

우라늄변환시설 발생 라군 슬러지폐기물 처리 및 라군 구조물 제염

황두성, 최운동, 이규일, 정운수

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

dshwang@kaeri.re.kr

1. 서론

우라늄 변환시설은 중수로용 UO_2 분말 제조 시설로서 2001년도부터 제염해체를 시작하였다. 변환시설 운전 중 발생하여 라군(lagoon)에 저장되어 있는 방사성 슬러지폐기물의 처리는 시설의 해체공사 중 매우 중요한 업무 중의 하나이다. 슬러지 폐기물의 화학적 주성분은 각 층에 따라 NH_4NO_3 , $NaNO_3$, $Ca(NO_3)_2$, $CaCO_3$ 및 U 화합물과 소량의 Fe, Mg, Al, Si 및 P 등의 화합물로 구성되어 있다. 이를 처리하여 고체폐기물로 저장하기 위해서는 슬러지 내 주요 성분을 차지하는 조해성 물질인 질산염을 열분해시킨 후 폐기물로 안정하게 저장할 수 있는 안정한 화합물로 변환시켜야 한다. 본 논문에서는 질산염 슬러지 폐기물의 처리를 위한 슬러지의 특성, 처리공정 및 설비, 처리 후 최종폐기물의 안전성과 슬러지 처리 등 슬러지 폐기물의 전반적인 처리 과정과 라군 구조물의 제염을 소개하고자 한다.

2. 본론

슬러지는 NH_4NO_3 , $NaNO_3$, $Ca(NO_3)_3$ 와 같은 질산염과 $CaCO_3$ 로 구성되어 있으며, 슬러지 내 성분은 그림 1과 같이 첫 단계에서 NH_4NO_3 가 분해되고 이후 $Ca(NO_3)_3$ 와 $NaNO_3$ 가 분해되고 최종적으로 $CaCO_3$ 가 분해됨을 확인할 수 있다. 따라서 슬러지 폐기물은 저온과 고온의 두단계 열분해로 질산염을 분해하여 안정한 형태의 고체폐기물로 저장 가능하다. 열분해 처리과정 중 발생한 배기가스는 선택적 촉매환원공정(SCR)으로 처리하였다. 공정은 산화촉매, ammonia SCR, ethanol SCR로 구성되어 있다. 열분해 반응에서 배출되는 가스 중 ammonia는 산화촉매반응기에서 산화되어 NO_x 로 변환되며, 이는 배출가스 중의 NO_x 와 함께 약 $300^\circ C$ 의 온도에서 ammonia를 환원제로

사용하는 SCR 반응기에서 질소로 환원 처리된다. 본 열분해 공정은 배출가스가 일정하게 배출되지 않으므로 환원제를 일정하게 공급할 수 없으므로 NO_x 를 완전히 제거하기 위해서 ammonia를 과량으로 공급해주어야만 한다. 이 경우 ammonia를 대기 중으로 방출해야 하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 공정에서는 후단에 ethanol SCR 반응기를 추가하여 ammonia SCR 반응기에서 대부분의 NO_x 를 처리하고 미처리된 NO_x 를 처리하는 시스템으로 구성하였다.

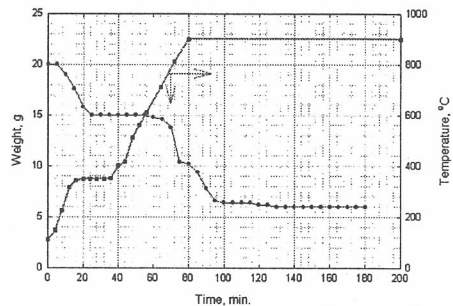
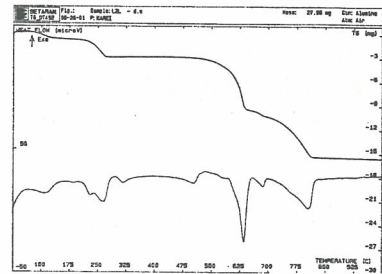


Fig. 1. 라군슬러지의 TG-DTA 및 열분해 시 시간에 따른 라군 슬러지의 질량 변화

위와 같이 라군 질산염 슬러지의 특성과 개발된 공정 기술을 기초로 하여 그림 2와 같이 라군 질산염 슬러지 처리 공정과 처리설비가 제작 설치하였다. 처리공정은 슬러지 이송설비, 슬러지의 열분해를 위한 가열로, 배기가스 처리설비, 최종 발생 폐기물의 분쇄 및 포장설비로 구성되어 있다.

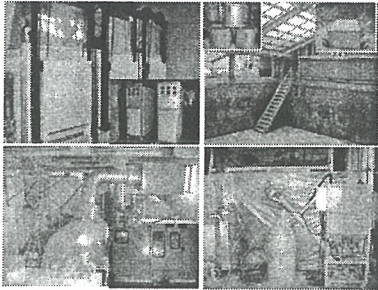
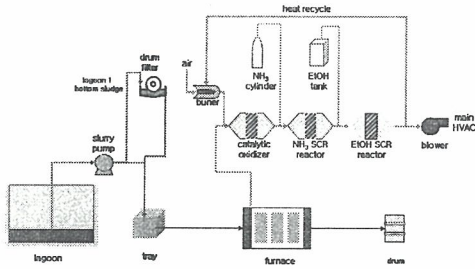


Fig. 2. 라군슬러지의 처리공정 및 설비

그림 3은 슬러지 처리시 시간에 따른 열분해 온도와 열분해시 발생된 배기가스 내 NO_x 농도 및 처리 후 NO_x 농도를 나타낸 그림이다. 슬러지 폐기물은 set당 2 batch (75kg/batch), 하루 5set를 처리하는 반회분식 방법으로 처리하였고, 각 set는 40분 간격으로 처리하였다. 슬러지는 900도까지 온도를 증가시키면서 3.5시간 내에 처리되었고 5set 총 처리 시간은 7.5시간이 소요되었다. 열분해 시 발생된 NO_x(배출규제치 200ppm)는 50ppm 이하로 처리되었다. 처리 후 최종 폐기물의 부피는 70% 이상 감소되었다.

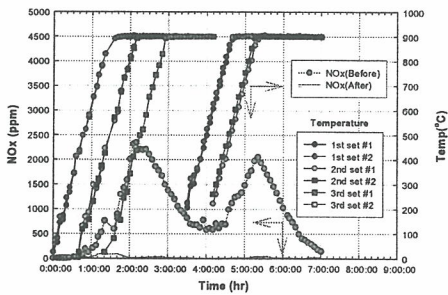


Fig. 3. 슬러지 처리 및 처리 시 발생 배가스

그림 4는 슬러지 처리 후 최종폐기물의 XRD 패턴으로 슬러지 내 함유된 주성분은 3Na₂O-7UO₃와 Fe₂O₃이며, 이들은 폐기물로 저장하기에 안정한 폐기물이다.

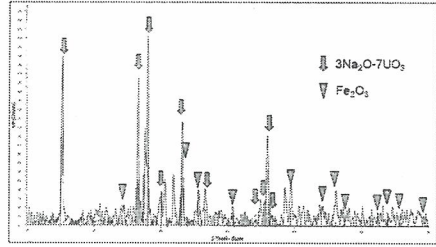


Fig. 4. 슬러지 처리 후 최종폐기물의 XRD 패턴

슬러지폐기물 처리 후 라군 구조물은 우리나라 변환시설의 해체폐기물이 경주 방사성폐기물 처분장으로 이송 저장되기 전까지 임시 저장할 수 있는 임시 방사성폐기물 저장고로 활용할 수 있도록 제염하여 개조하였다. 라군 구조물은 방사성 액체폐기물이 누출되지 않도록 콘크리트 구조물에 고무로 코팅되었으나, 오랜 기간 경과에 따라 고무는 경화된 상태이다. 따라서 이들은 불꽃을 사용하여 경화된 고무를 제거하고 그라인더로 2차 제염하였다(그림 5).

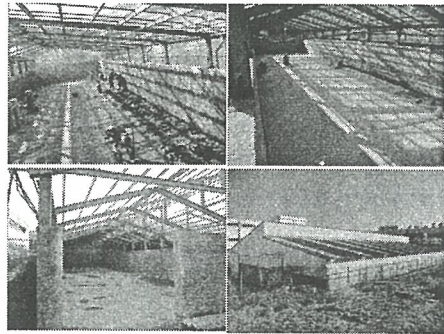


Fig. 5. 라군구조물 제염 및 개조

3. 결론

약 300톤의 슬러지폐기물이 열분해처리방식으로 처리되었으며, 처리 중 발생된 배가스 내 NO_x를 50ppm 이하로 처리하였다. 처리 후 고체 폐기물은 저장하기에 안정한 화합물로 변환되었고, 슬러지폐기물을 약 70%이상 감용할 수 있었다.