

## 연구로 2호기의 납 핫셀 10기의 제염·해체 활동 평가

### Evaluation on the Result of the Decontamination and Decommissioning Activities of the 10 Lead Cells at KRR-2

박승국, 정운수, 박진호  
한국원자력연구소

#### 요 약

연구로 2호기(KRR-2)에 있는 방사성 동위원소 생산을 위한 화학처리 공정용 납 핫셀 10기의 제염·해체 활동에 대한 평가를 수행하였다. 납 핫셀의 해체 작업은 연구로 해체 계획서, 방사선안전 관리 지침서와 작업지침서를 근거로 한 작업절차서에 의해 수행되었다. 작업자 투입량, 투입시간, 방사선학적 자료, 폐기물 발생량 등 각각 20여 개의 입력 항목과 출력 항목을 선정하고 이에 해당되는 작업 결과의 자료들을 비교하여 분석하였다. 국내에서는 처음으로 수행되는 해체 사업인 만큼 당초 예상했던 것과 차이가 났으나, 범위를 크게 벗어나지는 않는 결과를 도출하였다. 이렇게 도출된 자료들은 연구로 2호기 원자로실의 해체 활동 및 폐기물의 관리 등에 유효하게 적용될 것이며, 또한 추후 다른 원자력시설의 해체 계획에 많은 도움이 될 것이다.

#### Abstract

The result of the decontamination and decommissioning activities of the 10 lead cells which for chemical process units of radioisotope production at KRR-2 (TRIGA Mark - III) was evaluated. The D & D activities was performed according to the decommissioning plan, radiation protection program and work plan procedures which was based on the method statements. Each 20 related entities, such as man-powers, working time, radiological data and radwaste volumes were raised for input and output the records and data. It was little got out of the estimated planning scope. These analysed records and data will be more useful for the next D & D activities on the KRR-2 reactor and more helpful for the another nuclear facilities decommissioning project in the D & D planning and engineering field.

## 1. 서 론

1997년부터 수행되고 있는 연구로 폐로사업은 2001년 8월부터 연구로 2호기 부속 시설에 대한 해체 공사를 시작하면서 활기를 띠기 시작하였다. 당초 계획에 의하면 연구로 2호기 원자로실을 먼저 해체하는 것으로 계획되었으나, 국내에서는 최초로 수행되는 제염·해체 활동임을 고려하고, 주요 시설의 해체보다는 부속시설을 먼저 해체하면서 경험과 기술 축적을 목적으로 계획을 변경하였다.

연구로 2호기 부속시설은 8개의 동위원소 생산 관련 실험실과 10기의 동위원소 생산용 납 핫셀과 2기의 콘크리트 핫셀로 구성되어 있다. 이러한 시설 및 장치에 대한 제염·해체 대상에는 작업자의 현장 접근용 복도와 발생하는 해체 폐기물의 반출을 위한 반출 검사시설도 포함된다. 납 핫셀 10기는 1972년 연구로 2호기 가동을 전 후로 방사성 동위원소 생산용 Process Unit을 넣기 위해 설치되어 개봉 선원인 Tc-99m, Mo-99, I-131, Au-198, P-32, K-42 그리고 Rb-86등을 생산하였다. 방사성 동위원소 생산 공정은 표적 준비, 표적의 중성자 조사, 화학처리, 품질관리, 포장 및 반출 공정으로 나누어지는데, 납 핫셀에서 수행되는 공정은 주로 화학처리 공정이다.

납 핫셀의 시설은 연구로 2호기의 운영 정지 및 하나로의 가동으로 동위원소 생산을 중단함과 더불어 안전 저장 형태로 유지되어 왔다. 납 핫셀은 중성자 선원을 취급하지 않았으므로 납 핫셀내 구조물 및 시설이 방사화 되지는 않았을 것으로 예상된다. 납 핫셀의 방사선/능 현황을 살펴보면 방사선/능 조사 당시는 단수명 동위원소 생산을 위해 납 핫셀을 사용 중에 있었으므로 높은 방사능 및 오염도를 나타냈었으나, 납 핫셀의 해체 공사 시에는 납 핫셀 사용이 중지된 지 오래되어 단수명 핵종 등의 붕괴로 인해 오염도는 현저히 떨어져 자연 방사선/능 수준이다.

납 핫셀의 해체는 외부 수도 및 가스 공급 배관, 뒷문 철거, 납유리 및 집게(Tongs)와 납벽돌 철거, 필터 housing 철거, 천장 및 형광등 철거 그리고 콘크리트 구조물 철거 순서로 수행하였다. 외부로 부터의 용수 및 가스 공급 배관은 1차로 제염한 후 철거하였다. 철거된 배관의 방사능은 대부분이 검출 하한치 이하로 나타났다. 납 핫셀 콘크리트 해체는 코아 드릴링 및 콘크리트 파쇄기를 이용하여 절단하고, 콘크리트 표면 제염은 Peening Preparation Tools를 이용하여 수행하였다.

본 논문을 통해 동위원소 생산에 사용된 납 핫셀 10기의 제염·해체 활동에 대해 여러 가지 항목별로 분석 및 평가를 수행한 결과를 제시하였다. 분석 항목으로는 계획된 예정 공정과 비교하여 실제 투입된 작업자수, 작업 시간, 작업자 피폭량, 해체 대상 시설에 대한 작업 전, 후의 오염도 검사 및 핵종 분석과 발생하는 방사성 및 규제해체 폐기물에 대해서 주로 분석, 평가되었다.

## 2. 본 론

### 2.1 시설 개요

동위원소생산시설은 2개의 생산실로 구분되는데 생산실 #133호에 3기의 납 핫셀이 있고, 생산실 #135호와 #137호에 7기의 납 핫셀이 설치되어 있다. 생산실 #135호와 #137호는 당초 각각의 생산실이었으나 나중에 하나의 생산실로 개조하였다.(그림 1) 각 핫셀의 크기는 900mm × 1,150mm × 2,100mm이고, 2단으로 설치되어 있어 하단에는 폐액을 수집할 수 있는 콘크리트 구조물 (높이 750mm, 두께 250mm)로 되어있고 그 위의 양옆에는 두께 250mm의 콘크리트 구조물 (높이 1,350mm), 전면은 납벽돌(두께 50mm), 그리고 뒷면은 출입문 역할을 하는 6mm 두께의 철판으로 가공된 2개의 차폐문이 설치되어 있으며, 천장은 3mm두께의 철판으로 되어 있다. 납 핫셀 전면 중앙 (높이 1,400mm)에는 납유리(500×500mm<sup>2</sup>) 1개가 설치되어 있고, 2개의 원격집게(Tongs)가 양손으로 다룰 수 있게 높이 1,000mm 위치에 설치되어 있다. 양 옆 벽면에는 전면으로부터 납 핫셀 내부로 호스 등을 넣을 수 있는 pipe 3개와 물 및 가스 관등이 매설되어 있으며 전선 및 전선코드가 설비되어 있다. 한쪽 벽면 상부에는 필터 하우스(100×250mm<sup>2</sup>)이 설치되어 있어 air filter를 장착하게 되어 있고 배기가스는 duct를 통하여 pre-filter 및 HEPA 필터를, 혹은 필요에 따라 charcoal filter를 거쳐 대기로 방출하게 되어 있다. 천장에는 형광등(40W×2)이 설치되어 내부 조명에 사용되었다.(그림 2) 모든 납 핫셀의 바닥에는 1mm 두께의 스테인레스 스틸 트레이가 설치되어 있고, 전면의 납벽돌 내부는 테이프로 붙인 후 에폭시 페인트로 마감되어 있다. 납 핫셀내의 바닥 배수 및 액체폐기물 수집은 납 핫셀의 하부 콘크리트 구조물 속에 배수라인이 설치되어 있어 수집통에 수집된다.

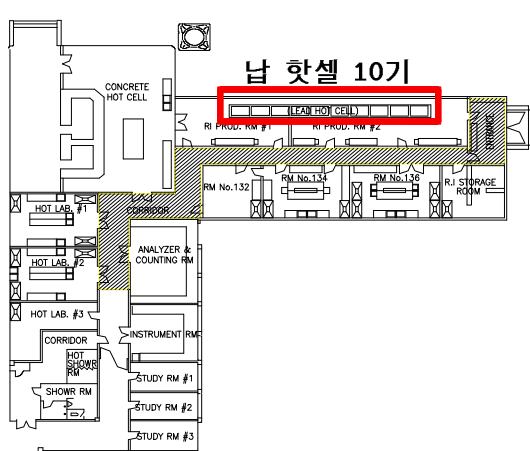


그림 1. 납 핫셀 위치도

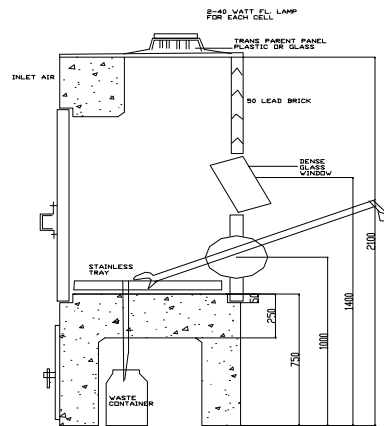


그림 2. 납 핫셀 구조도

## 2.2 방사선 측정

납 핫셀은 중성자 선원을 취급하지 않았으므로 납 핫셀 내 구조물 및 시설이 방사화 되지는 않았을 것으로 예상된다. 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 중지된지 오래되어 단수명 핵종 등의 붕괴로 인해 오염도는 현저하게 떨어진 것으로 나타났다. 납 핫셀의 번호는 생산실 # 133호에서부터 No.1로 설정하여 생산실 # 137호의 마지막 납 핫셀을 No.10으로 하였다. 제염·해체 활동 전에 유리성 및 고착성 오염도와 표면 선량율을 측정하였다. 납 핫셀이 설치되어 있는 방에 방사선 준위 측정에서 고착성 오염도는 Smear 시험법을 이용하였다.

오염이 비교적 높게 나타난 곳으로는 납 핫셀 No.5 에서 동위원소 생산을 위한 실험 초자류에서 유리성 오염도  $\beta$  : 0.45 Bq/cm<sup>2</sup> 그리고 바닥에서 유리성 오염도  $\beta$  : 2.6 Bq/cm<sup>2</sup>으로 나타났다. 표 1에 대표적으로 납 핫셀 No.5의 오염측정 결과를 표시하였다. 납 핫셀 No.7 에서도 실험 초자류에서 유리성 오염도  $\beta$  : 0.277 Bq/cm<sup>2</sup>, 그리고 안쪽 우측 벽에 유리성 오염도  $\beta$  : 0.688 Bq/cm<sup>2</sup>으로 측정되었다. 납 핫셀 No.8 에 있던 집게에서  $\beta$  : 1 Bq/cm<sup>2</sup> 그리고 No.9의 좌측 벽에서  $\beta$  : 2.24 Bq/cm<sup>2</sup>등으로 비교적 높은 오염도를 나타내었다. 대부분의 납 핫셀 여러 부위도 수백에서 수천의 유리성 오염도를 나타내는 것으로 측정되었다.

생산실. # 133호와 # 135호, # 137호에 설치되어 있는 핫싱크에서 고착성 오염도가 500 cpm, 표면선량 56 $\mu$ R/hr로 측정되었고 폐기물 수집통에서 고착성 오염도 1,000 cpm, 표면선량 139 $\mu$ R/hr로, 납용기에서 유리성 오염도 2.34 Bq/cm<sup>2</sup>, 고착성 오염도 250 cpm정도 측정되었다. 오염된 폐기물로는 비이커류(20,000 cpm), 납유리( $\beta$  : 0.392 Bq/cm<sup>2</sup>), 납용기( $\beta$  : 2.34 Bq/cm<sup>2</sup>), 납판( $\beta$  : 3.12 Bq/cm<sup>2</sup>, 고착성 오염도 : 1,800 cpm)등 이다.

표 1 No. 5 납 핫셀의 오염 분포(단위 Bq/cm<sup>2</sup>)

측 정 위 치	유리성 오염도 $\beta$	측 정 위 치	유리성 오염도 $\beta$
내부 좌측벽	0.156	내부 집게 2	0
내부 정면벽	0.021	내부 가위	0
내부 우측벽	0.956	내부 유리병	0.061
내부 실험기구	0.454	내부 유리 2	0
내부 유리 1	0.017	내부 door 1	0
내부 비이커	0.019	내부 door 2	0
내부 집게 1	0.016	내부 바닥	2.6

## 2.3 제염·해체 활동

납 핫셀의 해체는 외부 수도 및 가스 공급 배관, 뒷문 철거, 납유리 및 집게(Tongs)와 납벽돌 철거, 필터 housing 철거, 천장 및 형광등 철거 그리고 셀 콘크리트 철거 순서로 수행하였다. 외부 수도 및 가스 공급 배관은 1차로 제염한 후 철거하였다. 철거된 배관의 오염도는 대부분이 검출 하한치 이하였으나 일부 0.01~0.096 Bq/cm<sup>2</sup> 정도의 유리성 오염이 측정되었으나 2차 제염 후 완전 제거되었다. 납 핫셀 내부에 일부 동위원소 생산 및 분배용 실험 초자가 남아 있었고 내부 바닥에 스테인레스 판이 설치되어 있었다. 오염된 폐기물류는 납유리( $\beta$  : 0.932 Bq/cm<sup>2</sup>), 유리( $\beta$  : 0.522 Bq/cm<sup>2</sup>), 집게( $\beta$  : 0.482 Bq/cm<sup>2</sup>) 그리고 스테인레스 판 ( $\beta$  : 0.01~1.21 Bq/cm<sup>2</sup>) 등 이었으며, 이들은 정리 후 실험실 # 132호에 보관하고 있다.

납벽돌은 V자 홈의 암수가 있어 밑에서부터 쌓아 올린 형태이다. 그리고 중앙에 납유리와 하단에 원격집계가 조인트로 접합되어 있었다. 따라서 원격집계의 조인트를 풀어 해체한 후 납벽돌을 한 개씩 분해하였다.

납 핫셀 뒷문의 해체는 무게가 약 340 kg 정도로 무겁고 작업공간이 작기 때문에 Scissor Lift를 이용하였다. 우선 철거 대상 문짝을 반정도 연 다음 Scissor Lift를 문짝 밑으로 이동시켜 상판을 문짝에 접하도록 올린다. 문틀에 고정된 나사를 제거하여 문짝을 Lift 고정대에 고정시킨다. Lift를 반출구에 있는 인양 보조 기기로 옮긴 다음 무게를 측정하고 반출 절차를 밟아 반출시킨다. 문짝은 총 20개로 오염도는 검출 하한치 이하였다.

납유리와 Tongs의 철거는 외부 볼트를 푼 다음 내부에서 해머로 두드려 분리하였다. 납유리와 Tongs를 철거한 다음 납벽돌을 한 개씩 해체하는 방법으로 납 핫셀의 앞부분을 모두 해체하였다. Tongs 조인트에 일부 오염( $\beta$  : 0.009~0.1 Bq/cm<sup>2</sup>)되어 있어 실험실 # 132호에 보관중이며 납벽돌은 모두 오염되지 않았다.

납 핫셀에는 각각 Filter Housing이 설치되어 있는데 해체하여 오염도를 검사한 결과 유리성 오염도가  $\beta$  : 0.019~2.02 Bq/cm<sup>2</sup> 정도로 검출되어 실험실 # 132호에 보관중이다.

납 핫셀 콘크리트 해체는 최대한 크고, 다루기 적당한 조각으로 절단하여 해체하였다. Fig. 3.에 나타낸 바와 같이 우선 코아 천공기를 이용하여 Lifting hole을 뚫는다. 콘크리트 절단시 바닥으로 떨어지는 것을 방지하고 작업자의 사고를 방지하기 위하여, 이 구멍에 줄을 달아 이동형 기증기에 고정시킨다. 콘크리트 파쇄 부위를 코아 천공기로 뚫은 후 나머지 부위를 파쇄기로 부순다. 이동형 기증기에 매달린 절단된 콘크리트는 천천히 바닥에 놓여진다. 한 개의 납 핫셀은 4 ~ 6 개의 조각으로 분리

된다. 분리된 콘크리트는 Peening Preparation tools로 표면을 깎아 내어 제염한다. 이때 나오는 분진은 집진기로 모두 수거한다. 대부분의 콘크리트 표면에서 방사성 농도가 Co-60이나 Cs-137이 약  $10^{-2}$  Bq/g 정도 검출되었으나 Peening Preparation tools로 제염한 결과 MCA 분석기로 검출하지 못하였다.

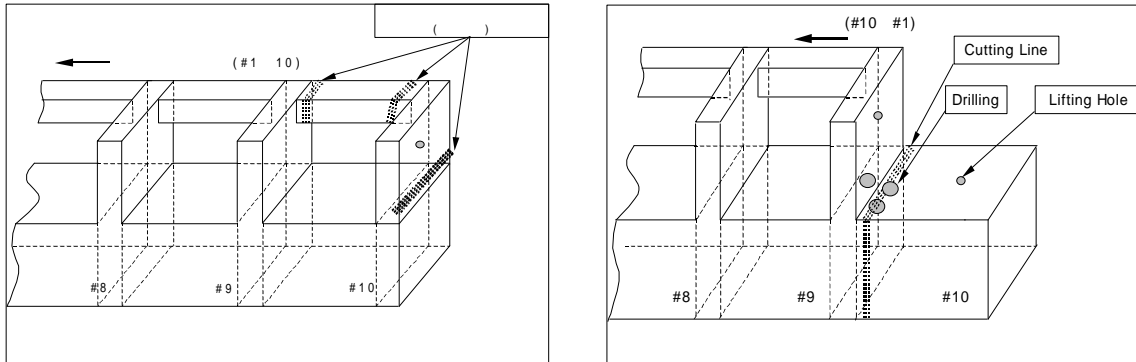


그림 3. 콘크리트 해체 순서



그림 4. 납 핫셀 해체 전·중

## 2.4 제염·해체 활동 평가

### 2.4.1 평가 항목 도출

납 핫셀 10기의 제염·해체 활동에 대한 결과를 분석, 비교, 평가하기 위해 대상 항목을 선정하였다. 이는 크게 방사선학적자료와 작업에 투입된 작업자 및 작업 시간 그리고 발생된 폐기물에 대해 분류를 하였다. 분류된 항목별로 현장에서 생성되는 모든 방사선안전관리, 출입관리, 작업허가서, 작업일보 및 폐기물 관리 기록 등에서 자료 및 Data를 추출하여 계획 단계와 비교하여 평가하였다. 이러한 기록이나 자료들은 현재 구축 중인 해체 Database가 완성되면 보다 쉽게 도출하고 많은 시간을 절약할 수 있다. 다음 표 2에 평가를 위한 입·출력 항목을 나타내었다

표 2 입력 및 도출, 평가 항목

입력 항목	도출 및 평가 항목
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일별 작업자 투입 시간</li> <li>- 기간별(월, 분기별) 작업자 투입시간</li> <li>- 하부 단위 공정별 작업자 투입 시간</li> <li>- 계획 예상 작업자 투입 시간</li> <li>- 계획 소요 예측 비용(인건비)</li> <li>- 실제 투입 비용(인건비)</li> <li>- 단위 공정별 예측 비용</li> <li>- 단위 공정별 실 투입 비용</li> <li>- 작업종사자 교육 시간</li> <li>- Lessons learned</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기간별(월별, 분기별) 작업자 투입 시간</li> <li>- 하부 단위 공정별 작업자 투입 시간</li> <li>- 계획 대비 실 작업자 투입 시간</li> <li>- 계획 대비 실 소요 비용(인건비)</li> <li>- 단위 공정별 실 투입 비용</li> <li>- 총 공사비 대비 공정별 소요 비용</li> <li>- 분기별 기성 대가 지급액</li> <li>- 공정 지연 원인 분석</li> <li>- 지연 공정 만회 및 수정 계획 수립</li> <li>- Lessons learned</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 예상 발생 폐기물량 : <math>M^3</math></li> <li>- 실 발생 폐기물량 : Kg</li> <li>- 발생 폐기물 준위</li> <li>- 발생 폐기물 특성</li> <li>- 액체폐기물 자연증발 처리량 (일별, 주간별, 월별)</li> <li>- 폐기물 반출, 운반, 저장 이력</li> <li>- 작업자 예상 피폭량(개인, 집단)</li> <li>- 실 작업자 피폭량(개인, 집단)</li> <li>- 작업전 해체 대상물 표면오염도 (유리성, 고착성)</li> <li>- 작업후 오염 검사</li> <li>- 발생 폐기물 핵종검사 (재료:콘크리트)</li> <li>- 작업장 주간 선량률 측정</li> <li>- Air filter 교체후 오염검사</li> <li>- 절단작업 시 사용된 냉각수 핵종분석</li> <li>- 연구로 1,2호기 원자로실 월간 선량률 및 표면오염도 측정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 예상 대비 실 발생 폐기물량 : Kg</li> <li>- 발생 폐기물 준위별 구분</li> <li>- 발생 폐기물 특성별 구분</li> <li>- 액체폐기물 자연증발 처리량</li> <li>- 폐기물 반출, 운반, 저장 이력</li> <li>- 예상대비 실 작업자 피폭량(개인, 집단)</li> <li>- 기간별(작업전, 후) 작업장 선량률 및 공기 오염도</li> <li>- 작업전 대비 작업 후 해체 대상물 표면오염도(유리성, 고착성)</li> <li>- 발생 폐기물 핵종 분석 (재료:콘크리트)</li> <li>- 핵종별 비방사능 및 총방사능량</li> <li>- 작업장 주간 선량률</li> <li>- Air filter 교체후 오염검사</li> <li>- 절단작업 시 사용된 냉각수 핵종분석</li> <li>- 연구로 1,2호기 원자로실 월간 선량률 및 표면오염도 측정</li> <li>- 액체폐기물 및 원자로 수조수 수중 오염도 측정</li> </ul>

## 2.4.2 폐기물 평가

방사선학적 항목으로는 작업전·후의 오염도 검사 및 대표 핵종인 Co-60의 분석, 작업장의 공간방사선량을 선정하였고 이에 따른 작업자의 예상 피폭량과 실 피폭량을 선정하였다. 작업 전 오염도 검사 및 Co-60의 핵종 검사를 실시한 해체 대상물들은 제염·해체 활동 후에는 폐기물로 전환되어 당초의 검사 이력과 비교 평가되었다. 앞에서 서술한 바와 같이 가장 높게 측정되었던 5번 납 핫셀의 콘크리트 구조물에서의 유리성 오염도  $\beta$  : 2.6 Bq/cm<sup>2</sup> 과 Co-60의 분석값인 0.266 Bq/g은 여러 차례의 제염 활동을 거쳐서 오염 물질을 제거하여 전혀 오염도 및 핵종이 검출되지 않았다. 제염 활동을 통하여 제거된 오염 물질은 별도의 마대에 보관 중이며 이는 방사성폐기물로 분류되어 반출 검사를 실시 한 후 폐기물 용기에 저장되어 보관 후 처분장으로 이송 될 것이다. 납 핫셀 10기에 대한 제염·해체 활동 후의 잔여 시설에 대한 오염도 및 공간 방사선량을 측정 한 결과 전혀 검출되지 않았다.

제염·해체 활동을 거쳐 발생된 폐기물은 납 핫셀 내부에 장착되었던 일부 장치류와 납 핫셀의 구조를 이루었던 콘크리트류가 대부분이다. 이 중 콘크리트의 해체에서 발생된 총 량은 24.014 Ton으로 당초 계획 단계에서 예측하였던 8.5 m<sup>3</sup>를 비중 2.6 ~ 2.7 Ton/m<sup>3</sup> 로 환산하였을 때의 값 22.525 Ton 보다 다소 차이는 있었다. 이 중 제염을 거쳐서 당초 해체 계획서에 제시되었던 0.4 Bq/g을 기준으로 분류하였을 때 1% 미만인 0.189 Ton 만이 방사성폐기물로 분류가 되고, 나머지 23.825 Ton은 규제해체 폐기물로 분류가 된다. 방사성 폐기물로 분류된 콘크리트 잔여물은 대부분이 작게 파쇄된 조각들과 제염 시 포집되었던 가루형태 이다. 총 87개로 분류 포장된 콘크리트 폐기물 마대는 각각 25 Kg에서 40 Kg의 중량을 가지고 있으며 각각의 마대에서 샘플을 통해 핵종 분석을 한 결과 Co-60, Cs-137 및 Cs-134가 검출이 되었으며, 이 중 최고값은 마대 28번에서 Co-60 핵종으로서 1.748 Bq/g 으로 나타났다. 이러한 평가 결과로 볼 때 당초에 예상하였던 폐기물 저장 용기의 제작 계획이 변경되어 현재 보유하고 있는 50개의 용기만으로도 폐기물을 충분히 저장할 수 있다는 결론에 도달하였다. 그러나 이 검출된 핵종이 포함된 마대가 몇 번의 납 핫셀에서 발생되었는지는 자세하게 추적이 곤란한 것이 큰 아쉬움으로 남게 되었다. 이는 납 핫셀의 제염·해체 활동이 세부적으로 구분될 수가 없는 작업 조건에서 기인된 것으로 추후 2 단계 해체 공사인 연구로 2호기 원자로실의 제염·해체 활동에서는 보다 세분화된 작업의 분류 체계 수립이 요구되는 것이 절실하다는 것을 확인하였다. 다음 그림은 납 핫셀 해체 콘크리트 방사성 폐기물을 포장한 87개의 마대에서 검출된 핵종의 비방사능 분포를 보여주고 있다.



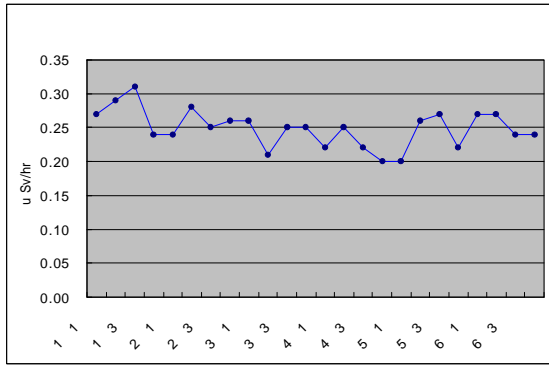


그림 5 납 핫셀 주변 주간 방사선량율

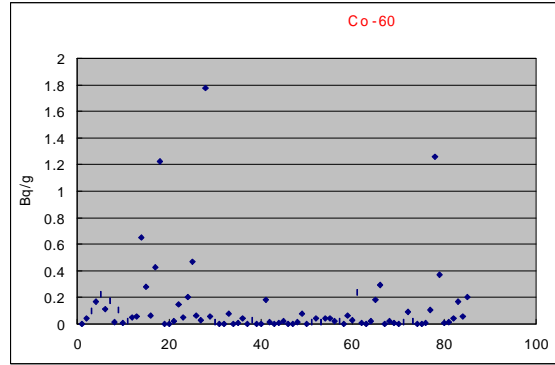


그림 6 해체콘크리트 Co-60의 비방사능

### 2.4.3 작업 활동 평가

납 핫셀 10기의 제염·해체 작업은 2001년 10월부터 시작하여 2002년 5월까지 수행되었다. 이 작업에는 방사선안전관리 요원 4명(직원1명, 위탁3명)과 작업요원 7명(직원 2명, 위탁 5명)이 고정적으로 투입되었다. 작업 시간은 방사선안전교육과 산업 안전 교육 등을 포함하여 1일 8시간으로, 주 5일, 월 25일 기준으로 투입되었다. 당초 계획 단계에서의 납 핫셀 제염·해체 활동에 총 474 M/D가 소요되는 것으로 예측하였으나, 실제 투입된 것은 669 M/D로 다소 많이 투입된 것으로 나타났다.(그림 7) 이 중 실제로 납 핫셀의 제염·해체 활동에는 527 M/D 가 소요되었고, 142 M/D는 주 작업을 위한 보조 작업에 투입 된 것으로 나타났다. 앞으로 연구로 2호기의 제염·해체 활동을 위해서도 이러한 보조 작업으로의 투입에 대한 적정성이 재평가되어야 함을 확인 할 수 있었다. 다음 그림 8에서 나타나듯이 하부 단위 공정별 인력 투입에서는 당초에 예상하였던 장치류의 해체 작업이 손쉽게 이루어 졌음을 알 수 있는데 이는 장치류의 분해·해체 범위가 다소 다르기 때문이었다. 방사선 관리에 있어서는 당초 계획이 미비하였던 것과 다소 많은 인력이 투입된 것으로 평가되었다. 납 핫셀의 주된 구조물인 콘크리트의 제염·해체에서도 계획보다 많이 투입 된 것은 2번 핫셀에서 예상치 않았던 오염이 발견되어 이를 제염하는데 많은 시간이 소요되었다. 이러한 원인은 시설의 운영 기간동안에 액체 폐기물의 누수로 인해 표면이 많이 오염되었을 것으로 예측되며 여기에 따른 기록의 미비로 더욱 어려움이 많았다. 또한 2002년 1월과 2월에 일시적으로 작업이 중단되어 다른 공정으로 작업자들이 투입이 되었는데 이는 발생 폐기물을 구분하는 과정에서 규제해체 폐기물로 증명할 수 있는 채취 시료의 대표성 인정 및 핵종 분석에 대한 방법과 절차에 대한 기준이 아직 국내에는 설정되어 있지 않기 때문이며 현재 이에 대해 연구 개발을 수행 중에 있다. 작

업 종사자의 피폭량은 없는 것으로 평가되었으며 중간에 작업종사자가 2명이 교체 투입된 것 외에는 커다란 변동 사항은 없었다.

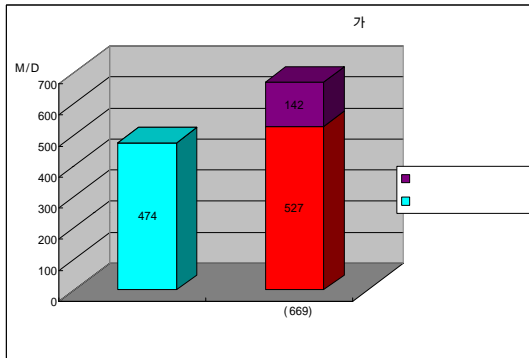


그림 7 해체 작업 투입인력 평가

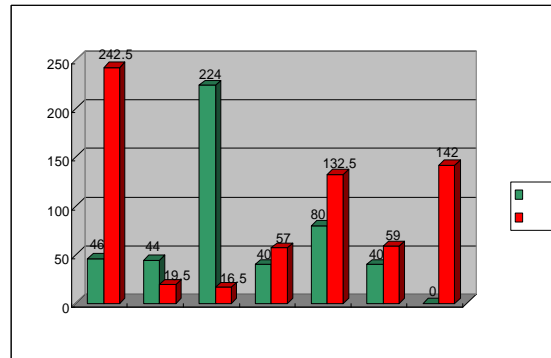


그림 8 하부 단위 공정별 투입인력

### 3. 결론

연구로 2호기 부속시설에 있는 동위원소 생산용 납 핫셀 10기의 제염·해체 활동은 대체적으로 오염 준위가 낮아 작업자 개인에 대한 방사선 안전관리보다 산업안전이 더 중요시되는 작업이었다. 이는 당초 오염이 많이 되었을 것이라고 예측했던 장치제거 공정 등이 방사선 측정에 따른 1차 제염 활동의 결과이며, 납 핫셀의 구조물 자체가 콘크리트 중량물로 취급되어 이에 대한 안전 조치가 중요시되었기 때문이다. 납 핫셀의 해체 시 작업자의 예상 피폭선량인 2,304 man-mSv는 전혀 검출되지 않았다. 작업자의 투입량 및 작업활동에 당초 보다 많이 소요된 점으로 미루어 공정 관리에 대한 세밀한 분석이 요구되었으며 이를 근거로 후속 작업인 연구로 2호기 원자로실의 해체 공정에 수정이 필요하게 되었다.

발생된 해체 콘크리트 폐기물도 당초 예상했던 것보다 오염의 정도가 크게 낮게 평가되어 대부분이 규제해제 폐기물로 분류가 되었으나 이를 증명할 수 있는 핵종별 법적 농도 기준과 시료의 대표성 인증 및 그 절차와 방법이 아직 결정되지 않아 방사선 관리 구역으로부터 반출을 하지 못하고 있는 실정이다. 이에 대해 연구 개발을 통해 조만간 규제기관의 승인을 득하여 규제해제 폐기물로 분류하여 반출할 예정이다.

이러한 제염·해체 활동의 결과에 대한 평가는 작업자의 예상 투입, 작업 비용 평가, 발생 폐기물의 예측량 산정 등 여러 가지로 후속 공정에의 반영은 물론 앞으로 다른 원자력 시설의 해체 계획 및 Engineering 업무에 크게 기여할 것으로 기대된다.

## 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”, 제24권 제2호, 대한방사선학회지, 1999
- [3] 정기정 외, 연구용 원자로 폐로사업, KAERI/RR-2182/2001, 한국원자력연구소, 2001
- [4] 이봉재 외, 연구로 1,2호기 폐로를 위한 방사선관리지침, 한국원자력연구소, 2000
- [5] 정기정 외, 연구로 1호기 및 2호기 폐로사업 해체계획서, KAERI/TR-1654/2000, 한국원자력연구소, 2000
- [8] K.J.Jung, "Radioactive waste management plan during the TRIGA Mark-II and Mark-III decommissioning" International Symposium on Technologies for the Management of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants and Back End Nuclear Fuel Cycle Activities, Taejon (1999. 1), IAEA,
- [9] IAEA, DECOMMISSIONING TECHNIQUES FOR RESEARCH REACTORS, Technical Reports Series No. 373, IAEA, Vienna (1994)
- [10] M.W. McMoy, R.P. Allen, H.W.Arrowsmith, SURFACE DECONTAMINATION OF SOLID WASTE, U.S. Department of Energy under Contract de-ac06-76RLO, (1830)
- [11] UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY RESEARCH REACTOR DECOMMISSIONING PROJECT, IAEA, Biscrafi Northeast, Inc. (1990)