

# 실리카 나노입자를 이용한 나노복합유체 제염제의 제조기술 개발 현황

윤석본<sup>1\*</sup>, 윤인호<sup>2</sup>, 최왕규<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

<sup>2</sup>한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*sbyooncri137@khnp.co.kr

## 1. 서론

원전해체시 대형/대면적 기기 및 설비 표면에 존재하는 방사성 오염을 제거하기 위한 방법으로 화학제염제의 사용이 잘 알려져 있다. 비록 화학제염제를 이용한 제염공정은 방사성 오염물질과 화학제염제의 강력한 화학적 반응을 통해 높은 용해특성을 나타내지만 다량의 제염폐액이 발생하는 단점을 가지고 있다. 최근, 화학제염제의 장점을 유지하면서 이차폐기물 발생을 최소화하기 위한 방법으로 거품 제염제 제조에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 거품 제염기술은 90%의 기체와 10%의 화학제염제로 구성되어 있기 때문에 화학제염기술과 비교하여 제염 후 이차폐기물이 1/10 이상 적게 발생하는 장점이 있고 구조적으로 복잡한 대형기기 및 대면적의 제염에 용이한 특징을 나타낸다. 그러나 거품 제염제는 거품의 안정성 및 제염효율이 낮은 단점을 가지고 있기 때문에, 이러한 거품 제염제의 단점을 극복하기 위하여 위한 노력으로 실리카 나노입자를 이용한 새로운 나노복합유체 제염제의 제조에 관한 연구들이 보고되고 있다[1,2].

본 연구에서는 실리카 나노입자를 이용한 나노복합유체 제염제의 제조기술 개발 현황 조사를 통해 제염제 제조시 사용된 실리카 나노입자의 구조적 특성, 입자 크기 및 표면 특성 등과 같은 거품의 안정성에 영향을 미치는 다양한 인자들을 평가 및 분석하여 최적의 나노복합유체 제염제 제조 조건을 제안하고자 하였다.

## 2. 본론

### 2.1 나노복합유체 제염제의 제조

나노복합유체는 1.0 M HNO<sub>3</sub>을 이용하여 pH 2로 조절된 1.0wt% alkyl polyglucoside(Elotant™ Milcoside 100; EM 100) 계면활성제 용액(50 mL)과 다양한 구조, 크기 및 표면특성을 갖는 실리카 나노입자(1.0wt%)를 이용하여 제조하였다. 나노복합유체 제염제 제조를 위해 사용된 다양한 구조(비

다공성 나노입자, 메조다공성 코어-셸 나노입자 및 메조다공성 나노입자), 입자 크기(ca. 50 ~ 200 nm) 및 친수성 또는 소수성의 표면특성을 갖는 실리카 나노입자는 앞서 보고된 문헌들을 참고하여 합성하였다. 제조된 나노복합유체 제염제의 거품 안정성 실험은 Foamsan(TECLIS, France)을 사용하여 수행되었다.

### 2.2 나노입자의 구조적 특성에 따른 거품 안정성

나노복합유체 제염제의 거품 안정성 평가를 위해 비슷한 크기(ca. 200 nm)를 갖는 비다공성 실리카 나노입자, 메조다공성 코어-셸 실리카 나노입자 및 메조다공성 실리카 나노입자를 사용하였다. 그 결과, 메조다공성 실리카 나노입자를 사용할 경우 가장 우수한 거품 안정성을 나타내었다. 이것은 사용된 메조다공성 실리카 나노입자가 메조다공성 코어-셸 실리카 나노입자와 비다공성 실리카 나노입자와 비교하여 기공성(Porosity)이 우수할 뿐만 아니라 입자의 밀도(Bulk Density)가 작기 때문에 나노복합유체 제염용액 내에서 상대적으로 오랜 시간 동안 유지하고 있는 결과로 설명할 수 있다. 결국, 사용된 실리카 나노입자의 구조적인 특성(기공성 및 밀도)이 거품 안정성에 영향을 미치는 중요 인자들 중의 하나임을 알 수 있었다.

### 2.3 나노입자의 크기에 따른 거품 안정성

실리카 나노입자의 크기에 따른 거품 안정성을 평가하기 위해 다양한 크기를 갖는 메조다공성 실리카 나노입자가 나노복합유체 제염제 제조에 사용되었다. 메조다공성 실리카 나노입자의 크기는 염기 촉매인 암모니아수의 양을 조절하여 ca. 80 ~ 200 nm의 크기로 쉽게 조절하여 합성하였다[3]. 다양한 크기로 합성된 메조다공성 실리카 나노입자를 사용하여 제조된 나노복합유체 제염제의 거품 안정성 평가 결과, 사용된 메조다공성 실리카 나노입자의 크기가 작을수록 보다 더 우수한 거품 안정성을 보여주었다. 결국, 나노복합유체의 거품 안정성은 사용된 실리카 나노입자의 크기가 매우 중요한 인자임을 보여준 결과였다.

## 2.4 나노입자의 표면특성에 따른 거품 안정성

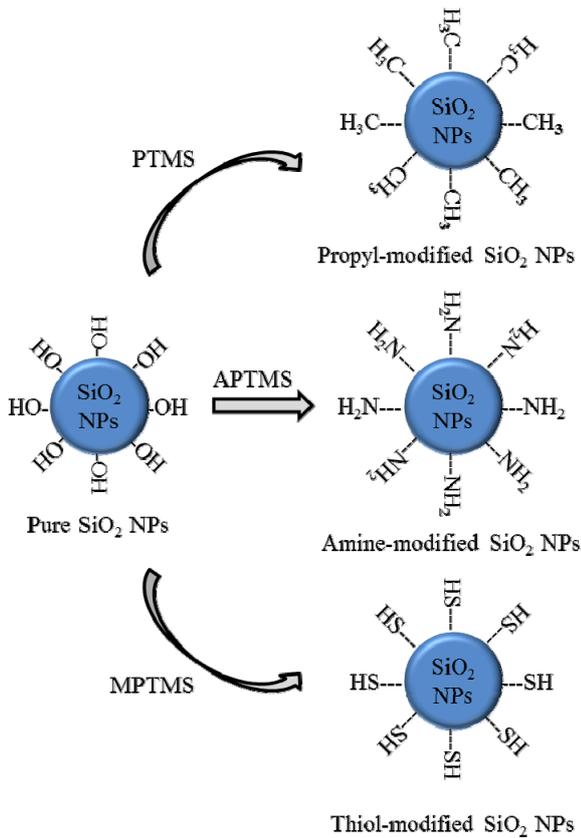


Fig. 1. Schematic Procedures for Preparation of Propyl-, Amine- and Thiol-Modified Silica Nanoparticles.

약 200 nm의 균일한 크기를 갖는 단분산된 실리카 나노입자의 표면에 PTMS(propyltrimethoxy silane), APTMS(aminopropyl trimethoxy silane) 및 MPTMS(mercaptopropyl trimethoxy silane)를 이용하여 표면이 개질된 실리카 나노입자를 제조하여 실리카 나노입자의 표면 특성에 따른 나노복합유체의 거품 안정성을 평가하였다. 나노복합유체가 산성조건(pH ≤ 2)에서 제조되기 때문에 나노복합유체 내에 존재하는 실리카 나노입자의 표면은 부분적인 양전하를 띄게 되어 입자들 간의 반발 작용에 의해 입자들의 분산성이 좋아지는 특징을 가진다. 그러나 표면이 thiol 기능기로 개질할 경우, 개질되지 않은 실리카 표면에 띄고 있는 부분적인 양전하와 음전하를 띄는 thiol 기능기와의 정전기적 상호작용에 의해 입자들 간의 응집이 발생하게 거품 안정성이 저하되는 결과를 보였고 또한, 소수성 표면 특성을 갖는 실리카 나노입자를 사용한 경우에도 약간의 소수성 인력에 의해 입자들 간의 응집 현상이 발생하여 거품 안정성을 떨어뜨리는 결

과를 나타냈다. 이러한 결과를 통해 산성 조건 하에서 제조되는 나노복합유체는 사용된 실리카 나노입자의 표면특성에 따라 거품 안정성이 크게 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

## 3. 결론

본 연구에서는 나노복합유체 제염제의 제조에 있어서, 사용된 실리카 나노입자의 구조적인 특성, 입자 크기 및 표면특성에 따른 거품 안정성에 영향을 주는 다양한 인자들에 대해 고찰하였다. 결국, 사용된 실리카 나노입자는 입자의 밀도와 크기가 작고 분산성이 좋을수록 높은 거품 안정성을 나타냄을 확인하였다. 이러한 결과로부터 거품 안정성에 영향을 주는 다양한 인자들을 고려하여 제조된 나노입자를 이용할 경우, 나노복합유체 제염제의 거품 안정성 및 제염 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

## 4. 참고문헌

- [1] S. B. Yoon, I.-H. Yoon, C. Kim, C.-H. Jung, S. Kim, W.-K. Choi and J.-K. Moon, "Morphological Control of Mesoporous Silica Nanoparticles and Their Application for Foam Stability", *Asian Journal of Chemistry*, 26(5), 1401-1404 (2014).
- [2] I.-H. Yoon, S. B. Yoon, C.-H. Jung, C. Kim, S. Y. Park, J.-K. Moon and W.-K. Choi, "Decontamination Foam Containing Silica Nanoparticles of Various Structures", *Asian Journal of Chemistry*, 26(5), 1405-1407 (2014).
- [3] 윤석본, 윤인호, 김초롱, 정종현, 최왕규, 문제권, "Ultra-fine 메조다공성 실리카 나노입자의 합성", *한국방사성폐기물학회 2014 추계학술발표회 논문요약집*, 12(2), 363-364 (2014).