

## 20, 40 wt% Pt/C 촉매를 사용한 MEA제조에서 나피온의 최적비

정주해 · 정동원 · 김준범\*

울산대학교 생명화학공학과

(2011년 1월 7일 접수 : 2011년 2월 25일 채택)

## Optimum Ratio between Nafion and 20, 40 wt% Pt/C Catalysts for MEAs

Ju-Hae Jung, Dong-Won Jung, and Jun-Bom Kim\*

School of Chemical Engineering & Bioengineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

(Received January 7, 2011 : Accepted February 25, 2011)

### 초 록

Pt/C 촉매 (20, 40 wt% Pt/C)를 사용하여 고분자 전해질 연료전지의 MEA를 제조하고 각각의 촉매에서 최적의 나피온 이오노머 함량을 알아보았다. 나피온 함량에 따른 MEA의 전기화학적 성능변화는 단위전지 성능평가, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), cyclic voltammetry (CV)을 통해서 분석하였다. 나피온의 함량에 따라 전지의 활성화 분극, 옴 저항, 물질전달 저항 등의 변화가 나타났다. 이는 전극의 촉매층 내에서 발생하는 전기/이온 전도도 사이의 'trade-off'와 물질전달(물 배출과 반응가스 확산)에 의한 것이며, 대부분 활성화 분극과 물질전달 저항의 변화로 나타났다. 20 wt% Pt/C와 40 wt% Pt/C 촉매에서 최적의 나피온 함량은 각각 35 wt%와 20 wt%로 나타났다. 이는 Pt 중량비에 따른 Pt 입자간의 거리 및 촉매의 비표면적의 차이 때문에 나타난 결과이며 서로 다른 나피온 함량에서 최적의 삼상계면이 형성되는 것으로 판단된다.

**Abstract :** To enhance the performance of a MEA (membrane electrode assembly) in a polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC), optimum contents of Nafion ionomer as electrolyte in the 20 and 40 wt% Pt/C used in electrodes were examined. Variety characterization techniques were applied to examine optimum Nafion contents: cell performance test, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), and cyclic voltammetry (CV). According to Pt wt% supported on carbon support, it has been observed that polarization, ohmic, and mass transfer resistances were changed so that the cell performance was significantly dependent on the content of Nafion ionomer. Optimum Nafion ionomer contents in the 20 wt% Pt/C and 40 wt% Pt/C were showed 35 wt% and 20 wt%, respectively. This is due to different surface area of the Pt/C catalyst, and formation of triple phase boundary seems to be affected by the Nafion contents.

**Keywords :** PEMFC, Pt/C catalysts, Nafion ionomer, Membrane electrode assembly (MEA)

\*E-mail: jbkim@ulsan.ac.kr

## 1. 서 론

고분자 전해질 연료전지 (polymer electrolyte membrane fuel cell, PEMFC)는 높은 전력 밀도와 저온 시동성, 친환경성 등의 장점 때문에 자동차의 동력원, 가정용 전원 등으로 그 응용분야가 확대되고 있다. 최근 CO<sub>2</sub> 배출에 의한 대기오염 및 지구온난화 문제가 세계적인 쟁점으로 부각됨에 따라 PEMFC 산업은 가파른 성장에 예상되고 있다.

PEMFC의 상용화를 위해서는 고성능·고내구성의 막전극체 (membrane electrode assembly, MEA) 개발이 필요하다.<sup>1,2)</sup> PEMFC의 핵심부품인 MEA는 프로톤 전도성 막의 양쪽에 다공성 전극이 있으며 전극내부의 촉매층에서 발생하는 전기화학 반응에 의해서 전기를 발생시킨다. 일반적으로 전극에는 Pt/C 촉매와 프로톤 전도성 이오노머 (proton exchange ionomer)가 혼합된 촉매층이 있으며, 애노드에서 수소산화반응 (hydrogen oxidation reaction, HOR), 캐소드에서 산소환원반응 (oxygen reduction reaction, ORR)이 발생된다. 촉매 층에 포함된 프로톤 전도성 이오노머는 HOR에 의해 생성된 프로톤을 캐소드 측으로 전달하는 통로 역할뿐만 아니라 촉매의 결합을 위한 바인더 역할을 수행한다. 일반적으로 Dupont 사의 나피온 (Nafion)이 프로톤 전도성 고분자로 가장 널리 사용되고 있다.

PEMFC의 전기화학적 반응에는 반응가스와 전자 그리고 프로톤 등의 3가지 반응성분이 참여한다. 반응가스는 다공성의 전극을 통해 확산되고 전자는 전기전도성인 Pt/C 촉매를 통해 이동한다. 그리고 프로톤은 촉매층 내부에 형성된 나피온으로 구성된 네트워크를 통해 반대극으로 이동한다. 따라서 높은 성능의 PEMFC 전극을 만들기 위해서는 전극 내부의 반응가스, 촉매 그리고 나피온이 균일하게 분포된, 즉 삼상계면 (triple phase boundary)이 잘 발달된 구조가 유리하다. 전극에서는 촉매와 나피온이 최적의 촉매층을 형성할수록 반응물의 이동성, 전자 및 프로톤 전도성이 원활해진다.<sup>3-5)</sup> 하지만 촉매층에서 프로톤 전도성과 전자 전도성은 항상 'trade-off'가 성립된다. 촉매층에 나피온 양이 많으면 프로톤 전도도는 향상되지만 HOR에 의해서 생성된 전자의 전도도는 상대적으로 감소하게 된다. 그리고 나피온의 친수성 때문에 물 가둠 효과 (trapping water)를 유발하여 캐소드 측에서 생성된 물의 배출이 원활하지 못하게 되어 반응가스의 확산을 느리게 한다. 이상의 문제점들에 의해서 전극내부의 옴 저항 (ohmic resistance)과 물질전달 저항 (mass transport resistance)이 증가하여 전지성능이 감소하게 된다. 반면, 촉매층 내부에 나피온의 양이 적으면, 촉매층 내부의 전자 전도도와 반응가스의 이동은 원활하지만 프로톤의 이동도가 감소하기 때문에 활

성화 분극 (activation polarization)이 커져서 PEMFC의 성능이 감소된다.<sup>6)</sup>

일반적으로, PEMFC에 사용하는 Pt 촉매 입자는 비표면적이 큰 탄소블랙 (carbon black) 담지체에 담지되어 있다. 따라서 MEA 제조 과정에서 나피온이 탄소 담지체의 표면을 덮는다면 Pt 입자와 나피온도 접촉하기 때문에 탄소 담지체와 나피온의 질량 비를 고려한다. Pt/C촉매의 경우, 나피온과 탄소담지체의 최적비는 약 I/C=0.8-1정도로 알려져 있다.<sup>7,8)</sup> 여기서 I는 나피온 이오노머의 중량, C는 탄소 담지체의 중량을 나타낸다. 또한, 문헌에 따르면 전극내부의 최적의 나피온 함유량은 사용되는 Pt/C촉매의 종류에 상관없이 30-36 wt% 정도로 보고되고 있다.<sup>9-12)</sup> 하지만 탄소 담지체에 다른 중량의 Pt가 담지된 촉매를 사용할 경우, 나피온 함유량은 촉매의 중량보다 담지체의 비표면적에 대해서 더 민감하게 변화될 것으로 예상된다.

이 연구에서는 Pt 담지량에서 두 배의 차이가 나는 Pt/C 촉매 (20, 40 wt% Pt/C)를 사용하여 MEA를 제조하고 각각의 촉매에 필요한 최적의 나피온 함유량을 알아보았다. 그리고 촉매의 물리적 특성과 나피온 함유량 사이의 연관성에 대하여 연구하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. MEA 제조

최적의 나피온 함유 실험을 위해서 상용촉매의 정확한 Pt 함량을 열중량 분석기 (TGA, TA Ins., Q50)로 분석한 결과, 20 wt% Pt/C (BASF Fuel Cell Inc.)와 40 wt% Pt/C (Johnson Matthey Inc.)로 나타났다. 그리고 두 촉매의 비표면적은 BET (Micromeritics Ins., ASAP2020)를 사용하여 측정하였다. MEA를 제조할 때, 전극에서 나피온의 함량은 식 (1)을 사용하여 계산하였다.

$$\text{Nafion content (wt\%)} = \frac{\text{nafion weight}}{\text{nafion weight} + \text{catalyst weight}} \times 100 \quad (1)$$

Pt/C 촉매를 바이알에 넣은 후 5% 나피온 용액 (Dupont Co.)과 이소프로필알콜을 넣고 3분 동안 초음파 분산처리를 하여 촉매 슬러리를 제조하였다. MEA는 고분자 전해질 막 (NRE-212, Dupont Co.)에 직접 촉매 슬러리를 스프레이 코팅하여 애노드와 캐소드에 각각 Pt가 0.4 mg/cm<sup>2</sup>이 되도록 하였다. 그리고 케톤 필름에 넣고 130°C, 0.3 metric-ton에서 150초 동안 압착하였다. 전극의 활성면적은 5 cm<sup>2</sup>이고 기체확산층 (Gas Diffusion Layer, GDL)은 탄소천 (Carbel CL, W. L Gore & Associates, Inc.)을 사용하였다. 각각의 촉매에서 나피온 함량이 20, 30, 40 wt%의 MEA를 제조한 후, 단위전

**Table 1. Catalysts and compositions used for preparation of MEAs.**

MEA No.	Catalyst	Pt wt% by TGA	Pt loading (mg/cm <sup>2</sup> )	Nafion content (wt%)
MEA20-20	20 wt% Pt/C	20.4	0.4	20
MEA20-25				25
MEA20-30				30
MEA20-35				35
MEA20-40				40
MEA40-15	40 wt% Pt/C	39.9	0.4	15
MEA40-20				20
MEA40-25				25
MEA40-30				30
MEA40-40				40

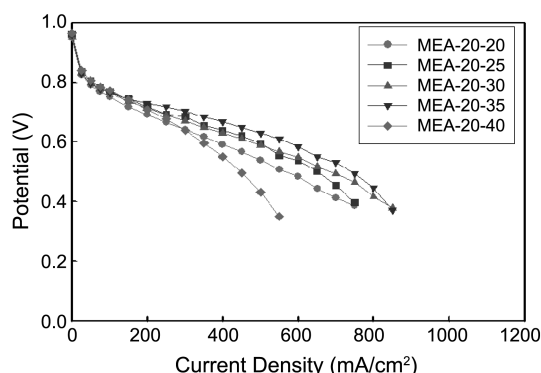
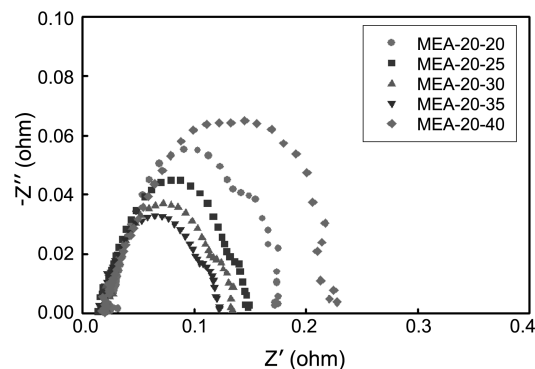
지를 체결하여 성능평가를 하였다. 그리고 가장 높은 성능의 MEA를 선택한 다음, 좀 더 세밀하게 나피온 함량을 조사하기 위하여 선택된 MEA의 나피온  $\pm 5$  wt% 함량을 가지는 MEA를 제조하여 동일한 조건으로 성능평가를 수행하였다. Table 1에는 제조한 MEA의 촉매와 나피온 함량을 나타냈다.

## 2.2. MEA 평가

Fuel Cell Technologies 사의 단위전지에서 애노드와 캐소드에 각각 수소와 공기를 반응가스로 사용하여 MEA를 평가하였다. 이 때 반응가스는 상대습도 100%로 기습 후, 애노드와 캐소드에 각각 화학양론비 (stoichiometry ratio) 1.5와 2.0으로 공급하였다 그리고 단위전지의 운전 온도는 65 °C를 유지하였다. MEA의 전기화학적 특성은 cyclic voltammetry (CV, WanAtech, GWPG100HP)와 electrochemical impedance spectroscopy (EIS, Gamry, PC14)를 사용하여 분석하였다. CV 측정시, anode에 수소를 20 sccm, cathode에 질소를 100 sccm 유량으로 공급하면서 촉매 활성면적을 측정하였다. 이 때 cathode가 작업전극 (working electrode)이 되고 anode가 기준전극 (reference electrode) 또는 카운터 전극으로 작동한다. EIS는 단위전지의 전류밀도가 200 mA/cm<sup>2</sup>일 때 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

20 wt% Pt/C 촉매는 MEA20-20, MEA20-30, 그리고 MEA20-40를 제조한 후, 성능평가를 했을 때 MEA20-30의 성능이 가장 높았다. 이후 MEA20-25와 MEA20-35를 만든 후 성능을 비교하였으며 그 결과를 Fig. 1에 나타냈다. MEA20-25와 MEA20-30을 비교했을 때, 거의 동일한 성능을 보여주고 있다. 나피온 20 wt%에서 35 wt%까지는 함량에 비례하여 전지의 성능은 향상되었지만 나피온 40 wt%에서 전지의 성능은 급격하게

**Fig. 1. Polarization curves of MEAs manufactured by 20 wt% Pt/C catalyst with different Nafion ionomer content.****Fig. 2. EIS spectra of 20 wt% Pt/C with different Nafion ionomer content.**

감소되었다. 이는 나피온 20 wt%에서부터 나피온 함량이 증가함에 따라 프로톤 전도도가 점점 더 향상되어서 나피온 35 wt%에서 최대가 된 것으로 판단된다. 그리고 나피온 함량에 의해서 촉매층 내부의 전기/이온 전도도 사이의 ‘trade-off’가 있지만 35 wt%에서 삼상계면이 가장 잘 형성된 것으로 판단된다. 하지만 촉매층에 과량의 나피온이 함유되면 물 가둠 효과에 의해서 캐소드 측에서 물 배출이 원활하지 못하게 되고, 그 영향으로 반응가스의 유입에 문제가 발생할 수 있다. Fig. 1에 보인 것과 같이 MEA20-40은 200 mA/cm<sup>2</sup> 이상의 전류밀도에서 급격한 전압강하를 보이고 있다. 이러한 결과는 물질전달저항이 큰 경우에 나타나는 현상이다. 나피온의 함량에 따른 저항의 변화는 Fig. 2의 EIS 결과에 나타났다. 전지의 성능과 저항의 크기는 동일한 경향을 보이고 있으며 MEA20-35에서 가장 낮은 저항을, MEA20-40에서 가장 높은 저항을 보였다. MEA20-40은 200 mA/cm<sup>2</sup> 이하의 전류밀도에서는 MEA20-35와 거의 동일한 성능을 보이고 있다. 하지만 EIS 결과에 보였듯이 활성화 분극과 물질전달 저항이 크게 나타났기 때문에 급격한

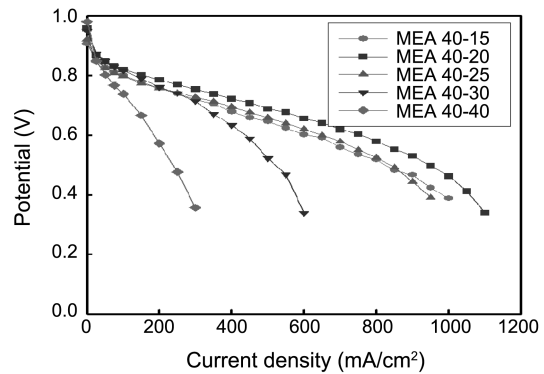
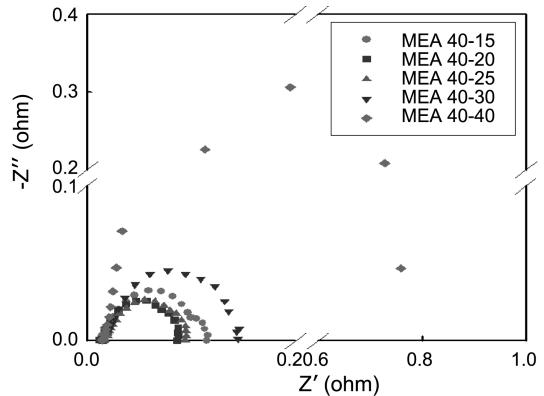
**Table 2. Characteristics of MEAs with different Nafion content for 20, 40 Pt wt% Pt/C catalysts**

MEA No.	current density at 0.6 V (mA/cm <sup>2</sup> )	Cell resistance ( $\Omega$ )	ESA (m <sup>2</sup> /g)
MEA20-20	381.6	0.175	21.3
MEA20-25	402.9	0.148	24.4
MEA20-30	475.3	0.134	26.0
MEA20-35	570.6	0.122	36.1
MEA20-40	401.7	0.221	40.7
MEA40-15	609.7	0.115	59.4
MEA40-20	758.9	0.086	67.5
MEA40-25	648.5	0.094	59.0
MEA40-30	437.5	0.145	69.0
MEA40-40	185.6	0.760	81.7

성능 감소가 나타난 것으로 판단된다.

나피온 함량에 의한 촉매활성면적(Electrochemical surface area, ESA)은 CV 분석 결과에서 수소탈착면적으로 계산하였으며 Table 2에 나타났다. 나피온 20 wt% 부터 40 wt%까지는 함량에 비례하여 ESA가 증가하는 경향을 보였다. 일반적으로 동일한 ESA의 촉매층이라도 HOR과 ORR에 따라 수분에 의한 영향은 다르게 나타난다. 나피온 40 wt%의 경우, 애노드에서는 ESA가 크기 때문에 HOR이 향상되고 나피온 함량이 조금 많아도 HOR은 물을 발생시키는 반응이 아니기 때문에 성능에 끼치는 영향은 작다. 캐소드에서는 ORR에 의해서 과량의 물이 발생되고 있기 때문에 촉매층에서 과량의 나피온은 물의 배출을 억제하여 산소의 유입을 막는다. 이러한 현상은 전지의 물질전달저항을 증가시키고 성능의 감소를 초래한다. 이상의 결과에서 20 wt% Pt/C 촉매는 35 wt%의 나피온이 함유되었을 때 가장 높은 성능을 보였다. 이 결과는 최근의 문헌에서 보인 결과와 일치하고 있다.<sup>5,9-11)</sup> 20 wt% Pt/C에서는 나피온 30-35 wt%일 때 가장 좋은 전지성능을 나타내는 것으로 보고되고 있다.

40 wt% Pt/C 촉매로 제조한 MEA의 성능평가에서 MEA40-20의 성능이 가장 높았다. 이후 MEA40-15와 MEA40-25를 만든 후 성능을 평가하였으며 그 결과를 Fig. 3에 나타났다. MEA40-20, MEA40-30, MEA40-40의 성능을 비교했을 때, 나피온 함량의 증가에 따라 전지성능은 급격하게 감소하는 경향을 보였다. 이는 가장 높은 성능을 보인 MEA40-20보다 나피온의 함량이 증가함에 따라서 활성화 분극과 물질전달저항이 증가했기 때문으로 판단된다. 이러한 현상은 Fig. 4의 EIS 결과에서도 보여진다. MEA40-15와 MEA40-25의 경우, 전지성능, ESA, 저항 등에서 거의 비슷한 결과를 보이고 있다. 이는 20 wt% Pt/C의 경우처럼 나피온 함량에 따른 촉매층 내부의 전기/이온 전도도의 'trade-off'에 따른 것으로 판단된다. 따라서 MEA40-15와 MEA40-25에 포함된 나피온 량의 평균이 분포된 MEA40-20에서 가장 높은

**Fig. 3. Polarization curves of MEAs manufactured by 40 wt% Pt/C catalyst with different Nafion ionomer content.****Fig. 4. EIS spectra of 40 wt% Pt/C MEAs with different Nafion ionomer content.**

성능을 보인 것이다. 그리고 MEA40-25는 800 mA/cm<sup>2</sup>의 전류밀도 이하에서 MEA40-15보다 조금 성능이 높게 나타난다. 이는 EIS 결과에서 보였듯이 더 많은 나피온에 의해서 프로톤의 이동이 원활하여 활성화 분극이 상대적으로 작기 때문에 나타난 것으로 판단된다. 하지만 800 mA/cm<sup>2</sup> 이상의 전류밀도에서는 상대적으로 높은 나피온 함량 때문에 전극 내에 존재하는 기공 수가 감소하여 물질전달저항이 증가하여 성능이 감소된 것으로 보인다. 즉, 촉매층 내부의 전기/이온 전도도의 'trade-off'에 따른 것이다. 그리고 MEA40-30은 800 mA/cm<sup>2</sup>의 전류밀도 이하에서 MEA40-15나 MEA40-25보다 성능이 높고 ESA도 높게 나타났지만 EIS 결과에서 나타나듯이 더 큰 저항을 보이고 있다. 저 전류밀도에서는 촉매의 활성면적이 높을수록 전지의 성능이 향상되기 때문에 촉매층 내부에 전해질 양이 상대적으로 많아도 Pt촉매가 반응가스와 반응할 수 있는 면적이 크다면 성능에 유리한 결과로 나타난다. 그러나 고전류 영역에서는 활성화 분극과 물질전달 저항이 전지성능에 미치는 영향이 크기 때문에

최적의 나피온 함량보다 많을 경우, 전지성능이 감소된다.

이상의 실험에서 20 wt% Pt/C와 40 wt% Pt/C 촉매를 사용하여 MEA를 제조할 때, 최적의 나피온 함량은 각각 35 wt%와 20 wt%라는 결과를 얻었다. 이들 촉매에서 나피온의 함량차이가 크게 나타난 것은 두 촉매의 Pt 함량과 비표면적의 차이 때문으로 판단된다. 일반적으로 전극의 삼상계면을 확대하기 위해서는 나피온이 탄소 담지체의 표면을 덮으면서도 담지체 간에 전기적인 연결을 유지하고 있어야 한다. 따라서 Pt/C 촉매의 표면적이 클수록 필요한 나피온의 양이 많을 것으로 예상된다. 따라서 두 촉매의 비표면적을 알아보기 위해서 BET를 측정하였으며 질소 흡착량과 촉매 중의 존재하는 기공크기 (pore size)를 Fig. 5에 나타냈다. 40 wt% Pt/C 촉매가 20 wt% Pt/C 촉매보다 더 많은 질소를 흡착될 수 있음을 보여주고 있다. 두 촉매의 BET 표면적은 20 wt% Pt/C 촉매가 193.6 m<sup>2</sup>/g, 40 wt% Pt/C 촉매가 302.1 m<sup>2</sup>/g를 Table 3에 나타냈다. Fig. 3(a)에서 두 촉매 모두 1.6-100 nm의 기공이 분포되어 있지만 40 wt% Pt/C 촉매가 20 wt% Pt/C 촉매보다 더 많은 기공 수를 가지고 있는 것으로 나타났다. Kong 등은 GDL의 탄소블랙 미세기공층 (microporous layer, MPL)의 기공 크기가 반응가스의 확산, 물질전달저항, 물 가둠 현상 등에 영향을 주는 것으로 보고했다.<sup>13)</sup> MPL은 소수성이고 촉매층은 친수성이라는 차이는 있지만 물질전달의 기능에 중요한 기공의 크

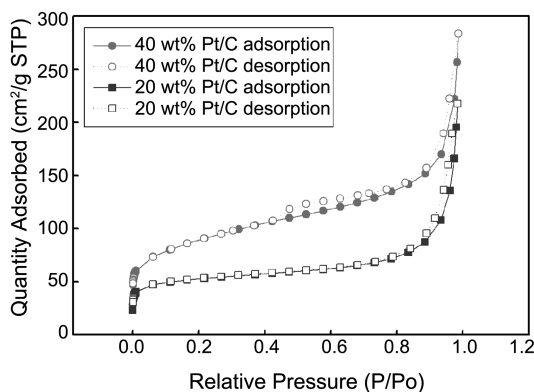


Fig. 5. Nitrogen adsorptions and desorption isotherms of 20 wt% and 40 wt% Pt/C catalysts.

Table 3. Optimum Nafion contents and BET surface areas of two catalysts

MEA No.	Pt/C (mg)	Carbon (mg)	Nafion (mg)	BET surface (m <sup>2</sup> /g)	(P×B) <sup>a</sup> (P×B/N) <sup>b</sup>
MEA20-35	10.0	8.0	5.4	193.6	1.936 0.359
MEA40-20	5.0	3.0	1.3	302.1	1.511 1.162

<sup>a</sup>(P×B) = (Pt/C)×(BET surface area)

<sup>b</sup>(P×B/N) = (Pt/C)×(BET surface area)/(Nafion)

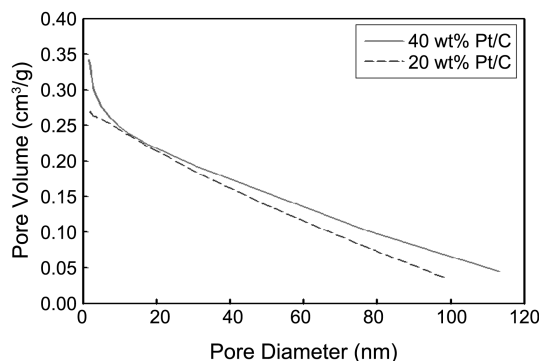


Fig. 6. Pore size distributions (BJH adsorption cumulative pore volume) of 20 wt% and 40 wt% Pt/C catalysts.

기측면에서 볼 때 MPL은 촉매층이 확장된 구조로 볼 수 있다. 또한 CCM (catalyst coated membrane) 방법으로 MEA를 제조할 때, 촉매층의 기공은 전지의 성능에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.<sup>14)</sup> 본 연구에서는 BET 분석을 통해 20 wt% Pt/C보다 40 wt% Pt/C 촉매가 micro-pores(<2 nm), meso-pores (2~50 nm), macro-pores (>50 nm)가 많은 것으로 확인하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 전극제조 과정에서 Pt/C 촉매의 meso-pore나 macro-pore에는 Pt 입자와 함께 나피온이 채워져 삼상계면을 형성할 수 있지만 micro-pore에는 삼상계면이 형성될 확률이 적을 것으로 예상된다. 따라서 비표면적과 기공 체적이 큰 40 wt% Pt/C 촉매가 20 wt% Pt/C 촉매보다 적은 나피온 함량에서 높은 전지성능을 보인 것으로 판단된다.

전극제조 과정에서 Pt/C 촉매의 meso-pore나 macro-pore에는 Pt 입자와 함께 나피온이 채워져 삼상계면을 형성할 수 있지만 micro-pore에는 삼상계면이 형성될 확률이 적을 것으로 예상된다. 전극 5 cm<sup>2</sup>에 포함된 촉매 전체량은 20 wt% Pt/C와 40 wt% Pt/C에서 각각 10 mg와 5 mg이다. 그리고 두 촉매가 최고의 성능을 보였을 때, 나피온의 양은 각각 5.4 mg과 1.3 mg이다. 두 촉매로 만든 최적의 MEA에서 한 전극 당 Pt/C 촉매의 표면적은 20 wt% Pt/C와 40 wt%에서 각각 1.94 m<sup>2</sup>과 1.51 m<sup>2</sup>이다. 따라서 BET 표면적이 40 wt% Pt/C 촉매가 20 wt% Pt/C보다 크지만 도포된 Pt/C의 양에 대한 표면적은 BET 표면적에 비해 큰 차이가 없다. 40 wt% Pt/C촉매의 경우, Fig. 7의 TEM 사진에서 보인 것처럼 20 wt% Pt/C보다 Pt 입자 간의 거리가 가까운 것을 볼 수 있다.<sup>15)</sup> 그리고 1 mg의 나피온으로 도포된 Pt/C 촉매의 표면적은 20 wt% Pt/C와 40 wt% Pt/C에서 각각 0.36 m<sup>2</sup><sub>Pt/C/mg<sub>Nafion</sub></sub>과 1.16 m<sup>2</sup><sub>Pt/C/mg<sub>Nafion</sub></sub>이다. 이 결과로부터 40 wt% Pt/C로 전극을 제조할 때 20 wt% Pt/C의 경우 보다 적은 양의 나피온으로 양호한 삼상계면을 형성하는 것으로 판단된다.

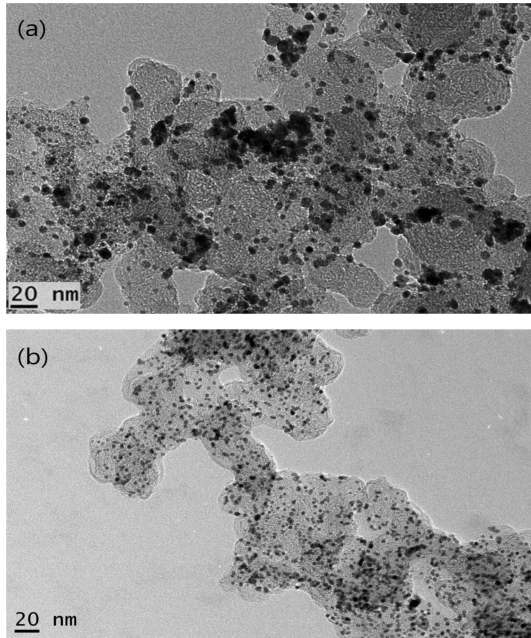


Fig. 7. TEM images of (a) commercial 20 wt% Pt/C<sup>15)</sup> and (b) 40 wt% Pt/C catalysts.

#### 4. 결 론

Pt/C 촉매 (20, 40 wt% Pt/C)를 사용하여 MEA를 제조하고 각각의 촉매에 필요한 최적의 나피온 함량에 대해서 알아보았다. 그 결과, 20 wt% Pt/C와 40 wt% Pt/C 촉매에서 최적의 나피온 함량은 각각 35 wt%와 20 wt%으로 나타났다. 이와 같은 차이는 촉매의 비표면적과 기공의 크기, 담지체에 분산된 Pt 입자의 밀도차이 때문으로 판단된다. 그리고 나피온의 함량에 따라 두 촉매의 촉매층에서 전기/이온 전도도 사이의 'trade-off' 때문에 급격한 성능변화를 보였다. 단위전지의 전류-전압 성능곡선과 EIS 결과에서 친수성인 나피온의 함량이 증가함에 따라 물 배출과 반응가스의 확산 등에 문제가 발생하여 물질전달 저항이 증가하여 고전류밀도에서 성능 감소가 나타났다.

#### 감사의 글

이 논문은 2009년 울산대학교 연구비에 의하여 연구되었습니다.

#### 참고문헌

1. D. Y. Lee and S. W. Hwang, "Effect of loading and distributions of Nafion ionomer in the catalyst layer for PEMFCs", *Int. J. Hydrogen Energy*, **33**, 2790 (2008).
2. C. M. Lai, J. C. Lin, F. P. Ting, S. D. Chyou, and K. L. Hsueh, "Contribution of Nafion loading to the activity of catalysts and the performance of PEMFC", *Int. J. Hydrogen Energy*, **33**, 4132 (2008).
3. R. R. Passos, V. A. Paganin, and E. A. Ticianelli, "Studies of the performance of PEM fuel cell cathodes with the catalyst layer directly applied on Nafion membranes", *Electrochim. Acta*, **51**, 5239 (2006).
4. G. Sasikumar, J. W. Ihm, and H. Ryu, "Optimum Nafion content in PEM fuel cell electrode", *Electrochim. Acta*, **50**, 601 (2004).
5. E. Passalacqua, F. Lufrano, G. Squadrito, A. Patti, and L. Giorgi, "Nafion content in the catalyst layer of polymer electrolyte fuel cells: effects on structure and performance", *Electrochim. Acta*, **46**, 799 (2001).
6. J. Zhang, "PEM fuel cell electrocatalysts and catalyst layers", p.894-895, Springer (2008).
7. J. Zhang, "PEM fuel cell electrocatalysts and catalyst layers", p.895, Springer (2008).
8. W. Vielstich, A. Lamm, and H. A. Gasteiger, "Handbook of fuel cells", vol.3, p.550, John Wiley & Sons Ltd. (2003).
9. G. Sasikumar, J. W. Ihm, and H. Ryu, "Dependence of optimum Nafion content in catalyst layer on platinum loading", *J. Power Sources*, **132**, 11 (2004).
10. Z. Qia and A. Kaufman, "Low Pt loading high performance cathodes for PEM fuel cells", *J. Power Sources*, **113**, 37 (2003).
11. S. Gamburzev and A. Appleby, "Recent progress in performance improvement of the proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)", *J. Power Sources*, **107**, 5 (2002).
12. E. Antolini, L. Giorgi, A. Pozio, and E. Passalacqua, "Influence of Nafion loading in the catalyst layer of gas-diffusion electrodes for PEFC", *J. Power Sources*, **77**, 136 (1999).
13. C. S. Kong, D. Y. Kim, H. K. Lee, Y. G. Shul, and T. H. Lee, "Influence of pore-size distribution of diffusion layer on mass-transport problems of proton exchange membrane fuel cells", *J. Power Sources*, **108**, 185 (2002).
14. S. Mu, C. Xu, Y. Gao, H. Tang, and M. Pan, "Accelerated durability tests of catalyst layers with various pore volume for catalyst coated membranes applied in PEM fuel cells", *Int. J. Hydrogen Energy*, **35**, 2872 (2008).
15. D. W. Jung, S. Park, J. T. Kang, and J. B. Kim, "Synthesis of carbon nanotubes supported PtCo electrocatalysts and its characterization for the cathode electrode of PEMFC", *Kor. J. Mater. Res.*, **9**, 233 (2009).