

원격해체 로봇의 내방사화 설계를 위한 조사선량 평가

강신영*, 현동준, 김근호, 이종환, 김익준, 정관성, 최병선, 문제권
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*kangsy@kaeri.re.kr

1. 서론

원자로압력용기와 같은 고방사화된 환경에 놓인 원자력시설을 해체하는 로봇은 일반 로봇과는 다르게 별도의 내방사성을 요구한다. 고방사화된 환경에서 원격로봇의 기능상실이나 오작동을 방지하기 위해서는 로봇의 설계단계부터 내방사화를 고려해야 하며, 이를 위해서는 고방사화된 해체대상에서 방출되는 방사선량을 미리 분석할 필요가 있다.

본 연구에서 원자로압력용기 내장품 중 고방사능에 해당하는 baffle을 이용하여 방사선량을 산출하였다.

2. 본론

2.1 Baffle

원자로압력용기는 핵연료를 장전하여 연쇄 핵반응이 일어나는 장소를 제공하며 방사선 영향과 높은 압력, 온도 및 응력에 견딜 수 있도록 설계되어 있다. 원자로압력용기는 Fig. 1과 같이 (a)원자로 헤드(head), (b)상부 내장품, (c)하부 내장품 및 (d)원자로 용기로 구성되어 있다.

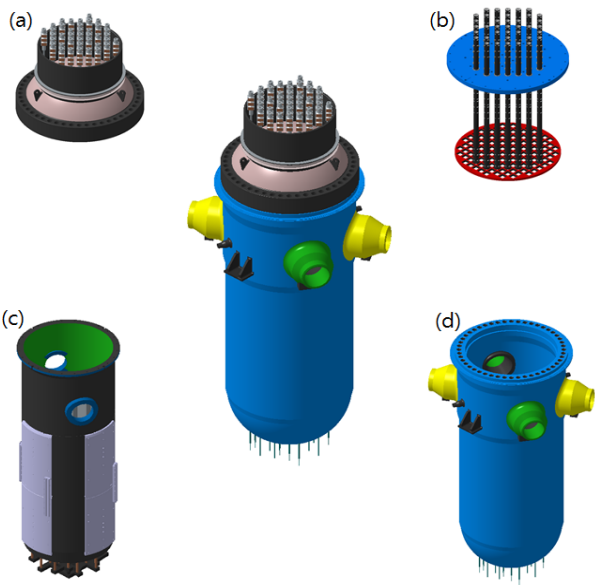


Fig. 1. Configuration of Reactor Pressure Vessel.

Baffle은 하부 내장품(Fig. 1(c)) 중 하나로 연료 집합체 주위의 가장 자리 공간을 메우기 위해 사용되며, 원자로압력용기 구조물 중 가장 높은 방사화재고량을 나타낸다. 그러므로 baffle을 해체한다고 가정하고 내방사성을 설정한다면 다른 구조물 해체 시에도 원격해체 로봇을 방사능으로부터 보호할 수 있을 것으로 예상된다.

2.2 Co-60 방사능량

Baffle은 고에너지 방사선 환경에서 노출되어 있어 중성자 조사에 의해 방사화 핵종이 발생한다. 본 연구에서는 여러 방사화 핵종 중 외부 피폭에 주된 원인이 되는 Co-60을 이용하여 조사선량을 계산하였다.

Co-60에 방사능량은 한국원자력안전기술에 보고서를 인용하였다[1]. 이보고서에 따르면 고리1호기에 상업 운전 27주기(2008년) 전체 방사화 재고량은 $2.19E+17$ Bq/ton이고, baffle은 $1.7E+17$ Bq/ton으로 전체 방사화재고량에 77.6%를 차지한다. 그리고 전체 방사화재고량 중 Co-60은 $1.48E+15$ Bq/ton이다. 본 연구에서는 Co-60의 77.6%가 baffle에 있다고 가정하고 계산한 결과 $1.15E+15$ Bq/ton으로 산출되었다.

2.3 MCNP 프로그램

본 연구에서는 Baffle 주변의 조사선량을 계산하기 위하여 Los Alamos National Laboratory에서 개발된 대표적 몬테칼로 전산코드인 MCNP5 코드 (Build 1.40)를 사용하였다[2].

Baffle은 Fig. 2에 좌측과 같은 형태로 가로세로 길이가 2638 cm로 같으며 높이는 360 cm이고 재질은 stainless steel로 되어 있다. MCNP 프로그램을 이용하여 해석하기 위해 모델링은 Fig. 2에 우측그림과 같이 원형 형태로 모델링을 했다. 이는 로봇 설계 초기단계에 컨셉을 잡기 위해 빠른 계산이 요구되어 baffle 모양을 원형으로 모델링하였다. 추후 실제모형을 모델링하여 계산할 예정이다.

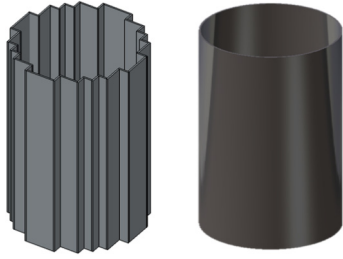


Fig. 2. Baffle modeling.

조사선량 측정 방법은 Fig. 3와 같이 4가지로 나타내었다. Fig. 3(a)는 공기로 차 있는 baffle 내부에 dose point가 위치하며 Fig. 3(c)는 dose point 위치가 Fig. 3(a)와 같지만 baffle이 물속에 있다고 가정하였다. Fig. 3(b)는 공기로 차 있는 baffle 외부에 dose point가 위치하며 Fig. 3(d)은 Fig. 3(b)과 동일한 위치에 dose point가 있으며 Fig. 3(c)과 같이 물속에 있다고 가정하였다. 이는 물과 공기일 때 거리에 따른 조사선량 변화를 확인하고 상황에 따라 로봇이 baffle내부에서 작업을 할 수 있다는 가정 하에 4가지로 분류하여 계산하였다.

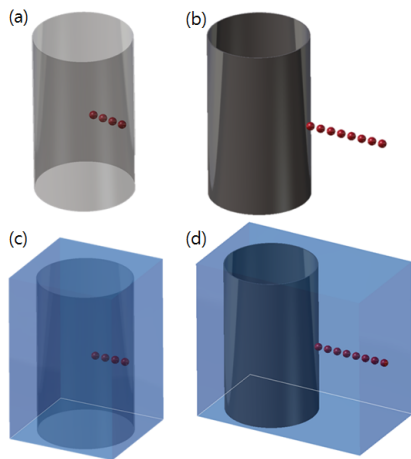


Fig. 3. Measure method of exposure rate.

2.4 계산결과 및 분석

Baffle 주변에 조사선량을 계산한 결과, 물에 의한 방사선 차폐로 인하여 Table 1과 같이 baffle이 수중에 있을 때와 공기 중에 있을 때 방사선량이 크게 차이 나는 것을 알 수 있다. 또한 baffle 내부는 외부보다 거리에 따른 조사선량 감소량이 보다 적음을 알 수 있다. 그리고 동일한 거리에 조사선량을 비교하면 내부가 외부보다 높게 나타나는 것으로 산출되었다. 이는 내부에 위치한 dose point가 동일 거리에 있는 외부에 dose point보다 baffle 형태에 영향을 받아 높게 산출된 것으로 생각된다.

따라서 로봇을 이용하여 Baffle을 해체 할 때 baffle 내부보다 외부에 작업하는 로봇을 위치시키며, 공기보다 물로 가득 차 있는 곳에서 작업하는 것이 로봇에 투사되는 조사선량이 작아지게 할 수 있다. 물론 수중에서 작업하기 위해서는 로봇에 방수 기능이 요구될 것이다.

Table 1. Results of exposure rate

내부			외부		
거리 (cm)	공기 (mR/h)	물 (mR/h)	거리 (cm)	공기 (mR/h)	물 (mR/h)
5	2.58×10^8	5.11×10^7	1	4.6×10^7	3.66×10^7
10	1.33×10^8	3.26×10^7	5	4.05×10^7	2.41×10^7
20	1.26×10^8	1.60×10^6	10	3.71×10^7	1.59×10^7
30	1.21×10^8	8.61×10^6	20	3.25×10^7	7.85×10^6
40	1.17×10^8	4.78×10^6	30	2.96×10^7	4.04×10^6
50	1.13×10^8	2.71×10^6	40	2.71×10^7	2.11×10^6
60	1.11×10^8	1.56×10^6	60	2.32×10^7	5.89×10^5
70	1.08×10^8	9.14×10^5	80	2.06×10^7	1.67×10^5
80	1.06×10^8	5.48×10^5	100	1.84×10^7	4.76×10^4
90	1.05×10^8	3.38×10^5	140	1.48×10^7	3.90×10^3
100	1.04×10^8	2.19×10^5	180	1.22×10^7	3.22×10^2
110	1.03×10^8	1.53×10^5	220	1.04×10^7	26.6
120	1.03×10^8	1.21×10^5	260	8.87×10^6	2.21
128	1.02×10^8	1.12×10^5	300	7.67×10^6	0.184

3. 결론

본 논문은 원자로압력용기에서 가장 높은 방사화재고량을 가지는 baffle을 이용하여 거리에 따른 조사선량을 계산하였다. 이 결과를 토대로 원격로봇의 내방사화 설계에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 보다 정확한 baffle의 선량 해석 모델을 구축함으로써 로봇의 내방사화 설계에 반영될 조사선량을 산출하고, 이를 반영할 계획이다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력연구개발 중장기 연구사업(NSF-2012M2A8A5025657)의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] KINS, Study on the safety evaluation Method development for D&D of Nuclear power plant, KINS/HR-444, 2002.
- [2] 김근호, 현동준, 송재훈, 최병선, 정관성, 이종환, 서재석, 문제권, "Origen-S를 이용한 원자로 압력용기 방사화재고량 평가", 한국방사성폐기물학회 2014 추계학술발표회 논문요약집, 427-428, 2014.