

연구로 2호기 동위원소생산시설 해체활동 평가

Evaluation on the Dismantling Activities of the KRR-2 Radioisotope Production Facilities

박승국, 천은영, 박진호
한국원자력연구소

요 약

연구로 1,2호기 해체 사업이 본격적으로 착수하게 됨에 따라 2001년 8월부터 2002년 12월까지 연구로 2호기 부속시설인 동위원소 생산시설을 제염 및 해체하였다. 이 시설은 동위원소 생산용 콘크리트 핫셀, 납 핫셀 및 실험실로 구성되어있다. 제염·해체의 대상물은 흡후드, 실험대, 싱크 및 오염된 내부 시설물이다. 안전한 해체 활동을 위해서 각종 지침서 및 절차서가 수립되었다. 해체 활동을 위해 총 20,933 man-hour의 인력이 소요되었고, 드릴링 머신 등 여러 장비가 투입되었다. 실험실에서의 최대 오염도는 유리성 오염도가 β : 9.24 Bq/cm²이었고, 고착성 오염도는 350,000 cpm이었다. 해체폐기물은 콘크리트류, 목재류 및 철재류 등으로 총 62.146 Ton이고, 작업자들의 피폭량은 0.33 mam-mSv로 나타났다.

Abstract

In accordance with the KRR-1 & 2 decommissioning project, the decontamination and dismantling activities of the KRR-2 auxiliary facilities, radioisotope production facilities, were completed from Aug 2001 to Dec 2002. The auxiliary facilities were composed of the concrete hot-cell, lead hot-cells and several laboratories for the radioisotope production. The dismantling objects are hume hoods, experimental desks, sinks, and contaminated inner facilities. For the purpose of the safe decommissioning activity, the method statements and working procedures were set up. The manpower of the total 20,933 man-hour was required and several dismantling equipments were also. The maximum surface contamination is: 9.24 Bq/cm² in removable contamination and 350,000 cpm in fixed contamination. The total amount of 62.146 Ton was raised as dismantled waste with kinds of the concretes, wood, steels, etc. The collective dose was evaluated as 0.33 mam-mSv during this period.

1. 서 론

연구로 2호기 부속시설은 12개의 실험실과 2기의 대형 콘크리트 핫셀, 1기의 소형 콘크리트 핫셀 및 10기의 납 핫셀로 구성되어있다.[1] 이 중 제염활동을 거쳐서 3개의 실험실은 작업자의 탈의 및更衣실로 개조하였고, 1개의 실험실은 제염을 한 후 해체활동에 필요한 각종 장비를 보관, 관리하는 용도로 사용하였다. 복도에는 작업자의 출입관리를 위한 분리시설을 설치하였다. 해체 대상으로 8개의 실험실에 있는 15기의 철재 및 목재 흡후드와, 25개의 실험대와 이에 부착된 싱크가 전부 제염, 해체되었다. 10기의 납핫셀의 완전 철거와 콘크리트 핫셀내의 폐기선원을 철거하였

으며, 건물은 추후 한전에 반납하기 위해 오염에 대한 제염만 실시하였다.

해체 대상물 및 주변 환경에 대해 상세한 방사선 오염 측정업무가 수행되었고, 이를 토대로 대상물에 대한 해체 및 절단 공법이 선정되었다. 해체 대상물이 대부분 간단한 구조의 조립물이기 때문에 가벼운 연장 등을 이용하여 수작업으로 해체가 이루어 졌다. 납 핫셀의 경우에는 드릴링 머신과 소형 브레이커를 이용하여 콘크리트 벽체 및 슬라브를 제거하였다.

해체계획서, 방사선작업지침서 및 작업절차서와 폐기물관리 절차서에 따라 모든 시설물들은 제염을 거친 후 해체 철거되었으며, MDA 이하인 폐기물은 관리구역 밖의 창고에 임시 보관 중에 있으며, 일부 방사성폐기물은 #132 실험실에 임시 보관한 후, 계속적인 2차 제염을 하고 있다. 연구로 2호기 원자로실로부터 액체폐기물 반송을 위한 배관류가 있는 일부 지하 pit와 제염실로 개조하여 사용하고 있는 납핫셀룸을 제외하고, 모든 실험실의 바닥, 천장 및 벽은 제염이 완료되어 비방사선관리 구역으로 선정되었다.

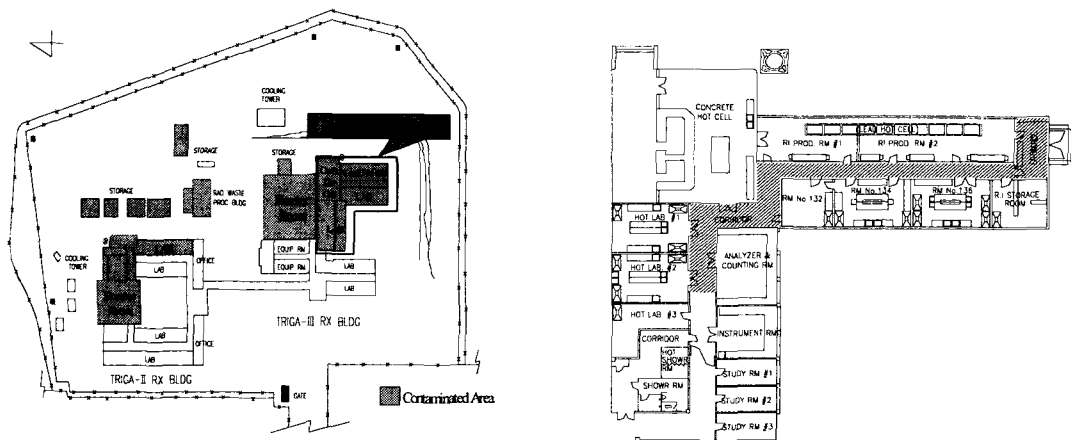


그림 1. 연구로 2호기 동위원소 생산시설

해체 활동 결과를 평가하기 위해 작업내용은 크게 방사선측정 및 분석과 제염 및 해체활동 그리고 폐기물 관리 활동과 기타 정리 및 준비 작업으로 구분되었다. 이렇게 구분되어진 작업 활동에 투입된 작업량을 산출하고 이를 다시 작업 기간별, 작업장소별, 직종별로 산출하여 평가하였고, 이에 따른 작업자들의 예상피폭량 및 실제 피폭량을 비교하였다. 해체활동에서 발생된 폐기물도 함께 평가되었다.

2. 본 론

2.1 동위원소 생산 실험실 제염·해체활동

연구로 2호기의 동위원소 생산을 위한 실험실은 후드, 실험용 탁자, 수도 및 싱크대가 설비되어 있다. 후드는 천장 덕트로 연결되어 있어 후드를 통한 공기는 HEPA 필터를 거쳐 외부로 배기되도록 설치되었다. 싱크대는 일반 하수로 나가는 관과 극저준위 방사성 폐액 저장조로 연결된 관으로 분리되어 있다. 실험실 내에는 동위원소 생산을 위하여 사용되었던 각종 실험 초자, 시약병, 전선류와 각종 잡품이 있었다.

제염·해체 작업 이전에 방사선량을 측정한 결과 250~35,000 cpm정도 범위 내에서의 오염도가 측정이 되었으며, 실험실에서의 최대 오염도는 유리성 오염도가 $\beta : 9.24 \text{ Bq/cm}^2$ 이었고, 고착성 오염도는 350,000 cpm이었다.[2] 작업 현장에서 즉시 제염할 수 없는 고착성 오염물은 실험실 #132호에 임시 저장하였다가 지금도 계속 2차 제염을 실시하고 있다.

실험용 후드는 총 15개가 있는데 이는 철재 및 목재 후드로 구분된다. 대부분의 후드 내부에는 미세 먼지가 끼어 있어 오염된 상태로써 유리성 오염도 $\beta : 0.01 \sim 0.077 \text{ Bq/cm}^2$ 정도 나타나 현장에서 간단히 제염할 수 있었다. 실험용 후드의 해체는 외부 상판부터 철거하면서 진공 청소기로 누적된 먼지를 제거하는 방식으로 수행하였다. 각 부분을 제염 휴지로 닦아 낸 후 방사선/능을 검출하였으며 이에 대한 기록을 별도로 정리하여 보관하고 있다.

후드와 실험대, 싱크 등의 해체 및 절단은 비교적 간단한 수작업 공구를 이용하여 수행되었으며 벽, 천장 및 바닥의 표면 오염은 제염재를 이용하여 닦아내고, Scabbler를 이용하여 바닥 표면을 깎아 내는 방식으로 제염되었다. 액체폐기물의 이송을 위한 매립 배관류도 함께 제거되었으며, 일부 바닥 밑 배관류의 장기간 매립에 의한 재료의 부식으로 일부 토양이 오염된 것으로 나타나 모두 수거하여 임시보관 중이다.

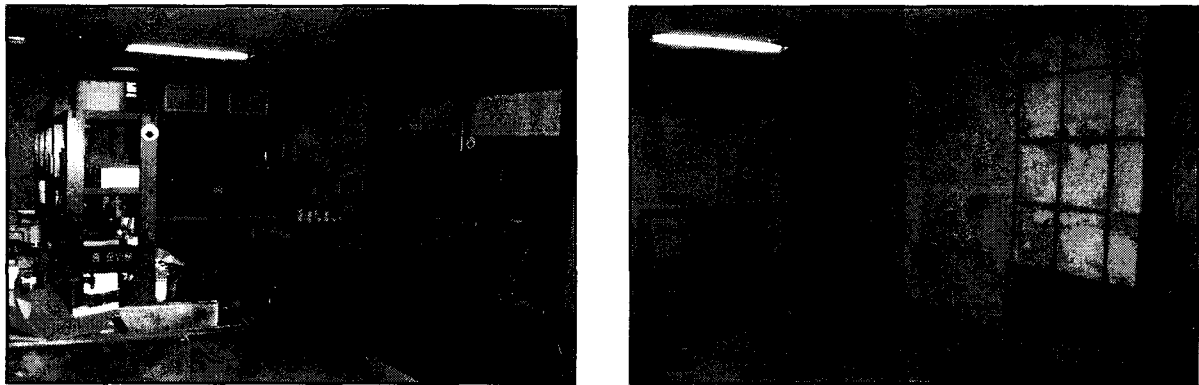


그림 2. 동위원소 실험실 해체 전·후

2.2 동위원소 생산 납핫셀 제염·해체활동

동위원소생산시설은 2개의 생산실로 구분되는데 생산실 #133호에 3기의 납 핫셀이 있고, 생산실 #135호와 #137호에 7기의 납 핫셀이 설치되어 있다. 납 핫셀은 액체 폐기물 수집통을 넣을 수 있는 700mm높이의 콘크리트 구조물 위에 전면에는 납벽돌을 쌓고, 뒷면은 출입문 역할을 하는 6mm 두께의 철판으로 가공된 2개의 차폐문이 설치되어 있으며, 납 핫셀과 납 핫셀의 사이 벽은 콘크리트 구조물로 되어있고, 천장은 3mm두께의 철판으로 되어 있다. 10개의 각 납 핫셀에는 1개의 차폐창과 2개의 원격집게(Tongs), 배기필터 및 조명장치를 갖추고 있다.

납 핫셀은 중성자 선원을 취급하지 않았으므로 납 핫셀 내 구조물 및 시설이 방사화 되지는 않은 것으로 나타났다. 납 핫셀의 방사선/능 현황을 살펴보면 방사선/능 조사 당시는 단수명 동위원소 생산을 위해 납 핫셀을 사용 중에 있었으므로 높은 방사선 및 오염도를 나타냈었으나, 납 핫셀의 해체 공사 시에는 납 핫셀 사용이 중지 된지 오래되어 단수명 핵종 등의 붕괴로 인해 오염도는 현저하게 떨어진 것으로 나타났다.

납 핫셀의 해체는 외부 수도 및 가스 공급 배관, 뒷문 철거, 납유리 및 원격집게(Tongs)와 납벽돌 철거, 필터 housing 철거, 천장 및 형광등 철거 그리고 셀 콘크리트 철거 순서로 수행하였다. 납 핫셀 뒷문의 해체는 무게가 약 340kg정도로 무겁고 작업공간이 작기 때문에 Scissor Lift를 이용하였다.

납유리와 Tongs의 철거는 외부 볼트를 푼 다음 내부에서 해머로 두드려 분리하였고, 납벽돌은 한 개씩 해체하는 방법으로 납 핫셀의 앞부분을 모두 해체하였다. 두께 20 cm의 콘크리트 벽체 및 바닥은 코어 드릴링 머신을 이용하여 코어를 연속으로 뚫어서 가능한 온전한 면의 형태를 유지하면서 해체하였다.

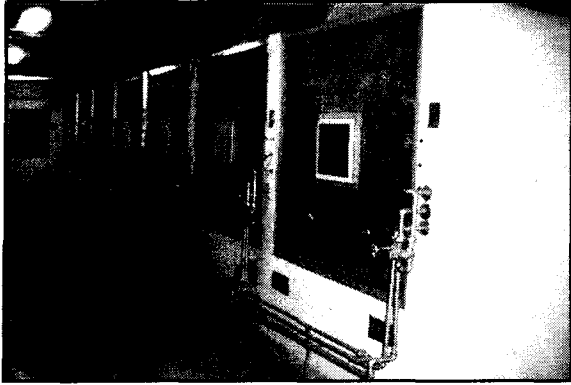


그림 3. 납 핫셀 해체 전·후

2.3 방사성폐기물 발생현황 및 관리

방사성 고체폐기물은 일반적으로 방사선 준위(농도)별 그리고 폐기물의 재질 별로 수집 및 저장 처리하도록 되어 있다. 제염 해체에서 발생된 폐기물의 품목과 오염도 측정결과에 대한 상세 내역은 별도로 기록 보관하고 있다.

동위원소 생산시설의 해체에서 발생된 폐기물은 종이류가 4포대(36,3 Kg), 유리류가 3포대(51 Kg), 아크릴류가 2포대(54 Kg), 스텔트가 1포대(49.7 Kg), 전선 및 잡품(PVC)류가 7포대(146.8 Kg), 핫셀 문(철문 내부에 납차폐)이 20개(6,760 Kg), 납이 1포대(38.5 Kg), 납 벽돌이 9,492 Kg, 철재류가 10포대(389.3 Kg)과 철재 bulk가 1,250 Kg, 목재류(bulk)가 1,490 Kg, 그리고 납유리가 9 개 등이 발생되었다.[4] MDA 이하의 측정값을 가진 폐기물은 규제해제 폐기물로서 처리 될 것이며, 해체사업의 목표치인 0.4 Bq/g 이상의 방사성폐기물은[3] 현재 2차 제염을 위해서 #132 실험실에 보관 중이며 현재 초음파 제염, 화학제염 및 고압증기제염을 통해 오염을 제거 중에 있으며 잡고체 등은 드럼압축 시설을 이용하여 감용하고 있다.

3. 결 론

2001년 8월부터 2002년 12월까지 작업일수 360일 동안, 총 20,933 Man-power가 투입되었다. 해체현장에서의 직접투입은 방사선안전관리 3인, 일반작업분야 5인, 품질관리 및 폐기물관리 각각 1 인으로 구성되었다. 이외 현장 관리 및 전문가 그룹이 별도로 운영되었다. 이들 작업 그룹별로 수행하였던 작업 공정을 세부 작업 내용, 작업 장소 및 작업 특성에 따라 분류하고, 이에 투입된 인력을 산출, 평가하였다. 이는 다시 작업의 직종별로도 분류하였다. 해체 대상물의 단위별 해체투입량을 산정 할 수는 없지만 제염활동에 투입된 인력의 소요량을 산출해 본 결과 1m²당 약 10.17~10.19 시간이 소요되는 것으로 나타났다. 이는 장소의 위치, 공간의 협소 및 오염의 정도에 따라 다르지만 콘크리트 표면을 대상으로 산출, 평가된 결과이다.

(단위 : man-hour)

작업 내용	방사선 관리	일반 작업	품질 폐기물	
작업 안전관리	1,372.5	40.0	391.5	1804.0
주변정리 및 준비작업	1,240.0	4,979.5	380.0	6599.5
방사선 측정·분석	5,978.0	704.5	33.0	6715.5
해체활동	124.0	3,548.5	2.5	3675.0
제염활동	65.0	1,941.5	37.5	2044.0
폐기물관리	11.0		84.0	95.0
	8,790.5	11,214.0	928.5	

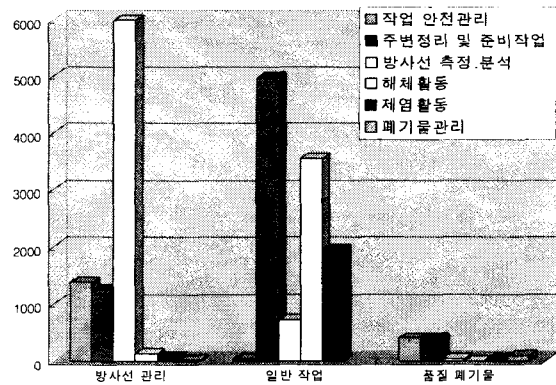


그림 4. 직종별, 작업내용별 해체활동 투입 인력량 평가

제염 및 해체활동을 통해 발생된 폐기물은 콘크리트류, 목재류 및 철재류 등으로 총 62.146 Ton이고, 이중 방사성폐기물이 0.6 Ton으로써 약 1 % 정도이고, 비방사성폐기물 이 58.627 Ton 그리고 자체처분대상폐기물이 2.19 Ton으로 집계되었다.

작업자들의 피폭량은 0.33 mam-mSv로 예상피폭량 5.035 mam-mSv 대비 6.55 % 수준으로 나타났으며, 콘크리트 핫셀 내부의 폐기선원을 제거하는 활동에서 피폭된 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] 박승국 외, TRIGA 연구로 폐로를 위한 시설현황 및 방사선/능 조사보고서, KAERI/TR-1153/98, 한국원자력연구소, 1998
- [2] 이봉재 외, "TRIGA Mark-II, III 연구로시설의 폐로를 위한 시설내 잔류 방사선/능 평가", 제 24권 제2호, 대한방사선학회지, 1999
- [3] 정기정 외, 연구로 1호기 및 2호기 폐로사업 해체계획서, KAERI/TR- 1654/2000, 한국원자력 연구소, 2000
- [4] 박진호 외, 연구용 원자로 폐로사업, KAERI/RR-2304/2002, 한국원자력연구소, 2002