

# JRR-1과 HTR의 폐로현황



〈서두환 실장〉

## Japan Research Reactor와 Hitachi Training Reactor의 폐로 경위를 알아본다.

서 두 환

한국원자력연구소 원자로관리실장

### 머 리 말

이 글은 연구용 원자로 폐로 연구를 수행하기 위하여, 필자가 1994년 4월 3일부터 4월 9일까지 7일간 일본의 관련 기관을 방문한 결과 보고서이다.

방문한 기관은 일본원자력연구소(JAERI), 원자력시설폐지연구협회(RANDEC, Research Association for Nuclear Facility Decommissioning) 및 Hitachi Ne(Nuclear Engineering) Co.이다.

JAERI에서는 JRR-1(Japan Research Reactor No.1)의 해체와 기념 전시관 개설에 대하여 협의, 자료 수집 및 현장을 시찰하였으며, RANDEC에서는 폐로에 관한 전반적인 업무에 대하여 협의와 정보를 교환하였고, Hitachi NE에서는 HTR(Hitachi

Training Reactor)의 폐로에 대한 협의와 현장을 시찰하였다.

이 보고서는 제 I장에는 방문 기관의 소재지, 조직, 업무 현황 및 시설의 개요에 대하여, 제 II장에는 JRR-1에 폐로 현황 및 HTR의 폐로 현황, 제 III장에는 JRR-1 기념 전시관의 개설에 대하여 기술하고 있다.

끝으로, 이번 출장에 대한 소감과 건의 사항을 언급하고 있다.

이 보고서가 앞으로 우리나라의 폐로 연구 및 업무 수행에 조그마한 도움이 있기를 바란다.

### I. 방문 기관

이 장에서는 이번 출장에서 방문한 기관의 조직, 업무 내용 및 시설의 개요에 대하여 간단히 소개한다.

#### 1. JAERI

일본원자력연구소(JAERI)의 Tokai 연구소는 Ibaraki-ken Tokai-mura에 있으며, 1956년에 설립된 원자력의 종합적인 연구 기관으로 원자력의 연구 개발 및 원자력 이용 촉진에 기여하고 있다.

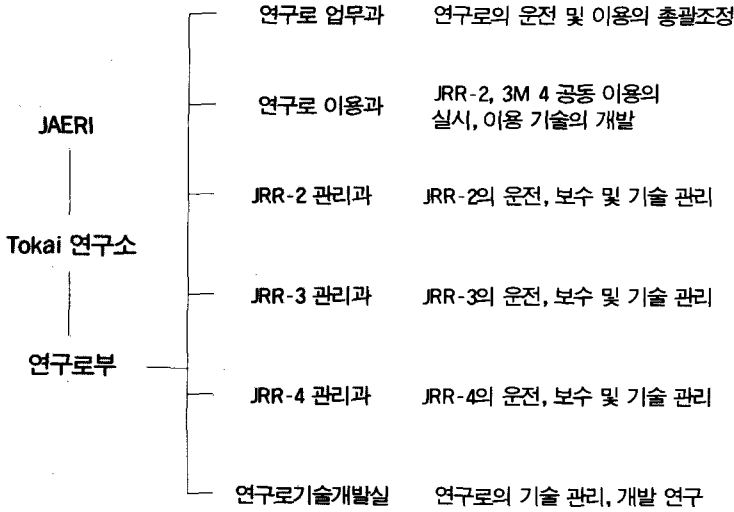
Tokai 연구소 전체의 조직은 생략하고, 연구로부의 조직 및 연구·업무 내용은 표 1과 같고 보유하고 있는 연구로는 JRR-1('69년해체), JRR-2(10MW), JRR-3(20MW), JRR-4(3.5MW)의 4기이다.

#### 2. RANDEC

원자력시설폐지연구협회(RANDEC)는 Ibaraki-ken Tokai-mura에 있으며, 원자력시설의 폐지를 안전하

## JRR - 1, HTR의 폐로

표 1 : JAERI 연구로부의 조직 및 연구·업무 내용



고 합리적으로 실시하기 위하여 필요한 연구 개발의 원활한 발전에 공헌할 것을 목적으로 1988년 12월에 설립된 재단 법인이다.

RANDEC의 주요 사업 내용은 ① 폐지에 관한 시험 연구·조사, ② 폐지에 관한 기술·정보의 제공, ③ 폐지에 관한 인재 양성, ④ 폐지에 관한 보급 개발 활동 등이다.

RANDEC의 조직은 표 2와 같다.

### 3. Hitachi NE

Hitachi NE의 본사는 Ibaraki-ken Hitachi시에 있으나, HTR이 있는 곳은 Kanagawa-ken Kawasaki시의

Ozenji 사업소이다.

원래 Tokyo 원자력산업연구소(1960년 3월 설립)라는 이름으로 운영되어 왔지만, 현재는 Hitachi NE가 관리하고 있다. Hitachi NE의 사업 내용은 에너지, 정보, 환경 및 최첨단 기술 분야이다. 조직과 부서는 표 3과 같다.

## II. 폐로 현황

### 1. JRR-1의 폐로

일본 최초의 원자로 JRR-1은 열출

력 50kw, 연료로 20% 농축의 황산 우라닐용액을 사용한 Water Boiler (WB)형 원자로이며, 1956년8월 건설에 착수하고, 1957년8월27일 초기에 임계에 도달하였다.

그 후 11년여 동안 순조롭게 운전되어 그 동안 노물리 실험, 방사화 분석 등의 기초 연구, RI 생산 및 원자로 기술자의 양성 훈련 등에 이용된 동시에 널리 외부에 공동 이용 시설로서 많은 성과를 올렸다.

1967년6월, JRR-1은 소기의 목적을 다하여 공동 이용을 종료하고 1969년에 운전을 종결하였다. JRR-1의 실적은 다음과 같다.

- ① 운전시간 : 8,043시간
- ② 출력량 누계 : 181.6MWh
- ③ 이용 건수 : 619건
- ④ 조사 Capsule 수 : 16,319개
- ⑤ 기술자 양성 훈련 : 680명

이 원자로가 폐로되기 전에는 그림 1과 같은 구조를 하고 있었다.

노심은 공모양의 탱크로(내부 직경 : 40cm, 최대 용량 : 핵연료 용액 32l) 여기에 용액으로 된 황산 우라늄 핵연료를 채웠고, 이 노심 탱크는 배수 탱크(overflow tank) 및 재결합기(rec-ombinder)에 연결되어, 이와 같은 계통이 핵분열 생성물의 첫번째 방어벽인 원자로 용기와 역할을 지니고 있었다.

이를 다시 두번째 방어벽으로 둘러 싸웠는데 이 방어벽은 연료 배수 탱크

# JRR-1, HTR의 폐로

표 2 : RANDEC의 조직



1차 냉각 계통, 열교환기, 압력 조절용 탱크 및 냉각 튜브로 구성되었으며, 냉각수로는 탈광수를 사용하였다. JRR-1의 주요 계원은 표 4와 같다.

JRR-1의 폐로는 일본에서 최초의 사례이다. 폐로는 원자로의 기능을 없애고, 폐로 후의 시설에 대한 안전성을 확보하는 동시에 되도록이면 원형을 그대로 남기고 일본 최초의 원자로로서 어울리는 형태로 보존한다는 방침하에 실시되었다.

폐로 공사는 1969년 11월에 착수되었다. 노심의 연료 용액은 용기에 담아 보관 폐기 하였다. 그밖의 기기는 냉각수를 빼내어 계통내를 세척, 밸브를 밀봉, 봉인하고 전원을 차단하여

실험 장치를 철거하였다.

폐로공사는 1970년 3월에 완료되었다. 그 후 같은 해 가을에 제어실과 실내의 제어반, 계측 기기 등은 원자로 연수원의 운전 훈련용 시뮬레이터로 전용되었다. 폐로 종료 이후 원자로의 잔존 시설은 콘크리트 벽체와 sub pile실 기기이다.

이 폐로 과정에서 가장 중요한 관심사는 핵분열 생성물(특히 희가스, 주로 Kr<sup>85</sup>)의 환경으로의 누설을 방지하는 것이었다. 이에 따라 사용후연료의 이동과 연료계통을 취급하는데 특별한 주의가 취해졌으며, 폐로작업에 투입된 비용의 대부분이 여기에 사용되었다. 폐로 경비는 약 650만 ¥(1970

년 현재)이다.

## 2. HTR의 폐로

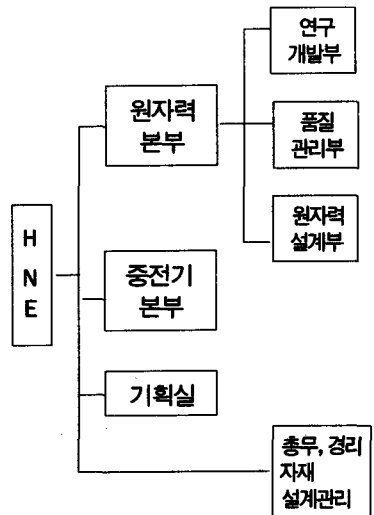
HTR은 열출력 100kW, 농축 우라늄을 사용한 수조형 원자로이며, 1960년 7월 건설에 착수하고, 1961년 12월 25일에 최초 임계에 도달하였다.

13년 이상 주로 로블리 실험, 중성자 방사화분석, 방사성동위원소 생산, 의학 연구(NTC), 그리고 원자로 운전 교육에 이용되었고(운전시간 : 14,053 시간, 총출력량 : 724,973kWh), 1975년 2월에 원자로 운전을 정지하였다.

HTR의 주요 계원은 표 5와 같다.

폐로전 이 원자로의 구조는 그림 2와 같다.

표 3 : Hiatachi NE의 조직



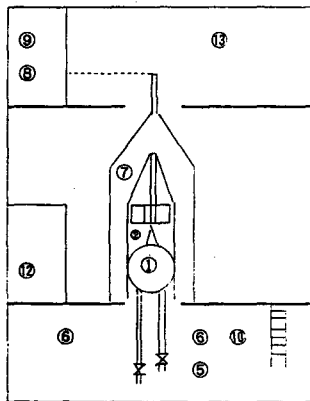
## JRR-1, HTR의 폐로

원자로 용기(50cm × 50cm × 65cm의 알미늄 box)는 커다란 수조(부피 : 36m<sup>3</sup>) 바닥에 놓여 있고, 이 안에 핵연료봉(UO<sub>2</sub> pellet, Al/SUS 피복관) 집합체가 노심을 구성하고 있다. 원자로 용기는 반사체 흑연으로 둘러싸여 있으며, 1차 냉각 계통(펌프, 열교환기, IX columns)에서 공급하는 냉각수가 아래 방향으로 흐르면서 노심에서 발생하는 열량을 제거하도록 되어 있다.

수조의 물은 Co<sup>60</sup>, Mn<sup>56</sup>, Zn<sup>65</sup>와 같은 중성자에 의해 방사화된 생성물을 가두어 두는 역할도 한다. 원자로에 설치된 실험 및 조사 장치는 다음과 같다.

- ① 수평 열중성자수
- ② 차폐연구를 위한 수조 실험장치
- ③ 수평공(4개)
- ④ 노심 관통 수평공

그림 1 : JRR-1의 평면도



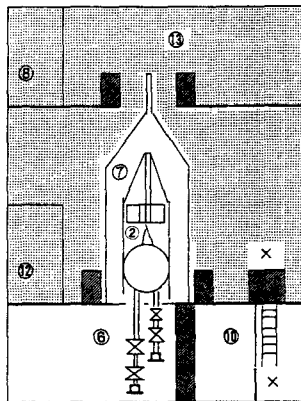
before decommissioning

- ⑤ 기송관(2개)
- ⑥ 동위원소 생산 시설

이 원자로의 운전 중단된 주된 이유는 Hitachi Ltd가 구상해왔던 주요 연구과제 즉, 최초의 BWR SHIMANE-1의 설계를 위해 필요한 자료를 얻는 작업의 종결에 따른 것이었다. 폐로 작업은 1975년6월에 착수하였으며, 1976년4월 말에 완료되었다.

이 원자로의 폐로는 3단계로 계획되었다. 그러나 폐로 작업이 진행될 때 예기치 않게 사용후 핵연료의 이송을 위한 마땅한 항구가 없음이 문제로 떠올랐다. 그 결과 사용후 핵연료(50% 드럼 1,000개)와 중성자 방사화 물질들은 용기에 담아 원자로실 안에 저장하고 있다.

폐로 과정에서 발생한 기타 물질로는 생체 차폐 구조물과 원자로 건물이 있다. 현재 원자로실에 저장되어 있는



after decommissioning

방사성 폐기물은 50% 드럼으로 3,500개이다(그림 2 참조).

### Ⅲ. JRR-1의 기념 전시관

일본 최초의 원자로를 기념하기 위하여 JRR-1 로실을 견학 시설로 개수하는 공사가 1976년 중반기에 개시되었다.

Remark(그림 1 및 2)

- ① Spent Fuel
  - ② Reactor Vessel(tank)
  - ③ Storage Tank(for feed)
  - ④ Blanket Tank
  - ⑤ Dump Tank
  - ⑥ Pump, Heater, & etc.
  - ⑦ Biological Shielding
  - ⑧ Reactor Console
  - ⑨ Electric Source
  - ⑩ Gas-exhaustion System
  - ⑪ Pool
  - ⑫ Room
  - ⑬ Reactor Building(containment)
  - ⑭ Reactor Room
- ▭ sealed  
 × locked  
 ▨ barred  
 ■ stored as radioactive waste or dismantled materials  
 ▨ reused

## JRR-1, HTR의 폐로

표 4 : JRR-1 주요 제원

항 목		내 용
노 형		농축 우라늄 균질 용액 형
최대 열출력		50kw
최대 열중성자속		$1.2 \times 10^{12} n / cm^2 \cdot sec$
노심 크기		40cm $\Phi$ , 구형
연 료	형상	20% $UO_2SO_4$ sq. solute
	U-235량	1.3kg
냉각재	재질	경수
	최대유량	3.4m <sup>3</sup> / hr
	최대온도	노심 입구 : 30℃, 노심 출구 : 45℃
감 속 재		경수
반 사 체		흑연(9.5톤)
차 폐 체		중콘크리트(두께 1.6m)
제 어 봉		B/C(4개)
주요 실험설비		수평 실험공 9 수직 실험공 4 열중성자수 2 (수평, 수직 각 1개) 기술관 2

견학 시설은 노실에서 원자력 연구의 역사와 현황을 알기 쉽게 해설한 전시물이나 자유롭게 조작할 수 있는 기기를 배치하고, 노실에 붙은 lobby 및 영사 시설이 있는 hall로 구성되어 있으며, 완성된 시설은 1978년 8월에 기념 전시관으로 개관하여 방문한 견학자에게 개방되고 있다.

JRR-1 로실의 개수 계획은 그 성격과 내용상으로 크게 두 가지로 나누어 검토하고 있다. 하나는 개수 공사 자체이며, 또 하나는 전시 물품의 정비이다.

개수 공사에 대해서는 1977년7월경 그 계획 및 내용이 대략 결정되었고, 재무부서와 예산적인 타협이 끝나고 1978년3월말 공사 완료로 목표로 1977년8월 중순경부터 설계를 개시하여 예정대로 공사가 진행되었다.

한편, 전시물의 정비에 관해서는 관리부장을 위원장으로 하고 사무장, 업무과장을 구성원으로 한 "JRR-1 전시물 특별 위원회"를 설정하여, 1977년8월부터 검토를 시작하였다.

전시물의 설치 공사는 제 1기와 제

표 5 : HTR의 주요제원

항 목	내 용
노 형	농축 우라늄, 경수 감속 냉각로
최대 열출력	100kw
냉각 방법	경수 강제 순환 방식
연료 장전량	U-235, 4kg
피복재	Al/ SUS
노 심	비균질형
반사체	흑연 및 경수
제어봉	B (4개)
생체 차폐	콘크리트

2기로 나누어 추진 하였다. 제 1기 공사(경비 5,840만 $\text{¥}$ )는 1978년2월부터 3개월 동안에 전시물을 설치하고, 제 2기 공사(경비 2,530만 $\text{¥}$ )는 전시물의 전시 효과를 높이기 위한 조명, 음향 등의 공사를 하고, 1978년8월 중순경에 공사를 완료하였다.

참고로 전시 내용을 나열하면, JAERI의 소개, Tokai 연구소의 소개, JRR-1, 안전성 연구(공학적 및 환경 차원), 다목적 고온 가스로, 핵융합, 방사선 관리, JPDR, 연구로의 기초 연구 및 관련 연구, RI의 제조, 방사선의 이용, 원자로 연수원, RI 연수원, 기술정보부, 영상실 등이다.

실물 전시품은 JRR-1 연구기록 등, Halden 모의연료봉, spray nozzle, 옥소필터, 폐기물 고화체(견본), 흑연 심블럭 모형, JRR-2 B형 모의 연료, JRR-2 원통형 모의 연료, 계장 깎술, 실리콘(Si), JPDR-II 모의 연료, 핵연료의 각종 재료, 선원 target, 조사

## JRR - 1, HTR의 폐로

용 캡슐, RI 제품, manipulator 등이다.

조명, 음향, 영상 등은 전시물 조명, 관내 조명, corner narration, 영상실, 3면 다중 영상실 등이다.

현재 JRR-1 건물은 다음과 같은 역할을 하고 있다.

- ① 기념 전시관으로서 연간 약 1만 명의 견학자를 맞이하여 호평을 얻고 있다.
- ② 지하에 있는 원래 Semi Hot Lab 등의 실험실을 이용하여 JRR-2 또는 JRR-4에서 조사시킨 시료의 화학 조작이나 방사화분석 측정할 수 있는 실험실로 소내 연구자의 공동 이용에 제공하고 있다.
- ③ 일층의 원래 제어실, 실험실 등에서 시뮬레이터에 의한 원자로

운전 훈련 또는 연구실로 활용되고 있다.

### 맺음말

이번 일본 방문에서 느낀 것은, JAE-RI의 폐로 계획은 폐로하기 전에 예비 조사, 개념 설계, 실시 설계를 거쳐 예산 계획을 확정, 부대 시설의 설계, 관련 부처에 대한 수속 등을 계획성 있게 잘 추진하고 있다는 것이다.

그리고, JRR-1과 HTR 폐로 당시(1970년 초반), 인허가 문제는 법적으로 제대로 제정되어 있지 않아서 과기청 규제 관련부서와 연구소 간에 서로 협조하여 case by case로 잘 처리하고 있었다는 점이다. 마침 현재 우리나라의 실정과 비슷했던 것이다.

이번 출장에서 가장 큰 성과는 JRR-1 기념 전시관 개설에 관한 자세한 자료의 수집, 우리나라 연구로 1호인 TRIGA Mk-II와 비슷한 HTR 폐로 현장의 답사, RANDEC 간부들과 폐로에 관한 전반적인 사항을 놓고 인간적으로 기탄없는 의견을 교환할 수 있었다는 것을 들 수 있다.

그리고 JRR01이나 HTR의 폐로 현황은 모두 stage-1(밀폐 관리) 상태이며, stage-2(차폐 격리) 및 stage-3(해체 철거)까지는 아직 많은 연구 개발이 있어야 한다고 본다.

끝으로 과학기술처, 한국원자력안전기술원 및 우리 연구소에 건의하고 싶은 것은 우리나라에서 원자로 폐지에 관한 연구는 처음이기 때문에 원자로 폐지의 기술 개발에 앞서, 폐지 조치의 인허가 절차 및 기술기준이 수립되어야 한다고 생각한다.

예를 들면, 미국의 10CFR 50.52, Regulatory Guide 1.86, American National Standard for Decom. of Research Reactors, IAEA의 Planning and Management for Decommissioning of Research Reactors and Other Small Nuclear Facilities, 일본의 실용 원자로의 설치 운전 규칙, 상업용 원전 시설의 폐지조치 대책과 같은 것이 있어야 원자로 폐지를 수행할 수 있다고 본다.

그림 2 : HTR의 평면도

