

PVdF/SPEEK/TiO₂ 하이브리드 막의 수분함량과 메탄올 전이현상

Water Swelling and Methanol Transport Behaviour of PVdF/SPEEK/TiO₂ Hybrid Membrane

유선경 · 김한주 · 박수길 · 김영재*

충북대학교 공업화학과

새한에너지테크*

Abstract : A series of inorganic-organic hybrid membranes were prepared with a systematic variation of titanium dioxidenanoparticles content. Their water uptake, methanol permeability and proton conductivity as a function of inorganic oxide content were investigated. The results obtained show that the inorganic oxide network decreases the proton conductivity and water swelling. It is also found that increase in inorganic oxide content leads to decrease of methanol permeability. In terms of the morphology, membranes are homogeneous and exhibit a good adhesion between inorganic domains and the polymer matrix. The properties of the composite membranes are compared with the standard nafion membrane.

1. 서론

현대산업이 점차 발전함에 따라 연료전지의 사용은 기본적인 에너지로 각광받고 있다. 그 중에서도 직접 메탄올 연료전지(direct methanol fuel cell, DMFC)는 친환경적인 연료전지로 그 가치가 인정되며 연료의 취급이 용이하고 운전온도가 낮아서 초소형화가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이에 따라 직접 메탄올 연료전지의 대한 연구는 연료전지의 각각의 분야에 대해 세부적으로 발전하고 있다. 직접 메탄올 연료전지 막으로써 Nafion은 전도성이 좋다는 장점이 있다는 반면에 작동온도의 제한성과 낮은 기계적 강도, 열적 안정성의 저하, 비싼 가격, Methanol crossover의 단점을 가지고 있다. 가장 큰 문제점인 Methanol crossover는 고농도의 메탄올을 사용할 경우 연료와 공기 사이에서 일어나는 반응감소 효과가 발생하여 출력이 감소되고 연료가 낭비되며 cathode를 극산화시켜 에너지 효율과 전체 사용 전력이 줄어든다. 이로 인해 새로운 고

분자 전해막으로써 기계적 강도와 열적 안정성이 좋은 PEEK (poly ether ether ketone)을 설폰화시켜 SPEEK(sulfonated poly ether ether ketone)으로 낮은 전도성을 보정해 주었다. 그러나 sulfonation으로 생성되는 Acidic group으로 인해 water swelling이나 Membrane weeks를 증가하게 된다. 이는 PVdF를 첨가하여 그 효과를 감소시킬 수 있다. 본 연구에서는 TiO_2 를 첨가하여 (0, 2.5, 5, 7.5, 10wt.%) 메탄올 투과도와 water swelling 및 프로톤 전도도의 변화를 측정하였다.

2. 실험

2.1 재료 및 시약

Poly(ether ether ketone) (PEEK 450 PF)은 Victrex \AA . $Ti(OiPr)_4$ 을 사용하였고 설폰화제의 진한 황산(순수한 95~98%)은 구입하여 사용하고, PVdF계열의 Poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) (PVdF-HFP)를 사용하였다. 용매 N-methyl-2-pyrrolidinone (NMP)는 법인 Aldrich Chemical을 사용하였다. TiO_2 는 ethanol과 titanium isopropoxide를 사용하여 sol-gel법으로 제작되었다.

2.2. SPEEK(sulfonated poly ether ether ketone)의 제조

먼저 PEEK 12g을 100 $^{\circ}C$ 에서 24시간 건조시킨 다음 진한 황산 200ml에 55 $^{\circ}C$ 에서 24시간 동안 교반하여 용해시키는데 이때의 DS(Degree of sulfonation)은 57%이다. 용해된 용액을 얼음물에 첨가하면 하얀 침전이 생기게 되는데 이 침전물을 증류수로 수차례 세척하면서 pH가 중성이하가 되면 침전물을 건조시킨다. 생성된 SPEEK를 1차로 실온에서 24시간 건조시킨 후 50 $^{\circ}C$ 에서 3시간, 70 $^{\circ}C$ 에서 3시간 135 $^{\circ}C$ 에서 7시간을 차례로 건조시킨다.

2.3. Membrane의 제조

먼저 차례로 건조시킨 SPEEK와 동일한 양의 PVdF-HFP를 넣고 NMP에 용해시켜 24시간 정도 교반한다. 교반된 용액은 SPEEK를 기준으로 TiO_2 의 wt.%(0, 2.5, 5, 7.5, 10wt.%)를 달리하여 150분간 sonication해주어 TiO_2 의 입자가 용액 안에 고르게 분산되게 한다. 세가지 물질이 섞인 혼합용액은 유리판에 퍼주어 실온에서 24시간 동안 건조 시킨 후 70 $^{\circ}C$ 에서 5시간, 100 $^{\circ}C$ 에서

5시간 120℃에서 12시간 건조 한다.

2.4. TiO₂의 제조

본 연구에서 사용된 TiO₂는 sol-gel공정을 도입하여 물과 ethanol을 1대1의 비율로 혼합하고(total 100ml) 질소가스를 주입하면서 교반 시킨다. 여기에 Titanium isopropoxide 8ml와 ethanol 92ml를 혼합하여 만든 용액을 천천히 부어주면서 교반한다. 이 교반된 용액은 filtering 후 건조시켜 100nm의 size로 제작한다.

2.5. 특성 분석

Membrane의 표면 형태를 알아보기 위하여 JEOL 6400F 장치를 이용해 SEM을 측정하고, PEEK에서 SPEEK로의 구조적 변화를 알아보기 위해 FT-IR을 측정하였다. Membrane의 수분흡수 능력을 알아보기 위하여 water swelling을 측정하는데 membrane을 1cm×1cm로 120℃정도에서 24시간 건조시킨 후에 19℃의 이온수를 이용해 membrane에 충분히 수분이 흡수되도록 담궈 준다. 24시간 후에 표면의 수분을 티슈로 제거한 후 무게를 다시 잰다. 본 테스트는 3번 이상 측정하여 평균값을 이용한다. 메탄올 투과도는 실온에서 1M의 메탄올로 측정한다. 본 실험 측정 전에 샘플을 실온의 이온수에 3일 동안 담가둔다. 프로톤 전도도는 AC 임피던스를 10-10⁷ Hz 사이의 진동수와 50- 500mV의 전압으로 교류시켜 측정하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 Membrane morphology

본 연구에서 얻어진 membrane의 두께는 일관적으로 50μm정도를 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 (a)는 SPEEK와 PVdF만 첨가된 즉, 고체산화물인 TiO₂가 첨가되지 않은 membrane의 형태이고 (b)~(e)는 TiO₂의 함량을 점차 증가 시킨 형태의 membrane이다. 참고적으로 (f)의 12.5%의 TiO₂함량을 가진 membrane의 표면도 관찰하였다. 아래의 사진을 전체적으로 보게 되면 TiO₂의 함량이 증가함에 따라 membrane의 표면에 TiO₂가 동질적으로 밀집되어 더 넓은 분포됨을 알 수 있다.

3.3. Water swelling 측정

혼성 membrane과 Nafion의 차이는 Fig. 3에 나타내었다. water swelling의 결과는 [식2]를 이용하여 구할 수 있다.

$$\text{Water swelling} = (W_{\text{wet}} - W_{\text{dry}}) / W_{\text{dry}} \times 100 \quad [2]$$

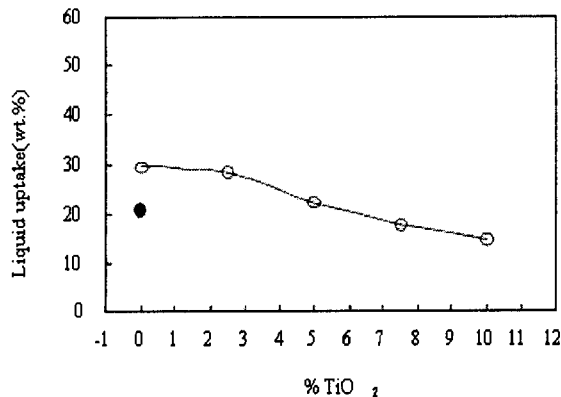


Fig. 3. Water swelling of PVdF/SPEEK composite membranes as a function of the TiO₂ weight percentage. (●) Nafion membrane (21.6%), (○) SPEEK/PVdF-TiO₂ composites

W_{wet} 과 W_{dry} 는 membrane의 건조전과 후의 무게이다.

Nafion의 swelling은 21.6wt.%이고 혼성membrane은 TiO₂가 0.0%일 때 29.47%에서 TiO₂의 함량이 증가함에 따라 비례적으로 감소하여 10.0%가 되었을 때 14.58%로 최저점을 나타내었다.

3.4. 메탄올 투과도

메탄올 투과도는 Fig. 4에서 보는바와 같이 TiO₂의 함량이 증가할수록 메탄올 투과도는 감소하는 경향을 나타낸다. 본 특성은 water swelling과 프로톤 전도도와 같이 비례적으로 감소하게 된다. 실온에서 $2.32 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ 의 Nafion® 115와 비교하면 $0.1.0 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s} \sim 3.33 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ 사이에서 나타나는 것으로 보아 메탄올 투과도에 대한 테스트는 더 효과적임을 나타내었다.

3.5. 프로톤 전도도

Fig. 5는 혼성 membrane에 TiO₂를 혼합시킨 효과를 보여준다. 프로톤 전도도는 TiO₂의 함량이 증가할 수록 기존의 고분자 전해 membrane으로서의 수치보다 적게 측정되었다. 이는 TiO₂의 함량이 증가 할수록 높은 저항을 받기 때문이다.

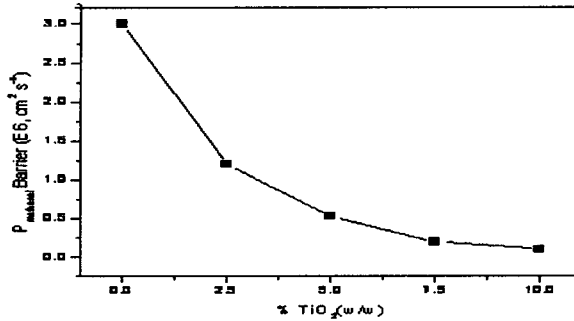


Fig. 4. Methanol permeability of PVdF/SPEEK composite membranes as a function of the TiO₂ weight percentage.

Table 1. Water Swelling and Methanol permeability of PVdF/SPEEK/TiO₂ hybrid membrane

TiO ₂ content (wt.%)	Water swelling (%) - Fig.3.	Methanol permeability (E6cm/s) - Fig.4.
0.0	29.47	3.00
2.5	28.21	1.20
5.0	22.27	0.52
7.5	17.77	0.19
10.0	14.58	0.10

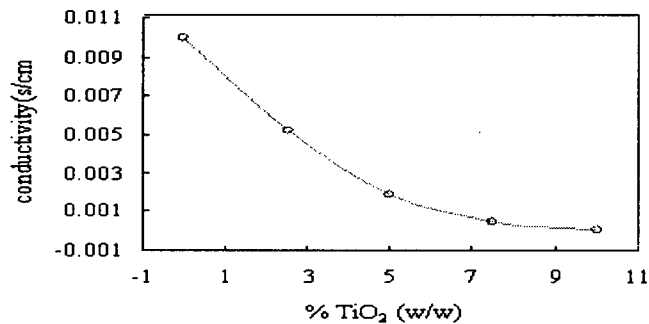


Fig. 5. Proton conductivity of PVdF/SPEEK composite membranes as a function of the TiO₂ weight percentage

4. 결 론

설폰화된 PEEK (sulfonated poly ether ether ketone)에 PVdF와 TiO₂ 첨가에 따른 water swelling과 methanol permeability의 특성을 조사하였다. TiO₂의 함량이 증가함에 따라 각각의 양도 비례적으로 감소함을 보였다. water swelling과 methanol permeability의 성능이 향상됨에 따라 DMFC의 고분자 전해 막으로의 사용은 유용할 것으로 보인다. 그러나 proton conductivity가 떨어지는 문제점은 TiO₂의 특성상 전도도가 낮으므로 낮은 전도성을 보전해주는 전도성 물질의 첨가가 필요할 것으로 보인다.

앞으로의 연구방향은 전도성을 향상 시킬 수 있는 물질을 찾거나 제조하는 것에 중점을 두어 더욱 효과적으로 DMFC용 membrane으로 사용 할 수 있도록 하는 것이 앞으로의 과제이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업 및 충북대학교 유비쿼터스 바이오 센터의 연구 결과로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] Hun Sang Cheon, Min Oh, and Seong Uk Hong, *J. Membrane* Vol.13, No.1 March, 47-53 2003
- [2] Jeongdon Kwon, Changjin Lee, Yongku Kang, *J. Korea Electrochemical Society* Vol. 7. No. 2. 89-93 2004
- [3] V.S. Siva, B. Ruffmann, H. Silva Y.A. Galleo, A. Menes, L.M Madeirab, S.P. Nues, *J. of Power Sources* 140 34-40 2005
- [4] M.H. Oh, Y.S. Yoon, S.G. Park *J. Electrochemica Acta* 50 777-780 2004
- [5] V. Baglio, A.S. Aricò, A. Di Blasi, V. Antonucci, P.L. Antonucci, S. Licoccia, E. Traversa and F. Serraino Fiory.

Electrochimica Acta, 50 1241.2005

[6] Lei Li, Li Xu and Yuxin Wang, *Mater. Lett.* 57, 1406. 2003

[7] Suzhen Ren, Chennan Li, Xinsheng Zhao, Zhimo Wu, Suli Wang, Gongquan Sun, Qin Xin and Xuefeng Yang, *J.Membr. Sci.*, 247, 59. 2005