

# OPC11) 술폰산기(-SO<sub>3</sub>H)를 작용기로 도입한 MIL-101(Cr) 계열 다공성 소재 합성과 수중 스트론튬 및 세슘 흡착에의 적용

최정학 · 전재영 · 김주용 · 박한배<sup>1)</sup> · 이준엽<sup>2)</sup> · 이광원<sup>3)</sup>

부산가톨릭대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>한국중합환경산업(주), <sup>2)</sup>㈜시드파트원,

<sup>3)</sup>울산광역시 상수도사업본부 수질연구소

## 1. 서론

원자력 발전소에서 발생하는 액체 폐기물의 대표적인 방사성 핵종인 <sup>137</sup>Cs은 반감기 30.17년의 방사성 핵종으로 강력한 beta-gamma선을 방출하며, <sup>90</sup>Sr은 반감기가 28.8년으로 beta선을 방출하는 핵종으로 알려져 있다. 2011년 3월 630,000~770,000 TBq에 이르는 <sup>90</sup>Sr, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs 등의 방사성 핵종이 유출된 일본의 후쿠시마 원전사고는 방사성 오염 폐수의 위험성을 알리는 중요한 계기가 되었고, 방사성 핵종의 처리 문제는 시급히 해결해야 할 과제로 대두되고 있다. 방사성 액체 폐기물의 안정적 처리/처분을 위해서는 방사성 핵종의 선택적 분리를 통한 부피 감량이 우선적으로 필요한데, 이를 위한 공정으로 증발, 공침, 막분리, 이온교환, 용매추출, 유리화, 흡착, 생물축적 등 다양한 방법이 적용되고 있다. 이중 흡착 공정은 기술 적용이 비교적 간단하고, 액상에서 고상으로의 분배비가 100~10,000 정도로 커서 효율적인 분리 농축이 가능한 장점 때문에 수중 방사성 핵종의 흡착 처리에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 들어 금속-유기 골격체(MOFs, metal-organic frameworks)로 알려진 다공성 물질의 개발에 대한 관심이 증가하고 있으며, 특히 다양한 환경오염물질 제어를 위한 광촉매 또는 흡착 소재로서의 응용 가능성에 대한 기대가 커지고 있다. 이에 본 연구에서는 MIL-101(Cr)에 술폰산기(-SO<sub>3</sub>H)를 작용기로 도입한 금속-유기 골격 다공성 소재로 MIL-101(Cr)-SO<sub>3</sub>H<sub>[HCl]</sub>를 제조하고, 이를 수중 스트론튬 및 세슘 흡착에 적용하여 핵종 이온에 대한 흡착 성능과 흡착 특성을 알아보고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

실험실 규모에서 MIL-101(Cr)-SO<sub>3</sub>H<sub>[HCl]</sub> 소재를 합성하기 위한 전구물질로 CrO<sub>3</sub>, monosodium 2-sulfoterephthalic acid, 초순수를 사용하였으며, 염산(HCl)을 광화제(mineralizer)로 사용하여 180℃ 오븐에서 6일간 수열합성(hydrothermal synthesis)을 진행하였다. 세척 및 건조 과정을 거친 최종 합성 결과물(green powder)의 물성 파악을 위해 XRD, FT-IR, FE-SEM, TEM, EDS 및 BET 분석을 수행하였다. 합성된 소재를 흡착제로 적용하여 수중 Sr<sup>2+</sup> 및 Cs<sup>+</sup> 이온에 대한 회분식 흡착속도 및 등온흡착 실험을 진행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

합성된 소재의 XRD 패턴은 2θ = 5.10°, 8.40°, 9.00°에서 주된 회절 피크가 나타났으며, FE-SEM 분석 결과 약 0.2~0.8 μm 범위의 다양한 크기 분포를 가지는 것으로 확인되었다. TEM 이미지를 통해 정육면체에 가까운 결정체가 합성된 것을 확인할 수 있었으며, 구성 원소별 mapping 이미지와 EDS 분석 결과로부터 합성 green powder는 C, Cr, O 및 S 원소로 이루어져 있음을 확인하였다. 합성 소재의 비표면적, pore volume 및 pore size는 각각 1,860.6 m<sup>2</sup>/g, 1.089 cm<sup>3</sup>/g, 2.341 nm로 분석되었다. 합성 MIL-101(Cr)-SO<sub>3</sub>H<sub>[HCl]</sub> 소재를 이용한 Sr<sup>2+</sup> 및 Cs<sup>+</sup> 이온의 흡착실험 결과, 3 hr 이내에 흡착 평형에 도달하는 것으로 나타났으며, Sr<sup>2+</sup> 및 Cs<sup>+</sup> 이온 모두 pseudo-2nd-order kinetic model에 적합한 것으로 평가되었다. 용액의 초기 pH를 3, 6, 10으로 조절한 등온흡착 실험결과, 초기 pH가 높을수록 Sr<sup>2+</sup> 및 Cs<sup>+</sup> 이온의 흡착량이 증가하였으며, Langmuir 흡착등온 model을 잘 따르는 것으로 나타났다. 초기 pH 10 조건에서 Langmuir model에 따른 최대흡착용량(q<sub>max</sub>)은 Sr<sup>2+</sup> 이온이 53.6mg/g, Cs<sup>+</sup> 이온이 191.8 mg/g으로 산정되었다.

## 4. 참고문헌

Akiyama, G., Matsuda, R., Sato, H., Takata, M., Kitagawa, S., 2011, Cellulose hydrolysis by a new porous coordination polymer decorated with sulfonic acid functional groups, Adv. Mater., 23, 3294-3297.

## 감사의 글

본 연구는 2020년도 부산녹색환경지원센터 연구개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다.