

연구로 1,2호기 회전시료조사대(Rotary Specimen Rack) 해체 절차에 관한 연구

Study on the Procedure for Dismantling of Rotary Specimen Rack(RSR) from KRR-1 & 2

박승국, 김희령, 정운수, 신재인, 정기정
한국원자력연구소

요 약

연구로 1,2호기 제염·해체 활동이 본격적으로 착수하게 됨에 따라 해체 대상 물에 대한 공정별 작업절차가 확립되었다. 연구로 1,2호기 회전시료조사대(Rotary Specimen Rack, RSR) 3개는 가장 높게 방사화된 해체대상물로서 작업절차, 작업 위험도 분석 등 제한된 작업 요건들이 필요하다. 연구로 2호기 회전시료조사대 1개는 원자로 수조내의 노심으로부터 분리하여 차폐용기에 담아 연구로 1호기 실험수조로 이송하기로 하였다. 그리고 연구로 1호기의 2개의 회전시료조사대와 함께 실험수조내에서 RSR수중분해장치에 의해 원격으로 분해된다. 분리, 포장, 이송 및 해체에 대한 기술과 절차가 수립되었고, 작업의 범위 및 장비의 적절한 투입시기가 선정되었다. 해체활동 중에 발생할 수 있는 용기의 낙하사고에 의한 차폐체 상실의 경우에 대해서도 방사선 위험도를 분석, 평가하였다.

Abstract

In accordance with the dismantling program of the KRR-1 & 2, the work procedures of each item were set up. The highly irradiated three Rotary Specimen Racks(RSR) need restricted criteria, such as working procedure and risk analysis. One RSR in the KRR-2 was decided to move into the Bulk-shielding Experimental Tank in the KRR-1 by using shielding container once separated from the core structure of the KRR-2. It will then be dismantled with two KRR-1 RSRs by a remote controlled machine called "Remote RSR Cutting Tool Under Water". The techniques and procedure for separation, packaging, transportation and dismantling of the RSR were established. The radiological hazard was analysed with the consequences of loss of shielding for RSR during the dismantling activities.

1. 서 론

국내 최초의 연구용 원자로인 연구로 1, 2호기(KRR-1,2)는 각각 1962년과 1972년에 가동을 시작하여 국내 원자력 기술자립에 많은 도움을 주었다. 그러나 하나로 정상가동으로 효용가치가 상실되고, 시설의 노후화로 인해 1995년 두기 모두 가동을 중지하고 폐로하기로 결정하였다. 이후 해체설계 및 방사화 분석 등을 수행하고 해체계획서[1]를 작성하였으며, 정부로부터 제염·해체 활동에 대한 인허가를 득하였다[2].

연구로를 해체할 경우 많은 양의 방사성고체폐기물들이 발생하게 되는데, 대부분이 저준위 방사성고체폐기물로 평가되었다[3]. 한편, 연구로 1,2호기에 있는 3개의 회전시료조사대(Rotary Specimen Rack)는 내부의 스테인레스 스틸부품 등이 중성자 조사에 의해 가장 높게 방사화 되었을 것으로 평가되어, 대표핵종인 Co-60에 대해 예측평가를 한 결과, 폐기물 분류기준(IAEA Safety Series ST-1)[4]에 의거 중준위 이하인 것으로 나타났다. 그러나 실제 측정을 통해 얻어지는 방사화결과 등을 고려하여 회전시료조사대의 스테인레스 스틸부품은 중준위 고체폐기물로 분류하고, 이에 적합한 취급활동에 대한 요건 및 작업절차를 설정하였다.

현재 회전시료조사대는 총 3개가 있으며, 이중 2개는 연구로 1호기에서 사용된 것으로서 원자로 수조로부터 제거되어 실험수조(Bulk-shielding Experimental Tank)내에 보관되어 있고, 연구로 2호기의 회전시료조사대 1개는 2호기 원자로 수조 내에 있다. 연구로 2호기 회전시료조사대는 수중에서 노심으로부터 원격으로 분리한후 차폐용기에 담아 연구로 1호기 실험수조로 이송하고, 이곳에서 RSR수중분해장치(Remote RSR Cutting Tool Under Water)를 이용하여 수중 분해, 절단 작업을 하게된다. 이때, 알루미늄 용기 내에 포함되어있는 스테인레스 스틸 부품은 분리하여 중준위폐기물로 처리하고 나머지 알루미늄부품은 저준위폐기물로 처리하게 된다. 분리된 스테인레스 스틸부품은 연구로 운영 시 사용후핵연료 이송작업에 사용하였던 TIF(Triga Irradiated Fuel) cask에 담아 저장, 관리하게 된다[5].

본 연구를 통해 회전시료조사대의 분리에서부터 최종 저장까지의 모든 해체활동에 대한 작업순서가 도출되었다. 또한 작업의 범위, 위험도 및 투입되는 장비와 작업절차 등이 선정되었다.

연구로 2호기 회전시료조사대를 인양하여 연구로 1호기 실험수조로 이송 및 수조내로 수납하는도중 차폐용기의 낙하로 인해 회전시료조사대가 외부로 노출될 경우와, 실험수조내에서 스테인레스 스틸부품을 저장한 차폐용기(TIF)의 이동 중 낙하로 인한 차폐상실사고등 두가지의 예상 사고에 대비한 분석, 평가를 하였다.

2.0 본 론

2.1 장치 개요

연구로 2호기에는 조사기간 동안 시편을 고정시키기 위한 41개의 알루미늄 늪액(직경 3.2cm, 깊이 27.4cm)으로 구성된 링모양의 회전시료조사대가 노심 Shroud의 바깥쪽에 설치되어 있다. 회전시료조사대의 상부에는 부력탱크(Buoyancy Chamber)가 설치되어 공기의 부력작용으로 회전시료조사대를 상하로 움직일 수 있게 되어 있다(그림 1).

회전시료조사대에는 조사시편의 장전과 인출통로로 내부직경이 3.4cm인 튜브가 설치되어있는데, 각 41개소의 회전시료조사대내의 조사공 위치를 지정하기 위한 Drive-and-Indicator 집합체와, 조사캡슐은 회전시료조사대내 조사공에 장전 및 인출을 하기 위한 Reel형식의 Specimen-Lifting 집합체가 이동가능 브릿지에 설치되어 있다. 회전시료조사대 용기의 내부 둘레에는 스테인레스 스틸 스프로켓 및 체인이 설치되어 있어 회전운동을 전달한다(그림 2).

부력탱크는 2개의 알루미늄 탱크로 구성되어 있는데 바닥면은 개방되어 있으며 탱크당 4개씩 총 8개의 스테인레스 스틸 볼트로 본체의 상부에 고정되어 있다. 각각의 부력탱크의 상부에는 서로 대칭을 유지하고, 상하운동시 회전을 방지하기 위해 하나의 스테인레스 스틸 안내핀(Guide Pin)이 설치되어 있다. 공기공급튜브를 통해 압축공기가 공급되면 부력탱크내의 물을 밀어내고 반대로 압축공기를 배기 시키면 물로 채워진다. 이 작용에 의해 회전시료조사대가 상하운동을 하게된다[6].

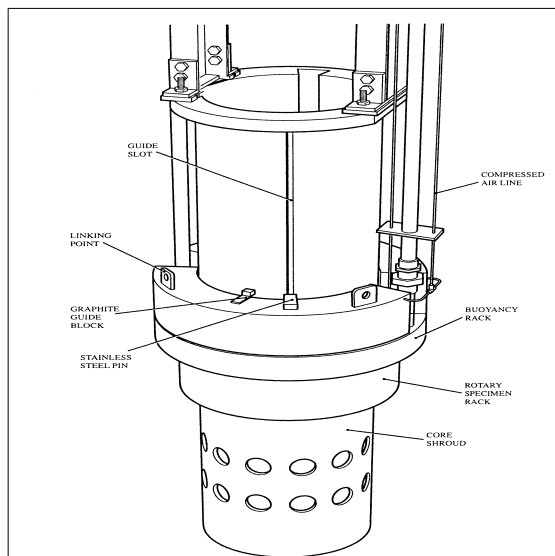


그림 1. 연구로2호기 원자로심

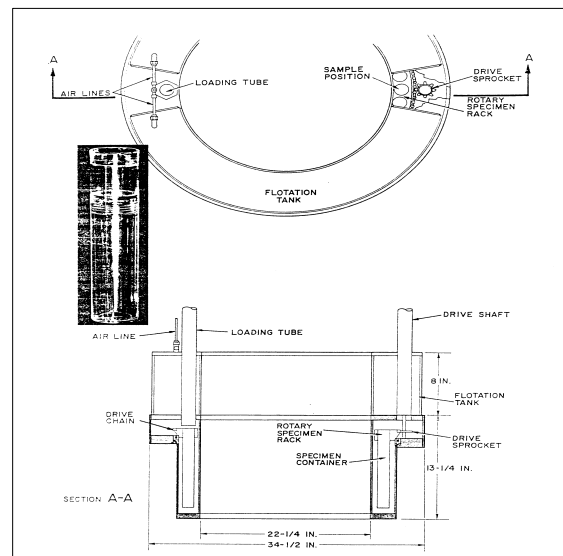


그림 2. 회전시료조사대

2.2 방사선학적 상태

회전시료조사대는 대부분 알루미늄으로 제작되어 있으나 스프로킷 및 체인 등 일부는 스테인레스 스틸로 제작되어 있고 원자로의 운전중 노심 주위에 위치하고 있었으므로 상당히 방사화되어 있을 것으로 추정된다. 연구로 2호기 원자로의 운전이력 및 노심의 방사선학적특성을 고려하여 보수적으로 평가한 결과 스테인레스 스틸의 방사화 정도는 1.98×10^8 Bq/g (Co-60) 일 것으로 추정되며 스테인레스 스틸의 양이 3.4kg에 달하므로 총방사능량은 6.75×10^{11} Bq (Co-60)이고, 차폐되지 않은 상태에서 1m 떨어진 지점에서의 선량율은 248.2 mSv/hr로 예상된다. 연구로 1호기의 경우는 한 개가 연속적으로 방사화되었다고 가정하고 보수적으로 평가한 결과, 스테인레스 스틸의 방사화 정도는 7.01×10^6 Bq/g (Co-60)이고, 총방사능은 2.38×10^{10} Bq (Co-60)이다, 또한 차폐되지 않은 상태에서 1m 떨어진 지점에서의 선량율은 8.725 mSv/hr로 예상된다[7].

2.3 작업절차 수행 요건

2.3.1 작업범위

연구로 2호기 회전시료조사대를 분리, 포장 및 이송 단계와 연구로 1호기 실험수조내에서 RSR수중분해장치를 이용하여 절단, 분해 및 스테인레스 스틸부품을 수거하여 별도 저장하는 단계 등 크게 두 가지 단계로 볼 수 있다. 이를 다시 세분하면 아래와 같이 구분 지을 수 있다. 연구로 2호기에서의 회전시료조사대에 대한 작업 범위는 아래와 같다.

- 원자로 중앙브릿지를 제거하는 작업
- 브릿지지대설치 및 노심브릿지를 그 위에 올려놓는 작업
- 차폐용기를 원자로수조에 수납하고 뚜껑을 제거하는 작업
- 전용마스트 및 유압전단기를 설치하는 작업
- 구동관, 시료이송관 및 공기주입관 등 배관 절단 작업
- 회전시료조사대 분리 및 차폐용기에 안치하는 작업
- 차폐용기내의 수조수제거를 위해 차폐용기를 인양하는 작업
- 연구로 1호기 실험탱크로 이송하는 작업

이송된 회전시료조사대의 분해 및 이송용기에 저장하는 작업의 범위는 다음과 같다.

- 2호기로부터 이송된 차폐이송용기를 실험수조에 수납하는 작업
- 차폐이송용기로부터 2호기 회전시료조사대를 인양하는 작업

- RSR 수중분해장치 설치 작업
- RSR 수중분해장치 시운전
- 회전시료조사대 절단 및 분해작업(8단계)
- 스테인레스 스틸부품을 알루미늄 용기로부터 분리하는 작업
- TIF cask를 수조내에 수납하는 작업
- TIF cask에 스테인레스 스틸부품 포장 및 수조 밖으로의 인양작업
- 알루미늄부분을 수조 밖으로 인출하고 저준위폐기물용기에 저장하는 작업

상기 세부작업으로 구분하되 연구로 1호기 실험수조에 회전시료조사대 3개 및 RSR수중분해장치를 모두 수용하기에는 공간이 부족하기 때문에 부득이 연구로 1호기 회전시료조사대 2개를 먼저 절단하여 분해하여야 한다.

2.3.2 작업 위험 사항

연구로 2호기 원자로수조 상부에서의 작업으로 인해 작업자나 물체가 원자로 수조로 추락할 위험이 있고 회전시료조사대 이송에 사용되는 차폐용기가 약 4.5 Ton으로 중량물이기 때문에 취급 및 이송에 주의가 요구된다. 원격 장비를 이용하여 회전시료조사대를 노심으로부터 분리 및 제거해야 하며 수조내에서 차폐용기를 취급하여야 하기 때문에 어려움이 예상된다. 부적절한 인양작업으로 인한 작업자의 추락 내지는 작업종사자의 방사선 피폭도 주요 위험도에 포함된다. 또한 연구로 1호기 원자로실내에서 실험수조에 수납하는 RSR수중분해장비 및 분리 후 저장에 사용될 TIF 용기도 중량물이기 때문에 취급에도 주의가 요구된다.

2.3.3 작업 요건

전 작업기간 동안에 방사선안전관리요원이 상주하여야 하며 해체공사에 관련된 작업자만이 방사선관리구역으로의 출입이 허용된다. 작업종사자는 필히 방호복, 안전모, 작업화, 방호장갑 등 적절한 개인방호장비를 착용하고 열형광선량계(TLD) 및 자동개인피폭선량계(AID)를 착용하여야 한다[8].

원자로 수조 상부에서 작업을 하기 때문에 작업자는 수조 상부 안전난간에 연결된 안전벨트를 착용하여야 한다. 수작업이 불가피할 경우에는 그 작업방법, 작업환경 및 개인의 능력을 고려하여 양중기의 사용 등 적절한 대책을 수립하여야 하며 모든 관리구역 내에서의 작업은 “방사선작업절차서”에 따라 수행되어야 한다. 항상 해체작업은 전기공급이 차단된 상태에서 적절한 자격을 갖춘 전공에 의해 확인된 경우에만 작업이 이루어져야 한다.

회전시료조사대는 방사선량율이 높으므로 작업은 원자로수조수 배수 이전에 수조수 속에서 수행되어야 한다. 회전시료조사대를 담은 차폐이송용기는 수조에서 인출하기 전에 방사선량율을 측정하여 표면에서의 선량율이 2mSv/hr이하임을 확인해야 하며 이를 초과할 경우에는 다시 수조내로 내려놓은 후 필요한 조치를 취해야 한다.

연구로 2호기 원자로 수조내에서 회전시료조사대를 차폐이송용기에 넣어 원자로 수조 밖으로 인양할 때 및 연구로 1호기로 이송된 차폐이송용기를 실험수조로 수납할 때와 실험수조내에서 분리, 수집된 후 중준위폐기물 저장용기인 TIF cask를 취급 할 때에는 작업수행 전에 원자로실 천장크레인(취급용량 ; 2호기 7.5 Ton, 1호기 5 Ton)의 상하운동 정지장치에 대한 건전성을 확인하고 크레인 로프 및 슬링의 파손유무상태를 점검하여 차폐이송용기의 취급시 크레인 이상으로 인한 차폐용기의 낙하사고를 예방하여야 한다.

RSR수중분해장비를 실험수조에 설치하기 전에 현장에서 모의 회전시료조사대를 이용한 성능시험을 수행하여 작업절차에 따른 적정성을 확인하고 부적정이 발견되면 이에 맞게 개선되어야 하며, 실험수조내에 설치한 다음 시운전을 실시하여 장비가 정상적으로 작동하는 것을 확인한 후에 분해작업을 시작하여야 한다. 분해장비를 사용하여 회전시료조사대를 절단하기 전에는 매번 수중카메라를 이용하여 절단위치가 올바르게 설정되었는지를 확인해야 한다.

회전시료조사대의 절단작업이 진행됨에 따라 스테인레스 스틸로 구성되는 중준위폐기물과 알루미늄으로 구성되는 저준위폐기물은 상세한 절차서에 따라 육안확인 및 방사선량율 측정결과에 따라 정확하게 구분되어 수집되어야 한다.

2.4 연구로 2호기 회전시료조사대의 제거작업 절차

회전시료조사대를 제거하기 위한 첫 단계로 수조 위에 있는 기존 중앙브릿지를 제거해야 한다. 먼저 전기가 차단되었는지를 확인 한 후 수동으로 수조의 중앙위치로 옮겨 빔튜브와 떨어지게 하여 브릿지 인터록시스템의 파손을 방지한다. 인양작업을 시작하기 전에 빔튜브를 밀봉 후 밀봉시험을 수행하여 파손시 원자로수조수의 누출위험을 최소화해야 한다. 원자로실의 크레인을 이용하여 중앙브릿지를 들어 원자로실의 바닥에 내려놓는다.

노심브릿지를 올려놓을 브릿지 지지대(bridge support structure)를 제작하여 수조상부의 기존의 레일 위에 맞추어 설치하고 추후 노심브릿지 및 차폐용기와의 중앙이 일치할 수 있도록 위치를 잡는다. 회전시료조사대를 연구로 1호기 실험수조로 이송할 차폐용기를 수조내에 수납하고 Long Reach Tool을 이용하여 차폐용기의 뚜껑을 제거한다.

원자로실 크레인을 이용하여 슬링이 설치된 노심브릿지를 들어 수조 중앙 위치

에 놓여져 있는 브릿지 지지대위에 올려놓는다(그림 3). 브릿지 지지대는 원자로 수조 상부에서 1.0m 높이 이상을 유지하여야 한다. 이는 원자로 수조바닥과 원자로심 하부 사이에 회전시료조사대 제거 및 차폐용기에의 수납을 위한 공간을 확보하기 위함이다. 원자로 크레인의 슬링은 노심을 너무 높이 인양하지 않도록 충분한 길이를 가져야 한다. 노심브릿지를 브릿지 지지대에 놓은 후 슬링을 풀고 브릿지를 지지대에 고정시킨다.

회전시료조사대를 내리기 전에 브릿지 바로 아래의 호스의 볼트를 풀어 압축공기 공급관을 분리한다. 이때 동력전달축 및 시료투입관이 분리되어 있고 전원공급이 차단되었는지를 다시 한 번 확인해야 한다. 수중카메라를 이용하여 회전시료조사대의 3개의 인양 러그 상태를 확인한 후 인양 케이블을 러그에 체결한다.

회전시료조사대를 25mm 정도 들어올린 상태에서 기존의 소켓렌치를 이용하여 부력탱크의 2개의 핀에 각각 체결되어 있는 Captive Centre Bolt를 풀어 회전시료조사대를 노심의 바닥 높이로 내려놓는다. Center Bolt를 풀 수 없는 경우에는 작업을 중단하고 현장상황에 맞는 방안을 강구해야 한다.

전용마스트(Mounting post) 및 유압전단기(hydraulic Shear Tool)를 설치한다. 클램프를 이용하여 지지하고 있는 상태에서, 전용마스트에 장착된 유압전단기를 이용하여 회전시료조사대에 연결된 구동관, 시료이송관 및 공기주입관 등 각종 배관을 적절한 길이로 절단한다(그림 4). 절단된 배관은 방사선검사를 하여 저준위 폐기물일 경우 저준위방사성폐기물 저장용기에 수납하고 중준위폐기물일 경우 회전시료조사대와 함께 차폐이송용기에 수납한다(그림 5).

모든 배관을 제거한 후 회전시료조사대를 하강시켜 차폐이송용기에 수납한다(그림 6). 크레인에 매달려 있는 케이블을 풀고 Long Reach Tool을 이용하여 뚜껑을 덮은 다음 수중카메라를 이용하여 뚜껑이 정확하게 안치되었는지를 확인한다. 회전시료조사대를 수납 한후 수조내에서 차폐이송용기 외부의 선량율을 측정한다.

원자로실 크레인을 이용하여 노심브릿지를 들고 있는 상태에서 브릿지 지지대를 제거한 후 브릿지를 다시 원래의 위치로 내려놓는다.

차폐이송용기를 원자로 수조로부터 인출한다. 원자로실 크레인을 이용하여 차폐이송용기를 원자로 수조로부터 들어올릴 때는 가능한 한 저속으로 크레인을 운전해야하며 수조표면으로 부터 이격되기 직전에 선량율을 측정하여 선량율이 기준치 이상일 경우 보조차폐체를 설치한 폐기물저장용기에 수납되어야 한다. 차폐이송용기를 원자로 수조의 상부 바닥에 위치한 드립트레이에 내려놓고 용기 내에 남아있는 물을 배수시킨다. 이 이송작업이 원자로실 크레인을 이용한 중량물 인양 작업 중의 하나(4.738 Ton)에 속하므로 특별한 주의를 요한다. 크레인을 이용하여 차폐용기를 인양하기 전에 크레인의 상하운동정지장치, 크레인로프 및 슬링의 건전성을 육안 점검하여야 한다.

RSR 제거 작업이 진행되는 동안 원자로실내에는 이 작업과 관련된 작업자 이외에는 출입이 금지된다. 모든 작업동안에 작업자는 가능한 한 차폐이송용기로 부터 멀리 떨어져 있어야 한다.

원자로실 크레인을 이용하여 차폐이송용기를 수송트럭에 적재하여 연구로 1호기 실험수조로 이송한다. 이송시 트럭주위에는 모든 작업자가 소개되며 연구로 1호기 원자로실에 도착한 차폐이송용기는 다시 1호기 원자로실 크레인을 이용하여 실험수조에 수납한다. 실험수조내에서 차폐용기의 뚜껑을 연 후 절단된 스테인레스 스틸 배관부는 별도로 분리하고 회전시료조사대는 미리 저장되어 있는 연구로 1호기의 회전시료조사대 2개와 같은 기술과 절차대로 분해되어 스테인레스 스틸 부분과 나머지 알루미늄부분을 별도로 처리한다[9].

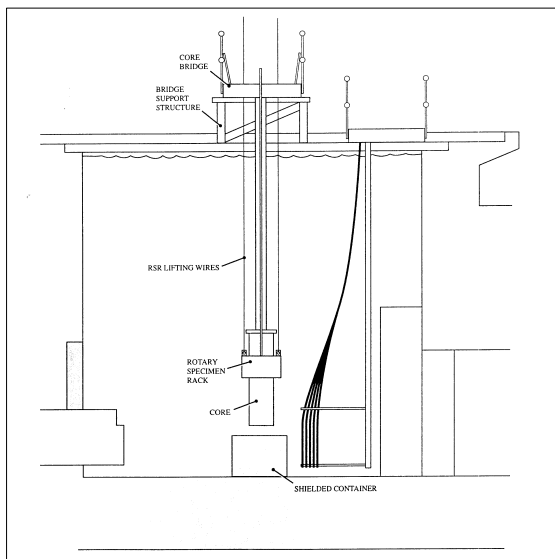


그림 3. 브릿지지대위의 노심브릿지

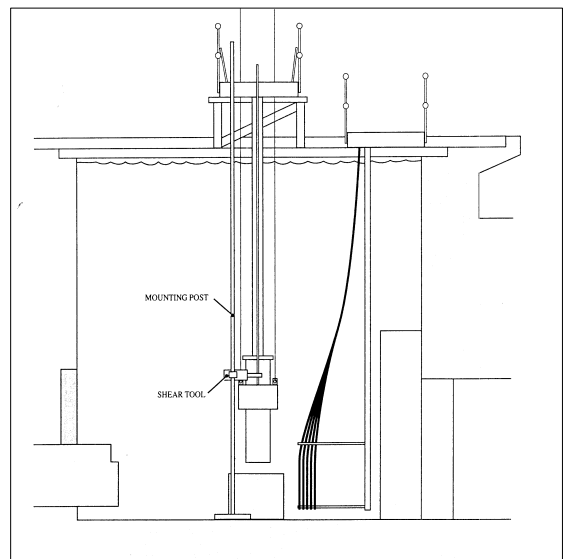


그림 4. 배관절단을 위한 유압전단기

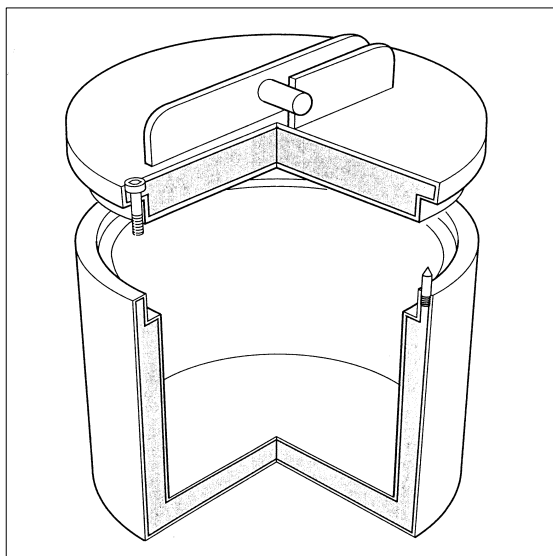


그림 5. 차폐용기 기본개념도

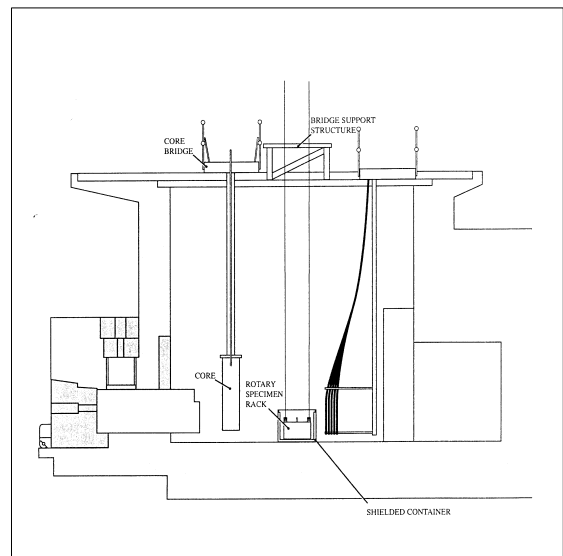


그림 6. 회전시료조사대의 차폐용기내 수납

2.5 회전시료조사대의 분해작업 절차

분해할 회전시료조사대는 현재 연구로 1호기의 실험수조에 저장되어 있는 연구로 1호기용 2개 및 연구로 2호기의 해체에서 운반되어 온 연구로 2호기용 1개, 총 3개가 있다. 이들을 절단, 분해하여 스테인레스스틸 부분과 알루미늄 부분으로 분리하여 스테인레스스틸 부분은 TIF Cask에 포장하고 알루미늄 부분은 저준위 방사성폐물저장용기에 포장한다. 분해작업은 연구로 1호기의 실험수조에서 이루어진다. 연구로 1호기용 2개의 회전시료조사대에 대한 분해 작업은 공간이 협소하므로 연구로 2호기용 1개의 회전시료조사대가 이송되어 오기 전에 완료되어야 한다.

장비를 수조내에 설치한 다음 시운전을 실시한다(그림 7). 장비가 정상적으로 작동하는 것을 확인한 후에 RSR의 분해작업을 시작한다.

장비를 사용하여 RSR를 절단하기 전에는 매번 수중카메라를 이용하여 절단위치가 올바르게 설정되었는지를 확인해야 한다. 시운전의 일환으로 모의 RSR에 대한 훈련작업을 미리 실시하여 정확한 절단위치를 장비에 설정해두는 것이 향후 실제작업에서 정확한 절단위치 결정에 유용할 수 있다.

RSR은 한 번에 한 개씩 분해하여 작업이 진행함에 따라 방사성폐기물을 분리한다. 스테인레스 스틸 및 알루미늄은 미리 작성된 상세한 절차서, 육안 확인 및 측정결과에 따라 분리된다.

자세한 작업절차는 다음과 같다.

- 회전시료조사대를 분해장비의 제어테이블로 옮긴다.
- 위치조절기를(Location Stop)을 이용하여 회전시료조사대의 위치를 고정시킨다.
- 제어테이블을 조정하여 Cut 1 위치에 맞춘다. 각부위의 절단순서 및 위치는 그림 8 에 자세히 나타내었다.

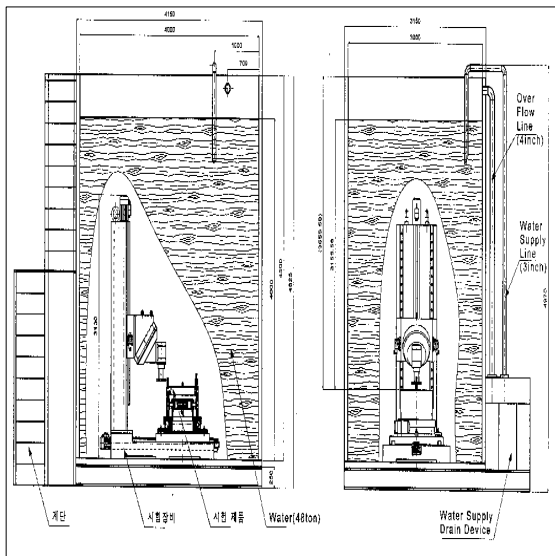


그림 7. RSR 수중분해장치 작업개념도

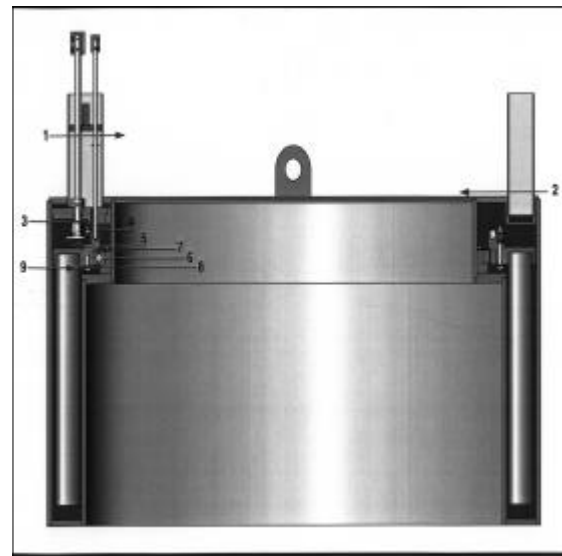


그림 8. RSR분해를 위한 절단위치/순서

· Cut 1 : 구동샤프트(Drive Shaft)를 절단하여 말단부 및 스프로킷 구동샤프트를 분리한다(그림 9).

· Cut 2 : 하우징의 상부면과 평면을 이루도록 시료투입 튜브를 절단한다(그림 10).

· Cut 3 : 구동샤프트를 절단하여 스프로킷을 분리하며 하우징의 외부면 둘레를 따라 절단한다(그림 11).

· Cut 4 : 하우징의 안쪽면 둘레를 따라 절단하므로써 cut 3과 함께 조사대 하우징의 상부를 제거하여 랙의 내부가 드러나도록 한다(그림 12).

· Cut 5 : 시료랙 및 체인을 고정하고 있는 나사를 절단하여 체인을 제거한다(그림 13).

· Cut 6 : Slitting Wheel을 이용하여 베어링 Retainer를 분해하여 6 세트의 베어링을 제거한다(그림 14).

Long Reach Tool을 이용하여 6 세트의 나사, 와셔, 및 베어링 Retainer를 제거하고, 이들은 중준위폐기물로 처리한다.

· Cur 7 : 내부면의 둘레 및 하부 베어링 Retainer 나사를 절단한다(그림 15).

· Cut 8 : 하우징의 외부면의 둘레 및 시료 Carrier를 절단한다(그림 16, 17).

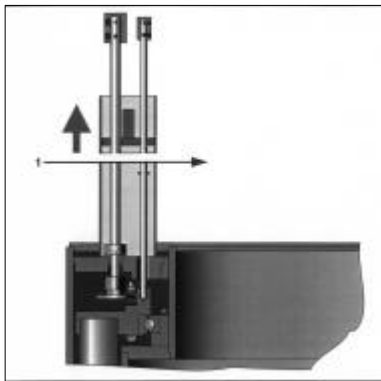


그림 9. 구동샤프트 절단

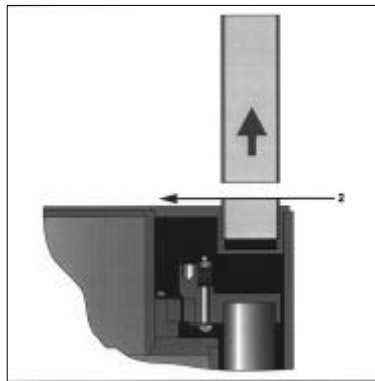


그림 10. 시료투입튜브 절단

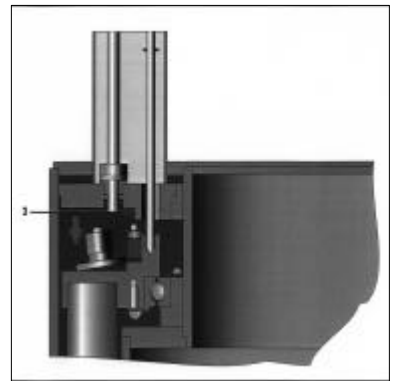


그림 11. 외부면둘레 절단

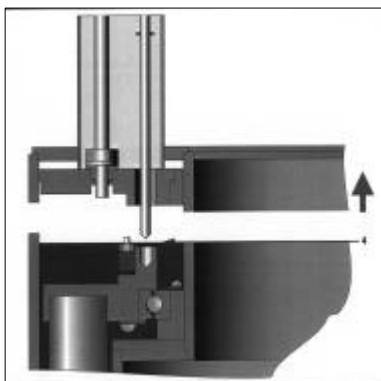


그림 12. 하우징상부 제거

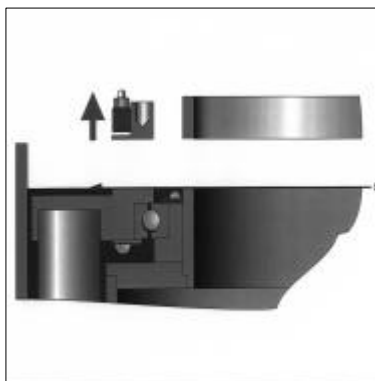


그림 13. 나사 및 체인 제거



그림 14. 베어링 제거



그림 15. 내부면둘레 절단



그림 16. 시료 Carrier

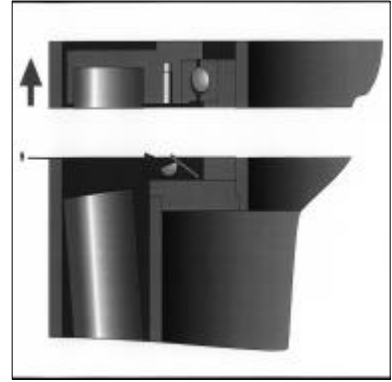


그림 17. 분리 완료

상기 작업과정을 거쳐 분리된 스테인레스 스틸부품들과 알루미늄 부품들을 각각의 저장용기에 수납한다[10]. 스테인레스 스틸 부품은 중준위폐기물로서 실험수조 내에서 TIF cask에 수납되며, 알루미늄 부품들은 수조 밖으로 인출하여 방사선 조사 후 저준위폐기물 저장용기에 수납한다[11]. TIF cask의 뚜껑을 결속한 후 수조 밖으로 인출하여 실험수조 상부의 드립트레이에서 배수시킨다.

방사선측정기를 사용하여 수조내에 더 이상의 스테인레스 스틸 부품이 없음을 확인해야 한다. 회전시료조사대의 분해가 완료되고 모든 방사성폐기물이 적절한 용기에 포장되어 반출된 다음 수조수를 배수한다.

2.6 회전시료조사대의 차폐상실사고

2.6.1 사고 예측

회전시료조사대 차폐용기의 낙하로 인한 차폐능의 손실에 따른 잠재적 위험도에 대한 분석으로서 연구로 2호기용 회전시료조사대 운반중의 낙하와 분해된 회전시료조사대의 스테인레스 스틸 부품 저장용기 인양시의 낙하에 대한 경우이다.

2.6.2 사고 해석

가. 연구로 2호기용 회전시료조사대의 운반중 차폐능 상실사고

연구로 2호기용 회전시료조사대는 각종 시료의 조사를 위해 사용되었다. 대부분은 알루미늄으로 제작되어 있으나 다수의 스테인레스 스틸 부품(스테인레스 스틸 베어링 및 다수의 볼트)이 있어 중성자조사에 의해 방사화되어 있다. 본문의 2.2 항에 기술되어 있듯이 약 $6.75 \times 10^{11} \text{Bq}$ 의 Co-60이 회전시료조사대내에 존재할 것으로 평가되었고, 차폐되지 않은 상태의 회전시료조사대에서 1m 떨어진 지점에서 방사선량율은 248.2mSv/hr 정도이다. 위험도 및 작업성 평가에서는 연구로

1호기 및 2호기에서의 회전시료조사대 차폐이송용기의 인양중 낙하 가능성을 지적하였다. 차폐이송용기는 견고하게 만들어졌고 뚜껑은 볼트로 단단하게 체결되어 있으므로 조그만 충격에는 그 건전성이 유지될 수 있다. 그러나 높은 위치에서의 낙하 시에는 그 건전성을 신뢰할 수 없다. 연구로 2호기의 원자로 수조의 높이는 7.5m 정도이므로 차폐용기의 낙하는 가능한 것으로 간주하였다.

비관적으로, 낙하사고에 의해 차폐이송용기의 건전성이 완전히 상실되어 회전시료조사대가 차폐되지 않은 채로 원자로실의 바닥에 떨어지는 사고를 가정한다. 이 경우 1m 떨어진 지점에서의 선량율이 248.2mSv/hr이므로 작업자가 회전시료조사대로부터 1m 떨어진 지점에 머물러 있다면 법적피폭제한치인 20mSv(관리목표치 15mSv)의 외부피폭을 받는다는 4.8분이 걸리게 된다. 이런 경우는 지역방사선감시기가 즉시 선량율의 갑작스런 증가를 감지하여 경보를 발한다. 또한 작업자가 즉시 알아차릴 수 있어 사고현장으로 부터의 소개도 매우 용이하여 쉽게 대피할 수 있다. 따라서 작업자가 20mSv 정도의 피폭을 받을 때까지 차폐되지 않은 회전시료조사대 근처에 머물러 있으리라고는 생각할 수 없다.

나. 분해된 회전시료조사대 부품의 운송중 차폐능 상실사고

연구로 1호기의 실험수조내에는 이미 연구로 1호기에서 사용한 2개의 회전시료조사대가 보관되고 있다. 2호기에서 이송된 1개를 포함한 3개의 회전시료조사대로부터 절단 분해된 스테인레스 스틸부품들은 TIF cask 담겨 수조 밖으로 이송된다. 이때 사고로 인해 용기가 낙하되어 차폐능력에 대한 건전성이 상실되는 것으로 가정한다. 총 방사능은 7×10^{11} Bq에 이르고 차폐되지 않은 상태에서 1m 떨어진 지점에서의 선량율은 256.9mSv/hr에 이른다. 이 결과는 모든 차폐능이 상실되는 것으로 가정했으므로 매우 보수적인 값이다.

작업자는 선원으로부터 1m 떨어진 거리에서 4.7분 동안 머무를 경우 법적피폭제한치인 20mSv의 피폭을 받는다. 앞에서 설명했듯이 이 사고는 작업자가 즉시 알아차릴 수 있고 지역방사선감시기가 선량율의 갑작스런 증가를 감지하여 경보를 발하여 작업자가 사고현장으로 부터의 소개도 매우 용이하므로 쉽게 대피할 수 있다. 따라서 작업자가 20mSv 정도의 피폭을 받을 때까지 차폐되지 않은 회전시료조사대부품 근처에 머물러 있으리라고는 생각할 수 없다.

3.0 결 론

연구로 1,2호기의 해체계획에 따라 가장 방사화가 높게 되었을 것으로 예상되고 가장 취급이 어려운 회전시료조사대(RSR) 3개를 분리, 포장, 이송 및 분해하여 최종 용기에 저장하기까지의 작업 절차 및 방법을 선정하였다. 또한, 작업절차

및 방법을 선정하기 위한 위험도 및 작업성도 평가되었다. 작업대상 회전시료조사대의 방사화 정도를 분석, 평가한 결과, 총 방사능은 1.28×10^{12} Bq 이었으며, 이중 Co-60의 방사능은 6.75×10^{11} Bq 이었다. 그리고 차폐되지 않은 회전시료조사대의 방사선량율은 1m 떨어진 지점에서 248.2mSv/hr로 평가되었다.

2호기 원자로수조의 노심으로부터 회전시료조사대를 분리하여 이송용 차폐용기에 수납한 다음 1호기 실험수조로 이송하고, 그곳에서 스테인레스 스틸 부분과 알루미늄 부분으로 분리하는 작업절차를 단계별로 수립하였다. 그리고 노심으로부터 분리하는 작업에 필요한 원격장비의 취급절차 및 방법과 스테인레스 스틸부분을 분리하는 과정, 단계별 분해 순서 및 위치를 도식화하였다. 추후 작업활동 시 작업종사자의 훈련 및 해체활동에 도움을 주기로 하였다. 이송용 차폐용기 및 RSR 수중분해장치, TIF cask 등 회전시료조사대를 이송, 분해, 저장하는데 취급되는 중량물들의 취급안전 요건 및 주의사항들과 작업종사자의 작업요건들도 작업절차 선정 요건에 모두 반영하였다.

회전시료조사대 취급시의 방사학적 사고발생 가능성을 예측, 분석하여 작업자의 과피폭가능성을 평가한 결과, 어떠한 경우에서도 작업자의 소개가 용이하여 피폭임계치를 초과할 가능성이 없음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행한 것입니다.

참고문헌

- [1] 정기정 외, 연구로 1호기 및 2호기 폐로사업 해체계획서, KAERI/TR-1654/2000, 한국원자력연구소, 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", 제24권 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, 한국원자력연구소, 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)