

중성자 차폐복이 갖는 광자 차폐효과

신경욱 · 박병목 · 채경선 · 한경호 · 송재준 · 임병섭*
세안기술주식회사 · 한국수력원자력(주) 울진 제1발전소*
E-mail: and9211@sae-an.co.kr

중심어 (keyword) : 방사선, 외부피폭, Polyethylene, Borated Polyethylene, 차폐복

서 론

알파선, 베타선, 광자(감마선 및 엑스선) 및 중성자선 등의 방사선에 의한 피폭은 내부피폭과 외부피폭으로 구분할 수 있는데, 알파선과 베타선은 내부피폭 관점에서 광자와 중성자선은 외부피폭 관점에서 중요하게 다루어지고 있다. 광자는 감마선과 엑스선을 통칭하는데 감마선은 핵이 여기상태에서 기저상태로 변할 때 그 에너지 차이만큼 에너지의 형태로 방출되는 것이며, 엑스선은 원자 궤도를 돌고 있는 전자가 여기상태에서 기저상태로 내려올 때 방출되는 에너지 형태로서, 에너지 발생원이 원자핵 또는 원자의 궤도 여부에 따라 구분하지만 방사선적 특성은 동일하다.

본 연구에서는 이러한 방사선의 종류 중 중성자를 차폐하기 위해 제작되는 중성자 차폐복이 광자에 있어서는 얼마만큼의 차폐효과가 있는지를 알아 보기 위해 이론적인 계산치를 실증실험결과와 비교하였다.

원자력발전소를 포함한 중성자 선원을 사용 및 취급하는 사용시설에서 중성자와 광자는 대부분 함께 존재하므로 중성자 차폐복 착용시 광자의 차폐효과까지 고려한다면 방사선작업종사자의 피폭방사선량 관리에 큰 도움이 될 것이다.

재료 및 방법

본 실험에 사용한 중성자 차폐물질은 PE (Polyethylene)와 Boron이 5% 포함된 BPE(Borated Polyethylene)을 두께를 달리하여 제작하였으며, 결과

의 신뢰성을 높이기 위해 직사각형 밀폐용기로 제작하였다. 조사장치는 Cs-137선원 795.5GBq이 내장된 Gamma Calibration System SAE-AN01를 사용하였으며, 직독식 선량계는 RADOS사의 Alarm Dosimeter RAD-60S, S/N 264563를 사용하였으며 Gamma Calibration System을 이용한 실제 조사 실험의 사진을 그림 1에 나타내었다.



그림 1. Gamma Calibration System을 이용한 조사 사진

본 실험은 차폐함 내에 직독식선량계(Personal Alarm Dosimeter)를 삽입 후 Gamma Calibration System으로 1m와 2m에서 방사선을 조사한 후 직독

식 선량계의 누적 선량값을 비교하였다. Gamma Calibration System를 이용한 방사선 조사조건을 표 1에 나타내었다.

표 1. Gamma Calibration System의 방사선조사 조건

선 원	거리(mm)	기준조사량(mSv)	조사시간(sec)
Cs-137 (795.5 GBq)	1,023.98	4	200
	2,041.05	1	

Gamma Calibration System을 이용한 조사는 PE(10mm), PE(20mm), BPE(10mm), BPE(20mm), PE(10mm)+BPE(10mm) 및 차폐체가 없는 BKG 용으로 구분하였다.

결과 및 고찰

광자의 차폐효과에 대한 결과는 차폐체가 없는 BKG 직독식 선량값을 기준으로 PE와 Boron이 5% 포함된 BPE의 물리적 특성보다는 두께의 영향에 의존함을 알 수 있으며 그 결과는 표 2에 나타내었다.

표 2. Gamma Calibration System의 방사선조사 결과

구 분	조사선량	기록선량	차폐율(%)
PE(10mm)	1 mSv	868 μ Sv	13.20
	4 mSv	3.57 mSv	10.75
PE(20mm)	1 mSv	885 μ Sv	11.50
	4 mSv	3.55 mSv	11.25
BPE(10mm)	1 mSv	900 μ Sv	10.00
	4 mSv	3.59 mSv	10.25
BPE(20mm)	1 mSv	877 μ Sv	12.30
	4 mSv	3.49 mSv	12.75
PE(10mm)+ BPE(10mm)	1 mSv	871 μ Sv	12.90
	4 mSv	3.52 mSv	12.00

이론적인 방법으로 차폐 계산한 내용으로서 첫 번째 PE 및 BPE의 밀도가 중요 변수가 되는데 보편적으로 PE나 BPE의 밀도는 약0.95g/cm³ ~ 0.98g/cm³의 값을 갖는다. 광자의 차폐는 차폐체의 선형감쇠계수의 영

향을 받으며, 선형감쇠계수는 밀도의 영향을 받게 된다. 표3에 0.662MeV에 대한 물의 질량감쇠계수를 나타내었으며 PE 및 BPE의 밀도가 물과 같다고 가정하였다 [1,2]. 사용한 계산식은 다음과 같다.

$$I = I_0 \times e^{-\mu t}$$

$$I = 1mSv \times e^{-0.0843 \times 1} = 0.919mSv \text{ (두께 10mm)}$$

$$I = 1mSv \times e^{-0.0843 \times 2} = 0.845mSv \text{ (두께 20mm)}$$

표 3. The mass attenuation coefficient(μ/ρ)

Material	Gamma-ray energy(MeV)			비 고
	0.6	0.662	0.8	
H ₂ O	0.0896	0.0843	0.0786	1g/cm ³

※ PE 및 BPE의 밀도는 물의 밀도1g/cm³ 과 같다고 가정하였으며 0.662MeV의 질량감쇠계수는 지수보간법을 사용하였음

위의 계산 결과로 보면 두께 10mm인 경우 8.1% 차폐효과를 얻게 되며, 두께 20mm에서는 15.5%의 차폐효과를 얻게 된다. 이론적 계산값과 실증실험결과로부터 10mm의 두께에서는 실험값이, 20mm에서는 이론값이 더 높은 차폐효과가 있음을 알 수 있었다.

결 론

위의 실험값과 이론적인 계산 결과로 볼 때 중성자 차폐복은 광자에 대해서도 차폐효과가 있음을 확인할 수 있었으나 실험값 및 이론적인 계산 값의 결과에 대한 차이 규명은 앞으로 더 연구되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. INTRODUCTION TO NUCLEAR ENGINEERING
- JOHN R. LAMARSH
2. 한국원자력안전기술원 홈페이지