



최종보고서

# 방사선 및 방사성 동위원소 이용연구

Studies on Application of Radiation and Radioisotopes

## 하나로 동위원소 생산시설 개발

Development of the Radioisotope Production  
Facility for the HANARO

연구기관  
한국원자력연구소

ℓ

29-41 과학기술부

# 제 출 문

## 과학기술부장관귀하

본 보고서를 “방사선 및 방사성 동위원소 이용연구”에 관한 연구 과제 (세부과제 ‘하나로 동위원소 생산시설 개발’)의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 6.

주관연구기관명 : 한국원자력연구소

주관연구책임자 : 이 지 복

연 구 원 : 우종섭, 백삼태  
정운수, 양성홍  
박용철, 강병위  
황승렬, 장천익  
이봉재, 조성원  
김준연, 이중희  
정환성

감 수 위 원 : 한 현 수

## 방사선 및 방사성 동위원소 이용연구과제 구성표

세부과제명	연구책임자	연구기간
1. 하나로 동위원소 생산시설 개발	이 지 복	1992.9.05 ~ 1998.1.31
2. RI 생산 및 이용연구	한 현 수	1992.9.05 ~ 1997.7.20
3. 방사선 가공기술 개발	진 준 하	"
4. 방사선 식품저장기술 및 공정개선연구	변 명 우	"
5. 방사선 유전자원 개발연구	이 영 일	"
6. 방사화 분석 이용연구	정 용 삼	1994.7.21 ~ 1997.7.20
7. 방사성 의약품 개발	박 경 배	"

본 보고서는 “방사선 및 방사성 동위원소 이용연구”의 ‘하나로 동위원소 생산시설 개발’ 최종보고서임.

# 요 약 문

## I. 제 목

하나로 동위원소 생산시설 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라에는 연구로 1호기 및 2호기 (TRIGA Mark-II & III)를 이용하여 동위원소 및 표지화합물을 생산하여 의료계 및 산업계에 공급한지 약 30년이 되어왔으나 연구로와 동위원소 생산시설이 소형이었기 때문에 아직까지 극히 제한된 동위원소 핵종만을 소규모로 생산 공급하는 수준에 머물러 있었다.

다행히 우리나라에서는 최대 열중성자속이  $5 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>.sec인 30MW급 다목적 연구로인 하나로가 완공되어 장시간 운전시험에 도입하게 되었다.

하나로는 원자력 연구소가 위치하고 있는 대전에 건설됨에 따라 이를 활용하는 연구시설인 동위원소 생산시설이 필요하게 되었으며 하나로 건조사업의 일환으로 하나로의 건조와 함께 추진되어 왔으나 예산상의 문제로 말미암아 동위원소 생산의 핵심시설인 핫셀과 그 부속설비는 중장기 과제로 전환되어 개발하게 되었다.

중장기 과제의 1단계 (1992년 ~ 1996년)에서 하나로의 정상운전과 함께 동위원소의 대량 생산체제를 구축한다는 목표 아래 대형의 콘크리트 핫셀 4기와 중형의 납핫셀 17기를 개발 설치하게 됨에 따라 우리도 선진국에 못지 않는 초 현대식의 동위원소 생산시설을 갖게 되었다.

이제 부터는 하나로를 이용하여 보다 다양한 핵종 개발과 대량생산 체제를 갖추게 됨으로서 보다 활발한 방사성 동위원소 핵종개발 연구와 개발된 핵종의 대량 생산에 따른 보급활동에 한층 노력하여야 할 것이다.

### Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

방사성 동위원소 건물과 기본시설(전기, 용수, 환기 등)은 하나로 건조사업으로 추진되었으며, 콘크리트 핫셀 4기에 설치되는 부속기기들과 17기의 납핫셀과 부속기기, Co-60선원 저장조의 정수설비, 핫셀의 배기관련 장치, 방사선 감지설비, 핫셀 내부 소방설비, 동위원소 시료를 하나로에 장전.인출하는 유압이송장치와 실험기기들은 본 중장기 연구과제로 개발되어 설치되었다.

#### 1. 대형의 콘크리트 핫셀 4기에 부착되는 각종 장치 개발설치

- 1) 인셀크레인(2톤)
- 2) Bucket 호이스트
- 3) 유압 작업대

#### 2. 벙크-Ⅲ에 납핫셀 6기 개발설치

- 1) 납핫셀 구조물 6기 제작설치
- 2) 차폐창 및 원격조작기 구매설치
- 3) 고정 호이스트 및 회전 호이스트 개발 설치
- 4) 소화설비 제작 설치
- 5) 각종 유틸리티 설치

#### 3. 벙크-Ⅱ에 납핫셀 11기 개발설치

- 1) 납핫셀 구조물 11기 제작 설치
- 2) 차폐창 및 원격조작기 구매 설치
- 3) 고정 호이스트 및 회전 호이스트 제작 설치
- 4) 소화 설비 제작 설치
- 5) 유압 작업대 제작 설치
- 6) 각종 유틸리티 설치

#### 4. 유압 이송장치 개발설치

## 5. 핫셀 주변 지역방사선 감시 계통 개발 설치

## 6. Co-60 저장조 정수계통 개발 설치

## 7. 실험기기 제작설치

- 1) Fume hood : 34 set
- 2) Glove Box : 5 set

# IV. 연구개발 결과

## 1. 콘크리트 핫셀 개발

뱅크- I 에는 콘크리트 핫셀 4기가 나란히 설치되어 Co-60과 Ir-192를 생산한다.

이들 핫셀들은 밀도 3.5인 중콘크리트로 건조되어 핫셀 외부 벽체에서의 표면 선량율을 시간당 1.0 밀리램 이하로 설계되었다. 1번 핫셀은 바로 옆에 설치되어 있는 Co-60 저장조와 긴 터널로 연결시켜 저장조에서 Co-60 동위원소 시료가 핫셀 내부로 인입시키기 위해 바스켓 형태의 호이스트를 설치하였으며 이 장치는 핫셀 전면에 설치되어 있는 제어판에 의해 작동된다.

저장조에 Co-60 동위원소를 저장하기 위해 핫셀로부터 반출하는데 사용되기도 한다. 3번 핫셀 하부에는 Ir-192 동위원소 시료와 핫셀내부에서 분배처리된 동위원소를 반출하기 위해 유압으로 작동되는 작업대가 설치되어 있는데 이 작업대는 전·후진 및 상·하로 작동되며 핫셀 뒷면에 설치되어 있는 제어판에서 조종된다.

또한 핫셀 내부의 천장에는 2통 용량의 천장 크레인이 설치되어 핫셀 내부의 중량물을 취급하고 있으며 4기의 핫셀에 공용으로 사용되고 있다.

특히 콘크리트 핫셀 후면에는 핫셀내부로 기기를 반입하거나 핫셀 내부의 장치들을 설치, 변경 또는 보수를 위한 대형의 출입문이 설치되어 있

다.

이 출입문에는 전동기가 장착되어 작동되는데 작업자 및 종사자의 안전을 위하여 핫셀 내부의 방사선 준위가 시간당 250밀리렘 이하인 경우에만 열릴 수 있도록 핫셀 감지기과 연동되어 있다.

## 2. 납 핫셀 개발

동위원소 건물내에는 모두 17기의 핫셀이 설치되어 있는데, बैं크-2에 11기, बैं크-3에 6기이다.

이들 핫셀들은 서로 연결되어 일체의 구조물로 설치하였으며, 핫셀을 구성하는 차폐벽체는 3% 안티몬이 함유한 납을 주조하여 제작하였다.

뱅크-3에 설치된 핫셀에서는 요오드 핵종과 표지화합물을 주로 생산하며, बैं크-2에 설치된 핫셀에서는 Mo-99를 비롯한 각종 동위원소들을 생산하게 된다.

핫셀 전면에는 핫셀 내부를 관찰 할 수 있는 납유리로 제작된 차폐창과 원격조작기가 설치되어 있으며, 핫셀 후면에는 핫셀내부의 기기 장치들을 설치하기 위한 여닫이식 문이 설치되어 있다.

## 3. 수력이송 장치 개발

동위원소 시료캡슐을 하나로의 반사체 구역에 위치하고 있는 조사공에 장전하여 일정한 시간동안 조사시킨 후 인출하여 이동용기에 넣는 자동설비이다.

이 장치는 하나로 원자로실 전방 수로 옆에 설치되어 있으며 3개의 조사시료를 동시에 장전시킬 수 있다.

## 4. 방사선 감지 계통 개발

방사선 구역내에서 근무하는 작업자의 건강과 안전을 확보하고 시설의 방사선 재해방지와 안전성을 확보하기 위하여 작업환경의 방사선량률과 오염도등이 원자력법에서 제시한 한도치 이하로 유지되고 있는지 감시하

기 위한 자료를 연속적으로 측정 제공하는 설비이다.

이 설비는 방사선 구역내의 공간 방사선량률, 공기오염도, 표면오염도 및 수중오염도 측정장비와 관리구역 출입자 및 반출 물품들에 대한 출입 관리 장비로 구성되어 있다.

## 5. Co-60 저장조 정수계통 개발

Co-60 저장조에는 순수가 항상 채워져 있는데 이를 정화하기 위한 설비로서 펌프, 여과기 및 이혼교환기 등으로 구성되어 있으며, 수조수가 일정한 수질요건 이하일 경우에만 가동된다.

6. 실험기기로서 Fume-hood 34대와 Glove Box 5대가 실험실과 핫셀지역에 설치되어 동위원소 생산 및 각종 실험에 활용되고 있다.

## V. 연구개발 결과의 활용대책

하나로 이용시설의 일부인 동위원소 생산시설은 지금까지 사용한 TRIGA 연구로를 활용한 동위원소 생산시설보다 그 규모나 설비가 대규모일 뿐만 아니라 초현대식의 기능을 모두 갖추고 있는 국제적인 설비로서 그동안 미 개발된 핵종에 대해 보다 활발한 연구가 추진될 수 있을 뿐만 아니라 대량 생산 체제를 구축할 수 있게 됨에 따라 국내 동위원소 공급에 더욱 활기를 띠 수 있을 것이며 나아가 외국에도 미 개발된 동위원소를 수출할 수 있는 기틀이 마련되었다. 뿐만 아니라 동위원소 생산설비 개발 기술이 자립되어 향후 예상되는 방사성 폐기물 처리시설 개발에 활용할 수 있는 것으로 기대된다.



# Summary

## I. Project Title

Development of the RI production facilities for the HANARO

## II. Objective and Importance of the Project

It has been more than 30 years since TRIGA Mark II and III research reactors produce radioisotopes and labelled compounds for medical and industrial purposes. But those products are limited to small quantities for only some radioisotopes due to the low reactor power capacity and the small radioisotope production facility.

Since the test operation of the HANARO multipurpose research reactor with a thermal power of 30 MWth and its maximum thermal flux of  $5 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> • sec, further RI production facility construction was also needed to increase in maximum the HANARO reactor efficiency, and started to construct it at the same time as HANARO reactor construction.

Later, the construction project of hot cells and their equipment were turned into the mid- and long-term R&D project from the national budget shortage problem. As a result, during the first step (1992-1996) of the mid- and long-term research project, 4 modernized concrete hot cells and 17 lead hot cells were successfully constructed to produce massively radioisotopes.

Further efforts will be put for the development of various radioisotopes and their mass production and dissemination in using HANARO research reactor.

### **III. Scope and Contents of the Project**

Radioisotope production building and its utilities (electricity, water supply system, ventilation, etc.) were constructed as part of the HANARO research reactor construction project. And following equipment and apparatus were developed during the mid- and long-term R&D project : 4 concrete hot cells and their equipment, 17 lead concrete hot-cells and their equipment, purification system for the Co-60 storage pool, ventilation system of each hot cell, radiation monitoring system, fire protection system, hydraulic transfer system for the transportation of the radioisotope samples and experimental apparatus.

1. Development of the equipment for large size 4 concrete hot cells
  - 1) Incell crane(2 ton)
  - 2) Bucket hoist
  - 3) Hydraulic lifting table
  
2. Development of the 6 lead hot cells in the bank-III
  - 1) Fabrication and installation of the hot cell shielding structure
  - 2) Installation of the radiation shielding windows and manipulators on the lead hot cells
  - 3) Installation of the fixed type and swivel type hoists
  - 4) Fabrication and installation of the fire-fighting system in the hot-cells
  - 5) Installation of the utilities
  
3. Development of the 11 lead hot cells in the bank - II

- 1) Fabrication and installation of the hot cell structure
  - 2) Installation of the radiation shielding windows and manipulators on the hot cells
  - 3) Installation of the fixed type and swivel type hoists
  - 4) Fabrication and installation of the fire-fighting system in the hot cells
  - 5) Fabrication and installation of the hydraulic lifting tables
  - 6) Installation of the utilities
4. Development of the hydraulic transfer system around hot cells
  5. Development of the radiation monitoring system around hot cells
  6. Development of the purification system for the Co-60 storage pool water
  7. Fabrication and installation of the experimental apparatus
    - 1) Fume hoods : 34 set
    - 2) Glove boxes: 5 set

#### **IV. Results of the Study**

##### **1. Development of the concrete hot cells**

4 concrete hot-cells were installed, in parallel, for the production of Co-60 and Ir-192. The density of the concrete is 3.5. These hot cells were designed so that the surface radiation dose rate is less than 1 mrem/hr. The Co-60

storage pool and the hot cell No. 1 are connected with tunnel equipped by a bucket type hoist so that Co-60 radioisotopes can be easily transported into the hot cell.

This bucket hoist is operated by the control panel installed in front of the hot cell. This hoist is also used to take out the Co-60 radioisotopes from the hot cell to the storage pool.

While under the hot cell No. 3, a working table, which is operated by hydraulic power, is installed for the removal of Ir-192 radioisotope samples and the distributed radioisotope in the hot cell. This working table is also operated by the control panel which is installed by the rear side of the hot cell.

2 ton capacity of over-head crane is installed in the hot-cell for the heavy material handling and is available for 4 hot cells. A large gate is equipped at the rear side of each concrete hot cell so that this allows the entrance, installation, modification and maintenance of the equipment in the hot cell. This entrance gate can be operated by a electric motor and this is interlocked to the radiation monitoring system so that the gate can be opened only when the radioactivity is less than 250 mrem/hr.

## 2. Development of the lead hot-cell

There are 17 lead hot cells in total at the radioisotope production building; 1 and 6 hot cells at the bank-II and bank-III respectively. These hot cells are interconnected and the wall is fabricated by the lead containing 3% Antimon. Iodine radioisotope and labelled compound will be produced at the hot-cells of the bank- III. While those of the bank - II will be

used for the production of Mo-99 and diverse radioisotopes.

Radiation shielding windows, which are fabricated by lead glasses, and manipulators are installed at the front of the hot cells. The entrance gates are installed at the rear of the hot-cells for the equipment in and out.

### 3. Development of the hydraulic transfer system

This hydraulic transfer system is for the taking in and out of the irradiated radioisotope capsule from the irradiation hole during the pre-designated irradiation time. The irradiation hole is located at the reflector area. This hydraulic transfer system is located by side of the front canal of the reactor pool enabling to load 3 irradiated capsules simultaneously.

### 4. Development of the radiation monitoring system

The radiation monitoring system is installed for the protection of workers against radiation damages. This system allows us if the radiation level is well-maintained below the guidelines. This equipment can record surface radiation dose rate, air monitoring, surface contamination, water contamination, and controls also egress and ingress of the workers and the equipment.

### 5. Development of the purification system for the Co-60 storage pool water

An ion exchange type purification system is installed to purify the circulated water of the Co-60 storage pool. This system is operable only when the quality of the water is below the

permitted purity level.

6. There are also 34 fume hoods and 5 glove boxes around the hot-cells and experimental laboratories.

## **V. Results and Proposal for Applications**

Radioisotope production facility is a part of the HANARO facility, and is much larger scale than the TRIGA RI production facility. This is also much more modernized and will ensure research and development in the field of undeveloped radioisotopes production. This facility will also ensure mass production of radioisotopes, thus satisfying the needs for domestic user communities as well as supplying key radioisotopes for the world market. This technology developed by KAERI for the radioisotope production facility is expected to be applicable to the development of the radioactive waste treatment facility in the future.

# Contents

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	1
Section 1. Scope and Objective of the Project .....	1
Section 2. Contents of the Study .....	4
<b>Chapter 2. Current Status on this Subject</b> .....	7
Section 1. Foreign Status RI Production Facility .....	7
Section 2. Domestic Status on RI Production Facility .....	8
<b>Chapter 3. Research Contents and its Results</b> .....	11
Section 1. Development of the Concrete Hot-Cell .....	11
Section 2. Development of the Lead Hot-Cell .....	18
Section 3. Development of the Hydraulic Transfer System .....	30
Section 4. Radiation Monitoring System .....	37
Section 5. Purification System for the Co-60 Storage Pool .....	43
Section 6. Fire-Fighting System for the Hot-Cell .....	47
Section 7. Experimental Apparatus .....	47
<b>Chapter 4. The Extent of Research Achievement and Contribution</b> .....	49
Section 1. The Extent of Research Achievement .....	49
Section 2. Public Contribution .....	49
<b>Chapter 5. The Application Plan of Research Results</b> .....	50
Section 1. Set-Up System of the Development of the New RI and Mass Production .....	50
Section 2. Application of the Radioactive Waste Treatment Facility .....	50

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 1 절 연구개발의 목적과 범위 .....	1
제 2 절 주요개발 내용 .....	4
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	7
제 1 절 외국의 동위원소 생산시설 현황 .....	7
제 2 절 국내 동위원소 생산시설 기술 현황 .....	8
제 3 절 동위원소 생산시설 기술개발 방향과 향후 미치는 영향 .....	9
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과 .....	11
제 1 절 콘크리트 핫셀 개발 .....	11
제 2 절 납핫셀 개발 .....	18
제 3 절 수력이송조사장치 개발 .....	30
제 4 절 방사선 감시설비 .....	37
제 5 절 Co-60 저장조 정화설비 .....	43
제 6 절 핫셀 내부 소화설비 .....	47
제 7 절 실험기기 제작설치 .....	47
제 4 장 연구개발 목표의 달성도 및 대외 기여도 .....	49
제 1 절 연구개발 목표의 달성도 .....	49
제 2 절 대외기여도 .....	49
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획 .....	50
제 1 절 방사성동위원소 핵종개발 및 대량생산 체제 구축 .....	50
제 2 절 후행핵주기 설비 개발 .....	50



## 그림 목 차

1. 그림1. 동위원소 건물 1층 평면도 .....	51
2. 그림2. 뱅크-3 납핫셀 배치도 및 측면도 .....	52
3. 그림3. 납핫셀 전면판넬 구성도 .....	53
4. 그림4. 납핫셀 후면판넬 구성도 .....	54
5. 그림5. 납핫셀 상부판넬 구성도 .....	55
6. 그림6. 납핫셀 하부판넬 구성도 .....	56
7. 그림7. 납핫셀 개념도 .....	57
8. 그림8. 뱅크-2 납핫셀 배치도 및 측면도 .....	58
9. 그림9. 납핫셀 전면판넬 구성도(뱅크-2) .....	59
10. 그림10. 납핫셀 후면판넬 구성도(뱅크-2) .....	60
11. 그림11. 납핫셀 상부판넬 구성도(뱅크-2) .....	61
12. 그림12. 납핫셀 하부판넬 구성도(뱅크-2) .....	62
13. 그림13. 동위원소 생산시설 방사선 감지기 설치 위치도 .....	63
14. 그림14. 수력 이송 장치 배관 및 계장도 .....	64
15. 그림15. 핫셀 소화설비 배관 및 계장도 .....	65

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구개발의 목적과 범위

### 1. 연구개발의 목적

우리나라에서는 1962년 연구로 1호기(TRIGA Mark-II)가 최초로 도입되어 방사성 동위원소를 생산하게 되었다. 그동안 동위원소의 이용범위와 이용기술은 급속도로 발전되어 현재는 연간 평균 100KCi에 이른다. 방사성 동위원소에서 방출되는 방사선은 미량으로도 강한 투과력을 가지며 거의 질량을 갖지 않는 에너지원으로서 산업, 의료, 식품 과학연구 등에 크게 기여하여 왔다.

1996년 현재 1230여개의 동위원소 이용업체에서 방사선 비파괴 검사, 동위원소 게이지, 산업용 방사성 추적자, 체내투여 진단 및 치료, 체외 이용진단, 체외 방사선조사 치료, 방사선 멸균, 방사선 식품조사, 방사선 유전공학연구등 여러 가지 분야에서 이용되어 산업기술 발전과 생산성 향상, 공해방지, 산업안전, 의료기술 발전과 복지구현, 식량증산과 식품보전, 기초과학 발전등 산업 전반에 걸쳐 기여도는 상당히 크다고 볼 수 있다. 뿐만 아니라 산업 및 경제 발전과 더불어 방사선 및 방사성 동위원소 어용 영역은 지속적으로 확대되고 있는 실정이다.

그러나 우리나라에서는 1963년부터 연구로 1호기를 이용하여 약 10년간, 1974년부터는 연구로 2호기 (TRIGA Mark-III)를 이용하여 동위원소를 생산하여 공급하여 왔으나 그 수량은 미미하였으며, 핵종도 다양하지 못하였다. 연구로 1호기와 2호기는 순수 연구 목적의 원자로로서 중성자속이 높지 않았을 뿐만 아니라 소형 원자로의 한계점과 시설 노후화로 점차 이용의 효율성이 감소되었고, 또한 동위원소 생산용 핫셀들도 연구 시험용으로 설치되어 대량 생산용으로는 적합하지 못하였다.

우리나라의 원자력산업이 급속히 발전되어 원자력 선진국 대열에 참여하게 되자 그동안 연구로 1호기와 2호기의 제한선 한계점과 시설의 노후화로 그 활용성이 점차 떨어져 중형의 연구로 건설이 절실히 요구되었다.

1984년 다목적 연구로인 하나로의 건조사업이 착수되어 약 10년간의 건설기간을 거쳐 1995년 4월 7일 첫 임계에 도달한 후 장시간 시험 운전에 있다. 하나로는 열출력과 열중성자속 밀도가 지금까지 운영해 왔던 연구로 2호기보다도 각각 15배, 10배 이상 높으므로 앞으로는 이를 이용하여 동위원소를 대량으로 생산 공급할 수 있게되어 산업기술, 의료기술, 기초과학, 산업안전, 환경보전 등의 발전을 이룩할 수 있게 되었다.

하나로 건조사업의 일환으로 하나로 이용 활성화를 위한 동위원소 생산시설 건설을 하나로 건설과 함께 추진되어 왔으나 예산상의 문제로 부득히 동위원소 생산 건물과 기본적인 유틸리티설비만 완공되었다.

그러나, 마침 정부에서는 원자력 중장기 연구개발 계획이 수립되어 1992년부터 1996년까지 제 1단계 연구과제로 하나로를 이용한 동위원소 생산설비 개발과제가 채택됨에 따라 하나로 건조사업시 수행치 못한 동위원소 생산설비중 핵심설비인 핫셀과 핫셀에 따른 부대설비들을 개발하여 설치하게 되었다.

## 2. 연구개발 범위

동위원소 생산건물을 비롯하여 콘크리트 핫셀 구조물과 기본적인 유틸리티 설비들은 하나로 건조사업의 일부로 추진되어 건설하였으며, 콘크리트 핫셀의 부속기기들과 납핫셀 및 납핫셀에 관련된 부속기기들은 본 과제에서 수행하였다.

중장기 연구개발과제로 수행한 연구개발 내용과 범위는 다음과 같다.

수행년도	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 ( '92.9~'93.7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 핫셀 기본설계 완료</li> <li>° 외국 기자재 기술조사</li> <li>° 국내 기자재 국산화 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 핫셀 설계 국산화 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 콘크리트 핫셀 : 4기</li> <li>- 납 핫셀 : 17기</li> </ul> </li> <li>° 외국 기자재 기술조사 및 구매발주                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원격조작기 : 11조 (2개/조)</li> <li>- 차폐창 : 11개</li> </ul> </li> <li>° 콘크리트 핫셀용 기기 국산화 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 운반기기 (내부 천장크레인 외 2종)</li> <li>- 동위원소 저장용기</li> </ul> </li> </ul>
2차년도 ( '93.7~'94.7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 납핫셀 6기 국산화 개발</li> <li>° 수력이송 장치 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 납핫셀 국산화 제작 및 설치 : 6기</li> <li>° 수력이송 장치 국산화 개발 설치 (동위원소 시료 조사장치)</li> </ul>
3차년도 ( '94.7~'95.7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 핫셀 보조설비 국산화 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 방사선 감지설비 기술조사 및 개발 설치</li> <li>° 핫셀 소화설비 제작 및 설치                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 콘크리트 (4기) : 4 set</li> <li>- 납핫셀(6기) : 6 set</li> </ul> </li> <li>° 실험기기(Fume hood) 제작설치: 34 set</li> </ul>
4차년도 ( '95.7~'96.7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 납핫셀(11기) 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 뱅크-3에 납핫셀 제작 및 설치 : 11기</li> </ul>
5차년도 ( '96.7~'98.1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 납핫셀용 주기기 기술 조사 및 구매발주</li> <li>° 보조설비 개발</li> <li>° 실험장치 설치</li> <li>° 운반장비 구매</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 납핫셀용 주기기 기술조사 및 구매설치                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원격조작기 : 6조</li> <li>- 차폐창 : 6조</li> </ul> </li> <li>° Co-60 저장조 정수설비 개발 설치</li> <li>° Glove Box 구매 설치</li> <li>° 전동 지게차(2톤) 구매</li> </ul>

## 제 2 절 주요 개발 내용

### 1. 콘크리트 핫셀 개발

국내에서는 최초로 중 콘크리트를 사용하여 대형의 핫셀을 설계에서부터 건설 및 시운전을 순수한 국내 기술로 수행하였다.

그동안 국내 시설로서는 서울의 연구로 2호기의 부속시설인 콘크리트 핫셀과 원자력 병원의 콘크리트 핫셀이 있었으나 이들 모두 외국에서 설계하여 외국 기술자들에 의해 건조되었으므로 그동안 국내에서는 핫셀 설계 기술이 전무한 상태였다.

그러나 그동안 우리나라도 원자력 관련 기술이 급속히 발전한 상태에 있었으므로 동위원소 생산시설을 순수한 국내 기술진으로 건조하겠다는 신념을 가지고 다목적 연구로인 하나로 건조사업의 일환으로 추진하였다.

핫셀의 기본설계와 상세설계를 국내의 현대엔지니어링사와 함께 선진국의 핫셀 설비들을 조사하고 그동안 본 연구소의 동위원소 생산에 종사한 연구원들의 경험을 반영하여 완성하였다.

핫셀의 기본 구조물인 차폐벽체는 비중이 3.5로 철강석을 사용하여 현대건설에서 시공하였다. 이 콘크리트 핫셀은 모두 4기로서 서로 연결된 일체의 구조물로 건조되었으며 2기의 핫셀은 Co-60 생산을, 나머지 2기의 핫셀은 Ir-192 선원을 생산하게 되었다.

핫셀의 주기기인 차폐창과 원격조작기는 국내에서는 제작이 되지 않아 부득히 외국으로부터 도입하여 설치하였고 나머지 모든 기자재들은 국내에서 제작하여 설치하므로써 국산화율을 향상시켰다.

### 2. 납핫셀 개발

납핫셀은 주로 납벽돌을 쌓아 건조하는 것이 일반적인 방법이다. 그러나 납핫셀 설계시 마침 캐나다의 동위원소 판매 전문업체인 RCC-M사에서 납핫셀 건조를 하고 있는 것을 알게되어 방문 조사한 결과 핫셀의 차폐벽체를 철판으로 제작하여 그 내부에 납을 주조하는 방식으로 설계된 것을 발견하게 되었다.

이는 납벽돌을 현장에서 가공하여 쌓는 것보다 훨씬 차폐능력이 클 뿐만 아니라 다량의 핫셀을 제작하기에는 경제적이고 구조적으로 안정되다는 결론을 얻게 되고 국내에서 충분히 제작할 수 있을 것으로 판단되어 캐나다의 설계를 참고하여 우리 실정에 맞도록 여러 가지 검토를 거쳐 수행하게 되었다.

납핫셀도 콘크리트 핫셀과 마찬가지로 차폐창과 원격조작기를 제외하고는 모든 기자재뿐만 아니라 핫셀 구조물도 국내 기술로 제작하여 설치하였다.

### 3. 수력이송장치 개발

수력이송장치는 하나로 수조에 설치되어 있으며, 하나로의 수조수를 이용하여 동위원소 시료 켈슬을 하나로 반사체 구역에 장전 또는 반출하는 장치이다.

이 장치는 국내에서는 최초로 개발된 것으로서 국내 중소엔지니어링사와 함께 개발하게 되었다.

소내에 mock-up 장치를 제작하여 약 1년간의 실험을 거쳐 정격 유량을 분석하고 그에 맞는 펌프와 배관 규격을 선정하였으며, 시료켈슬이 원자로에 장전되어 있는 동안 시료에서 발생하는 열을 계속 냉각시킬수 있도록 2대의 펌프를 병렬로 연결시켜 안전성을 향상시키기도 하였다.

또한 작업자의 안전을 위해 자동제어 기능을 부여하여 일정시간 조사 후에는 시료켈슬이 자동으로 원자로에서 배출되도록 하였다.

### 4. 방사선 감시설비

방사선 동위원소 생산시설 운영시 방사선 구역내에서 근무하는 종사자들의 건강과 방사선 안전을 확보하기 위해 원자력법에서 제한하는 한도치 이하로 유지될 수 있도록 감시하는 설비이다. 대부분의 방사선 검출기기들은 외국에서 도입하였으나 동위원소 생산시설에 가장 적합하고 안전한 방호체제를 갖출 수 있도록 배열하였으며 모든 방사선 측정정보가 전산처리되어 방사선 관리요원에게 전달될 수 있도록 하여 방사선 재

해사고 또는 정상운영시 방사선 종사자가 노출되지 않도록 하였다.

## 5. 기타 설비

핫셀과 관련된 기타 설비로서 Co-60 저장조 정화설비, 핫셀 내부 소화 설비 및 핫셀 주변 실험기기들이 설치되어 운영되고 있다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 외국의 동위원소 생산시설기술 현황

1930년대 싸이클로트론이 발명되어 가속기 계통을 이용한 핵종개발이 인공 핵종의 주류를 이루어 왔으나 가속기 특성상 핵종의 다양성은 있으나 대량 생산은 어려웠다. 미국의 시카고 대학에 세계 최초의 원자로가 가동되면서 가속기에만 의존되었던 인공 동위원소 핵종이 원자로를 이용하여 대량으로 생산 가능하게 되었으나 동위원소 생산에 원자로가 이용되기 시작한 것은 세계 제 2차 대전이 종료된 후부터였다.

1950년대부터 원자력의 평화적 이용계획으로 전력생산과 더불어 동위원소 생산에 대한 연구도 급속히 진전되어 대량생산 체계를 구축하였고, 그 이용분야도 의료 뿐만 아니라, 식품, 산업, 우주개발 등 다양하고 활성화 된 결과 선진국은 일반적인 동위원소 생산은 물론 대선원 제조기술, 핵분열 생성물 분리기술, 특수용 동위원소 생산기술이 개발되어 대량생산 품목은 기업체에서 전담하고 소량의 고부가가치 품목은 국립연구기관에서 생산하고 있다.

연구로, 가속기 등 입자조사 시설들은 초기에는 국립연구기관에서 개발하여 운영되고 있으나 선진국에서는 민간기업으로 하여금 동위원소 생산을 전담하도록 하고 있으며 후진국에서는 아직까지도 국립연구기관이 생산공급하고 있다. 선진국은 동위원소 생산과 관련된 방사성물질 취급 기술, 화학처리 기술 및 자동화 기술 등을 토대로 하여 핵연료 재처리 기술과 방사성 폐기물 처리기술 등이 개발되어 있다.

이들 기술개발의 전단계로는 Fission-Moly 생산기술 및 핵분열 생성물로부터 유용한 동위원소를 추출하는 기술등은 동위원소 생산의 고난도 기술로서 기술개발의 가치가 높다.

방사선원으로 사용되는 대부분의 동위원소는 연구로에서 조사되어 생산되며 치료용선원들도 대부분 연구로를 이용하여 생산된다. 연구로, 가속기 등 입자조사시설들은 초기에는 국립연구기관에서 설치하여 국가적 차원에서 연구 개발한 후 민간기업으로 하여금 상용 생산하도록 하고 있으나 나직까지도 일본을 포함한 후진국은 국립연구기관에서 개발과 생산



을 하고 있는 실정이다. 고 비방사능을 갖는 치료용 선원을 상용으로 공급할 수 있는 국가는 그리 많지 못하고 있다.

동위원소를 생산하기 위해서는 조사시설인 연구로 뿐만아니라 조사된 시료를 처리,분배하는 기본 설비들이 필요하다. 특히 방사능을 충분히 차폐할 수 있는 핫셀이 필요한데 일반적으로 핫셀은 중콘크리트로 건조된 대형핫셀과 밀도가 높은 납으로 건조되고 있다.

핫셀에는 여러 가지의 부속기기들이 설치되는데 특히 납성분의 투명유리창과 핫셀 내부의 시료들을 취급할 수 있는 원격조작기를 제외하고는 대부분 자체 기술로 제작 설치되고 있다. 차폐창과 원격조작기기들은 선진국의 몇몇 국가에서는 개발되어 상용화 되고 있으나 기타 국가들은 이들을 구입하여 핫셀에 설치하여 사용하고 있다.

## 제 2 절 국내 동위원소 생산기술 현황

1962년 우리나라 최초의 원자로인 TRIGA-Mark II 연구로가 가동되면서 동위원소 연구 개발에 착수하여 1967년부터는 외부기관에 I-131, Tc-99m 등 20여종의 핵종을 생산 공급하게 되었다.

이 당시 동위원소를 생산하기 위한 시설은 납 벽돌로 제조된 소형의 납핫셀로서 실험실 규모의 소량의 동위원소만을 생산하였을 뿐이었다. 그후 10년후인 1974년 연구로 2호기 (TRIGA Mark-III) 건설되어 가동됨에 따라 부속시설로서 Co-60를 생산하기 위한 콘크리트 핫셀 2기와 납벽돌로 제작된 소형의 납핫셀 10기가 설치되어 본격적인 동위원소 핵종 개발과 방사성 의약품 개발이 활발하게 이루어졌다. 이 당시 납핫셀에는 현재의 원격조작기인 manipulator가 설치되지 않고 간편한 텅(Tung)을 설치하여 사용하므로써 동위원소의 대량 생산은 불가능하였다.

연구로 1호기 및 2호기의 시설이 점차 노후화되고 소형 연구로의 한계점으로 말미암아 그 효율성이 점차 감소하게 되어 1985년부터 10년간 다목적 연구로인 하나로가 건설되고 1995년 4월 7일 첫 임계에 도달하였으며 1997년부터는 본격적으로 하나로를 이용하여 동위원소를 생산하게 되었다

하나로 건설과 더불어 동위원소 생산시설 건설이 동시에 착수하였으나

하나로 건조사업비의 증액으로 동위원소 생산건물중 일부만이 수행되고 납핫셀 17기를 비롯한 주변 시설들은 1992년 9월 중장기 과제로 전환되어 수행하게 되었다.

다목적연구로 건조사업은 국내 기술을 최대한 활용하여 순수 국내 기술진에 의해 건설하므로 국내 기술자립의 기틀을 마련하고자하는 신념으로 출발하였다. 이러한 의지아래 동위원소 생산시설은 설계에서부터 제작 및 설치를 포함하여 시운전까지도 우리 스스로 수행함에 따라 완전한 기술자립이 되었다고 평가할 수 있겠다. 다만 핫셀에 설치되는 일부 기자재와 방사선 감시설비에 대한 기자재를 제외하고는 핫셀 뿐만 아니라 모든 기기들이 국내에서 개발 제작하여 설치하였다.

### 제 3 절 동위원소 생산시설기술개발 방향과 향후 미치는 영향

원자력 산업의 발전은 초기에 많은 시설과 인원 및 장비가 투입되어야 하고 전문인력이 양성된 후에야 가능하기 때문에 시간이 갈수록 선진국과 후진국의 기술격차는 점차 심화될 뿐만 아니라 고급의 원자력 기술은 핵 확산 금지조약과 관련하여 후진국으로의 기술이전은 엄격히 금지되고 있다. 동위원소 생산기술중 핵분열 생성물로부터 동위원소를 분리, 핵연료 주기기술과 관련한 화학처리 자동화는 자체 기술개발로 할 수 밖에 없다.

지금 우리나라도 10여기의 발전용 원자로를 운영하고 있으며 이곳에서 발생하는 사용후 핵연료 주기완성, 방사성 폐기물 처리등은 국가적 차원에서 해결하여야 할 시점에 와 있으나 이 분야에 대한 기술개발이 확보되지 못한 현실로서는 외국으로부터 관련기술을 도입할 수 밖에 없다. 기술을 도입하더라도 그 기술을 정착하기 위해서는 상당한 시간과 인력이 필요하게 된다.

이러한 약점을 보완하기 위해서 일부 국가에서는 동위원소 생산 관련 연구에 수백명의 인력을 투입하여 핵분열 생성물로부터 유용 동위원소를 분리하는 연구를 활발히 수행하고 있다. 핵연료 주기 전과정에 대한 기술을 확보하고 있는 일본, 중국, 유럽의 일부 국가들은 동위원소 생산기술을 고급화하는 방편으로 핵분열 생성물로부터의 유용 동위원소 분리

기술을 개발하고 있다. 이러한 단계적 기술개발 사례는 핵연료 주기 및 방사성 폐기물 처리기술을 확보하여야 하는 우리에게 좋은 교훈이 되고 있다.

그러므로 국가적 차원의 원자력 이용에 대한 장기계획의 수립이 필요하고 관련기술 확보를 위한 인력양성의 차원에서 동위원소 생산기술 개발을 더욱 활성화하여야 하며, 특히 방사성 물질의 대량 취급기술, 핵분열 생성물의 연속적인 분리체계 확립, 작업안전 및 방사선 피폭을 줄이는 원격조작과 자동화시스템 구축, 화학처리를 위한 내구성 첨단소재 개발등에 초점이 맞추어져야 한다.

따라서 원자력기술 선진국이 되기 위한 기술의 총체적 분석과 거점 기술의 개발이 필요하다고 볼 때 동위원소 생산기술과 설비 기술은 원자력 이용분야의 기초가 되는 기술임을 의심할 바 없다. 즉 동위원소 생산 및 이용기술은 원격조작기술, 방사선 취급기술, 화학적 분리기술 자동화 기술, 설비제작 기술 등 여러 가지 종합적인 복합 기술로서 핵연료 주기 및 방사성폐기물처리 기술개발의 시발점이 될 수 있을 뿐만 아니라 동위원소 및 방사선 이용분야 기술의 모체가 되기 때문이다.

하나로의 높은 중성자속을 이용하여 고품질의 동위원소를 생산할 수 있는 기틀이 마련되었으므로 향후에는 이들 동위원소를 이용하는 각종 계측장비, 비파괴 검사장비등을 개발하여 세계시장에서 경쟁력을 갖는 상품개발 과제에 적극적인 노력이 필요하다. 다양한 동위원소들을 개발하여도 그것을 이용하는 장비들이 개발되지 않을 경우 그 부가가치는 매우 낮을 것이며, 동위원소의 활용에 대한 개발이 없이는 총체적인 동위원소의 선진국이라고는 평가받지 못 할 것이다.

## 제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

### 제 1 절 콘크리트 핫셀 개발

#### 1. 시설개요

다목적연구로인 하나로가 설치된 하나로건물에 인접하여 건설된 동위원소 건물에는 하나로에서 조사된 시료를 정제, 분해하여 산업용 및 의료용 동위원소를 생산하는 설비들이 설치되어 있다.

이 동위원소 건물은 건평이 약 3000평으로서 지하 1층, 지상 2층의 콘크리트 건물이며, 1층의 일부에 4개의 핫셀 뱅크(Hot Cell Bank)로 구분하였다. 핫셀 뱅크-1에는 4개의 대형 콘크리트 핫셀이 설치되어 있고 핫셀 뱅크-2에는 11개의 중형 납핫셀, 핫셀 뱅크-3에는 6개의 중형 납핫셀들이 제작되어 설치되어 있다. 뱅크-4에는 향후 Fission Moly 생산을 위한 납핫셀이 설치될 계획이다.

동위원소 건물은 하나로 건조사업의 일환으로 건조되었으나 예산상의 부족으로 동위원소 생산의 주설비인 핫셀들과 핫셀과 관련된 부속기기 및 설비들은 증장기 연구과제로 수행되었다.

하나로 건조사업비로 추진된 기본설비들은 다음과 같다.

#### 가. 건물 및 구조물

- (1) 건물
- (2) Co-60 저장조
- (3) 저준위 액체폐기물 저장조
- (4) 기본 유틸리티 (전기, 용수, 배수, 건물내의 공기조화시설 등)

#### 나. 콘크리트 핫셀 : 4기

- (1) 콘크리트 차폐 구조물
- (2) 원격조작기 (Manipulator) : 10조 (2개/조)
- (3) 차폐창 (Radiation Shielding Window) : 5개
- (4) 주변 기본 유틸리티

#### 다. 납핫셀

- (1) 설치 공간 확보
- (2) 주변 기본 유틸리티 설비

## 2. 설계내용

동위원소 건물내의 뱅크-1에는 중콘크리트(밀도 3.5)로 건조된 4개의 대형 핫셀이 서로 연결되어 일체의 구조물로 되어 있다. 이 핫셀들은 Co-60과 Ir-192 동위원소를 생산하기 위해 마련되었으며 각 핫셀들은 상자형으로서 전면, 뒷면, 측면, 상부는 그 두께가 1.2m이고, 핫셀간 벽체의 두께는 1.0m이다.

이들 핫셀들은 지하실에 핫셀을 지지할 수 있는 직사각형의 콘크리트 구조물 상부에 설치되어있다. 사진 1과 2는 콘크리트 핫셀의 전면과 후면을 보여주고 있다.

핫셀 전면에는 핫셀의 내부를 관찰 할 수 있도록 납으로 제작된 투명창과 동위원소 시료 및 선원을 취급할 수 있는 원격 조작기가 설치되어 있으며, 핫셀 내부의 기기들을 작동할 수 있는 제어판, 핫셀내부에 각종 유틸리티(용수, 배수, 압축공기, 가스)를 공급 조절 할 수 있도록 밸브가 설치되어 있다. 뿐만 아니라 소형의 기기 또는 부품을 핫셀내로 넣을 수 있는 통구가 마련되어 있으며 사용하지 않을 때에는 벽체 두께와 동일한 차폐능력이 있는 납으로 제작된 플러그(plus)가 끼워져 작업자의 방사선 피폭을 방지하고 있다.

핫셀 뒷면 벽체에는 핫셀 내부에 설치될 대형의 기기의 반입 또는 내부 기기들의 점검 및 보수를 위해 작업자가 출입할 수 있도록 대형의 문이 설치되어 있으며 이 문은 모터 구동형으로 뒷면에 설치되어 있는 제어판에 의해 작동된다. 그러나 이 문은 핫셀 내부의 방사선/능 준위가 250mrem/hr 이상이 될 경우에는 제어판에 연동되어 문이 열리지 않도록 설계가 되어 작업자의 안전을 향상시켰다.

핫셀 내부에는 2톤 용량의 크레인이 설치되어 있어 4개의 핫셀에 공용으로 사용할 수 있도록 하였으며, 내부 크레인이 핫셀간 이동이 용이하도록 핫셀 내부벽면 상부는 개방되어 있다.

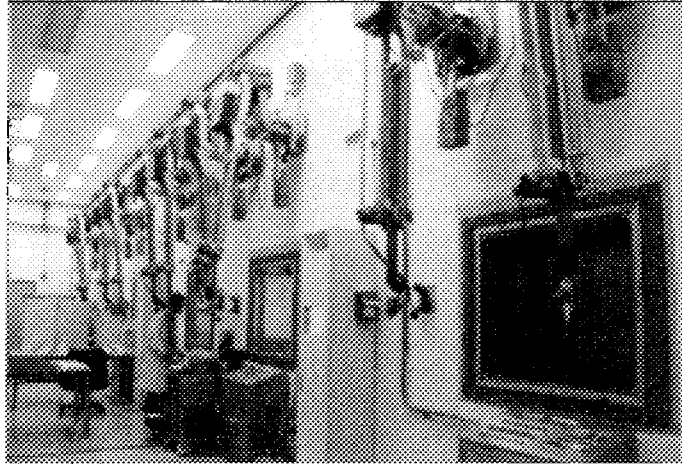


사진 1. 콘크리트 핫셀 전면

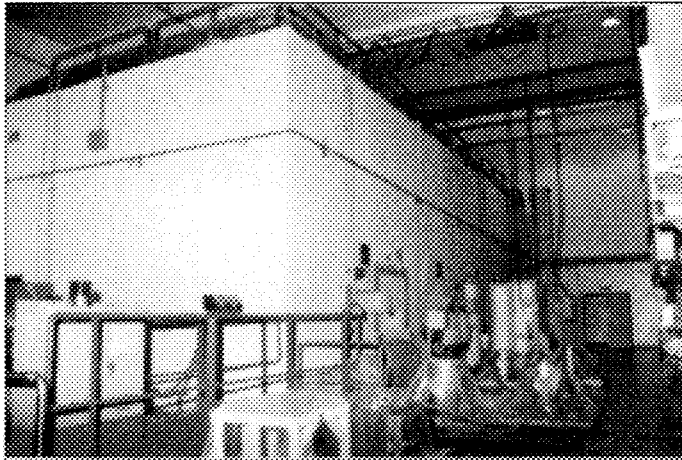


사진 2. 콘크리트 핫셀 후면

1번 핫셀 옆에는 Co-60 선원 저장조가 설치되어 있는데 1번 핫셀과 저장조에는 Co-60 선원이 핫셀 내부로 인입 및 인출될 수 있도록 통로가 있어 양동이(Bucket)로 이 일을 할 수 있도록 하였으며 양동이를 이송할 수 있는 호이스트 1대가 핫셀 내부에 설치되어 있다.

3번 핫셀에는 Ir-192 시료 및 선원을 인입 및 방출 할 수 있도록 핫셀 하부의 한 모퉁이에 직사각형의 긴 웅덩이(pit)가 있고 그 안에는 유압 테이블(Hydraulic Table) 1대가 설치되어 시료 또는 선원용기가 핫셀 하부를 통해 내부로 이송될 수 있도록 하였으며, 이 테이블은 전진, 후진, 상하 운동이 가능하다.

핫셀간 동위원소 선원의 상호 이동이 가능하도록 셀간 문이 핫셀 내부 벽체마다 뚫어져 있으며 이 통로 양측에는 납으로 된 차폐문이 설치되고 이 문은 도르레를 이용한 Weight Balance에 의해 쉽게 작동 할 수 있도록 하였다.

또한 각 핫셀의 상부에는 핫셀 내부로 공기가 유입될 수 있는 환기통이 설치되어 있으며 환기통에는 예비필터, HEPA 필터가 설치되어 핫셀 주변의 깨끗한 공기가 핫셀로 주입되도록 하였다. 뿐만 아니라 핫셀 내부의 오염된 공기는 핫셀 하부에 설치되어 있는 배기통으로 배출되는데 일차적으로 분진형태의 오염된 공기를 걸릴 수 있도록 예비필터가 설치되어 있고 이 필터는 원격조작기에 의해 교체할 수 있다.

핫셀 내부의 조명을 위해 각 핫셀마다 헤룸등과 백열등이 설치되어 있고 이들의 조작은 역시 핫셀 전면에 설치되어 있는 제어판에서 작동된다.

각 핫셀에는 내부에서 발생하는 화재를 진압하기 위한 소화 설비가 있으며 화재를 감지하기 위한 화염감지기와 연기감지기가 설치되어 핫셀 전면 벽체에 부착된 하론 용기의 하론 가스로 화재를 진압 할 수 있도록 하였다.

콘크리트 핫셀의 용도와 사양은 다음과 같다.

핫셀번호	취급선원	용도	내부크기 (길이 x 폭 x 높이, mm)
C1	Co-60	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 용기의 개봉</li> <li>° 시료 분류</li> <li>° 켈셀 봉입 및 밀봉</li> </ul>	3800 x 2500 x 4500
C2	Co-60	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 켈셀 2차 밀봉</li> <li>° 시험 및 제염</li> <li>° 선원 강도 측정</li> <li>° 반출</li> </ul>	4300 x 2500 x 4500
C3	Ir-192	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 용기반입 및 인출</li> <li>° 시험 및 제염</li> <li>° 선원강도 측정</li> </ul>	2800 x 2500 x 4500
C4	Ir-192	<ul style="list-style-type: none"> <li>° 용기 개봉</li> <li>° 시료 분류</li> <li>° 켈셀 봉입 및 밀봉</li> <li>° 저장</li> </ul>	2800 x 2500 x 4500

### 3. 핫셀 부속기기

핫셀 벽면과 핫셀 내·외부에 설치되어 있는 기기들 다음과 같다.

#### 가. 차폐창 (Radiation Shielding Window)

핫셀 전면 벽체의 중앙에 설치되어 핫셀 내부를 관찰 할 수 있는 투명 창으로서 핫셀을 이루고 있는 벽체 이상의 차폐 능력을 가지고 있다. 일반적으로 차폐창은 납을 첨가한 투명 유리로서 광투과율(30%)이 일반 유리보다는 낮으나 납이 함유되어 있어 방사선/능에 대한 차폐능력이 높다. 시계 각도(View angle)를 높이기 위하여 2 또는 3장을 겹치게하고 사용 또는 취급중 납이 함유되어 흠집이 쉽게 나기 때문에 양쪽 cover glass로서 강도가 높은 유리를 던되어 조립하였다.

cover glass는 빛의 반사를 최소화 하기 위해 내반사(anti-reflection)



피막(coating)이 되어있다.

1번, 3번 4번 핫셀에는 가로 860mm, 세로 600mm 크기의 차폐창 1개씩 이 설치되어 있으며, 2번 핫셀은 내부가 타 핫셀보다 크기 때문에 가로 660mm, 세로 600mm 크기의 차폐창 2개가 설치되어 핫셀 내부 전체를 관찰 할 수 있게 하였다.

#### 나. 원격 조작기 (Manipulator)

원격조작기는 핫셀 내부의 방사성 물질을 원격으로 취급하기 위한 조작 기기로서 핫셀 외부에서 작업자의 손의 활동을 핫셀 내부의 조작기 끝단 부위에 그대로 전달하는 일종의 로봇 팔이다.

그러나 외부 작업자의 손과 팔의 활동이 제한되어 있으므로 작업자 손의 활동이 멈춘 상태에서도 조작기 끝단 부위의 활동범위를 보다 넓히게 할 수 있도록 X, Y, Z 축으로 전기적 스위치 작동만으로 가능하게 하였다. 원격조작기는 핫셀전면 바닥에서 3.05m 상부 벽체에 설치되어 있으며 최대 취급용량은 23kg이고, 작업 범위는 핫셀 내부 전체 어느 곳에서도 작업가능할 수 있도록 하였다.

#### 다. 출입문 (Rear dorr)

대형의 출입문이 설치되어 있는데 이 출입문은 하부에 바퀴가 달려 있어 핫셀 뒷면 벽체에는 모터의 구동으로 개폐가 된다. 이 출입문은 폭 1,100mm, 높이 2,100mm 이며 두께는 핫셀 벽체 두께와 동일한 1,200mm이나 사각 모서리 부분은 차폐능력 향상을 위하여 납 막대기를 넣고 밀도 3.5인 중콘크리트로 채워 제작하였다. 이 출입문은 핫셀 뒷편에 설치되어 있는 제어함의 열림, 닫힘 스위치로 작동되며 속도를 분당 2m로서 서서히 개폐가되어 안전사고에 대비하였다.

특히 출입문을 열 경우에 핫셀 내부의 방사선 준위가 시간당 250밀리렘 이상일 경우에는 열림 스위치를 눌러도 열리지 않도록 핫셀 후면 벽체에 설치된 방사선 감지기와 연동되어 작업자의 방사선 피폭을 예방하였다.

#### 라. 내부 천장 크레인 (Over head crane)

4기의 핫셀 내부에는 1개의 인셀 크레인이 설치되어 모든 셀에 이용되고 있다. 이 크레인은 각 셀 내부에 설치되어 있는 동위원소 저장용기의 차폐두껍을 열고 저장된 동위원소를 들어 올리거나, 핫셀 내부에 설치되어 있는 중량의 기자재들을 취급하는데 활용된다.

또한 동위원소 시료 운반용 용기(cask)의 두껍을 조작하기 위해 사용되기도 하며 최대 취급 용량은 2통이다.

#### 마. 양동이 호이스트 (Bucket hoist)

1번 핫셀 내부에는 0.5통의 양동이 호이스트 1대가 설치되어 Co-60 저장조에서 시료 또는 동위원소를 핫셀 내부로 이송 또는 배출시키는데 이용된다.

#### 바. 유압이송 테이블 (Hydraulic lifting table)

3번 핫셀 뒷면 하부 pit에는 유압이송 테이블 1대가 설치되어 있다. 이 테이블은 하나로에서 조사된 동위원소 시료를 담은 이송 용기를 핫셀 내부로 진입하기 위해 전.후.상.하 운동이 가능한 장치이다. 이송된 용기는 테이블에 올려져 핫셀 내부 바닥의 개구부를 통해 셀내로 진입하게 된다. 또한 셀내에서 생산된 동위원소를 운반용기에 담아 핫셀 외부로 반출 할 경우에도 사용되고 있으며 취급용량은 최대 5톤이다.

#### 사. 동위원소 저장용기

동위원소 생산작업중 셀 내부로 작업자가 출입할 필요가 있을 경우에 생산중인 동위원소를 일시 또는 장시간 보관할 수 있는 용기로서 방사선 차폐가 될 수 있도록 납으로 주조된 원형 용기로서 핫셀 내부 작업대 아래 핫셀마다 1대씩 설치되어 있다.

## 아. 작업대

핫셀 내부에는 동위원소를 취급할 수 있도록 평면의 작업대가 설치되어 있다. 이 작업대는 철 구조물로 제작 설치되었으며 상판은 스테인레스 강판으로 씌워져 있다.

설치 위치는 바닥으로부터 900mm 높이이며 제염이 용이하도록 곱게 연마(polishing)되어 있다.

## 제 2 절 납 핫셀 개발

### 1. 설계내용

동위원소 건물내에는 납핫셀이뱅크-2에 11기, 뱅크-3에 6기가 설치되어 있다. 이들 방의 한 가운데에 납핫셀들을 서로 연결하여 설치한 후 핫셀 뒷면 지역은 동위원소 시료 또는 장치들을 설치하기 위한 작업구역(Service Area), 핫셀 전면지역은 동위원소 생산 작업을 위한 작업자의 운전구역(Operation Area)으로 구분되어 있으며, 공조시스템의 공기흐름이 운전구역에서 작업구역을 거쳐 핫셀 내부로 이동되도록 되어 있다. 이는 핫셀 내부의 오염된 공기가 핫셀 외부로 누출되어 작업자의 방사선으로부터의 피폭을 방지하기 위함이다.

각 핫셀들에는 원격조작기, 차폐창 등 설치를 위한 각종 관통구들이 있으며, 조명설비, 소화설비, 용수, 배수, 가스공급관, 전기(220V, 110V) 등이 공급되고 있다.

각 핫셀에 설치되어 있는 주요기기들은 다음과 같다.

#### 가. 원격조작기 (Manipulator)

핫셀당 2개의 원격조작기가 바닥에서부터 2,160mm 높이에 설치되어 작업자를 방사선으로부터의 피폭을 예방하였으며 최대 취급용량은 8kg이다.

이 원격조작기의 작업범위를 핫셀 내부 전체 공간으로 하기 위해 전기

적인 모터를 사용하여 원격조작기의 암이 X축과 Z축 방향으로서는 작업자의 팔의 이동이 없이 스위치 조작으로도 운동될 수 있도록 하였다.

#### 나. 차폐창(Radiation Shielding Window)

핫셀 전면의 중앙에 바닥으로부터 1,450mm 위치에 설치되어 내부 공간을 관찰할 수 있도록 하였으며, 광투과율이 50% 이상인 납이 함유된 투명창으로서 방사선 차폐능력이 핫셀의 차폐 벽체 이상이 될 수 있도록 하였다.

#### 다. 제어함(Switch Box)

핫셀 전면의 차폐창 바로 아래에 핫셀에 설치되어 있는 구동장치, 전기, 조명 등을 조작하기 위한 각종 스위치들이 부착된 제어함을 설치하여 작업자의 편의를 도모하였다.

#### 라. 공기 인입여과기 (Inlet Filter)

작업구역의 공기가 핫셀 내부로 진입되기 전에 더러운 공기를 여과시키기 위하여뱅크-II의 핫셀 상부에는 예비 여과기, HEPA 여과기가 내장된 여과기함 (filter box)을 각 핫셀마다 설치하였고,뱅크-III의 핫셀에는 예비여과기, HEPA 여과기, 탄소(Charcoal) 여과기가 내장된 여과기가 각 핫셀에 설치되었다. 이 여과기의 역할은 핫셀로 유입되는 공기를 여과할 뿐만 아니라 동위원소 생산 작업중 핫셀의 공기를 배출시키는 배기팬이 작동되지 않을 경우에 핫셀 내부의 오염된 공기가 작업구역으로 역류될 경우 오염된 공기를 여과하기도 한다.

또한 셀 내부의 공기가 핫셀로 배출되기전 일차적인 여과를 위해 예비 여과기가 핫셀내에 설치되어 있다. 핫셀 내부의 부압은 항상 20mmHg 이상되도록 되어 있으며 핫셀전면 상부에 차압계가 부착되어 있다.

또한 핫셀 상부의 방천정과 연결된 벽체에는 각 여과기들의 막힘을 알 수 있도록 차압계가 부착되어 있어 여과기의 교체시기를 알 수 있도록

하였다.

마. 유압테이블(Hydraulic Lifting Table)

C6, C10, C13, C17 및 C19 핫셀 하부에 설치되어 동위원소시료 및 선원과 폐기물들의 반출입시 운반용기를 핫셀 하부로 진입시키는데 사용되며 취급용량은 최대 2톤, 수직이동거리는 650mm, 이송 속도는 0~250mm/분이며, 유압으로 작동된다.

바. 회전 호이스트 (Swival Hoist)

C6, C10, C13, C17 및 C19 핫셀 내부에 설치되어 핫셀하부로 진입된 동위원소 이송용기 또는 폐기물 이송용기의 두껍을 열거나 닫기 위해 사용되며, 최대 취급용량은 50Kg, 인양속도 1.5m/분, 회전반경은 665mm이다.

사. 고정호이스트 (Fixed Hoist)

C5, C9, C12, C18 및 C21 핫셀 내부에 설치되어 동위원소 선원용기의 두껍을 들어올리는데 사용되며, 최대 취급용량은 500Kg, 인양속도 1.5m/분이며 모터로 구동된다.

아. 선원저장용기

핫셀의 하부 바닥에 설치되어 있으며, 생산중에 있거나 생산 반출후 남은 선원을 저장하기 위한 납으로 구조된 원형의 선원저장 용기이다.

자. 셀간문 (Pass-thru Door)

각 핫셀들은 서로 연결되어 이루어져 있으므로 선원들이 셀간 이동이 용이하도록 셀간 벽체에 구멍이 뚫어져 있다. 그러나 선원의 이동이 없

을 때에는 벽체의 차폐능력과 동일하거나 그 이상의 차폐체가 필요하다. 그래서 선원 이동용 관통구 양측면에는 납으로 구조된 직사각형의 판형 구조물이 미닫이 형태로 설치되어 있다.

#### 차. 조명설비

각 핫셀에 조명기구로서 백열등이 2개, 수은등 2개씩 설치되어 있으며 핫셀 상부에 관통구를 두어 관통구의 차폐플러그에 매달려 있도록 하여 전구의 교체를 셀 내부에 사람이 출입하지 않고 핫셀 상부에서 쉽게 할 수 있도록 하였다.

#### 카. 액체 폐기물 이송관 설치

각 핫셀 내부에는 동위원소 선원 생산시 발생하는 액체 폐기물을 폐기물 저장 탱크로 이송될 수 있도록 끝부분이 갈대기 모양인 2개의 폐기물 이송관이 설치되어 있다. 한 개는 중준위 액체폐기물, 나머지는 저준위 액체 폐기물 이송을 위해 사용된다.

#### 타. 유틸리티 설비

각 핫셀에는 압축공기, 용수급/배수관, 가스공급관이 설치되어 있으며 핫셀 전면 하부에 볼밸브를 설치되어 조절된다. 그리고, 핫셀 내부의 전기가 요구되는 기기들을 위하여 220V, 110V의 전기 콘센트가 2개씩 설치되어 있다.

각 핫셀들의 용도와 제원은 아래와 같다.

핫셀번호	취급선원	용도	내부크기 (길이 x 폭 x 높이, mm)
C5	C-14	생산 및 처리	2360 x 1360 x 1475
C6	C-14	반출입	1560 x 1360 x 1475
C7	CR-51	생산 및 처리	1560 x 1360 x 1475
C8C	S-35	생산 및 처리	1560 x 1360 x 1475
C9	P-32	생산 및 처리	1560 x 1360 x 1475
C10	MISC	반출입	1560 x 1260 x 1475
C11	Fe-59	생산 및 처리	1560 x 1260 x 1475
C12	Au-198	생산 및 처리	1560 x 1260 x 1475
C13	Mo-99	생산 및 처리	1560 x 1260 x 1475
C14	Mo-99	소독	1560 x 1260 x 1475
C15	Tc-99m	표지화합물	1560 x 1360 x 1475
C16	I-131	표지화합물	1460 x 1460 x 1475
C17	-	R/D	2360 x 1360 x 1475
C18	I-131	생산 및 처리	1460 x 1360 x 1475
C19	I-131	반출입	1460 x 1360 x 1475
C20	I-125	생산 및 처리	1460 x 1360 x 1475
C21	I-125	분배	1460 x 1360 x 1475

## 2. 납핫셀의 제작

중장기 과제 시작시에는 17시의 핫셀을 모두 동시에 제작하여 설치할 계획이었으나, 2차년도 ('93년도)의 예산지원이 충분하지 못하여 부득이 분할하여 발주할 수 밖에 없었다. 그래서 2차년도에 예산에 맞추어 벵크-3에 설치되는 6기의 핫셀을 공개입찰 방식으로 제작하게 되었다.

그러나 국내에서는 핫셀을 제작한 경험이 있는 제작업체가 없어 입찰 참가업체에 기술평가를 실시하였으며 기술평가에 합격한 업체들로 하여금 가격입찰을 거쳐 최소가를 제시한 반도기계(주)가 선정되었다.

특히 납핫셀을 이루고 있는 기본 구조물인 납 판넬 제작은 당시 납주조 전문회사인 대신금속에서 납 주조를 하도록 하고 감마 검출기로 제작

조 전문회사인 대신금속에서 납 주조를 하도록 하고 감마 검출기로 제작된 판넬을 전량 검사한 결과 설계시 계산된 차폐능력 이상의 결과를 얻기도 하였다.

나머지 11기의 핫셀은 4차년도인 '95년말에 동일 업체로 하여금 제작토록하여 제작상의 시행착오를 줄였으며, 편의성을 향상시키기 위해 일부 설계변경도 하였다.

편의성을 향상시킨 설계변경으로는 핫셀간 벽체에 마련된 시료 통로구의 차폐문을 과거의 수동으로 개폐토록 한 것을 핫셀 뒷면에 전동기를 부착하여 핫셀내부에 설치된 스크류(screw)에 의해 차폐문을 열고 닫게 하였다. 또한 핫셀 하부에 설치되어 있는 유압식 작업대 상부에 동위원소 시료 이송용기를 쉽게 올려놓기 위해서 레일을 설치하고 레일 상부에 cart를 설치하였다.

#### 가. 납판넬 제작

각 핫셀은 6개의 납판넬로 구성되며, 납판넬은 밀면의 두께가 10mm인 철판의 네모서리에 채널을 세워서 용접하여 윗면이 개방된 상자형으로 만든다. 그리고 설계된 도면에 따라 판넬에 구멍을 뚫고 준비된 관통구들을 용접으로 설치한다. 이렇게 준비된 판넬에 3% 안티몬이 함유된 순수한 납을 끓여 부어 서서히 냉각시킨다. 순수한 납은 강도가 낮아 구조물로서 적합치 못하기 때문에 안티몬을 첨가하였다.

납주조시 용해된 납이 응고될 때 열에 의한 판넬상자의 변형이나 납이 응고되면서 발생하는 크고 작은 기포들을 충분히 배출시키기 위해 서서히 응고시켰다.

#### 나. 핫셀 지지 구조물 제작

뱅크-3의 핫셀 설치를 위한 지지 구조물은 상판의 두께 25mm, 폭 2020mm, 길이 10960mm의 철판으로서 크기가 150mm x 150mm, 두께 6mm, 길이 760mm인 4각형의 철 기둥에 용접으로 부착되고 이 기둥은 방 바닥에 이미 건설시 매설되어 있는 보강판에 앵커볼트로 고정되어 있다.



뱅크-2의 핫셀구조물도 뱅크-3의 구조물과 동일한 형태이나 상판의 길이는 19960mm이다.

#### 다. 라이너(liner) 제작

핫셀 내부에서 방사성 동위원소 생산시 발생하는 오염된 공기가 외부로 누출되는 것을 방지하고 내부표면의 오염을 최소화하며 오염시 제염작업을 용이하게 하기 위하여 두께 5mm인 스테인레스 강판으로 셀 내부를 라이닝하였다.

### 3. 납핫셀 설치

핫셀이 설치될 방에는 납판넬과 같은 중량물을 취급할 수 있는 장치가 없어 5톤 용량의 체인 블록 2대를 가설하여 중량물을 취급하였다. 지지구조물 상부에 핫셀 바닥 판넬을 먼저 설치하고 측판설치에 이어 핫셀 전·후면 패널을 볼트로 고정한 후 핫셀 내부의 스테인레스 라이닝 상자를 설치하고 마지막으로 상부판넬을 설치하였다. 핫셀 구조물 설치가 완료된 후 유틸리티 배관과 공기 덕트, 각종 기기와 플러그를 설치하였다. 그러나 기기 설치시 핫셀 하부에 설치되는 유압테이블 제작이 핫셀 지지구조물 설치 시점보다 늦어져 테이블 설치작업에 상당한 어려움이 있었으며 많은 작업시간이 소요되었다. 그러나 후에 제작된 뱅크-2의 납핫셀 설치시에는 유압테이블을 먼저 설치하여 작업의 불편을 해소하였다. 핫셀 구조물과 각종 배관이 설치된 후 전기 계장작업이 손차적으로 수행되었으며 고가인 원격조작기와 차폐창은 마지막에 제작업체의 감독하에 설치하였다.

그러나 뱅크-2의 원격조작기와 차폐창 설치시 외국의 제작업체 기술자의 감독하에 일부는 설치하였으나, '96년도 과제에서 구입한 원격조작기 12개와 차폐창 6개는 외국의 기술자 도움이 없이 순수하게 자체인력으로 설치하여 향후 기기의 점검 및 보수에 도움이 될 수 있도록 하였다.

사진 3과 4는 뱅크-3에 설치된 납핫셀의 전경이며, 사진 5와 6은 뱅크-2에 설치된 납핫셀의 전경이다.

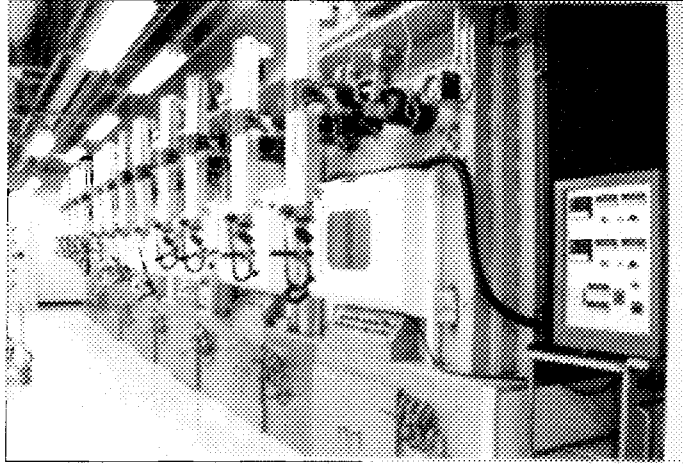


사진 3. 뱅크-3 납핫셀(6기) 전면 전경

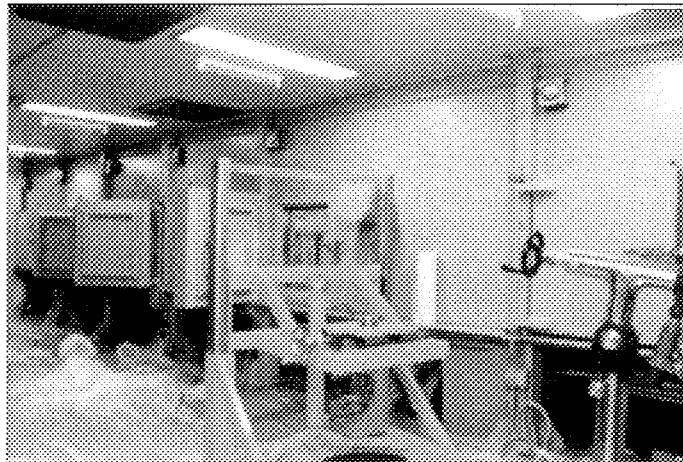


사진 4. 뱅크-3 납핫셀(6기) 후면 전경

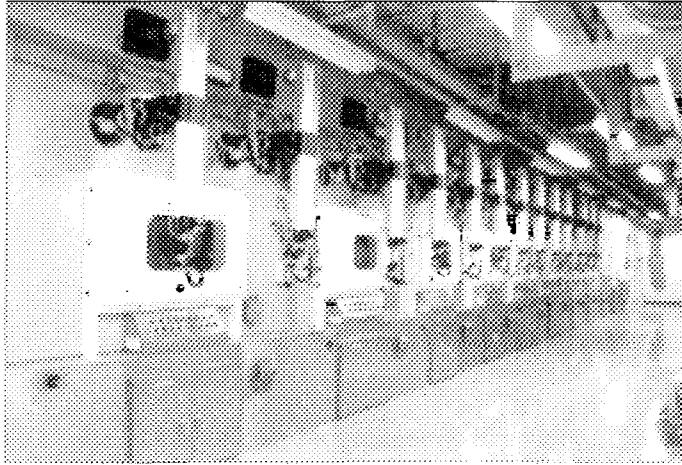


사진 5. 뱅크-2 납 핫셀(11기) 전면 전경

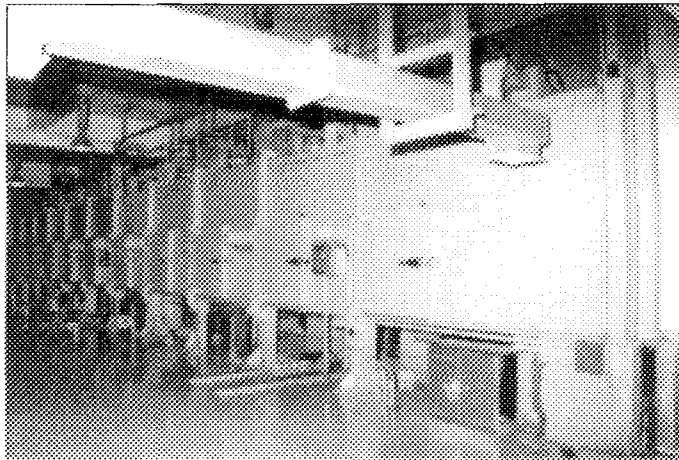


사진 6. 뱅크-2 납 핫셀(11기) 후면 전경

#### 4. 핫셀 검사

납핫셀의 제작 및 설치검사는 승인된 품질보증계획서에 따라 각 공정별로 품질검사원에 의해 수행되었다. 특히 핫셀의 가장 중요한 방사선 누출검사는 납주조 후 제작공장에서 감마스캐닝검사를, 설치 후에는 설치현장에서 납판넬의 연결부와 관통부에 대해 Co-60 선원을 사용하여 방사선 차폐검사를 수행하였다. 검사결과 설계시 계산된 차폐능력 이상의 결과를 얻게 되었다.

##### 가. 제작검사

###### 1) 납판넬 차폐능검사

납핫셀의 기본 구조물이며 방사능 차폐체인 납판넬에 대해 차폐능 검사를 납주조 공장인 제작 현장에서 수행하였다. 그러나 납핫셀 설치후에도 작업자의 안전을 위해 납판넬과 납판넬의 연결부위, 차폐창과 판넬 사이, 기기 및 플러그가 설치되는 모든 관통부에 대해서는 차폐능 검사를 설치현장에서 별도로 재 수행하였다. 납판넬의 차폐능 검사는  $\gamma$ -scanning 방법으로 수행하였으며,  $\gamma$ -scanning 장비는 Single channel NaI counting system과 2.7 Ci의 Co-60 선원을 사용하였고 판넬의 옆으며 패넬의 한면에 선원을 부착하고 그 반대편에 섬광검출기로 투과한 방사선량을 측정하여 설계시 계산된 결과를 만족시키는지를 평가하였다.

##### 가) 평가기준 설정 및 장비교정

검사를 수행하기 전에 검사장비의 교정과 측정된 값의 평가기준이 마련되어야 한다. 그러므로 교정 및 평가기준을 설정하기 위해 검사대상물과 동일한 재질로서 내부결함이 없는 참고블럭(reference block)을 준비하였다. 검사 대상물인 납판넬의 두께가 100mm, 150mm 2종류이므로 참고블럭 및 평가기준도 2가지로 준비되어야 한다. 100mm 두께인 납판넬을 사용하여 두께 90mm에서 110mm 까지의 방사선 투과량을 측정하여

평가시 참고값으로 설정하였다. 150mm 두께의 납판넬을 검사하기 위해서는 같은 방법으로 140mm에서부터 160mm까지 매 2mm마다 방사선 투과량을 측정하여 평가기준으로 정하였다. 6기의 납핫셀을 구성하기 위한 총 판넬은 31개가 소요되나 하루에 검사 가능한 판넬수는 2개이다. 그러므로 기기의 상태와 주변조건의 변화를 고려하여 매검사시 장비를 교정할 필요가 있다. 장비의 교정은 Co-60 점검선원 (0.82 Ci)를 NaI 검출기 상부에 놓고 Singlechannel analyzer로 Co-60 에너지 스펙트럼인 1.17MeV와 1.33MeV의 피크 에너지를 찾는다. 이때 Single channel analyzer의 고준위와 저준위 구간을 조정할 때 계수치가 최대가 되는 점을 일치시키면 투과력이 큰 1.17MeV의 스펙트럼에 해당한다. 1.17MeV 피크에너지의 LLD가 3.48~3.52, 계수치가 300~330이 될 때까지 반복 수행하여 장비를 안정시키고 Window 값을 0.04로 설정한다. 상기 작업을 반복 수행하여 계수치가 5% 이내로 계수되면 장비교정이 완료된 것이다.

## 나) 측정 및 결과

판넬에 대한 검사 측정지점은 검출기의 측정 가능 범위인 75mm x 75mm로 구획하여 전표면에 걸쳐 검사하였다. 그러나 판넬의 끝단부위와 개구부 주위의 약 100mm이내의 구간에는 선원과 검출기와의 간섭 또는 선원으로부터의 방사능이 직접 검출기에 검출되므로 제외시켰으며 이들 부위에 대해서는 판넬이 모두 조립되어 설치가 완료된 후 현장에서 별도의 방법으로 차폐검사가 수행되었다.

판넬 검사결과 100mm 두께로 제작된 판넬의 경우 측정평가된 두께는 최소 96mm, 최대 106mm로서 설계기준치인 납 100mm의 최소 차폐두께값 91mm를 만족시키며, 150mm에 두께로 제작된 판넬의 측정평가 두께는 최소 148mm, 최대 163mm로서 납 150mm에 대한 최소 차폐 요구치 141mm를 만족시키므로 충분한 차폐능력을 보유한 차폐체로 검사되었다.

## 2) 각종 기기 및 플러그 검사

각종기기 및 플러그 등에 대한 제작검사는 제작 공정별로 수립된 검사 계획서에 따라 품질검사원에 의해 다음과 같은 검사들이 수행되었다.

- (가) 자재검사
- (나) 용접검사
- (다) 비파괴검사 (액체 침투 탐상시험)
- (라) 치수검사
- (마) 육안검사
- (바) 도장검사
- (사) 성능시험

## 나. 설치검사

### 1) 납판넬 설치후 차폐능 검사

납판넬을 현장에서 조립 설치한 후 각 관통부에 모든 기기와 플러그를 설치하고 셀 내부에 3.4 Ci의 Co-60선원을 내장시킨 후 핫셀외부에 휴대용 검출기로 방사선 투과량을 측정하였다. 검사부위는 납판넬들이 서로 연결되는 곳으로서 제작시 차폐능검사가 불가능하였던 부위와 각종 관통구 주변이다. 핫셀 외부 벽체의 표면 방사선량은 선원과 계측기 간의 거리에 민감하므로 핫셀내의 선원 위치를 각 측정부위의 표면에서 30mm가 떨어진 위치에 고정시켰으며  $\gamma$ 선량이 많이 나올 수 있는 방향으로 각도를 주었다. 그리고 핫셀 외부에 검출기를 밀착시켜 3회에 걸쳐 측정하였으며 그 측정값을 평균하여 평가하였다. 검사결과 C16 핫셀의 원격조작기 주변과 나머지 핫셀 (C17, C18, C19, C20, C21)에서는 원격조작기 외에 차폐창 주변, 배기덕트주변, 핫셀 뒷문 주변과 핫셀 하부 판넬을 관통한 배관 주변에서 설정치 값 (1.0mR/hr) 이상의 방사선이 측정되었다. 이에 대한 보완 작업을 다음과 같이 수행하였다.

보 수 부 위	보 수 내 용
차폐창 주변	패널의 관통부와 차폐창 틀과의 사이에 납실 (lead wool)을 채움
핫셀 뒷문주변	40mm x 40mm 사각 봉을 문 내부에 부착
핫셀 하부 덕트 주변	핫셀 지지구조물의 4각관인 다리내부에 납볼 (lead ball)을 채움
배관주변	배관주변에 추가 차폐 구조물 부착
원격조작기 주변	원격조작기 설치위치가 2000mm 이상이며 핫셀 내부의 선원과 외부와의 거리인 SDD가 1450mm 이상 보강 불필요

상기의 수정작업을 완료한 후 재검사를 실시한 결과 모든 부위에 대해 설계치 이상의 차폐능 효과가 있음이 확인되었다.

이러한 핫셀 설치후의 문제점들을뱅크-2 핫셀 제작 설치시에는 모두 사전에 보완하므로써 핫셀 설치후 차폐능 검사에서 시행 착오 없이 성공적으로 검사를 수행할 수 있었다.

## 2) 구동 기기 성능시험

핫셀에 설치된 각종 기기들에 대해 작동상태를 점검하여 기술사양서와 설계 요구사항을 모두 만족함을 확인하였다.

# 제 3 절 수력이송조사장치 개발

## 1. 개 요

수력이송조사장치(Hydraulic Transfer System : HTS)는 열출력 30MWt 인 하나로의 방사성동위원소 생산 설비의 일종으로서, 동위원소 시료캡슐을 펌프구동에 의한 수력으로 원자로 반사체구역에 있는 조사관에 장전하여 일정시간 동안 조사시킨 후 인출하여 이송캐스크에 넣는 자동설비이다.

본 설비는 설계, 제작 및 시공을 국내기술로 개발하였으며, 정확하고

안전하게 운전하기 위하여 Programmable Logic Controller와 Computer Aided Operation을 채택하였다.

사진 7은 수력이송장치 기기실과 제어반을 보여주고 있다.

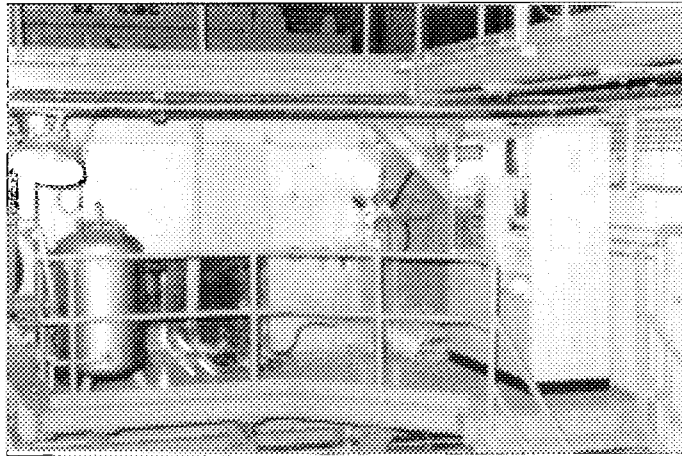


사진 7. 수력이송장치 기기실과 제어반 전경

## 2. 설계특성

HTS의 운전은 기동, 정상운전, 비상운전, 정지의 4단계로 구분할 수 있으며, 정상운전은 다시 수동운전, 반자동운전, 자동운전의 3개 모드로 나누어진다. 시료캡슐의 삽입 및 장전은 반자동운전으로 수행하지만, 조사된 캡슐의 인출 및 캐스크로의 배출은 운전자의 편의와 방사선안전을 고려하여 자동운전으로만 수행되도록 하였으며, 이때 캐스크는 반드시 배출위치에 있고 캐스크 출입문은 닫혀있어야만 자동모드가 작동되도록 연계시켰다. 또한 캐스크 출입문은 캐스크 뚜껑이 닫혀 있을 때만 열리도록 연계되어 있다.

이 장치는 3개의 시료캡슐을 동시에 조사시킬 수 있으며, 조사된 캡슐은 임의의 순서로 인출할 수 있으며, 예비 펌프 2대를 설치하여 조사효율의 극대화와 지속적인 냉각수공급으로 설비의 안전을 확보하였다.



본 설비의 주요 구성품은 다음과 같다.

가. 기기

- (1) 캡슐삽입기, 전송기 및 배출기
- (2) 원자로내에 장착되는 조사관
- (3) 펌프
- (4) 캡슐이송용기
- (5) 용기 이송차 및 레일
- (6) 용기덮개 개폐장치
- (7) 방사선차폐벽
- (8) 캐스크이송차 출입문

나. 계장

- (1) 제어반
- (2) PLC
- (3) PC 및 계통운전용 소프트웨어
- (4) 각종 계측기
- (5) 차폐실내 용기 감시 CCTV

다. 전기

- (1) 차폐실내 조명기구
- (2) 펌프제어함
- (3) 무정전 전원

### 3. 제작 및 설치

가. 방사선조사관(Irradiation Rig Assy.)

시료가 원자로내에서 방사선에 조사되는 곳으로 캡슐을 안정적으로 유지하며 시료캡슐이 장전될 때 충격을 최소화하기 위하여 하부 캡슐멈춤대와 상부 미끄럼판을 두었다. 방사선조사관의 재질은 A1-6061이며, 동심 이중원통관(내관:39mmID x 45mmOD, 외관:6.8mmID x 80mmOD)으로 제작되었다.

#### 나. 캡슐 삽입기/배출기(Loader/Unloader)

캡슐 삽입기와 배출기는 T자의 3방향 플러그형 밸브로서 특수제작하였으며, 전동모타로 자동 또는 수동으로 90° 회전된다. 삽입기의 입구 직경을 28.5mm로 제한하여 규격이상의 캡슐 사용시 캡슐이송관 곡면부분에서 캡슐의 걸림을 방지토록 하였다.

#### 다. 캡슐 전송기(Capsule Transmitter)

5개의 캡슐삽입용 구멍(삽입관, 조사관, 배출관, 대기1, 대기2)이 돌린 회전체를 스탬핑모타로 정밀하게 구동하여 삽입된 캡슐은 조사관으로 보내고, 조사된 캡슐을 임의로 지정하여 배출기로 보내는 장치이며, 캡슐의 역류방지를 위한 캡슐멈춤판을 두었다. 회전부에 근접스위치를 부착하여 회전체의 위치인식이 가능하도록 하였다.

#### 라. 캡슐 통과검출기

캡슐의 위치 인식과 임의의 캡슐을 확실하게 지정하기 위하여 투과형 반도체 레이저 검출기를 캡슐전송기 전후와 캡슐배출기 전단에 설치하였다.

#### 마. 캡슐 이송관

시료캡슐 이송관은 스테인레스 강 304L관 1.25" SCH. 40을 사용하였으며 최소곡률반경은 50cm이다.

## 바. 캡슐 이송용기

용기는 스테인레스 강으로 제작된 이중용기로서 차폐체로는 납을 사용하였으며, 캡슐 배출시 물을 배수하기 위한 S형 배수구가 있으며, 본체와 덮개가 잘 체결되도록 아이볼트를 부착하였다. 차폐두께는 상하 및 측면 모두 최소 15cm이다.

## 사. 펌프

작업수조로부터 계통수를 공급하기 위해 소형 볼류트펌프를 사용하였으며, 이 펌프의 토출유량 및 토출수두는 각각 4.2 l/s와 70m이다. 펌프는 25mm 두께의 강판을 1빔 위에 용접한 강구조 받침판을 만들어 앵커로 펌프실 바닥에 고정시킨 후 진동방지 패드를 장착하여 그위에 설치하였다. 시료의 조사시 발생하는 열을 제거하기 위하여 상시 냉각수가 공급되어야 하므로 100% 용량 펌프 3대를 병렬로 연결하여 원자로 운전중에는 항상 냉각수가 공급되도록 하였다.

## 아. 차폐벽

차폐벽은 이중으로 구성되어 있다. 조사된 캡슐이 통과하는 캡슐이송관, 전송기 및 배출기는 두께 8cm의 납차폐벽안에 설치하였으며, 그 외의 기기들은 두께10cm의 V자형 납벽돌로 된 2차 차폐벽내에 설치하였다.

## 자. 캐스크 출입문

캐스크 출입문은 시료캡슐을 배출기로부터 받기 위한 캐스크 입출입 또는 기기실내 기기들의 점검 및 보수를 위하여 기기실 내부로 드나드는 차폐문으로서 스크류타입의 왕복구동모터에 의해 열고 작동된다.

## 차. 캐스크 이송차

캐스크이송차는 기기실내에서 캐스크를 정확한 배출위치에 정착시키고 배출된 캡슐을 안전하게 받아 나오게하는 이송용 차이며, 이동속도는 0.2 m/s이다. 이송차가 항상 일정한 경로를 이동하도록 바닥에는 이송 레일이 설치되어 있고 정해진 위치에 멈출 수 있도록 제한 스위치가 설치되어 있다.

#### 카. 제어반

이 설비의 계측제어반은 수직자립형 구조로서 운전감판에 설치하였다. 제어반은 2부분으로 분할하여 좌측엔 그래픽보드와 키보드 등 제어장치류, 우측엔 운전용 컴퓨터와 기기실내 캐스크 및 캡슐 감시용 CCTV 관련 기기류가 설치되었다.

#### 타. 제어기

제어기는 486DX2 개인용컴퓨터와 14" 칼라모니터, 프린터, 1시간용 무정전 전원공급장치로 구성되어 있다. 운전용 PC는 통신할 수 있도록 다음과 같은 기능을 갖고 있으며 이러한 기능은 PC 화면상에서 메뉴선택방식으로 운전원이 용이하게 선택할 수 있도록 하였다.

- (1) PC Aided Control Program
- (2) Graphic System Status Display
  - (가) System Flow Diagram
  - (나) Magazine Capsule Status
- (3) System Operating Data Logging
- (4) Isotope Production Logging

#### 파. CCTV 계통

조사된 캡슐이 정확하게 캐스크에 들어가는지를 기기실 밖에서 운전원이 직접 확인하여야 한다. 따라서 캐스크의 위치를 잘 볼 수 있는 곳에

CCTV 카메라를 설치하고 운전원은 수직제어반에 있는 CCTV 모니터를 통하여 기기실 내부를 관찰할 수 있도록 하였다.

#### 4. 성능시험 및 시운전

본 설비의 성능시험은 공장 성능시험과 현장 성능시험으로 구분하여 수행하였다. 기계장치류와 제어반의 성능시험은 공장에서 수행하였고 캡슐이송에 대한 성능시험은 원자로 수조내에 설치된 이송관을 이용하여 현장에서 수행하였다. 그리고 계통조립 후 전체 계통에 대한 성능시험을 수행하였다.

##### 가. 캡슐 이송시험

시료캡슐의 이송시험은 본 설비 개발을 위한 모의 시험기기와 원자로 수조에 설치된 이송관을 연결하여 캡슐의 이송상태 및 유량에 따른 캡슐의 이송속도를 확인하였다.

##### 나. 기기장치류 성능시험

기기장치류의 성능시험은 개별 기기에 대한 공장시험과 조립설치후 현장시험으로 구분하여 2단계로 실시하였다.

##### 다. 전기 및 I&C 계통 성능시험

전기 및 I&C 계통은 공장에서 제어반 성능시험을 수행하였으며, 조립설치후 전체계통에 대한 성능시험을 수행하였다. 공장시험에서는 제어반 제작을 완료한 후 PC System을 연결하고 모의정보를 입력하여 계통의 작동을 점검하였다. 현장시험은 전 계통을 조립, 설치한 후 제어반 조작을 통해 성능시험을 수행하였다.

##### 라. 시운전

성능시험이 완료된 후 시운전절차서에 따라 운전모드별로 시운전을 수행하였으며 기술사양서와 설계요구사항을 모두 만족함을 확인하였다.

다음 표는 캡슐 인출 시험 결과이다.

조사관 내 캡슐 수	캡슐 무게 (g)			설계기준 (초)	시험값 (초)	비 고
	상	중	하			
1	-	-	420	25이내	19	첫 캡슐이 검출기를 통과한 시간
	-	-	240	"	10	
2	-	420	420	"	22	
	-	420	240	"	20	
	-	240	240	"	13	
3	420	420	420	"	23	
	240	420	420	"	16	
	240	240	420	"	14	

\* 240g과 420g 캡슐을 사용한 시험 값임.

## 제 4 절 방사선 감시설비

### 1. 설계개요

방사선 동위원소 생산시설(RIPF) 운영시 방사선구역내에서 근무하는 작업자의 건강과 안전을 확보하고 시설의 방사선 재해방지와 안전성을 확보하기 위하여 작업환경의 방사선량률과 오염도 등이 원자력법령 등에서 제한하는 한도치 이하로 유지되고 있는지 확인함은 물론 이상사태의 발생을 미연에 방지하고, 또한 시설이나 작업방법에 대한 개선책을 수립하는데 필요한 자료를 연속적으로 제공하는 방사선감시기를 설치하였다.

방사선감시설비는 방사선구역내 공간방사선량률, 공기오염도, 표면오염도 및 수중오염도 측정장비와 관리구역 출입자 및 반출 물품들에 대한 출입관리 장비로 구성된다.

공간방사선량률의 감시는 안전한 작업환경을 확보하는데 있어서 매우 중요한 사항중 하나이다. 따라서, 공간방사선량률이 최대로 나타날 수 있는 지점과 작업자가 항시 상주하는 지점에서의 공간방사선량률의 변화를 연속적으로 감시하는 지역감시기를 설치하여 작업자가 피폭되지 않도록 하였다.

관리구역내 공기중 방사성물질은 호흡기나 소화기계통 및 상처부위 등을 통하여 체내로 들어와 내부피폭의 원인이 될 수 있다. 따라서 공기오염의 발생을 방지하기 위하여 오염원을 원천적으로 밀봉하거나 호흡보호장비 및 방호복 등을 착용하여 체내로 들어오는 것을 방지하여야 한다. 방사성 동위원소 생산시설의 공기중 주요 방사성 오염원은 방사성 동위원소의 생산, 분배 및 취급과정에서 비산 또는 증발되어 나오는 방사성물질이다. 따라서 작업자가 상시 상주하는 핫셀 운전지역에는 공기오염감시기를 고정 설치하고 연속적으로 가동하여 공기중 방사능 농도를 측정 감시함으로써 방사성물질이 일반 환경으로 확산되는 것을 방지하고 방사선 작업종사자에 대한 방사선 피폭을 예방하도록 하였다.

방사성 동위원소 생산시설에서의 표면오염감시는 오염의 확산을 방지하고, 표면오염이 관리기준치 이하인지 확인함으로써 제염작업에 필요한 자료와 개인감시를 비롯한 공기오염도의 관리에 대한 정보를 제공한다. 표면오염 측정방법으로는 방사선 측정기를 이용, 표면을 직접 측정하도록 하는 방법과 직접법에 의한 오염검사가 불가능한 지점이나 베타 및 감마선 방출핵종으로 오염된 지역에 대해서는 간접적인 방법으로 Smear Filter Paper로 측정토록 하였다.

액체폐기물 방사선 측정결과는 시설내에서 발생하는 방사성 액체폐기물을 관리하고 시설의 운전중 이상 유무를 평가하기 위한 자료로 활용할 수 있다. 따라서 지하실 저장탱크의 액체폐기물은 정기적으로 그리고 폐기물처리시설로 이송할 때마다 시료를 채취하여 분석토록 하였다.

관리구역 출입자는 출입구에 설치된 손발오염감시기를 이용하여 오염여부 확인 및 오염시 제염토록 하는 출입관리 설비를 갖추도록 하였다.

또한 당 시설에서 생산된 방사성 동위원소 및 조사시편 등이 시설외부로 반출될 때에는 운반용기, 운반수단 및 운반방법 등을 철저히 점검하여 관계법령의 제반 규정에 충족되도록 휴대용 방사선 측정장비 및 방호장비 등을 갖추도록 하였다.

## 2. 설계특성

가. 방사선감시설비는 감시기 설치지역의 방사선준위를 연속 측정하여 현장 및 보건물리실에 지시 및 경보토록 하였으며, 관리구역 출입구에 Color Graphic CRT를 설치하여 출입자가 출입하고자 하는 지역의 방사선준위 분포상황을 출입전에 알 수 있도록 하였다.

나. 방사선 지역감시기는 종사자가 상시 또는 수시로 출입하는  $\beta$ - $\gamma$  선 방출지역 또는 우려가 있는 지역으로서 방사선량율이 최대인 지점의 작업장 바닥으로부터 약 1m 높이에 설치토록 하였다. 방사선 지시기와 시청각 경보기는 종사자가 쉽게 인지할 수 있는 위치에 설치하였다.

다. 공기오염감시기는 핫셀 운전구역내 방사성물질 시료를 채취하여 방사선측정기로 gross  $\beta$  및 gross  $\gamma$  선을 측정 지시하는 감시기로서 구역내의 대표적인 공기시료를 채집하도록 흡입구를 최적의 위치에 설치토록 하였으며, 감시기 셋트를 지하층 기기실에 설치함으로써 핫셀 운전구역내 공기시료채취 펌프에 의한 소음이 없도록 하였다.

라. 감시기의 측정범위는 설치지점에서의 설계예상 최소 및 최대 방사선 준위를 측정할 수 있는 범용의 감시기로 선정하였다.

마. 현장에 설치되는 시청각 경보설비의 소리크기는 감시기로부터 3m 거리에서 100 dB이며, 섬광전구가 초당 1번 간격으로 점멸하도록 하였다.

바. 지역방사선감시기의 경보설정치는 검출기 위치에서의 기저방사선



준위, 종사자의 피폭선량한도 및 예상 방사선준위를 기준으로 하여, 경계경보 설정치를 차폐체의 설계제한치인 1.25 mrem/h로, 고방사선 경보설정치를 종사자에 대한 규제기준치인 2.5 mrem/h로 선정하였다.

사. 방사선감시기의 점검, 보수 및 교정시 보수요원이 방사성물질 피폭을 최소화 하도록 기기를 설계, 제작하였으며, 작업의 편의성을 고려하여 설치하였다.

아. 방사선감시계통은 외부전원 상실시 적어도 1시간 정도 계통기능이 유지되도록 120 VAC 60Hz 무정전 교류전원이 공급된다.

자. 방사선감시기 각 채널들은 매 24시간마다 방사선준위 변화를 전원 설비를 이용하여 점검하며, 매 3개월마다의 채널기능시험 및 18개월마다의 교정을 통하여 감시기의 성능 및 운전성을 입증토록 한다. 또한 채널교정은 계통수행에 영향을 미칠 수 있는 보수를 시행한 후 또는 주기적인 시험시 계기상에 편차가 지시되었을 때에도 시행토록 한다.

### 3. 계통구성

#### 가. 지역감시기

지역감시기의 검출기는  $\beta$ - $\gamma$  선 방사체 검출에 널리 사용되고 있는 단창형 GM계수기로서, 에너지 100 keV ~ 1.5 MeV의 범위에서의 응답변화율은  $\pm 15\%$  이내이며, 측정범위는 핫셀 작업구역의 예상선량( 1 mrem/h 이하)을 기준으로 하여 0.01 ~  $10^3$  mrem/h의 특성을 갖는 계수기로 선정하였다. 지역감시기는 주기적으로 점검할 수 있도록 점검용 선원(Sr-90.8  $\mu$  Ci)을 장착하고 있다. 지역감시기 설치장소는 핫셀 운전구역, 핫셀 작업구역, 동위원소의 포장 및 제관(canning)실, 공기이송장치 운전실, Co-60 저장수조 상부 및 액체폐기물탱크 저장구역 등으로서 운전원이 상시 상주하는 지역 및 보수/점검을 위해 수시로 출입하는 지역에 설치하였다.

## 나. 핫셀 감시기

핫셀감시기는 Co-60, Ir-192 핫셀내부의 방사선준위가 시간당 250 mrem 이하인 경우에만 출입이 가능한 핫셀 뒷문과 연계되어 있는 감시기이다. 검출기는 4개 핫셀방의 뒤쪽 콘크리트 벽체를 관통하여 76mm 배관내에 각각 설치되며, 이들의 전치중폭기와 선량계수율계들은 핫셀 외부 콘크리트 벽체에 설치된다. 검출기는 핫셀방내 고선량의  $\gamma$ 선 방사체를 측정하는데 주로 사용되며 넓은 측정범위를 갖는 이온전리함을 선정하였다. 검출기의 감도는  $10^{-11}$  Amps/R/h, 출력은  $10^{-14} \sim 10^{-8}$  Amps이며, 에너지 21 ~ 520 keV 범위에서의 오차 범위는  $\pm 6\%$  이내이다.

## 다. 공기오염감시기

작업자의 내부피폭 방지를 위해 핫셀운전지역 및 공기이송장치 운전실에 설치되는 공기오염감시기는 운전구역의 공기중 입자, 옥소 또는 희유기체를 연속 측정하고 설정치 이상의 방사선준위 검출시에는 경보를 발생하게 되어있다.

입자검출기는  $\beta$ 선 방사체를 입자여과지에 포집하고 이를 계수하는데 특성이 좋은 플라스틱 신틸레이터로 선정하였다. 입자검출기는 0.662 MeV, 0.1 mrem/h로 오염된 주변 방사선장내에서 Cs-137에 대한 측정감도가  $5.26 \times 10^{-10}$   $\mu\text{Ci/cc}$ 이며, 최대 측정범위는  $4.9 \times 10^{-4}$   $\mu\text{Ci/cc}$ 의 특성을 갖고 있다.

희유기체검출기는 시료공기를 포집용 가스용기에 유통시키고 검출기를 용기내에 넣어 방사성가스가 방출하는 방사선을 계수하는데 특성이 좋은 플라스틱 신틸레이터로 선정하였다. 희유기체검출기는 0.662 MeV, 0.1 mrem/h로 오염된 주변 방사선장내에서 Kr-85에 대한 측정감도가  $2.39 \times 10^{-7}$   $\mu\text{Ci/cc}$ 이며, 최대 측정범위는  $3.35 \times 10^{-1}$   $\mu\text{Ci/cc}$ 의 특성을 갖는다. 검출기들은 주변 방사선장의 영향을 받지 않도록 납 차폐체내에 설치되어있다.

## 라. 컴퓨터

방사선 감시용 컴퓨터는 동위원소생산실의 보건물리실에 설치되어 있으며 현장 기기로부터 측정신호를 수집하여 운전원의 지시에 따라 입출력처리, 측정자료의 저장, 기록, 재생 등에 응답하고, 현장기기의 정기적인 채널점검, 설정치 변경, 기기의 운전 정지 및 가동 등 채널제어용으로 사용된다. 컴퓨터는 현장기기로부터 입출력자료의 처리, 요청, 수정, 저장 등을 수행하는 자료수집 컴퓨터와 운전원이 자료를 평가하고 감시기의 기능을 제어하는 제어컴퓨터로 구성되어 있다.

방사선 감시용 컴퓨터는 동위원소 생산시설(RIPF)의 방사선감시기뿐만 아니라 조사후 재료시험시설(IMEF)의 방사선감시기와도 연결되어 있다. 또한 당 컴퓨터는 원자로건물 방사선 감시용 컴퓨터와 연결시켜 정보를 교환할 수 있도록 하였다.

## 마. 방사선 상황반

방사선 상황반은 관리구역내 방사선준위 상황을 알려주는 표시반으로서 관리구역 출입구에 설치된다. 표시반은 Touch Screen Type의 CRT로서 컴퓨터로부터 정보를 받아 관리구역 전 구역의 방사선 상황을 색깔로 표시한다. 적색은  $\geq 50$  mR/h, 황색은  $\leq 50$  mR/h, 녹색은  $\leq 1.25$  mR/h, 청색은  $\leq 0.625$  mR/h의 방사선량을 표시한다. 또한 출입자는 CRT상의 출입지역을 손가락으로 지적하여 그 지역의 준위 및 경보상태 등의 정보를 출입전에 알 수 있도록 하고 필요시 적절한 방호장비를 갖추어 출입토록 하였다.

## 바. 출입구감시기

방사선 관리구역 출입은 엄격한 방사선 안전관리 절차에 따라 통제되며, 출입구에는 다음과 같이 전신감시기, 손, 발 및 Frisker 감시기 또는 휴대용감시기가 설치되어 있다.

### (1) 전신감시기

건물 1층 주 출입구에는 출입자 전신의  $\alpha$ 와  $\beta$ - $\gamma$  방사체에 의한 오염을 감시하기 위하여 15개의 Gas Flow 비례계수기로 구성된 전신감시기가 설치되어 있다. 전신감시기는 회전문(Turn Style)과 연결되어 있어 오염자 또는 오염된 반출물품에 의해 청정구역이 오염되지 않도록 하였다.

### (2) 손, 발 및 Frisker 감시기

2층 출입구에는 손, 발 및 의복의  $\alpha$ 와  $\beta$ - $\gamma$  방사체에 의한 오염을 감시하기 위하여 7개의 Gas Flow 비례계수기로 구성된 손, 발 및 Frisker 감시기가 설치되어 있다.

### (3) Survey Meter

트럭출입구와 원자로건물 출입구에 Survey Meter가 설치되어 있다. 세탁물실에도 Survey Meter를 두어 세탁물의 오염여부를 판별한 후 분리수거토록 하였다.

## 제 5 절 Co-60 저장조 정화설비

### 1. 기능

Co-60 저장수조 정화계통의 기능은 저장조의 수질을 설계기준 이상으로 유지하기 위하여 물 속의 불순물 또는 수조 표면의 부유물 등을 지속적으로 제거하고 수조 속에 누적될 수 있는 퇴적물이나 부식 생성물을 최소화하는 기능을 수행한다. 그리고 저장수조의 적정수위 유지를 위한 수조수 보충 기능도 저장수조 정화계통의 기능에 포함된다.

## 2. 계통의 구성

정화계통은 수조수 순환펌프, 여과기, 이온교환기, Y형 스트레이너, 전도도계, 유량계, 차압계, 압력계, 과압 방지밸브 및 약간의 일반 스테인레스 밸브로 구성되어 있으며 그중 정화계통의 순환펌프는 원심형 펌프로써 정격 성능이 40m 양정에서 1.11 Kg/sec 이상의 유량을 지속적으로 순환시키면서 수조수의 물을 정화할 수 있도록 하였다. 여과기는 물속에 부유하는 먼지 또는 입자들을 제거하는 기능을 수행하도록 스테인레스 스틸로 만들어진 내경 261.4 mm, 높이 150 mm의 원통형 용기로서 내부에는 6개의 작은 원통형 여과재(filter element)가 설치되어 있다. 이 여과재의 구성 재질은 주름 종이이며 크기는 외경 60 mm, 길이 500 mm로서 1.3 m<sup>2</sup> 이상의 여과 면적을 유지하여 정격 설계 유량(1.11 kg/sec) 이상으로 수조수를 여과할 수 있도록 하였다.

수조수의 수질을 설계기준 이상으로 지속적으로 유지하는데 필요한 설비는 여과기 이외에 이온교환기도 필요하다. 이온교환기는 수직 원통형으로써 수조수의 전도도와 PH를 적정 수준으로 유지시키는 기능을 수행하는데 촉매제로는 원자력 등급의 혼합형 저염소 레진을 사용하였다. 이온교환기 내부에 장입되는 레진의 양은 약 70리터 정도로써 단위 면적당 (m<sup>2</sup>)최대 14 kg/sec 정도의 유량을 통과시킬 수 있다.

Y형 스트레이너는 이온교환기의 후단에 설치되어 있으며 이온교환기 속에 장입되어 있는 레진이 수조로 흘러 들어가는 것을 방지하는 기능을 수행한다. 이러한 설비 외에 정화계통의 정상운전을 돕는 보조기능으로써는 수조수의 적정수위를 유지하는 기능을 수행하는 순수 보충 설비와 수조수의 표면에 부유하는 찌꺼기나 먼지 등을 제거하는 skimmer loop가 있다.

압력계는 펌프의 후단에 설치되어 펌프의 토출 압력을 점검, 조절할 수 있으며 유량계는 이온교환기의 후단에 부착되어 있어 정화계통의 정상유량을 수시 확인할 수 있고 차압계는 여과기, 이온교환기, Y형 스트

레이너의 전 후단 배관을 가로질러 설치되어 있어 각 설비의 운전상태를 점검 확인할 수 있도록 하였다. 전도도계는 이온교환기 후단(CE-102)과 수조상부(CE-101)에 설치되어 정화계통과 수조수의 전도도 상태를 확인할 수 있고, 수조 상부에는 방사선 준위를 감시하는 방사선 감지기가 설치되어 있다.

사진 8과 9는 Co-90 저장조와 정화계통 기기실을 보여주고 있다.

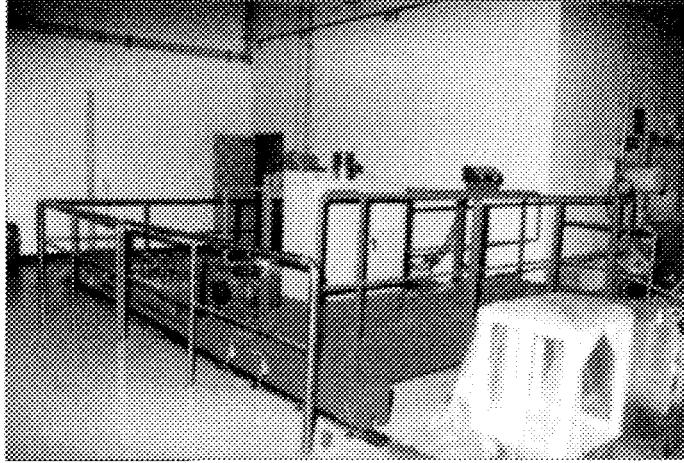


사진 8. Co-60 저장조 상부 전경

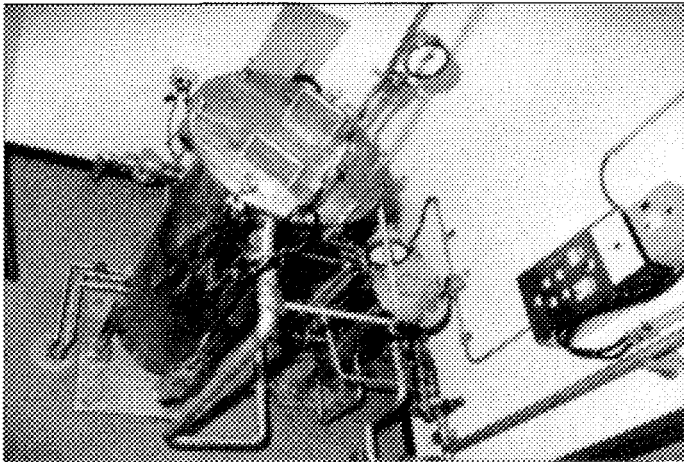


사진 9. Co-60 저장조 정화계통 기기실 전경

## 제 6 절 핫셀 내부 소화설비

### 1. 목적 및 용도

동위원소 생산시설의 핫셀 내부의 화재를 진압하기 위하여 각 핫셀별로 분할하여 하론 1301 패키지 시스템으로 설치하였다. 핫셀 내부는 동위원소가 취급 생산되는 곳으로 화재진압에 소화수를 사용하게 되면 많은 액체 방사능 폐기물이 발생하게 되므로 하론 가스를 사용하였다.

### 2. 계통 개요 및 구성

콘크리트 핫셀에는 하론용량 50Kg, 17기의 납핫셀에는 하론용량 7kg의 소화설비가 패키지 시스템으로 각각 1 set씩 설치되어 있다. 이 소화설비는 핫셀 내부에 설치되어 있는 열감지기와 연기감지기가 모두 감지되었을 경우에만 작동될 수 있도록 구성하였다. 이는 감지기의 오동작에 의해 핫셀 내부로 하론가스가 자동으로 분사되는 것을 방지하기 위함이다. 또한 각 핫셀의 전면 벽에는 수동 조작함을 설치하여 수동으로도 작동시킬 수 있도록 하였다.

### 3. 설치 및 시운전

콘크리트 핫셀 4기와 납핫셀 17기의 핫셀 내부 화재의 소화설비로 하론 1310 시스템이 패키지 별로 분리되어 각각 설치되었다. 이들 설비는 순수 국내에서 제작되어 설치되었으며 각각에 대한 시운전도 완료하였다.

## 제 7 절 실험기기(Fume Hood) 제작 설치

동위원소 생산 및 각종 실험을 위해 핫셀 주변과 각 실험실에는 방사화학 처리용 Fume Hood 34 set가 제작되어 설치되었다.

Fume Hood는 대부분 화학 처리용으로서 화학 유독가스로부터의 작업자



보호를 위해 후드 상부에는 가스 배출 덕트가 연결되어 있다. 이 덕트는 동위원소 생산건물 내의 환기계통에 연결되어 후드에서 발생하는 유독가스는 건물밖으로 배출된다. 또한 후드 내부에서 각종 작업이 용이하도록 압출공기 2개소, 용수공급 2개소, 전기 (220V/110V) 1개소, 가스공급관 1개소가 마련되어 있으며 작업중 발생하는 화학폐수 또는 액체 방사성 폐기물의 배출을 위한 배출구가 건물 지하에 설치된 폐기물 저장탱크에 연결되어 있다.

## 제 4 장 연구개발 목표의 달성도 및 기여도

### 제 1 절 연구개발 목표의 달성도

본 과제 의 최종 목표는 하나로를 이용하여 국내에서 소요되는 방사성 동위원소를 원활히 공급할 수 있을 뿐만 아니라 양산체제를 구축하여 향후 수출까지도 할 수 있는 설비를 갖추는 것이다. 뿐만 아니라 동위원소 생산의 핵심기술인 핫셀을 포함하여 주변 기자재들을 최대한 국산화하여 외화의 낭비를 방지하고 개발된 기술을 산업체에 전수하여 유사분야에 활용할 수 있도록 하였다.

특히 기자재에 있어서는 국내에서는 생산이 불가능한 원격조작기, 납 유리로 제작된 차폐창, 방사선/농 감지기기들만 제외하고는 모두 국산화하였다.

또한 방사성 동위원소 대량 생산에 대비하여 충분한 차폐능력을 갖춘 핫셀들이 모두 성공적으로 제작되어 운영되고 있으므로 이들을 최대한 활용할 수 있도록 다양한 핵종개발과 생산된 동위원소를 원활히 판매할 수 있도록 민간기업체와 협력하여 세계적인 판매망의 구축이 필요하다.

### 제 2 절 대외 기여도

방사성 동위원소를 취급할 수 있는 시설들은 순수 국내 기술로 개발하여 산업체에 전수하므로서 향후 유사시설인 방사성 폐기물처리에 필요한 설비들의 개발에 활용될 수 있을 뿐만 아니라 더 나아가 핵주기 시설에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 하나로를 이용하여 생산되는 방사성 동위원소 대량생산의 기틀을 마련하였으며, 이들 설비들을 최대한 활용하여 그동안 미개발된 핵종에 대한 연구가 가능할 것으로 판단된다.

## 제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

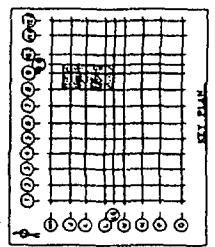
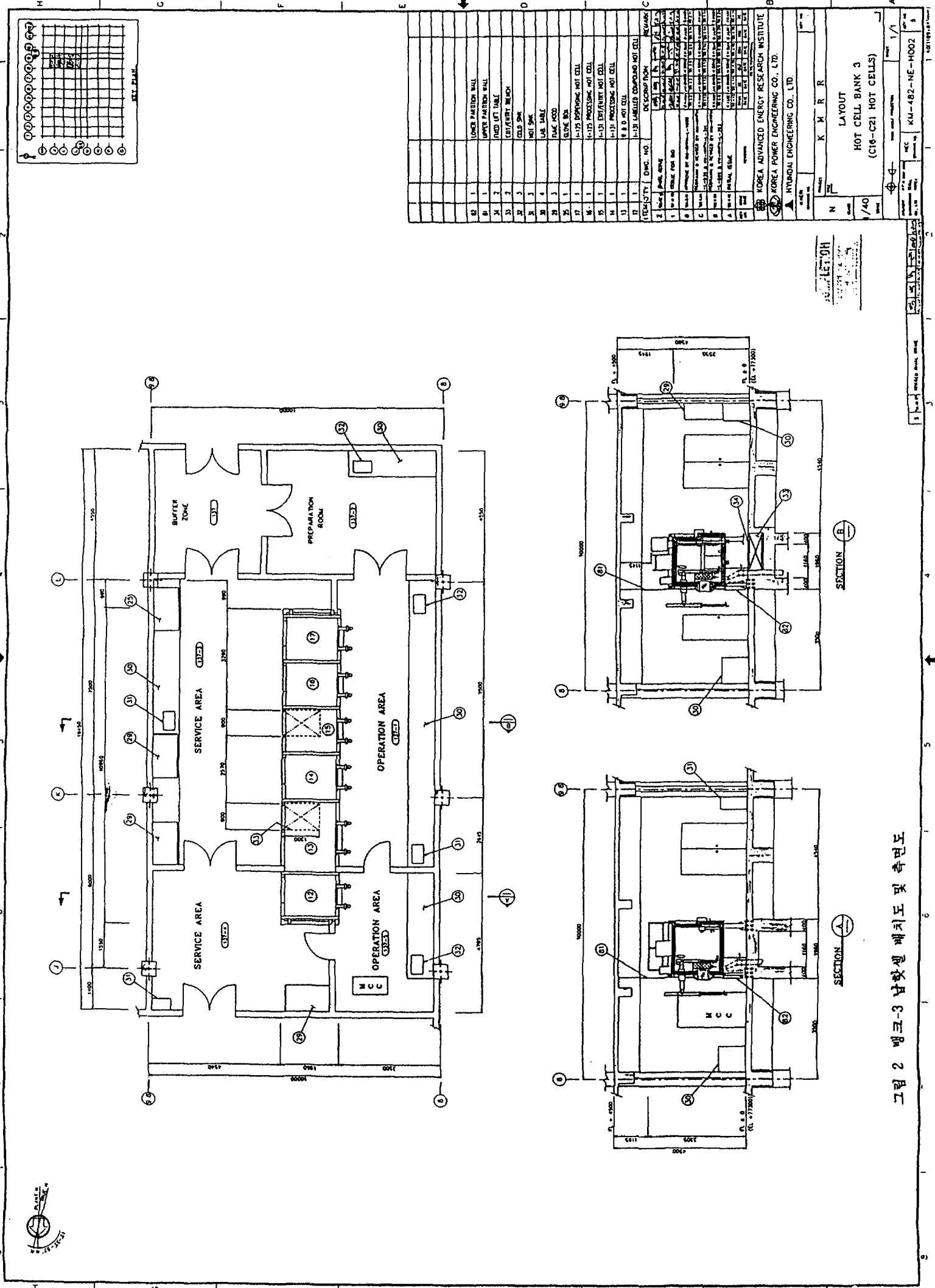
### 제 1 절 방사성 동위원소 핵종개발 및 대량생산 체제 구축

하나로를 이용한 동위원소 생산의 기본 시설인 핫셀과 관련 유틸리티 설비가 본 과제로 수행됨에 따라 개발된 핵종을 대량으로 생산할 수 있는 자동설비의 개발과 미개발 핵종에 대한 연구는 동위원소 생산 및 이용 연구과제로 수행되고 있다.

### 제 2 절 후행 핵주기 설비 개발

향후 예상되는 후행 핵주기 설비로서 사용후 핵연료 재처리 설비, 고준위 및 중준위 고체 폐기물 감용설비 등 대형의 핫셀 및 원격장치 개발에 본 과제에서 수행한 기술들이 다양한 분야에 걸쳐 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

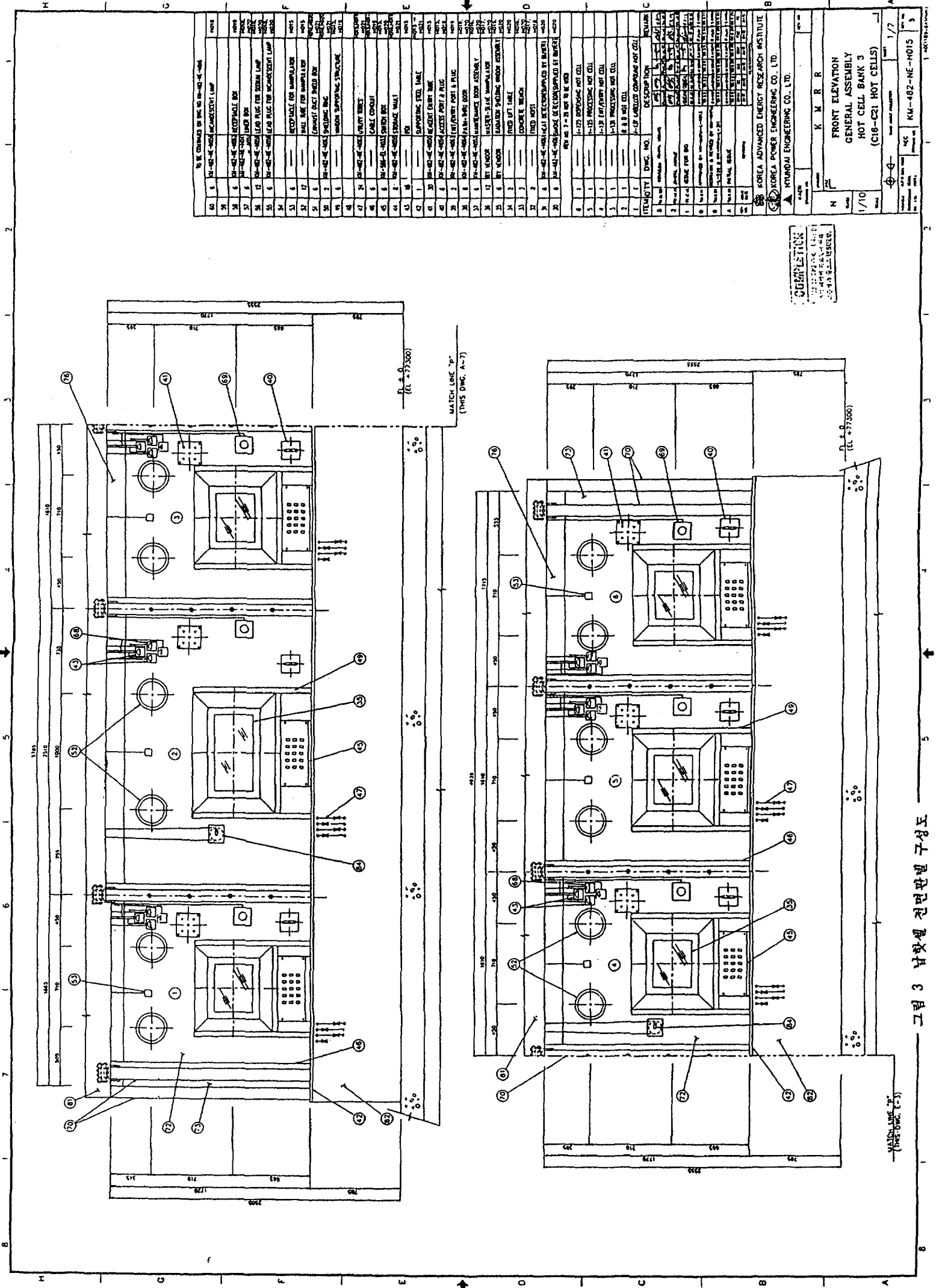




1	LOWER PARTITION WALL
2	UPPER PARTITION WALL
3	ROOF LIFT TABLE
4	LED/SHIRT BENCH
5	COLD SINK
6	HOT SINK
7	LAB TABLE
8	TRUCK HOOD
9	GLASS BOX
10	H-175 EXHAUSTING HOT CELL
11	H-175 PROCESSING HOT CELL
12	H-175 EXHAUSTING HOT CELL
13	H-175 PROCESSING HOT CELL
14	H-175 HOT CELL
15	H-175 LABELED COMPOUND HOT CELL
16	DC SUPPLY ROOM
17	REAR
18	REAR
19	REAR
20	REAR
21	REAR
22	REAR
23	REAR
24	REAR
25	REAR
26	REAR
27	REAR
28	REAR
29	REAR
30	REAR
31	REAR
32	REAR

KOREA ADVANCED ENERGY RESEARCH INSTITUTE  
 KOREA POWER ENGINEERING CO., LTD.  
 HYUNDAI ENGINEERING CO., LTD.  
 K M R R  
 LAYOUT  
 HOT CELL BANK 3  
 (C18-C21 HOT CELLS)  
 1/40  
 1/1  
 KU-482-NE-H002

그림 2 뱅크-3 남향셀 배치도 및 측면도



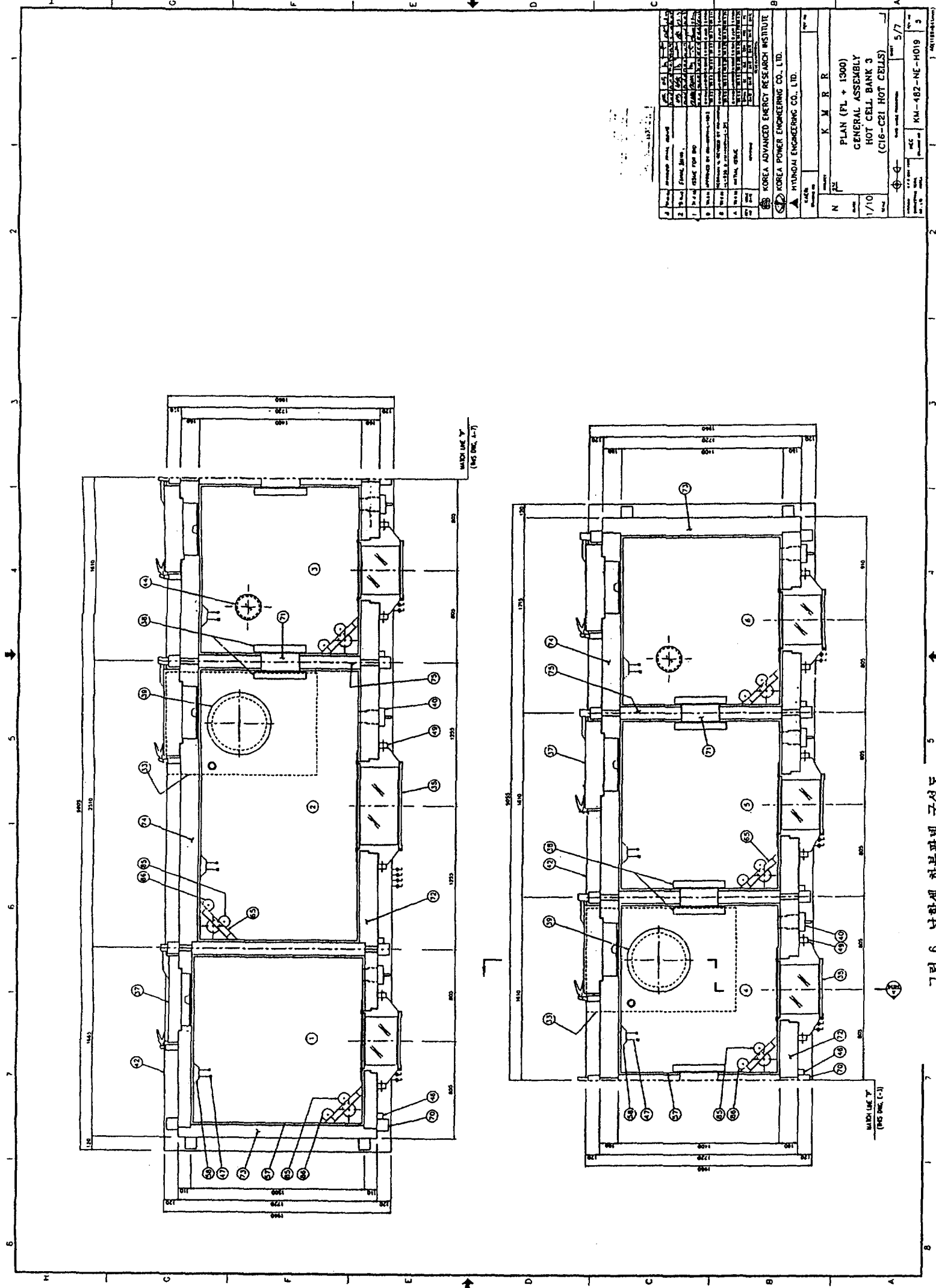
ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY	UNIT	REMARKS
1	TO BE CONTAINED ON DRAWING NO. KM-482-NE-1015			
2	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
3	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
4	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
5	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
6	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
7	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
8	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
9	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
10	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
11	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
12	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
13	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
14	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
15	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
16	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
17	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
18	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
19	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
20	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
21	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
22	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
23	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
24	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
25	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
26	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
27	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
28	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
29	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
30	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
31	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
32	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
33	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
34	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
35	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
36	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
37	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
38	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
39	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
40	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
41	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
42	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
43	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
44	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
45	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
46	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
47	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
48	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
49	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
50	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
51	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
52	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
53	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
54	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
55	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
56	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
57	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
58	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
59	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
60	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
61	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
62	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
63	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
64	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
65	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
66	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
67	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
68	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
69	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
70	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
71	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
72	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
73	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
74	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
75	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
76	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
77	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
78	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
79	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
80	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
81	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	
82	RECEPTACLE FOR ILLUMINATION	1	PC	

그림 3 남향셀 전면판별 구성도









1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

KOREA ADVANCED ENERGY RESEARCH INSTITUTE  
 KOREA POWER ENGINEERING CO., LTD.  
 HYUNDAI ENGINEERING CO., LTD.  
 K M R R  
 PLAN (FL + 1300)  
 GENERAL ASSEMBLY  
 HOT CELL BANK 3  
 (C16-C21 HOT CELLS)  
 1/10  
 5/7  
 KM-482-NE-H019

그림 6 납셀 하부판넬 구성도



NO.	DESCRIPTION	QTY	UNIT	REMARKS
1	HOT CELL BANK 1 UNIT	1	EA	
2	HOT CELL BANK 2 UNIT	1	EA	
3	HOT CELL BANK 3 UNIT	1	EA	
4	HOT CELL BANK 4 UNIT	1	EA	
5	HOT CELL BANK 5 UNIT	1	EA	
6	HOT CELL BANK 6 UNIT	1	EA	
7	HOT CELL BANK 7 UNIT	1	EA	
8	HOT CELL BANK 8 UNIT	1	EA	
9	HOT CELL BANK 9 UNIT	1	EA	
10	HOT CELL BANK 10 UNIT	1	EA	
11	HOT CELL BANK 11 UNIT	1	EA	
12	HOT CELL BANK 12 UNIT	1	EA	
13	HOT CELL BANK 13 UNIT	1	EA	
14	HOT CELL BANK 14 UNIT	1	EA	
15	HOT CELL BANK 15 UNIT	1	EA	
16	HOT CELL BANK 16 UNIT	1	EA	
17	HOT CELL BANK 17 UNIT	1	EA	
18	HOT CELL BANK 18 UNIT	1	EA	
19	HOT CELL BANK 19 UNIT	1	EA	
20	HOT CELL BANK 20 UNIT	1	EA	
21	HOT CELL BANK 21 UNIT	1	EA	
22	HOT CELL BANK 22 UNIT	1	EA	
23	HOT CELL BANK 23 UNIT	1	EA	
24	HOT CELL BANK 24 UNIT	1	EA	
25	HOT CELL BANK 25 UNIT	1	EA	
26	HOT CELL BANK 26 UNIT	1	EA	
27	HOT CELL BANK 27 UNIT	1	EA	
28	HOT CELL BANK 28 UNIT	1	EA	
29	HOT CELL BANK 29 UNIT	1	EA	
30	HOT CELL BANK 30 UNIT	1	EA	
31	HOT CELL BANK 31 UNIT	1	EA	
32	HOT CELL BANK 32 UNIT	1	EA	
33	HOT CELL BANK 33 UNIT	1	EA	
34	HOT CELL BANK 34 UNIT	1	EA	
35	HOT CELL BANK 35 UNIT	1	EA	
36	HOT CELL BANK 36 UNIT	1	EA	
37	HOT CELL BANK 37 UNIT	1	EA	
38	HOT CELL BANK 38 UNIT	1	EA	
39	HOT CELL BANK 39 UNIT	1	EA	
40	HOT CELL BANK 40 UNIT	1	EA	
41	HOT CELL BANK 41 UNIT	1	EA	
42	HOT CELL BANK 42 UNIT	1	EA	
43	HOT CELL BANK 43 UNIT	1	EA	
44	HOT CELL BANK 44 UNIT	1	EA	
45	HOT CELL BANK 45 UNIT	1	EA	
46	HOT CELL BANK 46 UNIT	1	EA	
47	HOT CELL BANK 47 UNIT	1	EA	
48	HOT CELL BANK 48 UNIT	1	EA	
49	HOT CELL BANK 49 UNIT	1	EA	
50	HOT CELL BANK 50 UNIT	1	EA	
51	HOT CELL BANK 51 UNIT	1	EA	
52	HOT CELL BANK 52 UNIT	1	EA	
53	HOT CELL BANK 53 UNIT	1	EA	
54	HOT CELL BANK 54 UNIT	1	EA	
55	HOT CELL BANK 55 UNIT	1	EA	
56	HOT CELL BANK 56 UNIT	1	EA	
57	HOT CELL BANK 57 UNIT	1	EA	
58	HOT CELL BANK 58 UNIT	1	EA	
59	HOT CELL BANK 59 UNIT	1	EA	
60	HOT CELL BANK 60 UNIT	1	EA	
61	HOT CELL BANK 61 UNIT	1	EA	
62	HOT CELL BANK 62 UNIT	1	EA	
63	HOT CELL BANK 63 UNIT	1	EA	
64	HOT CELL BANK 64 UNIT	1	EA	
65	HOT CELL BANK 65 UNIT	1	EA	
66	HOT CELL BANK 66 UNIT	1	EA	
67	HOT CELL BANK 67 UNIT	1	EA	
68	HOT CELL BANK 68 UNIT	1	EA	
69	HOT CELL BANK 69 UNIT	1	EA	
70	HOT CELL BANK 70 UNIT	1	EA	
71	HOT CELL BANK 71 UNIT	1	EA	
72	HOT CELL BANK 72 UNIT	1	EA	
73	HOT CELL BANK 73 UNIT	1	EA	
74	HOT CELL BANK 74 UNIT	1	EA	
75	HOT CELL BANK 75 UNIT	1	EA	
76	HOT CELL BANK 76 UNIT	1	EA	
77	HOT CELL BANK 77 UNIT	1	EA	

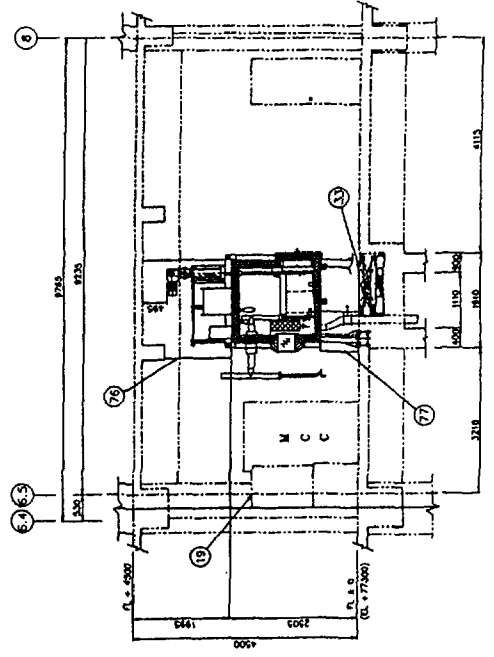
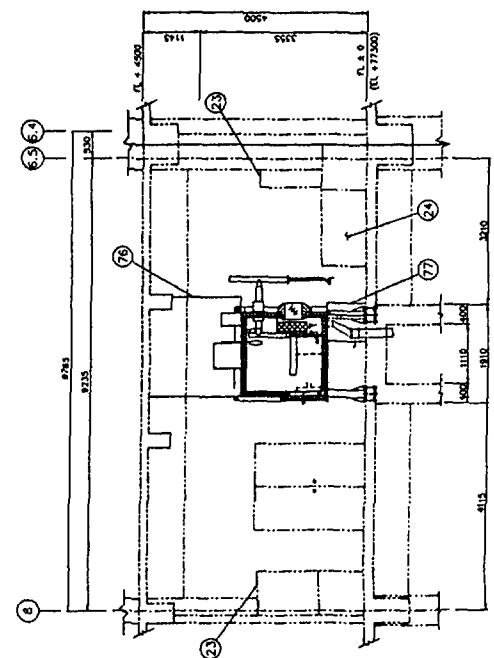
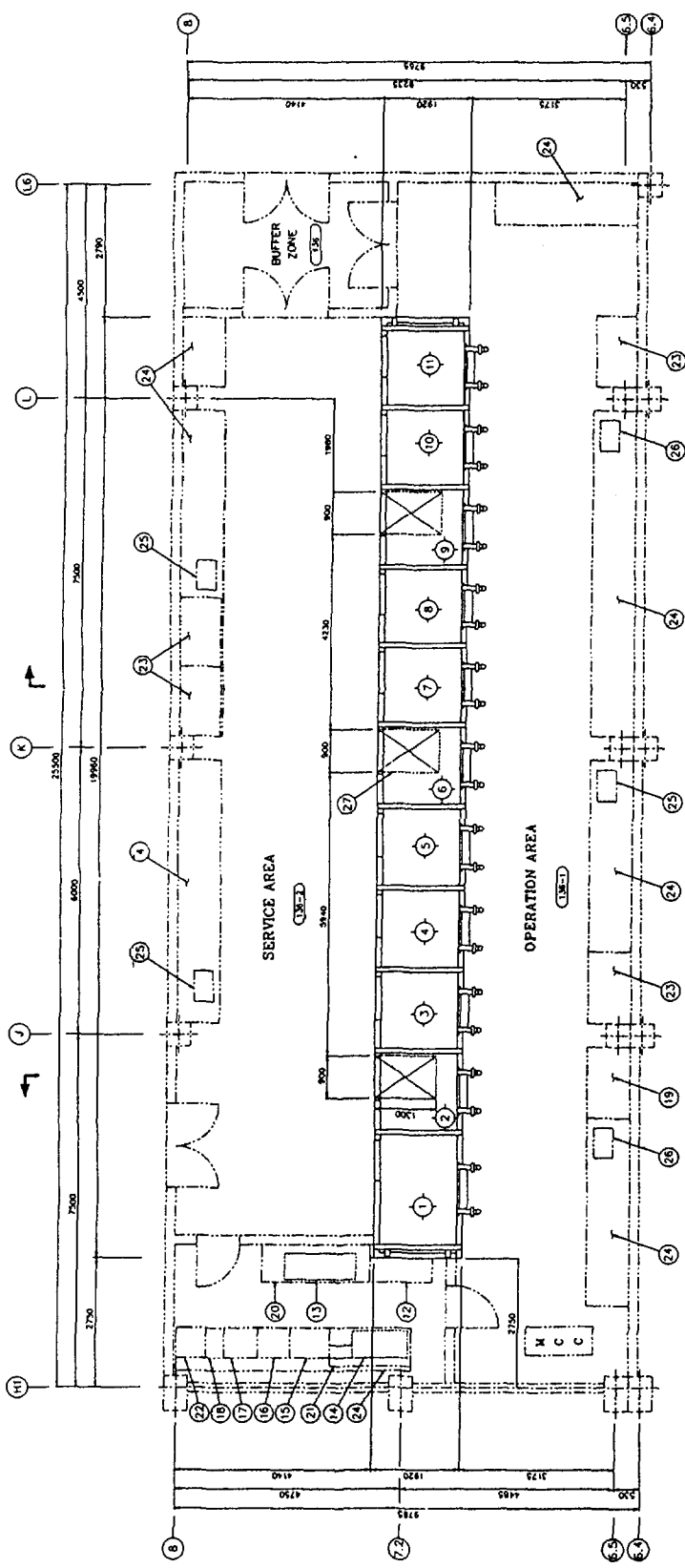
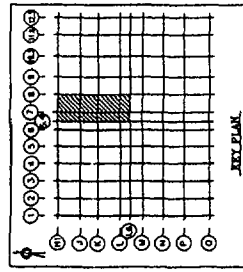


그림 8. 벅크-2 납 핫셀 배치도 및 측면도

AS BUILT

KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE

BANDO MACHINERY CO., LTD.

NOT CELL BANK 2 (CS-CIS HOT CELLS)

LA 1001

DATE: 1972.08.20

SCALE: 1/50

PROJECT NO: 482-000-00

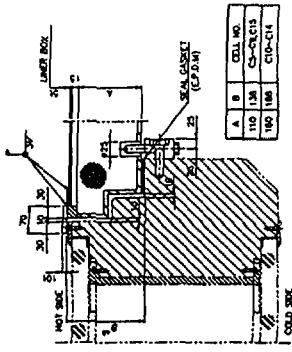
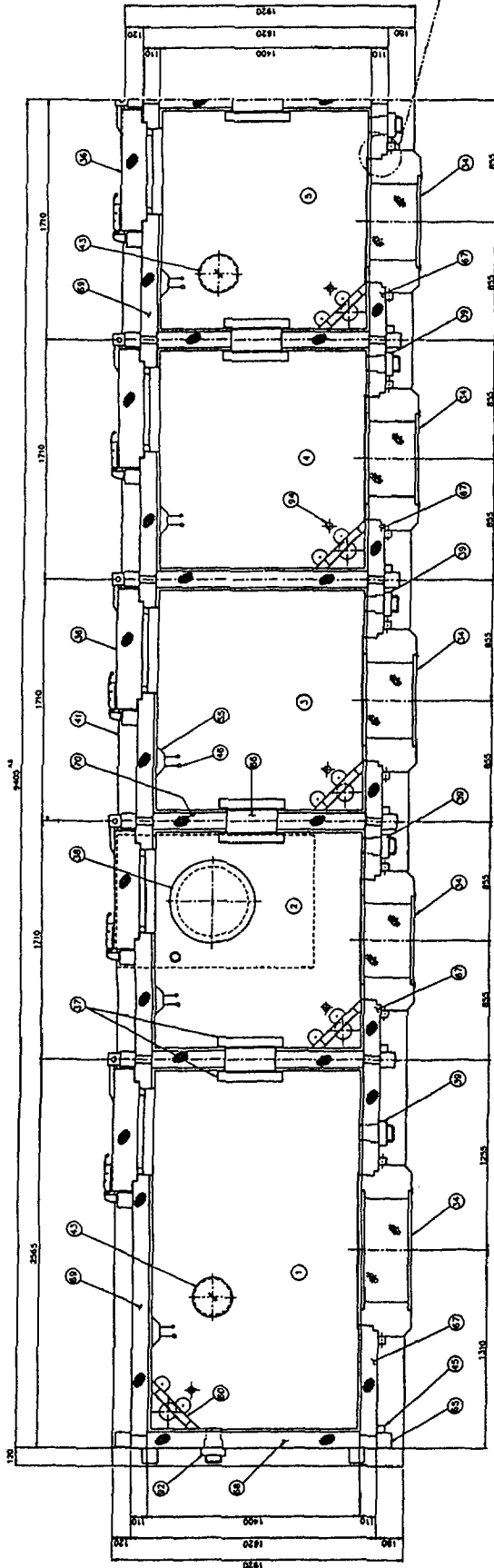
REV: 1







REVISION	DATE	BY	CHKD



RADIATION SHIELDING WINDOW  
중성자차폐창 (중성자차폐창)

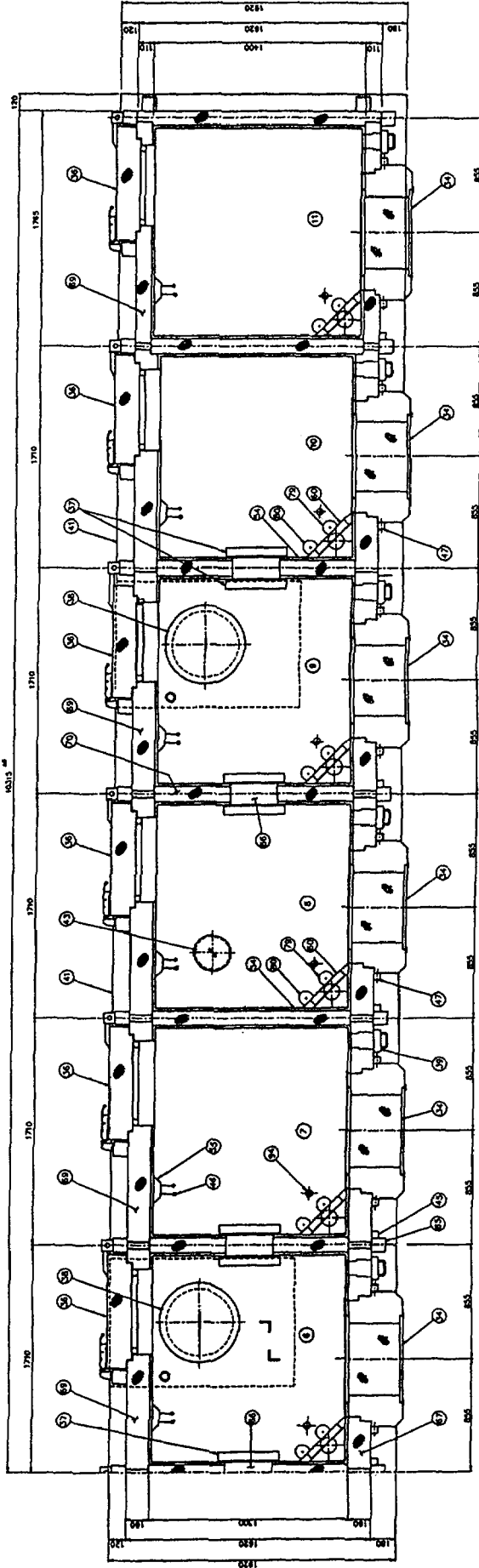


그림12. 남하셀 하부판넬 구성도(뱅크-2)

AS BUILT	DATE	BY	CHKD

PLANNED BY: KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE  
 DRAWN BY: BANDOO MACHINERY CO., LTD.  
 CHECKED BY: BANDOO MACHINERY CO., LTD.  
 SCALE: 1/8  
 PROJECT NO.: KRI-482-000-04  
 SHEET NO.: 1/1

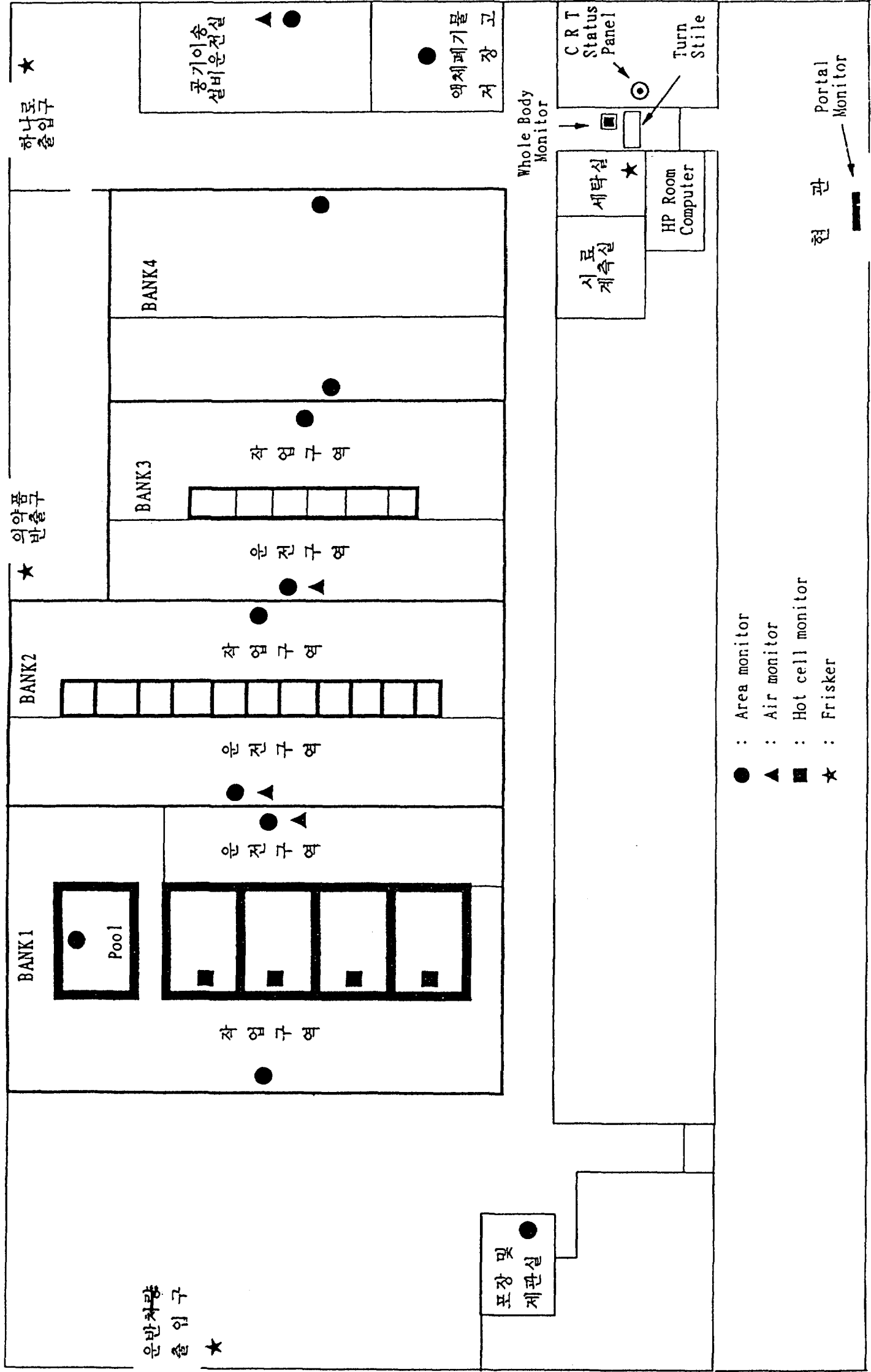


그림13. 동위원소 생산시설 방사선 감지기 설치 위치도



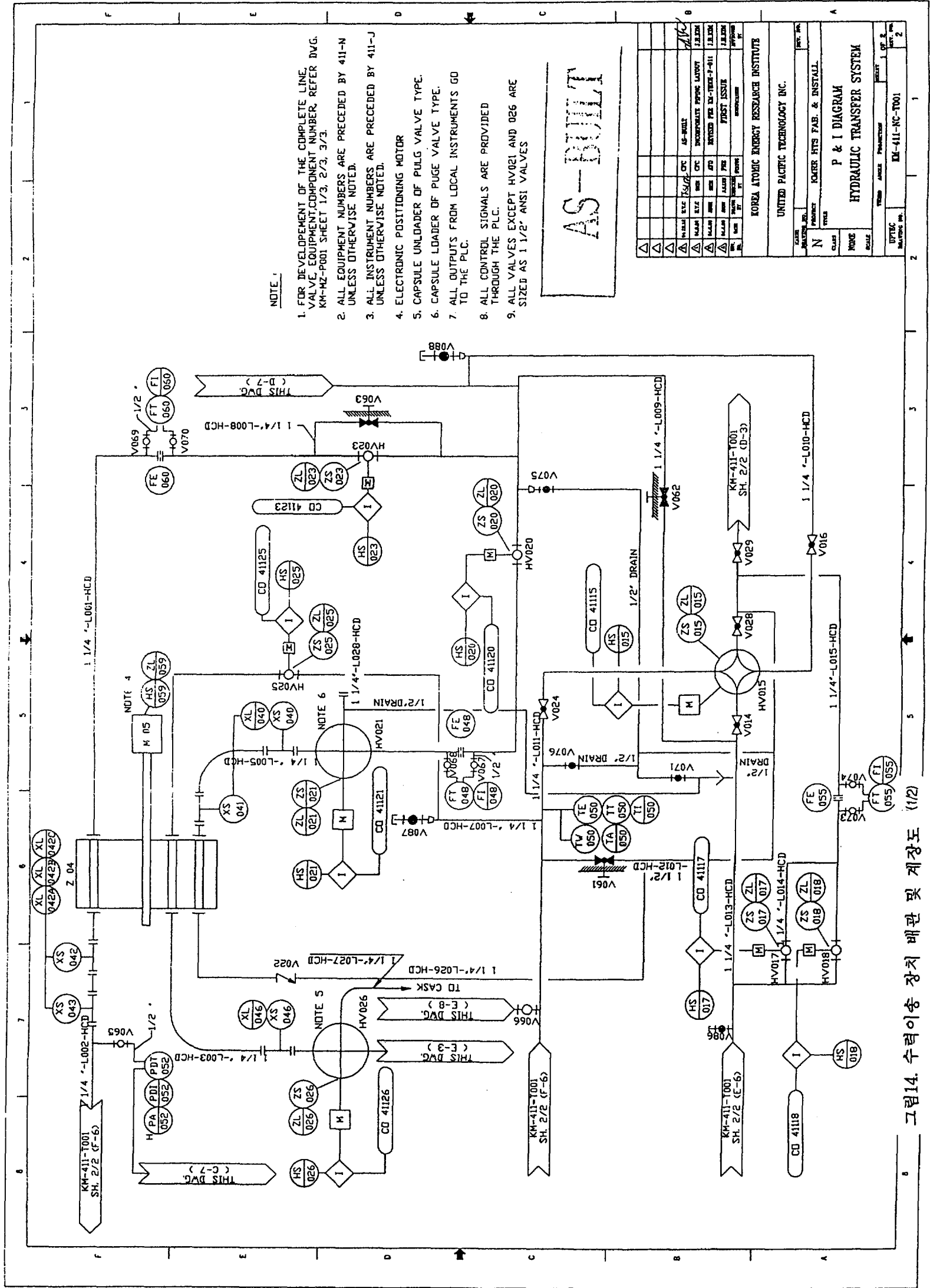
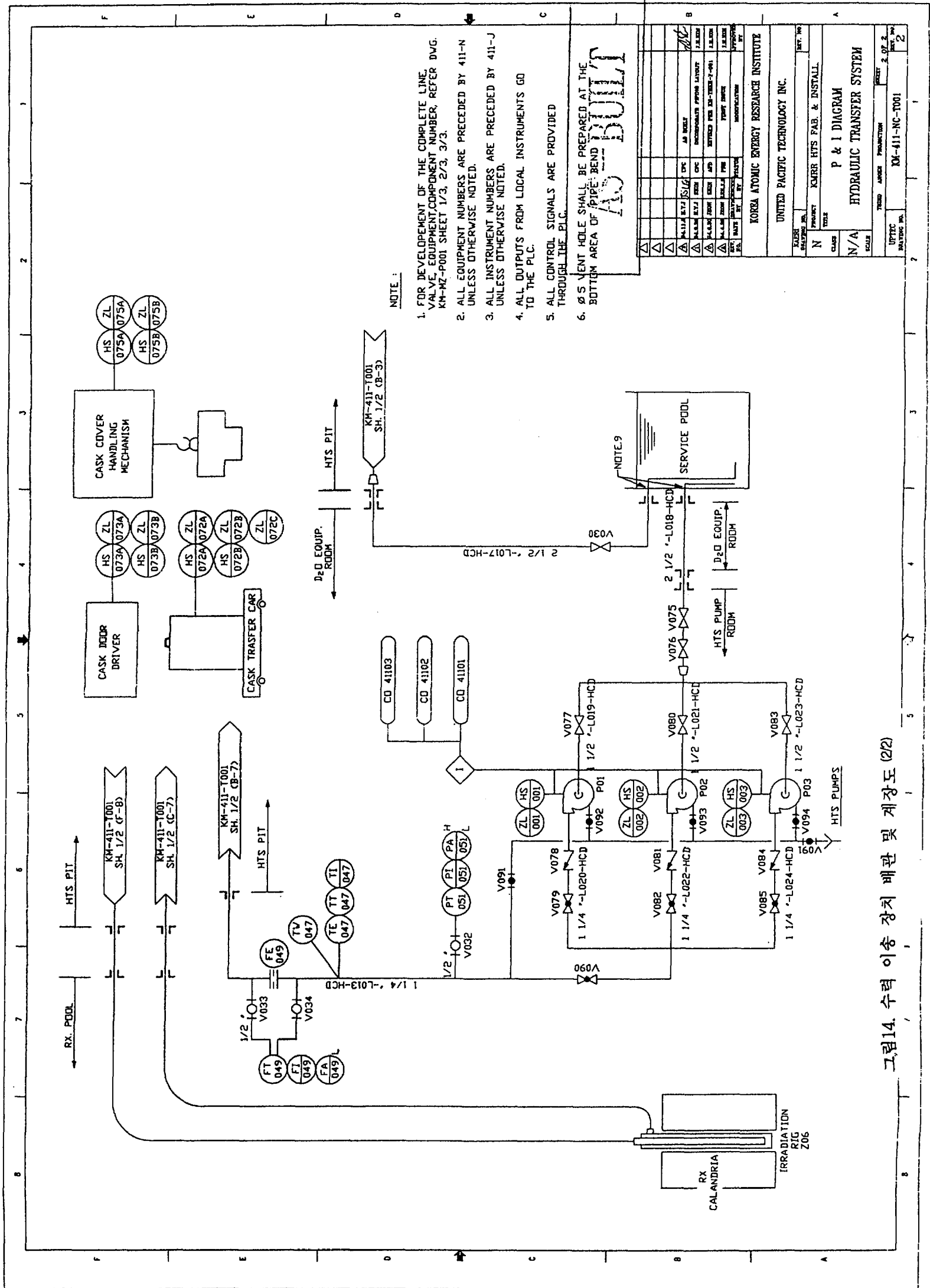


그림14. 수력이송 장치 배관 및 계장도 (1/2)



**NOTE :**

1. FOR DEVELOPMENT OF THE COMPLETE LINE VALVE EQUIPMENT COMPONENT NUMBER, REFER DWG. KM-NZ-P001 SHEET 1/3, 2/3, 3/3.
2. ALL EQUIPMENT NUMBERS ARE PRECEDED BY 411-N UNLESS OTHERWISE NOTED.
3. ALL INSTRUMENT NUMBERS ARE PRECEDED BY 411-J UNLESS OTHERWISE NOTED.
4. ALL OUTPUTS FROM LOCAL INSTRUMENTS GO TO THE PLC.
5. ALL CONTROL SIGNALS ARE PROVIDED THROUGH THE PLC.
6. Ø'S VENT HOLE SHALL BE PREPARED AT THE BOTTOM AREA OF PIPE BEND AT THE

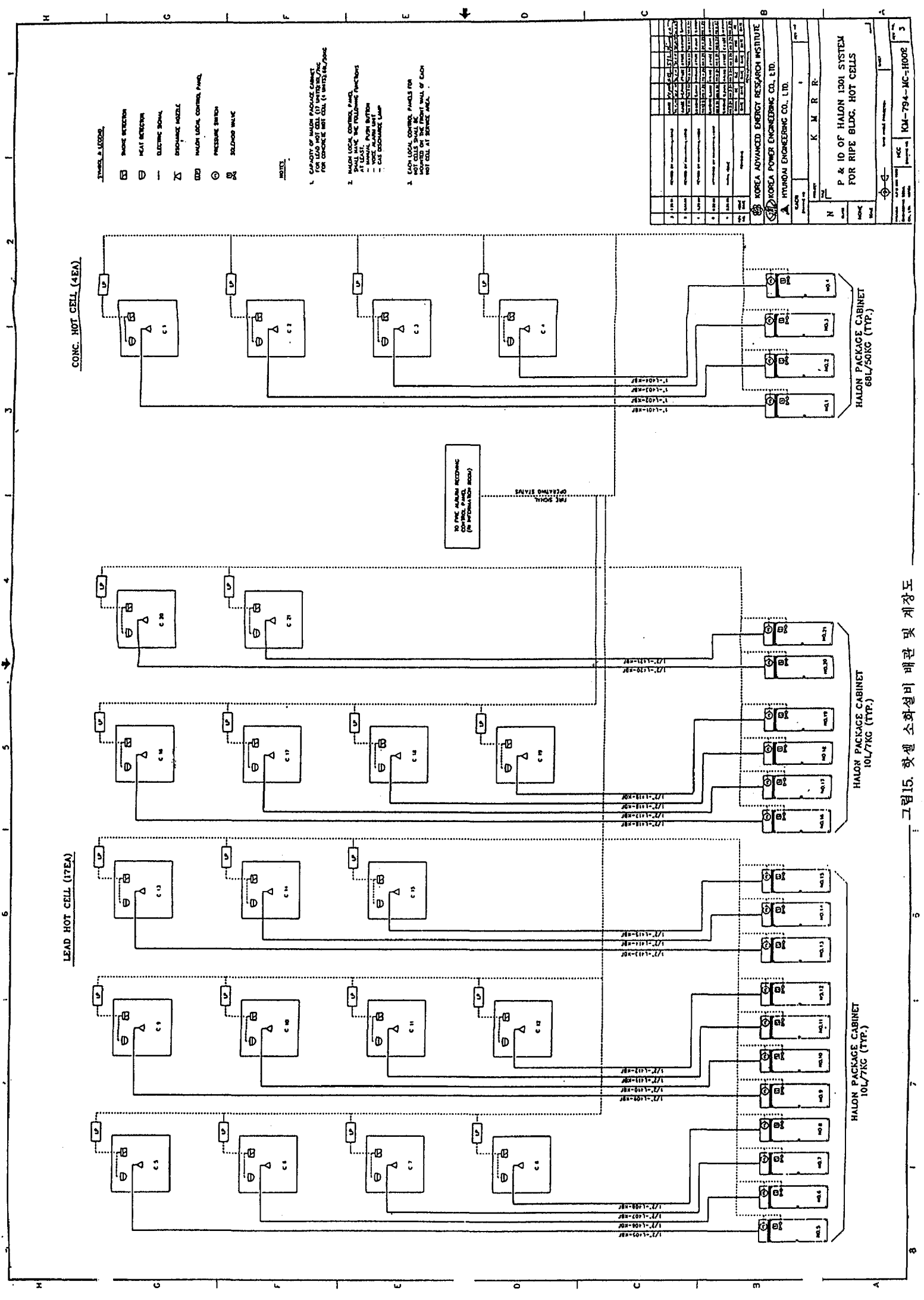
**AD-BULL**

NO.	REV.	DATE	BY	CHK.	DESCRIPTION
1					ISSUED FOR 2D-1001-1-001
2					ISSUED FOR 2D-1001-1-001
3					ISSUED FOR 2D-1001-1-001
4					ISSUED FOR 2D-1001-1-001
5					ISSUED FOR 2D-1001-1-001
6					ISSUED FOR 2D-1001-1-001
7					ISSUED FOR 2D-1001-1-001
8					ISSUED FOR 2D-1001-1-001
9					ISSUED FOR 2D-1001-1-001
10					ISSUED FOR 2D-1001-1-001

KORAE ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE	
UNITED PACIFIC TECHNOLOGY INC.	
CLIENT	KMRR HTS FAB. & INSTALL.
PROJECT	KMRR HTS FAB. & INSTALL.
TITLE	P & I DIAGRAM
CLASS	N/A
SCALE	
DESIGNER	
CHECKER	
DATE	2.07.2
PROJECT NO.	KM-411-NC-T001
UPTEC DRAWING NO.	
SHEET NO.	2

그림 14. 수력 이송 장치 배관 및 계장도 (2/2)



- SYMBOLS & LEGEND**
- NAME INDICATOR
  - ⊖ HEAT DETECTOR
  - ⊖ ELECTRIC ZONE
  - ⊖ EXCHANGE NOZZLE
  - ⊖ HALON LOCAL CONTROL PANEL
  - ⊖ PRESSURE SWITCH
  - ⊖ RELEASE VALVE

- NOTES**
- CAPACITY OF HALON PACKAGE CABINET FOR 10L/7KG IS LIMITED TO 10 HOT CELLS AT 1000 PSI/100 PSI.
  - HALON LOCAL CONTROL PANELS SHALL BE PROVIDED WITH FOLLOWING FUNCTIONS:
    - MANUAL FIRE BUTTON
    - TEST
    - FIRE DISCHARGE LAMP
  - EACH LOCAL CONTROL PANELS FOR HOT CELLS SHALL BE PROVIDED WITH FIRE SIGNAL OPERATING STATION.

1	NAME	PROJECT	NO. 1
2	DATE	REVISION	NO. 2
3	BY	APPROVED	NO. 3
4	DATE	REVISION	NO. 4
5	BY	APPROVED	NO. 5
6	DATE	REVISION	NO. 6
7	BY	APPROVED	NO. 7
8	DATE	REVISION	NO. 8
9	BY	APPROVED	NO. 9
10	DATE	REVISION	NO. 10
11	BY	APPROVED	NO. 11
12	DATE	REVISION	NO. 12
13	BY	APPROVED	NO. 13
14	DATE	REVISION	NO. 14
15	BY	APPROVED	NO. 15
16	DATE	REVISION	NO. 16
17	BY	APPROVED	NO. 17
18	DATE	REVISION	NO. 18
19	BY	APPROVED	NO. 19
20	DATE	REVISION	NO. 20

KOREA ADVANCED ENERGY RESEARCH INSTITUTE  
 KOREA POWER ENGINEERING CO. LTD.  
 HYUNDAI ENGINEERING CO. LTD.  
 K M R R.  
 P & ID OF HALON 1301 SYSTEM FOR RIPE BLDG. HOT CELLS  
 NO. 794-JC-H002

그림 15. 핫셀 소화설비 배관 및 계장도

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드
KAERI/RR-1816/97			
제목/부제	하나로 동위원소 생산시설 개발		
연구책임자 및 부서명 (TR, AR인 경우 주저자)	이 지 복 (하나로운영팀)		
연구자 및 부서명	우중섭, 정운수, 백삼태, 강병위, 이봉재, 양성홍, 정환성, 박용철, 황승렬, 이중희, 장천익, 조성원, 김준연		
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소
페이지	66p.	도표	있음( o ), 없음( )
참고사항			
비밀여부	공개( o ), 대외비( ), _ 급비밀	보고서종류	연구보고서
연구위탁기관		계약번호	
초록 (15-20줄내외)	<p style="text-align: center;">하나로의 부속시설인 동위원소건물내에 핫셀과 관련설비들을 개발 설치함.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 콘크리트 핫셀 4기와 관련 기기 개발 설치</li> <li>2. 납핫셀 17기와 관련기기 개발 설치</li> <li>3. 수력이송장치개발</li> <li>4. 방사선 감시 설비 개발</li> <li>5. Co-60 저장조 정화 설비 개발</li> <li>6. 핫셀 소화설비 개발</li> <li>7. 실험기기 제작 설치</li> </ol>		
주제명키워드 (10단어내외)	콘크리트 핫셀, 납핫셀, 수력이송장치, 정화설비, 소화설비, 실험기기, 방사선감시설비, Co-60 저장조, 원격조작기, 차폐창		

## 주 의

1. 이 보고서는 과학기술부에서 시행한 원자력연구개발 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 과학기술부에서 시행한 원자력연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개 하여서는 아니됩니다.