

복합유체 제염제 내 개질된 실리카 나노입자의 거품안정성 평가

김초롱*, 정종헌, 윤인호, 최왕규, 문제권

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*chorong@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성 물질 취급시설의 가동 이력이 경과함에 따라 노후화 시설의 유지·보수 및 해체가 필요하며, 이러한 작업 시 작업자의 피복저감 및 방사성 물질의 확산을 막기 위한 목적으로 제염기술이 개발되어 왔다. 현재 대표적인 제염기술로는 화학적 용해나 산화·환원 반응을 통해 높은 제염 효과를 지닌 화학용액 제염기술이 사용되고 있지만 이는 화학제염 후 다량의 방사성폐액을 발생시키기 때문에 이차폐기물의 양을 줄일 수 있는 제염 공정이 필요하다. 복합유체 제염 (Foam decontamination) 공정은 90% 이상이 기체로 구성되어 있어 제염 후 발생하는 방사성 폐액의 양을 저감할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 구조적으로 적용하기 어려운 대형기구나 대면적 시설의 제염에 사용될 수 있다.

따라서 복합유체 제염제의 제염효율을 높이기 위해서는 거품을 오랫동안 안정하게 유지시키는 것이 중요한데, 이러한 안정성을 향상시키기 위해 계면활성제에 고분자 물질 또는 무기물질인 나노입자 등이 첨가된다. 본 연구에서는 나노복합유체 제염제의 안정성을 증가시키기 위해 실리카 나노입자 표면을 개질하였으며, 이를 사용하여 거품 안정성을 평가하였다.

2. 본론

2.1 실험방법

본 연구에 사용된 표면개질된 실리카 나노입자의 합성과정은 다음과 같다. 암모니아수와 양이온 계면활성제인 cetyltrimethylammonium bromide (CTABr)을 사용하여 tetraethylorthosilicate (TEOS)와 유기 amino 기능을 가진 (3-aminopropyl)trimethoxysilane(APTMS), N-[3-(trimethoxysilyl)propyl]ethylenediamine(AAPTMS), N1-[3-(trimethoxysilyl)propyl]diethylenetriamine(AEPTMS)을 넣고 혼합하여 표면개질된 실리카 나노입자를 합성하였다[1-2]. 합성 시, 유기 amino기능기의 함량은

Si source [TEOS+유기 amino기능기]의 질량 대비 5wt%로 하였다. 이때 유기기능기가 함유되지 않은 실리카 나노입자를 KAERI-1으로 나타냈으며, APTMS를 이용하여 합성된 나노입자를 K-N, AAPTMS으로 합성된 나노입자는 K-N2, AEPTMS으로 합성된 나노입자는 K-N3로 나타내었다.

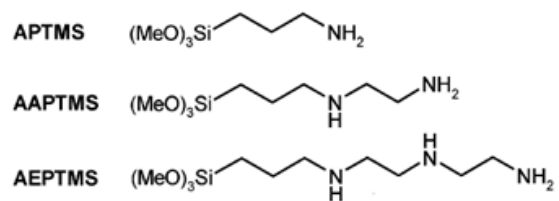


Fig. 1. Silane coupling agents with various.

표면개질된 나노입자가 포함된 나노복합유체의 거품안정성 평가를 위해 Foamscan (TECLIS, France)을 사용하여 광학적 이미지 분석과 전기 전도도를 측정하였다. 나노복합유체의 제조는 계면활성제인 Elotant™ Milcoside 100(EM100, LG Household & Health Care)과 표면개질된 나노입자를 전체 용액 부피 대비 1wt%로 하여 제조하였으며 이 때, 용액의 pH를 2로 맞추기 위해 1N HNO₃와 1N NaOH을 사용하였다. 제조된 나노복합유체 30 mL을 유리 Column에 주입한 후 질소가스를 60 mL/min의 유량으로 공급하여 180 mL까지 거품을 발생시켜 실시간으로 거품안정성 및 전기전도도를 측정하였다.

2.2 결과

실리카 나노입자 표면 개질에 의해 생성된 유기 기능기의 결합유무를 확인하기 위해 열중량분석 (thermogravimetric analyzer system, TGA, Q600, TA Instruments, Japan)을 수행하였으며, 이를 Fig. 2에 나타내었다. 이때, N₂ 분위기 하에서 온도범위를 25~1000°C로 하였으며 온도상승속도는 10°C/min으로 하였다. KAERI-1의 경우 유기기능기가 존재하지 않아 weight loss가 3.54wt% 밖에 발생하지 않은 반면, K-N, K-N2 및 K-N3의 경우 각각 12.20, 17.62, 및 18.05wt%의 weight loss를 나타내었다. 이 결과를 통해 기능기의 길이

가 증가함에 따라 유기기능기 내의 유기물 함량이 증가하므로 weight loss 값이 증가하는 것으로 사료되며, 또한 K-N2와 K-N3의 경우 weight loss 값이 비슷하게 나타나는데 이는 AEPTMS가 KAERI-1 나노입자 표면에 제대로 결합되지 않은 것으로 사료된다.

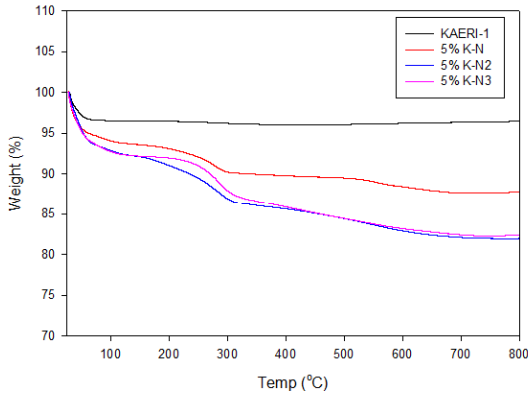


Fig. 2. TGA analysis of KAERI-1, K-N, K-N2, K-N3.

나노복합유체의 거품안정성 실험결과를 Fig. 3에 나타낸 결과 실리카 나노입자가 포함되지 않은 1% EM100의 거품부피가 138 mL로 가장 낮게 나타났으며, K-N3(157 mL) < KAERI-1(162 mL) < K-N2(169 mL)의 순으로 높게 나타났다. KAERI-1과 개질된 나노입자를 비교해 보았을 때 거품부피가 근소한 차이를 보이는 것으로 보아 유기기능기의 개질이 거품안정성에 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다. 거품부피를 기준으로 하면 유기 기능기를 사용한 나노입자의 개질은 거품안정성에 큰 영향이 없는 것으로 사료된다.

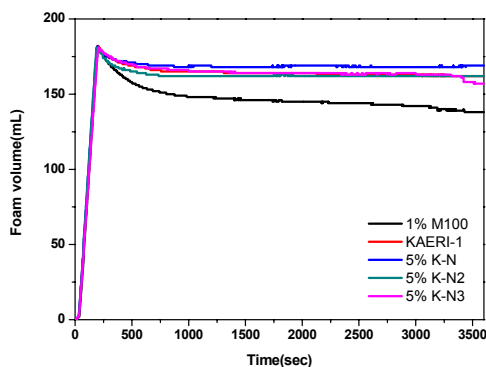


Fig. 3. Variation of foam volume of KAERI-1, K-N, K-N2, K-N3

개질된 실리카 나노입자가 포함된 복합유체의 거품 내 액체량 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그 결과 초기에는 1% EM100과 K-N2의 거품 내 액체량이 가장 높게 나타났으나 시간이 지속됨에 따

라 K-N의 거품 내 액체량이 가장 높게 나타났으며 K-N3 > K-N2 > KAERI-1 순으로 높게 나타났다. 이를 통해 실리카 나노입자 표면에 기능기가 결합됨에 따라 거품 내 액체량이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

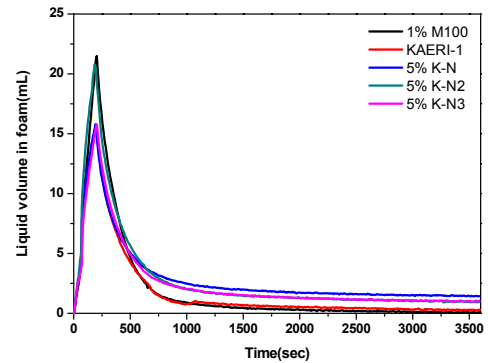


Fig. 4. Variation of liquid volume in foam.

3. 결론

본 연구에서는 나노복합유체 제염제의 안정성을 증가시키기 위해 실리카 나노입자 표면을 개질하였으며, 이를 사용하여 거품 안정성을 평가하였다. 열중량 분석을 통해 실리카 나노입자 표면에 유기기능기가 결합되어 있음을 확인할 수 있었다. 거품안정성 실험결과 거품내 액체량 측정값을 기준으로 하면 실리카 나노입자가 포함되지 않았을 때보다 나노입자가 포함되었을 때 거품안정성이 더 높게 나타났으며, 실리카 나노입자 표면은 기능기로 개질하였을 때가 개질하지 않았을 때보다 거품안정성이 향상된 것으로 나타났다.

4. 참고문헌

[1] Q. Cai, Z.-S. Luo, W.-Q. Pang, Y.-W. Fan, X.-H. Chen, and F.-Z. Cui, Dilute Solution Routes to Various Controllable Morphologies of MCM-41 Silica with a Basic Medium, *Chem. Mater.*, 13, 258, 2001.

[2] L. Bois, A. Bonhomme, A. Ribes, B. Pais, G. Raffin and F. Tessier., Functionalized silica for heavy metal ions adsorption, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 221, 221-230, 2003.