

연구로 2호기 노심 부분 해체 절차 검토를 통한 3D CAD 모델링 구성요소의 도출

김희령, 박승국, 정운수, 정기정
한국원자력연구소

The Component of the 3D CAD Modelling through the Review of Dismantling Procedure on a Core Part in the KRR-2

Hee-Reyoung Kim, Seung-Kook Park, Un-Soo Chung, and Ki-Jung Jung
Korea Atomic Energy Research Institute

1. 서론

상업용 원자력 발전소와 연구용 원자로, 재처리시설 또는 원자력 관련 연구시설 등은 일반적으로 한계수명의 도달, 정치 경제적 사유 또는 안전성 등의 이유로 폐지조치 하게 된다. 현재 세계적으로 80여기 이상의 발전소와 수백 개의 연구시설, 연구로 및 재처리 시설 등이 폐로 중에 있거나 대기중이다[1]. 우리나라의 경우 서울 공릉동에 위치한 연구로 1, 2호기는 각각 1962년과 1972년에 가동이 되어 그 동안 원자력관련 연구활동에 크게 이바지한 바 있다. 그러나 연구로 시설의 노후화와 1995년 2월 준공이 된 대전의 하나로가 정상 가동에 들어감에 따라, 1995년 1월과 12월에 연구로 1호기 및 2호기의 운전을 각각 정지하고 1997년부터 연구로 2호기에 대한 해체활동을 수행 중에 있다.[2].

연구로와 같은 원자력시설의 해체활동에서는 해체 작업자에 대한 방사선 피폭 최소화과 주변환경으로의 방사능 누출 방지가 무엇보다도 중요시되고 있다. 더구나, 상대적으로 고방사화된 부분에 대한 분해, 절단 작업에 대하여는 충분한 사전 해체절차 검토 수정, 작업자 훈련 등이 필수적이다.

오늘날, 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 흔히 컴퓨터 그래픽 3D 전산모사 기법을 시설물의 설계, 건조 및 해체 과정의 최적화에 이용하고 있다. 특히, 방사성/방사화 물질과 관련된 시설의 해체에 있어서, 컴퓨터 공간을 통한 사전 가상 작업의 수행은 작업 효율 향상, 불필요한 작업 절차의 제거 등을 유도하여 결과적으로 안전하고 비용절감적인 해체작업을 가능케 할 것이다.

우선, 본 연구에서는 3D 전산모사에 의한 사전 가상해체작업이 요구되는 연구로 2호기의 해체 공정들 중, 원자로 노심 부분에 대한 해체 절차를 검토하고 3D CAD모델링 구성요소

를 도출 및 정리함으로써 실제적인 3D 전산모사 수행에 대비하고자 한다.

2. 노심의 설치 위치 및 구성

그림 1과 그림2는 연구로 2호기 원자로실의 평면도와 정면도를 나타내고 있다. 그림2에서 노심(Core)은 2개의 알루미늄 채널을 사용하여 노심브릿지로부터 견고하게 매달려 있다[1, 2]. 또한 그림1과 그림2에서 알 수 있듯이 노심은 원자로 수조 상부에 설치된 기기 조작에 의해 원자로 수조(Reactor Pool)내에서 움직일 수 있도록 되어 있다.

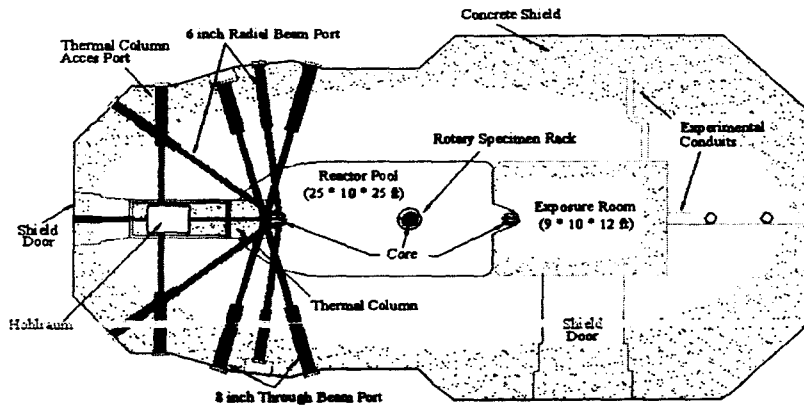


그림. 1 연구로 2호기 평면도

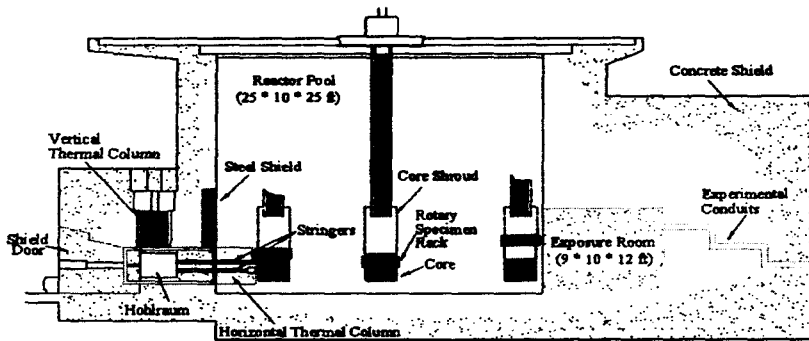


그림 2. 연구로 2호기 정면도

노심은 볼트, 너트 등 일부만 스테인레스 스틸로 제작되어 있고 대부분은 알루미늄으로 이루어져 있다. 노심은 분해 후 저준위방사성폐기물로 분류, 처리될 것으로 예상되는데 현재는 회전시료조사대(RSR)가 설치되어 있어 이를 제거한 후 정확한 방사능 현황 평가를 하여야 한다.

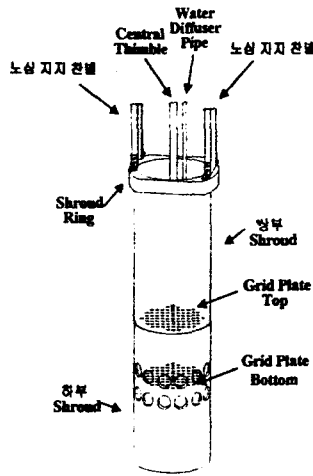


그림 3. 노심 및 노심 주변 기기의 구성

그림 3은 노심의 구성을 더욱 구체적으로 나타내고 있다. 우선 노심 Shroud는 상부 및 하부의 2부분으로 이루어지며 상부 Shroud는 6.4mm 두께의 알루미늄 원통이다. 노심을 매달고 있는 2개의 알루미늄 찬널은 노심 상부 Shroud 양쪽에 위치해 있으며 'L' 자모양의 알루미늄 형강에 의하여 원기둥 모양의 상부 Shroud에 용접된 알루미늄 칼라와 스테인레스 스틸 보울트, 너트로 결합되어 있다. 하부 Shroud는 노심부를 둘러싸고 있으며, 알루미늄 안전판이 Shroud의 바닥에 볼트로 고정되어 있다. 하부 Shroud의 상단부에는 Adapter Ring이 용접되어 있고 스테인레스 스틸 볼트에 의해 상부 지지판을 고정한다.

하부 Shroud에 고정된 상부 및 하부 지지판에 의해 핵연료봉, Central Thimble 및 4개의 Fission/Ion Chamber 등이 설치되는데, 현재 Fission/Ion Chamber는 모두 제거되어 있다. 또한 노심내 하부 원판에는 흑연 모의 핵연료가 2개 장전된 채로 있다. 노심 Shroud 내부의 냉각을 위해 수조수 상부로부터 Shroud 내로 Water Diffuser Pipe가 설치되어 있는데, 이 Pipe는 노심지지 찬널에 의해 U-볼트에 의하여 고정되어 있다. 노심 브릿지 테크로부터 노심 Shroud 바닥까지의 거리는 9m이다.

3. 노심 및 노심 주변기기의 분해 절차

원자로심 및 노심주변기기의 제거 과정은 크게 Central Thimble의 제거, 상부 지지판 및 모의 핵연료 제거, 노심 Shroud 제거, 그리고 상부 Shroud와 하부 Shroud의 분리로 나눌

수 있다[3].

우선, Central Thimble의 제거 과정을 살펴보면 다음과 같다.

- Central Thimble의 상부 튜브를 노심 브릿지의 지지대에 고정시키고 있는 Waterhead 너트를 푼다.
- 하부 튜브를 제거한다.
- Hook를 갖춘 도구를 사용하여 하부 튜브에 부착되어 있는 인양판의 구멍에 끼운다.
- Central Thimble을 수직으로 인양하여 들어낸다.

상부 지지판(Grid Plate Top) 및 모의 핵연료의 제거 과정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- 상부지지판을 Shroud Ring에 고정시키고 있는 4개의 3/8" 볼트를 풀어 지지판을 제거한다.
- 연료취급 도구를 사용하여 노심내에 장전되어 있는 흑연 모의 핵연료를 들어낸다.

다음 단계로서, 노심 Shroud를 제거하게 되는데 그 과정은 아래와 같다.

- 노심 브릿지에 인접한 노심지지 채널에 구멍을 뚫어 인양 샤클(Lifting Shackle)을 연결한다.
- 크레인을 인양 샤클에 연결한다.
- 노심지지 채널 및 Water Diffuser Pipe를 노심 브릿지로부터 분리한다.
- Shroud를 수조 바닥에 내려놓는다.
- 노심으로부터 노심지지채널과 노심지지채널에 고정되어 있는 Water Diffuser Pipe를 함께 제거한다.
- 수조내 투입 된 Cradle Support Frame에 노심을 수납하여 이를 원자로수조 위로 인출한다.
- 노심 Shroud를 원자로수조 상부의 기기 임시저장 장소에 내려놓고 배수시킨다.

노심 Shroud를 원자로 위로 인출한 후, 다시 상부 및 하부 Shroud를 분리하는데 그 과정은 다음과 같다.

- Cradle Support를 Concrete Shield Wall이 설치된 뒷편의 원자로실 바닥에 내려놓는다.
- Concrete Shield Wall의 Shielded Access Slot을 통해 상부 및 하부 Shroud를 연결하고 있는 스크류를 제거하고, 한 곳에 Quick Release Screw를 체결한다.
- 다시 Shroud 무게를 지탱하고 있는 원자로실 크레인을 이용하여 Access Slot을 통해 Shroud를 회전하여 다음 스크류를 제거한다.
- 90 ° 간격으로 또 다시 Quick Release Screw를 체결한다.

- 이와 같은 방법으로 모든 스크류를 제거하면, 상부 및 하부 Shroud는 90 °간격으로 체결된 4개의 Quick Release Screw만에 의해 연결된 상태가 되어 있을 것이다.
- 원격 조작 도구를 이용하여 4개의 Quick Release Screw를 제거함으로써, 상부 및 하부 Shroud의 분리를 완료한다.

4. 노심 부분에 대한 3D CAD 모델링 구성요소의 도출(Part의 도출)

전산모사 수행 시 분해되거나 이동하는 최소 단위를 어떻게 구성하느냐에 따라 Part의 개수 등이 정해진다. 즉, Part는 3D 모델링 수행시 컴퓨터 화면에서 개별적으로 그려지게 되는 독립적인 개체라고 말할 수 있다[4, 5].

본 연구에서는 Central Thimble의 제거, 상부 지지판 및 모의 핵연료 제거, 노심 Shroud 제거, 그리고 상부 Shroud와 하부 Shroud의 분리의 4과정을 전산모사 하기 위해 필요한 Part를 도출하여 표 1에 간략히 정리하였다.

표 1의 결과는 추후 실제적인 3D CAD 모델링을 수행하기 위한 직접적인 자료로 사용될 것이다.

표 1. 노심 및 노심 주변기기 전산모사를 위한 3D CAD 모델링 구성요소(Part의 도출)
(취급기기는 포함하지 않았음)

	Part				
	구성요소	상부 튜브	하부 튜브	노심브릿지	너트
Central Thimble 제거	재질	알루미늄	알루미늄	알루미늄	스테인레스 스틸
상부 지지판 및 모의 핵연료 제거	구성요소	상부 및 하부지지판	Shroud 링	볼트	후연 모의 핵연료
	재질	알루미늄	알루미늄	스테인레스 스틸	후연
노심 Shroud 제거	구성요소	노심지지 채널	Water Diffuser Pipe	노심 Shroud	
	재질	알루미늄	알루미늄	알루미늄	
상부 Shroud와 하부 Shroud 분리	구성요소	상부 Shroud	하부 Shroud	Screw	Quick Release Screw
	재질	알루미늄	알루미늄	스테인레스 스틸	스테인레스 스틸

표 1에서 각각의 Part는 모양에 따라, EXTRUDE, REVOLVING 등과 같은 3D CAD 기능을 사용하여 모델링 된다. 또한 볼트, 너트, Screw와 같은 부품들은 이미 3D CAD Library에 저장되어 있는 기계부품 요소 불러들이기 기능을 이용하여 쉽게 모델링 될 수 있다. 한편 표 1에서 노심 Shroud, 상부, Shroud, 하부 Shroud와 같은 Part들은 사실상 동일한 물체이므로 하나의 Part 모델링만 수행하면 된다.

5. 결론

연구로 2호기 노심 및 노심 주변기기의 분해 절차를 검토하고 이에 대한 3D CAD 모델링 구성요소를 도출함으로써 향후 3D 그래픽 전산모사 수행에 대비하였다. 분해 절차는 크게 4 부분으로 나누어 도출되었으며 상부 및 하부 Shroud 분리 과정을 제외한 모든 과정은 모두 원자로 수조 내에서 수행됨을 알 수 있었다.

추후, 수중에서의 분해 작업 과정을 컴퓨터 그래픽 공간을 통하여 모사한 다음 반복적인 검토 분석을 거쳐 가장 효율적인 해체 공정을 도출할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 원자력 연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 정기정 외, 연구용 원자로 폐로사업, KAERI/RR-1878/98, 한국원자력연구소 (1999)
- [2] 정기정 외, 연구로 1호기 및 2호기 폐로사업 해체계획서, 한국원자력연구소 (2000)
- [3] Hyundai Engineering Co., Ltd., 작업지침서, TRD-250-H004 (1999)
- [4] Hee Reyoung Kim and et al. "The Planning for the 3-D Dynamic View of the KRR-1&2 Dismantling Process", pp. 129-135, The Proceedings of The 2nd Korea-China Joint Workshop on Nuclear Waste Management, Daejeon, Nov., 28-29 (2001)
- [5] Mitsuo Tachibana and et al., "Computer simulation systems for analyzing optimum dismantling procedures on nuclear facilities", pp. 831-834, ASME (1997)