

# 봉산함유 방사성 폐액 처리를 위한 정삼투막 공정의 유도용질용 자성입자 제조

양희만\*, 황두성, 서범경, 이근우

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*hmyang@kaeri.re.kr

## 1. 서론

경수로형 원자로는 보통 1차 계통에 주입한 봉산의 양으로 원자로 출력을 조절하고, 봉산은 중성자를 흡수하여 중성자에 의한 연쇄반응을 줄여서 원자로를 제어한다. 경수로의 1차 냉각수 계통의 폐액은 냉각수내 봉산농도 조절과 누수에 의해 발생되며 0.3~0.8wt%의 봉산이 함유되어 있다.<sup>1</sup> 봉산함유 액체폐기물은 증발기를 이용하여 농축처리하고 있으나 농축 한계 물질로 작용하여 고체폐기물의 양을 증대 시키는 요인이 된다. 따라서 봉산의 분리를 통해 방사성 폐기물의 양을 줄일 수 있다. 증발기 외에, 일반적으로 중성 pH 조건에서 역삼투압 분리공정에 의해 40~90%의 봉산을 분리하여 최종 고체폐기물의 양을 줄일 수 있다고 알려져 있다.<sup>2</sup> 하지만, 현재 연구가 활발히 진행되고 있는 정삼투압 분리공정은 역삼투압 분리공정과 달리 높은 압력을 가하지 않고 삼투압을 이용하므로 에너지 효율을 50%까지 증대시킬 수 있어 담수, 정수, 폐수 처리를 위한 차세대 분리공정으로 기대되고 있다. 또한, 정삼투압 분리공정은 상압 운전에 의한 에너지 소모 및 막오염이 낮고, 염 제거 효율 또한 우수한 장점이 있다.<sup>3</sup> 하지만 현재, 정삼투압 공정의 유도용질을 많이 이용되는 NaCl과 같은 염들은 재사용이 어려워 공정의 비용을 줄이기 위해서는 이들 유도용질의 재사용이 필수적이다.

본 연구에서는 봉산함유 방사성 폐액 내 봉산을 분리하기 위한 정삼투막 공정의 공정비용을 줄이기 위해 유도용질의 재사용이 가능한 자성입자 기반의 새로운 유도용질을 제조하고 이들의 수용액 상에서의 봉산 분리 성능을 평가하였다.

## 2. 본론

### 2.1 제조 방법

먼저, iron acetylacetonate를 triethylene glycol 에 첨가하고 온도를 110°C로 상승시킨 후, 1 시간 동안 유지한다. 그 뒤 278°C까지 상승시키고, 이 온도에서 30 분 동안 추가로 교반한다. 다

음으로, 반응기의 내부 온도를 120°C로 낮춘 후, 글리시돌을 첨가하여, 같은 온도에서 12 시간 동안 교반하여 상기 산화철 나노입자의 표면에서 폴리글리세롤을 합성한다. 그 뒤, 건조된 입자를 N,N-dimethylformamide에 분산시킨 후, succinic anhydride과 triethylamine을 넣어 50°C에서 48 시간 동안 교반한다. 반응 종료 후, ethyl ether를 이용하여, 자성나노입자를 침전시키고 투석(dialysis) 과정을 거쳐 미반응물을 제거한다.<sup>4</sup>

### 2.2 정삼투막 공정 장치 실험 방법

제조된 자성입자의 유도용질로서의 가능성을 확인하기 위해 batch scale의 정삼투막(FO) 공정장치를 제작하여 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 막은 2.4 cm<sup>2</sup>의 면적을 가진다. 정삼투막은 HTI(HydrationTechnology Innovations)에서 제공하는 polyester screen에 cellulose triacetate (CTA)가 코팅된 정삼투막을 사용하였다. 공급용액은 약 50 mL의 증류수가 사용되었다. 유도용액에 제조한 자성입자를 농도별로 약 50 mL를 공급하였고 공급용액의 무게 감량을 전자저울로 측정하여 투과속도 (물 플럭스)를 도출하였다. 봉산 함유 수용액에 대한 봉산의 분리 거동 실험은 위의 실험 방법 중 공급 용액을 증류수가 아닌 봉산이 함유된 수용액을 사용하였다.

### 2.3 실험 결과 및 고찰

TEM, XRD, VSM 등의 화학분석을 통해 제조된 자성입자가 잘 합성되었음을 확인하였다. Fig. 1은 앞에서 제조된 폴리글리세롤로 코팅된 자성입자와 위 입자 표면에 카르복실산을 도입한 자성입자의 적외선 흡수 스펙트럼을 보여주고 있다. 비교 평가하였다. 두 입자 모두 565-580 cm<sup>-1</sup>위치에서 자성 나노입자의 코어부분인 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>를 의미하는 Fe-O-Fe bond의 bending vibration peak를 보여준다. 왼쪽그림에는 3404, 2852, 1063 cm<sup>-1</sup>위치에서 폴리글리세롤을 나타내는 O-H, C-H, C-O-C ether 특성 피크를 보여준다. 오른쪽 그림은 왼쪽 그림과 달리 1734 cm<sup>-1</sup>위치에서 매우 강한 새로운

피크를 보여주는데 이는 카르복실기 (C=O)를 나타내는 특성 band로 위 FT-IR 결과를 통해 succinylation 반응에 의해 자성나노입자 표면에 카르복실기가 성공적으로 도입되었다는 것을 확인할 수 있다.

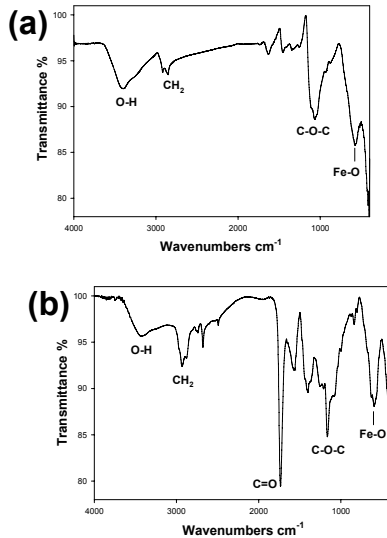


Fig. 1. FT-IR spectra of (a) hyperbranched polyglycerol-coated nanoparticles, and (b) Succinated hyperbranched polyglycerol-coated nanoparticles.

Fig. 2는 제조된 자성입자의 유도용질로서의 적용 가능성을 살펴보기 위해 이들의 농도에 따른 삼투압을 측정하였다. 농도별 측정된 삼투농도를 Van't Hoff equation에 의해 계산된 삼투압 값을 보여주고 있다. 제조된 입자는 400 g/L의 고농도일 때에도 침전이 발생하지 않고 물상에 잘 분산되었으며, Osmometer 기기를 이용해 측정된 25, 50, 100, 200, 400 g/L 농도에서의 삼투압 값은 각각 0.65, 1.27, 2.49, 4.77, 9.62 atm을 가진다.

정삼투막 실험을 이용한 물의 투과율을 평가하였을 때 정삼투 효과를 기대할 수 있었다. 하지만, 봉산이 함유된 수용액에 대한 정삼투막 실험 결과, 봉산 분리 성능이 기존 역삼투 기술에 비해 우수하지 못한 결과를 나타내었다. 향후 봉산 분리 성능을 향상시키기 위해서는 자성입자의 삼투압 성능을 향상시킬 수 있는 표면개질 연구가 추가되어야 할 것으로 사료된다.

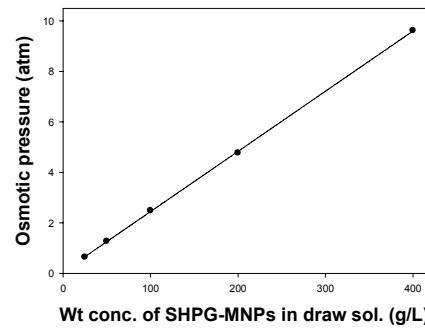


Fig. 2. Osmotic pressure changes of draw solution according to the weight concentration of SHPG-MNPs in draw solution.

### 3. 결론

본 연구에서는 폴리글리세롤을 자성입자 표면에 코팅한 후, 카르복실기를 도입하여 재사용이 가능한 정삼투막 공정용 유도용질을 제조하였다. 제조된 자성입자 기반의 유도용질은 봉산함유 방사성 폐액 처리와 같은 오염수 처리를 위한 정삼투막 공정에 적용하기 위해서는 향상된 봉산 분리 성능을 위해 추가적인 표면개질이 필요하다. 하지만 본 연구에서 제조된 자성입자는 해수담수화 분야에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

### 4. 감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea government (No.2012M2A8a5025996 and 2012M2A8A1030164).

### 5. 참고문헌

- [1] K.W. Lee, S. H. Cho, H. H. Park, J. H. Kim, J. Kor. Soc. Environ. Eng., 1994, 16(3), 405.
- [2] Magara, Y., Tabata, A., Kohki, M., Kawasaki, M., Hirose, M., Desalination, 19998, 118 (1-3), 25.
- [3] T.Y. Cath, A.E. Childress, M. Elimelech, Journal of Membrane Science, 2006, 281, 70-87.
- [4] H.-M. Yang, H. M. Choi, S.-C. Jang, M. J. Han, B.-K. Seo, J.-K. Moon, K.-W. Lee, J. Nanosci. Nanotechnol. doi:10.1166/jnn.2015.1124.