

## Thermal Decomposition and Stabilization of the Lagoon Sludge Solid Waste after Dissolution with Water

라군 슬러지 물 용해 후 고체 폐기물의 열분해 및 안정화

Jong-Hyeok Oh\*, Doo-Seong Hwang, Kue-Il Lee, Yun-Dong Choi,  
Sung-Tae Hwang, Jin-Ho Park and So-Jin Park\*

Korea Atomic Energy Research Institute, 150 Duckjin-dong, Yuseong-gu, Daejeon  
Chungnam National University, 220 Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon\*

[keeper7key@naver.com](mailto:keeper7key@naver.com)

오종혁\*, 황두성, 이규일, 최윤동, 황성태, 박진호, 박소진\*

한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150번지

충남대학교, 대전시 유성구 궁동 220번지

(Received May 6, 2005 / Approved July 5, 2005)

### Abstract

Thermal decomposition and stabilization characteristics of the solid cake after the dissolution of nitrate of the lagoon sludge was investigated. Most of the nitrates were dissolved in the water and removed to the filtrate, but small amount of nitrates, calcium carbonate and uranium were remained in the solid cake. The solid cake was thermally decomposed in the muffle furnace at 900 °C for 5 hours. Uranium, which is in the lagoon 1, was stabilized with NaNO<sub>3</sub> decomposition to Na<sub>2</sub>O · 2UO<sub>3</sub> form. For the lagoon 2, it is confirmed that CaO, which was created by thermal decomposition of the Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> and CaCO<sub>3</sub>, was transferred to Ca(OH)<sub>2</sub> in the air with water. Because it is known that Ca(OH)<sub>2</sub> is stable material, further additives did not need to the stabilization of the thermal decomposition of the lagoons.

**Key Words** : uranium conversion, thermal decomposition nitrate, sludge, stabilization

### 요 약

우라늄 변환시설의 라군 슬러지에 함유된 질산염의 안정적 처리를 위해 물 첨가 용해를 실시한 뒤, 여과 케이크의 안정화 특성에 대하여 알아보았다. 물 용해에 의해 대부분의 질산염은 고

농도 질산염 용액으로 제거되었으므로, 여과 케이크의 열분해는 900°C에서 하나의 단계로 수행하였다. Muffle furnace를 이용하여 900°C에서 5시간동안 여과 케이크의 열분해를 실시한 결과 라군 1 슬러지에 포함된 U은  $\text{NaNO}_3$ 의 열분해와 함께  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{UO}_3$ 의 형태로 안정화 되었다. 라군 2 열분해 잔류물의 경우에는 열분해 시 생성된 CaO가 냉각과정에서 수분과 반응하여  $\text{Ca(OH)}_2$ 로 전환되는 것을 TG/DTA 분석과 XRD 분석을 통해 확인할 수 있었지만, 처분장에서 대기중 노출이나 지하수의 침출 등에는 안정한 화합물로 알려져 있으므로, 특별한 첨가제의 첨가 없이 단순 열분해 후 처분이 가능할 것으로 판단된다.

**중심단어:** 우라늄 슬러지, 질산염, 열분해, 안정화

**I. 서론**

우라늄 변환시설은 중수로용  $\text{UO}_2$  분말 제조를 위하여 100 t- $\text{UO}_2$ /년의 생산규모로서 1982년 준공되었으며, 준공 이후 약 320t의  $\text{UO}_2$  분말을 생산하여 월성발전소에 공급하였다. 본 시설을 운영함으로써 경수로용  $\text{UO}_2$  분말 제조기술을 확립하게 되었으며, 한전원자력연료(주)에 200 t- $\text{UO}_2$ /년 규모의 상용공정을 건설함으로써 경수로용 우라늄 분말 국산화에 성공하였다[1]. 이에 따라 본 변환시설은 본래의 목적인 핵연료 국산화 기술을 완전 이룩하여 소기의 목적을 달성하였으나, pilot 규모인 년 100 t의 규모로는 지속적인 핵연료 생산시설로서

의 경제성이 없으므로 1993년 시설의 휴지신고를 완료하였다. 본 시설은 화학공장으로서 건설된 지 20여년이 경과하여 설치된 대부분의 장치들이 노후한 상태이며, 화학처리공정의 특성상 부식이 매우 심한 설비임에도 불구하고 출입을 제한한 상태로 단순 보관되고 있어 방사성 오염물질의 누출 위험이 항시 존재하고 있다[2]. 따라서 2001년부터 제염해체를 통한 변환시설 환경복원사업을 시작하게 되었다.

변환시설 공정의 운전 중 발생하여 라군(lagoon)에 저장되어 있는 방사성 슬러지 폐액의 처리는 시설의 해체과정에서 매우 중요한 업무 중의 하나이다. 라군은 운전 중에 발생한 모든 폐액을 수집하기

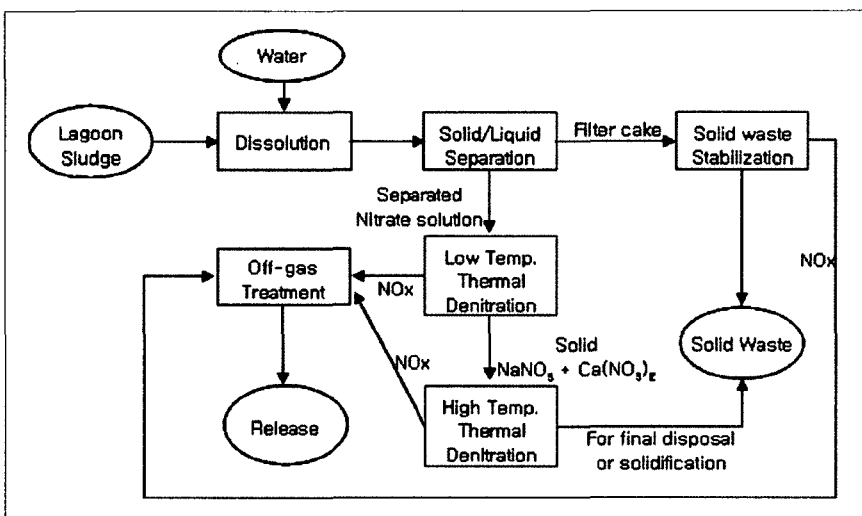


Figure 1. Flow diagram for the lagoon sludge treatment.

**Table 1. Height and physical properties of each layer of lagoons 1 and 2**

	Lagoon 1			Lagoon 2		
	upper	middle	bottom	upper	middle	bottom
phase	liquid	crystalline	deposit	liquid	crystalline	deposit
color	yellow	white	brown	yellow	white	white
density (g/cm <sup>3</sup> )	1.42	1.96	1.81	1.43	1.80	2.12
height (cm)	7	7	23	2	15	12

위한 인공 연못으로, 변환시설 옆에 위치해 있으며 두 개로 구성되어 있다. 라군의 크기는 각각 3(H)×10(W)×40(L)m, 2.7×9×40m 이다. 라군에 저장중인 슬러지는 여러 단위공정에서 발생한 폐액의 혼합물뿐만 아니라 공장 가동 초기의 누출로 인한 시설 제염 폐액 및 조업실패로 인하여 발생한 여러 가지 폐액 등으로 인하여 매우 복잡한 조성으로 이루어져 있으나, 이들 중 양이 많아서 전체 폐기물의 특성을 결정할 수 있는 것은 정제과정의 raffinate와 AUC(ammonium uranyl carbonate) 침전 여액의 처리 후 폐액이다. 1982년 변환시설의 건설 당시에는 한 개의 라군(라군 1)만이 건설되었으나, 1988년 정상적인 생산이 시작되면서 라군의 수용능력이 부족하게 되었다. 따라서 한 개의 라군(라군 2)을 더 건설하고, lime(Ca(OH)<sub>2</sub>) 처리 공정을 추가하여 라군 1 용액을 처리한 뒤 액체는 라군 2로 이송 저장하였다. 침전슬러지 폐액은 현재 수분이 거의 모두 증발하고 상층은 함유물의 포화용액, 중간층은 결정형, 하층은 입자상 형태의 세층으로 이루어져 있으며, 그 주 성분은 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> 및 U 등

이다. 바닥층에는 이들 주성분 이외에도 필터매질, 우라늄 농축물, 유기용매의 열분해 생성물 등의 성분으로 인해 매우 복잡한 무기물질로 구성되어 있으며, 소량의 Fe, Mg, Al, Si 및 P 화합물을 포함하고 있다.[3]

라군 슬러지의 처리를 위해 제안된 공정은 Figure 1에 나타낸 바와 같으며, 각 공정은 다음과 같은 방법으로 진행된다. 먼저 질산염, 우라늄 및 기타 미량 금속원소로 구성된 슬러지에 적당한 양의 물을 첨가하여 질산염을 용해한 후 슬러리 펌프를 이용하여 드럼형태의 진공 여과기로 이송한다. 약 5 μm 크기의 입자까지 여과가 가능한 드럼형태의 진공 여과기에서 이송된 슬러지를 여과하여 고액 분리한다. 분리된 고농도의 질산염 용액은 저온과 고온에서의 탈질 과정을 거쳐 최종처분에 적당한 고체 폐기물로 만든다. 고액 분리공정에서 분리된 여과 케이크는 질산염의 비율이 매우 낮으므로 고온에서의 한 단계로 열분해하여 안정한 고체 폐기물로 만든다. 탈질 및 열분해 공정에서 질산염들은 단순 열분해 혹은 alumina[4], carbon powder[5]와 같은 환원제를 첨가한 열분해에 의해 쉽게 산화물로 전환할 수 있다. 탈질과 안정화 공정에서 발생되는 NO<sub>x</sub>는 SCR(selective catalytic reduction) 촉매반응을 이용하는 배가스 처리설비를 통해 환경 규제치 이하로 처리하여 배출한다.

본 연구에서는 슬러지 처리를 위한 일련의 공정 중, 고액 분리공정에서 분리된 슬러지 여과 케이크의 고온 열분해 특성과 잔류물의 안정화 특성에 대하여 조사하였다.

**Table 2. Chemical compositions of the lagoon sludge**

		wt%	Composition, wt%				
			NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	U, ppm
Lagoon 1	upper	15.22	61.86	28.43	2.07	-	10
	middle	21.02	68.81	25.30	0.30	-	586
	bottom	63.76	53.04	17.98	9.53	-	20300
Lagoon 2	upper	5.17	79.84	13.82	1.77	-	<0.5
	middle	48.83	90.31	0.31	0.93	-	8
	bottom	46.00	20.17	3.14	18.94	38.11	305

## II. 실험

실험에 사용된 슬러지 시료는 라군에 저장된 슬러지를 직접 채취하여 사용하였다. 두 개의 라군에 저장중인 슬러지는 각각 3개의 층으로 구성되어 있으며 상층에는 액체상태의 질산염 포화용액이 존재하며, 계절에 따라 그 높이는 약간씩 변하는 것으로 나타났다. 중간층은 질산염의 결정체로 존재하고, 바닥층에는 입자상 물질의 침전물로 구성되어있다. 라군 슬러지 각층의 물리적 성상 및 높이를 Table 1에 나타내었다. 슬러지를 구성하는 주성분인  $NH_4NO_3$ ,  $NaNO_3$ ,  $Ca(NO_3)_2$ ,  $CaCO_3$  및 U의 조성은 Table 2에 나타내었으며, 이들 성분의 조성은 측정된 Ca, Na, U,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ 의 양으로부터 계산된 값이다. 고체 시료의 분석은 0.1 g의 시료를 가열된 질산과 염산의 혼합액으로 녹인 뒤 50 ml의 증류수로 희석하여 분석하였다. Table 4에는 슬러지의 바닥층에 존재하는 미량성분의 조성을 나타내었다.

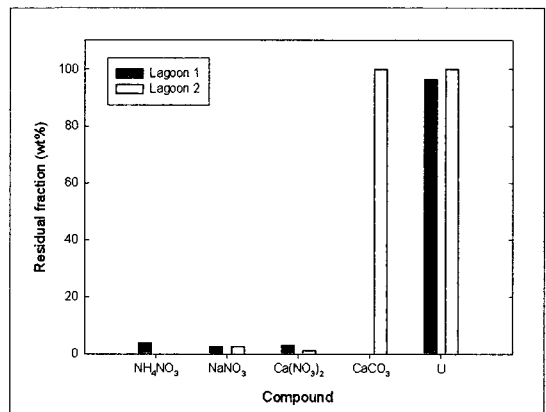
**Table 3. Analytical instruments used to characterize the filter cake**

Compound	Analyser (model)
Ca and U	ICP-AES inductively coupled plasma spectrometer-atomic emission spectrometry (ISA Jobin-Yvon JY50P)
Na	AAS atomic absorption spectrophotometer (GBC 906A)
$NO_3^-$	IC ion chromatography (Dionex DX-100)
$NH_4^+$	UV with Nessler agent ultra violet visible spectrometry (Varien 3E)
Residue	TG/DTA thermogravimetry differential thermal analysis (Setaram TA-DTA92)
	XRD X-ray diffractor (Siemens D5000)

**Table 4. Chemical composition of the other metals in the lagoon sludge**

Element	Al	Si	P	Fe	Mg
Lagoon 1 bottom wt%	0.35	1.25	0.27	0.15	0.3
Lagoon 2 bottom wt%	-	-	0.007	0.02	0.08

라군 슬러지의 물 용해를 위해 각 층의 비율에 맞추어 100 g의 슬러지 시료를 제조하였다. 제조된 시료는 시료 양의 1.0~3.0배 까지 0.5배 간격의 물을 첨가하여 30분 동안 교반하면서 질산염을 용해하고, Buchner type의 여과기(100 mm ID, pore size = 1.5  $\mu m$ )와 여과지(Whatman 42, pore size = 2.5  $\mu m$ )를 이용하여 고액 분리하였다. 이전의 연구 결과[6]를 통해 최적의 물 첨가비는 1.5배임을 알 수 있었으며, 본 연구에서는 1.5배의 물 첨가 용해 후 고액 분리된 슬러지 여과 케이크의 열분해 특성 및 잔류물의 안정화에 대해 실험하였다. 슬러지 여과 케이크는 130 $^{\circ}C$ 에서 건조하여 조성을 분석하였으며, 열분해 특성을 확인하기 위하여 TG/DTA 분석을 실시하였다. 건조된 슬러지 여과 케이크는 muffle furnace를 이용하여 900 $^{\circ}C$ 에서 5시간 동안 열분해를 실시하였다. 고액 분리에서 발생하는 여과액의 경우에는 농도의 질산염들을 포함하고 있으며, 이들 질산염 중에서  $NH_4NO_3$ 는 여러 가지의 분해기구가 발표된바 있으나[7], 고온에서의 분해는 급격한 발열반응과 부피증가로 인해 폭발 위험성이 있으므로 이를 고려하여 저온(250 $^{\circ}C$ )에서 분해하는 것이 안전할 것으로 판단되었으며, 기타의 질산염은 고온(900 $^{\circ}C$ )에서 분해되도록 하는 두 단계를 거쳐 열분해하는 것이 바람직하다. 그러나 슬러지에 포함된 대부분의 질산염이 물에 용해되고 여과공정을 통해 여과되므로 여과 케이크에는 상대적으로 소량의 질산염들만 존재하게 되고, 따라서 열분



**Figure 2. Residual fraction of the compounds in the solid cake of lagoon 1 and lagoon 2.**

해도 고온(900℃)에서의 한 단계로 처리할 수 있다. 슬러지 여과 케이크 열분해 잔류물의 안정화 특성은 TG/DTA와 XRD를 이용하여 평가하였다.

### III. 결과 및 고찰

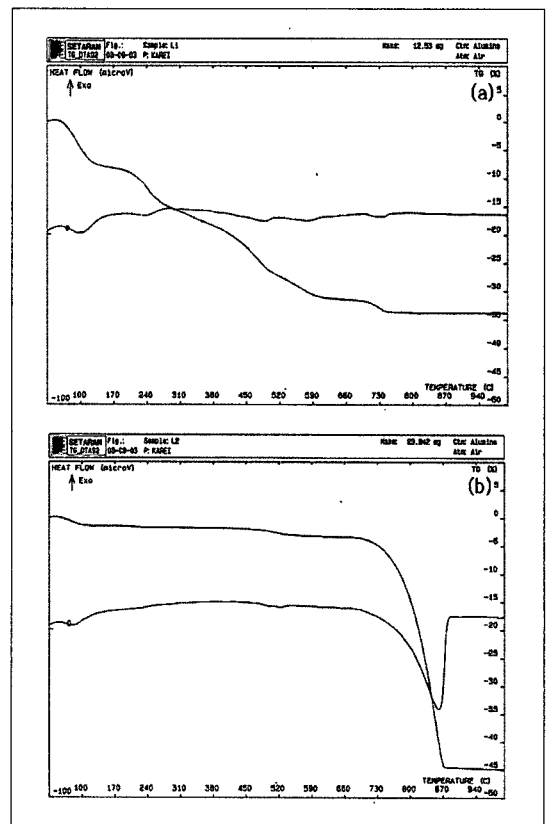
라군 슬러지의 1.5배 물 첨가 용해 이후 여과된 케이크에 잔류하는 각 성분의 잔류율을, 초기 제조된 100 g의 슬러지에 포함되어있던 각 성분의 양을 기준으로 계산하였으며 이를 Figure 2에 나타내었다. NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>는 라군 2의 경우에 0.01 wt%의 미량만이 잔류하여 거의 모든 양이 용액으로 제거되었으나, 라군 1의 경우에는 약 3.86 wt%가 잔류하는 것으로 나타났다. NaNO<sub>3</sub>와 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>는 라군 1과 라군 2에서 모두 3.5 wt% 이하의 양만이 잔류하였다. CaCO<sub>3</sub>는 물에 용해되지 않는 물질이므로 물첨가 용해과정을 통해서 용액으로 제거할 수 없었으며, 라군 2에서 U은 물 용해를 통해 제거되지 않고 거의 전량이 잔류하는 것으로 나타났으며, 라군 1의 경우에 CaCO<sub>3</sub>는 슬러지에 포함되어있지 않으므로 잔류율은 표시하지 않았다. 따라서 약 30분의 용해시간으로 대부분의 질산염을 용액으로 제거할 수 있으며, U은 여과 케이크에 대부분의 양이 잔류하여 케이크에 존재하는 기타 성분들과의 열분해를 통해 안정화된 폐기물을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. Table 5에는 여과 케이크 내에 함유된 각 질산염들과 U의 조성을 나타내었다. 라군 1의 경우 복잡한 슬러지 조성과 다량의 침전물로 인해 기타 성분의 양이 상대적으로 많았으며, 라군 2는 슬러지의 생성과정에서 투입된 lime의 영향으로 생성되고 물용해에 의해 제거되지 않은 CaCO<sub>3</sub>의 함량이 가장 높게 나타났다. 라군 1과 라군 2 슬러지의 입도분석을 통해 라군 1 슬러지의 입자가 라군 2 슬러지의 입자보다 작은 것을 알 수 있었으며, 특

히 5 μm 이하의 입자의 경우 라군 1 슬러지는 약 14 wt%, 라군 2슬러지는 약 6 wt%로 분석되었다. 충분한 시간동안 여과 후 케이크에 존재하는 수분의 비율은 라군 1과 라군 2에서 각각 약 27.6 wt%와 7.7 wt%로 측정되었다. 따라서 라군 1 수용액에 용해된 질산염이 라군 2에 비해 상대적으로 다량 잔류하게 되고, 이에 따라 Table 5에 나타낸 바와 같이 라군 1 케이크에서 질산염의 비율이 라군 2에서보다 비교적 크게 나타나는 것으로 판단되었다.

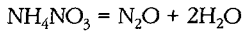
라군 슬러지를 구성하는 주성분의 열분해 특성을 조사한 결과 두 단계의 온도대별로 분해되며, 첫 번째 분해는 250℃ 주변에서 분해되고 두 번째는 500~750℃ 영역에서 분해가 일어난다. 저온에서의 분해는 약 250℃부터 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>이 다음과 같이 분해된다[8].

**Table 5. Chemical composition of the solid cake after filtration of the 1.5 times of water added solution (wt%)**

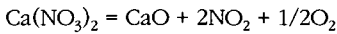
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	U	Etc.
Lagoon 1	17.14	4.56	21.00	-	10.80	46.47
Lagoon 2	0.02	0.33	1.25	90.15	0.09	8.16



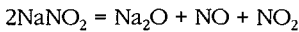
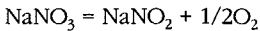
**Figure 3. TG/DTA diagrams of the solid cake of (a) lagoon 1 and (b) lagoon 2 sludge.**



두 번째 단계는  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaNO}_3$  및  $\text{CaCO}_3$ 의 분해가 일어난다. 먼저  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 가 500℃에서 다음과 같은 분해기구를 통해서 일어나고[9],



$\text{NaNO}_3$ 는 600℃에서 다음과 같은 두 단계의 반응을 거쳐 분해된다고 알려져 있으나[10], 실제로는 500℃부터 서서히 분해반응이 시작되어 개방계에서는 600~750℃까지 분해반응이 진행되는 것으로 나타났다.[3]



마지막으로  $\text{CaCO}_3$ 는 750℃에서 다음과 같이 분해된다.

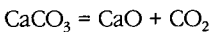


Figure 3에는 건조된 여과 케이크의 TG/DTA 분석 결과를 나타내었다. (a)에서 보여지는 라군 1 슬러지 고체 시료의 경우, 라군 1 슬러지 성분이 매우 복잡함에 따라 여러 가지 성분들의 분해 경로가 뚜렷이 구분되지는 않지만, 수분의 증발, 약 240℃ 부근에서의  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  분해, 450~750℃ 영역에서의  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 와  $\text{NaNO}_3$ 의 분해가 일어나는 것을 확인 할 수 있었다. 라군 2의 TG/DTA 분석 결과를 나타낸 (b)에서는 750℃ 이상에서 여과 케이크의 대부분을 차지하고 있는  $\text{CaCO}_3$ 의 열분해에 의한 질량감소가 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

라군 슬러지 여과 케이크에 포함된 소량의 질산염 들은 조해성 물질이며, 특히 U을 포함하고 있으므로 처분장에서의 장기보관을 위해서 열분해를 통한 안정화가 필수적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 130℃에서 건조한 슬러지 여과 케이크를 900℃ muffle furnace에서 5시간 동안 열분해하였고, 열분해 잔류

물의 안정성을 평가하기 위하여 TG/DTA와 XRD 분석을 실시하였다. Figure 4에는 라군 슬러지 여과 케이크 900℃ 열분해 잔류물의 TG/DTA 분석결과를 나타내었다. 라군 1 슬러지의 열분해 잔류물은 (a)에서 보이듯이 열분해를 통해 안정한 화합물로 전환되어 TG/DTA 분석 결과에서 거의 질량 변화가 없음을 확인하였지만, (b)에 나타낸 라군 2 잔류물의 경우에는 약 450℃와 600℃의 두 단계에 걸쳐 약 14 wt%의 질량감소를 보이므로 열분해 이후 상온까지의 냉각과정에서 다른 성분으로 전환되는 것을 알 수 있었다. 라군에 포함된 질산염 중에서  $\text{NaNO}_3$ 는 열분해 반응식에 나타낸 바와 같이 열분해를 통해서  $\text{Na}_2\text{O}$ 를 생성하며, 이는 수분과 결합하는 매우 불안정한 물질로 알려져 있다. 그러나 라군 1 슬러지 여과 케이크에 함유된  $\text{NaNO}_3$ 의 양이 라군 2의 경우보다 상대적으로 훨씬 더 큰 양인데도 라군 2에서만 열분해 이후 질량

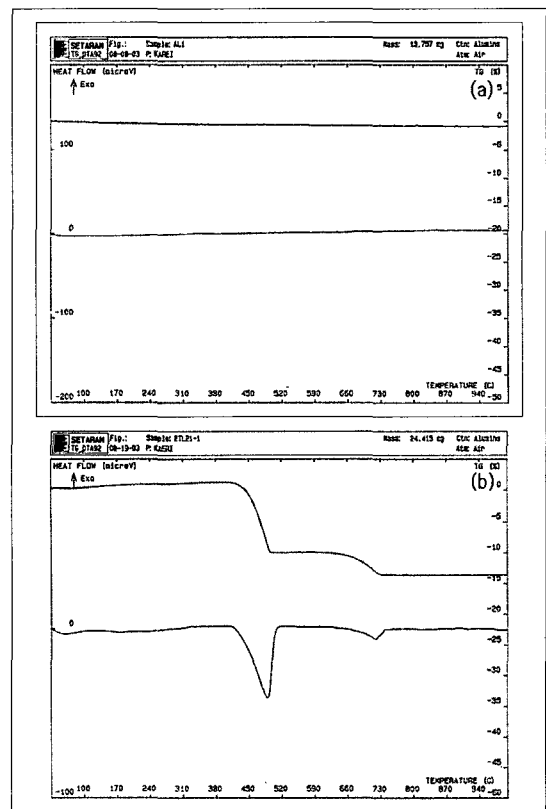


Figure 4. TG/DTA diagrams of the solid waste after thermal decomposition of (a) lagoon 1 and (b) lagoon 2 sludge.

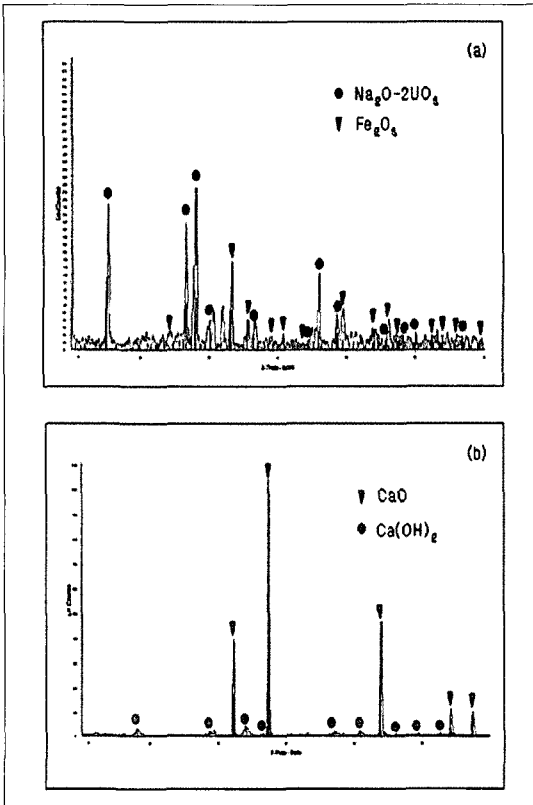


Figure 5. XRD patterns of the solid waste after thermal decomposition of (a) lagoon 1 and (b) lagoon 2 sludge.

감소를 보이는 것, 라군 2 열분해 잔류물에서 질량감소의 크기 등으로 미루어볼 때,  $\text{NaNO}_3$ 의 열분해에 의해 생성된  $\text{Na}_2\text{O}$ 와 수분의 결합에 의해 발생하는 원인은 아닌 것으로 판단되었다. Figure 5에는 역시 900°C 열분해 이후 잔류물의 XRD pattern을 나타내었다. 라군 1의 잔류물인 (a)에서 U는  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{UO}_3$ 의 형태로 안정화됨을 확인할 수 있었다.  $\text{NaNO}_3$ 의 열분해를 통해 생성된  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 수분과 반응하여 불안정한 물질로 전환되는 것으로 알려져 있지만, 케이크에 포함된  $\text{NaNO}_3$ 의 양이 5 wt% 미만의 작은 양이고, 46 wt%가 넘는 기타 침적물 등의 성분들과 함께 열분해를 통해 소성되어 안정한 형태로 전환되는 것으로 판단하였다. 라군 2의 경우인 (b)에서는 U의 양이 상대적으로 미량인 관계로 U 화합물은 확인되지 않았으며, Ca의 열분해 생성물인 CaO 뿐만 아니라  $\text{Ca(OH)}_2$ 도 검출되었다. 슬러지 내의 Ca의 열분해로 생성되는

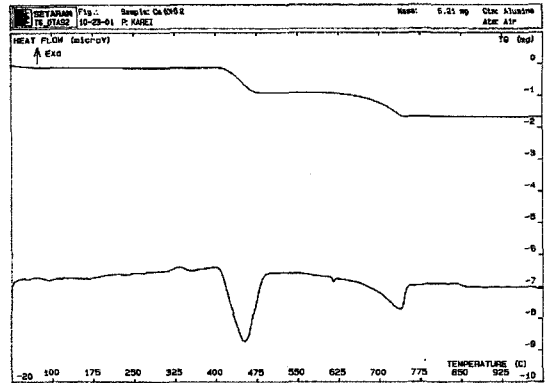


Figure 6. TG/DTA diagram of  $\text{Ca(OH)}_2$ .

CaO는 공기 중에서 수분과 결합하여 다음과 같은 반응으로  $\text{Ca(OH)}_2$ 를 생성하는 것으로 알려져 있다[11].

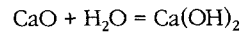


Figure 6에는  $\text{Ca(OH)}_2$ 의 TG/DTA 분석결과를 도시하였다. 앞서 살펴본 Figure 4의 (b)와 동일한 온도 영역에서 질량감소가 발생하는 것으로 미루어 라군 2 여과 잔류물의 900°C 열분해 이후 다시 질량감소가 발생하는 것은 열분해과정을 통해 생성된 CaO가 냉각과정에서 공기 중의 수분과 결합하여 생성된  $\text{Ca(OH)}_2$ 의 재분해가 원인임을 알 수 있었다. 그러나  $\text{Ca(OH)}_2$ 는 폐기물이 보관될 처분장에서의 주변 조건이 분해가 일어날 수 있을 만큼의 고온이 아니며, MSDS등의 각종 자료를 통해서도 안정한 물질로 나타나 있으므로, 열분해 잔류물의 처분에는 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 따라서 라군 슬러지 물 용해 여과 케이크는 여분의 환원제 첨가없이 단순 열분해에 의해 U의 안정화, 열분해 잔류물의 안정화를 얻을 수 있으며, 이들 잔류물은 처분장에서의 장기 보관이 가능할 것이다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 우라늄 변환시설의 라군 슬러지에 함유된 질산염의 안정적 처리를 위해 물 첨가 용해를 실시한 뒤, 여과 케이크의 안정화 특성에 대하여

알아보았다. 물 용해에 의해 대부분의 질산염, 특히 폭발의 위험성이 있는  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 는 고농도 질산염 용액으로 제거되었으므로, 여과 케이크의 열분해는  $900^\circ\text{C}$ 에서 하나의 단계로 수행하였다. Muffle furnace를 이용하여  $900^\circ\text{C}$ 에서 5시간동안 여과 케이크의 열분해를 실시한 뒤 TG/DTA 분석을 통해 라군 1 열분해 잔류물은 질량감소 없이 안정화되는 것을 확인할 수 있었다. U은  $\text{NaNO}_3$ 의 열분해와 함께  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{UO}_3$ 의 형태로 안정화 되었다. 라군 2 열분해 잔류물의 경우에는 열분해 시 생성된 CaO가 냉각 과정에서 수분과 반응하여  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 로 전환되는 것을 TG/DTA 분석과 XRD 분석을 통해 확인할 수 있었지만, 처분장에서 대기중 노출이나 지하수의 침출 등에는 안정한 화합물로 알려져 있으므로, 특별한 첨가제의 첨가 없이 단순 열분해 후 처분이 가능할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. I. S. Chang, J. H. Park, E. H. Kim, J. J. Park, T. J. Kim, W. M. Jung, K. C. Jung, and J. H. Choi, Development of Nuclear Fuel: Improvement of Reconversion Process for Nuclear Fuel, Rep. KAERI/RR-1005/90 (1991).
2. S. T. Hwang, Y. D. Choi, S. W. Kwon, B. H. Kim, and J. Y. Jeong, The Management and Maintenance of HWR Nuclear Fuel Conversion Facility, Rep. KAERI/MR-286/96 (1996).
3. J. H. Park, D. S. Hwang, Y. D. Choi, K. I. Lee, S. T. Hwang, and K. J. Jung, Analysis of Lagoon Sludge Characteristics for Choice of Treatment Process, Rep. KAERI/TR-2138/2002 (2002).
4. N. Sasaki, H. Nagai, S. Tsuzuki, Y. Hoshino, H. Sakata, T. Mano, and N. Tsunoda, Treatment Method of High Level Radioactive Waste Solution Containing Sodium Nitrate, JP patent 53-109100 (1978).
5. A. J. Johnson and P. M. Arnold, Waste Generation Reduction: Nitrates Comprehensive Report of Denitrification Technologies, Rep. RFP-3899 (1986).
6. J. H. Oh, D. S. Hwang, K. I. Lee, Y. D. Choi, S. T. Hwang, J. H. Park and S. J. Park, Thermal Denitration of a Nitrate Solution Containing Uranium in Lagoon Sludge, J. Ind. Eng. Chem., In press.
7. C. Oommen and S. R. Jain, Ammonium Nitrate: A Promising Rocket Propellant Oxidizer, J. Hazard. Mater. vol. A67, pp. 253-281 (1999).
8. K. R. Brower, J. C. Oxley, and M. P. Tewari, J. Phys. Chem., vol. 93(10), pp. 4029-4033 (1989).
9. C. Ettarh and A. K. Galwey, A Kinetic and Mechanistic Study of the Thermal Decomposition of Calcium Nitrate, Thermochem. Acta, vol. 288, pp. 203-219 (1996).
10. E. S. Freeman, The Kinetics of the Thermal Decomposition of Sodium Nitrate and of the Reaction between Sodium Nitrate and Oxygen, J. Phys. Chem., vol. 60(11), pp. 1487-1493 (1956).
11. B. I. Whittington, The Chemistry of CaO and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  Relating to the Bayer Process, Hydrometallurgy, vol. 43, pp. 13-35 (1996).