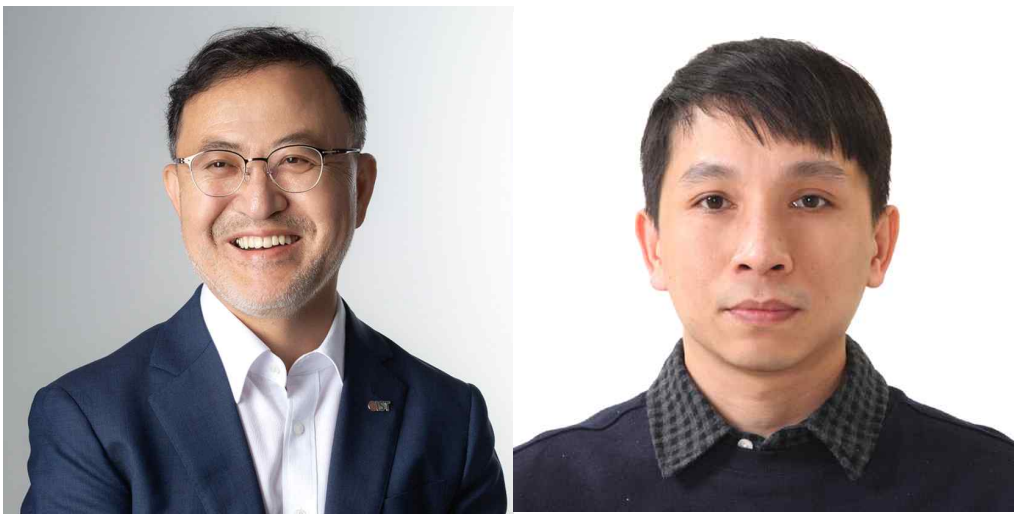
“혈액투석 여과기 본격 국산화”
GIST, 요독 제거 성능 150% 향상된
고성능 혈액투석용 중공사 분리막 개발

- 김인수 교수팀, 공압출 방사 공정 도입한 고성능 혈액투석용 중공사막 개발
- 중공사막 기공 크기 및 구조 최적화, 상용화 시 말기 신부전 환자 치료 효율 개선 기대… 화학공학 분야 저명 국제학술지「Chemical Engineering Journal」게재



▲ 사진_(왼쪽부터) 김인수 교수, Thanh-Tin Nguyen(제1저자)

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 지구·환경공학부 김인수 교수 연구팀이 공압출*로 고분자를 섬유화하는 공정(방사)을 통해 **고성능 혈액투석용 중공사(hollow fiber) 분리막(이하 중공사막**)을 개발**하는 데 성공했다고 밝혔다.

* **공압출**(co-extrusion)**:** 두 개 이상의 다른 재료를 동시에 압출하는 기술.

** **중공사막**: 가느다란 원통형으로 성형한 분리막을 말하며 실 형태의 내막 혹은 외막 표면의 미세한 구멍을 통하여 불순물을 분리한다.

기존의 일반적인 이중 방사노즐과 비교했을 때 ‘**순수 수투과도’는 400% 증가하고 ‘요독 물질 제거 효율’은 150% 높아**진 반면 **혈액 내 존재하는 단백질 손실량은 50% 이하로 감소**되어 향후 상용화된다면 혈액투석 성능을 획기적으로 향상시킬 것으로 기대된다.

김인수 교수는 전량 수입에 의존하고 있는 혈액투석용 중공사막 국산화를 위해 **고성능 혈액투석용 중공사 분리막 개발 연구를 진행** 중이며, 2021년 혈액투석용 중공사 분리막 제조 기업 ㈜이노셉을 설립하여 현재 최고기술책임자(CTO)를 맡고 있다. 또한 한국과학기술한림원 및 국제 물 협회(IWA) 석학회원으로 활동하고 있다.

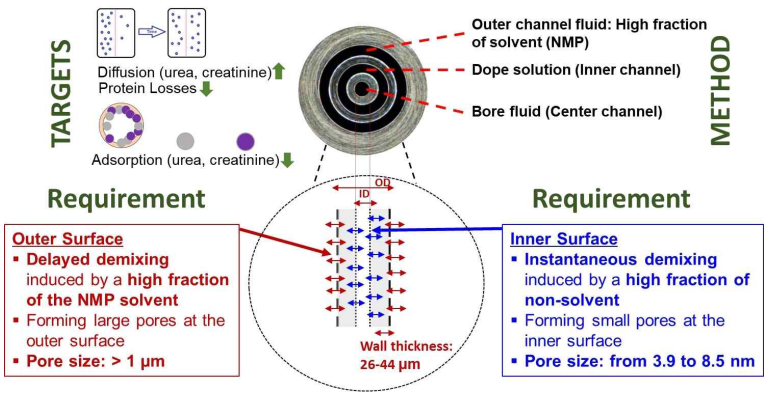
말기신부전증 환자는 신장 기능 저하로 인해 혈액 내 요독 물질이 정상적으로 배출되지 않아 혈액투석, 복막투석, 신장이식 등 치료가 필요하며, 이중 혈액투석 환자는 약 80%를 차지하고 있다.

혈액투석은 중공사막을 이용하여 혈액 내 요독 물질을 제거함으로써 신장 기능을 대체하는 치료법으로 환자의 혈액을 중공사막 내측(bore-side)*으로 순환시키고, 외측(shell-side)**으로 투석액을 순환시켜 혈액 안에 있는 요독 물질을 제거하기 때문에 혈액투석 시 사용되는 **혈액투석용 중공사막의 성능은 혈액투석의 효율을 결정하는 가장 중요한 요소**이다.

* **내측(bore-side):** 중공사막의 안쪽으로 혈액투석 시 혈액이 흐르는 측.

* **외측(shell-side):** 중공사막의 바깥쪽으로 혈액투석 시 투석액이 흐르는 측.

연구팀은 중공사막 제조 시 **삼중 방사노즐을 이용하여 고분자 용액을 방사하면서 외측에 유기용매를 동시에 방사하는 공압출 방사 공정을 도입**하여 **중공사막의 내측**(bore-side)**과 외측**(shell-side) **기공 구조를 동시에 조절**하는 데 성공했으며, 이를 통해 요독 물질 제거 효율을 크게 향상시켰다.



▲ **공압출 공정을 이용한 혈액투석용 중공사막 개발 모식도**. 삼중 방사 노즐을 사용하여 노즐 중앙과 최외각 층에 흐르는 용액의 조성을 조절하여 혈액투석용 중공사막의 기공 구조 및 두께를 최적화함.

연구팀은 중공사막의 내측과 외측의 기공 구조를 동시에 조절하기 위해 **중공사막 제조 시 삼중 방사 노즐을 사용하여 노즐 중앙과 최외각 층에 흐르는 용액의 조성을 조절했다. 혈액투석용 중공사막의 내측의(혈액이 닿는 부분) 평균 기공 크기는 약 8.4 나노미터, 외측의(투석액이 닿는 부분) 평균 기공 크기는 내측 기공 크기의 약 230배에 달하는 1.9 마이크로미터로 조절하였으며, 중공사막의 단면을 요독 물질 수송에 유리한 단일 핑거형(finger-like)* 구조로 최적화**하였다.

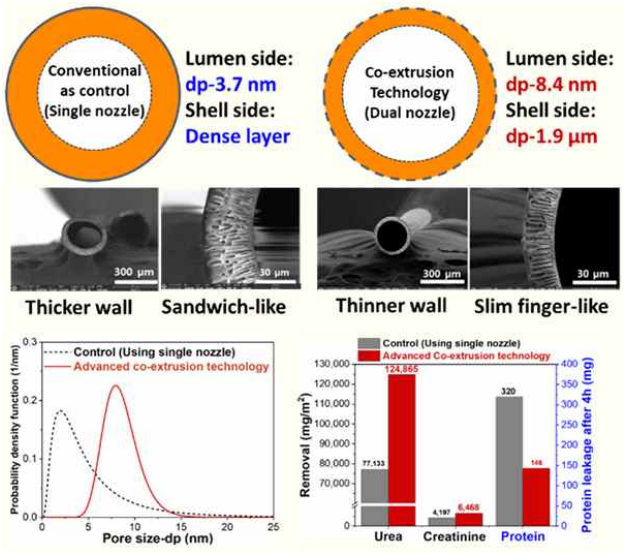
* **핑거형(finger-like):** 손가락 모양의 단면 구조로, 일반적인 중공사막은 핑거형 또는 스폰지형 단면 구조를 갖는다.

연구팀이 개발한 분리막은 130mL/m^2.h.mmHg의 순수 수투과도*와 혈액내 주요 요독 물질인 요소(Urea)에 대해 124,865mg/m^2의 제거 효율 및 146mg/session** 단백질 손실량을 나타냈으며, 이는 일반적인 이중 방사노즐로 제조된 혈액투석용 중공사막의 순수 수투과도(32mL/m^2.h.mmHg), 요독 제거 효율(77,133mg/m^2) 및 단백질 손실량(320mg/session)과 비교해 각각 400%, 150% 증가 및 54% 감소한 수치이다.

* **순수 수투과도:** 단위 면적에 일정 압력을 가하여 통과된 초순수의 양.

** **mg/session:** 4시간의 혈액투석 중 손실되는 혈액 내 단백질의 양을 나타내는 단위

또한, 연구팀이 개발한 분리막은 **해외 글로벌 기업의 가장 우수한 성능을 보이는 상용 혈액투석용 중공사막과 비교해** 요독 제거 효율 및 혈액 내 단백질 손실 저감 측면에서 **우수한 혈액투석 성능**을 나타냈다.



▲ **공압출 공정을 이용한 혈액투석용 중공사막의 특성 및 요독 제거 성능**. 공압출 방사 공정을 통해 제조된 분리막은 기존 방사 공정을 통해 제조된 분리막에 비해 혈액투석에 적합한 기공 크기 및 단면 구조를 가지며, 우수한 요독 제거 성능을 나타내는 동시에 낮은 단백질 손실률을 나타냄.

김인수 교수는 "공압출 공정을 통해 중공사막의 기공 구조를 정밀하게 조절하여 **혈액투석 효율을 크게 향상시킬 수 있는 혈액투석용 중공사막을 개발**하였다"며 "향후 혈액투석용 중공사막이 상용화될 경우 기존 전량 수입에 의존하던 혈액투석용 중공사막을 대체할 뿐 아니라 신장질환 환자의 치료 효율을 크게 개선하여 삶의 질 향상에 기여할 것으로 기대된다"고 말했다.

이번 연구는 과학기술정보통신부의 지역혁신 선도연구센터(RLRC), 미래유망융합기술파이오니어 및 중소벤처기업부의 민간투자 주도형 기술창업 지원 사업(TIPS 프로그램)의 지원을 받았으며, 화학공학 분야 상위 3.5% 국제학술지 'Chemical Engineering Journal'에 2024년 5월 29일 게재됐다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Chemical Engineering Journal (IF: 15.1)
- 논문명 : Design of robust hollow fiber membranes using an advanced co-extrusion technology for enhanced hemodialysis
- 저자 정보 : Thanh-Tin Nguyen(공동제1저자, GIST(현, University of Wisconsin-Milwaukee)), Hasan Fareed(공동제1저자, GIST), Anh-Dao Le-Thi(공동저자, GIST), Kim-Sinh Nguyen-Thi(공동저자, GIST), 장경훈(공동저자, ㈜이노셉), 김창성(공동저자, 전남대학교), 김수완(공동저자, 전남대학교), 서지원(공동저자, GIST), 양은목(공동저자, GIST), 김인수(교신저자, GIST)