

플라즈마 중합에 의해 제조된 복합막에 대한 O_2/N_2 의 기체투과 특성

현상원 · 정일현
단국대학교 화학공학과

The Permeation Characteristics of O_2/N_2 Gas for Composite Membrane Prepared by Plasma Polymerization

Sang-Won Hyun · Il-Hyun Jung

Department of Chemical Engineering, Dankook University, Seoul 140-714, Korea

Abstract

In this study, we prepared non-porous plasma membrane for having high permeability and selectivity and this membrane was deposited on the Al_2O_3 membrane by using CHF_3 & SiH_4 monomer. Also, we investigated for the permeation characteristics of the plasma polymer membrane by Ar plasma treatment. When the position of substrate was near cathode, the selectivity was increased with Ar plasma treatment time and rf-power. The pore size of Al_2O_3 membrane had an effect on the permeability and the position of substrate affected selectivity.

Key word: Plasma polymerization, Membrane, Permeability, Selectivity

I. 서론

인류가 생존하고 있는 지구상에 공기는 질소와 산소의 일정비율을 유지하며 모든 생명체에 대하여 가장 중요한 역할을 한다. 그러나 산업화 과정 중 일정 범위의 공간에서 발생하는 질소와 산소의 균형과괴는 생명체의 파멸을 초래할 수 있다. 산소부족으로 인한 생명의 위협은 의학적으로 과잉의 산소를 주입하여 생명을 소생시키거나 또는 심해의 잠수 활동 등 산소와 질소는 다양한 인간 복지를 추구할 수 있게 하였으나 인위적인 성공은 자연적인 성공으로 연결시키는데 많은 부작용을

초래하였다.

현재 국가에서는 지방의 산업육성을 위해 국가공단을 비롯한 지방자치의 중소규모 공단들이 많이 조성되어 경제적 성장을 이룰 수 있었다. 그러나 인구의 집중과 차량의 급증에 의한 대도시의 환경문제 이외에도 공단 인근지역에서의 오염물질 배출원 증가로 환경오염은 더욱 심화되고 있다. 또한 지하철, 지하상가 등 지하공간 이용률이 급증하면서 지하공간에서의 공기오염으로 인하여 지하공간에서 생활하는 사람들의 건강에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 인공적인 환기시설이나 배기 시설을 이용하여 어느 정도 실내공기를 유지하

고 있으나 지상에서 이미 오염된 공기의 유입으로 지하공간 내 공기 오염도는 계속 악화되고 있다.

공기 오염물질을 근본적으로 제거하는 방법 중 한가지는 반응연소로에서 안정성을 고려하여 과잉의 산소를 경제적으로 주입하는 방법으로 이는 근본적인 대기오염 중 분진오염 뿐만 아니라 맹독성·중금속 오염을 동시에 제거할 수 있는 방법이라 사료된다. 과잉산소를 주입하는 방법에는 여러가지가 있으나 막에 의해 공기에서 산소를 분리하는 방법은 막 제조기술과 함께 많은 연구가 이루어지고 있다.¹⁾

막을 이용한 분리법은 다른 기체분리공정에 비해 에너지 소비가 적고, 장치가 비교적 간단하며 운전이 용이하다. 또한 운전비용도 저렴하고, 운전조건의 변화에도 유연히 대응할 수 있으며, 분리시 상변화가 수반되지 않아 열에 불안정한 물질의 분리도 가능하다.^{2,3)}

현재 연구중이거나 상용화되고 있는 막을 이용한 기체 분리공정은 폐수처리 장치 등의 발효조와 매립지 등에서 발생하는 bio-gas로부터 발생하는 CO₂와 CH₄, H₂O와 Air, O₂와 N₂ 등을 분리하는 공정에 응용되고 있다. 산소와 질소의 분리는 내연기관, 소각로 뿐만 아니라 의학·군사용에서의 용용과 경제적 가치면에서 아주 중요하다. O₂/N₂ 분리는 분리막을 이용하여 산소를 선택적으로 투과시켜 산소의 함량을 높일 수 있고, 농축된 산소는 의학용, 발효, 양어용으로 이용될 수 있으며, 특히 상온·상압에서의 고성능의 분리막의 개발은 의학·군사용으로 가스 마스크 및 건물의 환기에도 사용할 수 있다.^{4,5)} 또한 내연기관, 난방용 보일러 및 소각 시스템 등에 응용함으로써 연소 효율을 증가시킬 수 있으며, 배기 가스중의 불완전 연소물인 일산화탄소와 미연소물인 미립자 배출을 줄일 수 있는 한편, 질소의 함량이 상대적으로 감소시킴으로써 공해 물질인 질소 산화물의 배출량도 감소시킬 수 있기 때문에 연소에 의한 공해도 낮출 수 있다.

지금까지 개발된 산소와 질소의 분리막으로 고분자막과 무기막이 있으며 최근 고분자막과 무기막의 장점을 갖는 복합막을 개발하기 위한 많은

연구가 진행되고 있다. 이러한 막 제조기술 중에서 플라즈마를 이용한 방법은 다양한 활성종의 형태로 막이 형성되므로 고분자막, 무기막 및 복합막(고분자막+무기막)을 제조할 수 있고, 일반적인 액상중합방법으로 중합할 수 없는 다양한 물질을 중합할 수 있다. 또한 단분자들 간의 가교화가 아닌 원자단위의 가교화가 이루어져 치밀한 조직을 가지며, 기질의 표면에 고분자들을 증착시킴으로써 투과도와 선택도를 동시에 향상시킬 수 있다.⁵⁻¹⁰⁾ O₂, N₂, NH₃와 같은 반응성 기체를 이용하여 플라즈마 처리시키면 플라즈마 내에 존재하는 이온들을 고분자표면에 직접 반응할 수 있으므로 기능기 뿐만 아니라 고분자막 표면의 절단, 용삭(ablation)과 가교를 일으켜 막의 성질을 변화시킬 수 있다. 이러한 막의 특성은 플라즈마 기체의 종류, 기질과 처리조건에 따라 상이한 결과를 나타낸다.¹¹⁻¹³⁾

본 연구에서는 공기 중의 질소와 산소를 분리하기 위하여 지지체로 다공성 무기물인 aluminum oxide에 rf-plasma로 고분자막을 중합시켰다. 질소와 산소의 분리는 분자량 크기가 비슷하여 무기막만으로 분리하는데 한계가 있으므로, 다공성 지지체에 선택성이 있는 기능기를 도입함으로써 산소를 용해·확산시켜 분리할 수 있다. 따라서 중합 기체인 플루오르 화합물과 실란을 이용하여 플라즈마 처리시간, 기관 위치에 따라 플라즈마 고분자막을 화학증착 시키고, 증착된 고분자 중합막에 Ar 기체로 표면을 처리한 후 상온·상압에서 O₂/N₂ 기체의 투과특성을 살펴보았다.

II. 실험

1. 실험장치

본 실험에서는 주파수가 13.56MHz인 rf-plasma 반응기로 최대 출력이 600W이고 rotary pump를 이용하여 압력을 10mTorr까지 유지할 수 있는 bell-jar형의 반응기를 사용하였다. 반응기의 재질은 스테인레스로써 직경이 29 cm, 높이가 24 cm이며 기관의 위치가 cathode로부터 2~8 cm가 되도록 조절할 수 있다. 또한 플라즈마 반사파의 증가

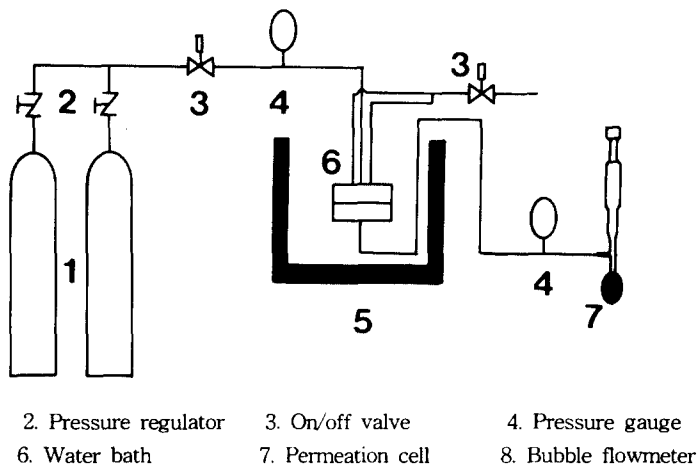


Fig. 1. Schematic diagram for experiment for gas permeation.

로 발생될 수 있는 재현성 문제를 방지하기 위하여 반사파의 세기는 5% 이내로 유지하였으며, 플라즈마 반응기내의 압력을 확인하기 위하여 con- vectron vacuum gauge(Granville-Phillips Co.)가 사용되었고, 기체의 유량은 MFC(mass flow con- troller, Hitachi co.)를 이용하여 조절하였다.

기체투과 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1.에 나타나는 바와 같이 상압으로 유지되는 투과부로 기체를 투과시키고, 투과부에 설치된 유량계를 사용해 투과된 기체의 양을 측정하는 방법인 가압법(variable volume method)이 이용되었다. 투과셀은 내부판(inlet plate)과 외부판(outlet plate)으로 구성되어 있으며, 막의 가장자리에 실리콘을 입혀서 막의 파손을 방지하고, 유입된 기체가 투과하는 셀의 유효단면적은 5cm²가 되도록 하였다. 고순도 산소와 질소는 압력 조절기로 조절하여 일정한 압력으로 유입하였다. 고압으로부터 유출된 기체는 투과셀 속의 막을 투과하여 상압상태의 투과부로 나오며, 투과된 기체의 양은 bubble 유량계(bubble flow meter)를 사용하여 측정하였다.

Al₂O₃ 막에 고분자막을 플라즈마 중합한 후 투과도는 투과셀 상·하단의 적용압력차이와 단면적, 투과되는 기체의 유량으로부터 계산하였으며, 선택도는 투과계수비인 이상분리인자(P_{O₂}/P_{N₂})를 이용하였다.¹⁴⁾ 투과기체의 측정은 정상상태에 도달하

도록 충분한 시간이 경과한 후에 수행하였다.

2. 실험방법 및 분석

본 연구에서는 분리막을 제조하기 위하여 기질의 온도를 50℃를 유지하고, rotary pump를 이용하여 반응기의 압력을 20 mTorr로 낮춘 후 반응기 내부에 남아있는 공기 및 수분을 제거하기 위하여 Ar 기체를 5분간 유입하였다. 반응기 상단으로부터 SiH₄(99.999%)를 주입하였고, 분사링을 통해 CHF₃(98%)를 분사하였으며, 반응기 압력 80 mTorr, 처리시간 60min, rf-power 120W에서 플라즈마 중합을 하였다. 위와 같은 실험 조건에서 중합된 고분자막을 Table 1에서와 같은 조건으로 Ar 기체로 플라즈마 표면처리를 수행하였다.

플라즈마 중합된 막의 표면에 대기중의 산소가 결합하여 carboxyl기가 도입되는것을 방지하기 위

Table 1. Typical experimental conditions of the plasma treatment

rf-plasma	120W
Treatment time	5 min
Gas flow rate	10 sccm
Pressure	80 mTorr
Substrate temperature	50℃
Plasma gas	Ar

하여 24시간 안에 분석을 수행하였다. 플라즈마 중합된 고분자막의 결합구조를 확인하기 위하여 FT-IR(fourier transform infrared spectroscopy, 8501, Shimadzu)분석을 수행하였으며, 플라즈마 중합된 막의 표면, 공극의 크기를 확인하기 위하여 SEM(scanning electron microscopy, Jeol, 5800)분석을 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

공기로부터 질소와 산소를 분리하는 공정에 이용되고 있는 고분자막은 구성하고 있는 기능기와 성분들의 조성비 등에 의해 분리효율이 결정된다. 이러한 기능기의 도입과 조성비 등은 플라즈마 중합공정에서 반응기에 유입되는 단량체의 양과 종류, 플라즈마 출력, 중합시간, 반응기내 압력, 지지체의 종류와 기공의 크기에 영향을 받는다. 플라즈마에 의해 단량체는 여러 형태의 활성종으로 기판에 증착하게 되어 다양한 기능기를 형성할 수 있으며, 기능기들은 선택적으로 기체를 투과시킬 수 있다. 따라서 투과기체에 대하여 선택성을 향상시킬 수 있는 플루오르기와 실리콘을 막 내에

동시에 고분자 중합시킴으로써 투과기체에 대한 투과성과 선택성을 동시에 향상시킬 수 있다.

Al_2O_3 기판 위에 CHF_3 과 SiH_4 단량체를 사용하여 플라즈마 변수에 따라 중합시킨 후 Ar의 유량 10sccm, rf-출력 120W인 조건에서 5분 동안 Ar으로 처리한 후 고분자막의 결합구조를 알아보기 위하여 KBr disc에 동일 조건에서 고분자막을 제조하여 FT-IR 분석을 한 결과 Fig. 2와 같이 나타났다. Fig. 2(a)와 (b)는 rf-출력 120W, 유량 16sccm인 조건에서 60분 동안 증착시킨 막과 rf-출력, 120W, 유량 10sccm인 조건에서 5분 동안 증착시킨 막의 결합구조를 나타내었다.

Fig. 2(a)와 같이 CHF_3 플라즈마 중합반응이 진행되는 동안 활성종들은 분해 및 재결합반응에 의해 $1150\sim 1250\text{ cm}^{-1}$ 에서 C-F_x, 1460 cm^{-1} , 1410 cm^{-1} 에서 CH_3 와 CH_2 의 결합모드를 나타내고 있으며, Fig. 2(b)에서는 CHF_3 와 SiH_4 플라즈마 중합에 의하여 실리콘이 결합하게 되어 1070 cm^{-1} 에서 Si-O, $810\sim 840\text{ cm}^{-1}$ 에서 Si-C, 870 cm^{-1} , 1250 cm^{-1} 에서 Si-F와 Si- CH_2 등과 같은 결합이 형성되었음을 확인할 수 있었다. 따라서 위에서 설명한 바와 같이 플라즈마는 다양한 활성종을 생성하

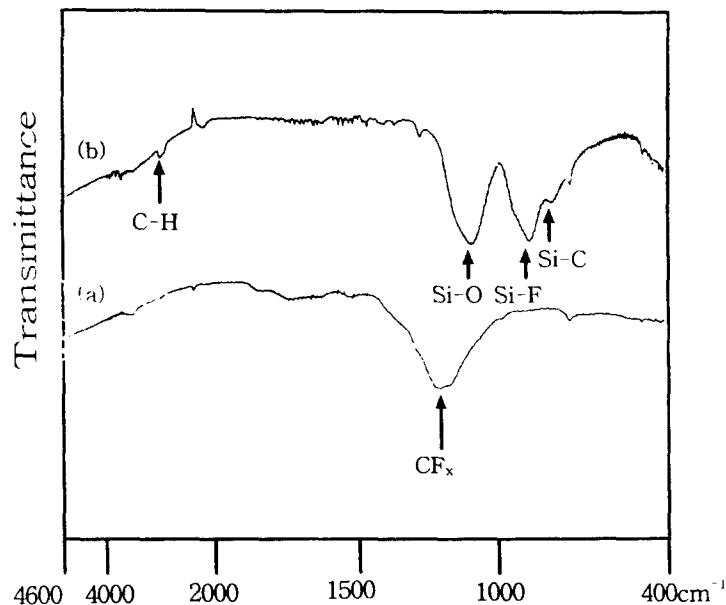


Fig. 2. FT-IR spectrum of (a) CHF_3 polymerization on KBr disc(120W, 60min, 16sccm) and (b) CHF_3 and SiH_4 polymerization on KBr disc(120W, 5min, 10sccm).

기 때문에 막을 구성하고 있는 물질들은 여러 형태의 결합이 이루어졌으며, 플루오르기와 실리콘이 함께 결합된 막이 형성되었음을 알 수 있었다. 또한 각 단량체를 이용하여 플라즈마 중합된 고분자막을 Ar 플라즈마로 처리한 경우 비활성 원소인 Ar은 반응에 관여하지 않으므로 구조변화에는 큰 변화가 없었다.

일반적으로 박막의 성장속도는 중합반응 이외의 반응에 의하여 중합속도와 일치하지 않으며, 스퍼터링과 화학적 식각반응에 의해 증착된 박막의 고분자 물질 일부가 분해·탈착되면서 막의 두께가 변하게 된다. 따라서 박막의 성장속도는 주로 고분자 중합 속도와 식각 속도에 의해 결정되고, 중합된 막을 플라즈마 기체로 처리할 경우 활

성종들에 의해 다양한 기능이 도입되거나 가교반응을 유도하여 막의 밀도가 증가하면서 기공의 크기를 줄일 수 있으며 식각에 의해 막의 표면조도는 저하될 수 있다.

Fig. 3 (a), (b)와 (c), (d)는 평균 기공크기가 0.2 μ m인 Al₂O₃ 기질과 그 위에 CHF₃ 플라즈마 고분자 중합된 막의 표면과 단면을 SEM 분석에 의해 나타내었다. Fig. 3 (a), (b)와 같이 Al₂O₃ 기질은 다공성임을 알 수 있으며, (c)와 (d)에서는 플라즈마 고분자 중합 후 기질의 두께는 0.9 μ m 정도이고, 막의 표면은 다양한 기능기의 도입으로 막의 밀도가 증가하여 비 다공성임을 확인할 수 있었으며 표면의 조도는 거칠게 나타났다.

Fig. 2와 Fig. 3에서 설명한 바와 같이 플라즈

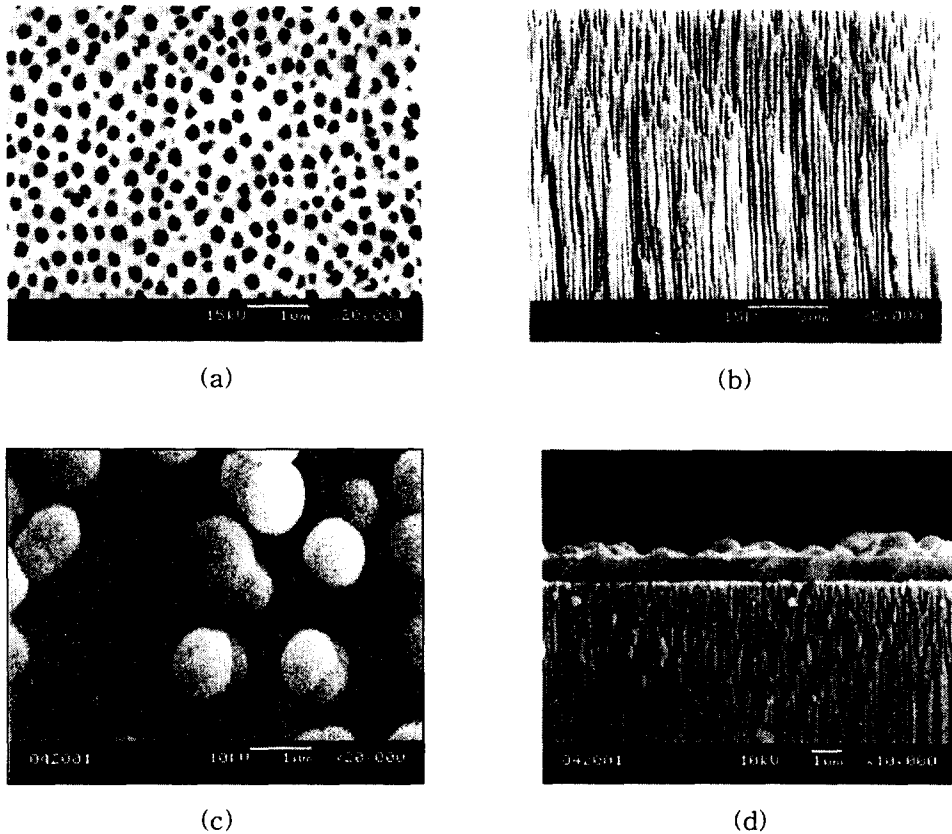


Fig. 3. SEM micrography of the CHF₃ plasma polymerized composite membrane (a) Al₂O₃ surface, (b) Al₂O₃ cross-section, (c) polymerized surface, and (d) polymerized cross-section.

마 고분자중합에 의해 여러 형태의 기능이기가 도입되면서 막의 밀도를 증가시켜 다공성인 Al_2O_3 기질을 고분자막과 무기막의 특성을 갖는 비다공성 복합막이 형성되었음을 알 수 있었다. 플루오르기와 실리콘이 결합된 막은 투과성과 선택성에 영향을 줄 것으로 사료되며, 투과도와 선택도를 계산하여 최적조건을 규명한 후 Ar 플라즈마 전·후의 특성을 비교하였다.

Fig. 4.는 CHF_3 단량체의 유량 16sccm, rf-power 120W, 증착시간 60min, 기판의 위치가 cathode로부터 2cm인 조건에서 CHF_3 플라즈마에 의해 막을 제조한 후 Ar 유량 10sccm, rf-power 120W에서 처리시간에 따라 표면개질된 CHF_3 플라즈마 고분자 복합막에서의 산소 투과도와 O_2/N_2 기체의 선택도를 나타내었다. Ar 플라즈마 처리 전에 고분자 복합막의 산소 투과도는 $2.03 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}$ 로 적은 값을 갖지만, 질소에 대한 산소의 선택도는 3.49로 높게 나타났다.

높은 에너지를 갖는 Ar 플라즈마에 의해 고분자 표면에 활성 라디칼을 형성하고, 서로 근접해 있는 활성 라디칼 또는 기상에 존재하는 활성종들과 재결합하여 가교반응에 의해 치밀한 막이 형성되므로 유연성이 감소하게 되어 투과도는 감소하였지만, CHF_3 플라즈마로부터 유입된 플루오르기에 의해 선택도는 증가하였다. 중합된 CHF_3 플라즈마 고분자 복합막은 Ar 플라즈마 처리시간 5분

까지는 투과도가 감소하고 선택도가 증가하였다. 또한 Ar 플라즈마로 5분 이상 처리하였을 경우 투과도가 일정하게 수렴하고, 선택도가 최대로 나타났으므로 본 실험에서 플라즈마 고분자막을 중합시킨 후 Ar 플라즈마로 5분 이상 처리하는 것이 최적조건임을 알 수 있었다.

Fig. 4.에서 확인된 바와 같이 Ar 플라즈마로 5분 처리하였을 때 선택도와 투과도가 일정하게 수렴하는 최적조건에서 rf-출력에 따라 CHF_3 플라즈마 고분자 복합막을 표면 처리한 후 산소에 대한 투과도와 O_2/N_2 기체의 선택도를 계산하여 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5와 같이 출력이 증가할수록 산소의 투과도는 감소하여 120-200W일 때 약 $17.09 \times 10^{-5} - 17.15 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}$ 의 값을 가지며, 질소에 대한 산소의 선택도는 3.49에서 3.87의 값을 갖는다.

rf-출력의 증가는 플라즈마 내의 전자 에너지와 그 밀도를 증가시키고 반응성이 높은 활성종의 수가 증가하여 기질의 표면에 플라즈마 중합을 위한 활성점들을 증가시키기 때문에 중합반응과정에서 플루오르기가 유입되고, 막의 밀도가 증가하면서 유연성이 감소하게 되므로 산소의 투과도는 출력이 증가할수록 감소하며, 질소에 대한 산소의 선택도는 증가하였다. 특히 Ar과 같은 불활성 기체를 플라즈마로 사용할 경우 중합된 고분자 표면을 가교시켜 분자쇄의 운동을 제한하고 비교적 큰 분

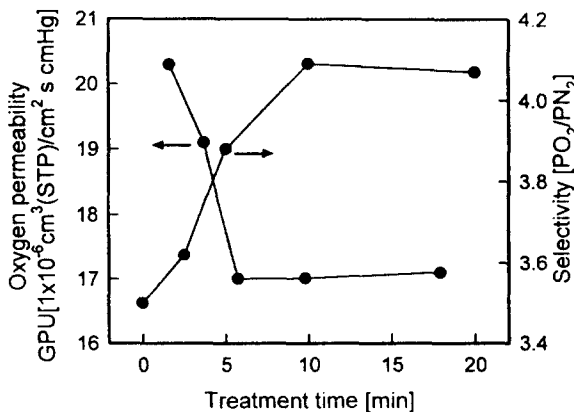


Fig. 4. Treatment time dependence of gas permeation of oxygen and nitrogen on composite membranes by the plasma polymer of CHF_3 (120 W, 10sccm).

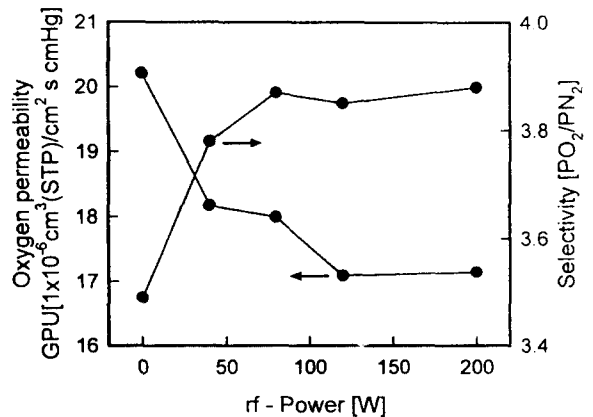


Fig. 5. rf-Power dependence of gas permeation of oxygen and nitrogen on composite membranes by the plasma polymer of CHF_3 (5 min, 10sccm).

자쇄 간극을 축소시키므로 큰 분자의 확산을 방지하여 선택도는 크게 증가하고 투과속도는 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 6.은 CHF₃ 단량체 유량 16sccm, rf-power 120W, 증착시간 60min, 기관의 위치가 cathode로부터 8cm인 조건에서 기공의 크기가 0.2 μ m인 Al₂O₃에 CHF₃ 플라즈마 중합된 막을 Ar 플라즈마로 처리한 전·후의 투과도와 선택도를 비교하였으며, 투과셀 내의 온도변화에 따른 산소의 투과도와 선택도를 조사하였다. 모든 실험 조건에서 압력에 따라 산소의 투과속도가 증가함을 알 수 있었으며, Fig. 6(a)에서 선택도는 293K-303K에서 투과압력의 증가에 따라 감소하다가 1.0kgf/cm²에서부터 미소하게 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 313K-333K에서는 압력에 따라 선택도가 증가하였다. Fig. 6(b)에서 Ar 처리를 하면 (a)보다 산소의 투과속도가 높게 나타났으나 선택도에서는 큰 변화가 없었다. Ar 플라즈마에 의해 플라즈마 고분자 표면이 화학적 식각을 일으키므로 인해서 산소의 기체 투과 속도는 증가하는 경향을 나타내었지만, 유입된 플루오르기에 의해 질소에 대한

산소의 선택도는 변화가 없었음을 알 수 있었다.

Fig. 7.은 CHF₃ 단량체의 유량 12sccm, SiH₄ 단량체의 유량 4sccm, rf-출력 120W, 증착시간 60min, 기관의 위치가 cathode로부터 8cm인 조건에서 기공의 크기가 0.2 μ m인 Al₂O₃에 CHF₃ 플라즈마 중합된 막을 Ar 플라즈마로 처리한 전·후의 투과도와 선택도를 비교하였으며, 투과셀 내의 온도변화에 따른 산소의 투과도와 선택도를 나타내었다. 산소에 대한 투과는 온도에 상관없이 증가하였으나 Fig. 6.에서 Al₂O₃ 기질에 CHF₃ 플라즈마로 중합한 막의 투과도와 비교했을 때 2배 이상 낮게 나타났으며, SiH₄의 도입으로 기체의 투과도는 낮아졌다. 또한 질소에 대한 산소의 선택도는 거의 변화가 없었으며, 기관과 cathode와의 거리가 멀기 때문에 중합된 고분자막 내에 CHF₃ 단량체로부터 도입되는 F-이 기관에 도달하기 전에 기상에서 재결합이 이루어져 증착된 막의 F-농도가 감소하여 질소와 산소를 분리하는데 선택성이 한정되고, 적은 양의 SiH₄는 선택성에 영향을 미치지 못하였다.

동일한 기공크기를 갖는 기질에 CHF₃ 플라즈

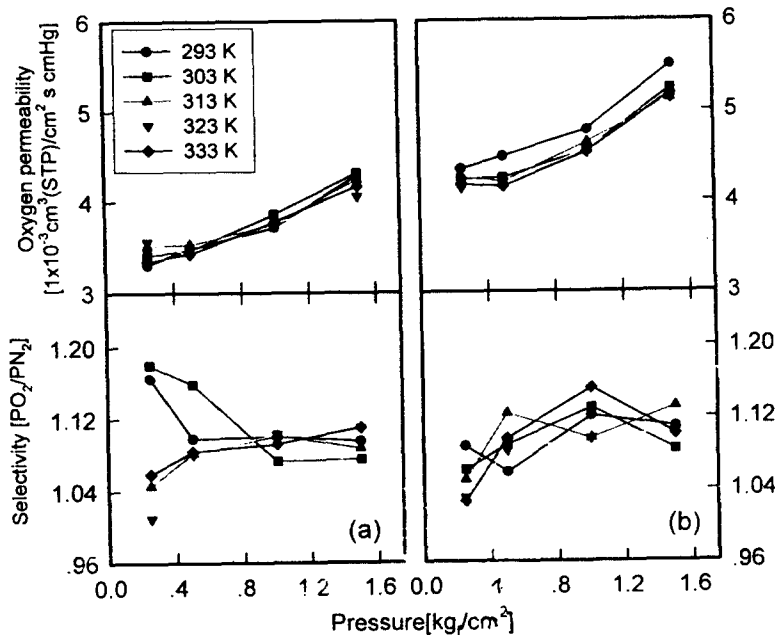


Fig. 6. Pressure dependence of oxygen permeability and selectivity at each temperature on 0.2 μ m Substrate; (a) CHF₃ plasma polymerization(120W, 60min, 16sccm), and (b) Ar treatment (120W, 5min, 10sccm).

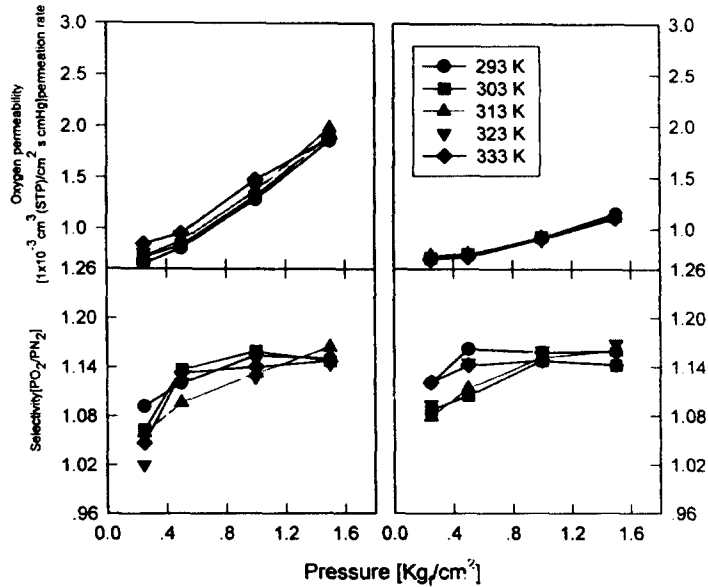


Fig. 7. Pressure dependence of oxygen permeability and selectivity at each temperature on 0.2 μm Substrate ; (a) CHF_3 & SiH_4 plasma polymerization(120W, 60min, $\text{CHF}_3/\text{SiH}_4 = 12/4$ sccm), and (b) Ar treatment(120W, 5min, 10sccm).

마 고분자막을 중합시켰을 때 투과속도와 선택도는 실험조건에 영향을 받을 수 있다. 특히 동일한 기공크기를 갖는 기질에 기관의 위치를 변화시켜 중합시킨 Fig. 4. 5와 Fig. 7.의 투과도와 선택도를 비교하였을 때, 기관이 cathode에 근접해있는 조건에서는 CHF_3 단량체가 기상에서 이온화되어 전위차에 의해 F-이 기관으로 많이 도입되므로 상대적으로 막의 F- 농도가 증가하여 선택도를 향상시킨다는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

질소와 산소의 분리는 고분자막 표면에 기능기를 도입시켜 비다공성 막에 용해시킴으로써 효율적으로 분리시킬 수 있다. 따라서 산소와 질소에 대한 선택성과 투과율을 향상시킬 수 있는 플루오르 계열의 화합물인 CHF_3 단량체를 사용하여 Al_2O_3 기질에 기관의 위치 변화에 따른 플라즈마 고분자 복합막을 제조하고 Ar 플라즈마 처리 전·후 투과실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CHF_3 플라즈마로 중합된 고분자막의 표면 morphology는 비다공성으로 나타났으나 중합된 고분자막을 Ar 플라즈마로 처리하였을 때 막 표면에서 식각 현상과 가교반응에 의해 표면 조도는 거칠게 나타났다.
2. 기관과 cathode가 근접한 위치에서 중합된 고분자막을 Ar 플라즈마의 처리 시간과 rf-출력에 따라 표면 처리하였을 때 질소에 대한 산소의 선택도는 크게 향상되었으나, 표면 처리 시간과 rf-출력의 증가할수록 막 표면에 가교 반응을 유도시킴으로써 치밀한 막이 형성되기 때문에 투과도는 저하됨을 확인할 수 있었다.
3. SiH_4 를 이용하여 제조된 막은 투과도와 질소에 대한 산소의 선택도에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났다.
4. 기관의 위치를 변화시켜 중합시킨 플라즈마 고분자막의 투과도와 선택도는 기상에서 이온화된 F-이 전위차에 의해 기관으로 많이 도입되므로 기관의 위치가 cathode에 근접한 조건에서 선택도를 향상시킬 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 단국대학교 대학연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Russel F. G. : Hydrocarbon Processing, Aug., 55, 1983.
2. Spillman R. W. : Chem. Eng. Prog., Jan., 41, 1989.
3. Ward III W. J. : Membrane Gas Separation-Why and How, 389, 1986.
4. Kimura S. G. and Browall W. R. : J. Mem. Sci., 29, 69, 1986.
5. Winston ho W. S. and Sirker K. : Membrane Handbook, Van Nostrand Reinhold, 1992.
6. Saracco G. S. and Specchia V. : Catal. Rev.-Sci. Eng., 36, 305, 1994.
7. Armor J. N. : Appl. Catal., 49, 1, 1989.
8. Yasuda H. : Plasma Polymerization. Academic Press, Inc., 1995.
9. Kramer P. W., Yeh Y. S. and Yasuda H. K. : J. Mem. Sci., 46, 1, 1989.
10. Hozumi K., Kitamura K. and Kitade T. : Chem. Soc. Jpn., 54, 1392, 1981.
11. Chang F. Y., Shen M. and Bell A. T. : J. Appl. Polym. Sci., 17, 2915, 1973.
12. Matsuyama H., Shiraishi T. and Teramoto M. : J. Appl. Polym. Sci., 54, 1665, 1994.
13. Kramer P. W., Yeh Y. S. and Yasuda H. : J. Mem. Sci., 86, 1, 1989.
14. Chen S. H., Chuang W. H., Wang A. A., Ruaan R. C. and Lai J. Y. : J. Mem. Sci. 124, 273, 1997.