

## 핫셀의 방사성오염물질 운반장치 설계를 위한 분석

홍동희\*, 진재현\*, 정재후\*, 김영환\*, 윤지섭\*( \*한국원자력연구소)

Analysis for designing a device to transport radioactive contaminated materials in hotcell

D. H. Hong\*, J. H. Jin\*, J. H. Jung\*, K. H. Kim\*, J. S. Yoon\*( \* KAERI )

### ABSTRACT

During demonstrations of a process conditioning spent nuclear fuels, it may be necessary to transport modularized parts of process equipment out of a hot cell because of modules' failure or completion of demonstrations. It may be not easy to transport modules because modules will be contaminated. For this purpose, we have developed a prototype of a device transporting radioactive contaminated materials. We have analyzed conditions of a hot cell and requirements of the device, designed and manufactured a scaled-down prototype of the device, and done some performance tests such as running on the rail, running on the flat floor, and carrying capability of a sliding upper part. From the tests, it has been shown that running on the rail and floor was smooth but the sliding part was deflected if the sliding distance was long. These result will be reflected to a design of the improved transporting device which will be used during demonstrations.

**Key Words** : conditioning, spent nuclear fuels, module, radioactive contaminated materials

### 1. 서 론

본 연구는 핫셀에서 공정장치를 이용한 사용 후핵연료의 실증시험 수행중에 장치의 고장으로 인하여 폐기하거나, 실증시험을 완료 한 후에 폐기 하여야하는 공정장치의 모듈화 된 부품 및 실험재료 등 방사능에 오염된 운반물을 핫셀 외부의 Isolation room으로 이송한 후에 Jip 크레인을 이용하여 고준위폐기물 처분용기에 담을 수 있도록 하는 무인 운반장치를 개발하기 위하여 수행하였다. 효율적인 장치의 개발을 위하여 실증시험을 수행 할 예정인 IMEF(조사재시험시설) 시설의 예비핫셀 주변의 환경을 분석하고, 운반장치의 설계에 필요한 요건을 분석하였다. 분석한 결과에 의하면 핫셀 내부에 설치된 실험장치의 복잡성 과 운반장치의 빈번한 핫셀 내부 출입으로 인한 방사성 물질에 의한 환경오염을 방지하기 위하여 운반 장치 전체가 핫셀로 진입하여 방사

성물질에 오염된 장비 등을 이송하는 것은 배제 되어야 하며, Isolation Room 에서의 운반장치의 주행은 기존의 설치된 레일을 활용하여 주행하는 X축 방향의 주행과 바닥을 주행하는 Y축의 2 개 방향으로 주행 할 수 있는 구조이어야 하였다. 분석 결과를 바탕으로 본 연구에서는 장치를 1/2로 Scale Down하여 모의 장치를 설계하여 제작하였다. 장치의 시험은 실증시험을 수행 할 핫셀과 동일한 환경으로 모의 레일을 설치하여 레일주행시험, 철판을 이용한 바닥주행시험, 장치상판의 이송시험 등을 수행하였으며, 그 결과들을 분석하여 실증장치 제작에 필요한 설계 자료를 확보 하였다.

### 2. 핫셀 환경 분석

#### 2.1 핫셀의 구성

사용후핵연료 실증시험을 수행 할 핫셀은

조사재시험시설(IMEF)의 지하층에 위치하고 있으며, 공정 셀 및 유지보수 셀로 구성되고, 공정셀에는 사용후핵연료 탈피복장치, 사용후핵연료 분말화장치, 금속전환장치, 금속용융장치, 폐용융염 처리장치 등의 공정장치가 설치되고 유지보수 셀에는 크레인, 공정기기 유지 보수, 반출기기 제염 작업을 수행 한다. 또한 핫셀은 알파 감마 Type의 콘크리트 셀이며 공정 셀은 길이 8.1 m 폭 2.0 m 높이 4.3 m이고, 유지보수 셀은 길이 2.2 m 폭 2.0 m 높이 4.3 m이다.

## 2.2 격리실(Isolation room)

핫셀의 작업구역에는 핫셀 출입문의 개방 시 오염의 확산을 방지하기 위하여 격리실(Isolation room)이 설치되어 있다. 격리실은 3.9 M(길이) X 4.85 M(폭) X 3.2 M(높이)이고, 내부에는 핫셀 출입문의 주행 방향 전환을 위한 회전 테이블(직경 1.6 M) 및 장비의 취급을 위한 회전크레인이 설치되어 있다. 본 연구에서 개발 하고자하는 이송장치의 주행방향 전환도 회전 테이블을 이용하여 할 수도 있으나 장치의 활용도를 높이고 격리실의 어떠한 공간에서도 자유로운 방향 전환을 위하여 장치가 자체적으로 회전이 가능한 구조로 설계 되어야 한다.

## 2.3 출입도어(Reare Door)

출입 도어(Reare Door)는 각 셀의 뒷벽에 설치되며 개구부의 크기가 폭 0.9 m 높이가 1.7 m인 중량콘크리트 구조물로서 공정장치의 교체 및 유지보수 작업 수행을 위하여 Reare Door를 열 경우에는 콘크리트 중량물은 모터에 의하여 격리실에 설치된 레일위로 구동된다. 이때 핫셀 내부 방사선 준위가 2.5 mSv/hr를 초과할 경우에는 Reare Door가 열리지 않도록 Interlock이 설치되어 있다.

# 3. 모의 운반장치 설계 및 제작

## 3.1.1 설계를 위한 장치의 요건

핫셀의 환경분석 결과에 의하면 본 장치의 설계를 위하여 사전에 결정하여야 할 주요

사양은 장치상판의 크기, 바닥 주행 중 장치의 회전반경을 결정할 Isolation room의 크기, 운반물을 적재 및 하역할 리어도아의 이송위치, 장치의 용량을 결정하는 운반용량, 장치의 동력 등 이다.

## 3.2 모의운반 장치설계

IMEF 예비핫셀의 환경 등 분석결과를 바탕으로 설계자료 확보를 위하여 장치를 1/2로 Scale Down하여 모의 운반장치를 설계하였다. 장치에 필요한 각 Part 별 주요 기능은 다음과 같으며 이러한 요건들을 반영하여 설계한 장치의 개념 설계도는 그림 1 과 같다.

### 3.2.1 장치 상부

장치 상판의 폭은 핫셀의 리어도를 이송한 후에 핫셀 내부로의 출입이 자유롭도록 리어 도아 폭보다 작아야 하며, 리어도어의 레일을 이용하여 장치를 주행 할 경우 핫셀 입구까지만 접근이 가능하므로 핫셀 내부에서는 크레인이 달는 위치까지 장치의 상판이 들어가야만 한다. 이때 장치의 상판은 핫셀 내의 작업대 위에서 슬라이딩 할 수 있는 구조로 하였다.

### 3.2.2 장치프레임 및 주행부

레일을 주행하는 바퀴는 리어도아를 움직이기 위하여 설치한 레일에 접촉하여 안전하게 주행하고 주행 중 이탈을 방지 할 수 있는 구조로 하였으며, 레일 주행용 모터의 용량은 RFP에서 요구(200 kg)하는 운반용량 및 장치의 자중을 고려하여 레일에서 원활하게 주행 할 수 있도록 하였다. 바닥 구름바퀴 엽다운 모터는 리어도아 레일을 주행한 운반 장치가 방향의 전환을 위하여 연결된 엽다운 스크류의 상하 운동으로 레일 주행바퀴가 충분히 상승하면 바닥 구름바퀴가 레일 직각 방향으로 주행 할 수 있도록 하였다. 바닥 구름바퀴 모터의 용량은 RFP에서 요구(200 kg)하는 운반용량 및 장치의 자중을 고려하여 Isolation room 바닥을 원활하게 주행 할 수 있도록 하였다.

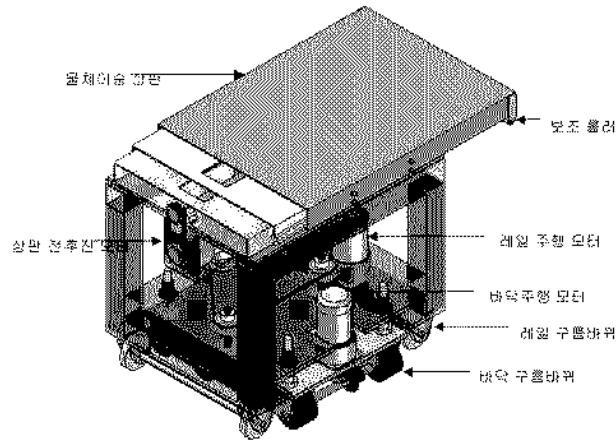


Fig 1. Conceptual design of Transportation Device

### 3. 모의 운반장치의 성능시험

#### 3.1 물체이송 상판 및 보조롤러

모의 운반장치의 성능시험은 철판 및 앵글을 이용하여 핫셀과 동일한 형태로 장치가 통과 할 출입구, 작업대, 이송레일 등을 제작하여 설치 한 후에 수행 하였다. 핫셀은 리어도아 레일이 끝나는 지점에서 레일 구름바퀴를 이용한 주행은 불가능하므로 핫셀 내부의 작업대에서부터 운반장치 까지 물체를 이송 할 경우에 장치가 정지한 상태에서 상판이 핫셀 내부로 진입할 수 있도록 설계 하였다. 장치의 상판은 물체의 이송 거리가 길어질 경우 처짐이 발생하므로 이를 방지하기 위하여 상판이 2중으로 겹쳐지는 구조로 하였다. 상판의 움직임은 모터의 작동에 의하여 1단의 상판이 완전히 전진한 후 2단의 상판이 전진 되도록 하였다. 작업대 위에서 장치 상판의 유동이 자유롭도록 끝부분에 보조롤러를 부착 하였다. 장치의 작동시험 결과 상판이송 모터는 설계 하중인 250 kg을 적재하여도 이송에는 문제가 없었으나 핫셀 내부로의 상판 이송시 이송 거리가 30 cm를 넘었을 때부터 상판의 처짐 현상이 발생하였다. 이는 모의장치 제작을 위하여 사용한 상판 플레이트 철판의 강도가 충분하지 못하여 발생 할 수 있으나, 상판으로 사용한 철판의 두께가 얇아 발생 할 수도 있다. 실증용 장치 제작 시에는 철판의 강도 및 두께에 따른 처짐 현상을 분석하여 운반 물체의 하중에 충분히 견딜 수 있도록 설계

할 예정이다. 실험결과 발생한 장치상판에 적재한 물체의 무게 및 처짐 현상은 Table 1 및 Fig 2와 같다.

Table 1 Moving distance of top plate.

unit : mm

	0.5 Cm	10 Cm	15 Cm	20 Cm	25 Cm	30 Cm	35 Cm	40 Cm	45 Cm	비고
0	785	782	783	783	783	783	784	783	783	784
6 kg	784	782	783	783	783	782	783	782	782	782
12 kg	784	783	783	783	783	782	782	782	782	781
23 kg	784	784	784	784	783	783	782	781	780	779
38 kg	784	784	784	783	783	782	781	780	779	778
53 kg	784	784	784	783	783	783	783	779	778	777
98 kg	784	783	783	783	783	779	777	778	778	778

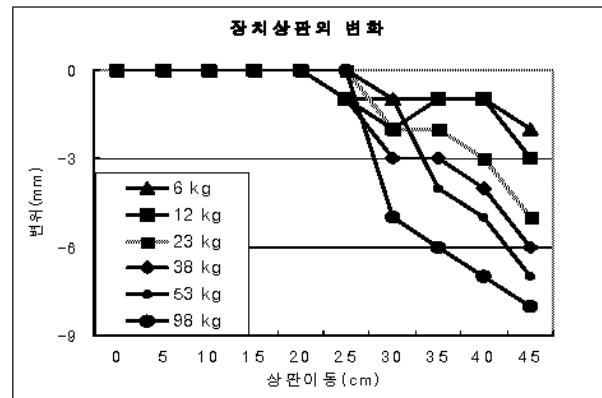


Fig 2. Deflection of top plate

#### 3.2 레일주행

장치의 리어도아 레일 위의 주행은 핫셀 내부에서 크레인 등의 운반 장비를 이용하여 공정장치의 부품 등 운반물을 장치의 상판에 적재를 완료하면, 장치의 상판은 모터를 구동하여 원위치로 복귀 한다. 이송 준비가 완료된 장치는 레일 주행모터의 운전 스위치를 ON 하여 레일을 따라 Isolation room 내부의 적정 위치까지 장치가 움직이며 Stop 지시에 의하여 정지한다. 이송시험 결과 장치의 움직임은 대단히 원활하며 원하는 위치에서 자유롭게 정지 할 수 있었다. 실증 시험을 위한 핫셀에서는 Isolation room의 Turn table 까지 장치를 주행하여 Turn table에서 장치의 주행 방

향을 전환하여야 하나 모의시험에서는 바닥구름 바퀴를 이용하여 장치의 주행 방향을 전환하였다.

### 3.3 바닥주행

본 연구에서 개발하고자 하는 장치는 주행방향이 기존의 **Isolation room** 바닥을 파고 설치한 레일을 따라 이송하는 Y 방향과 설치된 레일보다 3 cm 위쪽의 바닥을 주행 하여야 하는 X 방향의 2축 주행 방식이다. 실증시험을 수행 할 핫셀의 **Isolation room**에는 **Turn table**이 설치되어 있어 운반장치를 이용하여 물체를 이송한 후 장치의 주행 방향의 전환에는 문제가 없거나 운반장치를 이송레일에서 떨어진 특정한 위치에 이송하거나 장치를 장기간 보관 할 경우에는 장치가 **Isolation room** 바닥을 주행하여야 하는 경우가 발생한다. 이 경우에 레일이 바닥보다 낮게 설치된 **Isolation room**에서 레일을 주행하는 장치가 구름바퀴 업다운 모터에 의하여 운반 장치 자체를 바닥을 주행 할 수 있도록 충분히 들어 올려준다. 이때 모터의 동작은 ON Off 스위치로 하며 원하는 위치에서 자유롭게 조작 할 수 있도록 하였다. 시험결과 설계된 Up Down 모터의 작동 및 바닥주행은 대단히 원활하였으며 속도의 조절도 가능하였다. 그러나 장치의 운전 방향의 전환은 장치에 운전 핸들을 부착하지 않아 자유롭게 할 수 없었다. 실증장치 제작 시에는 **Isolation room** 바닥에서의 운전 방향 전환 빈도수를 고려하여 핸들의 부착 여부를 결정하여야 한다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 고방사성 물질인 사용후핵연료를 이용한 핫셀 실증시험에서 방사성에 오염된 물질을 핫셀 밖으로의 이송하기 위한 모의 운반장치를 개발 하고자 하였다. 장치의 개발을 위한 요건 설정을 위하여 핫셀 주변의 환경을 분석하고, 실증시험을 수행 할 핫셀에 필요한 장치의 설계자료 확보를 위한 모의 운반장치를 1/2로 축소하여 제작 하였다. 제작한 장치의 각 Part 별 기능 시험은 핫셀과 동일한 환경으로 주행레일 및 출입문 등을 제작하여 수행하였다. 시험에서 확보한 주요 설계 자료는 다음과 같으며 이러한 결과는 실증장치를 설계할 때에

반영하여 완벽한 운반장치를 제작한 후에 실증용 장치로 활용할 예정이다.

- 1) 상판이송 모터는 설계 하중인 250 kg을 적재하여도 이송에는 문제가 없었으나 핫셀 내부로의 이송 거리가 30 cm를 넘었을 때부터 상판의 처짐 현상이 발생 하였다. 실증용 장치 제작 시에는 철판의 강도 및 철판의 두께에 따른 처짐 현상을 계산하여 충분히 견딜 수 있도록 설계하여야 한다
- 2) 레일 이송시험 결과 장치의 움직임은 대단히 원활하며 원하는 위치에서 자유롭게 정지 할 수 있었다.
- 3) 바닥주행 시험 결과 설계된 Up Down 모터의 작동 및 바닥주행은 대단히 원활하였으며 속도의 조절도 가능하였다. 그러나 장치의 운전 방향의 전환은 자유롭게 할 수 없었다. 실증장치 제작 시에는 장치의 방향 전환 빈도수를 등을 고려하여 방향 전환 핸들의 부착 여부를 결정하여야 한다.

## 후 기

본 논문은 과학기술부에서 지원한 원자력연구개발사업으로 수행된 연구결과이며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. J.S.Yoon, D.H.Hong, J.H.Jin, J.H.Jung, K.H. Kim, B.S.Park, "Development of Spnt Fuel Remont Handling Technology," KAERI/RR - 2425 /2003 Vol. 1, pp. 123-158.
2. H.H.Lee, J.Y.Lee, J.S.Yoon, S.W.Park, "Design guidelines for Remont maintained equipment" KAERI/TS - 32/97, 1997 Vol. 1
3. C.S.Seo, S.C.Oh, S.K.Roh, S.W.Park, "Design guidelines for radioactive material handling facilities and equipment" KAERI/TS - 25/97, 1997 Vol. 1
4. Peckner, D. and Bernstein, I, Handbook of Stainless Steels, Mcgraw Hill, P. 18-50, 1997