

파울링 현상 억제를 위한 PES-Lignin 혈액투석막 제조 및 성능 평가

송은찬*, 손형준*, 이경태*, 홍영기*

*건양대학교 의료신소재학과

ymhong@konyang.ac.kr

Preparation and Characterization of PES-Lignin Hemodialysis Membranes for Fouling Mitigation

Eun-Chan Song*, Hyeong-Jun Son*, Gyeong-Tae Lee*, Yung-Ki Hong*

*Dept. of Biomedical Materials, Konyang University

요약

본 논문에서는 혈액투석막의 소수성으로 인한 단백질 흡착과 파울링 문제를 개선하고자 수행되었다. 폴리에테르설폰(PES)에 친수성 고분자인 Lignin을 첨가하여 비용매 유도 상전이법으로 혈액투석막을 제작하였다. PES-Lignin Membranes는 FT-IR, 접촉각 분석을 통해 구조적·화학적 특성을 확인하였다. 그 결과, Lignin의 함량에 따라 막의 친수성이 변화하였으며, 특히 2.0 wt%에서 가장 우수한 친수성을 나타내어 혈액투석막의 성능 향상에 효과적인 첨가 비율임을 확인하였다.

1. 서론

혈액투석은 신부전 환자의 생명을 유지하는 대표적인 신체 요법으로, 혈액 내 노폐물과 독성 물질을 선택적으로 제거하는 투석막의 성능에 크게 의존한다[1,2]. 현재 상용화된 혈액투석막은 주로 셀룰로오스계, 폴리설폰계, 폴리에테르설폰 (Polyethersulfone, PES) 계열의 합성 고분자를 기반으로 제작된다. 이 중 PES는 우수한 기계적 강도, 화학적 안정성, 넓은 pH 안정성 및 가공 용이성으로 인해 널리 사용되고 있다[3].

PES는 소수성 소재로 혈액 투석 시 혈액 내 단백질 흡착과 세포·미생물 부착을 유발하는 파울링(Fouling) 문제가 빈번히 발생한다. 파울링 발생 시 혈액투석막의 기공이 막히게 되어 투과 성능이 저하되는 문제가 있다[4].

이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 친수성 고분자 (Polyvinylpyrrolidone, Polyethylene glycol 등)가 도입되어 왔으나, 친수성 고분자의 용출 현상으로 인해 장기 사용에 대한 안정성이 떨어지는 단점이 보고되었다[5].

Lignin은 목질계 바이오매스에서 추출되는 천연 고분자로, 폐놀성 하이드록실기와 카복실기 같은 다수의 친수성 작

용기를 보유하고 있다[6]. 이러한 구조적 특성은 고분자 매트릭스에 혼합 시 막의 표면 친수성을 향상시키고 항산화 활성을 부여할 수 있어, 혈액투석막의 성능 개선에 적합한 후보 물질로 주목받고 있다[7].

본 연구에서는 PES를 기반으로 한 혈액투석막에 Lignin 함량을 달리하여 제작하고, 구조적 특성 및 투과 성능, 단백질 흡착 억제 효과를 평가하였다. 이를 통해 PES-Lignin Membranes의 혈액투석막 적용 가능성을 확인하고, 향후 지속 가능한 고성능 투석막 개발에 기여하고자 한다.

2. 실험 및 방법

2.1 사용 시약

혈액투석막 제조에 사용된 고분자인 Polyethersulfone (PES)은 분자량 58,000으로 Goodfellow에서 구입하여 사용하였다. 용매인 N,N-dimethylacetamide (DMAc, 99.5%)는 Samchun에서 구매하였으며, Lignin은 Dealkaline Lignin으로 TCI에서 구입하여 사용하였다.

2.2 PES-Lignin Membranes 제조 방법

본 연구에서 사용된 PES-Lignin Membranes은 비용매

유도 상전이법(Non-Solvent Induced Phase Separation, NIPS)으로 제조되었다. PES와 Lignin을 표1에 제시된 조성에 따라 DMAc에 25 °C 조건에서 80 rpm으로 24시간 교반하여 균일하게 용해시켰다. 준비된 도프(dope) 용액은 캐스팅 나이프를 이용해 150 μm 두께로 캐스팅한 후 D.W에 담가 상전이를 유도하였다. 잔류 용매 제거를 위해 D.W로 세척한 후, 건조 과정을 거쳐 Lignin 함량에 따른 PES–Lignin Membranes을 확보하였다.

[표 1] Lignin 함량에 따른 PES–Lignin Membranes 용액 조성

Sample name	PES (wt%)	DMAc (wt%)	Dealkaline Lignin (wt%)
L0	18	82	0
L0.5	18	81.5	0.5
L1.0	18	81.0	1.0
L1.5	18	80.5	1.5
L2.0	18	80.0	2.0
L2.5	18	79.5	2.5
L3.0	18	79.0	3.0

3. 결과 및 고찰

3.1 PES–Lignin Membranes FT–IR 결과

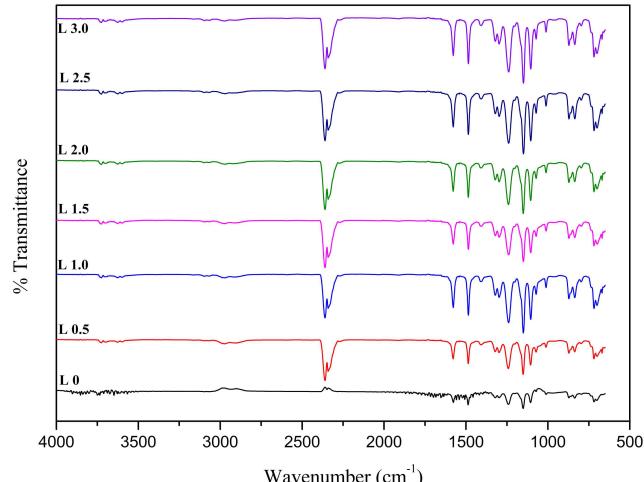
Lignin 함량에 따른 PES–Lignin Membranes의 FT–IR 측정 결과를 그림 1과 그림 2에 나타내었다.

그림 1은 PES, Lignin 및 DMAc의 FT–IR 스펙트럼을 나타낸 것이다. PES에서는 2987 cm^{-1} 부근의 C–H stretching, 1574 cm^{-1} 의 아릴 고리 진동, 1066 cm^{-1} 의 O=S=O stretching 피크가 확인되었다. Lignin은 3725 cm^{-1} 의 O–H stretching, 2932 cm^{-1} 의 C–H stretching, 1630 cm^{-1} 의 C=O stretching, 1186 cm^{-1} 와 1011 cm^{-1} 에서 C–O stretching 피크가 관찰되어 페놀성 하이드록실기와 방향족 구조를 확인하였다. DMAc에서는 2932 cm^{-1} 의 C–H stretching, 1630 cm^{-1} 의 C=C stretching, 1393 cm^{-1} 의 O–H bending 피크 부근에서 흡수 피크가 나타났으며, 이후 제작된 PES–Lignin Membranes의 잔류 용매 여부를 판단할 수 있는 기준이 된다.

그림 2는 Lignin 함량(0~3 wt%)에 따른 PES–Lignin Membranes의 FT–IR 스펙트럼을 나타낸 것이다. 모든 샘플에서 PES의 O=S=O stretching 피크가 확인되었다. 또한 Lignin 함량이 증가할수록 3800~3700 cm^{-1} 부근의 O–H stretching 피크가 나타나, Lignin의 도입이 이루어졌음을 확인하였다. DMAc에서 관찰된 2932 cm^{-1} , 1630 cm^{-1} ,

1393 cm^{-1} 부근의 피크는 제작된 막에서 확인되지 않았으며, 이는 비용매 유도 상전이법 과정과 이후의 세척 및 건조 단계를 통해 용매가 제거되었음을 의미한다.

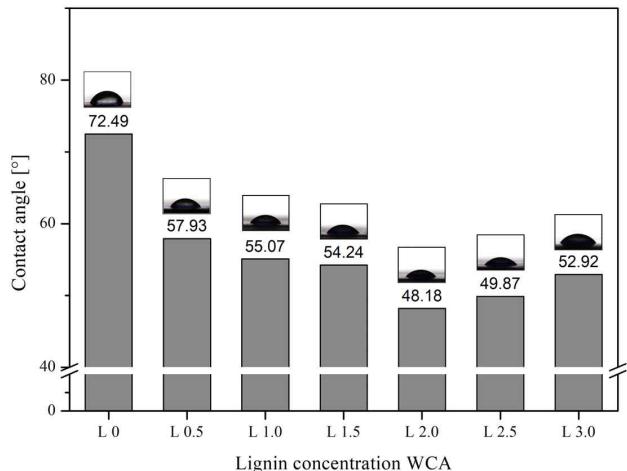
[그림 1] PES, Lignin, DMAc의 FT–IR 분석 결과.



[그림 2] Lignin 함량(0~3 wt%)에 따른 PES–Lignin Membranes의 FT–IR 분석 결과.

3.2 PES–Lignin Membranes 접촉각 결과

그림 3은 Lignin 함량에 따른 PES–Lignin Membranes의 접촉각(WCA) 변화를 나타내었다. L0은 72.49 °, L0.5는 57.93 °, L1.0은 55.07 °, L1.5는 54.24 °, L2.0은 48.18 °, L2.5는 49.87 °, L3.0은 52.98 °으로 측정되었다. L2.0에서 가장 낮은 접촉각을 나타내어 친수성이 크게 향상되었음을 확인하였다. Lignin 내 수산기와 카복실기 등 친수성 작용기가 막 표면에 도입되어 극성이 증가한 결과로 해석된다. 그러나 Lignin 함량이 2.5 wt% 이상 시 접촉각이 소폭 상승하여, 이는 과도한 Lignin 첨가가 막 표면의 불균일성을 유발할 수 있음을 보여준다.



[그림 3] Lignin 함량에 따른 PES-Lignin Membranes의 접촉각 변화.

4. 결론

본 연구에서는 PES의 소수성으로 인한 단백질 흡착 및 파울링 문제를 개선하기 위하여 친수성 고분자인 Lignin을 첨가한 혈액투석막을 제작하였다. FT-IR 분석 결과, Lignin의 친수성 작용기가 막 표면에 도입되었음을 확인하였으며, 접촉각 측정에서는 Lignin 첨가로 인해 막의 친수성이 향상되는 경향을 보였다. 또한 DMAc의 특유 피크가 최종 막에서는 거의 관찰되지 않아, 세척 및 건조 과정을 통해 잔류 용매가 효과적으로 제거되었음을 확인하였다. Lignin의 함량에 따라 막의 친수성이 변화하였으며, 특히 2.0 wt%에서 가장 우수한 친수성을 나타내어 혈액투석막의 성능 향상에 효과적인 첨가 비율임을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Liyanage, T., Ninomiya, T., Jha, V., Neal, B., Patrice, H. M., Okpechi, I., ... & Perkovic, V. (2015). Worldwide access to treatment for end-stage kidney disease: a systematic review. *The Lancet*, 385(9981), 1975–1982.
- [2] Ronco, C., & Clark, W. R. (2018). Haemodialysis membranes. *Nature Reviews Nephrology*, 14(6), 394–410.
- [3] Wang, Y., Zhang, P., & Wang, J. (2017). Polyethersulfone (PES) membrane in hemodialysis application. *Membranes*, 7(2), 16.
- [4] Susanto, H., & Ulbricht, M. (2009). Characteristics, performance and stability of

polyethersulfone ultrafiltration membranes prepared by phase separation method. *Journal of Membrane Science*, 327(1–2), 125–135.

- [5] Shi, X., Tal, G., Hankins, N. P., & Gitis, V. (2014). Fouling and cleaning of ultrafiltration membranes: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 1, 121–138.
- [6] Doherty, W. O., Mousavioun, P., & Fellows, C. M. (2011). Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 259–276.
- [7] Zhang, X., Xiao, G., Wang, Y., & Liu, Q. (2019). Lignin-based materials for hemodialysis membranes: Preparation, properties and prospects. *Journal of Membrane Science*, 574, 123–135.