2004 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

연구로 2호기 원자로의 제염·해체 활동(1)

The Decontamination and Decommissioning Activities on the KRR-2 Research Reactor

박승국, 정운수, 박진호
한국원자력연구소

요 약

2003년부터 연구로 2호기 원자로실의 원자로 및 원자로실에 대해 제염·해체 활동을 시작하였다. 기간은 2년간으로 2004년 12월까지로 예정되어 있다. 준비작업을 통해서 원자로주변의 각종 실험장치류 및 RI container 등 총 39 Ton의 폐기물을 제염 후 반출하였고, 여러 해체 장비의 구매, 제작, 설치 및 해체 폐기물의 임시저장 장소와 Green house 등의 설치 공간도 확보하였다. 회전시료조사대를 노심으로부터 분리하여 원격해체를 위해 1호기 실험수조로 이송하였고, 노심의 해체 및 세절, 동위원소 조사파이프 등 배관류의 해체 및 세절과 열중성자유도관 내부의 흑연블럭도 제거되어 재활용 목적으로 대전으로 이송되었다. 21개의 핵연료 저장랙 및 14개의 Dummy fuel도 제염·해체되었다. 작업자 피폭선량은 예상치 13.43 man-mSv보다 작은 1.89 man-mSv로 평가되었다. 해체폐기물은 2차 제염 활동 중에 있다.

Abstract

The D & D activities on KRR-2 reactor and reactor hall was started and will be completed in Dec. 2004. Through the preparation work, total 39 tons of waste, experimental equipments and RI containers, was treated after being decontaminated. The area where need to temporally store and to install the green house was secured. The Rotary Specimen Rack was separated from the core and transported to KRR-1 experimental pool for remote controlled dismantling. The core and RI irradiation pipes were removed and then cut piece by piece for storage. The graphite blocks in thermal column liner were removed and transported to Daejeon for the purpose of reuse. The 21 fuel storage racks and 14 dummy fuels were removed too. The exposure dose for workers is evaluated as 1.89 m-mSv less than the 13.43 m-mSv which be estimated before the activities. The generated waste is decontaminating now for the volume reduction.

1. 서 론

연구로 2호기 원자로실은 크게 원자로와 7.5 Ton 용량의 Over head crane, 사용후 핵연료 저장공 6개소, 지하층에 사용후 핵연료 저장실과 동측 벽에 빔포트 플러그 저장랙, 그리고 장비의 반입 및 반출을 위한 대형 샷타문이 있다. 또한 조명시설과 천장과 벽과 바닥에 환기시설이 위치하고 있다. 원자로는 생물학적 차폐체인 콘크리트 구조물과 수조, 수직과 수평 Thermal column, Exposure room, 10개의 Beam port, 그리고 냉각 및 정화 계통 배관으로 구성되어 있다. 알루미늄 재질의 수조 Liner 내부에는 노심과 이를 둘러싸고 있는 회전시료조사대, 핵연료 저장랙, Thermal column과 Beam port의 Nose 부분과 각종 조사용 배관류들이 있으며 수조 상부에는 3개의 브릿지로 구성되어 있다.

준비작업을 통해서 원자로 주변의 각종 실험장치류 및 RI container 등 총 39 Ton의 폐기물을 제염 후 반출하여 창고 등에 보관 중에 있다. 본격적인 원자로의 해체 활동에 사용될 여러 보조 장치의 제작도 준비작업 기간에 이루어졌으며 해체 폐기물의 임시저장 장소 및 폐기물 용기의 설치 확보 공간 그리고 Green house 등을 설치할 공간도 확보하였다. 작년에 설치된 폐기물 반출 검사대의 점검도 함께 수행하였다.

공사 진행 중 해체설계 시 고려하지 않았던 알루미늄 재질로 제작된 원자로구조물(Shroud)과 열중성자 유도관(Thermal column), 각종 빔튜브, RI 조사관 등이 당초 순수 알루미늄으로 제작된 것으로 간주하여 1995년 12월 말로 운전을 정지한 후 그동안 충분히 감쇄되었을 것으로 평가하였으나, Co-60 핵종 등으로 인하여 표면방사선량이 높아 접근이 불가능하여 수중에서 절단 또는 원격으로 제거하여야만 하였다. 이는 미량의 불순물 또는 기타 금속원소들이 함유되어 중성자에 의해 방사화된 것이었음을 추후에나 알게 되었다. 이로 인해 당초 계획하였던 원자로수조 콘크리트 철거작업이 금년도 4/4분기에는 착수할 수 있을 것으로 예상하였으나, 부득이 해를 넘겨야만 하였다. 뿐만 아니라 열중성자 유도관 내에 있던 흑연블럭 또한 방사화가 되어 원격으로 취급하여야 하며, 이를 제거한 후에도 방사성폐기물 포장 시 별도의 차폐체가 필요할 것으로 예측되었다.

회전시료조사대 제거 시에는 수조 상부 노심브릿지와 연결된 조사관과 공기 주입관은 유압절단기로 쉽게 절단할 수 있었으나, 회전시료조사관 내의 구동장치와 연결한 샤프트는 스텐인레스 봉으로서 유압절단기로는 절단이 되지 않아 급히 약 2m 길이의 수중용 플라스마 절단 토치를 제작하여 수중에서 절단하였다. 노심브릿지로부터 분리한 회전사료조사대는 A형 이송용기에 포장하여 연구로1호기 원자로 수조로 이송하였으며, 이는 중장기 연구과제로 개발하고 있는 원격수중분해장비에 의해 원자로 수조 옆에 설치되어 있는 실험수조 내에서 분해 되어 내부의 스테인레스 부품들을 제거하게 될 것이다. 수조 내에서 사용한 유압절단기는 원래 수동으로 대기에서 사용할 수 있도록 제작된 소방장비이나, 수중에서 원격으로 작동할 수 있도록 원격조정장

치를 개발하여 부착하여 사용하였다.

수조차폐콘크리트에 매설되어 중성자를 유도하기 위한 유도관들의 수조 쪽 끝단 부위도 원자로구조물과 같이 표면방사능이 높아 원격으로 절단하여야 하며 이를 절단하기 전에 우선 열중성자 유도관 내부의 흑연블록을 제거하여야 하는데 열중성자 유도관 내부에는 흑연블록(가로, 세로 각10cm이며 최대길이 120cm)이 이중으로 격자형태로 어긋나게 쌓아져 있는데 외부 쪽 흑연블록은 방사화가 거의 되지 않아 수작업으로 제거가 가능하였으나, 내부의 흑연블록은 유도관 끝단부위와 흑연블록 자체가 방사화가 되어 원격으로 제거하여야만 하였다. 이를 제거하는 장치로서 제거기의 끝단을 연질강화 고무재질을 사용하여 진공으로 흑연블록 표면에 부착한 후 원거리에서 기계적인 구동장치에 의해 제거할 수 있도록 장비를 개발하여 사용하고 있다.

열중성자 유도관 내부의 흑연블록을 모두 제거한 후에는 각종 유도관의 끝단 부위를 절단하여야 하는데 이는 수조상부에서 다이아몬드와이어 절단장비를 설치하여 원거리에서 절단할 계획으로 있다. 이는 당초 수조 내에 수조수를 채운 상태에서 절단할 계획하였으나, 유도관의 연결부위가 완전히 밀봉(용접 등)된 상태가 아님을 Air leak test를 수행하여 확인이 됨으로써 유도관 끝단부위를 절단할 경우 수조수가 수조차폐콘크리트와 유도관 사이로 누수 될 가능성이 있어 부득이 수조수를 완전히 배수한 후에야 절단할 수밖에 없었다.

제염・해체 활동의 기준이 되는 총 8건의 작업절차서 전문가에 의해 작성된 후 검토를 거쳐 해체 활동에 적용되었다.

2. 본 론

2.1 주변정리 및 준비작업

본격적인 연구로 2호기의 제염・해체 활동을 시작하기 위해 원자로 주변의 각종 실험장치 및 보조장치류 등에 대해 제염 및 해체 작업을 수행 하였다. 주변물품의 제염・해체 대상물은 노심조사지지대, 각종 소기구 및 폐자재, 실험용 가건물 3개동, 핵연료실험장치, 파라핀 블록, 콘크리트 블록, 전선류, 고무류, 조사시편 콘테이너, 철재류, 증류수펌프 등이며 이들의 제염 및 해체 활동에는 표면 오염원제거 Grinder, 이동식 집진기, 이동식환기장치, 브러쉬, 절단공구, 제염수 및 제염지가 사용되었고, 제염 및 해체활동은 이러한 공구 및 기구를 이용하여 주로 수작업 형태로 수행되었으며 유리성오염원은 브러쉬 및 제염수를 사용하여 표면에 있는 오염원을 털고 닦아서 제거하였고, 고착성오염원은 Grinder와 집진기를 사용하여 표면에 고착되어있는 오염원을 제거하였다. 연구로 2호기 관리 구역 내 복도 및 작업장에 대한 청소 및 제염작업을 수행하였는데 그 범위는 원자로실 바닥, 제염실, 복도 전 구간, 탈의실, 출구검사대, 대기실 및 출입구 바닥 전 구역이다. 그 외 주변시설의 보수 및 제염작업이 수행되었으며 그 대상은 다음과 같다.

- 1층 샤워실 및 화장실 보수 작업
- 2호기 건물 및 제염실내 방열기 설치, 보수작업
- 일반샤워물 저장조 및 지하기계실 폐수조 배수관 보수작업
- 수조내 작업용 Bucket 제작
- 원자로실 이동식 환기장치용 덕트 연결작업
- Beam port plug 보관시설 작업용 Working booth 설치작업
- 2호기 원자로실 환기계통 보수작업
- 관리구역 내에서 사용 중인 안전보호구 제염작업

그림 2-1 주변물품 제염작업 및 제작된 작업용 Bucket

2.2 회전시료조사대(RSR) 분리작업

2.2.1 RSR을 노심으로부터 분리

당초 해체활동에 대한 계획 공정과는 달리 고방사화된 RSR을 먼저 분리, 해체하여 차폐용기에 보관함으로써 수조내 다른 콤포넌트들의 해체활동을 수행함에 있어서 피폭의 위해를 저감하고자 하였다.

사전준비 작업으로 작업할 부위 주변 공간에 대한 방사선 조사가 수행되었고, 분리작업에 필요한 수공구 준비 및 작업용 Bucket을 수조 상부에 설치하였다.

본 작업으로 원자로 상부 중앙 브릿지에 설치된 부착물을 철거한 후 브릿지를 인양할 수 있도록 Lifting wire를 체결하였다. 먼저 수중에 있는 회전시료조사대에 체결되어 있는 각종 부속물을 노심과 분리작업이 가능하도록 제거하였다. 분리 작업 후 수중의 회전시료조사대와 노심을 수중에서 인양할 수 있도록 가는 Steel wire를 사용하여 각자 묶은 다음 중앙브릿지 및 수조상부 Rail에 메달아 놓았다. 수중 회전시료조사대와 노심과 분리작업이 가능하도록 조치한 후 중앙브릿지에 인양할 수 있도록 준비해 놓은 Lifting wire를 Crane hook에 걸고 천천히 상향으로 중앙브릿지를 들어올려 회전시료조사대의 내부에 들어있는 노심을 회전시료조사대로부터 들어낸다. 회전시료조사대와 노심과 분리한 후 중앙브릿지는 회전시료조사대 위치에서 수직으로 약간 떨어지게 하여 원자로상부 Raild 위에 내려놓는다. 분리 후 회전시료조사대에

걸려 있는 Wire는 원자로상부 Rail에 묶어 놓았다.

그림 2-2 RSR과 노심분리 전, 브릿지 상향인양, 노심분리 후

2.2.2 구동축 절단 및 분리작업

원자로 상부 중앙 브릿지와 Motorized drive assembly & shield, adapter 등에 체결 또는 조립되어있는 설치물을 분리하였다. 분리 작업 시 접근이 난이한 부위는 Bucket을 활용하였다. 하부 구동축에 결합된 중앙브릿지와 분리 시킨 후 브릿지에 임시 메달고 작업 중 이탈이 되지 않도록 구속 시켜 놓는다. 수중에 구동축과 연결되어 있는 회전시료조사대를 절단하였다. 이때 사용되는 절단도구로써 Plasma arc torch와 유압절단기를 사용하였다. 절단되어 분리된 회전시료조사대는 차폐용기에 담아서 임시 보관 하였다.

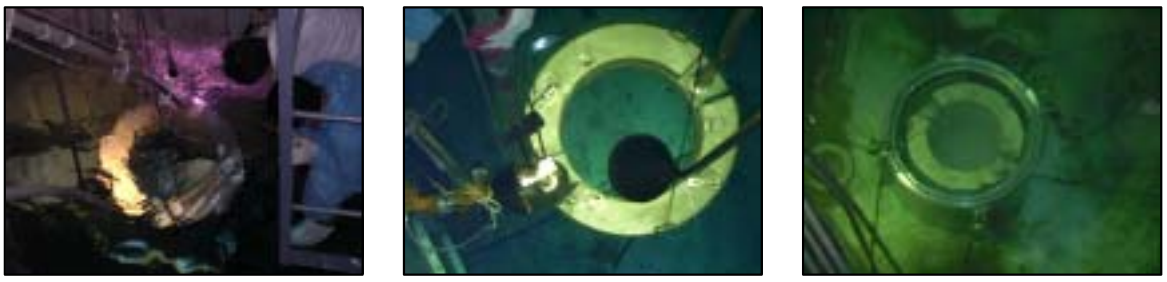

그림 2-3 Plasma와 유압절단기를 이용한 RSR의 절단 및 차폐용기 수용

2.2.3 회전시료조사대의 이송

가. 목적

연구로 2호기 원자로 수조내에서 노심으로부터 분리되어 차폐용기에 보관 중인 회전시료조사대를 Stainless steel part를 Aluminium 본체로부터 분리하기 위해 연구로 1호기 원자로실의 Bulk shielding experimental tank에서 추후 원격 수중분해장치(RSR volume reduction facility)를 투입하여 수중에서 해체 할 계획이다.

나. 이송

연구로 2호기 원자로실의 서쪽 임시저장소로부터 천장의 7.5 Ton 크레인을 이용하여 원자로실 반출구까지 이동 후 운반장비인 7 Ton 지게차에 상차하여 연구로 1호기 원자로실까지 약 200m를 이동하였다. 이때 회전시료조사대를 수용한 용기의 총 중량은 5.5 Ton으로 측정되었다. 운반 전 차폐용기의 표면 방사선량률 및 운반통로 이상유무를 점검한 결과 최대 표면 방사선량률은 0.76 mSv/h으로 나타났고 1m 이격된 거리에서의 표면 선량률은 0.08 mSv/h로 나타났다. 지게차 운전자의 피폭을 줄이기 위해 차폐용기와 운전자 사이(1.5m)에 두께 4t의 납판을 부착하였고 이 결과 운전자 위치에서의 방사선량률은 최대가 0.003 mSv/h로 측정되었다. 이송 통로에 대한 육안검사는 방사선안전관리 요원, 품질관리 요원, 폐기물 담당 요원 및 KINS의 점검자가 입회하여 수행하였다. 이송 후 바닥과 접촉이 있었던 지게차의 전 후 륜 및 지게의 바닥 등 모두 8개소를 오염 검사한 결과 알파, 베타 모두 MDA값이하로 나타났다.

이송에 소요된 시간은 2호기 원자로실 반출구로부터 1호기 임시 적재 장소까지 15분이 소요되었으며 작업 전 준비 및 작업 후 오염검사에 소요된 시간은 2시간 이었다.

이송된 회전시료조사대는 연구로 1호기 Bulk shielding tank에서 수중원격분해장비를 이용하여 해체 작업을 수행 할 계획으로 1호기 원자로 수조에 임시 저장되어 있다.

그림 2-4 RSR을 수용한 차폐용기의 이송 및 1호기 수조내 임시 저장

2.3 원자로 노심 해체작업

2.3.1 중앙브릿지와 노심의 분리

중앙브릿지에 연결 또는 체결되어 있는 Cable, tube 등 각종 장치류 및 설치물을 분리 또는 절단하였고, Motorized drive assembly에 연결되어 있는 전선 등을 절단하여 브릿지를 들어 올리는데 간섭되는 지장물들을 전부 제거하였다. 중앙브릿지에서 철거한 물품들은 원자로실의 임시 저장위치에 내려놓았다. 노심은 브릿지와 Support channel을 이용해서 볼트로 체결되어 있다. 먼저 Support channel과 중앙브릿지와 연

결되어 있는 볼트를 풀어서 분리시킨 후 노심과 Support channel이 체결된 부위가 수조 밖으로 노출이 될 수 있도록 크레인으로 들어 올려서 수조 상부에 고정 시켰다. 노심 플랜지와 Support channel을 분리하기 전에 작업 후 인양이 용이하도록 wire를 노심 플랜지에 끼워 브릿지에 매달았다. 체결부위를 분리 후 노심부위는 수조내 바닥에 내려놓았고 Support channel은 중앙브릿지로부터 분리한 후 원자로실 바닥에 옮겨 내려놓았다.

그림 2-5 Support channel에 의해 연결된 브릿지와 노심, 분리된 노심

2.3.2 Upper & Lower Grid 해체작업

Upper Grid를 제거작업 하기 전에 Grid에 삽입되어 있는 Dummy를 제거하였다. Dummy 제거 후 Upper Grid Plate에 체결되어 있는 Set bolt를 제거하였다. Set bolt의 제거는 Long reach tool에 렌치를 연결한 공구를 Bucket 작업대에서 수조내로 삽입하여 사용하였다. Set bolt를 제거 후 크레인을 활용할 수 있게 만든 갈고리를 Upper Grid plate에 걸은 후 크레인 Hook에 메달아 천천히 들어 올린다. 인출된 Upper Grid plate는 가는 Wire로 묶은 후 임시로 수조 벽면에 메달아 두었다. Upper Grid plate 제거 후 Lower Grid plate에 체결된 Set bolt를 제거하고 갈고리를 Lower Grid plate에 걸어 Upper Grid plate와 같은 방법으로 크레인 Hook에 메달아 천천히 들어 올린다. 같은 방법으로 수조벽면에 임시 걸어 두었다. 이후 상, 하 Grid는 같은 준위의 금속폐기물들과 함께 차폐용기에 모두 수용하였다.

그림 2-6 Grid의 set bolt 제거, 인출 및 저장

2.3.3 Upper & Lower Shroud 분리작업

수조 내 수중에서 Shroud를 분리작업하기 위해 사용할 노심지지대를 미리 제작하여 이것을 크레인을 이용하여 수조 내에 투입하여 수조바닥위에 설치하였다. 준비작업과정에서 제작된 작업용 Bucket 작업대의 바닥 및 인접한 측면 부위에 방사선 차폐 효과를 증진시키고 작업자 피폭 절감을 목적으로 납 Plate를 설치하였다. 분리된 노심 Shroud를 크레인을 이용하여 노심지지대에 작업 중 수조바닥으로 떨어지지 않게 중심을 맞추어 올려놓고 고정시킨다. 노심지지대에 설치된 고정용 클램프는 수조 밖에서 원격으로 유압을 이용하여 작동 되도록 제작되었다. 이동용 Bucket을 작업 가능한 거리까지 접근한 후 준비한 공구를 사용하여 상, 하부 Shroud의 연결을 위해 체결되어 있는 Screw를 Shroud를 돌려 가면서 하나씩 풀어서 제거하였다. 상, 하부 노심 Shroud를 연결하기 위해 체결된 Screw는 모두 42개 이다. Screw 제거 도중 일부 체결 부위가 고착되어 있어 더 이상의 Screw의 분리가 어렵게 되어 부득이 노심을 수조바닥에 기울어 위치하고 크레인에 중량물을 메달아 고착된 부분에 자중에 의한 힘을 가하여 상, 하부 Shroud를 강제 분리시켰다. 이때 Shroud에서 분리된 잔여 Screw는 수조바닥에서 모두 회수하였다. 상, 하로 분리된 노심 Shroud는 이후 용기에 저장을 위한 세절작업을 위해 수조바닥에 임시 보관 하였다.

그림 2-7 노심의 상, 하부 Shroud 분리 과정

2.3.4 노심 Shroud의 세절

상, 하 Shroud로 분리된 노심은 차폐용기에 저장하고 임시보관을 하기위해 용기의 내 규격에 맞추어 저장할 수 있도록 조각조각 세절작업을 수행하였다. 이 작업도 마찬가지로 수조 내에서 노심지지대에 고정 시킨 후 Plate 형태의 금속류의 절단에 용이한 가위 형태의 유압절단기와 특수 제작된 원격 Cutting tool에 의해서 이루어 졌다. 유압절단기는 배관용 유압절단기와 마찬가지로 원격조정장치를 부착하여 원격으로 절단 조정을 수행하였고 원격 Cutting tool은 수조 위 Bucket에서 대상물까지 접근 가능토록 Long reach 연결대와 절단용 톱날을 부착하여 절단토록 제작되었다.

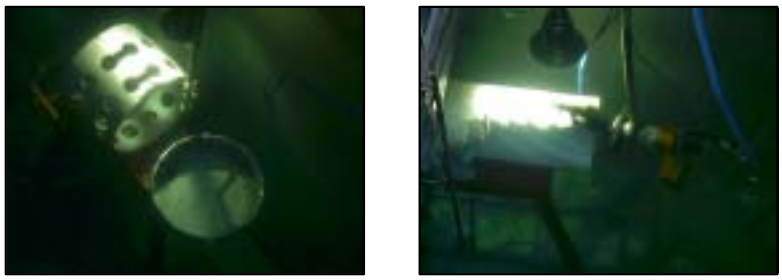

그림 2-8 원격 Cutting tool 및 유압절단기를 이용한 노심의 세절작업

2.4 동위원소 조사파이프 제거작업

2.4.1 브릿지와 Support Frame 으로부터 분리작업

원자로 상부 브릿지에 설치된 조사파이프를 철거 전 브릿지를 1m 정도 상향으로 들어 올려 움직이지 않도록 고정시켜 놓았다. 조사파이프를 브릿지에서 분리작업 시 접근이 용이하도록 Bucket을 활용하였다. 브릿지와 Support frame으로부터 분리한 조사파이프는 선량률 측정 및 Numbering 한 후 가는 마닐라 로프를 이용하여 수조 상부 레일에 매달아 놓는다. 조사파이프 분리 작업 후 브릿지를 레일위에 내린 다음 1.5m 정도 들어 올려 절단 작업 중 이탈되지 않도록 브릿지에 단단히 고정 시켰다. 수중에 잠겨 있는 Support frame 하부는 선량률이 높게 검출 되므로 수중 유압절단기를 사용하여 선량률이 높은 부위를 세절하여 취외한다. Support frame 하부 취외작업 후 잔여부위는 천장 크레인을 이용하여 원자로실 바닥 안전한 곳에 내려놓는다. 세절되어 수조바닥에 잔류한 폐기물을 수조에 있는 운반용기에 수거하고 브릿지는 크레인을 사용하여 원자로실 바닥에 내려놓았다.

그림 2-9 동위원소 조사파이프의 해체 전, 후

2.4.2 동위원소 조사파이프 세절작업

브릿지와 Support frame으로부터 분리된 파이프들은 일부는 수조 내에서 유압절단기를 사용하여 절단하면서 바로 차폐용기에 수용하고 일부 조사파이프 내에 건조용 실리카겔이 포함되어 있는 경우에는 수조수 내의 확산 때문에 수조 내에서 절단

이 곤란하므로 부득이 수조 밖에서 취급 하여야한다. 이 작업을 위해서 수조 상부에 기존의 차폐블럭과 유압절단기 등 일부 장치를 이용하여 조사 파이프를 절단할 수 있도록 조사파이프 세절장치를 설치하였다. 먼저 세절에 필요한 장비 및 공구를 준비하고 유압절단기를 원격으로 조작하여 세절할 때 감시할 수 있는 카메라를 설치하였다. 유압절단기로 세절할 때 절단된 파이프가 차폐용기 내에 바로 낙하하여 저장될 수 있도록 작업 전 Test를 실시하였다.

조사파이프 하단부를 절단기에 인입한 후 카메라로 절단 전 상태를 확인하고 유압절단기에 연결된 원격조정장치를 조작하여 절단하였다. 세절된 조사파이프는 인입 후 방사선량률을 개별 측정하였으며 그 결과는 방사선안전관리 분야의 보고서에 수록되었다. 조사파이프 하부가 절단된 파이프는 재검측하여 추가 세절여부를 확인한 후 세절이 필요하지 않을 시 작업장 주변에 임시 적치한 다음 당일 작업이 종료될 때 크레인을 사용하여 원자로실 바닥 안전한 장소에 임시 모아두었다. 원자로상부에서 조사파이프 세절을 완료한 후 차폐형 운반용기는 뚜껑을 닫은 다음 크레인을 사용하여 원자로실 바닥의 안전한 곳으로 운반하였다. 조사파이프의 세절을 위해 원자로상부에 설치하였던 세절장치는 다시 해체하여 당초의 장소에 임시 보관하였는데 이때 사용되었던 각종 장치류는 오염검사를 실시한 후 제염하였다. 원자로실 바닥에 임시 모아두었던 조사파이프 잔여부위는 오염정도를 재 측정한 후 2차 제염을 위해 제염장치에 인입이 가능하도록 2차 세절작업을 수행하였다.

그림 2-10 동위원소조사파이프 세절장치 및 유압절단기를 이용한 세절

2.5 Graphite 해체작업

원자로 남측의 차폐 도어를 열면 수직 및 수평 Thermal column이 설치되어 있고 모두 Graphite 블록으로 채워져 있으며 정 가운데에 조사용 물질을 삽입할 수 있도록 작은 Hall이 형성되어 있다. 이 수직, 수평 Thermal column은 Boron이 코팅된 알루미늄으로 Lining 되어 있는 일체형 Box 이며 이 Liner는 원자로 수조내부로 돌출되어 원자로노심이 바로 접할 수가 있도록 설치되어 있다. 수직 Thermal column은 원자로 상부의 남측 Plate를 제거한 후 크레인을 이용하여 차폐 도어를 들어 올리면 그 안에 스틸 Box가 있는데 그 스틸 Box 내부가 모두 Graphite로 채워져 있으며 그 수량은 75개이다. 수평 Thermal column에는 수직 Thermal column과 직각으로 연결된

공간을 지나면서부터 160개의 Graphite 블록들이 설치되어 있는데 이는 앞쪽에 쌓여서 채워져 있는 형태이고 이들을 모두 제거하면 납벽돌의 차폐판이 있고 이 뒤에 다시 Graphite 블록들이 쌓여져 있는데 이는 Thermal column의 끝단부까지 채워져 있으며 이 끝단부의 바깥쪽은 수조내 원자로심과 근접할 수 있어서 조사용 재료를 가운데 Hall을 이용하여 끝단부까지 위치하여 조사시킬 수가 있다. Graphite 블록은 가로세로 공히 10cm, 길이는 1.2m로써 가로, 세로로 모두 틈이 없이 촘촘하게 쌓여져 있는 상태이다.

차폐도어를 열고 그 주변에 Green house를 설치하여 Graphite 취급 시 발생할지도 모르는 분진의 확산에 대비토록 하였다. 총 5명의 작업자를 투입하여 24시간의 작업시간을 예측하여 작업을 수행하였으며 이때 공간 방사선량은 0.02에서 0,07 mSv/h 이었으며 작업별 집단선량은 2.34 man-mSv, 개인 평균선량은 0.47 mSv로 예측되었으나 실 피폭량은 나타나지 않았다. 대부분 방호복을 착용하고 주어진 시간내에 수작업으로 Graphite를 취급하므로서 작업시간을 단축하여 피폭 저감효과를 이루었다. 일부 작업도구로는 원자로 운영 시에 사용 되었던 Graphite 취급장치를 그대로 사용하였으며 Thermal column 내에서 해체, 인출하는 즉시 포장을 하여 임시 보관 후 대전본소로 이송하여 재사용토록 하였다. Graphite 취급 시의 표면오염도는 유리성 오염도 최고값 α 가 0.14 Bq/cm^{2}이었고 β가 0.69 Bq/cm^{2}로 나타났다.

그림 2-11 상부 plate, 수직차폐도어, 수직 T/C내부 및 스틸 Box 내 Graphite

그림 2-12 수평차폐도어, 수평T/C 내부, Green house 및 Graphite 해체, 포장, 이송

2.6 수조내 이끔관 해체작업

연구로 2호기 원자로 수조수의 원활한 냉각작용을 위해 강제적 순환을 목적으로 이끔관을 설치하였다. 이는 알루미늄의 덕트 형태로 제작되었으며 규격은 가로, 세로 각각 40 cm 이며 길이는 4 m이고 두께 1.5 mm인 알루미늄으로 되어있다. 이 이끔관은 수조 라이너 상부에 앵커로 결속되어 고정되어 있다. 먼저 빔포트 주변의 끝단부를 Long reach tool을 이용하여 절단 해체하였다. 나머지 전체의 해체작업에 앞서 연결되어있는 앵커를 풀어 전체를 수조 밖으로 들어내어 수조 상부에 설치되어 있는 배수 트래이에서 배수 후 원자로실 바닥에 내려놓았다. 이는 다시 원활한 저장을 위해 세절을 하였다.

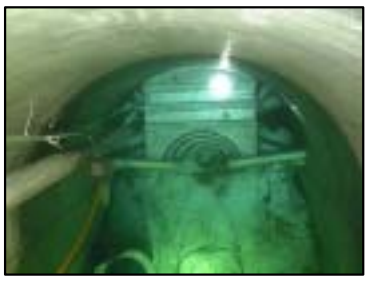

그림 2-13 이끔관 해체 전, 후

2.7 연구로 2호기 공조실 및 옥외환기계통 해체

연구로 2호기 원자로의 해체작업 수행 중 수평 Thermal column 속의 2차분 Graphite와 수조 내 Thermal column nose 부분에서의 예상치 않았던 고방사화부분의 출연으로 이를 제염·해체하고 취급하기 위한 장비의 개발이 필요하게 되었으며 따라서 예정된 해체공정에 차질을 초래하게 되었다. 따라서 예정된 작업 투입인력의 활용 및 공정의 차질을 막기 위해 부득이 타 공정을 앞당겨 수행하여야만 되었다. 이에 연구로 2호기 동위원소 생산시설의 내부 덕트를 제거했던 계통에 대한 외부 환기계통의 잔여분에 대해 해체하기로 결정하고 해당되는 옥외 공조실과 외부 환기계통에 대한 제염·해체 활동을 수행하였다.

대상 환기계통은 총 11개의 환기계통 중 F-1, F-2, F-4, F-6A, 6B, F-8과 같이 6개의 계통이었으며 세분하면 2층 옥상에 있는 공조실 내의 Duct opening hole covering 9개소와 Fan belt cover, Fan motor, Filter & case와 Housing 및 Duct이다. 작업 전에 먼지 등의 분산과 피폭의 경감화를 위한 Green house를 설치하였다. 해체 작업은 2호기 부속시설의 환기계통의 해체와 같은 방법으로 1차 제염 후 대부분 수작업에 필요한 절단가위와 같은 공구를 사용하였다. 분리된 부분의 양끝을 비닐로 덮어서 내부의 오염물질의 바닥에의 확산을 방지하였으며 이는 다시 Green house 내에서 집진기를 이용한 내부의 제염활동 후에 저장을 위한 세절작업을 수행하였다.

그림 2-14 Green house 내와 옥외의 Duct 해체 작업 및 세절작업

2.8 핵연료 저장랙 및 Dummy Fuel의 제거

14개의 Hanger type fuel rack은 수조 라이너 상부에 앵커에 의해 고정되어 있는데 결속을 해체하여 배수, 건조하였고, 7개의 원형 type의 Fuel storage rack은 그대로 수조 내에서 인출되어 배수, 건조하였다. 이들 모두 2차 제염과 세절을 위해 제염실에 임시 보관 중이다. Fuel rack에 보관 중이던 14개의 Dummy fuel은 그대로 인출하여 용기에 저장하였다.

그림 2-15 Hanger 및 원형 Type의 핵연료 저장랙 인출작업

3. 결 론

연구로 2호기 원자로의 해체활동 중에 예상하지 못했던 높게 방사화도니 해체대상물들의 출현으로 당초보다 해체활동 공정이 다소 지연되었다.

준비작업을 통해 전반적인 오염도 검사와 주변 실험장치류와 사용 후 임시 보관되

어 있던 방사성물질 및 취급장치, 용기 등을 제염활동을 통하여 반출하여 창고에 저장하였다. 모든 종류의 재료로 구성된 폐기물들을 재료별, 특성별로 제염하고 취급하는데 당초 예상하였던 활동 기간보다 다소 많은 시간이 소요되었다. 회전시료조사대는 노심과 상부 브릿지로부터 모두 분리하여 추후 수중원격절단장비를 이용하여 스틸부분과 알루미늄부분을 분리하기위해 연구로 1호기 실험수조로 이송하였다. 이송경로는 임시 방사선관리 구역으로 설정하였고 이송 후 검사를 시행한 후 해제하였다. 노심도 당초보다 높게 방사화되어 선량이 높게 측정되어 부득이 당초 지상에서 상하 shroud를 분리하고자 했던 계획을 변경하여 수중에서 자체 개발된 원격장치를 이용하여 분리하고 세절하여 용기에 저장하였다. 또한 동위원소 조사용 배관류 들도 수조내에서는 용기에 저장 가능하도록 세절이 불가능하여 수조 상부에 실험에 사용되었던 납차폐판과 원격절단 장치 및 용기를 이용하여 임시 세절장치를 제작, 설치하여 사용 후 제염, 해체하였다. 열중성자 유도관 내의 흑연블럭 중 전단부에서 해체된 흑연블럭들은 재활용을 위해 대전으로 전량 이송하였다. 그러나 후단부의 흑연블럭들은 열중성자 유도관의 열적 변형으로 쉽게 인출할 수가 없었고 또한 전체적으로 높게 방사화되어 부득이 원격인출장치를 제작하여 대부분 인출을 완료하였으나 이에 약 3개월 이상이 소요되어 전체적인 해체 공정이 지연되었다. 그 외 당초 목표하였던 수조내 핵연료 저장용 랙, Dummy fuel, 수조내 이끔관 등은 계획대로 해체되었다.

제염·해체 활동 및 폐기물을 저장, 취급하기 위해 차폐용기, 유압절단기 원격조정장치, 원격 세절용 절단기, 흑연블럭 제거장치, 작업용 Bucket 및 노심지지대 등이 자체 설계를 통해 제작, 설치되었다.

연구로 2호기 원자로의 1차년도 제염·해체 활동은 일부를 제외하고, 방사선작업종사자들의 인력수급의 어려움 등을 감안할 때 전반적으로 성공적으로 수행되었으며 당초 예상했던 작업자의 피폭량도 크게 감소하였다. 해체된 폐기물들은 종류별로 구분되어 현재 2차 제염 중에 있으며 제염 후 다량의 폐기물들은 자체처분 대상으로 취급될 것이다.

2004년 1년 동안 연구로 2호기 원자로 제염·해체 활동에는 작업자, 방사선안전관리 요원, 전문가, 품질관리 요원 및 폐기물 관리 요원 등 모두 156 man-month가 투입된 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

[1] 박승국 외, TRIGA 연구로 폐로를 위한 시설현황 및 방사선/능 조사보고서, KAERI/TR-1153/98, 한국원자력연구소, 1998

[2] 이봉재 외, “TRIGA Mark-II, III 연구로시설의 폐로를 위한 시설내 잔류 방사선/능 평가”, 제24권 제2호, 대한방사선학회지, 1999

[3] 이봉재 외, 연구로 1,2호기 폐로를 위한 방사선관리지침, 한국원자력연구소, 2000
[4] 정기정 외, 연구로 1호기 및 2호기 폐로사업 해체계획서, KAERI/TR- 1654/2000, 한국원자력연구소, 2000
[5] 박진호 외, 원자력시설 제염해체사업, 한국원자력연구소, KAERI/RR-2304/2002
[6] IAEA, DECOMMISSIONING TECHNIQUES FOR RESEARCH REACTORS, Technical Reports Series No. 373, IAEA, Vienna (1994)
[7] UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT BERKELEY RESEARCH REACTOR DECOMMISSIONING PROJECT, IAEA, Biscrafi Northeast, Inc. (1990)