

오염수 내 세슘 제거를 위한 자성복합체의 제조

황규선^{1,2}, 박찬우¹, 이근우¹, 서범경¹, 박소진², 양희만^{1*}

¹한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

²충남대학교, 대전광역시 유성구 대학로 99

*hmyang@kaeri.re.kr

1. 서론

원전사고가 발생하면 많은 양의 방사성 물질들이 환경으로 유출되어 환경오염을 발생시킨다. 사고 후 초기에 빠른 처리가 이루어지지 않았을 경우, 오염이 광범위하게 확대될 수 있고, 시간이 경과할수록 지하수, 지표수, 토양 오염과 같은 2차 오염을 발생시켜 인체 및 생태계에 치명적인 영향을 끼친다.¹ 특히, 방사성 물질로 오염된 토양 및 주거지 시설의 복원 시 많은 양의 워싱용 물이 사용되어 방사성 세슘으로 오염된 대량의 오염수가 발생한다.² 위와 같은 오염수에 포함된 방사성 세슘은 반감기(30.2년)가 길고, 고에너지 감마선을 방출한다. 또한, 생체 내에서 포타슘과 생물학적 거동이 유사하여 세포까지 흡수가 될 수 있어 가장 위험한 방사성 물질로 알려져 있다.¹ 따라서, 본 연구에서는 방사성 세슘을 선택적으로 제거하고, 포집하여 자기장을 이용해 쉽고, 빠른 회수가 가능한 흡착제 개발을 위한 실험을 진행하였다. 표면적이 넓고, 초상자성을 가지는 자성나노입자를 기반으로 입자의 표면에 Polyethyleneimine(PEI)을 코팅하고, PEI의 amine group에 Copper를 결합시킴으로써 자성나노입자에 Copper-ferrocyanide를 부착시켰다. 메탈페로시아나이드로 인해 방사성 세슘의 선택적 제거가 가능하며, 자기장을 이용해 쉬운 회수가 가능한 흡착제를 제조, 특성을 분석하였고, 비방사성 세슘에 대한 흡착 능력을 평가하기 위한 실험을 진행하였다.

2. 본론

2.1 실험방법

자성나노입자를 합성하기 위해 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 등의 물질들을 용매에 녹여 교반을 시키며 균질한 용액으로 만들어 Teflon-lined stainless-steel autoclave에 옮겨 담는다. 200°C에서 8 시간 동안 반응을 시킨다. 반응이 완료되면 자석을 이용해 입자만 남기고, 용매를 제거한다. 그 후, 물과 에탄올

을 번갈아가며 첨가하여 워싱한다. 워싱하는 과정에서 미반응물 등의 불순물을 제거하고, 자석을 이용해 제조된 산화철만을 회수하여 건조시킨다. 산화철에 PEI를 코팅하고 PEI가 코팅된 입자를 물에 분산시키고, 과량의 Cu를 첨가하여 교반시킨 후, 물을 첨가하며 자석을 이용하여 과량의 Cu와 미반응물을 제거하여 건조시킨다. 위 혼합물을 물에 분산시키고, 적절한 양의 Sodium ferrocyanide를 첨가해 교반시킨 후, 워싱하여 건조시키면, Copper-ferrocyanide가 코팅된 자성나노입자 흡착제를 얻을 수 있다. 제조한 흡착제는 Transmission electron microscopy(TEM), Zeta potential analyzer, Dynamic light Scattering, Fourier transform infrared(FTIR), Thermo gravimetry analysis(TGA), Vibrating sample magnetometer(VSM), Inductively-coupled plasma atomic emission spectrometer(ICP-AES)를 이용해 특성과 형태, Cu의 함량 등을 분석하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

copper-ferrocyanide가 코팅된 자성나노입자 흡착제를 제조하였다. TEM, FTIR, VSM 등의 분석을 통해서 흡착제가 성공적으로 제조되었음을 확인하였다. Fig. 1은 나노입자의 TEM 이미지로 27.03 ± 8.62 nm의 크기를 갖는 구 형태의 나노입자의 모습을 보여준다. Fig. 2에는 FT-IR spectra를 나타내었다. 598 cm^{-1} 에서 산화철의 특징적인 peak가 나타나 자성나노입자가 잘 만들어진 것을 확인할 수 있고, 3727 cm^{-1} , 1565 cm^{-1} , 1465 cm^{-1} , $1100\text{--}1010 \text{ cm}^{-1}$ 등의 PEI의 특징적인 peak가 나타나 자성나노입자에 PEI가 잘 코팅된 것을 확인할 수 있으며, 2100 cm^{-1} 에서 ferrocyanide의 cyanide group의 peak가 나타나 copper-ferrocyanide가 코팅된 자성나노입자 흡착제의 성공적인 제조를 확인하였다.

마지막으로, 제조된 자성흡착제의 자성 성질을 확인할 결과, 물상에서 외부자석에 의해 수분내로 분리되는 것을 확인하였으며, 비방사성 세슘 흡착

특성 실험 결과, 매우 우수한 세슘 제거 효율을 보여 주었다.

Grant funded by the South Korean government (No.2012M2A8a5025996)

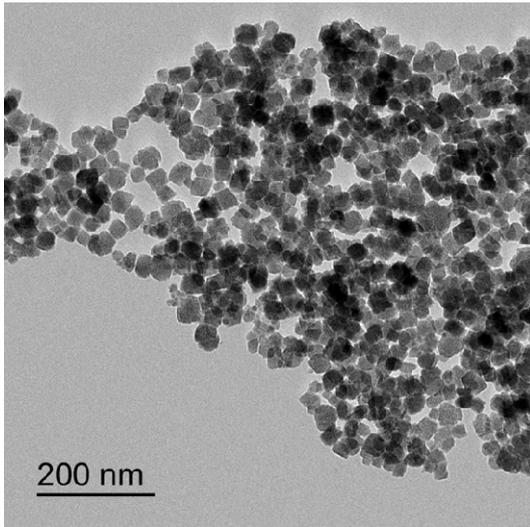


Fig. 1. TEM image of Fe₃O₄@HMD.

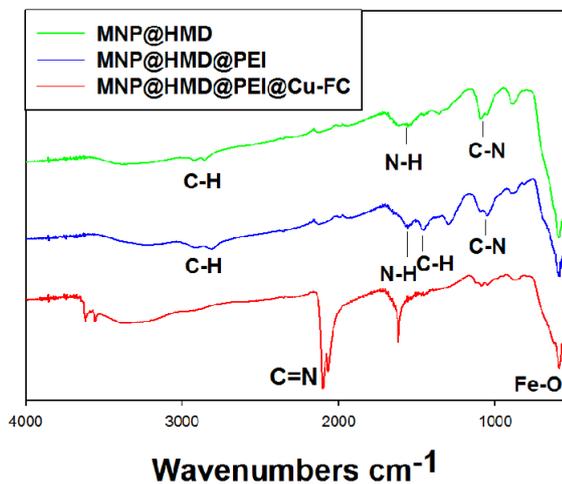


Fig. 2. FTIR spectra of Fe₃O₄@HMD, Fe₃O₄@HMD@PEI, and Fe₃O₄@HMD@PEI-CuFC.

3. 결론

본 연구에서는 방사성 세슘의 선택적 제거와 흡착제의 효율적인 회수를 위해 자성나노입자 기반의 구리-페로시아나이드가 접목된 흡착제를 제조하였다. 제조한 흡착제는 비방사성 세슘에 대해 우수한 흡착 성능을 보여주었으며, 원전 사고 시 방사성 물질의 유출로 인해 방사성 세슘으로 오염된 오염수 처리에 이용할 수 있다.

4. 감사의 글

This research was supported by the Korea Ministry of Education, Science, technology

5. 참고문헌

- [1] Manolopoulou, M, Vagena, E., Stoulos, S., Loannidou, A., Papastefanou, C., *J. Environ. Radioact.* 2011, 102, 796-797.
- [2] H.-M Yang, K-W. Lee, B.-K Seo and J-K. Moon, "Copper ferrocyanide-functionalized magnetic nanoparticles for the selective removal of radioactive cesium", *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 2015, 15, 1695-1701.