

# 방사성 소각재 안정화 및 시멘트 고화

안병길\*, 양다솜, 이기원

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*bgan@kaeri.re.kr

## 1. 서론

원자력시설의 운전, 제염, 해체 등의 공정에서 방사성 물질로 오염된 가연성 폐기물이 다량 발생된다. 가연성 폐기물에는 작업자가 착용한 장갑, 방호복, 제염지, PVC 시트 등이 있으며, 원자력 시설 구성물인 목재류도 등의 가연성 폐기물로 발생된다. 이러한 가연성 폐기물의 처리방법으로 소각에 의한 방법이 최종 폐기물의 안정성 및 감용 면에서 유리하다. 소각 처리 결과 최종적으로 분말상의 무기질 소각재가 발생되며, 소각에 의해 약 1/40 이상의 감증비를 나타내며 소각재에는 방사성 물질이 농축되어 비방사능이 높아지게 된다. 또한 소각재는 밀도가 낮아 비산에 따른 위험성 등이 존재하므로 최종 처분을 위해서 안정한 고화체로 제조되어야 한다. 고화체 제조 매질로 시멘트, 플라스틱, 아스팔트 등이 사용될 수 있으나 감용 및 안정성 측면의 고찰이 필요하다.

본 연구에서는 연구용 원자로 해체공정에서 발생한 가연성 폐기물 소각재를 대상으로 안정된 고화체 제조에 대한 연구를 수행하였다. 소각재 고화체 제조 방법으로 시멘트에 의한 고화방법은 소각재와 시멘트의 밀도차에 의한 상분리, 소각재의 비 친수성에 따른 비균질 고화체 형성, 시멘트 경화 공정에서 발생하는 강 알칼리 물질이 소각재의 금속 산화물과 반응하여 가스 발생 등으로 인하여 처분에 적합한 시멘트 고화체 제조에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결을 위해서 소각재를 안정한 물질로 치환 후 시멘트 고화하는 방법을 수행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 실험방법

본 연구에 사용된 연구용 원자로 해체공정에서 발생한 소각대상 가연성 폐기물과 원소분석 결과 주요 구성물은 나무이며 종이류, 아크릴 판, 플라스틱 등으로 구성되어 있다. 소각재의 원소분석 결과 CaO 함량이 크며 그 외 다양한 금속산화물로 구성되어 있다[1]. 이러한 소각재를 안정화시키기

위해서 소각재에 소결조재( $B_2O_3$ /  $NH_4H_2PO_4$ [NHP]=4) 8wt% 를 혼합 후 200 ~ 800°C 온도 범위에서 각각 1 시간 동안 반응시켰으며, 반응 생성물을 XRD로서 분석하였으며 그 결과를 고찰하였다.

시멘트 메질에 의한 고화체 제조는 적정 온도에서 반응시킨 소각재를 대상으로 수행하였으며 균질한 혼합과 시멘트 경화에 필요한 적정 수분량 결정을 위해서 한국공업규격 KS L 5109에서 규정한 장치를 사용하여 KS L 5111에 따라 작업도를 측정하였으며 이를 만족시키는 혼합 조성비의 소각재/시멘트 반죽을 직경 5 cm x 높이 10 cm의 PVC 용기에 넣어 고화체를 제조하여 압축강도(3개 평균) 및 기타 물성을 측정하였다. 제조 조건은 소각재와 시멘트 비율이 75 : 25, 65 : 45 및 55 : 45의 조성비에 대해서 작업도를 만족시키는 수분량을 결정하였다.

### 2.2 결과

반응온도에 따른 소각재와 소결조재의 반응 특성 자료를 얻기 위해서 약 30 g의 시료를 알루미늄도가니에 충전하여 200 ~ 800°C 온도 범위에서 반응시켰으며, 반응 전 후의 시료에 대한 XRD 분석 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 이 그림을 보면 원래의 소각재의 경우 주요 물질은 calcite ( $CaCO_3$ )와 실리카로 구성되어 있으며, 소결조재 혼합 소각재의 온도별 반응생성물을 보면 500 ~ 600°C에서는 calcite와 calcium phosphate의 peak가 혼재하여 나타남을 알 수 있다. 반면 실리카는 온도 증가에 따라 사라짐을 알 수 있는데 이는 소결조재에 존재하는  $B_2O_3$ 의 영향으로 저온에서 비정질화되어 나타나는 현상으로 판단된다. 700°C 이상의 반응 온도에서는 calcium phosphate로 존재함을 알 수 있다. 이러한 결과들로부터 소각재/ 소결조재 (8wt%) 혼합물을 700°C에서 처리하여 얻어진 안정화된 소각재를 시멘트 고화체 제조를 위해 사용하였다. 작업도를 만족시키는 증류수 함량은 “소각재 : 시멘트 : 증류수 = 56.5 : 18.8 : 24.7” 이었다.

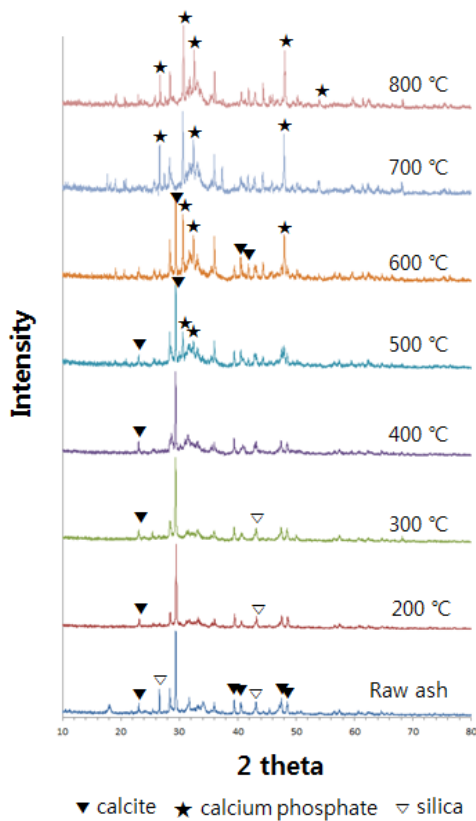


Fig. 1. XRD patterns of reaction products of ash and sintering agent(8wt%) mixture according to reaction temperature.

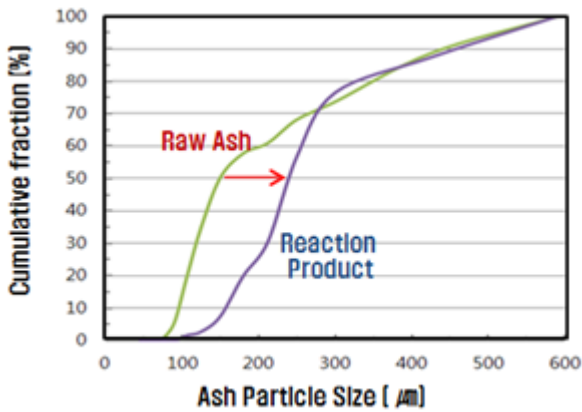


Fig. 2. Particle size distribution of raw ash and stabilized ash of 700°C and 1hr reaction.

반응 전, 후의 소각재에 대한 입도 분석 결과를 나타낸 Fig. 2를 보면 평균입경이 150  $\mu\text{m}$ 에서 240  $\mu\text{m}$ 으로 약 90  $\mu\text{m}$  증가함을 알 수 있으며 calcium phosphate 형성에 기인함을 알 수 있다.

4 주 동안 밀봉 양생 후 제조된 시멘트 고화체 사진과 SEM 분석사진을 나타낸 Fig. 3을 보면 표면이 매끈한 안정된 고화체를 나타내며 SEM 분석 결과 시멘트 함량이 증가할수록 포졸란 반응 증가로 인해 치밀한 구조를 형성함을 알 수 있다. 각

조성별 압축강도(3개 평균)는 4 MPa 이상을 나타내었으며 시멘트 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 7 주 침출 실험 완료 후 고화체는 안정된 형상을 유지하고 있었으며, 각각의 침출 시료에 MCA 분석을 수행 중이다.

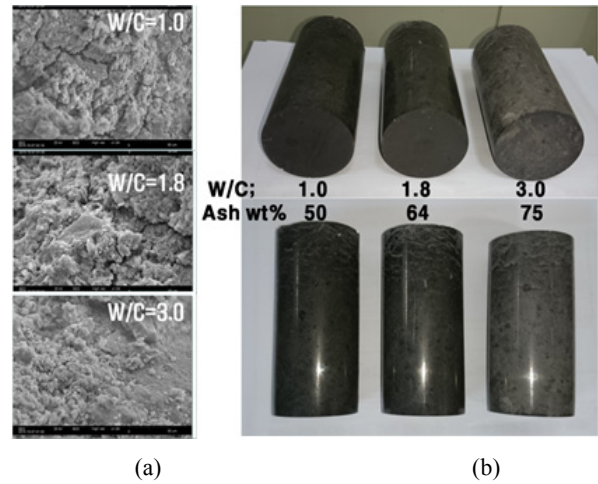


Fig. 3. (a) SEM image and (b) cement wasteforms (D50xH100mm) of stabilized ash and cement mortar after 4 weeks curing.(W; ash and C; cement).

### 3. 결론

연구용원자로 해체공정에서 발생된 가연성 방사성폐기물 소각재를 안정화 및 고화체 제조연구를 수행하였다. 소각재와 소결조제 혼합물의 반응 온도에 따른 생성물의 특성을 XRD 분석을 통해 평가하였으며 시멘트 고화를 위한 적정 반응온도를 도출하였다. 또한 적정 조건에서 제조된 안정화된 소각재를 이용하여 시멘트 고화체 제조에 필요한 적정 수분량을 결정하였으며 시멘트 고화체를 제조하여 물리적 특성을 분석하였다. 이러한 결과들은 소각재의 실규모 처리공정에 경제적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 4. 참고문헌

- [1] 안병길 외, 방사성 소각재 안정화 및 고정화연구, pp 389-390, 방사성폐기물학회 추계 학술대회 논문요약집 (2015).