

연구로 시설의 방사능 분포 및 방사선장 분석

박희성, 김계홍, 이근우, 정종현, 박진호
 한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
 parkhs@kaeri.re.kr

방사화된 구조물과 복잡한 공정으로 인해 연구로 및 원자력 시설의 해체 활동은 해체 기획 단계부터 폐기물 처분에 이르기 까지 효율적인 해체 계획을 수립하기가 쉽지 않다. 수명이 오래된 연구로 및 원자력 시설들의 자료 부재는 시설물에 내재되어 있는 방사능 값을 규명하기가 어렵기 때문에 연구로 시설의 제염 해체 계획을 수립하는데 장애 요인이 되고 있다. 이로 인해 해체 작업 중에 예상치도 못한 방사선원이 나타나게 되면 가장 먼저 해체 작업자의 안전성을 위협하게 되고, 해체 일정에 불가피한 재조정이 가해지게 되며, 나아가 해체 비용에 막대한 손실을 초래하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 연구로 2호기 조사실(Exposure room)과 콘크리트 차폐체를 대상으로 방사능 분포 가시화 연구와 작업자가 해체를 수행하는 환경의 방사선장에 대한 연구가 수행되었다. 방사능 분포 가시화의 중요성은 해체 구조물의 방사능 정도를 확인함으로써 해체 공정 절차와 시나리오를 선정하는데 필요한 해체 일정과 폐기물량 그리고 해체 비용과 같은 주요 변수들을 결정하는데 중추적인 역할을 하며, 해체 작업자의 안전 의식 고취와 해체 작업의 효율성을 증진시키는데 있다. 방사능 분포도의 가시화 연구는 연구로 2호기의 조사실 차폐문과 콘크리트 차폐체 시설물들로부터 채취된 측정값을 입력 값으로 사용 하였으며, 이 값을 방사능 재고량으로 가정한 후 MCNP 코드를 이용하여 작업자가 이 구조물을 해체 할 때 받는 피폭선량을 계산하였다.

I. 방사능 재고량 평가 및 방사능 분포

연구로 해체 구조물의 방사능 값을 얻기 위해서는 오랜 기간 동안 연구로를 운전한 이력과 설계 시 사용했던 상세 도면 그리고 사진등과 같은 자료들이 지원되어야 하는데, 수명이 오래된 원자력 시설들의 자료 부재는 제염 해체 계획을 수립하는데 장애 요인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 현재 사용되고 있는 방법은 해체 구조물의 시료를 채취하여 방사능 핵종과 농도를 밝혀내고 있으며, 이 값을 기초로 하여 시료를 측정된 값이 0.4Bq/g이상은 방사성 폐기물로 간주하며, MDA~0.4Bq/g은 자체 처분 대상 폐기물 그리고 0.4Bq/g보다 적은 것은 비 방사성폐기물로 구분하여 해체 일정 계획을 세우고 있다. 본 연구의 실험 대상인 연구로 2호기의 조사실은 큰 부피의 기기 또는 시편을 높은 에너지의 중성자 및 감마선 속에서 조사시키기 위해 설치된 시설로써 가로 3m, 세로 3.7m 높이 2.7m로 되어 있으며, 약 3.4m 두께의 고강도 콘크리트로 차폐되어 있다. 이 구조물은 콘크리트의 방사화를 방지하기 위하여 내부 벽 및 천장은 약 30cm의 boron으로 처리되어 있다. 핵종 분석을 위해 채취된 시료의 위치는 그림 1과 같이 바닥 제외한 29개 위치에서 측정이 이루어졌다. 조사실의 서쪽(8개), 북쪽(7개), 동쪽(3개), 천정(5개) 및 차폐문(6개)의 경우 중성자에 의한 깊이별 방사능 분포를 측정하기

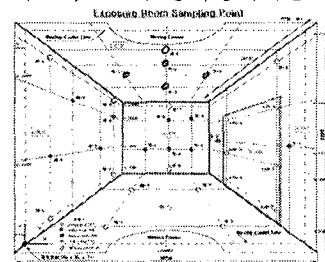


그림 1. 조사실 시료 측정 위치

위하여 각 위치별로 Hilti 사의 DD750 core boring 장치를 이용하여 코어보링 작업을 수행하였다. 방사화 분포도 가시화에 사용된 데이터는 ^{60}Co , ^{152}Eu , ^{154}Eu 3개 핵종 중 ^{60}Co 을 선정하였으며, 실험 측정값을 3차원으로 plotting 해주는 TECPLOT 소프트웨어를 이용하여 각 벽면을 120개 노드(node)와 155개 요소(element)로 구분한 뒤 삼각형 매쉬법(triangulation mesh)으로 모델링 하였다. 또한 측정값이 없는 이산적인 데이터들은 Inverse-distance algorithm을 사용하여 보완하였다. 연구로 2호기 조사실의 방사능 분포 결과를 그림 2에 나타내었다.

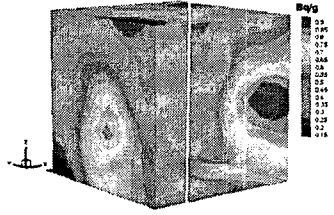


그림 2. 조사실의 방사능 분포

II. 에너지 스펙트럼 및 기하학적 모델링

조사실 내 방사선장의 해석을 위해 방사성 핵종의 에너지 스펙트럼을 구하였다. 표 1은 각 선원별 에너지와 비율을 보여주고 있다. 선원의 위치는 조사실 각 벽면이 함유하고 있는 방사능 값

표 1. 핵종 별 에너지와 비율

선원	에너지(MeV)	비율(%)	에너지(MeV)	비율(%)
^{60}Co	1.170	100	1.330	100
	0.122	37	0.965	15
^{152}Eu	0.245	8	1.087	12
	0.344	27	1.113	14
	0.799	14	1.408	22
	0.123	38	0.759	5
^{154}Eu	0.248	7	0.876	12
	0.593	6	1.000	31
	0.724	21	1.278	37

을 방사능재고량으로 가정하였다. 작업자가 하나의 구조물을 해체하기 위해서는 허체 공간 내에서 해체 작업 시간동안 여러 지점을 배회해야 한다는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성을 고려하여 작업자의 활동 반경에 따라 방사선량을 구분하기 위해 조사실의 크기인 3m x 3.7m를 5 x 5 크기로 분할하여 146개의 선원으로부터 감마선원이 균일하게 분포한다고 가정하였다. 작업자의 피폭선량을 평가하기 위해 Monte Carlo N-Particle(MCNP 4C) transport code를 사용하였다. 입자 fluence로부터 선량률 계산을 위해 사용된 선량 변환 인자는 ICRP-74에서 제공한 값을 사용하였다. MCNP코드로 계산된 결과 값을 표 2에 나타내었다. 이 값은 향후 조사실과 콘크리트 차폐체를 해체할 때 작업자가 받는 피폭선량을 평가할 때 기초 자료로 활용될 것이다.

표 2. 조사실 내부의 노드별 방사선량

	1	2	3	4	5
1	2.25E+02	1.61E+02	1.26E+02	1.07E+02	9.85E+01
2	2.16E+02	1.77E+02	1.46E+02	1.26E+02	1.14E+02
3	2.22E+02	1.92E+02	1.63E+02	1.42E+02	1.28E+02
4	2.53E+02	2.17E+02	1.87E+02	1.63E+02	1.46E+02
5	3.07E+02	2.51E+02	2.19E+02	1.96E+02	1.74E+02