

# 선택적 세슘 제거를 위한 메탈페로시아나이드가 도입된 자성흡착제 제조

황규선<sup>1,2</sup>, 박찬우<sup>1</sup>, 이근우<sup>1</sup>, 서범경<sup>1</sup>, 박소진<sup>2</sup>, 양희만<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

<sup>2</sup>충남대학교, 대전광역시 유성구 대학로 99

\*hmyang@kaeri.re.kr

## 1. 서론

2011년 일본에서는 지진의 여파로 지진해일이 발생하였다. 이로 인하여 후쿠시마 원자로가 블랙아웃 상태에 빠져 원자로 내부의 온도 제어를 통제하지 못해 고온, 고압의 원자로가 폭발하는 사고가 발생하였다[1]. 이 원자로 사고로 인하여 방사성 세슘이 환경에 노출됐고, 방사성 세슘이 환경에 미치는 영향과 이를 제거하기 위한 관심이 커졌다. 특히 방사성 세슘은 반감기가 30.2 년에 달하고, 인체 내에서 포타슘이온과 유사한 거동을 보이기 때문에 체내에 흡수될 경우 장기와 근육에 쉽게 축적되어 배출이 잘 되지 않고, 골수암, 폐암 등 각종 암을 유발할 수 있는 인체에 치명적인 방사성 물질이다. 후쿠시마 원전 사고로 인해 방사성 세슘에 오염된 물은 자생정화 능력으로는 긴 시간이 필요하기 때문에 효율적인 제거 방법과 흡착제의 연구의 필요성이 대두되고 있다[2]. 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 PEI-silane (trimethoxysilylpropyl modified PEI)을 코팅하고, PEI-silane의 아민기와 Cu를 결합시켜 자성나노입자에 copper-ferrocyanide를 부착시켰다. copper-ferrocyanide로 인해 방사성 세슘의 선택적 제거가 가능하며, 자기장을 이용해 쉽게 회수가 가능한 흡착제를 제조, 특성을 분석하였고, 비방사성 세슘에 대한 흡착 능력을 평가하기 위한 실험을 진행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 실험방법

자성나노입자를 합성하기 위해 Citric acid(CA), FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 등의 물질을 용매에 녹여 교반 시켜 균질한 용액으로 만들어 Teflon-lined stainless-steel autoclave에 옮겨 담아 반응 시킨다. 반응이

완료되면 자석을 이용해 입자만 남기고, 용매를 제거한다. 그 후, 물과 에탄올을 번갈아가며 첨가하여 워싱한다. 워싱을 하는 과정에서 미반응물 등의 불순물을 제거하고, 자석을 이용해 제조된 산화철만을 회수하여 건조시킨다. 산화철에 PEI-silane를 코팅하고, Cu이온을 첨가해 교반시켜 Cu를 코팅하고, 워싱 후 건조 시킨다. 위 혼합물을 물에 분산시키고, sodium ferrocyanide를 첨가해 교반시킨 후, 워싱하여 건조시키면, copper-ferrocyanide가 도입된 자성나노입자 흡착제를 얻을 수 있다. 흡착제는 Transmission electron microscopy (TEM), Zeta potential analyzer, Dynamic light Scattering (DLS), Fourier transform infrared (FTIR), Thermo gravimetry analysis (TGA), Vibrating sample magnetometer (VSM), Thermo gravimetry analysis (TGA)를 이용해 특성과 형태 등을 분석하였다.

### 2.2 실험결과 및 고찰

copper-ferrocyanide가 코팅된 자성나노입자 흡착제를 제조하였다. TEM, FTIR, VSM, TGA 등의 분석을 통해서 흡착제가 성공적으로 제조되었음을 확인하였다. Fig. 1은 나노입자의 TEM이미지로 나노입자의 형태를 알 수 있다. Fig. 2에는 FT-IR spectra를 나타내었다. 1570 cm<sup>-1</sup>에서 citric acid의 peak, 598 cm<sup>-1</sup>에서 산화철의 peak이 나타나 citric acid가 코팅된 자성나노입자가 잘 만들어진 것을 확인할 수 있고, 3727 cm<sup>-1</sup>, 1565 cm<sup>-1</sup>, 1465 cm<sup>-1</sup>, 1100-1010 cm<sup>-1</sup> 등의 PEI-silane의 특징적인 peak가 나타나 자성나노입자에 PEI-silane이 잘 코팅된 것을 확인할 수 있으며, 2100 cm<sup>-1</sup>에서 copper-ferrocyanide의 cyanide peak이 나타나 copper-ferrocyanide가 코팅된 자성나노입자 흡착제의 성공적인 제조를 확인하였다. 또한 제조된 자성흡착제의 자성 성질을 확인할 결과, 물상에서 외부자석에 의해 수 분 내로 분리되는 것을 확인하였으며, 비방사성 세슘흡착 실험 결과 매우 우수한 세슘 제거 효율을 보여주었으며, Fig. 3에서

보이는 것과 같이 넓은 범위의 pH 조건에서 또한 비방사성 세슘에 대한 높은 흡착 성능을 보여주었다.

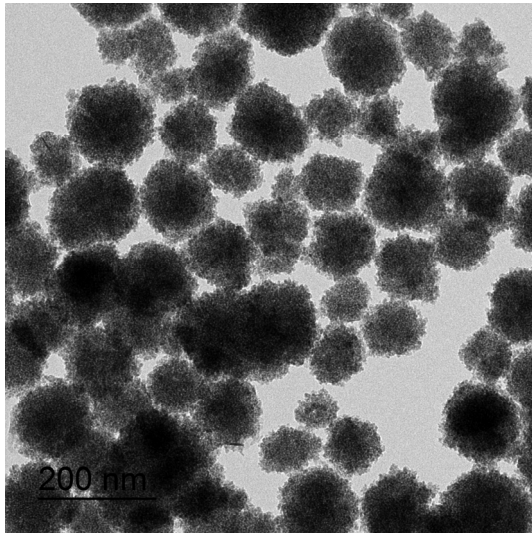


Fig. 1. TEM image of CA-MNC.

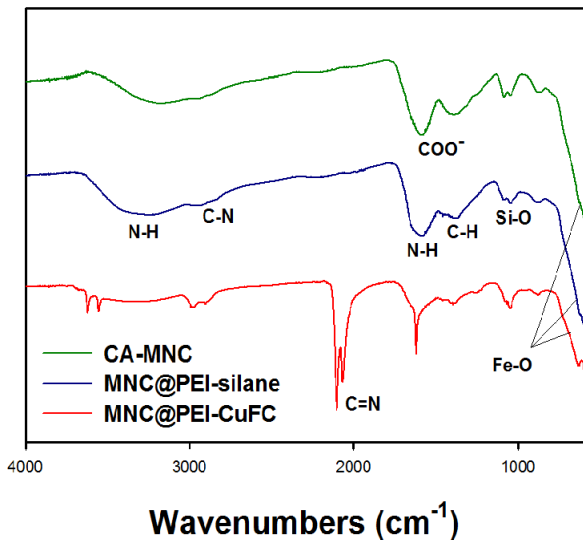


Fig. 2. FTIR spectra of CA-MNC, CA-MNC@PEI-silane, and CA-MNC@PEI-silane-CuFC.

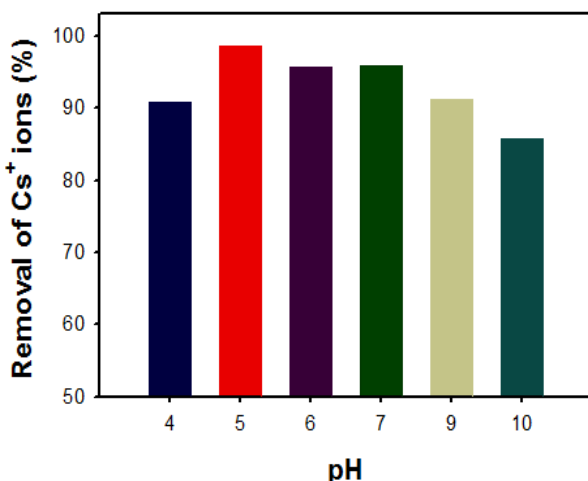


Fig. 3. Effect of pH for adsorption of cesium ions.

### 3. 결론

본 연구에서는 방사성 세슘의 선택적 제거와 흡착제의 효율적인 회수를 위해 자성나노입자 기반의 copper-ferrocyanide가 접목된 흡착제를 제조하였다. 제조한 흡착제는 비방사성 세슘에 대해 우수한 흡착 성능을 보여주었다. 흡착제의 성능을 평가한 결과 원전 사고 시 방사성 물질의 유출로 인해 방사성 세슘으로 오염된 오염수 처리에 이용할 수 있다는 결론을 얻었다.

### 4. 감사의 글

This research was supported by the Korea Ministry of Education, Science, technology Grant funded by the South Korean government (No.2012M2A8a5025996)

### 5. 참고문헌

- [1] Brumfiel G, "Fukushima set for epic clean-up", Nature 2011, 472, 146-147.
- [2] Buessler K, Aoyama M, Environ. Sci & Technol, "Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity", 2011, 45, 9931-9935.