

Oxidation for Safe Storage of Depleted Uranium Waste

I.S. Kang, T.K. Kim, Y.H. Lee, B.C. Lee, K.J. Kim, J.S. Shon
 Korea Atomic Energy Research Institute, niskang@kaeri.re.kr
 P.O.Box 105, Yusong, Daejeon, Korea

1. 서론

국내 연구용 원자로인 하나로의 분산형 핵연료와 액체금속로의 합금 핵연료 개발연구에서 발생한 칩과 스크랩 및 분말 형태의 감손우라늄 폐기물을 보관하고 있다. 이들은 안전을 위하여 물속에 저장되고 있으며 물과의 반응으로 발생하는 수소가스의 배출을 위하여 개방형 용기를 이용하고 있다. 방사성폐기물은 폐기물의 특성상 인간과 완전히 격리시킨후 장기간 관리해야 하므로 방사성폐기물을 영구 처분할 경우 이들의 안전성을 확보하기 위해 폐기물을 물리적 또는 화학적으로 안정한 형태로 변환시켜야 한다. 감손우라늄의 경우는 산화력이 높기 때문에 수송이나 저장등 취급시 화재의 위험성이 있으므로 자연에서 가장 안정한 형태인 산화우라늄의 형태로 산화처리후 영구 처분하여야 한다[1].

2. 산화처리장치 개발

2.1 장치 개요

감손우라늄 칩에 직접 불을 붙이는 방법[2]이 아닌 밀폐공간에서 산화분위기를 조성하고 주입공기의 양을 조절하는 공기조절식 산화장치를 개발하였다. 본 산화장치는 감손우라늄의 산화시 필요한 공기량을 제어함으로써 산화속도를 조절하고 이로서 산화시 발생하는 단위시간당 산화열은 임의로 제어될 수 있으며 대기중에서 자연대류에 의해서 충분히 냉각될 수 있게 하였다. 따라서 공급되는 공기의 유량을 조절할 수 있도록 그림 1 과 같은 산화장치를 제작하여 감손우라늄 폐기물을 안전하게 처리할 수 있다. 이는 크게 산화용기, 히터, 공기조절기, 배가스 포집용기, 온도 측정기 및 산화물 수집용기 등으로 구성되어 있다[3].

2.2 실험

공기조절식 산화장치의 열적 안정성을 검토하기 위하여 감손우라늄 폐기물을 처리할 때 발생하는 산화열이 산화장치의 온도 상승에 미치는 영향에 관하여 연구를 수행하였다. 폐기물 처리시 산화장치의 온도상승에 미치는 주요변수는 감손 우라늄

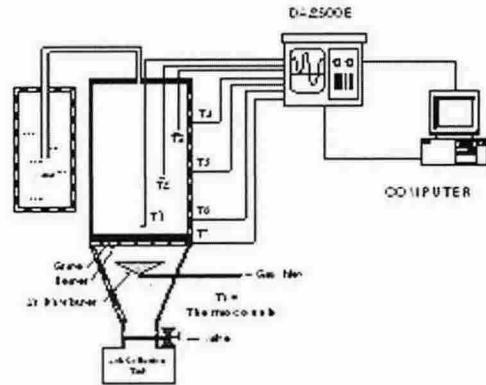


Fig. 1. Schematic Diagram of Air Controlled Oxidizer

폐기물량, 산화 용기내부의 온도를 산화조건에 맞게 가열하는 히터의 가열율 및 산화속도를 조절하기 위하여 이론공기 요구량 이하로 공급되는 공기의 양 등이었다. 히터 가열율의 영향을 확인하기 위하여 가열율을 3, 4, 5 및 6kw 로 변화시키면서 실험을 수행하였다. 산화장치 내부의 최대 온도상승은 각각 325, 336, 360 및 370℃까지 상승하였다. 공기유입율을 5, 10, 15, 20 및 25l/min 로 변화시킬 때 산화장치내부의 최대온도상승은 170, 293, 381, 451 및 476℃까지 상승하였다. 폐기물량을 500, 600, 700, 800 및 900g 을 투입하였을 때 장치내부의 최대온도상승은 각각 293.1, 313.1, 320.1, 402 및 420℃까지 상승하였다. 이때 장치 외벽의 온도는 127.3℃에서 132.2℃의 범위까지 상승하였다. 또한 용기내부 및 외벽의 온도 상승은 용기의 안전성에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 칩 형태의 폐기물은 처리후 파우더 형태로 변화되었으며 그림 2 와 같이 모든 실험조건에서 안정한 산화물인 U_3O_8 의 형태로 변화되었다.

3. 감손우라늄 폐기물의 처리

3.1 전처리

드럼내의 상부의 물을 메쉬를 씌운 호스에 의해 일정부분 펌핑한다. 상부의 물과 파우더 및 슬러지의 혼합물을 트레이 위의 메쉬를 통과시켜 슬러지를 물과 분리시킨다. 드럼하부의 걸러진 파우더 및 찌꺼기는 트레이에서 건조되어지며 슬러지나 파우더 순으로 산화장치에 주입시켜 산화시킨

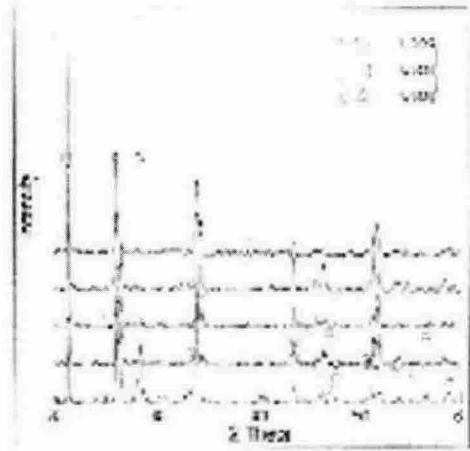


Fig. 2. XRD Patterns of Products after the Oxidation

다. 트레이에서 건조된 폐기물은 실험결과를 토대로 최적인전조건으로 제시된 폐기물의 투입량인 5kg을 저울로 계량하여 multi tray 에 4 개를 집어넣어 1 회 산화처리시 20kg 을 처리하게 된다.

3.2 산화처리

드럼 내부의 수처리를 통해 건조된 찌꺼기와 파우더, 슬러지를 산화용기에 넣어 공기공급량은 12ℓ/min 로 조절 하며 15 분 간격으로 장치 내부의 온도 변화를 기록한다. 내부투시창을 통하여 폐기물의 발화상태를 확인한다. 산화는 최대 온도에도달한 이후 약 10~20 분 정도 경과되면 온도의 하강이 시작한다. 이때 온도 하강의 정도가 최고 온도의 15%정도 이상일 때 전원을 끄고 냉각에 들어간다. DU 폐기물의 산화가 충분히 이루어진 내부의 온도가 350℃정도에 장치를 정지한다.

3.3 폐공드럼 압축감용처리

DU 폐기물을 담았던 드럼은 감손 우라늄 침의 자연발화를 방지하기 위하여 발생시 드럼 내부에 물과 함께 담겨져 있었기 때문에 내부는 물론 외부도 상당히 부식되어 있으며 또한 오염이 심각하게 되어 있어 제염을 수행하여 방사성폐기물을 수집할 수 있는 드럼으로 재사용이 불가능하다. 따라서 이들 드럼의 처리를 위해서는 드럼 내부의 표면에 고착되어 있는 우라늄 슬러지를 IAEA 의 사찰대상임을 감안하여 핵물질에 대한 물질수지를 충족하기 위하여 충분히 제거한 후 비닐에 넣어 오염 확산을 방지하고 폐기물의 처리를 용이하게 하였다. 폐드럼은 60 톤 용량의 압축기에서 압축하여 부피감용하였다. 장치내부의 산화과정에서 발생된 고온의 가스는 물이 채워진 scrubbing column 을 통해 수증기내의 분진을 여과하고 기체폐기물은 덕트를 통하여 배출

된다. 시료의 채취는 환기장치를 정지한 상태에서 1ℓ용량의 marinelli beaker 를 사용하여 1 분간 펌프를 작동하여 공기시료를 채취한다.

4. 처리폐기물 포장, 저장

산화처리된 DU 분말폐기물은 밀도가 매우 높아 무거우며 소량의 미립자라도 비산이 되면 주변의 오염을 확산시킬 우려가 있다. 최종처분을 위한 전처리 단계로서 산화처리된 분말은 시멘트 고정화 등의 방법으로 처리되어야 하나 고정화를 위한 준비가 미흡하여 임시로 철재드럼내에 수집하여 저장할 수밖에 없다. 그러나 수년동안의 보관과정에서 드럼의 부식 및 훼손으로 드럼내의 분말이 외부로 유출될 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 이러한 여건을 고려하여 분말을 포장하여 200ℓ 철재드럼내에 집어넣을 수 있는 Ø573 x H560mm 스테인레스 스틸 내용기를 제작하였다. DU 분말폐기물을 포장한 드럼은 저준위폐기물드럼에 비해 표면선량률과 방사능 농도가 높고 또한 IAEA 의 핵사찰 대상 물질이므로 별도의 지역에 관리하여 용이하게 관찰할 수 있도록 하였으며 저장바닥에는 목재 파렛트를 깔아 통풍이 양호하고 안정된 저장상태를 유지하도록 하였다 .

5. 결 론

감손우라늄 폐기물을 밀폐공간에서 산화분위기를 조성하고 주입공기의 양을 조절하는 공기조절식 산화장치를 개발하여 처리하였다. 폐기물 처리시 산화 장치의 온도상승에 미치는 주요변수는 감손우라늄 폐기물의 양, 히터의 가열을 및 공급공기의 양이었으며 모든 실험조건에서 안정한 산화물인 U₃O₈ 의 형태로 변화되었다. 이러한 실험결과를 토대로 처리를 위해서 히터용량을 증가하였으며 , 4 단 트레이, 내부투시창을 제작하고 배기체여과장치의 보완설치와 처리분말의 수집내용기를 제작하여 안전한 저장상태를 유지하도록 하였다. 폐공드럼은 압축감용하였으며 배기덕트에서 채취한 공기시료의 분석결과 방사선 핵종이 검출되지 않았고 산화처리 과정에서 주변으로의 어떠한 오염확산없이 처리할 수 있었다.

References

[1] T.R. Lemons, "The Ultimate Disposition of Depleted Uranium ", Martin Marietta Energy System Inc., Report K/ETO-44, 1990.
 [2] D.J. Vickery, et al., "Development of Uranium Chip Burning Process", RFP-2818, 1979.
 [3] 강권호 외, "감손우라늄 폐기물 처리장치 개발", KAERI/TR-1071/98, 1998.