

# 방사성폐기물 고형화 공정 관리 절차 개발

김정명<sup>1\*</sup>, 조남찬<sup>1</sup>, 주영종<sup>1</sup>, 이승원<sup>2</sup>, 한광호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한전원자력연료, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 242

<sup>2</sup>(주)케미콘시스템, 충청북도 진천군 광혜원면 죽현리 172-1

\*jmk@knfc.co.kr

## 1. 서론

중·저준위 방사성폐기물 처분시설 안전성분석보고서(SAR)에 따르면 “입자성 물질을 포함하는 폐기물은 비분산성이 되도록 처리하여 포장되어야 한다.”고 명시되어 있고 “입자성 물질을 포함하는 폐기물이란 직경 0.01 mm 이하의 입자가 폐기물 무게의 1% 이상 구성되어 있거나 직경 0.2 mm이하의 입자가 15% 이상 구성되어 있는 것을 말한다.”



핵연료가공시설에서 발생하는 우라늄 함유 방사성 폐액 처리과정에서 발생한 석회침전물은 입자성 물질을 포함하는 폐기물로 분류되어 고형화 후 처분하여야 한다. KNF는 석회침전물의 고형화를 위해 시멘트 고형화 방법을 선정하였고, 처분적합성을 만족하면서 부피증가를 최소화 할 수 있는 고화제를 개발하였다. 최종적으로 고형화 기술을 방사성 폐기물에 적용하기 위해서는 고형화 PCP(Process Control Program) 개발이 필요하다.

이에 본 연구는 방사성폐기물 고화제 개발 결과를 바탕으로 고형화 공정 관리 절차를 개발하여 처분적합성을 만족하는 방사성폐기물을 처분하는 것을 목표로 하고 있다.

## 2. 본론

### 2.1 고형화 대상 폐기물 특징

Table 1. Characteristic of Waste

폐기물 종류	
슬러지 폐기물 (Sludge Waste, SW)	분체 폐기물 (Dried Waste, DW)
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- CaCO<sub>3</sub>, CaF<sub>2</sub> 혼합물</li> <li>- 슬러지 상태</li> <li>- 수분함량 : 30~50%</li> <li>- 암모니아 함유(Max.0.2%)</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ca(OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, SiC 등의 혼합물</li> <li>- 건조되어 응집된 상태</li> <li>- 수분함량 : 0-3%</li> <li>- 이물질이 미량 포함</li> </ul>

#### 2.1.1 슬러지 폐기물

슬러지 폐기물은 핵연료가공시설에서 UF<sub>6</sub>를 UO<sub>2</sub>로 재변환하는 과정에서 발생하는 폐액을 처리하기 위해 소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)를 투입하여 침전된 슬러지를 말하며, XRD 분석 결과 CaCO<sub>3</sub>, CaF<sub>2</sub>가 주성분이며, 30-50%

의 함유율을 가진다. 그리고 AUC공정 운영 시 일부 폐기물에 암모니아가 함유되어 있는 특징이 있다.

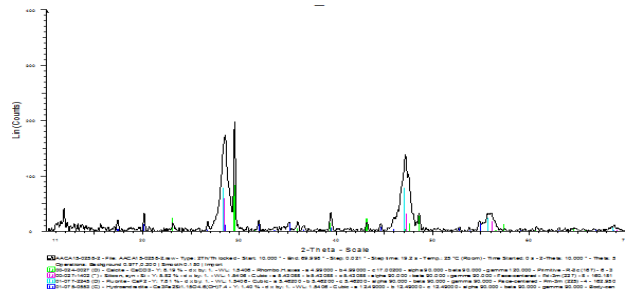


Fig. 1. XRD Analysis of Sludge Waste.

#### 2.1.2 분체 폐기물

분체 폐기물은 핵연료가공시설 방사선 관리구역 내에서 발생하는 제염폐액, 세탁폐액 등에서 발생하는 폐액을 처리하기 위해 소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)를 투입하여 침전된 슬러지를 말하며, XRD 분석 결과 Ca(OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, SiC가 주성분이며, 건조가 되어 슬러지들이 응집되어 있다. 그리고 일부 폐기물에 이물질이 미량 포함되어 있다.

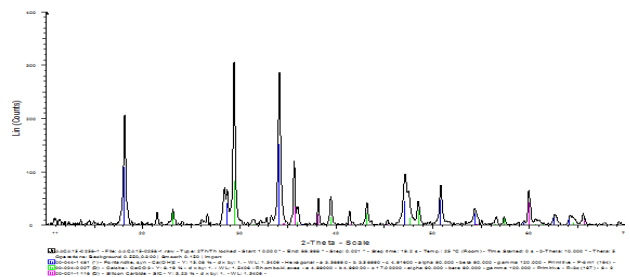


Fig. 2. XRD Analysis of Dried Waste.

### 2.2 고형화 공정 관리 절차

#### 2.2.1 전처리

석회침전물 내 포함된 이물질 및 암모니아 제거를 위해 폐기물을 전처리하는 공정을 말한다. 전처리는 챔버 내 챔버믹서에서 이루어진다.

2.2.1.1 분체 폐기물은 스크린을 통해 이물질을 제거하고, 슬러지 폐기물은 별도의 이물질 제거 없이 투입한다.

2.2.1.2 분체 폐기물에는 물과 유동화제를 투입하고, 슬러지 폐기물에는 유동화제를 투입하여 유동

성을 확보한다.

2.2.1.3 암모니아 함유 폐기물은 암모니아 활성을 위해 온도를 40~45°C로 유지시키고 15시간 이상 교반하여 암모니아를 증발시켜 제거한다.

2.2.1.4 증발된 암모니아 가스는 암모니아 처리장치로 이송한다.

2.2.1.5 암모니아가 제거된 폐기물과 암모니아 미 함유 폐기물은 20분 이상 혼합한 후 시료채취 배관을 통해 시료 50cc를 채취하고 멀티믹서로 이송한다.

2.2.1.6 물과 유동화제의 투입량은 Table 2에 따른다.

### 2.2.2 암모니아 처리

일부 슬러지 폐기물은 암모니아를 함유하고 있어 암모니아 가스로 인한 처분장 성능 저하를 방지하기 위해 제거하여야 한다.

2.2.2.1 챔버로부터 이송된 암모니아 가스는 스크러버에서 묽은 황산 용액(5%이하, pH 3이하)으로 포집한다.

2.2.2.2 포집된 암모니아는 황산용액과 반응하여 황산암모늄((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)으로 형성되며 황산암모늄 용액의 농도가 25%이상이면 결정화기로 이송한다.

2.2.2.3 결정화기로 이송된 황산암모늄 용액을 증발농축하여 황산암모늄 결정으로 석출한다.

### 2.2.3 폐기물 혼합 및 포장

전처리 공정을 거친 폐기물의 방사능 농도 분석 및 고화제 균질 혼합을 하는 공정으로 균질성 확보가 중요하다.

2.2.3.1 멀티믹서로 이송된 폐기물은 가수하고 균질성 확보를 위해 20분 이상 혼합한다.

2.2.3.2 혼합된 폐기물의 방사능 농도 분석을 위해 시료를 450ml씩 1분 간격으로 3회 채취한다.

2.2.3.3 시료채취 후 고화제를 투입하여 균질성 확보를 위해 20분 이상 혼합 후 시료채취 배관을 통해 혼합물을 1분 간격으로 3회 채취하여 3개의 시편(D:50mm, H:100mm)을 제작한다.

2.2.3.4 시편제작 후 혼합물을 배출하여 200L드럼에 채움율이 90% 이상 충전시키며, 진행하는 동안 믹서는 저속으로 교반한다.

2.2.3.5 배출이 완료된 드럼은 밀봉하여 28일 이상 양생한다.

2.2.3.6 물과 고화제의 투입량은 Table 2에 따른다.

Table 2. Mixing Ratio by Weight

구 분	폐기물	유동화제	물 <sup>1)</sup>	고화제
슬러지 폐기물	100 <sup>2)</sup> %	1~4%	0~12%	30~35%
분 체 폐기물	100%	2~8%	60~80%	45~50%

주 1) 물은 고화제 내 함수율이 35~40%가 되도록 투입한다.

주 2) 슬러지 폐기물은 함수율 35%로 가정한다.

### 2.2.4 처분적합성 평가

2.2.4.1 처분적합성 평가주기는 다음과 같다.

- 1) 폐기물 특성 변경 시 : 최초 1회
- 2) 정기 평가 : 연 1회
- 3) 수시 평가 : 필요시

2.2.4.2 처분적합성 평가 기준은 Table 3을 따른다.

Table 3. Solidified Product Guidance

Test	Method
Compression strength	KS F2405
Thermal cycling	ASTM B553
Immersion	NRC「Technical Position on Waste Form」
Free liquid	ANS 55.1

## 3. 결론

방사성폐기물 고형화 공정을 구성함에 있어 방사성폐기물 각각의 특징 파악이 선행되어야 하며, 특징에 맞는 공정과 고화제를 적용해야 한다.

본 연구를 통해 개발한 고형화 공정 관리 절차는 석회침전물을 특징별로 적절한 전처리 공정과 일정한 고화제 배합비를 적용하여 동일한 성능의 고화체를 제조하고 주기적인 처분적합성 평가 방법을 포함한다. 그리고 공정을 운영하는 작업자의 안전을 고려하고 품질관리 방법도 포함한다. 이러한 공정 관리 절차를 방사성폐기물에 적용한다면, 처분적합성을 만족하는 방사성폐기물의 안정적인 처분이 가능할 것으로 예상된다.

## 4. 참고문헌

- [1] Frans Berkhout, "Radioactive Waste : Politics and Technology", Routledge(1991).