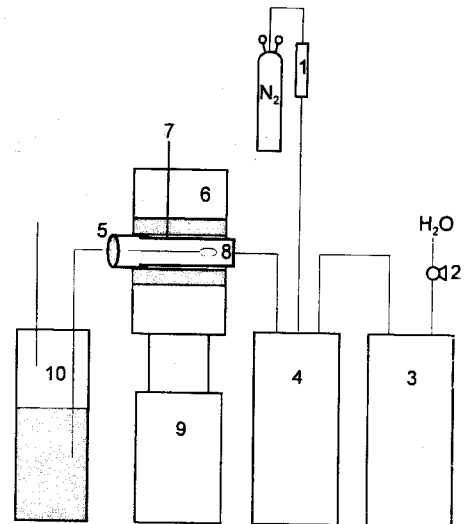


Fig. 1. Schematic diagram of carbon fiber activating apparatus.

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. Flow meter                       | 6. Activation furnace                  |
| 2. Peristaltic pump                 | 7. Thermocouple                        |
| 3. Steam generator                  | 8. Sample pot                          |
| 4. Gas mixing and preheating mantle | 9. Temperature controller and recorder |
| 5. Quartz tube                      | 10. Absorber                           |

Table 1. Physical properties of carbon

Source	Particle		BET surface area [m <sup>2</sup> /g]	Electrical resistivity [μΩ·m]
	Shape	Size [nm] (D×L)		
Denka black	Acetylene black	Spherical	40	65
Activated carbon fiber	Chungnam Univ.	Cylindrical (10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup> )×(10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> )	1,000	600

Jalan과 Bushnell의 Colloidal 방법[17]에 의한 Pt/C 촉매 및 Pt/ACF 촉매 제조과정을 나타내고 있다.

백금을 담지시킨 카본블랙과 활성탄소섬유를 질량비에 따라 혼합하여 여러 종류의 시료를 만든 후 각각의 혼합 분말에 isopropyl alcohol과 증류수를 1:1로 섞은 용액을 가한 후 PTFE 현탁액(polytetrafluoroethylene, TEFLON 30J, DuPont Co.)을 첨가하여 충분히 저어주면서 반죽상태(paste)를 만들었다. PTFE 현탁액의 양은 가장 최적의 양으로 이미 알려진 30 wt%로 고정하였다. 이 paste를 미리 PTFE 현탁액으로 처리한 전극 지지체인 carbon paper(TGP-0.30, Toray Co.) 위에 0.2mm의 두께로 rolling한 후, 300 °C 수소 분위기에서 1시간 동안 소결하였다.

### 3-2. 물성측정

카본블랙과 활성탄소섬유에 각각 담지된 백금촉매의 분포 및 입자크기를 관찰하기 위하여 투과형 전자현미경(Transmission Electron Microscope, Model H-600, Hitachi사, 이하 TEM으로 표기)을 이용하였다. 백금촉매가 담지된 카본블랙과 활성탄소섬유를 각각 메틸알코올에 잘 분산시킨 후 이 촉매 현탁액을 마이크로 클라이드에 고정하고 TEM을 사용하여 배율 40만배로 관찰하였다.

카본블랙과 활성탄소섬유의 분율에 따른 전극표면 및 전극의 파 단면을 관찰하기 위하여 주사형 전자현미경(Scanning Electron Microscope, Model H-6010, Hitachi Co., 이하 SEM으로 표기)을 이용하였다. Mercury Porosimeter(2000 series, Carlo Erba Co.)를 이용하

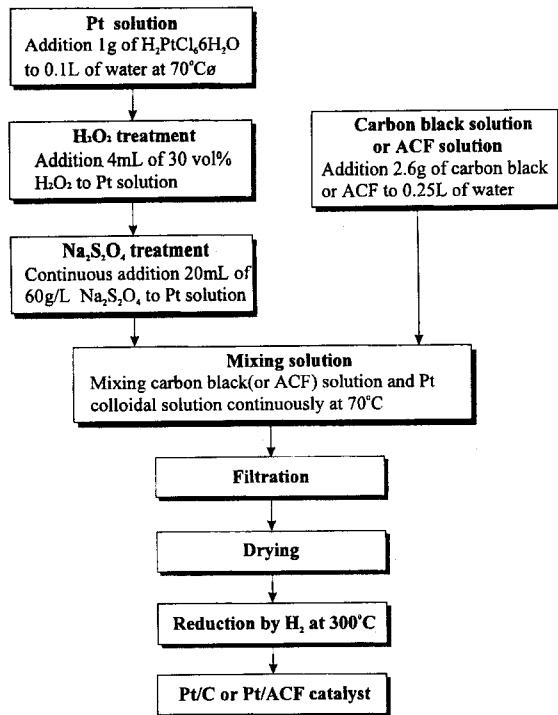


Fig. 2. Process flow diagram for the preparation of Pt/C or Pt/ACF catalyst by colloidal method.

여 여러 전극의 기공구조 및 다공도를 측정하였으며, 전극의 산 흡수도는 190 °C 인산에서 인산의 흡수도를 시간에 따라 측정하여 구하였다.

### 3-3. 반쪽전지 실험

Fig. 3은 반쪽전지 실험장치를 보여준다. 산소는 유량계에서 200 mL/min의 유량으로 조절되어 제올라이트 5A와 실리카겔이 충전된 탈수트랩을 거쳐 작동전극(working electrode)에 주입되었다. 집전체

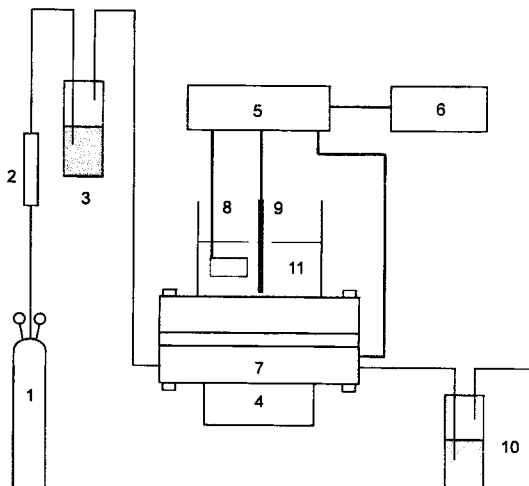


Fig. 3. Schematic diagram of the half cell.

- |                               |                        |
|-------------------------------|------------------------|
| 1. Oxygen                     | 7. Working electrode   |
| 2. Flowmeter                  | 8. Counter electrode   |
| 3. Water removal trap         | 9. Reference electrode |
| 4. Cell                       | 10. Back pressure trap |
| 5. Potentiostat & Galvanostat | 11. Electrolyte        |
| 6. IBM-PC                     |                        |

로는 Ni screen을, 기준전극(reference electrode)으로는 DHE(dynamic hydrogen electrode)를, 대전극(counter electrode)으로는 백금망을 사용하였다. 위의 전극들로 이루어진 cell에서 일어나는 산소환원반응에 의한 전류-전압 관계를 electrometer를 통하여 Potentiostat & Galvanostat(EG & G model 273)로 측정하고, 이 값들을 IBM-PC로 출력하였다. 여기서 사용한 전해질은 85 %  $H_3PO_4$ (Kanto Chem. Co.)와 30 %  $H_2O_2$ (Junsei Chem. Co.)를 5:1로 혼합하여 160 °C에서 3시간 동안 가열한 후 다시 190 °C에서 수시간 가열하여 남아있는  $H_2O_2$ 를 완전히 제거한 100 %  $H_3PO_4$ 이었다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4-1. 전극의 내부형태

Fig. 4(a)와 (b)는 각각 Pt/C 촉매 및 Pt/ACF 촉매의 TEM사진이다. 여기서 비표면적이 큰 활성탄소섬유에 담지된 백금은 입자 크기가 30 Å 이하로서, 기존의 담체인 카본블랙에 담지된 50 Å 크기의 백금 입자보다 고분산되어 있음을 볼 수 있다. 따라서 백금입자를 활성탄소섬유에 고분산시킴으로 유효반응 표면적을 증가시킬 수 있다고 본다.

Fig. 5는 전극의 파단면을 나타낸 SEM 사진이다. 이 그림에서 경계선 위쪽에 백금이 담지된 카본블랙(혹은 활성탄소섬유)과 PTFE가 결합되어 있는 촉매층으로, 이 층의 두께는 0.1mm이며 이 부분에서 전기화학적 3상계면이 형성되는 것을 알 수 있다. 이 층의 아래부분이 carbon paper로 이루어진 기체확산층으로 두께가 0.1mm 정도인 것을 볼 수 있다.

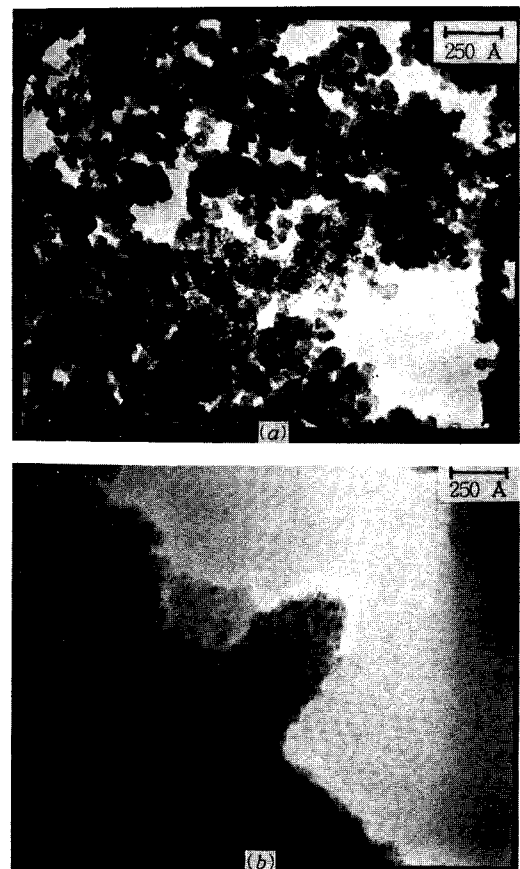


Fig. 4. TEM photographs of platinum particles on (a) carbon black and (b) ACF.



Fig. 5. SEM photograph of the electrode including ACF(cross section).

Fig. 6(a)는 인산 전해질과 접촉하는 촉매층의 표면을 나타낸 SEM 사진으로, 막대기 모양의 것이 백금이 담지된 활성탄소섬유이다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 활성탄소섬유의 크기는 카본블랙과 PTFE가 결합된 2차 응집체보다 매우 커서 카본블랙만으로 이루어진 전극과는 다른 형태의 전극 구조를 가지고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 6(b)는 Fig. 6(a)의 촉매층 표면을 확대한 SEM 사진이다. 이 그림에서는 백금이 담지된 카본블랙 입자와 PTFE가 서로 엉켜있는 모양을 볼 수 있으며, 미시기공과 거시기공이 적절히 존재하고 있는 것을 볼 수 있다. 기공크기의 분포는  $0.1\mu\text{m}$ 보다 작은 것과 큰 것 두 가지의 다른 기공들로 구성되어 있다고 할 수 있는데,  $0.1\mu\text{m}$  이하

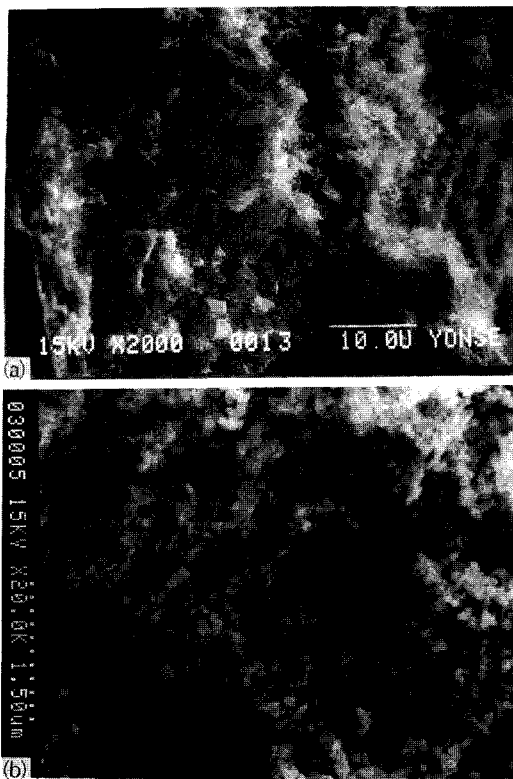


Fig. 6. SEM photographs of the surface of the electrode including ACF.

(a) magnification:  $\times 2,000$  (b) magnification:  $\times 20,000$

Table 2. Porosimeter data of each electrode with different weight ratios of activated carbon fiber to carbon black

	Total cumulative volume( $\text{mm}^3/\text{g}$ )	Pore	
		Macropore(%)	Micropore(%)
0% ACF	540.86	77.78	22.22
10% ACF	724.51	74.19	25.81
20% ACF	698.07	75.76	24.24
30% ACF	713.08	72.73	27.27
40% ACF	846.37	81.69	18.31
50% ACF	815.97	82.67	17.33
100% ACF	493.61	94.12	5.88

의 미시기공은 응집체의 1차 입자들 사이의 공간이고,  $0.1\mu\text{m}$  이상의 거시기공은 응집체들 사이의 공간이다. 대부분의 백금입자들은 카본에 담지되어 미시기공에 위치하게 되고, PTFE는 많은 부분이 거시기공을 형성하므로[6], PTFE가 많이 결합된 미시기공 및 거시기공은 주로 반응기체의 공급통로로 작용되는 반면 PTFE가 덜 함유된 미시기공은 전해질이 젖어들어가 탄소전극 위에서 친수성 계면을 형성하게 되는 백금촉매-전해질-반응기체의 3상대를 형성하는 반응점으로 작용되는 것을 알 수 있다.

#### 4.2. 전극의 다공도

카본블랙과 활성탄소섬유의 질량비에 따라 제조한 여러 전극의 기공구조를 Mercury Porosimeter로 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 또 Fig. 7에는 카본블랙과 활성탄소섬유의 질량비가 7:3인 전극의 기공구조를 카본블랙만으로 이루어진 전극의 기공분포와 비교하여 나타내었다. Table 2에서 카본블랙에 대한 활성탄소섬유의 질량비가 30%까지는 미시기공이 활성탄소섬유의 질량비에 따라 점차 증가하지만 활성탄소섬유의 질량비가 30% 이상에서는 점차 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 미시기공만 가지고 있는 활성탄소섬유가 카본블랙입자 덩어리 사이의 거시기공을 채워주기 때문에 거시기공의 비율은 감소하고 미시기공의 비율은 증가하는 것으로 설명할 수 있다. 또한 활성탄소섬유의 질량비가 50% 이상이 되면 입자 크기가 작은 카본블랙의 양에 비하여 입자 크기가 큰 활성탄소섬유의 양이 증가하기 때문에 활성탄소섬유가 만드는 거시기공을 카본블랙이 미처 채우지 못하여 거시기공이 증가하는 것으로 설명할 수 있다. 여기에 더하여 측정범위가  $10^4$ - $6.6\text{nm}$ 인 Mercury Porosimeter로는 분

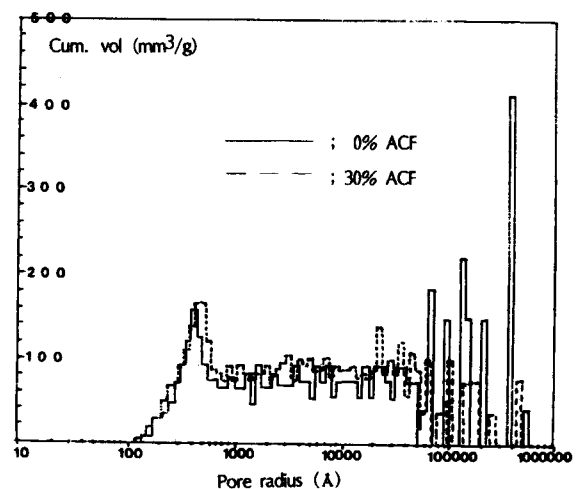


Fig. 7. Pore size distribution of the electrode having different weight ratio of ACF to carbon black.

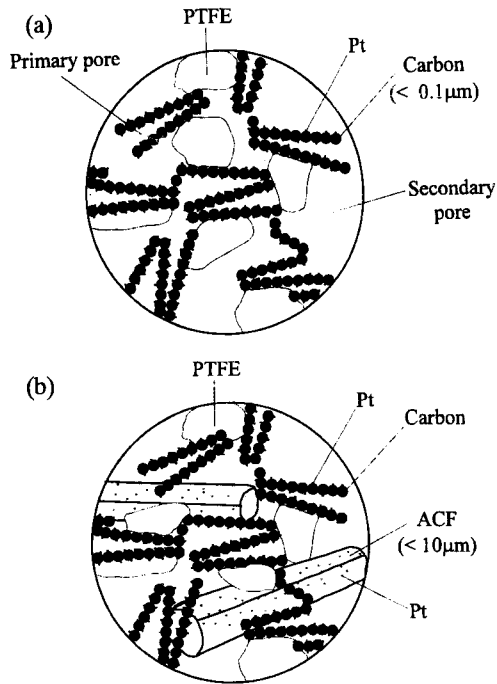


Fig. 8. Schematic internal structures of (a) conventional and (b) ACF containing electrodes.

자체 크기의 기공을 가진 활성탄소섬유의 극미세기공(5-20 Å)은 측정될 수 없으므로 실제로 극미세기공을 포함한 미세기공은 활성탄소섬유의 첨가와 더불어 더 증가된다고 볼 수 있다. 이러한 현상은 활성탄소섬유의 첨가로 전극의 기본구조와 기공분포도, 3상대가 바뀌어질 수 있음을 시사하고 있다.

Fig. 8(a) 및 (b)는 각각 카본블랙만으로 구성된 전극과 활성탄소섬유가 포함된 전극의 내부구조를 비교하여 나타낸 그림이다. Fig. 8(a)는 Watanabe 등[18]이 제안한 모델로서 구형의 카본블랙이 PTFE에 의해 결합되어 있으며 카본블랙입자 덩어리 사이에 부분적으로 거시기공을 형성하고 있는 것을 보여준다. Fig. 8(b)는 활성탄소섬유가 함유된 전극에서 활성탄소섬유가 거시기공을 채우고 있으며 활성탄소섬유와 카본블랙에 백금층매가 담겨져 있는 것을 나타내고 있다.

#### 4.3. 전극의 산흡수량

카본블랙에 대한 활성탄소섬유의 질량비에 따라 제조된 여러 전극의 산흡수량 측정결과를 Fig. 9에 나타내었다. 여기서 활성탄소섬유의 질량비가 30%까지는 미세기공이 증가하였음에도 불구하고 흡수된 인산의 양에는 별 차이를 보이지 않았지만, 30% 이상에서는 미세기공의 비율이 감소하였음에도 불구하고 인산의 흡수가 많아진 것을 볼 수 있다. 이 현상은 활성탄소섬유의 비율이 30%보다 많을 경우 기체의 확산통로인 거시기공과 활성탄소섬유의 극미세기공에 까지 인산이 흡수되어 젖음현상이 증가하였다는 것을 알려주고 있다. 이는 활성탄소섬유가 미세기공구조로 높은 삼투압을 가지고 있으므로 친수성의 특성을 나타낸 결과로 볼 수 있다. 일반적으로 과도한 젖음현상은 인산에 녹아들어난 산소이온의 확산거리를 증가시켜 전극성능에 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려져 있으므로[7], 활성탄소섬유와 카본블랙의 상대적 비의 조절로서 이러한 전극의 친수성을 조절하는 것이 필요할 것이다.

#### 4.4. 반쪽전지의 성능

카본블랙에 대한 활성탄소섬유의 질량비에 따른 여러 산소전극의

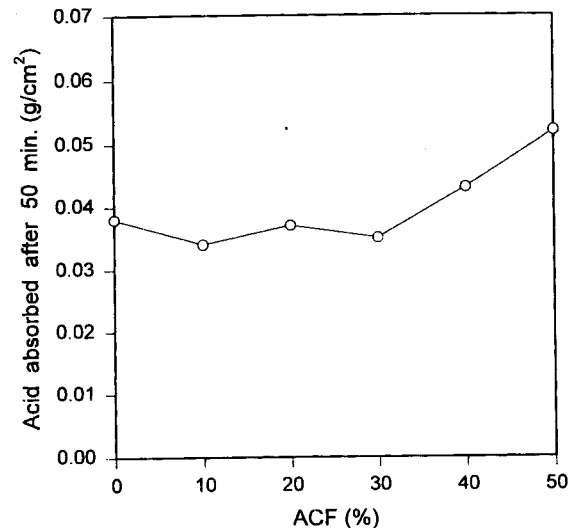


Fig. 9. The comparison of the acid amount absorbed to each electrode after 50 min.

700 mV에서의 성능을 Fig. 10에 나타내었다. 여기서 활성탄소섬유의 질량비가 10, 20, 30, 40, 50%로 달라짐에 따라 전극성능은 972, 1143, 928, 909, 723 mA/cm²로 나타났으며, 활성탄소섬유의 질량비가 20%인 경우 최대 성능을 나타내는 것을 볼 수 있다. 즉 활성탄소섬유를 부분적으로 함유한 전극의 성능은 카본블랙만으로 구성된 전극의 성능 445 mA/cm²보다 상당히 높은 값을 나타내고 있다. 이는 두 개의 다른 탄소재료에 의하여 형성된 전극의 기공구조가 백금의 고분산과 전기화학적 3상대의 형성에 크게 영향을 미친다는 사실을 알려주는 것이다. 즉 카본블랙과 활성탄소섬유가 적절히 혼합되어 전극의 구조를 변화시키므로서 백금이 고분산된 미세기공에 인산이 흡수되어 반응표면적이 넓어지고, 기체확산 통로인 거시기공을 통한 산소의 전달이 쉬워 전극성능이 향상되었다고 사료된다. 그러나 활성탄소섬유의 질량비가 50% 이상이 되면 전극의 산흡수량 결과에서 알 수 있듯이 거시기공과 미세기공까지 인산이 젖어들어가 백금이 담겨진 미세기공까지의 용해산소의 확산거리를 길어지게 하여 전극의 성능을 감소시키는 것으로 사료된다.

또한, 활성탄소섬유를 30% 함유한 전극은 장시간 안정된 성능을

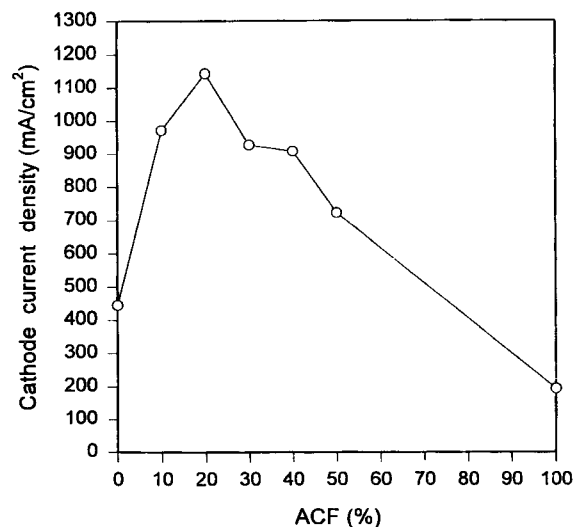


Fig. 10. The cathode performances of each electrode at 700 mV.

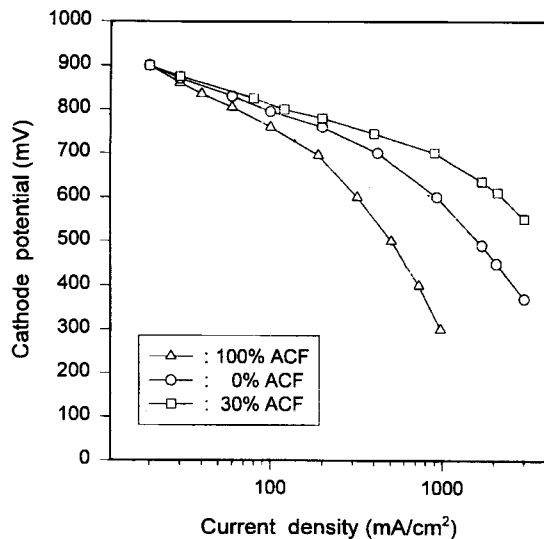


Fig. 11. The cathode performance curves of each electrode at 190 °C,  $H_3PO_4$ .

Table 3. Electrode kinetic parameters of each electrode with different amount of ACF

ACF(%)	b(mV/decade)	R( $\Omega cm^2$ )
0	145.3	463.2
30	122.9	209.3
100	193.0	546.5

보인 반면, 활성탄소섬유를 20 % 함유한 전극은 초기활성은 좋으나 시간이 경과함에 따라 급격한 성능저하를 나타내었다. 이는 활성탄소섬유를 30 % 이상 함유한 전극에서 인산에 대한 젖음현상이 향상된 것을 보인 전극의 산화수량 결과를 뒷받침한다고 본다.

Fig. 11은 활성탄소섬유의 질량비에 따른 각 전극에서의 전류-전압 곡선이다. 여기서 활성탄소섬유의 함량이 30 %인 전극이 카본블랙만으로 이루어진 전극보다 백금이 고분산되어 활성화 과전압이 감소하였다는 것을 알 수 있다. 그러나 활성탄소섬유만으로 구성된 전극에서는 젖음현상이 지나치게 증가하여 전해질에 의한 기계확산 저항이 커져 기존의 카본블랙전극에서보다 저항 과전압이 크게 나타남을 알 수 있다. Fig. 11로부터 얻은 각 전극의 Tafel slope와 저항 값은 Table 3에 나타내었다. 활성탄소섬유의 질량비가 30 %인 전극의 Tafel slope(122.9 mV/decade)이 카본블랙만으로 이루어진 전극(145.3 mV/decade)보다 낮음을 알 수 있다. 이러한 결과는 활성탄소섬유의 첨가로 전극의 미시구조가 증가되고 반응 유효영역이 확장되어 활성화과전압이 감소된 것으로 사료된다. 결론적으로 활성탄소섬유의 전극담체로서의 이용은 높은 다공성을 이용한 백금의 고분산 담지와 전극구조의 개선으로 3상대를 기존 전극에 비해 확대시켜 전극에서의 활성화 과전압을 줄일 수 있었던 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

활성탄소섬유 및 카본블랙에 각각 백금을 담지시킨 후 혼합하여 만든 촉매로 전극을 제조하고 반쪽전지에서 성능을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 연료전지 전극의 구성재로서 활성탄소섬유의 도입은 전극의 구조 및 친수성을 변화시켜 적정구조에서 전기화학적 3상대의 영역

을 확대시키므로 전극의 성능을 향상시킬 수 있다.

(2) 기존의 카본블랙 담체에 담지된 백금 입자크기는 50 Å 정도이었으나, 활성탄소섬유에 담지된 백금 입자크기는 30 Å 이하로 백금을 고분산시킬 수 있었다.

(3) 활성탄소섬유의 질량비가 30 %일 때 전극성능은 700 mV에서 928 mA/cm<sup>2</sup>을 나타내었다.

(4) 활성탄소섬유의 질량비가 30 %일 때 전극의 Tafel slope는 123 mV/decade로 카본블랙만으로 구성된 전극의 Tafel slope 145 mV/decade에 비하여 향상된 전극특성을 나타내었다.

## 감 사

본 연구는 동력자원부 대체에너지 기술개발사업(과제번호 : 922I 101-349FP1) 및 한국과학재단(과제번호 : KOSEF 93-0600-01-01-3) 연구비의 일부 지원을 받아 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

## 사용기호

- a : parameter in Eq. (3)
- b : Tafel slope [mV/decade]
- E : cell potential [V]
- E<sub>r</sub> : thermodynamic reversible cell potential [V]
- F : faraday constant, 96489 (A s)/(equival. weight)
- i : net current densities [A/cm<sup>2</sup>]
- i<sub>0</sub> : exchange current densities [A/cm<sup>2</sup>]
- n : number of electrons involved in electrode
- R : gas constant [J/(mol K)]
- T : absolute temperature [K]

## 그리스 문자

- $\alpha$  : transfer coefficient
- $\eta$  : overpotential [V]

## 참고문헌

- Bockris, J.O'M. and Srinivasan, S.: "Fuel Cells: Their Electrode Chemistry", McGraw-Hill Inc., N.Y.(1969).
- Berger, C.: "Handbook of Fuel Cell Technology", Prentice-Hall Inc., N.Y.(1968).
- McDougall, A.: "Fuel Cells", John Wiley & Sons, N.Y.(1976).
- Summary Proceedings of a Workshop Organized by the UNESCO: "Fuel Cells: Trends in Research and Applications", UNESCO, Paris(1985).
- 이승재, 최경환, 이태희, 조원일, 노용우, 고영태 : 화학공학, 34(2), 188(1996).
- Watanabe, M., Tomigawa, M. and Motoo, S.: J. Electroanal. Chem., 195, 81(1985).
- Motoo, S., Watanabe, M. and Furuya, N.: J. Electroanal. Chem., 160, 351(1984).
- Watanabe, M., Makita, K., Usami, H. and Motoo, S.: J. Electroanal. Chem., 195, 197(1986).
- Watanabe, M., Tomikawa, M. and Motoo, S.: J. Electroanal. Chem., 193, 182(1985).
- Appleby, A.J., Conway, B.E. and Bockris, J.O'M.: "Electrocatalysis in Modern Aspects of Electrochemistry", 9, 369(1974).

11. Stonehart, P. and Ross, P. N.: *Catal. Rev. Sci. Eng.*, **12**, 1(1975).
12. Holze, R. and Vielstich, W.: *J. Electrochimica Acta*, **29**, 607(1984).
13. Kunz, H. R. and Gruver, G. A.: *J. Electrochem. Soc.*, **122**, 1279 (1975).
14. Kordesch, K. V.: "Survey about Carbon and its Role in Phosphoric Acid Fuel Cells", U.S. DOE final Rep. BNL 464459-s (1979).
15. Appleby, A. J. and Foulkes, F. R.: "Fuel Cell Handbook", VNR, N.Y., 248(1989).
16. 이덕우, 이진기, 이보성, 유승곤: 화학공학, **27**(6), 777(1989).
17. Jalan, V. M. and Bushnell, C. L.: U.S. patent 4,316,059.
18. 渡邊政廣, 本尾哲: 일본화학회지, **8**, 1308(1988).
19. Watanabe, M., Sei, H. and Stonehart, P.: *J. Electroanal. Chem.*, **261**, 375(1989).