

중성자 발생장치(DT tube)의 사용을 위한 방사선학적 검토

김상인
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구
E-mail: skim@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 중성자발생장치, 중성자차폐, 방사선안전보고서

서론

방사선발생장치의 사용허가를 받기 위해 관련 법규에 따라 반드시 필요한 방사선안전보고서를 작성하였다. 안전보고서에는 방사선의 사용목적과 필요성, 방사선의 규모와 용량 그리고 설치의 안전성을 증명하는 자료 등이 보고되어야 한다.

중성자발생장치(DT-generator) 사용에 따른 안전성 판단을 위해 MCNPX 코드로 에너지스펙트럼과 에너지를 계산하였다. 중성자발생장치가 설치되는 한국원자력연구원 중성자조사실과 중성자발생장치의 geometry로 전산모사한 결과, 중성자발생장치의 설치로 인한 방사선 안전성은 법적허용기준을 만족하였다. 중성자조사 조건의 효율성과 조사지점 외 선량률을 최소화하고자 중성자발생장치에 콜리메이터를 추가하였을 때의 선량학적 특성도 계산하였다.

재료 및 방법

중성자발생장치(그림 1)가 생성하는 중성자에너지는 14 MeV, 중성자 수율은 $10^8 \text{ s}^{-1}(4\pi\text{sr})^{-1}$, 연속 및 펄스 모드 가능, 펄스율은 100 Hz~10 kHz, 크기는 $46 \times 34 \times 16 \text{ cm}^3$, 중량은 7 kg 이다.

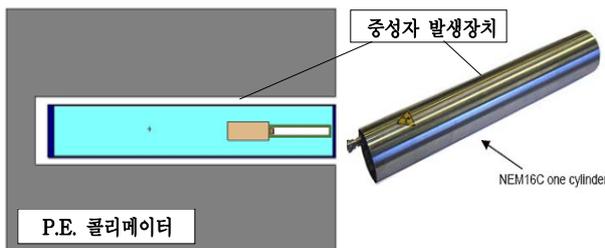


그림 1. 중성자발생장치와 P.E. 콜리메이터 설치도

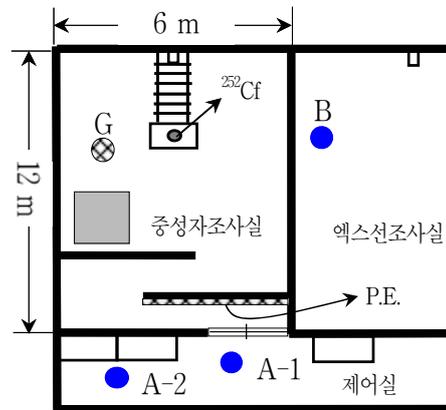


그림 2. 중성자조사실의 구조와 MCNPX 계산지점

중성자발생장치가 설치되는 구역(그림 2, 중성자조사실)의 크기는 $6(W) \times 12(L) \times 7(H) \text{ m}^3$ 이고 내외벽은 콘크리트로 건설되었으며, 내벽은 폴리에틸렌(10 cm)으로 차폐보강 되어있다.

조사실 주변에서의 선량당량률과 에너지스펙트럼은 MCNPX (ver.2.4.0)로 계산하였으며 계산된 선량학적 자료는 표 1과 같다.

표 1. 각 지점에서 MCNPX로 계산한 선량률

	위 치	선량당량률 ($\mu\text{Sv/h}$)
A-1	조사실 문 앞 30 cm	0.851
A-2	제어장치콘솔 앞	0.019
B	X선조사실 벽 옆 30 cm	0.046
-	중성자조사실의 윗층	1.91

위 계산값들은 중성자발생장치가 중성자조사실 중심에 14 MeV 에너지를 가지는 점선원으로 실제구조를 단순화하였을 경우이다. MCNPX 계산에서 cell fluence tally, history cutoff 는 10^8 , 각 지점에서의 중성자 스펙트럼의 에너지 구간은 10^{-3} eV에서 15

MeV 까지 각 구간별 동일대수구간으로 10 개씩 나누어 계산하였다.[1] 그리고 중성자 선량당량을 구하기 위하여 ICRP 보고서 74에서 제시한 플루언스-선량당량환산인자 $h^*(10)$ 를 사용하였다.[2]

방사선안전보고서에 보고된 선량학적 자료들의 타당성을 검토하기 위해서, 점선원이 아닌 중성자발생장치의 실제구조와 가로 설치할 콜리메이터를 고려하여, 중성자발생장치를 실제 설치장소(그림 2의 G 지점)에 두고 계산하여 비교하였다. 중성자발생장치에 추가로 설치될 콜리메이터(그림 1의 좌)의 재질은 폴리에틸렌, 크기는 $50 \times 50 \times 80 \text{ cm}^3$ 의 직육면체이다. 그리고 콜리메이터 외곽에는 열중성자를 차단하기 위하여 두께 0.5 mm의 Cd으로 씌웠다.

결과 및 고찰

중성자발생장치와 콜리메이터(그림 1의 좌)의 구조를 실제 설치지점(그림 2의 G지점)에 표현하여 추가

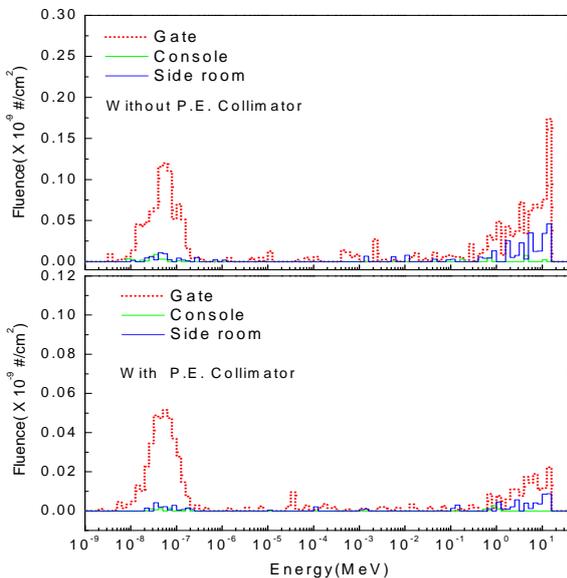


그림 3. 발생장치의 실제구조와 설치장소를 반영하여 전산모사한 에너지스펙트럼(아래 : 콜리메이터 반영) 계산하였다.

에너지스펙트럼(그림 3)을 보면, 윗층과 조사실 문 앞에서 열중성자 부분이 보이며 14 MeV의 고속중성자 약간 보인다. 다른 두 곳에서는 플루언스는 거의

보이지 않는다. 그리고 콜리메이터를 사용하므로서(그림 3의 아래) 고속중성자 부분이 많이 줄었고 열중성자 플루언스는 3배 정도 줄었다. 작업공간인 콘솔(A-2)에서는 중성자의 누설이 거의 없다.

표 2. 각 지점에서 콜리메이터의 유무에 따른 평균에너지와 선량당량률

	평균에너지(MeV)		선량당량률($\mu\text{Sv/h}$)	
	without collimator	with collimator	without collimator	with collimator
A-1	3.07	1.60	1.35E-1	2.54E-2
A-2	1.91	0.09	3.34E-3	7.22E-4
B	5.34	4.77	3.42E-2	7.51E-2
윗층	5.25	4.93	8.15E-1	2.53E-1

표 2의 값들이 점선원 조건으로 모사했을 경우의 값보다 낮다는 것을 확인하였으며, 동 조건에서 중성자발생장치를 운영할 경우(사용시간을 하루 4 시간, 주 20 시간) 방사선작업종사자에 대한 선량률 기준인 $10 \mu\text{Sv/h}$, $400 \mu\text{Sv/주}$ (하루 8 시간, 40 시간/주 작업 시간 기준) 이하로, 방사선 방호 등에 대한 기준을 충분히 만족한다.

결론

14 MeV 중성자 발생장치의 사용에 따른 방사선학적 안전성을 검토할 경우, 실제 발생장치의 기하구조를 고려하지 않고 선원을 점선원화 검토할 수 있다. 또한 콜리메이터를 추가로 설치할 경우 방사선에 대한 안전성이 더욱 강화됨을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소(ADD)의 지원으로 수행되었습니다. (Contract No. UC080023GD)

참고 문헌

1. LANL, MCNPXTM User's Manual, Ver.2.4.0 (RSIC-CCC-715), LA-CP-02-408.
2. ICRP, "Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation", ICRP Publication No. 74, 1997.