

연구로 2호기 부속시설(동위원소 생산시설 및 실험실)  
해체공사 결과 평가

Work evaluation for decommissioning of KRR-2 accessories  
facilities (radioisotope production facilities and laboratories)

정운수, 박진호, 백삼태, 정경환, 박승국, 이봉재, 양성홍  
한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

연구로 1&2 호기 해체계획서가 정부로부터 승인을 받게됨에 따라 2001년 6월부터 실질적인 연구로시설 해체공사를 착수하게 되었다. 당초 계획으로는 연구로 2호기 원자로실부터 해체하는 것으로 하였으나, 국내에서는 처음 수행하는 원자력시설 해체작업으로 경험 확보를 위해 부속시설인 동위원소생산시설과 주변의 실험실을 먼저 해체하였다. 약 1년 6개월에 걸쳐 일부 지역을 제외하고는 2002년 12월 말로 작업을 성공적으로 완료하였으며, 2003년도부터는 연구로 2호기 원자로실 해체를 약 2년간에 걸쳐 수행하게 된다. 그동안 수행한 해체공사 작업 결과, 작업자 피폭선량은 법적 기준에 비해 극히 미미하였으며, 그동안 발생한 폐기물은 약 67톤이나 대부분 비방사성폐기물 수준이다.

Abstract

The practical decommissioning work was started from June 2001 in accordance with the approval of licensing documents for KRR-1&2 decommissioning project from government. In the first plan, reactor room of the KRR-2 was planned to decommission at first, but in order to acquire experience for decommissioning of nuclear facilities radioisotopes production facilities and laboratories was dismantled first of all. The decommissioning of KRR-2 accessories facilities was almost finished except some area in Dec. 2002, from 2003 reactor room of KRR-2 will be decommissioning for about 2 years. During the accomplished decommissioning work, exposure dose for work was very low compared with regulatory level, and total wastes produced by decommissioning was about 67 ton, which was almost non-radioactive waste.

## 1. 서 론

2000년 11월부터 과학기술부로부터 연구로 1&2호기 해체계획서가 승인됨에 따라 동년 12월에 해체공사에 필요한 인력지원업체를 공개입찰 방식으로 두산중공업(당시에는 한국중공업)을 선정하였다. 2001년부터는 본격적인 해체작업 착수를 위해 준비작업으로서 작업절차서 작성, 작업자 및 방사선안전요원 확보 및 방사선작업에 필요한 방사선안전교육 실시, 내부피폭 평가, 공사장비 확보, 방사선관리구역 출입절차 확립 등을 준비하여 6월부터는 연구로2호기 원자로 건물내의 비방사선구역에서부터 각종 기자재를 철거하였다. 동년 8월부터 방사선구역의 해체작업을 착수하였는데 당초 계획은 연구로 2호기 원자로실 내부의 원자로를 비롯한 모든 설비들을 우선 철거한 후 방사성폐기물 임시저장고로 전환하려고 하였으나, 원자력시설 해체 경험이 없는 작업자들로 구성됨에 따라 경험확보 및 작업절차 숙지를 위하여 연구로2호기 부속시설인 동위원소 생산실과 실험실부터 먼저 해체하기로 결정하고 작업에 임하게 되었다. 2002년 12월말까지 부속시설에 대한 해체과정에서 예상하지 못한 일들이 발생하기도 하였으나 큰 사고 없이 무사히 마치게 되었다.

연구로 2호기 부속시설에는 2개의 중형 콘크리트 핫셀, 10개의 납 핫셀과 12개의 실험실이 있다. 12개의 실험실들 중 오염이 되지 않은 4개의 방은 작업자 탈의실, 갱의실, 방사선 방호장구 저장실로 사용하였다. 2개의 콘크리트 핫셀은 내부에 보관하여 왔던 장반감기 동위원소인 Ir-192와 Co-60, 동위원소 시료를 원자로에 조사하기 위한 조사대 그리고 시별이 불가능한 재료 시편들이 있었는데 모두 제거하였으며 핫셀 구조물과 핫셀에 설치되어 있는 원격조작기, 차폐창, 내부 조명설비, 기타 유틸리티들은 연구로 해체 시 발생될 수 있는 각종 실험을 예상하여 추후 철거하기로 하였다. 10개의 납핫셀들은 모두 철거하고, 그 방은 오염금속을 제염하기 위하여 각종 제염장치들을 설치하였는데 대표적으로는 화학제염장치, 초음파 제염장치, 증기분사 제염장치, 금속절단 부츠 등이다. 이 설비는 앞으로도 해체과정에서 발생하는 오염금속폐기물 제염작업에 활용하게 되며, 모든 시설의 해체가 완료된 후 가장 마지막으로 해체하게 될 것이다.

오염된 8개의 실험실은 내부기자재인 흡후드, 실험대, 싱크대, 배기덕트 등을 제거하였으며, 바닥과 벽체는 제염제로 제염하였다. 이들 시설로부터 제거된 비품을 비롯한 모든 기자재들은 대부분 오염정도가 미미하여 대부분 비방사성폐기물로 처리가 가능한 정도로서 일단은 방사선구역으로부터 반출된 물품이므로 충분한 시료를 채취하여 방사능 분석을 수행한 후 물성별로 별도의 창고에 보관하고 있다. 이 폐기물들은 비방사성폐기물로 처리하기 위하여 핵종별 비방사능 측정된 결과를 활용하여 저리·처분에 따른 주민 피폭 선량을 평가한 후 일반 산업폐기물로 처리 할 계획으로 있다. 그리고 부속시설 건물 지하 공동구에 설치되어 있는 각 실험실로부터 배출되는 액체 방사성폐기물 이송배관들도 모두 철거하였다.

연구로 2호기 부속시설 해체공사는 제염을 위해 오염폐기물을 임시로 보관하고 있는 실험실 방 132호실과 지하 공동구 임시출입구로 바닥에 구멍을 뚫은 134호실, 제염실로 전환하여 제염장치들을 설치한 방 133, 135 및 137호실, 콘크리트 핫셀 만을 제외하고는 모두 해체를 마쳤다고 할 수 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 현장인력

주 계약자인 두산중공업은 원자력 기기 제작 전문업체로서 본 연구로시설 해체공사 작업에 필요한 인력은 협력업체로부터 지원 받게되었다. 엔지니어링 업무 지원은 한국전력기술(주), 방사선안전관리는 한일원자력엔지니어링(주), 작업인력은 일진정공(주)에서 인력을 지원하고 있으며, 주 계약자인 두산중공업에서는 현장소장으로 1명을 지원하고 있다.

그리고 한국원자력연구소 인력으로는 서울사무소장, 시설운영에 필요한 인력으로 과거 연구로 1&2호기 운영자로 연구소에서 퇴직한 위촉연구원 3명이 현장작업장에 투입되어 있다. 표-1은 현장인력 현황을 보여주고 있다.

표 1. 현장인력 현황

구 분	소 속	인원(명)	주요 업무
연구소	직원	2	방사성폐기물관리, 원자로 운영관리
	위촉연구원	2	방사선안전관리, 방사성폐기물 자료관리
	용역경비원	4	연구로 시설 안전관리
	용역관리인	2	시설관리 및 유지 보수
인력지원 업체	두산중공업	1	해체공사 인력지원 총괄
	한일원자력	3	해체공사 방사선안전관리
	일진정공	5	제염해체 작업
	한국전력기술	2	품질관리, 폐기물 관리
합 계		21	

본 해체공사 작업인력 투입계획은 각 공정별로 해체설계 시 예측하여 산출하였으나, 실제로 투입하는 인력은 고정되어 작업별 투입인력을 정확히 평가하는 것은 불가능하게 되었다.

그러나 연구로 해체계획 인허가 취득 시 지시사항인 해체공사와 병행하여 관련기술개발 확보를 위해서는 해체공사 기간을 충분히 연장하여야 필요성이 있어 현장 투입 인력을 최소화하여 장기간에 걸쳐 공사를 수행하는 것으로 계획을 변경하고 정부에 인허가 변경을 신청하였다. 현재의 인력으로 연구로 2호기 원자로실을 비롯하여 연구로 1호기 시

설 및 주변시설들을 2008년도까지 해체하게 될 것이다. 그러나 원자로 수조의 생물학적 차폐 콘크리트 해체작업에는 특수장비(유압절단기, Hydraulic burster)가 사용됨으로 장비를 취급할 수 있는 특별 인부가 투입될 것이다.

## 2.2 실험실 제염·해체

연구로 2호기 부속시설은 동위원소 생산을 위한 시설로서 중형의 콘크리트 핫셀 2기가 설치된 방과 납핫셀 10기가 있는 방 133호, 135호와 137호가 있으며, 실험실로 총칭한 12개의 방은 연구실(122호, 123호, 124호), Hot Lab(126호, 128호, 130호), Instrument room(128호), 품질보증실(129호), 칭량실(132호) 그리고 준비실(134호, 136호)로 구성되어 있다. 이 외에 동위원소 폐기물 저장소인 138호 방과 물품 반입 및 반출을 위한 입출구 공간, 복도가 있으며 각각의 방으로부터의 환기와 흡 후드의 배기를 위한 덕트 시설들이 있다. 그리고 각 방의 실험테이블과 핫 싱크부터 건물 외부 지하에 매설되어 있는 액체 폐기물 저장탱크로 이송되는 배관들이 지하 공동구를 통해 연결되어 있다. 이들 실험실에는 원자로 2호기 노심으로부터 조사시료를 공기압으로 이송시키는 공압이송관(Pneumatic Transfer Tube)이 내재한 흡 후드를 포함하여 모두 15대의 흡 후드 및 실험테이블과 중준위 및 저준위 액체폐기물 배수용 핫 싱크가 설치되어 있다. 이들 실험실에는 각종 시험도구를 포함한 오염된 잡기자재가 산재해 있었으나 해체공사 착수 전에 사용자가 대부분 제거하였으며 오염이 되지 않은 실험실 4개는 해체대상에서 제외하였다. 실험실 해체작업 착수 전에 준비작업으로서 126호실 옆에 있는 일반샤워시설을 오염작업자 제염샤워시설로 개조하여 해체작업자들의 오염 시 제염할 수 있도록 개조하였으며, 실험실 구역으로의 출입을 통제하는 통제구역을 설정하여 이곳에서 신발교체 및 작업 후 퇴실 시 작업자의 오염도 검사를 수행할 수 있도록 하였다. 또한 비오염 구역으로 판정한 3개의 방은 작업종사자나 수시 방문자의 방호복 교체를 위한 탈의실과 갱의실로 개조하였고, 해체 활동에 소요되는 방사선 방호장구들을 보관하는 장소로 선정하였다. 표-2는 방별로 해체 대상물들의 규격 및 제염 대상물의 특성과 규격 등을 보여 주고 있다.

실험실 제염·해체 활동에서 발생하는 방사성 및 일반 폐기물의 반출을 위한 접속역으로 샷터 출입문 앞쪽 입구 지역을 선정하여 방사선구역으로부터 반출되는 모든 폐기물에 대한 최종검사를 실시할 수 있도록 하였다. 해체 활동 전에 모든 해체 대상물 표면 및 바닥, 천정과 벽에 대해 오염 검사를 수행하였다. 각각 실험실에 있는 해체 대상물은 크게 흡 후드, 실험용테이블, 핫싱크 등이었으며 이들은 대부분 목재로 구성되어 있으나 싱크 및 일부 흡 후드는 철재로 구성되어 있으며 이들의 해체는 대부분 가벼운 연장 등을 이용한 수작업으로 해체가 가능하였다. 수작업으로 해체활동에 사용된 장비들은 대·중·소형의 햄머, 진공청소기, Pipe Wrench, 전기드릴, Adjustable Angle Wrench, Hand Saw (나무톱, 쇠톱), 그리고 드라이버 등 일상 생활에서 사용되는 공구 및 장비들을 사용하였다. 또한 해체된 폐기물을 운반하기 위한 손수레도 제작하여 사용하였으며, 해체대상물들이 전부 해체·철거된 이후에는 바닥표면의 오염을 제거하기 위하여 Grinder, 소형 평삭

표 2. 연구로 2호기 부속시설 실험실 및 해체 대상물 규격 및 마감재

1		1	~20 m <sup>2</sup> x 2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : : +	
2	Study room#3 (No. 122)	1	5x2.5x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : : +	
3	Study room#2 (No. 123)	1	5x2.5x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : : +	
4	Study room#1 (No. 124)	1	5x2.5x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : : +	
5	Instrument room (No. 127)	1	5x5x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : : +	
6	Hot lab. #3 ( Room No. 126)	1	~18 m <sup>2</sup> , 2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : : +	
7	Hot lab. #2 ( Room No. 128)	1	7.0x5.0x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : : +	
	a) Fume hood	3	1.8x2.7x0.9(D) m	S.S/C.S/Wood	: 1mm(t) S.S.liner
	b) Hot Sink	4	0.7x0.45 m	S.steel	1mm(t)
	c) Table		3.7x1.25 m	S.Steel Lining	
8	Analyzer & counting room(No. 129)	1	5.0x7.5x2.7(h) m (4.0 h)		
9	Hot lab. #1 ( Room No. 130)	1	7.0x5.0x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : : +	
	a) Fume hood	2	1.8x2.7x0.9(D) m	S.S/C.S/Wood	: 1mm(t) S.S.liner
	b) Hot Sink	2	0.7x0.45 m	S.steel	1mm(t)
	c) Table		3.7x1.25 m	S.Steel Lining	
10	( Room No. 132)		5.0x5.0x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : : Conc.+ : : +	
	a) Fume hood	1	1.8x2.7x0.9(D) m	S.S/C.S/Wood	: 1mm(t) S.S.liner
11	1 & 2( 1) (Room No. 133, 135 & 137)		9.0x5.0x2.7(h) m 14.0x5.0x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : : Conc.+ : : +	
	a)	10	1.25x2.1x1.9(D)	: S.S/P Tray, Rear: 1x1.1m steel door 6mm (t) Plate(x2) : Lead block + Taping : 3mm Steel Plate	Epoxy
	b) Hot Sink	6	0.7x0.45 m	S.steel	1mm(t)
	c) Table				

12	1 ( Room No. 134)	1	7.0x5.0x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : Conc.+ : +	
	a) Fume hood	2	1.8x2.7x0.9(D) m	S.S/C.S/Wood	: 1mm(t) S.S liner
	b) Sink	2	1.1x0.5 m	S.steel	1mm(t)
		2	0.5x0.4 m		
	c) Table	1	3.05x1.5 m	S.Steel Liner	
13	2 ( Room No. 136)		7.0x5.0x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : Conc.+ : +	
	a) Fume hood	3	1.8x2.7x0.9(D) m	S.S/C.S/Wood	: 1mm(t) S.S liner
	b) Sink	2	1.1x0.5 m	S.steel	1mm(t)
		2	0.5x0.4 m		
	c) Table	1	3.05x1.5 m	S.Steel Liner	
	R.I (Room No. 138)	1	5.0x5.0x2.7(h) m (4.0 h)	: Conc.+ + : Conc.+ : +	
14	a) Fume hood	1	1.8x2.7x0.9(D) m	S.S/C.S/Wood	: 1mm(t) S.S liner
15	R.I	1	3.0x6.0x4.0(h) m	: Conc.+ + , : Conc.+	
16	R.I (Barrier )		: 2.35 m : 36 m	: Conc.+ + : Conc.+ : +	

기, 이동식 평삭기, 치즐 등 전력이나 압축공기를 이용하는 중·소형 장비들이 투입되었고, 제염활동에서 발생하는 다량의 먼지를 포집하기 위한 대용량의 먼지 집진기가 사용되었다. 또한 이러한 해체활동에 투입되는 작업자들의 방호복에 부착된 먼지 등 미세한 방사성오염물질을 제거하기 위한 이동식 air shower기도 구입·설치하였다. 해체 활동을 통해 절단 및 해체된 대상물들은 검사를 통해 폐기물의 분류기준에 따라 분리되어 Bulk 또는 마대형태로 포장하여 비방사성폐기물 또는 규제해제 폐기물로 분류하여 저장하였다. 해체된 대상물은 목재 및 철재 흡 후드 15개, 핫싱크와 일반 싱크 모두 18개, 실험테이블 20개이다. 이외 잔존했던 일부 실험 기구 및 실험에 취급되었던 소형 장치류 등도 제거하였다. 각 실험실의 벽면은 에폭시 페인트로 마감이 되어 있어서 제염이 용이하였으며, 천장은 구형 아스칼 텍스로 마감이 되어있었으나 오염정도가 미미하여 모두 제거하지 않고 환기 덕트 제거를 위해 최소한의 마감재만 철거하였다. 특히 바닥의 경우에는 비닐계통의 장판으로 마감이 되어 있었는데, 이것은 건설 시 마감재로 사용한 가로, 세로 30cm 규격의 아스타일 위에 깔아둔 것으로서 장판 아래의 오염상태를 확인하기 위해서는 모두 제거하여야만 하였다. 장판을 제거한 후 타르 계통의 접착재로 부착한 아스타일 바닥 콘크리트 표면이 코발트 핵종으로 오염되어 있음을 확인하고 이동식 수평 평삭기를 사용하여 콘크리트 표면을 모두 제거하였다. 가장 오염이 많이 된 방사화 분석실로 사용하였던 실험실에서는 흡 후드내의 액체폐기물 이송배관이 노후 파손되어 매설한 배관주위의 토양이 오염되어 이방은 바닥 콘크리트 뿐만 아니라 오염된 토양까지 제거하기도 하였다. 그림 1과 2는 실험실의 해체작업 전과 후, 해체작업 장면을 보여주고 있다.



그림 1. 실험실의 해체 활동 전·후의 모습.



그림 2. 실험실의 제염·해체 활동 모습.

### 2.3 납 핫셀 해체·철거

납핫셀에서는 단수명 핵종인 Tc-99m, Mo-99, I-131, Au-198, P-32, K-42 그리고 Rb-86등을 생산하였다. 방사성 동위원소 생산 공정은 표적준비, 표적의 중성자 조사, 화학처리, 품질관리, 분배, 포장 및 반출 공정으로 나누어지는데, 납 핫셀에서 수행되는 공정은 주로 화학처리 공정이다. 연구로2호기 운전정지로 1996년부터 대부분의 핫셀에서는 동위원소 생산을 중단하였으나, 의료용 동위원소인 MO-99 생산은 하나로에서 표적을 조사하여 일부 납 핫셀에서 1999년까지 계속 생산하였다. 납 핫셀의 방사선/능 상태를 살펴 보면 계속 사용한 핫셀은 약간 높은 오염도를 나타내고 있었으나, 대부분의 핫셀은 사용이 중지된지 오래되어 단수명 핵종 등의 붕괴로 인해 오염도는 현저히 떨어져 자연 방사선/능 수준이었다. 납 핫셀 (lead hot cell)은 방 133, 135 & 137호실에 10개가 서로 연결되어 있다. 각 핫셀의 내부크기는 깊이 900 mm, 길이가 1,150 mm, 높이가 2,100 mm

이며, 2단으로 구성되어 있어 하단에는 폐액을 수집할 수 수집통이 들어 있는 콘크리트 구조물 (높이 750 mm, 두께 250 mm)로 되어있고 그 위의 양옆에는 두께 250mm의 콘크리트 구조물 (높이 1,350 mm), 전면은 납벽돌(두께 50 mm), 그리고 후면에는 철판으로 제작한 차폐문이 설비되어 있다. 납 핫셀 전면 중앙 (높이 1,400 mm)에는 납유리(500×500 mm<sup>2</sup>) 1개가 설치되어 있고, 2개의 원격집게(Tong)가 양손으로 다룰 수 있게 높이 1,000 mm 위치에 설치되어 있다. 양 옆 벽면에는 전면으로부터 납 핫셀 내부로 호스 등을 넣을 수 있는 pipe 3개와 물 및 가스관등이 매설되어 있으며 전선 및 전선코드가 매설되어 있다. 한쪽 벽면 상부에는 필터 하우징(100 mm × 250 mm)이 설치되어 있어 핫셀로 진입되는 공기를 여과시키고, 핫셀 내부의 공기는 핫셀 상부의 배기덕트를 통하여 예비필터 및 HEPA 필터를, 요오드 핵종 생산 핫셀에는 차콜 필터를 거쳐 대기로 방출하게 되어 있다. 핫셀 내부 천장에는 형광등(40W × 2)이 설치되어 내부 조명에 사용되었다. 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 3은 납 핫셀의 구조를 단면으로 보여주고 있다.

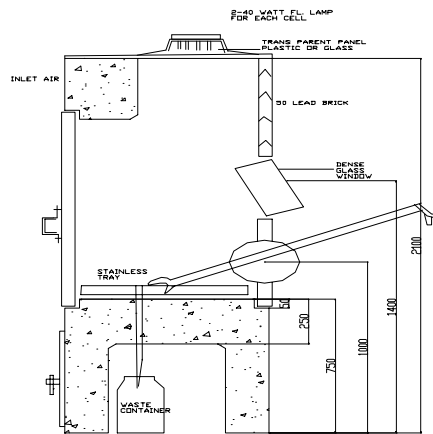


그림 3. 납핫셀의 구조 단면도.

납 핫셀의 해체는 외부 수도 및 가스 공급 배관, 뒷문 철거, 납유리 및 집게(Tong)와 납벽돌 철거, 필터 housing 철거, 천장 및 형광등 철거 그리고 콘크리트 구조물 철거 순으로 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 후에는 완전 제염된 것으로 판단하였다. 납 핫셀 내부에 일부 동위원소 생산 및 분배용 실험 초자가 남아 있었고 내부 바닥의 스테인레스 판이 약간 오염되어 있었다. 오염된 폐기물류는 납유리( $\beta$  : 0.932 Bq/cm<sup>2</sup>), 초자 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>3</sup>)등 이었다.

납벽돌은 V자 홈의 압수 형태로 바닥으로부터 쌓아 올린 형태이다. 그리고 중앙에 납유리와 하단에 원격집게(Tong)가 회전식 조인트로 접합되어 있었다. 따라서 원격집게의 조인트를 풀어 해체한 후 납 벽돌을 한 개씩 분해하여 해체하였다.

납 핫셀 뒷문의 해체는 무게가 약 340 kg정도로 무겁고 작업공간이 협소하여 이동식 시소(scissor) 형태의 인양기를 제작하여 사용하였다. 우선 철거 대상 문짝을 반정도 연 다음 인양기를 문짝 밑으로 이동시켜 상판을 문짝에 접하도록 올린다. 문틀에 고정된 나사를 제거하여 문짝을 인양기에 고정시킨다. 인양기를 반출구로 이동하여 무게를 측정하고 반출 절차를 밟아 반출시킨다. 문짝은 총 20개로 오염도는 검출 하한치 이하였다.

납유리와 원격집게의 철거는 외부 조인트 부분의 볼트를 푼 다음 내부에서 해머로 두드려 분리하였다. 납유리와 원격집게를 철거한 다음 납 벽돌을 한 개씩 해체하여 납 핫셀의 앞부분을 모두 해체하였다. 원격집게 조인트에 일부 오염( $\beta$  : 0.009~0.1 Bq/cm<sup>3</sup>)되어 있어 실험실 방 132호에 보관중이며 납 벽돌은 모두 오염되지 않아 재사용을 위해 별도로 보관하고 있다.

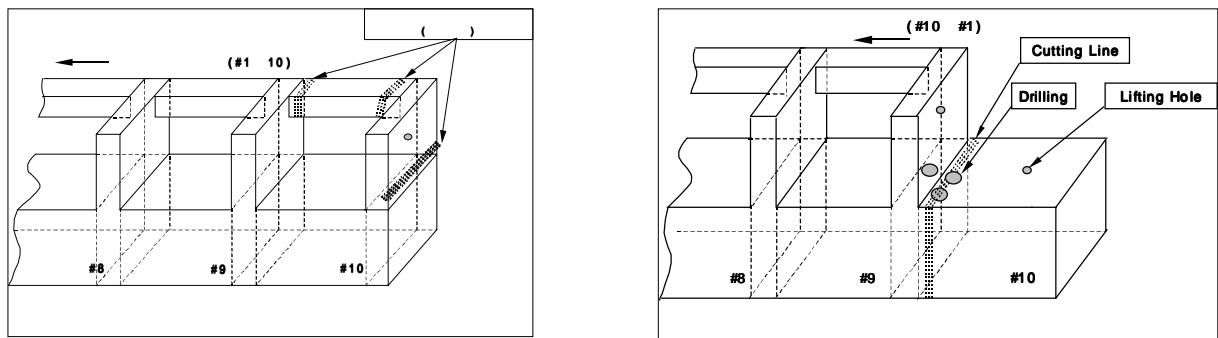


그림 4. 납핫셀 콘크리트 해체 순서.

납 핫셀에는 각각 Filter Housing이 설치되어 있는데 해체하여 오염도를 검사한 결과 유리성 오염도가  $\beta$  : 0.019~2.02 Bq/cm<sup>3</sup> 정도로 검출되어 실험실 방 132호에 보관 중 있으며 추후 제염을 거쳐 규제해제 또는 일반산업폐기물로 처리할 계획이다. 납 핫셀 콘크리트 해체는 최대한 크고, 취급하기 적당한 조각으로 절단하여 해체하였다. 그림 4에 나타낸 바와 같이 우선 코아 천공기를 이용하여 인양 구멍을 뚫는다. 콘크리트 절단 시 바닥으로의 낙하를 방지하고 해체된 콘크리트 이동을 위해 이 구멍에 줄을 달아 이동식 삼각사다리형 기증기에 고정시킨다. 콘크리트 절단 부위를 코아 천공기(drilling machine)로 연속하여 뚫은 후 구멍과 구멍 사이의 남은 부분은 파쇄기로 부순다. 이동식 삼각사다리형 기증기에 매달린 절단된 콘크리트는 천천히 바닥에 놓아 표면의 오염상태를 측정 후 오염된 부분은 소형의 표면 평삭기로 제거하여 완전히 제염이 되도록 하였다. 한 개의 납 핫셀은 4 ~ 6 개의 조각으로 절단하여 제거하였으며, 제거된 콘크리트 덩어리 표면에서 방사성 농도가 최대 Co-60이나 Cs-137이 약 10<sup>-2</sup> Bq/g 정도 검출되었으나 제염을 한 후의 시료 분석한 결과 인공 핵종은 검출되지 않았다. 이 콘크리트 덩어리는 일반인에 대

한 피폭선량평가 후 일반 산업폐기물로 처리할 계획으로 있다. 그림 5과 6는 납 핫셀의 해체공사 작업을 보여주고 있다.



5.



6.

#### 2.4 콘크리트 핫셀 내부의 폐기선원 및 조사 시편 제거

연구로 2호기 부속시설인 동위원소 생산시설에는 중형의 콘크리트 핫셀 2기가 설치되어 있다. 이 핫셀은 연구로 2호기 가동 중에 Co-60과 Ir-192 생산에 활용되어 왔으며, 이외에도 연구로에 직접 조사된 각종 금속 시편에 대한 실험에 사용되어 왔다(그림 7). 연구로가 정지된 후 이 핫셀들은 더 이상 사용되지 않았으나, 폐기된 동위원소와 실험시편들을 그대로 방치한 채 사용자들은 대전 본소로 철수하였다. 내부의 방사성물질 제거하기 위해서는 먼저 방사성물질에 대한 기록 검토가 필요하였으나, 핫셀 내부에 보관되어 있던 폐기선원과 실험시편들에 대한 이력들이 기록되어 있지 않아 부득이 과거 사용자의 기억에만 의존할 수밖에 없었다. 폐기선원 제거 작업에 앞서 선원에 대한 정보 부족으로 핫셀 내부의 방사선원 확인을 위해 새로 도입한 감마 카메라를 핫셀 뒷면의 차폐문을 통해 핫셀 내부의 선원 위치와 방사선 세기를 먼저 확인한 후 작업에 임함으로서 작업자의 안전을 향상시켰다. 또한 1번 핫셀의 경우, 핫셀 전면에 부착한 납차폐 유리가 내부의 오일 부족으로 변색되어 내부를 볼 수 없게되므로 원격으로 작동 가능한 원격카메라를 개

발하여 핫셀 전면에 있는 약 6 mm 관통구를 통해 내부를 관찰할 수 있도록 하였다. 핫셀로부터 제거한 폐기선원과 조사시편들은 4개의 소형 차폐운반용기에 분산 포장하여 대전 본소의 동위원소 생산시설로 운반하였다. 이 폐기선원들은 본소의 동위원소 생산시설의 대형 핫셀 내부에서 정확한 방사능을 측정된 후 선원에 대한 이력을 만들어 폐기하거나 또는 재 사용하게 된다.

핫셀 내부의 공간선량률은 1번 핫셀에서는 작업 전에는 최대 68 mR/hr이었으나, 내부의 선원을 모두 제거한 후의 선량률이 최대 0.46 mR/hr으로 낮아졌으며, 2번 핫셀에서는 작업 전 최대 34 mR/hr에서 작업 후 최대 0.9 mR/hr로 낮아져 내부의 방사성물질들은 모두 제거되었다고 평가할 수 있다. 이 핫셀들에 설치되었던 원격조작기(Manipulator), 차폐창, 내부 조명장치, 내부 작업대 등 부속 기자재들도 모두 철거할 계획이었으나, 향후 연구로 해체 제거 시 예상되는 실험에 활용할 목적으로 핫셀의 기능을 그대로 유지하도록 하였다. 이 핫셀들은 추후 더 이상의 용도가 없다고 판단될 때, 콘크리트 구조물만 남겨두고 모두 해체하게 된다. 보다 상세한 작업내용은 연구로 2호기 콘크리트 핫셀내 폐기선원 및 조사시편 제거작업 결과보고서에 수록하였다(그림 8).



그림 7. 콘크리트 핫셀 1, 2 내부의 폐기선원 등 기타



그림 8. 핫셀 내 폐기선원을 용기에 수납된 상태와 외부에서 원격조작기(Manipulator)를 이용한 폐기선원 취급

폐기선원 제거 작업 전에 고선량 측정기를 핫셀 뒷면의 차폐문을 개방하여 원거리에서 측정된 결과, 핫셀 내부의 공간 선량이 매우 높게 나타남에 따라 고방사선을 내고 있는

미확인 방사선원이 존재한다는 것을 확인하고 감마카메라를 이용하여 핫셀 내 방사선원의 위치를 탐색하였다. 감마카메라는 영상 및 방사능을 측정하기 위한 장치와 이 장치를 운용하기 위한 컴퓨터로 구성되어 있다. 감마카메라는 외경이 80 mm이고 길이가 400 mm인 원통 내에 영상을 위한 카메라와 방사능 계측기가 내장되어 있다. 방사능 계측기의 측정 에너지 범위는 50 KeV ~ 2 MeV이며, Sensitivity는 0.1  $\mu$ Gy/h ~ 200 mGy/h으로 대부분의 방사능 준위에 대하여 측정이 가능하다.

감마카메라를 운용하기 위한 컴퓨터에는 감마카메라 작동을 위해 특별히 고안된 보드가 내장되어 있으며, 작동 프로그램인 CARTOGAM은 윈도우 메뉴 방식으로 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 설계되어 있다. 그림 9는 콘크리트 핫셀 내의 방사선원과 선원 제거후의 감마카메라 탐색결과를 보여주고 있다.

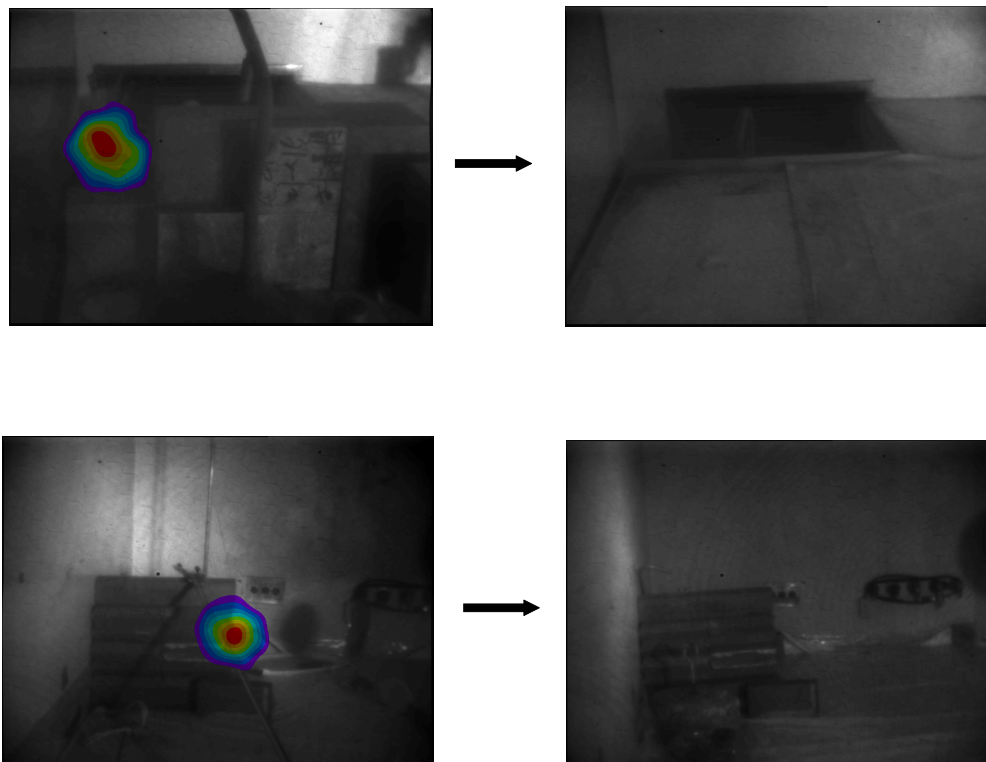


그림 9. 감마카메라 탐색 결과 (콘크리트 핫셀-1&2 내부).

### 3. 결 론

약 1년 5개월 동안 연구로 2호기 부속시설인 동위원소 생산시설과 실험실을 제염·해체한 결과 작업자의 방사선 피폭은 최대 0.1 mSv (3/4분기), 0.16 mSv (3/4분기)로서 아주 미미하여 성공적으로 해체작업을 완료하였다고 평가할 수 있다. 그리고 그동안 발생한 폐기물들은 표 3에서 보여주고 있는 바와 같이 대부분 비방사성폐기물로 분류가 가능한 정도의 오염상태를 나타내고 있다. 물론 이와 같이 비방사성폐기물로 분류가 가능할 수

있도록 수 차례에 걸친 제염작업을 하였다. 그러나 당초 설계 시에는 제염작업에 필요한 충분한 인력을 고려하지 않아, 부속시설 해체에 많은 시간과 인력이 투입되는 결과를 초래하였으나 궁극적으로는 그만큼 방사성폐기물을 줄일 수 있게되어 총 사업비에는 유리할 것으로 판단하고 있다. 보다 정밀한 평가는 현재 중장기 연구과제로 수행하고 있는 연구로 해체 데이터 베이스 시스템이 완전히 구축한 후에 가능하며, 그 결과는 추후에 발표할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 표 3은 그 동안 연구로 2호기 부속시설 해체에서 발생한 폐기물의 현황을 보여주고 있다.

표 3. 고체 폐기물 저장 현황 (단위 : Kg)

저장고 월별	창고A (철재류)	창고B (목재류)	임시저장고 (콘크리트, 흙)	컨테이너 (콘크리트, 흙)	간이창고 (기타잡품)	합 계
3	2,377	1,115	2,098		655	6,245
4	67	14	4,225			4,306
5			2,589			2,589
6			20,070			20,070
7	668	98	41		270	1,077
8						
9			120	677	46	804
10			2,392	2,242		4,634
11	74	54			6	134
12	1,217	39				1,576
계	4,403	1,320	31,585	2,919	977	41,485
총누적량	17,310	3,120	41,549	2,919	1,868	66,766

※ 컨테이너에는 ND 이상, 0.4 Bq/g 이하 폐기물을 저장하고 있다.