

# 나노복합유체 제염폐액 내 세슘분리 처리 가능성 평가

양한범\*, 정종현, 윤인호, 양희만, 송병철, 최왕규

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*nhbyang@kaeri.re.kr

## 1. 서론

나노 복합유체 제염기술은 화학 제염제가 혼합된 복합유체(complex fluids)에 나노 크기의 고체입자, 유체 등을 용매에 균일하게 분산시켜 제조한 나노 복합유체를 사용한 제염기술로서, 기존 습식 화학 제염 기술에 비해 폐기물 발생량이 1/5 미만 (폐액 발생량은 1% 이내)이며, 부식억제 효과와 작업 용이성이 우수한 대면적 적용에 적합한 기술이다.

원자력 시설의 해체시 구조적으로 제염 적용이 어려운 대형기기 또는 대면적 설비의 제염을 위해서는 적용이 용이하고 이차 폐기물 발생을 최소화할 수 있는 제염기술을 개발하기 위하여 표면개질에 의해 분산안정성이 향상된 실리카 나노입자, 재생성 산화제 및 산화제 양립성 계면활성제를 포함하는 신 나노복합유체 제염제 개발 및 제염 폐액을 재사용하기 위한 산화제의 오존처리 공정을 이용한 신 나노복합유체 재사용 순환 공정연구를 수행하고 있다 [1].

최근에 초상자성을 가지는 자성나노입자는 자기장에 의해 쉽게 분리 가능한 장점을 가지고 있어 자성 나노입자가 클러스터 형태로 형성된 방사성 세슘 제거용 흡착체 PM-MNC (Prussian Blue - functionalized Magnetic Nanocluster)를 합성하여 방사성 세슘 ( $^{137}\text{Cs}$ ) 제거와 관련된 연구가 발표되고 있다 [2, 3]. 본 연구에서는 나노 복합유체 제염 폐액을 재사용하기 위하여 방사성 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )에 대한 강력한 결합력과 자성을 가진 세슘 제거용 기능성 흡착체인 PM-MNC를 이용하여 나노 복합유체 제염폐액 내 세슘분리 처리 가능성 시험을 수행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 시약 및 분석기기

$\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Alfa Aesar),  $\text{HNO}_3$ (OCI Chemical),  $\text{NaOH}$ (Jin Chemical),  $\text{NaOH}$ (DC Chemical), TBS(Zonyl-TBS, DuPont), M-100(LG 생활건강 Co.), M-5(fumed  $\text{SiO}_2$ ),  $^{137}\text{Cs}$  (한국 원자력연구원

보유), PM-MNC는 참고문헌 [3]에 발표된 방법으로 제조하고 성능 검사한 흡착제를 사용하였다. 실험 및 분석기기는 전자저울 (Mettler, Model: Toledo), 초순수 제조기 (Millipore, Model: Direct-Q),  $^{137}\text{Cs}$  방사능 분석은 HPGe(high purity germanium) 검출기와 MCA (multichannel analyzer)를 사용하였다.

### 2.2 $^{137}\text{Cs}$ 의 흡착 분리

실험에 사용한 나노 복합유체 제염제 폐액은 다음 A, B, C의 3가 종류(A, B, C)의 A: 1% TBS - 0.5M  $\text{Ce}(\text{III}) - ^{137}\text{Cs} - 1\% \text{ M-5} - \text{HNO}_3$  (pH=4), B: 1% M-100 - 0.5M  $\text{Ce}(\text{III}) - ^{137}\text{Cs} - 1\% \text{ M-5} - \text{HNO}_3$  (pH=4), C: 1% M-100 -  $^{137}\text{Cs} - 1\% \text{ M-5} - \text{HNO}_3$  (pH=4)를 모의폐액을 제조하였다. 방사성 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )을 분리하기 위해서 3종류의 나노 복합유체 제염제 모의 폐액 5 mL에 자성나노입자가 클러스터 형태의 방사성 세슘 제거용 흡착체 PM-MNC 1.1 mg을 첨가한 다음 흡착평형이 이루어지도록 3 시간 흔들어 준다. 실험 바이알을 자성체위에 놓고  $^{137}\text{Cs}$ 이 흡착된 PM-MNC 흡착체와 상등액을 분리시킨 다음 상등액을 주사기-필터(0.45  $\mu\text{m}$ ) 여과한 용액을 사용하여 HPGe검출기와 MCA로  $^{137}\text{Cs}$  방사능을 측정하였다 (Fig. 1). 실험에 사용한 나노 복합유체 제염제 모의폐액에 함유되어 있는 계면활성제에 의해 발생하는 거품이 실험에 방해가 되어 실험과정에서 세심한 주의가 필요하였다.

자성나노입자가 클러스터 형태의 방사성 세슘 제거용 흡착체 PM-MNC의 3종류(A, B, C)의 나노 복합유체 제염제 모의 폐액에 대한 흡착에 의한  $^{137}\text{Cs}$  제거효율은 1회 실험시 A (1% TBS - 0.5M  $\text{Ce}(\text{III}) - ^{137}\text{Cs} - 1\% \text{ M-5} - \text{HNO}_3$ ) 모의 폐액은 66.2%, B (1% M-100 - 0.5M  $\text{Ce}(\text{III}) - ^{137}\text{Cs} - 1\% \text{ M-5} - \text{HNO}_3$ ) 모의 폐액은 99.1%, C (1% M-100 -  $^{137}\text{Cs} - 1\% \text{ M-5} - \text{HNO}_3$ ) 모의 폐액은 99.5%로 측정되었다. 나노 복합유체 제염 폐액에 M-100 계면활성제가 포함된 경우에는  $^{137}\text{Cs}$ 과 PM-MNC의 최

대 흡착 가능한 조건에서는 1회 흡착에 의해서 99%의  $^{137}\text{Cs}$  제거가 가능하며, TBS 계면활성제가 포함된 경우에는 2회 추가 제거가 요구된다.

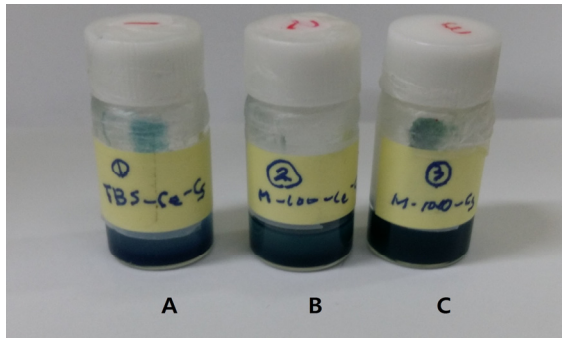


Fig. 1. Photographs of cesium separation from the nano particle - based complex fluid decontamination waste solution with PM-MNC (Prussian Blue -functionalized Magnetic Nanocluster).

A: 1% TBS - 0.5M Ce(III) -  $^{137}\text{Cs}$  - 1% M-5 -  $\text{HNO}_3$  (pH=4),  
 B: 1% M-100 - 0.5M Ce(III) -  $^{137}\text{Cs}$  - 1% M-5 -  $\text{HNO}_3$  (pH=4),  
 C: 1% M-100 -  $^{137}\text{Cs}$  - 1% M-5 -  $\text{HNO}_3$  (pH=4)

### 3. 결론

나노 복합유체 제염제를 사용하여 방사성 세슘 ( $^{137}\text{Cs}$ )으로 오염된 제염대상 시설 및 설비 제염과정에서 발생된 제염폐액 중 나노 복합유체 제염 폐액에 M-100 계면활성제가 포함된 경우에는  $^{137}\text{Cs}$  과 PM-MNC의 최대 흡착 가능한 조건에서는 1회 흡착에 의해서 99%의  $^{137}\text{Cs}$  제거가 가능하며, TBS 계면활성제가 포함된 경우에는  $^{137}\text{Cs}$  추가 제거가 요구된다. 따라서 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )에 대한 강력한 결합력과 자성을 가진 세슘 제거용 기능성 흡착체인 PM-MNC 사용하여 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )을 간편하게 제거할 수 있다고 판단된다. 그리고 나노 복합유체 제염 폐액의 재순환공정에 대해서는 기술적인 측면에서 보면 나노 복합유체 제염 폐액은 여러 재생공정을 통해 재사용할 수 있다고 생각되지만, 경제성 측면에 대해서는 모든 공정이 완성된 후 경제성 평가에 대한 논의가 요구된다.

### 4. 감사의 글

연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발 중장기 계획사업 일환으로 수행된 연구결과입니다.

### 5. 참고문헌

- [1] 양한범, 정종현, 윤인호, 김초롱, 최만수, 최왕규, "스테인리스강 제염공정 폐액중 Ce(III)  $\rightarrow$  Ce(IV)의 오존 산화반응 특성", 한국방사성폐기물학회 2014 춘계학술 발표회 논문요약집, pp. 353-354, 10.15~17, 2015, 부산.
- [2] 양희만, 장성찬, 최용석, 이근우, 서범경, 문제권, "방사성 세슘 제거용 자성나노클러스터 제조 및 특성 분석", 한국방사성폐기물학회 2014 춘계학술 발표회 논문요약집, pp. 269-270, 10.15~17, 2014, 여수.
- [3] Hee-Man Yang, Sung-Chan Jang, Sang Bum Hong, Kune-Woo Lee, Changhyun Roh, Yun Suk Huh, Bum-Kyoung Seo, "Prussian blue-functionalized magnetic nanoclusters for the removal of radioactive cesium from water", J. Alloys and Compounds, 657, 387-393 (2016).