

중준위 금속 방사성폐기물 처리를 위한 원격취급공정 개념연구

홍권표, 오완호, 홍대석, 지영용, 김태국, 류우석
 한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 1045
kphong@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성폐기물의 분류하는데 있어 세계 여러나라 들은 각기 다른 분류방법을 쓰고 있는데, 우리나라 법령은 방사선 준위 및 열발생률에 따라 방사성폐기물을 고준위와 중저준위로 나눈다.[1] 우리나라의 이 같은 분류방법에 따르면 같은 중저준위 방사성폐기물이라 하더라도 방사선 준위가 아주 낮거나 높을 수가 있는데, 방사선 준위의 높고 낮음에 따라 취급방법이나 처리방법이 달라야 한다. 본 연구에서는 금속 방사성폐기물인 경우에, 방사능 준위가 높아 방사선 차폐를 하지 않고서는 접근하기 어려운 방사성 폐기물(본 연구에서는 편의상 중준위 방사성폐기물이라 부른다.)에 대해 이를 처리하기 위한 원격취급 공정 개념에 대해 기술하였다.

기본 가정으로는 한 번의 크기가 최대 3 m 정도이며 무게는 최대 약 30 톤이 되는 대형 금속폐기물을 처리대상으로 하였으며, 이를 처리하기 위한 공정으로는 반입 및 임시 저장, 절단, 방사성 기체의 제거, 폐기물 특성조사, 포장 및 임시저장, 처분장으로서의 반출 등이다. 모든 공정을 핫셀(hot cell)[2]에서 원격으로 처리하는 것을 가정하였다. 이와 같은 가정은 유럽에 건설예정인 국제핵융합실험로(ITER)의 폐기물처리 핫셀에 적용하기 위함이다.

2. 본론

가. 처리공정

핵융합로의 운전 과정에서 부품의 교체 등으로 발생하는 중준위 방사성폐기물은 주로 금속재질이며, 이 금속폐기물은 처리와 저장을 위해 핫셀시설 지하층으로 반입된다. 핫셀시설 지하층에는 반입 핫셀, 절단 핫셀, 트리튬 제거 및 분석시편 채취 핫셀, 폐기물특성조사 핫셀, 포장 핫셀, 임시저장 핫셀이 있으며, 이들 핫셀의 총 내부 면적은 모두 약 770 m² 이다. 이들 핫셀 시설 내에서 약 20년에 걸친 핵융합로의 가동기간 동안 1,200 여톤의 금속폐기물을 처리하는 것으로 계획하고 있다.

반입 및 적재

폐기물처리를 위해 반입되는 금속 폐기물은 대형이며, 주로 핵융합반응로인 토카막의 구조체이다. 이들 폐기물은 길이가 3.7 m 정도인 큰 바스켓에 담겨 적재되었다가 본격적인 처리를 위해 절단 핫셀로 이송된다.

절단

금속 방사성폐기물은 보통은 비압축성이므로 일반적으로 부피감용 공정은 필요 없다. 대신에 부피가 크므로 나중에 처분장으로 운송할 때 수송용기의 용량을 고려하여 이를 절단한 후 한 번의 길이가 1.4 m 정도인 작은 바스켓에 수용한다. 절단 방식은 밴드 소우(band saw) 방식과 레이저 절단 방식을 모두 고려하고 있다.

트리튬 제거 및 시편채취

절단되어 작은 바스켓에 담긴 금속폐기물은 내포되어 있는 트리튬을 제거하기 위해 트리튬 제거공정을 거치는데, 유도 가열식 오븐에 넣어 트리튬을 제거한다. 이 때 방출되는 트리튬은 별도의 포집장치를 통하여 처리한다. 또한 폐기물 내에 존재하는 트리튬의 재고량을 알기 위해 분석 시험용 시편을 채취하며, 분석시험편은 분석시험실로 이송된다.

폐기물특성조사

트리튬 제거가 끝나면 폐기물 특성조사를 위해 특성조사 핫셀로 옮겨진다. 특성조사 핫셀 내에는 감마선 검출기와 저울이 딸린 회전벤치로 구성되는 방사선측정 시스템이 있다. 감마선 검출기로서는 원격취급의 편리성을 위해 CZT 검출기를 사용한다.

포장

포장은 그 내부의 방사성폐기물이 밖으로 나오지 못하도록 하는 것이 일차적인 목적이다. 포장용기는 현재로서는 스테인레스틸 재질의 박스형 포장용기를 고려하고 있으나, 내용물인 금속 폐기물로부터

방사성 파편 또는 부스러기가 유출될 가능성이 적고, 핫셀 내부의 제염설비가 충분히 갖추어질 경우에는 박스형 포장을 생략하는 것도 고려 중이다.

박스형 포장을 하는 경우에도 용접 등 특별한 밀봉조치는 필요 없다. 박스로부터 유출될 가능성이 큰 것이 트리튬 개스인데 이는 트리튬 제거설비로 오염을 방지할 수 있다고 판단된다.

임시저장

포장을 끝낸 금속폐기물은 핵융합로 수명이 다 할 때까지 핫셀시설 내에 저장해 두는 개념이므로 최장 20년간 임시저장 하였다가 처분장 또는 중간 저장시설로 보내지게 된다.

반출

대략 1.4 m 입방체인 폐기물 포장용기를 수송하는 수송용기는 새로 설계/제작하여야 한다. 핫셀시설 내 반출구역에서 원격으로 수송용기에 옮겨 담아 외부로 반출하는 공정으로 되어 있다.

나. 원격취급 설비

위에서 기술한 중준위 방사성폐기물의 처리공정을 달성하기 위해서는 적합한 원격취급 시스템을 갖추어야 한다.[3] 사람의 접근이 배제된 채 모든 공정이 원격으로 이루어지고, 각종 원격장치의 유지관리도 원격으로 이루어지도록 하였다. 중준위 금속폐기물 처리공정에 필요한 원격취급 설비는 다음과 같다.

표 1. 원격취급설비의 종류 및 사양

품 목	수량 및 용량	용 도	비 고
크레인	4대(30톤 1대, 20톤 3대)	30 톤 : 큰 바스켓의 운반용 20 톤 : 작은 바스켓 운반 및 트롤리 보수시 운반용	
트롤리	3대(30톤 1대, 20톤 2대)	30 톤 : 큰 바스켓의 운반용 20 톤 : 작은 바스켓 및 공정장치 운반용	
동력 원격조종기	3대(용량 미정)	공정장치 운전 및 유지보수용 (작동범위는 핫셀 내부의 전 영역)	

핫셀 내부의 모든 공정장치는 고장시에 원격으로 수리가 가능하도록 모듈식으로 제작될 것이며, 핫셀 내부 크레인 및 트롤리의 경우에는 규모가 크고 원격취급 기본설비이므로 제염실을 경유하여 유지보수실에서 수리하는 개념으로 하였다.

3. 결론

국제핵융합로에서 발생하는 대형이면서 중량물인 중준위 방사성폐기물을 효과적으로 처리, 관리하는 공정을 연구하였다. 모든 공정이 원격으로 수행되도록 하였으며 장치의 고장시에도 원격 유지보수가 가능하도록 개념을 구성하였다. 이를 위한 원격 취급설비로는 크레인 4대, 트롤리 3대, 동력원격조종기 3대를 사용하는 것으로 하였다. 국제핵융합실험로(ITER) 건설시에 토카막 건물에 인접하여 건설할 예정으로 있는 핫셀시설에서 우리의 연구결과가 적용될 수 있으리라 본다.

참고문헌

[1] WACID 인터넷 홈페이지 <http://wacid.kins.re.kr>, "세계 각국의 방사성폐기물 분류기준"
 [2] 유재형, 홍권표, 이한수, "A Conceptual Design Study for a Spent Fuel Pyroprocessing Facility of a Demonstration Scale", 방사성폐기물학회지 6(3) p.233-244, Sept. 2008
 [3] Design Guide for Radioactive Material Handling Facilities and Equipment, [ISBN: 0-89448-554-7], ANS, 1988