

## 연구로 2 호기 Thermal Column 해체작업 공정분석

김성균, 정운수\*, 정기정\*\*  
한국원자력연구소

### Analysis of Decommissioning Work Process for Thermal Column of KRR-2

Sung-Kyun Kim, Un-Soo Jung, Ki-Jung Jung  
Korea Atomic Energy Nuclear Institute

#### 1. 서론

국내 최초의 연구용 원자로 1,2 호기(KRR-1,2)는 각각 1962년과 1972년에 가동을 시작하여 국내 원자력 기술 자립에 많은 도움을 주었다. 그러나 하나로에 정상 가동으로 인해 연구용 원자로 1,2 호기의 효용가치가 상실되었을 뿐만 아니라 시설의 노후화로 인해 1995년 두기 모두 가동이 중지되었고 1996년 과학기술부에 의해 연구로 1,2 호기를 폐로 하기로 결정하였다. 이후 해체 설계와 방사능 분석 등을 수행하여 연구로 1,2 호기에 대한 해체계획서 [1]를 작성하였으며, 정부로부터 재검, 해체 계획에 대한 인허가를 1999년 11월 받게 되었다 [2].

연구로 해체시설 중 Thermal Column은 대부분 알루미늄 및 고순도의 흑연으로 제작되어 있고 원자로의 운전시 방사화의 정도는 높지 않지만 흑연 내에 포함된 불순물로 인해 방사화되어 있을 것으로 예상된다. 특히 흑연은 미세한 분진형태를 띠고 있기 때문에 Thermal Column 해체시 발생하는 흑연 분진의 비산으로 인한 공기오염이 유발될 수 있으며 분진의 폭발 가능성이 존재하게 된다. 따라서 이러한 특수한 작업조건을 고려하여 공기의 오염을 최소화하고 부적절한 인양작업으로 인한 작업자의 부상과 흑연 분진으로 인한 작업자의 방사선 피폭을 최소화 할 수 있는 작업공정을 수립해야 한다.

#### 2. 본론

##### 2.1 시설의 현황

수평 Thermal Column은 원자로 수조의 빔포트 끝부분에서 콘크리트 차폐체내에 가로 122cm, 세로 122cm, 깊이 335cm의 큰공간의 차지하고 있으며 수평 Thermal Column의 중심선은 원자로심의 중심면 보다 2.5cm 높게 위치해 있다.

Thermal Column의 알루미늄 라이너는 바깥쪽으로 개방되어 있으며 원자로심으로부터 원

자로 수조의 안쪽벽 공간에 흑연블록이 쌓여 있다. 납차폐판으로부터 바깥쪽에 위치해 있는 알루미늄 라이너는 3.2cm 두께의 보랄 및 5cm 두께의 폴리에틸렌으로 피복되어 있다.

각각의 흑연블록의 단면은 10.2cm × 10.2cm, 길이는 최대 127cm, 무게는 약 22.7kg이며 흑연취급장비를 이용하여 취급이 가능하도록 나사구멍이 마련되어 있다. 흑연블록은 맨 아래층에는 길이방향으로, 두 번째 층에는 세로방향으로, 세 번째 층에는 다시 길이방향으로 설치되어 있다. Thermal Column의 바깥쪽면에는 전동구동 차폐도어에 의해 차폐되고 있다. 차폐도어는 두께 1.6m의 고밀도 콘크리트로 제작되어 있으며 총중량은 약 20톤이다.

수직 Thermal Column은 Hohlräum 바로 위의 차폐체내에 설치되어 있다. 수직 Thermal Column은 가로 91.4cm, 세로 91.4cm, 길이 86.4cm의 크기를 갖는 알루미늄 바스켓에 78.7cm 길이의 흑연봉이 채워진 형태이다. 바스켓의 벽에는 보랄판이 고정되어 있으며 5cm 두께의 폴리에틸렌 시트가 보랄판 다음에 위치해 있으며 바스켓의 바닥에는 납벽돌이 설치되어 있다. 수직 Thermal Column의 위에는 원자로실의 천장 크레인으로 들어올릴 수 있는 일반 콘크리트 재질의 차폐문(약 4톤)에 의해 차폐되어 있다. 각각의 흑연봉에는 흑연취급장비를 이용하여 취급이 가능하도록 나사구멍이 마련되어 있다.

연구로 2호기의 차폐판은 Thermal Column 상부의 원자로 수조 콘크리트 차폐체내에 매입되어 있으며 원자로의 운전시 일부 방사화되어 있을 것으로 예상된다. 차폐판에 대한 방사화 분석을 한 결과 스틸 차폐판의 총방사능은 약 1mCi(Co-60)에 이르는 것으로 나타났다.

## 2.2 수평 및 수직 Thermal Column 작업공정

작업 1 : 수평 Thermal Column의 제거	
작업공정	유의사항
1.1 차폐문 재류핸들(Locking Mechanism Handle)을 부착하고 핸들을 위로 잡아 당긴다.	- 차폐문의 재류기능을 해제하고 전동모터 회로를 활성화시킴.
1.2 동역선을 연결하고 스위치를 작동하여 차폐문을 후진하여 개방한다.	- 방사선안전관리요원이 감시하고 있어야 함.
1.3 Thermal Column의 방사선량을 측정한다.	- 최대 작업시간을 결정함.
1.4 차폐문 안쪽면의 플랫폼 상부에 설치되어 있는 흑연블록을 제거하기 위해 16개의 알루미늄 볼트 및 와셔를 제거하여 상부 및 양측면의 폴리에틸렌 고정판을 제거한다.	- 작업구역주변에 공기오염감시기가 작동하고 있어야함.
1.5 취급장비를 이용하여 차폐문에 설치된 흑연블록을 제거하여 폴리에틸렌으로 포장한다.	

1.6 포장된 흑연블록을 저장용기에 수납한다.	
1.7 흑연 취급장비를 이용하여 수평 Thermal Column으로부터 흑연블록을 제거한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 흑연봉의 길이는 약 80cm임.</li> <li>- 방사선 안전관리 요원이 감시하고 있어야 함.</li> <li>- 작업구역주변에 공기오염감시기가 작동하고 있어야함.</li> <li>- 흑연봉을 제거하는 동안 방사선량을 측정하여 필요시 임시차폐물을 설치하여야 함.</li> </ul>
1.8 흑연블록의 제거후 Thermal Column내의 공간에 대한 방사선량을 측정한 후 차폐문을 닫는다.	

작업 2 : 수직 Thermal Column의 제거	
작업공정	유의사항
2.1 원자로 천장크레인을 이용하여 수직 Thermal Column Door를 제거한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Door에는 네 귀퉁이에 아이볼트를 끼울 수 있는 4개의 볼트구멍이 마련되어 있음.</li> </ul>
2.2 방사선량을 조사한다.	
2.3 철제인양 프레임(Steel Lifting Frame)을 수직 Thermal Column의 알루미늄 바스켓의 상부플렌지에 연결한다.	
2.4 원자로실 천장크레인을 이용하여 흑연봉이 들어있는 알루미늄 바스켓을 원자로실 바닥으로 내려놓는다.	
2.5 알루미늄 바스켓으로부터 흑연봉을 하나씩 꺼내 폴리에틸렌으로 포장하여 저장용기에 수납한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 방사선 안전관리 요원이 감시하고 있어야함.</li> <li>- 작업구역주변에 공기오염감시기가 작동하고 있어야함.</li> <li>- 흑연봉을 제거하는 동안 방사선량을 측정하여 필요시 임시차폐물을 설치하여야함.</li> </ul>
2.6 수직 Thermal Column 내부의 방사선량을 측정한다.	
2.7 알루미늄 바스켓에 대한 방사선량을 측정한다. (시료채취 및 분석)	

### 3. 결론

연구로 2호기의 차폐벽 내에 설치되어 있는 수직 및 수평 Thermal Column을 제거하기 위한 작업절차를 기술하였다. 특히 Thermal Column 제거시 발생하는 흑연분진은 공기오염을 일으킬 뿐만 아니라 작업자에게 방사선 피폭을 유발할 수 있기 때문에 분진을 최소화할 수 있도록 작업절차를 수립하였다. 또한 Thermal Column의 해체공정기술은 방사선 콘크리트 해체작업과 같이 방사선 오염 분진을 유발할 수 있는 작업에 기초가 될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 본 논문에서 제시한 Thermal Column 해체작업을 통하여 3D 전산모사를 구현하여 각각의 작업단계를 보다 세부적이고 체계적으로 표현할 계획이다.

### 4. 참고문헌

- [1] 정기정 외, 연구로 1호기 및 2호기 폐로사업 해체계획서, KAERI/TR 1654/2000, 한국원자력 연구소, 2000
- [2] 정기정 외, 연구용 원자로 폐로사업, KAERI/RR-2099/2000, 한국원자력연구소, 2000
- [3] 정기정 외, 연구용 원자로 폐로사업, KAERI/RR-1993/99, 한국원자력연구소, 1999
- [4] "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material", Safety Standard Series ST-1, IAEA, 1996
- [5] 박승국 외, 연구로 1,2호기(TRIGA Mark-II&III)의 해체 방사성 고체폐기물 처리방안, KAERI/TR-1341/99, 한국원자력연구소, 1999
- [6] 박승국 외, TRIGA 연구로 폐로를 위한 시설현황 및 방사선/능 조사보고서, KAERI/TR-1153/98, 한국원자력연구소, 1998
- [7] 이봉재 외, "TRIGA Mark-II,III 연구로시설의 폐로를 위한 시설내 잔류 방사선/능 평가", 제 24권 제2호, 대한방사선학회지, 1999
- [8] 연구로 1,2호기 폐로를 위한 방사선관리지침, 한국원자력연구소, 2000
- [9] 박승국 외, 연구로 2호기(TRIGA Mark-III) 해체계획, KAERI/TR-1331/99, 한국원자력 연구소, 1999
- [10] 박승국 외, "연구로 1호기(TRIGA Mark-II) 현황 및 해체방법, 제8권 제3호, 한국에너지공학회, 1999
- [11] K. J. Jung, "Radioactive waste management plan during the TRIGA Mark-II and Mark-III decommissioning", International Symposium on Technologies for the Management of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants and Back End Nuclear Fuel Cycle Activities, Taejon, 1999