

2004 춘계 학술발표회 논문집
한국원자력학회

차세대관리 종합공정 실증시설의
공정장비 및 공정물질의
반출입 시스템 설계

Take In/Out System Design of
Process Equipment and Material for
the Advanced Spent Fuel Conditioning Process

이은표, 유길성, 박성원, 정원명, 구정희, 조일제, 국동학, 주준식

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

원자력 발전소에서 발생하는 사용후핵연료의 효율적인 관리를 위한 연구의 하나로 원자력연구소에서는 사용후핵연료 차세대관리 종합공정을 개발 중이다. 이 공정의 실증을 위해서는 핫셀 및 부대시설의 확보가 필수적이며, 이를 위해 현재 조사재시험시설의 지하에 위치한 예비핫셀을 보완하여 실증시설로 활용할 계획이다. 실증시설에는 핵물질/공정물질 및 공정장치를 설치 및 반출하기 위한 Rear Door가 두 군데 설치되며, 이 Door에는 핫셀 외부로 오염된 물질들을 반입, 반출하기 위한 시스템을 갖추고 있다. 이 시스템은 기존의 시스템과는 달리 이 실증시설 핫셀을 위해 특별히 고안되었다.

Abstract

The ACP(Advanced Spent Fuel Condition Process) has been developing in KAERI for the effective management of spent fuel discharged from the commercial reactors in Korea. For the ACP development it is inevitable to have a hot cell facility for demonstration of the process. For the ACP hot cells, the IMEF future cell line will be modified. The ACP hot cells will have two rear doors with the transfer system for the nuclear material and process equipments from/to hot cells. This transfer system has an unique design for the ACP hot cells only.

1. 서론

차세대관리 종합공정은 사용후핵연료를 안전하고 효율적인 관리를 위하여 제시된 공정으로 이 공정을 이용하여 사용후핵연료를 금속으로 전환하고 고발열성 핵종(Cs, Sr)을 효율적으로 제거할 경우 사용후핵연료의 부피, 발열량 및 방사선의 세기를 최대 1/4까지 감소시키고, 처분용기의 소요량과 처분장의 소요면적을 1/2 이상으로 축소함으로써 처분 안정성과 경제성을 높일 수 있다. 차세대관리 종합공정은 용융염 매질에서 사용후핵연료를 처리하는 건식핵연료주기 기술로서 중심적으로 연구개발을 추진하고 있는 공정기술의 일부이다.

현재 국내에서는 차세대관리 종합공정에 대한 기초연구를 완료하고 실증시험을 위한 구체적인 계획을 수립하였으며, 실증시험을 수행하기 위해서 필수적인 핫셀 시스템의 확보하기 위하여 기존 핫셀을 개조하기 위한 핫셀 시스템의 설계를 완료하였다.

본 연구에서는 Roof door가 없는 차세대관리공정 핫셀에서 Rear door를 이용하여 차세대관리공정 장비 및 방사성 물질의 핫셀 반출입을 수행하기 위한 시스템을 설계하였다.

2. 핵연료 물질의 핫셀 반/출입 시스템 설계

차세대관리 종합공정 실증시험을 수행하는 공정은 사용후핵연료 Rod-cut 제조 및 운반, 제조된 Rod-cut을 사용하여 우라늄 금속전환체 제조 및 폐용융염 처리, 폐용융염 운반/저장 및 공정시료 이송 등으로 구분된다.

차세대관리공정을 수행하기 위하여 선정된 사용후핵연료봉은 기존 조사후시험시설 내의 핫셀과 장비를 활용하여 감마스캐닝에 의한 특성을 분석하고 25cm로 절단된 후 Padirac cask(RD-15)에 담겨져 운반된 핵연료는 그림 1과 같이 Rear door에 설치된 Padirac system을 통하여 차세대관리공정 핫셀로 반입되며, 폐용융염 및 공정 중에 발생하는 고준위 폐기물은 일정한 용기에 포장된 후 Padirac system을 통하여 차세대관리공정 핫셀에서 반출되어 조사재시험시설의 M4 핫셀로 반입되며, 반입된 고준위 물질은 다시 고준위 폐기물 용기에 담겨져 Roof door에 설치된 Solid waste cask를 이용하여 Monolith로 보내어지는 시스템으로 설계되었다. 또한 공정시료는 일정한 용기에 포장되어 Padirac system을 통하여 차세대관리공정 핫셀에서 반출되어 분석용 핫셀로 보내어지는 시스템으로 설계되었다.

3. 차세대관리공정 장비의 반출입 시스템 설계

기존 핫셀에서 부피가 크고 무거운 핫셀 장비는 Roof door를 통하여 핫셀 반입 및 반출을 수행하고 있다. 그러나 차세대관리공정 핫셀은 지하에 위치하여 Roof door를 구비할 수가 없으므로 부피가 크고 무거운 핫셀 장비는 Rear door를 통하여 반입하나 핫셀 Rear door의 두께가 1000cm이고 핫셀 내의 전용 크레인 및 서비스 구역의 Jib crane hook가 접근할 수 없는 역역이 각각 400cm 존재함으로 이 구역에서 차세대관리공정 장비를 운반할 수 있는 운반수단이 필요하다.

핫셀 장비의 반입 및 반출을 위한 별도의 장비를 서비스 구역에 구비할 수 있으나 장비의 활용도가 낮고 핫셀 장비를 반출입하기 위한 장비가 고준위 방사선 구역에 노출 및 접촉되어지므로 작업이 끝날 때마다 장비를 제염하여야 한다. 또한 핫셀의 작업 테이블

과 Rear door의 상부 사이의 공간이 작아 부피가 큰 장비의 반입 및 반출에 어려움이 있다.

이러한 문제점을 해소하기 위하여 그림 1과 같이 Rear door 앞부분을 가로 900cm 세로 900cm 단면적 넓이의 작업 테이블을 2단으로 하고 작업 테이블 밑으로 출입할 수 있는 문을 설치하였으며 상부 작업 테이블을 이동형으로 하여 핫셀 장비의 반입 및 반출시는 상부 이동형 작업 테이블을 제거하여 입구공간을 충분히 확보하였다.

또한 Rear door 전면 하단부에 3단으로 상하 이동이 가능한 Rear door 테이블을 설치하였으며 차세대관리공정 서비스 구역과 조사재시험시설 서비스 구역 Roof door 구간에 레일을 설치하고 중량물을 운반할 수 있는 전동대차를 구비하는 시스템으로 설계하였다. 그림 2는 이러한 작업을 수행하기 위한 부대설비의 관계도이다.

3.1. 차세대관리공정 장비의 반입 시스템

차세대공정 장비를 반입하기 위해서는 서비스 구역에 설치된 Jib crane를 이용하여 Padirac cask cart를 레일에서 분리하여 일정한 장소로 격리시킨 후 조사재시험시설 서비스 구역으로 반입된 차세대관리공정 장비는 조사재시험시설 서비스 구역에 설치된 Roof door를 열고 천정 크레인을 이용하여 차세대관리공정 서비스 구역과 조사재시험시설 서비스 구역 Roof door 구간에서 중량물을 운반할 수 있는 전동대차 위에 올려 놓은 후 전동대차를 차세대관리공정 서비스 구역 Rear door 부분까지 이동시킨 후 Jib crane으로 공정장비를 인양하고 전동대차는 뒤쪽으로 약간 이동시킨다. 그리고 Rear door 앞쪽에 위치한 상부 작업 테이블을 제거한 후 공정 장비의 높이를 감안하여 Rear door 전면 하단부에 설치된 Rear door 테이블의 고정 핀을 해제하고 핫셀용 크레인을 이용하여 작업 테이블의 높이를 조절하고 고정핀을 체결한 후 Rear door를 서비스 구역으로 인출한 다음 공정장비를 Rear door 테이블에 내려놓고 Rear door를 닫는다.

핫셀 내로 반입된 공정장비는 핫셀용 크레인으로 인양하여 각각의 공정장비의 위치로 옮긴다.

이러한 작업을 반복 수행함으로써 차세대관리공정 장비를 반입할 수 있으며 공정장비의 반입 작업이 끝난 후 Rear door 테이블의 위치를 하단에 위치시키고 상부 작업 테이블을 다시 설치하는 시스템이다.

3.2. 차세대관리공정 장비의 반출 시스템

차세대공정 장비의 핫셀 반출은 기본적으로 반입절차의 역순으로 이루어지나 공정 장비는 핫셀 내에서 고준위 핵연료와 항상 접촉되어진 장비로서 상당량의 방사선을 방출하여 접근이 곤란하고 작업자의 방사선 피폭을 줄이기 위한 설비 및 특수 공구 등 고려해야 할 사항이 많다.

차세대관리공정 핫셀에서 반출되는 장비는 고방사선을 방출하므로 저장용기 규격과 예상되는 방사선량을 고려한 차폐용기를 제작하여야 하고 Jib crane, Rear door 및 전동대차를 원격으로 조작할 수 있어야 하며 작업자가 방사선 피폭으로부터 보호될 수 있는 차폐벽 및 투시창이 설치된 설비를 구비되어야 할 뿐만 아니라 핫셀로부터 반출된 장비를 원격으로 Jib crane이 Hooking할 수 있는 Magnetic hook가 구비되도록 설계하였다.

핫셀 장비를 반출하기 위해서는 서비스 구역에 설치된 Jib crane를 이용하여 Padirac cask cart를 레일에서 분리하여 일정한 장소로 격리시킨 후 조사재시험시설 서비스 구역 Roof door를 통하여 차폐용기를 전동대차 위에 올려 넣은 후 전동대차를 차세대관리공정 서비스 구역 Rear door 부분까지 이동시킨 후 Jib crane을 이용하여 뚜껑을 해제한다.

그리고 Rear door 앞쪽에 위치한 상부 작업 테이블을 제거하고 공정 장비의 높이를 감안하여 Rear door 전면 하단부에 설치된 Rear door 테이블의 고정 핀을 해제하고 핫셀용 크레인을 이용하여 작업 테이블의 높이를 조절하고 고정핀을 체결한 후 핫셀 크레인을 이용하여 공정장비를 Rear door 테이블에 내려놓고 핫셀에서 반출되는 장비는 고방사선을 방출함으로 작업자가 방사선 피폭으로부터 보호될 수 있는 차폐벽 및 투시창이 설치된 곳에서 원격으로 Rear door를 연 후 Jib crane과 Magnetic hook를 조작하여 반출된 핫셀 장비를 인양하고 Rear door를 닫은 후 차폐용기가 놓여진 전동대차를 이동시키고 Jib crane으로 인양된 장비를 용기 안에 넣는다. 이와 같은 방법으로 장비 반출 작업을 반복한 후 Jib crane으로 차폐용기의 뚜껑을 닫고 전동대차를 조사재시험시설 서비스 구역 Roof door로 이동하여 핫셀 장비를 반출하는 시스템으로 설계하였다.

이와 같은 시스템으로 핫셀 장비 반출 작업을 수행할 경우 핫셀 반출 장비와 직접 접촉하는 Magnetic hook만 제염을 실시하면 되며 서비스 구역은 때에 따라서 오염이 될 수 있으므로 오염여부를 확인한다.

4. 결 론

본 연구에서는 Roof door가 없는 차세대관리공정 핫셀에서 Rear door를 이용하여 차세대관리공정 장비 및 방사성 물질의 핫셀 반출입을 수행함으로써 Rear door의 이용을 극대화하고 관련 설비의 오염을 최소화함으로써 작업이 끝난 후 제염작업을 줄이고 서비스 구역의 오염을 최소화시킬 수 있는 시스템으로 설계된 자료에 따라 차세대관리공정 핫셀을 건설하여 활용할 것이다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부 주관으로 추진 중인 원자력증장기사업의 일환으로 수행된 연구 결과입니다.

참고문헌

1. KAERI/RR-2128/2000, 사용후핵연료 차세대관리공정 개발, 2000
2. KAERI/TR-2004/2002, 차세대관리 종합공정 실증시설 설계요건서, 2002
3. KAERI/TR-2092/2002, 차세대관리 종합공정 실증시설 개념설계보고서, 2002
4. 박 성원 외, '차세대관리 실증시설의 공정기준요건 연구', 원자력학회 2002 춘계학술 발표회 논문
5. 정 원명 외, '차세대관리 실증을 위한 설계 연구', 원자력학회 2003 춘계학술발표회 논문
6. 정 원명 외, '차세대관리 실증시설 설계', 원자력학회 2003 추계학술발표회 논문

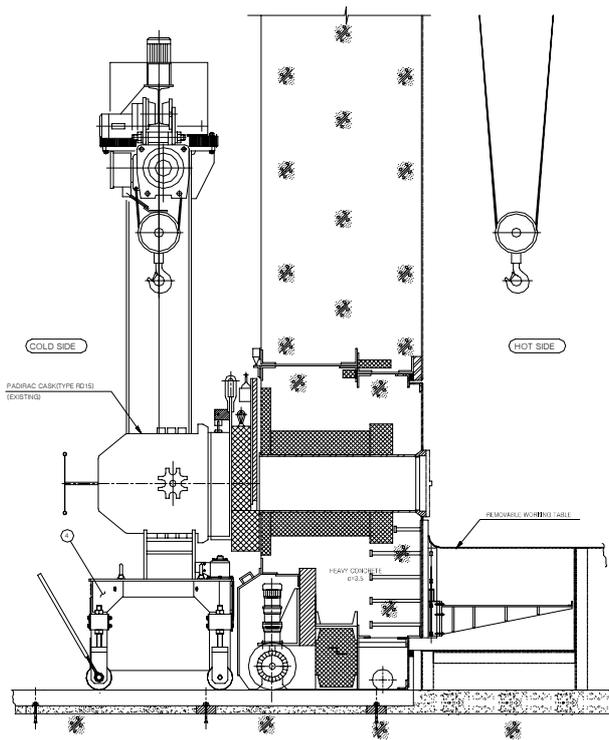


그림 1. 핵연료 물질 등을 반출입하기 위한 Padirac cask를 Rear door에 접속한 상태도

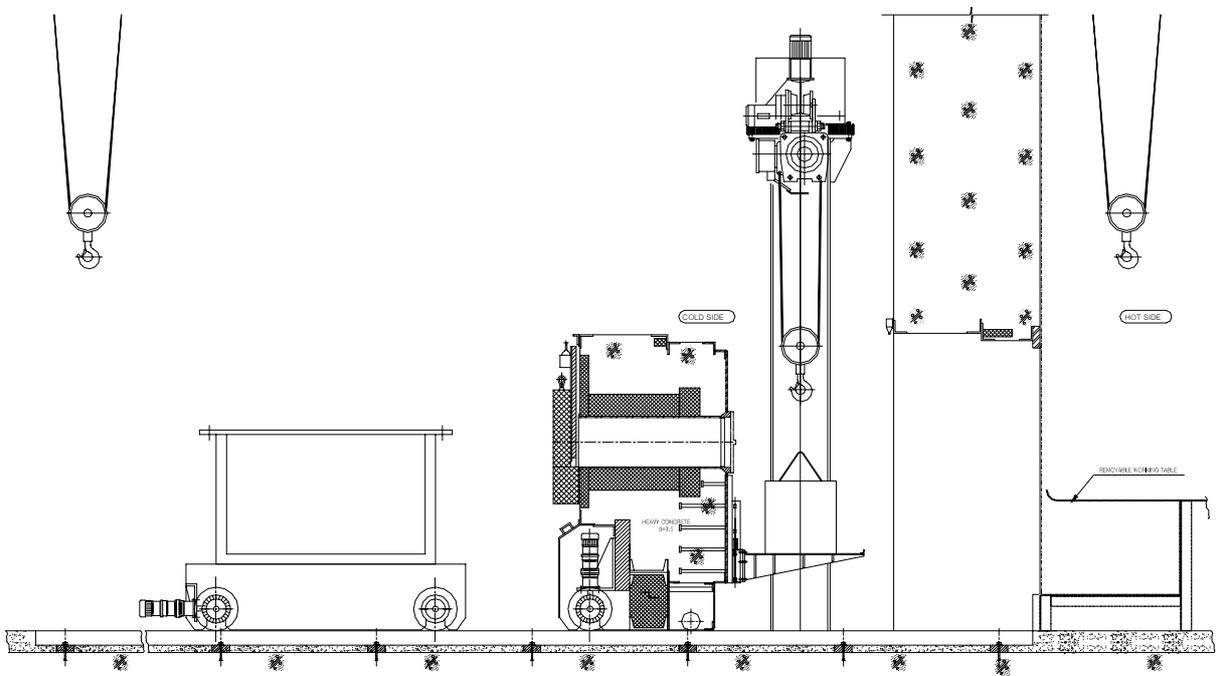


그림 2. 차세대공정 장비를 반출입하기 위한 부대설비 관계도