연구로 발생 해체폐기물 관리

황두성, 이윤지, 홍상범, 정경환, 문제권
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
dshwang@kaeri.re.kr

1. 서론

연구로 1·2호기는 우리나라 최초의 원자로로서 원자력 역사의 시금석이 되었으나 다목적 연구로인 하나로가 정상 가동되면서 1995년 가동을 중지하고 1997년부터 해체사업을 착수하였다. 본 사업은 국내 최초의 원자력시설 해체사업으로서 2009년 4월 1차 사업을 종료하고 추가로 2011년부터 2014년까지 2차 사업을 추진 중에 있다. 연구로 1호기는 국내 최초의 원자로로서 기념관으로 추진하는 과정에서 2009년 8월 원자로의 방사선차폐 역할을 하는 수조수가 누출되어 노심이 공기 중에 들어나게 되었다. 그러나 누출된 수조수의 방사능 농도는 $1.54X10^3$ Bq/m^3으로 환경에 미치는 영향은 무시할 정도인 것으로 평가되었다. 노심의 노출은 원자로 상부로 일반인들의 접근이 불가능하게 됨을 의미하며 기념관으로서 관람이 용이하지 못하게 되는 것이다. 이로써 부득이 4년에 걸쳐 연구로 1호기의 모든 방사성물질은 모두 제거하고 대신에 차폐수조 콘크리트 내부에 실물과 동일한 모양의 모형을 설치하여 영구 보존하여 안전성을 강화하는 방향으로 기념관 추진방안을 수정하는 2차 사업을 추진하게 되었다.

연구로 2호기 및 주변시설 해체과정에서 발생한 방사성폐기물은 현재 연구로 2호기 원자로실 건물 내에 임시 저장하고 있으며 국가 방사성폐기물처분장(경주) 건설이 2014년 6월 완공 시 처분장으로 이송할 예정이다. 이들 폐기물 및 연구로 1호기를 해체하면서 발생할 폐기물은 방사성폐기물의 처분을 위해 건전성을 확보하고 처분비용 절감 측면에서 폐기물 감용을 위해 토양 및 콘크리트 폐기물을 분류함으로써 방사능 농도가 낮은 폐기물의 자체처분대상폐기물로 전환 작업이 필요하다. 본 연구에서는 이들 해체폐기물의 감용을 위한 분류 작업과 폐기물 처분을 위한 고정화 처리공정을 소개하였다.

2. 본론

연구로 2호기 및 주변시설 해체공사로부터 발생한 해체폐기물은 모두 2,580톤이다. 해체물 중 자체처분이 가능한 폐기물은 2,185톤이며, 이 중 1,734톤은 도로 건설용 기초 재료로써 재활용되어 자체처분하였다. 방사성폐기물은 총 해체폐기물의 약 15.3%인 395톤이 발생하였다. 이들 방사성폐기물은 $4M^3$ 컨테이너 64개, 200L 드럼 347개, 차폐용기인 'A'형 용기 6개에 나누어 포장되어 연구로 2호기 원자로 건물 내에 저장되어 있다. 이들 폐기물은 중.저준위방사성폐기물 인도규정[1]에 따라 폐기물을 표준화된 포장용기 포장하고 포장물의 구조적 건전성을 입증해야만 한다.

포장용기 중 $4M^3$ 컨테이너는 처분장 반입이 가능하여 제작 사용하였으나 1단계 방폐물 처분장인 동굴처분방식에서는 본 포장용기의 반입이 불가하여 200L 드럼으로 재포장해야 했다. 또한 이들 폐기물의 재포장 및 연구로 1호기에서 발생하는 다양한 종류의 방사성폐기물 중 고정화가 요구되는 폐기물은 콘크리트와 같은 입자성 폐기물을 사용하여 시멘트고화체를 제조하여 혼용 고정화함으로서 폐기물 포장의 효율성을 증대하고 처분 건전성을 확보하고자 하였다. 한편 이 같은 폐기물의 재포장 작업을 수행하면서 토양 및 콘크리트 폐기물의 경우 오염도 측정 등의 분류 작업을 통하여 방사능농도가 0.4Bq/g 이하인 폐기물에 대해서는 자체처분대상폐기물로 분류 전환하여 폐기물을 감용처리 하였다.

2.1 폐기물 감용처리

해체폐기물 중 감용처리 대상 폐기물은 토양 및 콘크리트 폐기물이며, 토양폐기물은 200L 125개와 $4M^3$ 컨테이너 3개에 콘크리트 폐기물은 200L 86개와 $4M^3$ 컨테이너 41개에 포장되어 있다. 폐기물의 분류작업을 위하여 그린하우스를 설치하였으며, 크기는 W6,600 X D5,700 X H500 mm 이고 작업공간 내 분진 제거를 위해 환기설비를 설치하였다. 그린하우스 내에는 드럼 및 $4M^3$ 컨테이너에 포장된 토양폐기물 반입을 위한 W1,740 X D2,900 X H200 mm 크기의 거치대를 설치하였고 토양폐기물 분류 작업을 위한 W3,300

X D2,200 X H1,300 mm 크기의 작업대를 설치하였다.

감마핵종별 비방사능의 총합이 0.4Bq/g 미만일 경우 자체처분대상폐기물로 분류한다. 그린하우스로 반입된 토양폐기물은 먼저 토양폐기물 거치대에 올려진 후 개봉한다. 작업대에 부은 토양폐기물은 동일한 높이가 되도록 평탄 작업을 수행한다. 동적조사(scan survey)를 위해 작업대 위에 펼쳐진 토양폐기물은16개 구역으로 구분하며, 이를 위해 작업대에 표식을 한다. 동적조사는 α, β선을 측정할 수 있는 휴대용 오염감시기와 γ을 측정할 수 있는 휴대용 오염감시기를 병행하여 사용한다. 동적조사를 수행 후 gross gamma (CPS)가 600 CPS이상이거나 표면오염도가 35cps 이상인 경우 HoT-Spot으로 간주하여 방사성폐기물로 분류하고 그 미만일 경우 자체처분대상 폐기물로 분류한다. 방사성폐기물 및 자체처분대상 폐기물로 분류된 폐기물은 드럼 포장 전에 일정량의 시료를 고르게 2kg 이상 채취하여 핵종농도를 분석하고 측정 결과에 따라 방사성폐기물과 자체처분대상폐기물로 분류하고 드럼에 포장하여 저장장소로 이동한다.

콘크리트 폐기물은 덩어리 형태와 입자 형태의 폐기물로 분류하여 총 200L 정도를 작업대에 붇는다. 덩어리 형태의 폐기물은 각 덩어리의 전면을 동적조사(scan survey)를 수행하고 입자형태의 폐기물은 작업대 위에 펼치고 콘크리트폐기물을 16개 구역으로 구분하며, 이를 위해 작업대에 표식을 한 후 동적조사를 수행한다. 그 외의 분류방법은 토양폐기물 분류와 동일한 방법으로 수행하였다.

이 같은 분류작업을 통하여 토양폐기물은 200L 드럼으로 58개, 콘크리트폐기물은 259개를 자체처분대상폐기물로 전환하였다.

2.2 폐기물 혼용 고정화처리

폐필터 및 잡고체와 같은 비균질폐기물 중 반감기가 5년 이상인 핵종의 총 방사능 농도가 74,000Bq/g 이상인 폐기물 포장물의 경우에는 내용물을 고정화해야 한다. 또한 직경 0.01mm 이하 1%이상이고 0.2mm 이하 15% 이상인 입자성물질을 포함하는 폐기물은 비분산성이 되도록 고정화해야 한다. 그리고 고건전성 용기(HIC)를 제외한 모든 포장물은 폐기물 내 빈 공간 및 폐기물과 용기사이 공간이 가능한 한 최소가 되어야 하며, 채움율은 용기 부피의 85% 이상이고 용기상부 빈 공간 15% 이하이어야 한다. 이와 같은 폐기물의 인수기준을 만족하기 위하여 콘크리트 폐기물 중 입자성 폐기물을 시멘트와 혼합하여 콘크리트 몰탈을 제조하여 폐기물을 효율적으로 고정화하였다. 한편 이 같은 고정화 시 별도의 폐기물 고화체 시험요건을 적용하지는 않지만 연구로 발생 해체폐기물 포장관리의 품질 관리 차원에서 압축강도 요구조건인 3.44 MPa 이상인 시멘트 고화체만을 제조하여 사용할 예정이다. 이 같은 조건을 만족하는 시멘트고화체 제조조건은 폐콘크리트:물:시멘트의 배합비가 중량비 기준으로 75:10:15로서 압축강도는 12.2 MPa를 나타내었다.

3. 결론

본 연구에서는 연구로를 해체하면서 발생한 방사성폐기물의 처분을 위한 건전성을 확보하고 처분비용의 절감 측면에서 폐기물 감용을 위해 토양 및 콘크리트 폐기물의 분류를 통해 방사능 농도가 낮은 폐기물은 자체처분대상폐기물로 전환하는 감용처리와 폐기물의 처분을 위한 고정화 처리공정을 수행하였다. 방사성폐기물 감용을 위한 분류 작업을 통하여 토양폐기물은 200L 드럼으로 58개, 콘크리트폐기물은 259개를 자체처분대상폐기물로 전환하였다. 또한 폐기물의 고정화를 위하여 콘크리트 폐기물 중 입자성 폐기물을 시멘트와 혼합한 콘크리트 몰탈의 제조 조건을 제시하였다. 고정화 시 별도의 고화체 시험요건을 적용하지는 않지만 연구로 발생 해체폐기물 포장관리의 품질 관리 차원에서 압축강도 요구조건인 3.44 MPa을 만족하는 조건은 폐콘크리트:물:시멘트 배합비가 중량비 기준 75:10:15이며, 이 조건에서의 압축강도는 12.2 MPa이다.

4. 참고문헌

[1] 원자력안전위원회고시 제2012-53호, 중.저준위방사성폐기물 인도규정, 2012.