

방사성 소각재 안정화 및 고정화 연구

안병길*, 양다솜, 이기원, 최종원

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 감중비를 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 발생된 가연성 폐기물 소각재를 대상으로 안정된 고화체 제조에 대한 연구를 수행하였다. 소각재는 유리화 및 세라믹화가 가능한 물질로 구성되어 있다는 점에 착안하여 소결 조제(sintering agent)를 소각재에 첨가하여 온도에 따른 반응성을 실험하였다. 이러한 반응 생성물을 XRD 분석을 통해 소각재의 안정화를 위한 적정 반응 온도를 도출하였다. 또한 적정 반응온도에서 처리한 소각재를 시멘트 매질에 의한 고화체 제조 실험을 수행하였다.

2. 본론

2.1 실험방법

본 연구에 사용된 연구용 원자로 해체공정에서 발생된 소각대상 가연성 폐기물과 원소분석 결과를 Table 1에 각각 나타내었다. 주요 구성물은 나무이며 종이류, 아크릴 판, 플라스틱 등으로 구성되어 있다.

Table 1. (a) Incineration waste of TRIGA decommissioning (b) elements composition of mixed ash

(a)		(b)		
Waste	wt%	Elements	wt%	
A	wood	87.9	CaO	26.7
	plastics	9	Na2O	3.8
	acrylate plate	1.8	K2O	4.1
	mixture	1.3	Al2O3	12.4
			Fe2O3	27.5
B	wood	72.4	SiO2	12.1
	plastics	3	MgO	3.0
	acrylate plate	24.6	TiO2	3.0
C	wood	58	ZnO	2.0
	acrylate plate	32.1	Cr2O3	1.9
	PVC	1.2	Ni2O	0.8
	cotton glove	2.1	Mn2O3	0.4
	paper	6.6	CuO	0.2
		PbO	2.1	
		CdO	0.1	

소각재의 원소분석 결과를 나타낸 Table 1 (b)를 보면 CaO 함량이 큼을 알 수 있으며 이러한 현상은 소각 대상 폐기물 중 나무의 함량이 높은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 일반적으로 나무 소각재에는 약 35%의 CaO가 함유되어 있다. CaO는 공기중에서 수화 반응에 의해 소석회[Ca(OH)₂]로 되며, 공기 중의 CO₂와 반응하여 CaCO₃ 형태로 존재하게 된다. 그리고 CaCO₃는 약 900°C의 고온에서 CO₂가 발생되고 CaO 형태가 된다. 따라서 이러한 소각재는 고온 압축에 의해 소결 고화체를 제조시 존재하는 CaO로 인해 불안정한 고화체를 형성하게 된다. 이러한 소각재를 안정화시키기 위해서 소각재에 소결조제(B₂O₃/ NH₄H₂PO₄[NHP]= 4) 8wt% 를 혼합 후 200 ~ 800°C 온도 범위에서 반응시켰으며, 반응 생성물을 XRD로서 분석하였으며 그 결과를 고찰하였다.

시멘트 매질에 의한 고화체 제조는 600°C에서 반

응시킨 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 사용된 장치들을 그림 1에 나타내었다. 이를 만족시키는 혼합 조성비의 소각재/시멘트 반죽을 직경 5 cm x 높이 10 cm의 PVC 용기에 넣어 고화체를 제조하여 물성을 측정하였다. 제조 조건은 소각재와 시멘트 비율이 75 : 25, 65 : 45 및 55 : 45의 조성비에 대해서 작업도를 만족시키는 수분량을 결정하였다.



Fig. 1. (a) Cement mortar mixing apparatus and (b) workability test equipment.

2.2 결과

반응온도에 따른 소각재와 소결조재의 반응 특성 자료를 얻기 위해서 약 30 g의 시료를 알루미늄 도가니에 충전하여 200 ~ 800°C 온도 범위에서 반응시켰으며, 반응 전 후의 시료에 대한 XRD 분석 결과를 그림 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 600°C에서 처리하여 얻어진 안정화된 소각재를 시멘트 고화체 제조를 위해 사용하였다. 작업도를 만족시키는 수분량은 소각재 : 시멘트 : 수분=56.5 : 18.8 : 24.7 이었다.

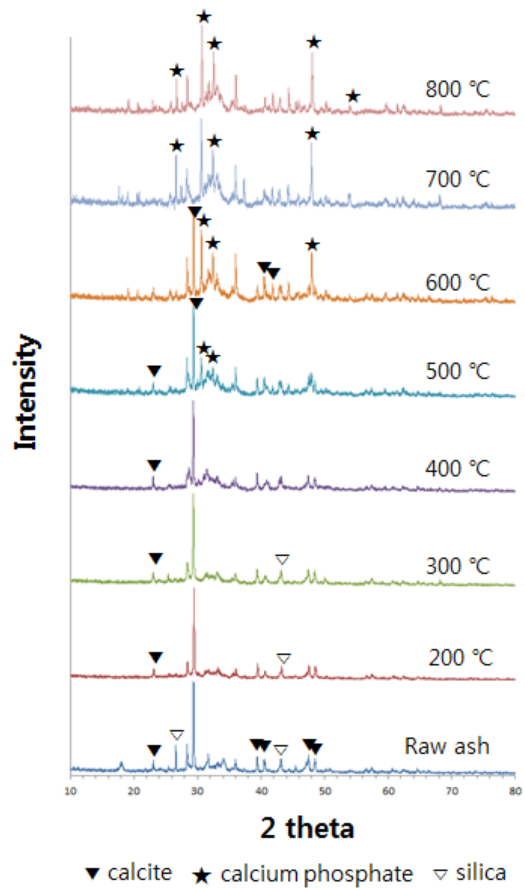


Fig. 1. XRD patterns of reaction products of ash and sintering agent(8wt%) mixture according to reaction temperature.

3. 결론

연구용원자로 해체공정에서 발생된 가연성 방사성폐기물 소각재를 안정화 및 고화체 제조연구를 수행하였다. 소각재와 소결조재 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.