

우라늄변환공정에서 발생된 방사성고체폐기물의
건조, 압축 등에 의한 부피감용처리

Volume Reduction by Drying and Compacting of the Radioactive Solid Wastes
Generated from the Uranium Conversion Process

강일식, 김길정, 손종식, 안섬진, 김태국, 이범철

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

원자력 관련 연구와 중수로용 UO_2 분말 제조시설로서 사용되어오다 1990년대초부터 휴지중인 변환시설내에는 핵연료 생산작업중 발생되어 임시저장중인 잡고체 방사성폐기물과 라임, 코퍼라이트가 다량 적재되어 있었다. 이들 폐기물 전량에 대하여 폐기물의 물성, 화학특성을 확인하여 가연성 및 비가연성폐기물은 내용물의 상태에 따라 건조, 수집, 분류, 재포장 또는 압축감용함으로써 저장공간과 안전성을 확보하고 방사성폐기물드럼의 저장 및 이력을 관리하며, 다습상태의 라임 및 코퍼라이트는 기계적 건조설비를 이용하여 건조시켜 부식으로 발생될 수 있는 환경오염을 미연에 방지함으로써 방사성오염의 누출 확산을 방지하는데 있다. 오염된 폐공드럼 및 재분류과정에서 발생하는 폐기드럼은 방사성폐기물처리시설에 설치 운영중인 압축기를 활용하여 압축감용후 재포장용기에 포장함으로써 드럼의 부식에 따른 방사성물질의 유출을 방지하였다.

본 연구를 통하여 수분을 함유한 방사성고체폐기물의 건조처리에 관한 기술을 축적하여 연구소에서 저장중인 환경정비 토양폐기물 및 폐수지 건조처리에 활용할 수 있으며 규제해체폐기물의 관리체계와 방사성폐기물 드럼의 부식 제거 및 재포장 기술을 확보하였다.

Abstract

The conversion facility used for research on nuclear power and nuclear fuel fabrication, in which many miscellaneous radioactive waste drums, lime, and coperlite generated from the processing of nuclear fuels were temporarily stored, has been suspended since early 1990.

Through the confirmation of the contents according to the radioactive waste management regulation, the combustible and non-combustible wastes are dried, collected, segregated, repackaged, and compacted to ensure the availability of storage space and safety. The saturated lime and coperlite are dried with a mechanical dryer to prevent environmental pollution and radiation contamination. To prevent the diffusion of radioactive material due to the corrosion of the drums, the contaminated spent drums are treated and subsequently collected in the repackaging drums using the compactor at the radioactive waste treatment facility.

1. 서론

원자력 관련산업의 부산물인 방사성폐기물은 처분장 부지확보가 난항을 거듭하고 있는 현재의 상황이 앞으로 계속 지속된다면 머지 않은 시점에 방사성폐기물저장고의 부족으로 많은 어려움에 직면하게 될 것으로 판단된다. 여러 분야의 기술개발과 연구활동으로 방사성폐기물의 감량, 감용, 안전성확보에 심혈을 기울이고는 있으나 아직 미흡한 것이 현실이다.

원자력연구소 우라늄변환시설은 중수로형 핵연료 이산화 우라늄 분말의 국산화를 목적으로 1982년 한불기술협력에 의하여 건설되어 1992년까지 운영하여 본래의 목적인 핵연료 국산화 기술을 완전 달성하고 한국전력에 기술이전을 함에 따라 1993년 4월에 휴지신고를 하였다. 채광된 우라늄과 정련공정의 산물인 yellow cake(U_3O_8)의 부산물을 제거하기 위해 질산으로 녹이는 용해공정과, 질산에 녹은 우라늄 용액중 녹지 않은 불순물을 제거하는 여과공정, 여과공정에서 얻은 우라늄 용액중 용해공정에서 함께 녹아있는 타 불순물을 분리하여 순수한 우라늄 용액으로 정제하는 정제공정, 정제된 우라늄용액으로부터 암모니아, 이산화탄소가스를 사용하여 용액중 우라늄만 결정상태의 AUC(Ammonium Uranyl Tri-Carbonate) 침전으로 석출하는 침전공정과 건조된 AUC 분말을 가열 후 환원하여 소결 UO_2 분말을 제조하는 배소 환원공정을 하는 공장으로 사용[1]되면서 방사성폐기물이 다량 발생되었고, 그 방사성폐기물들중 일부가 변환시설내에 임시적재 되어 있었다. 적재후 10여년이 지나면서 폐기물드럼의 부식으로 인한 추가적 환경오염의 가능성이 발견되었으며, 따라서 재분류 및 재포장하여 저장조건을 구비한 저장고에 저장, 관리하는 것이 필요하게 되었다. 또한 변환시설의 계속적인 방치보다는 제염 해체를 통한 환경복원으로 재활용하는 것이 추후에 계속적으로 수행되어야 할 원자력관련시설의 환경복원사업에 한 지표가 될 수 있을 것으로 판단된다. 변환시설 내부의 방사성폐기물드럼 전량에 대하여 폐기물의 물성, 화학특성을 확인하여 가연성 및 비가연성 잠고체폐기물, 라임 및 코퍼라이트로 분류하고 관리규정에 따라 건조, 수집, 분류, 압축, 재포장하여 방사성폐기물의 양을 감량, 감용함과 동시에 방사성폐기물드럼의 저장 및 이력관리를 수행하고자 하였다. 또한 오염이 되었거나 재사용이 어려운 폐드럼에 대하여는 방사성폐기물처리시설의 압축기를 활용하여 압축, 감용후 재포장용기에 포장함으로써 드럼부식에 따른 방사성물질의 유출을 방지하여 시설주변의 환경오염을 사전에 예방하였다.

2. 방사성고체폐기물 처리방법 및 지침

2.1. 처리 방법

방사성폐기물의 처리 목적은 폐기물의 발생량을 감소시키고, 최종생성물을 화학적, 방사선적으로 안정한 형태로 전환시켜 추후에 폐기물의 수송과 최종처분에 적합하도록 하는데 있다. 이러한 폐기물의 처리는 폐기물의 상, 성상, 물리화학적 특성, 방사능준위 등에 따라 적절한 방법을 사용하게 된다.

2.1.1. 건조처리

고체폐기물은 수집용 철재드럼의 부식과 폐기물의 유출을 방지하기 위하여 유리수를 함유하지 않은 상태로 완전 건조하여야 한다. 유리수 함유가 비교적 적은 경우 건조장에서 자연의 대기온도와 바람을 이용하여 건조하며 유리수의 함유가 비교적 많은 잠고체는 전열장비를 이용하고 라임폐기물은 변환시설에 설치되어 있는 우라늄 스크랩 처리용 가열로에서 건조한다.

2.1.2. 압축처리

압축처리는 압축기를 사용하여 방사성폐기물을 압축 처리함으로써 생성되어 운반되는 방사성폐기물 드럼의 수량을 상당수 감소시킬 수 있다. 압축감용 방법은 폐기물을 기계적인 힘으로 용적

을 줄임으로써 저장용기에 들어가는 방사성폐기물의 양을 증가시키고, 그 결과 전체 폐기물드럼의 발생을 억제하는 방법이다[2,3]. 핵주기시설에서 발생하는 저준위 고체폐기물의 70~80%가 압축처리가 가능하며 압축처리시 얻을 수 있는 감용비는 3~10정도이다.

2.1.3. 절단처리

폐드럼의 압축시 발생된 비정상 압축드럼의 경우 재포장을 위하여 산소, 아세틸렌 등의 가스 화염으로 절단부를 예열 시킨 후 점화구 중심의 산소분사를 통한 철의 산화연소를 하여 절단한다. 또한 비가연비압축성폐기물의 경우 보다 효율적인 충전 포장을 위하여 원반형 커터날을 피절단부에 대고 날 끝이 피절단부를 파고든 상태에서 이동시킴으로써 절단한다.

2.1.4. 파쇄처리

가연성잡고체중의 폴리에틸렌 통이나 호스, 튜브 등은 내용물이 없는 상태에서 부피가 커 공극이 큰 폐기물이다. 또한 폴리에틸렌 등의 고무류는 압축처리할 경우 스프링 백 현상이 커 실제로 감용률이 크지 않다. 이와 같이 플라스틱류의 폐기물은 용기에 수집하기 전에 또는 소각처리하기 전에 파쇄기(shredder)를 사용하여 파쇄할 경우 부피의 축소에 큰 효과가 있다.

2.1.5. 제염 및 재사용

오염된 기기나 장비, 공드럼의 제염은 절단, 압축 등과 같은 감용처리와는 달리 방사성폐기물의 저장 뿐 아니라 자원의 재사용을 목적으로 함과 동시에 폐기물의 저장, 운반 및 보관 관리의 용이함도 있다[4]. 제염방법에는 브러시 세척, 물 제트, 초음파 세정 및 진동 등의 기계적 방법과 전해연마와 침지화학 제염 등의 화학적 방법이 있다.

2.2. 처리 지침

2.2.1. 잡고체폐기물 재포장

재포장과 관련한 작업중에 오염의 확산방지를 위하여 비닐시트를 밑바닥에 깔고 작업후 제염이 용이한 SUS 재질로 만들어진 사각의 트레이를 그 위에 깔아 가연성 및 비가연성 폐기물 분류장을 구비한다. 잡고체폐기물의 분류 및 재포장 순서는 먼저 드럼 외부의 표면선량률을 측정한다. 뚜껑을 개봉하여 외부에 부착된 방사성표지와 내용물의 포장상태를 비교 확인한 후 내용물을 꺼내어 트레이에 쏟아 폐기물의 종류별, 형태별로 분류하고 건조상태를 확인하며 재포장 드럼에 수집용 비닐봉지 200ℓ 용을 넣는다. 내용물의 건조상태를 확인하여 건조상태가 양호한 것은 수집용 100ℓ 비닐봉지에 넣어 소포장한다. 재포장후 드럼 외부선량 및 오염도를 측정한 후 압축실로 운반한다. 폐기물드럼의 생성수량을 감소하기 위하여 적정압력으로 압축한다. 압축후 드럼의 외부 표면선량률을 측정하여 재포장한다. 고체폐기물은 유리수를 함유하지 않아야 한다. 고체폐기물은 가연압축성, 비가연압축성, 가연비압축성 및 비가연비압축성으로 분류하여 수집 포장한다.

2.2.2. 절단 및 운반

절단은 부피가 큰 폐기물을 포장용기내로 넣기 위해서 크기를 감소시키거나 절단한다. 절단작업은 반드시 환기설비가 가동하며 부압을 유지하는 절단실에서 수행해야한다. α 방출체, 고방사선 폐기물 등의 압축시에는 작업자의 내부피폭에 특히 주의하여야 하며 폐기물의 운반에 허용되는 차량의 최대 선량률을 준수한다. 고체폐기물의 포장용기는 200ℓ 용량의 개방형 볼트식 원통형 드럼 용기를 사용함을 원칙으로 하며, 외부 표면은 황색으로 도장한다. 고체폐기물은 2~3개의 소포장 단위로 분리, 수집한 후 각 수집물에 꼬리표를 부착하여 포장용기에 넣는다.

그림 1은 방사성폐기물 종류와 특성평가의 결과에 따른 처리방법과 절차를 보여주고 있다.

3. 방사성고체폐기물 처리

핵주기시설로서 현재 휴지중인 핵연료 변환시설에는 1990년 이래 발생된 lime폐기물, 가연성 및 비가연성 폐기물과 방사능으로 오염된 공드럼 등의 각종 방사성폐기물이 발생된 상태대로 수집 저장되어 있어 수분 등 기타 성분들로 인해 드럼의 부식이 진행되고 있으며 오염 확산의 우려가 있다. 이들 폐기물은 변환시설 환경복원 이전에 분류, 건조처리, 재포장, 압축 및 절단 등의 방법으로 안전하게 처리되어 포장함으로써 방사성물질의 유출과 주변환경의 오염을 방지할 필요가 있다. 기존드럼의 부식상태가 심한 것은 새 포장용기에 재포장하고 부식이 심하지 않은 것은 용기 표면의 부식 부위를 제거한 후 도장하여 재사용함으로써 폐기물량을 최소화하고 드럼 적재시 바닥에 받침대를 설치하여 적재함으로써 드럼과 바닥사이의 통기성을 확보하고 아울러 폐기물 드럼의 안정된 적재상태를 유지함으로써 폐기물 드럼을 처분시까지 안전하게 저장할 필요가 있다.

3.1. 잠고체 처리

변환시설 내에 적재되어 있는 잠고체 방사성폐기물드럼의 내용물을 수집하여 핵종의 오염여부를 분석하였으며, 변환공장의 가동내용이 천연이산화우라늄을 통해 용해, 여과, 침전, 배소, 환원 공정을 통하여 소결성 UO_2 분말을 제조하는 시설이었으므로 α -선을 방출하는 방사성폐기물에 해당한다. 환경복원사업에 따라 자연방사능을 제외한 허용표면오염도가 알파 $0.04Bq/cm^2$, 베타, 감마 $0.4Bq/cm^2$ 미만이어야 규제해제폐기물로 분류 가능[5]하다는 점과 비교할 때 변환공장 내의 방사성폐기물의 오염도는 측정 결과로부터 약 4~1,000배 높게 평가되어 전량을 오염된 방사성폐기물로 처리하였다. 잠고체폐기물의 방호복, 제염지, 장갑과 비닐 등에서 시료를 채취하여 방사능을 분석한 결과 gross α 는 $2.05\sim 28.875Bq$ 이었으며, gross β 는 $3.92\sim 169.75Bq$ 이었다. 감마방사선은 우라늄 동위원소 및 그 딸핵종인 Pa-234만 검출되었다.

표 1은 변환시설내에 적재되어 있는 방사성폐기물의 종류별, 규격별 수량을 나타내고 있다.

3.1.1. 가연성폐기물

방사성잠고체폐기물의 분류는 가연성폐기물과 비가연성폐기물로 분류하고, 가연성폐기물을 압축성폐기물과 비압축성폐기물로 분류하는 것은 일반적 구분기준과 동일하나 이번 처리에서는 작업의 편의성보다는 정확한 분류와 충분한 건조에 주안점을 두어 추후 소각이나 적재, 재분류작업시 편의성을 부여하고자 하였다. 가연성폐기물은 종이류, 비닐류, 천류, 편사호스류, 신발, 마직필터, 플라스틱류, 목재류, 아크릴류 등으로 세분하였다.

가연성 고체폐기물은 폐기물을 분류하기에 앞서 방사성폐기물의 건조처리 여부를 판단하고, 함수율이 낮아 추가적 건조처리가 필요하지 않을 때에는 100l 용 폐기물 소봉투에 소포장을 하였다. 소포장된 가연압축성폐기물은 다시 200l 용 폐기물봉투를 덧씌운 200l 폐기물 포장용기에 2개씩 넣어 간이 재포장 하였다. 가연압축성폐기물 142드럼을 개봉하여 변환시설내에 임시 설치한 폐기물 분류장에서 폐기물 종류별로 분류하고 수분을 함유한 폐기물은 바닥면에 전열기를 내장한 건조대에서 건조한 후 간이 재포장하였다. 이와 같은 작업을 통해 간이 재포장 된 가연성폐기물은 136드럼이었다. 위의 간이 재포장시 수량의 변화는 작업전 방사성폐기물드럼 외부표지에 적힌 성상이 폐기물드럼의 내용물 중 차이가 있었고, 가연성이나 비가연성으로 표기가 되어 있어도 내용물이 서로 혼재되어 있었다는 점, 그리고 폐기물 재분류과정에서 2차적으로 생성된 2차폐기물을 작업기간동안 계속 방치한다거나, 차별을 두어 다른 명목의 드럼으로 재포장하기에는 번거로움이 있어 방사성폐기물 생성드럼속에 부가된 것이 그 원인으로 판단된다. 간이 재포장 폐기물 136드럼은 압축설비 및 공조설비가 갖추어진 방사성폐기물처리시설로 운반한 후 압축감용하여 가연성폐기물 61드럼으로 압축생성 되었다. 가연성 방사성폐기물을 개봉하고 내용물을 확인한 결과 가연성 방사성폐기물의 함수율이 처음의 예상보다 매우 높았으며, 건조시간을 장시간 부여 할 수 밖에 없었다. 결국 압축성폐기물을 압축하는데 충분한 시간적 여유를 부여하는 것이 곤란하였다.

압축시간의 단축은 스프링백 현상을 크게 하였고, 가연성폐기물드럼의 압축 생성시 부피감용률을 저감시켰다. 가연성중에는 비압축성 폐기물 15드럼이 있었으며, 간이포장하지 않고 건조후 재포장하여 가연비압축성 15드럼으로 생성되었다. 가연성생성드럼중 압축성 61드럼은 도장하여 적재시까지 폐기물처리시설의 임시 저장지역에 적재보관 하였고, 비압축성 15드럼은 변환시설내에 적재보관 하였으며, 도장이 완료된 후 지정된 임시저장고에 운반하여 적재하였다. 이와 같이 재분류와 간이압축을 통한 가연압축성 폐기물드럼의 부피감용비는 $136 \div 61 = 2.23$ 으로 압축시간이 적정할 때의 일반적 부피감용비 3~4보다 작았다. 가연성폐기물의 압축성과 비압축성을 합한 전체 가연성의 부피감용률은 $157 \div 76 = 2.07$ 이었다.

3.1.2. 비가연성폐기물

비가연성 고체폐기물은 철판이나 석면처럼 압축이 가능한 압축성과 충진율만 다소 증가시킬 수 있는 비압축성인 철재류, 전선류, 잡고체, 흙, 라임, 코퍼라이트, SUS와 유리류 등으로 재분류하였다. 또한 스테인레스 스틸 재질의 펌프 및 고가의 장비류는 별도로 분류, 오염도를 측정하여 제염하고 추후에 변환시설의 환경복원 공사시 발생하는 스테인레스 스틸 재질의 폐기물과 같이 수집하기 위하여 구분 임시 보관하였다. 비가연성중 압축성인 철판, 석면 등은 31드럼에서 간이 재포장하여 16드럼으로 되었으며, 폐기물처리시설로 운반, 압축하여 비가연압축성 4드럼이 최종 생성되었다. 작업전 압축성의 드럼수량이 정확히 16드럼이라 확인된 것은 아니나 작업전 포장드럼이 비압축성으로만 분류되어 있었고, 비압축성 폐기물드럼중 압축성, 비압축성이 혼재 포장된 드럼이 다량 있었던 관계로 간이 재포장하여 생성된 수량 16드럼에 대해서 압축감용비를 나타내었다.

비가연압축성의 압축감용비는 $16 \div 4 = 4$ 로 감용비가 컸다. 비가연압축성폐기물의 압축감용비가 큰 이유는 석면이 단시간 압축을 하여도 스프링백 현상을 일으키지 않기 때문으로 판단된다. 비가연성중 비압축성 폐기물은 74드럼이 있었으나 재포장을 하면서 철재류의 격자 및 파이프는 절단기를 활용하여 절단하여 충진율을 증가시키고, 비이커나 유리병, 형광등의 유리류 역시 파쇄하여 충진율을 증가시켰으며, 비가연성폐기물중에 혼재되어 있던 가연성폐기물을 가연성드럼으로 분류 재포장 하였다. 그리하여 비가연성을 간이 재포장하고 압축감용한 결과 69드럼이 생성되었다. 따라서 비가연성 전체의 부피감용비는 $105 \div 69 = 1.52$ 가 되었다.

3.2. Lime 건조

변환공정에서 발생하는 액체폐기물은 lagoon으로 이송하여 저장하고 있다. 액체폐기물은 ammonium과 nitrate의 우라늄 함유 폐액이다. 이러한 폐액을 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 로 침전 처리한 후 여과된 침전물인 filter cake 형태의 lime이 발생되며 드럼내에 포장하고 있다. 그러나 lime에는 수분 등 기타 성분들로 인해 드럼이 부식되는 등 장기 보관의 문제점을 가지고 있다.

3.2.1. 수분함량 및 조성 분석

드럼내에 저장중인 일정량의 시료를 채취하여 120°C 에서 24시간동안 건조하여 수분을 제거한 후 TG/DTA(thermogravimetry-differential thermal analysis)를 사용하여 열분해 특성을 조사하였다. 실험결과 시료에는 약 45%의 수분을 함유하고 있었다. 시료를 재용해하여 ICP(inductively coupled plasma spectrometer)로 조성을 분석한 결과 U이 약 2.4%, Ca, Na, Fe, NO_3^- , NH_4^+ 이 각각 19.7, 15.3, 4.8, 6.1, 1.45% 함유되어 있었으며, 이외에도 Si, Mg, Al, Mn 등의 원소들로 복잡한 조성을 이루고 있었다[6].

3.2.2. 건조 처리

Lime 및 코퍼라이트 폐기물을 건조처리하기 위하여 사용된 건조기는 당초 ADU 분말제조 공정을 이용하여 생산된 핵연료를 가공공장에서 성형가공시 발생하는 우라늄스크랩인 UO_2 sludge의

처리용으로 제작되었다. 건조기는 노 본체, charge table system, pushing system, rolling system 및 heating system으로 구성되어 있다. 건조기의 작동온도는 수백도에 이르기 때문에 작업자의 화상 및 화재에 유의하며 또한 건조시 발생하는 유해가스 및 방사능 분진의 발생에 대비하여 환기설비를 가동함으로써 방사능 피폭과 오염확산을 방지하였다.

라임, 코퍼라이트 건조시 건조작업의 조건은 적은 양으로 장시간 건조하여 완전 건조시키고, 더불어 일정온도 이상 온도유지로 라임 및 코퍼라이트의 성질을 변형시켜 석회의 물리적 성질인 조해성을 없애는 것이 가장 양호한 결과를 얻을 수 있겠으나 건조기 제작, 수리, 보완에 시간을 많이 소비하여 처리상 시간적 조건을 만족시키기에는 어려움이 있었고, 조해성을 다소 없애기 위해서는 800℃ 이상으로 온도를 유지하여야 하나 실험건조 과정에서 600℃ 이상 온도상승시 pallet가 크게 변형되어 tray의 내부장입 및 외부반출 작업을 하는데 곤란함이 있었다. 건조작업은 완전한 건조를 목표로 건조하였고, 건조후 온도가 상온으로 떨어졌을 경우 단시간내에 공기를 빼고 2중으로 포장, 밴딩하여 수분의 흡수를 방지하는데 중점을 두었다. 건조작업 1회에 건조할 수 있는 건조기 pallet 용량은 (W50xH8xL56x4단=89,600cm³) 89.6 l 이나 실 건조상 완전충전 상태에서 건조할 경우 먼저 건조되는 상층의 lime·코퍼라이트가 건조층을 형성하여 하부의 건조를 더디게 하여 건조시간이 상승된 온도에서 유지시간을 6시간 이상 가동하여야만 하였다. 상기의 조건으로 건조할 경우 1일 1회의 건조가 가능하게 되며 건조량은 약 90 l 가 된다. 평균 2일을 건조해야 라임 1드럼(180 l)을 건조한다는 계산이 나왔다. 결국, 여러번의 실험건조를 통하여 pallet를 2/3 (60~70 l) 충전하고 건조조건으로 500℃에서 4시간 유지하는 것이 가장 만족 할 만한 시간, 온도의 건조 조건으로 판단되었으며, 이 조건으로 건조할 경우 1일에 2회 (60 l x2회=120 l)를 건조할 수 있어 1.5일이면 1드럼을 건조시킬 수 있었다.

건조기의 운전중에 건조기의 배기구에서 1 l 용량의 gas marinelli beaker와 진공펌프를 사용하여 채취한 공기시료에 대한 분석을 한 결과 표 2와 같이 K-40 핵종 이외의 것은 검출되지 않았으며 또한 검출된 것에도 과학기술부고시의 방사선방호 등에 관한 기준[7]에 제시되어 있는 방사성물질의 배기중 배출관리기준인 3E+01Bq/m³ 이하이었다.

표 3은 라임과 코퍼라이트에 함유된 Ac-288, Pa-234, Pa-234m과 U-235 핵종들의 건조전과 건조후의 분석결과를 나타내고 있다. 분석결과로부터 건조전과 건조후의 방사능은 약간의 농축이 있었을 뿐 크게 차이가 없음을 알 수 있었다.

총 66드럼을 1.5일에 1드럼씩 건조하여 4개월(99일)간의 건조시간이 소요되었으며, 47드럼이 최종 생성되었다. 건조과정에서 생성된 수량이 47드럼으로 감소된 이유는 무엇보다도 건조전의 라임, 코퍼라이트 드럼들이 완충전이 아닌 상태의 드럼이었던 것이 주원인이었고, 건조상의 수분의 감소에도 그 원인이 있는 것으로 판단되었다. 그림 2는 변환시설에서 실제 사용한 건조기의 계통도를 나타내고 있다.

3.3. 폐기드럼 및 폐공드럼 압축감용

변환시설내에 적재되어 있었던 폐기용 공드럼은 1980년대부터 1990년대초에 걸쳐 변환공정연구실의 실험 및 공장가동 중에 수입된 천연 우라늄의 수입용기로 내용물을 꺼내는 과정에서 분말가루로 내부의 일부가 오염된 빈 드럼 상태로 변환시설 내부와 외부에 임시 저장중인 200 l 677개와 100 l 28개가 있었으며, 건조상태를 확인한 후 건조된 전체 드럼을 폐기물처리시설로 운반하여 600KN 용량의 압축기를 활용하여 1차 압축을 한 후, sleeve는 사용하지 않고 2차 압축하여 포장용기 개당 포장수량을 증가시킬 수 있었다. 1차 압축과정에서 페드럼의 장기간 부식으로 인한 부분적인 응력집중 및 편심으로 인하여 비정상적으로 압축된 다수의 페드럼은 가스절단으로 불특정하게 돌출된 부분을 절단하거나 자체 제작된 포장용기를 활용하여 재포장하였다.

폐기드럼 및 폐공드럼의 압축은 ram만을 이용하여 압축한 후 자체 제작한 포장용기 220 l 드럼

에 적정량을 넣고 2, 3차에 걸쳐 반복 압축하여 압축감용처리하며, 100ℓ 폐공드럼은 200ℓ 포장용기를 먼저 넣은 상태에서 200ℓ 드럼 보호막인 sleeve를 내려 고정시키고 압축기 panel 옆에 위치한 100ℓ 폐공드럼 투입구를 통해 넣은 후 ram으로 압축한다. 폐공드럼중 100ℓ 폐드럼 28개는 압축하여 200ℓ 포장용기 2개에 수집되었으며, 200ℓ 677개는 압축하여 220ℓ 포장용기 63개에 재포장 되었다. 100ℓ 폐드럼은 200ℓ 포장용기 1개당 19개가 압축 포장되나, 여유공간에 대하여는 비가연성의 함석을 넣어 완충진 압축생성 하였다. 200ℓ 폐공드럼은 앞서 서술한 처리방법과 같이 압축하여 220ℓ 포장용기에 개당(677/63=10.75) 10.75개의 폐공드럼이 포장되었다. 폐기드럼은 가연성, 비가연성드럼의 분류 처리후 공드럼 상태로 남은 재염이 쉽지 않고 부식으로 재사용이 불가능한 것과 라임, 코퍼라이트 건조후 생성된 폐기드럼중 재사용이 불가하여 압축, 폐기하여야 할 드럼으로 100ℓ 30개와 200ℓ 103개가 발생하였다. 폐기드럼은 드럼내의 수분을 제거한 후 자연건조하여 전량을 폐기물처리시설로 운반하여 폐공드럼과 같은 과정으로 1차, 2차 압축하여 드럼을 생성하였다. 폐기드럼 100ℓ 30개는 200ℓ 포장용기 2개로 압축생성 되었고, 폐기드럼 200ℓ 103개는 220ℓ 10개로 압축 재포장 되었다. 200ℓ 폐기드럼은 220ℓ 포장용기에 개당(103/10=10.3) 10.3개의 폐기드럼이 포장되었다. 100ℓ 폐공·폐기드럼과 200ℓ 폐공·폐기드럼을 운반, 압축하여 생성된 드럼은 분류상 비가연성이나 생성드럼의 운반 및 적재의 편이성을 고려하여 200ℓ 780 드럼은 “압축폐드럼”이라는 호칭으로 분류하여 자체 제작된 220ℓ 드럼에 압축 포장하여 적재 관리하였고, 100ℓ 58드럼은 200ℓ 4드럼으로 운반, 압축하여 “비가연성” 드럼으로 적재 관리하였다. 폐공, 폐기드럼의 압축생성드럼은 임시저장고에 적재하였다.

3.4. 플라스틱 파쇄

액체폐기물 수집용 폴리에틸렌통이나 플라스틱통은 소각처리가 가능한 가연성폐기물로 분류되지만 소각처리 시점까지 임시저장 할 경우 공극율이 커 많은 저장공간을 차지하게 된다. 또한 이들을 압축처리 할 경우 스프링백이 커서 감용율이 떨어지므로 1차적으로 파쇄한 후 압축감용하는 것이 효율적이라 판단된다. 방사성폐기물처리시설에 설치되어 있는 파쇄기는 1,000kg/h의 절단능력으로 20마력 용량의 모터 2대로 축을 구동하며 사용전원은 380V이다. 축 회전 속도는 고속축이 21.5~44.1rpm이며 저속축이 18.2~37.3rpm이다. 축에는 폐통을 절단하기 위하여 직경 255mm, 두께 30mm의 나이프가 34개로 설치되어 있다. 파쇄처리를 하지 않고 드럼에 포장하여 저장할 경우 4개의 폐통만이 충전되나 파쇄처리한 후 재압축 처리하면 한 드럼에 40개를 충전하는 효과가 있어 감용효과를 10배로 크게 할 수 있는 효과가 있었다. 변환시설내 압축대상 폐통은 20ℓ 기준으로 총 120개가 있었으며 파쇄기를 활용하여 파쇄처리후 200ℓ 드럼 3개에 수집 압축포장하여 가연성폐기물로 저장관리 하였다. 한편 파쇄기 칼날의 두께가 30mm로 비교적 두꺼워 잘게 썰어지지 못하며 피절단물의 크기가 제한되는 단점이 있으나 너무 얇은 경우에는 절단효과가 떨어질 것으로 생각된다. 이렇게 파쇄된 폐통은 향후 소각로에서 소각처리 될 것으로 파쇄되지 않은 상태의 것보다 소각로에 투입이 용이하고 또한 소각 성능이 향상될 것이다.

3.5. 생성드럼 도장, 운반 및 적재

폐드럼을 압축감용하여 재포장한 새로 제작 구입된 73드럼을 제외한 분류, 간이 압축감용 및 건조처리를 통하여 생성된 가연성, 비가연성 및 라임폐기물을 수집한 기존에 사용되어진 192드럼에 대하여 드럼 표면의 부식을 제거하고 도장 작업을 실시하였다. 먼저 오염의 확산을 방지하기 위하여 작업장 주변에 로우프를 설치하고 바닥에 비닐슈트를 덮는다. 작업전의 드럼 외부 표면선량률을 측정후 부식부위를 사포 등으로 깨끗이 제거한 후 방청페인트를 도장한다. 방청페인트의 완전 건조후 황색페인트로 도장한다. 드럼 측면의 상부에 적색의 방사성 삼엽표지를 부착하고 드럼의 외부 표면선량률을 측정하며 방사성표지에 폐기물의 종류, 내용물, 선량률, 핵종, 폐기일시와

발생부서 등의 해당사항을 기록하고 드럼 표면에 부착한다. 폐기물 드럼을 운반하기 전에 드럼의 부의 표면오염도 뿐 만 아니라 차량 표면, 차량 앞 뒤 및 양 측면으로부터 1m 거리에서의 선량과 운전석에서의 선량률을 측정하여 사업소내의 방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정에 따라 허용 선량률을 초과하지 않는지 확인한다.

4. 결론

우라늄 변환공정에서 발생되어 변환시설내 저장중이던 방사성고체폐기물드럼을 분류, 압축 등의 과정을 통하여 재포장한 결과 표 1에서와 같이 가연성폐기물 157드럼은 76드럼으로 재포장 압축 생성하여 2.07의 압축감용비를 얻었으며, 비가연성폐기물 105드럼은 69드럼으로 재포장 및 압축하여 1.52의 압축감용비를 얻었다. 폐공드럼 및 폐기드럼 809드럼은 200ℓ 4드럼과 220ℓ 73드럼으로 압축 생성하여 1드럼당 평균 10.88드럼이 압축포장 되었다. 폐플라스틱은 20ℓ 기준으로 총 120개가 있었으며 파쇄기로 파쇄처리후 다시 압축기에서 압축하여 200ℓ 드럼 3개에 수집 포장하였다. 이것은 파쇄처리후 압축감용을 하지 아니한 드럼의 20ℓ 4개를 포장하는 경우와 비교시 10배의 부피감용 효과를 얻을 수 있었다. Lime 및 코퍼라이트는 열분해 특성 결과 45%의 수분을 함유하고 있었으며 수량은 66드럼으로 미충전 상태의 드럼 수량이 많아 건조후 47드럼으로 수량 감소가 발생하였다. 변환시설내 방사성폐기물의 재분류 및 라임·코퍼라이트 건조처리를 하여 200ℓ 192드럼, 220ℓ 73드럼이 생성되었으며, 전체수량은 265 드럼이었다.

변환시설에서 발생된 방사성폐기물의 처리를 통하여 수분을 함유한 방사성폐기물의 건조처리에 관한 기술을 축적하여 연구소에서 저장중인 환경정비 토양폐기물 및 폐수지 건조처리에 활용할 수 있으며 규제해체폐기물의 관리체계와 방사성폐기물 드럼의 부식 제거 및 재포장 기술을 확보하였다.

참고 문헌

1. KAERI/MR-159/89, "ADU-UO2 제조공정 운영 (OP-01-07)" (1989).
2. Trigils G., "Volume Reduction Technique in LLW Waste Management", NUREG/CR/2206, USNRC (1981).
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Treatment of Low-and Intermediate Level Solid Radioactive Wastes", Technical Report Series No. 223, IAEA, Vienna (1983).
4. KAERI/TR-2070/2002, "Volume Reduction Technology for the Radioactive Solid Wastes" (2002).
5. KAERI/TR-1654/2000, "연구로 1호기 및 2호기 폐로사업 해체계획서"(2000).
6. 황두성 외, "Treatment of Waste Contained Uranium from HWR Nuclear Fuel Production Process", 대한환경공학회 2001 추계학술연구발표회(2001).
7. 과학기술부 고시 제2002-23호, "방사선방호 등에 관한 기준"(2003).

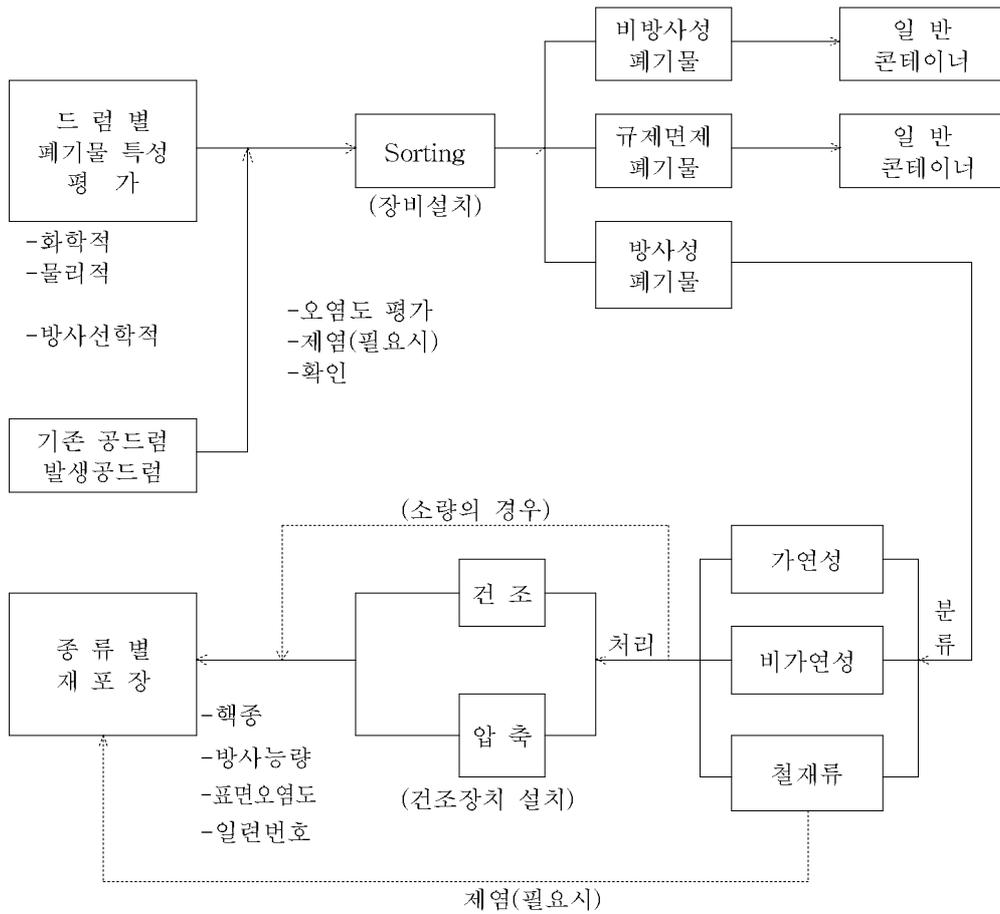


Fig. 1. Procedure for the Treatment of Radioactive Wastes

Table 1. Amount of Radioactive Wastes Stored in the Conversion Facility

종 류		드립규격	처리전 저장수량	처리후 생성수량
일 반 잡고체	가연성	100 l	12	-
		200 l	151	76 ¹⁾
	비가연성	100 l	18	-
		200 l	96	69
라임 및 코퍼라이트		200 l	66	47
계			343 (200 l : 328 ²⁾)	192 (200 l)
폐기 드립		100 l	30	73 (220 l)
		200 l	103	
폐공드림		100 l	28	73 (220 l)
		200 l	677	
계			838 (200 l : 809 ²⁾)	73 (220 l)

- 1) 폐플라스틱 20 l 기준 120개를 파쇄하여 가연성 200 l 드립 3개에 수집 포장
- 2) 100 l 는 200 l 드림의 0.5개로 환산

Table 2. Results of the Analysis of the Air Sample

- Sample Geometry : GAS
- Sample Size : 1.000E-03m³
- Live Time : 3600.0 seconds
- Real Time : 3690.0 seconds

Nuclide Name	Id Confidence	Energy (keV)	Yield (%)	Activity (Bq/m ³)	Activity Uncertainty
K - 40	0.989	1460.81	10.67	6.216E-05	1.77134E-01

Table 3. Results of the Nuclide Analysis of Lime

시료명		Ac-288	Pa-234	Pa-234m	U-235
LIME	건조 전	5.44E+05 ± 1.38E+04	5.36E+05 ± 1.47E+04	4.77E+08 ± 8.58E+06	1.6E+07 ± 1.82E+05
	건조 후	-	1.2E+06 ± 2.1E+04	1.16E+09 ± 2.02E+07	3.46E+07 ± 3.64E+05
코퍼라이트	건조 전	1.32E+06 ± 2.22E+04	7.47E+05 ± 1.82E+04	6.44E+08 ± 1.12E+07	2.17E+07 ± 2.42E+05
	건조 후	2.22E+06 ± 3.51E+04	1.1E+06 ± 2.52E+04	1.08E+09 ± 1.87E+07	3.56E+07 ± 3.87E+05

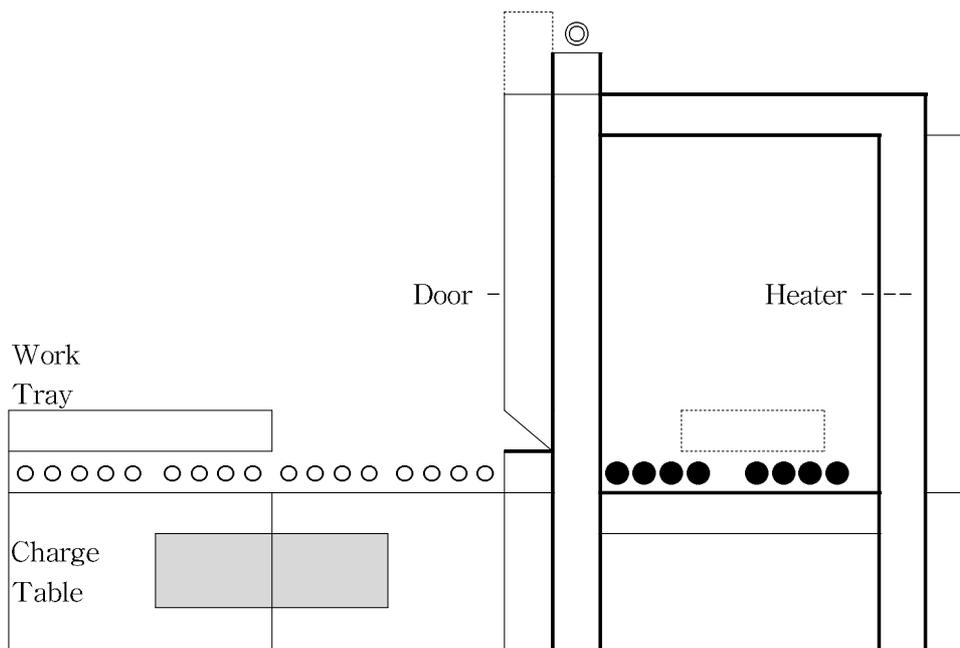


Fig. 2. Schematic Drawing of the Dryer