

AmBe 선원을 이용한 중성자 차폐재의 차폐평가체계의 구축

김상인^{1,2} · 김봉환¹ · 장인수¹ · 김장렬¹ · 이정일¹
한국원자력연구원¹ · 경상대학교²
E-mail: skim@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 중성자차폐성능평가, AmBe, ²⁵²Cf, Shadow cone

서 론

최근 고에너지 입자가속기 시설의 증가와 의료 및 우주항공 산업의 발전 등으로 중성자에 노출될 기회가 점점 증가하고 있다. 이러한 중성자 발생시설이 증가함에 따라 중성자 차폐산업분야 또한 늘어나고 있으며, 또한 다양한 차폐성능시험이 요구되고 있다. KOLAS 인정 한국원자력연구원(KAERI) 방사선측정기 교정실험실에서는 비감속 ²⁵²Cf 선원을 이용해 연구기관, 대학, 기업에서 의뢰받은 중성자 차폐성능시험을 실시해 오고 있다. 그러나 차폐재의 종류와 성능시험 조건이 다양해짐에 따라 기존의 성능시험체계 외 또 다른 체계가 필요하게 되었다. 이에 맞춰 AmBe 선원을 이용한 차폐평가체계를 추가 구축하였다.

재료 및 방법

AmBe 이용한 중성자 차폐재 성능평가체계를 한국원자력연구원의 조사실에 구축하였다. 새로 구축한 체계에 사용되는 AmBe 선원의 선량당량 평균에너지는 4.23 MeV, 선량당량률 H*(10)은 0.14 mSv/h('01.1.1. 기준), 방출율은 6.60×10⁶/s('09.10.1.기준)이다.[1-2] 그리고 측정에 사용된 검출기는 5 inch 보너감속구와 LiI(Eu) 섬광검출기 및 ³He 비례계수관이고 휴대용 MCA(다중과고분석기)를 이용하여 계수율을 측정하였다. AmBe 선원은 납(Pb) 포켓에 장착하여 사용하지 않을 시에는 파라핀 통 (D=50 cm, L=50 cm)속

에 저장되어 있다가 측정 시 조사지점에 위치할 수 있도록 하였다. 선원과 검출기까지의 거리는 80 cm로 고정하였고 그 선원과 3 cm 거리에 차폐재를 위치시켰다. 그 다음에 Shadow cone을 놓았는데 다양한 차폐재의 크기에 대비하여 2종류를 사용하였다. Shadow cone의 길이는 30 cm의 P.E 부분을 포함하여 총 50 cm이며 직경은 각각 13.5 cm, 29 cm이다.



그림 1. AmBe 선원을 이용한 중성자차폐 성능평가장치, AmBe 선원캡슐, 5" 보너감속구 및 LiI(Eu) 섬광검출기, (좌)Large, (우)small Shadow-cone.

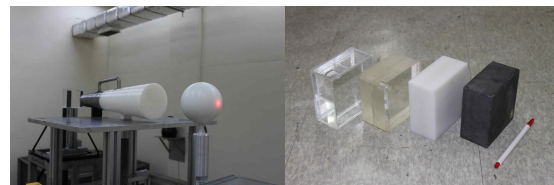


그림 2. (좌)²⁵²Cf 선원을 이용한 차폐성능 평가장치, (우) 4종류(H₂O, lucite, polyethylene, Pb)의 차폐재들.

AmBe 선원으로 시험한 4종류의 차폐재 성능을 검증하기 위해 ²⁵²Cf 선원으로도 동일한 시험을 하였다. 위 그림 2는 ²⁵²Cf 선원 장치의 성능시험 설정사진과 시험에 사용된 차폐재이 사진이다. 사용한 ²⁵²Cf 선원의 선량당량 평균에너지는 1.84 MeV, 선량당량률 H*(10)은 1.66 mSv/h ('03.8.23.기준), 방출율은 1.87×10⁷/s

(2009.10.1.기준)이다.[1-2] 차폐성능시험에 사용된 차폐재들의 크기는 10 cm × 10 cm × 5 cm (가로 × 세로 × 두께)이고 재질은 Pb, PolyEthylene, Lucite, H₂O 등 4종류이다.

중성자의 차폐성능은 비감쇠중성자(unattenuation neutron) 계수율과 감쇠중성자(attenuation neutron) 계수율(count rate)의 비(比)인 감쇠지수(Attenuation Factor)를 구해 평가하였다. 그 표현식은 다음과 같다.

$$A.F. = \frac{\text{attenuation neutrons}}{\text{unattenuation neutrons}}$$

$$= \frac{\text{neutrons with shield} - \text{neutrons with (shield + S.C)}}{\text{neutrons without S.C} - \text{neutrons with S.C}}$$

위 식에서 attenuation neutrons은 차폐재에 의해 감쇠되어진 중성자의 계수율을 말하고, unattenuation neutrons은 차폐재가 없는 경우 검출기에 도달한 중성자의 계수율을 말한다. 이 식에 의한 감쇠지수가 작을수록 차폐성능이 높다고 말할 수 있다. S.C는 Shadow Cone을 말하는데, 이것은 차폐성능 평가장치의 주위물에 의해 산란되어 검출기에 도달한 중성자의 계수율을 측정하기 위해 사용되었다.

결과 및 고찰

표 1은 AmBe 선원과 ²⁵²Cf 선원을 이용해 측정된 감쇠지수를 정리한 것이다.

표. AmBe 선원과 ²⁵²Cf 선원을 이용한 4종류 차폐재의 감쇠지수

| 차폐재 | 감쇠지수(A.F) | |
|-------------------------------|----------------|----------------------|
| | AmBe 선원 | ²⁵² Cf 선원 |
| Pb | 0.733 ± 10.1 % | 0.561 ± 5.20 % |
| PolyEthylene | 0.678 ± 9.88 % | 0.385 ± 5.22 % |
| Lucite | 0.653 ± 10.1 % | 0.402 ± 5.23 % |
| H ₂ O+lucite(1 cm) | 0.675 ± 10.3 % | 0.413 ± 5.21 % |

표에 나타난 감쇠지수를 비교해 보면 AmBe 선원을 사용했을 경우의 감쇠지수가 ²⁵²Cf 선원을 사용했을 경우의 것보다 높게 나타난다. 그리고 두 선원에 대한 감쇠지수가 대략 1.3 배에서 1.7 배 까지 차이가 나는데,

그 이유는 2.3 배 차이가 나는 평균에너지와 서로 다른 방출중성자 에너지 스펙트럼 때문이라고 볼 수 있다.

또한 동일한 두께의 차폐재들의 감쇠지수를 비교해 보면, PolyEthylene이 다른 것들보다 차폐성능이 높았다. 또한 PolyEthylene이 두 선원 중 보다 낮은 평균에너지를 가지는 ²⁵²Cf 선원의 방출중성자에 대해 더 높은 차폐 성능을 보이는데, 이는 파라핀이나 PolyEthylene이 낮은 에너지의 중성자에 대해 더 큰 반응단면적을 가지는 이유와도 일치한다.

결론

AmBe과 ²⁵²Cf 두 선원에 대해, 흔히 이용되는 4종류의 중성자 차폐재를 이용해 본 연구원에 설치한 중성자 차폐성능장치를 검증해 보았다. 약 4.2 MeV와 1.8 MeV인 방출중성자의 평균에너지에 대한 Pb, P.E., Lucite, H₂O 등의 차폐재들의 차폐성능의 추이가 이론으로 잘 설명이 된다.

좀 더 많은 성능자료를 생산해 본 연구를 보완·수정 한다면 AmBe 선원을 이용한 중성자 차폐재의 차폐성능시험체계도 기존의 ²⁵²Cf 선원을 이용한 차폐성능시험체계 만큼의 활용도와 신뢰도가 있다고 판단된다. 그리고 두 선원을 이용하면 시험조건의 한계가 좀 더 넓어질 것이고, 더 다양한 차폐재와 차폐조건에 대해서도 차폐성능시험을 수행할 수 있다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소(Agency for Defense Development)의 지원으로 수행되었습니다. (Contract No. UC080023GD)

참고 문헌

1. 과학기술처, 한국원자력연구원, 방사선환경안전연구, 방사선 방어 및 측정기술 개발(1997).
2. 한국원자력연구원, KOLAS공인 방사선/능축기교정 교정지침서(2007).