

## Polydimethylsiloxane 가공 Polypropylene막에서의 기체투과 및 혈액적합성

o김기범, \*이삼철, 정경락  
전북대학교 공과대학 화학공학부  
\*한려대학교 석유화학공학과

Gas Permeability and Blood Compatibility in Polydimethylsiloxane  
Polypropylene Combined Membrane

oK. B. Kim, \*S. C. Lee, and G. R. Jheong

School of Chemical Engineering and Technology, College of Engineering, Chonbuk National University

\*Department of Petrochemical Engineering, Hanlyo University

## ABSTRACT

The purpose of this paper is the evaluation of a permeability and blood compatibility for silicone/polypropylene combined membrane.

Despite the overall good performances of polypropylene membrane, its long-lasting usage for artificial lung has been limited by serum leakage. In order to overcome this problem, we have newly fabricated polydimethylsiloxane(silicone)/polypropylene combined membrane(SPCM).

SPCM has been proved to be serum leakage free in hours experimental. It has shown good long-lasting gas transfer and durability features.

## 서 론

막형 폐는 막을 통하여 혈액과 가스 사이에 산소와 이산화탄소의 교환을 행하는 장치이다. 막 재료로는 silicone rubber, porous polypropylene, microporous teflon등이 이용되고 있으며, 가스 투과율이 높은 silicone과 polycarbonate와의 공중합체에 의한 막 등이 있다. 한편 polypropylene, teflon, silicone cellulose, polysulfone 등의 소수성 고분자인 porous membrane의 사용도 널리 시도되었다. 그러나 최근 널리 사용되고 있는 microporous polypropylene membrane은 세공이 있기 때문에 혈액과 접촉할 때 serum leakage의 문제가 있고 이러한 serum leakage는 가스 교환 성능을 현저하게 저하시키기 때문에 임상응용에 큰 문제로 되고 있다.

본 연구에서는 polypropylene(PP) 등과 같은 microporous membrane에서 유발되는 막오염을 방지하고 혈액적합성을 향상시키기 위하여 PP막을 지지체로 하고 혈액적합성이 우수하며 기체투과성이 양호한 polydimethylsiloxane(PDMS)을 적층한 복합막을 제조하고 기체투과성과 혈액적합성을 평가하였다.

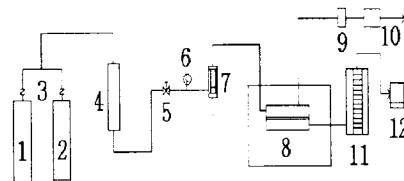
## 실험 방법

## 1. PP/PDMS 적층막의 제조

Polypropylene(대림화학(주) PP-124)을 xylene으로 녹여 저농도의 혼합용액에서 25 $\mu$ m의 polypropylene(PP)막을 제조한다. 그리고 제조된 PP막에 n-pentane을 용매로 하여 polydimethylsiloxane(Aldrich사)을 녹여 제조된 PP평막에 적층하였다. 이 때의 막의 두께는 30 $\mu$ m로 하였다.

## 2. 기체투과특성 측정

제조한 membrane의 기체투과계수를 측정하기 위한 장치는 Figure 1에 나타내었다.



1. Oxygen cylinder 7. Rotamer  
2. Nitrogen cylinder 8. Permeation cell  
3. Pressure regulator 9. Back pressure regulator  
4. Gas filler 10. Wet test meter  
5. Needle valve 11. Soap flow meter  
6. Pressure gauge 12. O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> analyzer

Figure 1. Schematic diagram of experimental apparatus for determination of gas permeability.

## 3. 혈액적합성평가

실험이 용이한 체외 측정법인 In vitro평가법을 이용하였으며 이 방법중 whole blood 응고의 관찰은 Imai-Nose법[1]과 Lee-White법[2]으로 수행하였으며, 혈장단백질과의 상호작용의 조사는 칼슘재침가실험법(PRT)[1]으로 수행하였다. 그리고 응고인자 활성화의 조사방법은 내인계 응고인자 활성화 조사방법인 activated partial thromboplastin time(APTT)법[3]으로 수행하였다.

실험 결과

1. 막의 구조 및 기체투과특성

제조된 PP막과 PDMS/PP막(SPCM)의 두께는  $\alpha$ -STEP을 이용하여 측정하였다. 그리고 막의 구조는 SEM사진으로 판정하였다(Figure 2, 3).

PP막에서의 두께는  $25\mu\text{m}$ , 기체투과계수는 SEM사진에서와 같이 다공성의 구조이므로 Knudsen flow[4] 이론에 의하여  $7.8 \times 10^{-6}(\text{ml}(\text{STP})/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{mmHg})$ 이었으며 SPCM에서의 두께는  $30\mu\text{m}$ , 기체투과계수는 SEM사진에서와 같이 비공성의 구조이므로 solution - diffusion model[5]에 의하여  $7.34 \times 10^{-6}(\text{ml}(\text{STP})/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{mmHg})$ 이었다. 여기서 SPCM이 PP막보다 기체투과계수가 다소 적었는데, 그 이유는 PP막의 미세한 기공을 PDMS가 막고 있기 때문이라고 생각된다.

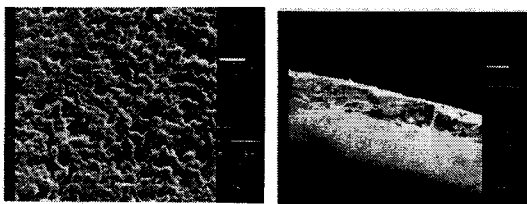


Figure 2. Scanning SEM photograph of the surface of polypropylene membrane.

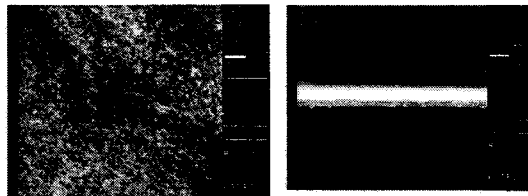


Figure 3. Scanning SEM photograph of the surface of SPCM

2. 혈액적합성

Imai-Nose 평가법으로 측정한 결과는 Figure 4(a)와 같다. 혈액을 고분자 표면에 일정시간 접촉시킨 후 혈전의 무게를 측정하는 방법으로 생성된 혈전의 무게가 적을수록 항혈전성이 양호함을 의미하는데 항혈전성이 SPCM>PP>Glass임을 알 수 있었다.

Lee-White평가법으로 측정한 결과는 Figure 4(b)와 같다. 순수한 혈액을 인공계면과 접촉시킨 후 혈액의 유동성을 관찰하여 완전히 응고될 때까지의 시간을 측정하는 방법으로 혈액응고 시간이 길수록 혈액적합성이 양호함을 의미하는데 SPCM>PP>Glass임을 알 수 있었다.

Table 1(a)은 칼슘재침가시간 측정방법으로 혈액을 원심 분리하여 얻은 혈장단백질을 인공계면과 접촉시키고 칼슘용액을 첨가하여 피브린이 형성될 때까지의 시간을 측정한 결과이다. 이 때 측정된 시간이 길수록 혈액적합성이 양호함을 의미하는데 SPCM>PP>Glass임을 알 수 있었다.

Table 1(b)는 partial thromboplastin time(APTT) 측정결과이다. 내인성 프로트롬빈 활성화인자의 활성화 정도를 측정하는 방법으로 칼슘용액을 넣고 난 후부터 혈장의 응고가 일어날 때까지의 시간을 측정하여 응고인자들의 활성화 정도를 알아보는데 APTT시간이 길수록 내인계응고인자의 어느 것이 감소하고 있는 것을 의미한다. PDMS의 경우 혈액응고

인자 중 factor 12(hageman factor)의 활성화를 억제하는 것으로 설명하고 있는데 SPCM>PP>Glass임을 알 수 있었다.

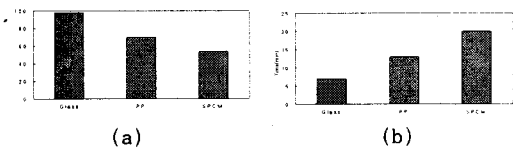


Figure. 4(a) Thrombus formation on SPCM for 20min incubation measured by the Imai-Nose method.

(b) Whole blood clotting time on SPCM measured by Lee and White method.

Sample	Time(sec)	Sample	Time(sec)
Glass	300 ± 20	Glass	28 ± 4
PP	580 ± 32	PP	30 ± 2
SPCM	650 ± 21	SPCM	32 ± 1

(a)

(b)

Table 1(a) Plasma recalcification time(PRT) of PP and PDMS.

(b) Activated partial thromboplastin time(APTT) of PP and SPCM.

결론

PP막의 기체투과계수는  $7.8 \times 10^{-6}(\text{ml}(\text{STP})/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{mmHg})$ , 막의 두께는  $25\mu\text{m}$ 이었으며 SPCM의 투과계수는  $7.34 \times 10^{-6}(\text{ml}(\text{STP})/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{mmHg})$ , 막의 두께는  $30\mu\text{m}$ 이었다. 기체투과 실험에 있어서 SPCM이 PP보다 다소 떨어졌으나 PP막의 미세한 기공에서 일어나는 serum leakage를 PDMS가 방지하기 때문에 serum leakage의 문제는 해결할 수 있었다. 또한 혈액적합성평가에 있어서 PP막보다는 SPCM이 더 양호한 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. Y. Imai and Y. Nose, J. Biomed. Mater. Res., 6, 165, 1972.
2. R. L. Lee and P. D. White, J. Am. Med. Sci., 145, 495, 1913.
3. D.K.Han, S.Y.Jeong, Y.H.Kim, J. Biomed. Mater. Res.: Applied Biomaterials, 23, 1989.
4. Marcel Mulder, Basic Principles of Membrane Technology, 2nd, K.A., Boston, 1996.
5. R.E.Kesting and A.F.Frizzsche, Polymric gas separation membrane, 1993.