

Collimator Design and Manufacture for Mössbauer Source

Sung Ho Park · Jong Kyung Kim

Dept. of Nuclear Engineering, Hanyang University

Mössbauer 선원용 콜리메이터 설계 및 제작

박성호 · 김종경

한양대학교 원자력공학과

(2003년 4월 6일 접수, 2003년 7월 8일 채택)

Abstract - Collimator for Mössbauer source was manufactured for Compton scattering experiment. Exposure dose rate was calculated and measured using GM counter for radiation evaluation. These results were well agreed to each other and used for collimator design. SUS303 was used for collimator material because exposure dose rate at 10 cm is about 2 mR/h. The radiation emitted from the 35 mm, 65 mm hole was measured using gamma camera which have 4" diameter. 2-D radiation image was acquired and analyzed. The radiation size at Gamma Camera was 8.0 mm and 5.8 mm respectively.

Key words: Collimator, Gamma Camera, Compton Scattering Experiment

요약 - 컴프턴 산란 실험을 수행하기 위해 Mössbauer 선원용 콜리메이터를 제작하였다. 콜리메이터 제작에 앞서 방사선량 평가를 위해 조사선량을 계산하였고, 동일 위치에서 GM 계측기를 이용해 측정을 수행하였다. 계산 및 실험결과는 잘 일치하였다. 10 cm에서의 조사선량률이 2 mR/h 정도이므로 SUS303을 사용하여 콜리메이터를 제작하였다. 콜리메이터의 35 mm, 65 mm Hole에서 방출되는 방사선을 4" 감마카메라를 사용해 측정하여 감마카메라 위치에서 2차원 방사선 영상을 얻을 수 있었다. 감마카메라 위치에서 콜리메이터의 집속 크기는 각각 8.0 mm, 5.8 mm로 측정되었다.

중심어 : 콜리메이터, 감마카메라, 컴프턴 산란 실험

서 론

방사선의 특성 중 투과 특성은 물질의 비파괴 검사에 널리 응용되고 있다. 투과 측정이 불가능하거나 투과 특성으로 얻을 수 없는 정보를 이용하기 위해서 산란을 이용한 기술이 산업의 많은 분야 응용에 연구되고 있다[1,2]. 이번 연구는 방사선의 산란 특성을 이용한 장비 개발을 위해 실험에 사용할 목적의 방사선원

용 콜리메이터를 설계·제작하였다. 방사선원은 122 keV, 136 keV 에너지의 감마선을 방출하는 Mössbauer 용 Co-57을 사용하였으며, 정밀한 산란 실험을 위해 mm 정도의 초점을 가지는 콜리메이터를 설계·제작하게 되었다.

제작된 콜리메이터의 초점 크기를 확인하기 위해 감마카메라를 사용하여 2차원 방사선 영상을 촬영하였고, 촬영 결과를 해석하여 콜리메이터의 초점 크기를 측정하였다.

재료 및 방법

Mössbauer 선원

실험에 사용한 Co-57 Mössbauer 선원은 러시아 Ritverc GmbH사의 제품[3]으로 1998년 1월 구매 당시 방사능은 11.4 mCi였다. Co-57은 두께 6 mm, 직경 4-8 mm의 얇은 금속 matrix에 annealing 공정을 통해 생산하며, 베릴륨 원도와 티타늄 합금은 아르곤 용접으로 접합한다. 그림 1은 Mössbauer 선원의 외형을 나타내는데 길이는 14 mm, 방사선 방출 직경은 10 mm, 홀더의 직경은 14 mm이다.

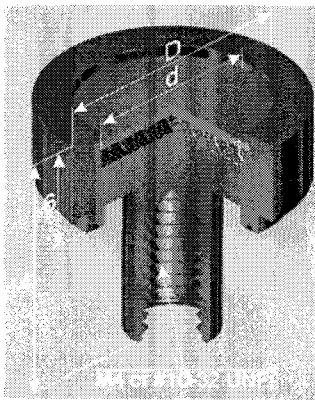


Fig. 1. Schematic Drawing of Mössbauer Source.

거리에 따른 조사선량 측정

Mössbauer 선원에서 방출되는 방사선을 측정하기 위해 조사선량률 계산 및 측정을 수행하였다. 실험 당시인 2002년 12월 현재 방사능, A는 0.275 mCi 이다.

$$A = A_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{271.8d} 4 \times 365d\right) = 0.275 \text{ mCi}$$

Co-57의 감마상수는 $0.9 \frac{Rcm^2}{h mCi}$ 이고, 거리에 따른 조사선량률은 다음 식에 의해 계산된다.

$$\dot{X} = 0.275 (\text{mCi}) \times \Gamma\left(\frac{Rcm^2}{h mCi}\right) \times \frac{1}{d^2 (\text{Cm}^2)}$$

[R/hr]

또한 GM 카운터를 이용해 거리마다 조사선량률을 측정하여 그림 2에 나타내었다.

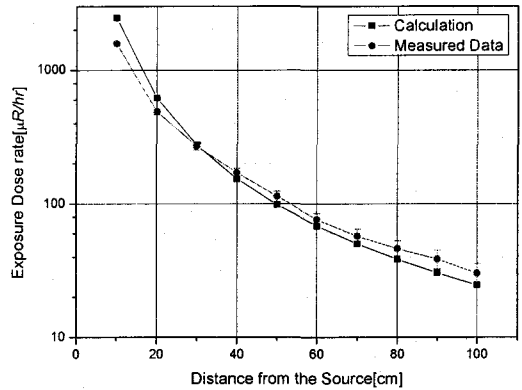


Fig. 2. Exposure Dose Rate of Co-57 Radiation Source.

현행 원자력법에서 제한하는 피폭선량은 연간 50 mSv을 넘지 않는 범위내에서 5년간 100 mSv을 제시하고 있는데[4], 단순하게 평가하기 위해 연간 평균 20 mSv을 고려하고, 연간 작업시간 50 주, 주당 작업시간 40시간을 고려하면 작업장 방사선량은 1 mR/h를 초과해서는 안된다(1 mR ≈ 0.01 mSv). Mössbauer 선원에서 10 cm에 떨어진 위치에서 측정된 값과 계산한 값 모두 1 mR/h를 넘기 때문에 Mössbauer 선원을 실험에 바로 사용할 경우 방사선 작업에 주의를 기울여야 한다.

콜리메이터 설계 및 제작

콜리메이터의 목적은 원하는 크기만큼 방사선을 집중시키는 역할과 불필요한 방사선의 방출을 최대한 제한하는 데 있다. 설계당시 납, 텅스텐 등 밀도가 크고 방사선 차폐효과가 우수한 재질을 고려하였는데 이 중 철과 납의 반가층 계산을 위해 사용된 변수 및 계산결과를 표 1에 나타내었다. 계산에 사용된 변수는 참고문헌 5를 참조하였으며, Buildup Factor는 Berger Form을 사용하는 아래식에 의해 계산하였다.

$$B(E_0, \mu x) \approx 1 + a\mu x e^{(+b\mu x)}$$

계산결과 납을 사용할 경우 반가층이 0.3 mm, 철을 사용할 경우 4.3 mm로 계산되어 철을 사용하여 콜리메이터를 제작하여도 방사능이 그리 크지 않은 것으로 계산되어 취급이 용이하고 제작이 수월한 SUS303를 콜리메이터 재질로 선정하였다. 콜리메이터 설계도는 그림 3과 같은데 총 3

부분으로 설계하였다. 우측에 보이는 부분이 선원을 고정하는 것으로, 중앙부분에 4 mm 수나사를 만들어 Mössbauer 선원의 M4 암나사를 고정한다. 이 부분을 중앙에 보이는 부분에 조립하면 선원이 길이 20 mm 홀의 좌측 끝에 위치하고, 초점 2 mm 길이 35 mm의 홀을 통해 방사선을 방출하게 된다. 그림 3의 좌측에 보이는 부품은 30 mm 홀을 가지며 선원 개폐를 위해 제작된 개폐장치이다.

Table 1. Calculated Value of HVL and BF for Fe and Lead.

	Fe	Lead
$\mu(\text{cm}^{-1} \text{ at } 122 \text{ keV})$	2.32	45.3
$\rho(\text{g/cm}^3)$	7.86	11.34
HVL(mm)	4.3	0.23
BF	1.353	1.4

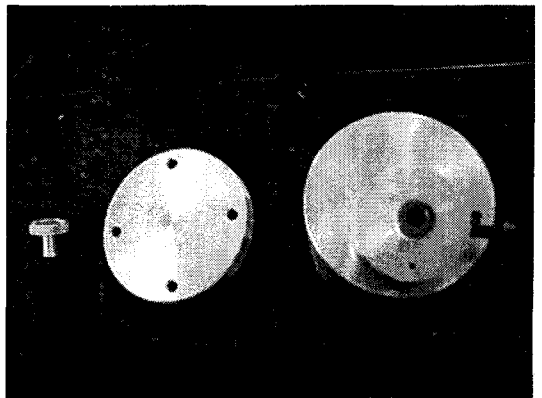
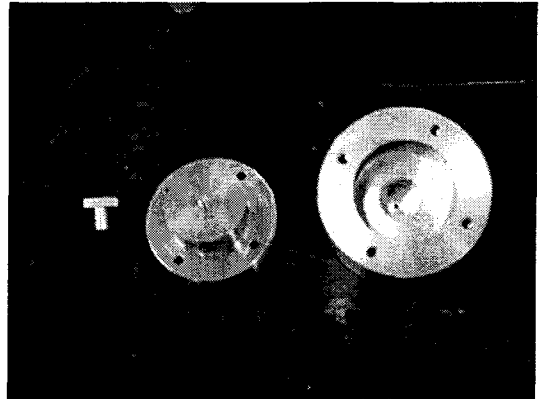


Fig. 4. Picture of the Collimator.

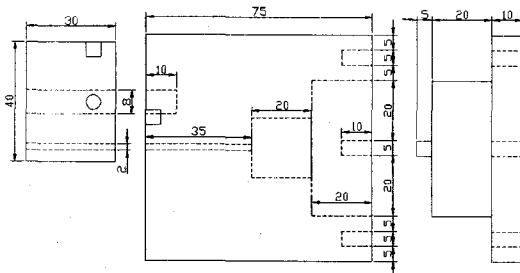


Fig. 3. Design of ⁵⁷Co Collimator.

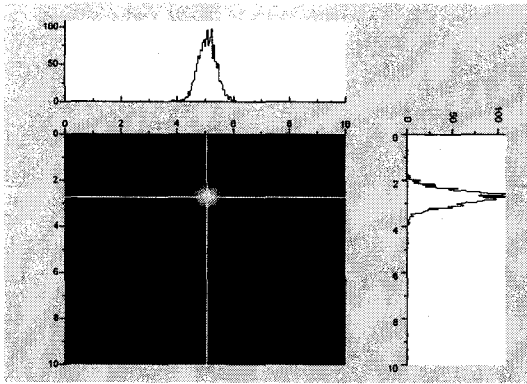
그림 4는 제작한 콜리메이터 부품 사진이다. 그림 좌측에 보이는 것이 Mössbauer Co-57 선원이고, 중앙에 보이는 4 mm 나사에 선원을 조립하여 우측에 보이는 14 mm 구멍에 조립하게 된다. 개폐장치는 아래쪽 그림의 세 번째 보이는 부품인데 작게 보이는 구멍이 콜리메이터 본체 개폐를 위해 제작된 장치이며 돌려서 개폐를 수행할 수 있게 제작하였다. 개폐장치를 제거했을 때 홀은 길이 35 mm이고, 개폐장치를 장착했을 때에는 65 mm이다.

제작된 콜리메이터를 점검하기 위해 감마카메라를 이용해 측정하여 측정된 자료를 분석하여 방사선 선원의 집속 정도를 점검하였다. 개폐장치를 장착했을 경우와 개폐장치를 제거했을 경우에 각각 실험을 수행하였다. 감마카메라는 콜리메이터 표면에서 5 cm 위치에서 촬영했으며, 감마카메라에 장착된 콜리메이터의 두께는 2.4 cm이고 촬영 크기는 10×10 cm이다.

결과 및 분석

감마카메라를 이용한 측정

감마카메라는 4" NaI(Tl)을 사용했으며 측정 가능한 영역은 10×10 cm 이다. 감마카메라로 측정되는 영상을 256×256 pixel로 저장하였다. 감마카메라의 공간 분해능은 $10/256 = 0.39 \text{ mm}$ 이다. 측정된 영상을 해석하기 위해 데이터를 그림 5와



영상이 맺히는 크기를 그림 6에 의해 계산한 결과 각각 7.7, 5.1 mm로 계산되었다. 또한 감마카메라 영상을 분석해 집속 크기를 평가하였는데 그림 7에서 보듯이 경계부분(penumbra)에서 정량적인 평가를 수행하기 위해 10점 smoothing을 하였으며 FWHM 값을 집속 크기로 가정하였다 [6-9]. 이 경우 집속 크기는 8.0, 5.8 mm로 평가되어 각각 4%, 14% 만큼 크게 평가되었다. 집속 크기와 관련되어 계산된 값 및 측정된 값을 표 2에 정리하였다.

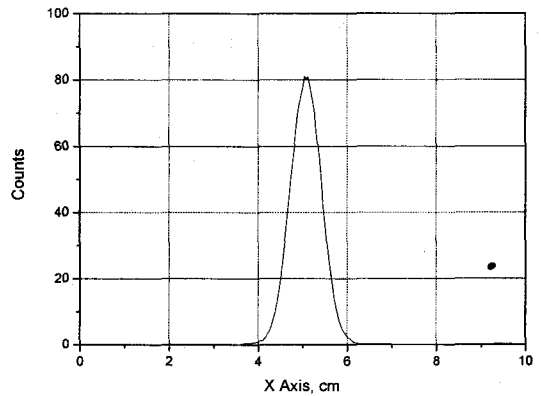
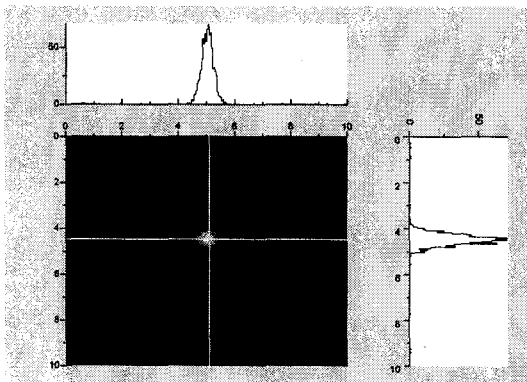


Fig. 5. Measured Image by using ⁵⁷Co and Gamma Camera. (Left : Remove the Front Part, Right : Install the Front Part)

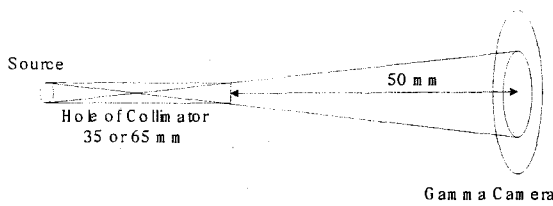


Fig. 6. Schematic Drawing to Calculate the Diameter at Gamma Camera.

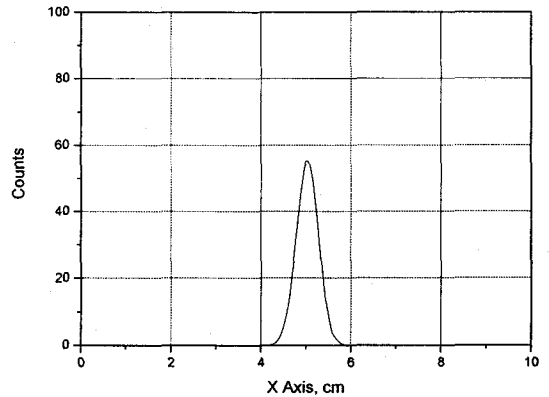


Fig. 7. 10 Point Smoothed Axial Profile. (Left : Remove the Front Part, Right : Install the Front Part)

같이 2-D 방사선 영상과 가로축, 세로축 방향 프로파일 형태로 나타내었다. 2-D 방사선 영상에서 밝게 보이는 부분은 방사선이 집속되고 있음을 의미한다. 감마카메라 위치에서 방사선 집속 크기를 평가하기 위해 광학적 집속 크기를 계산하였는데 개폐장치를 제거하였을 경우와 개폐장치를 장착하였을 경우 감마카메라 위치에서 방사선 선

Table 2. Designed, Calculated and Measured Parameters of Collimator.

	개폐장치 제거	개폐장치 사용
Hole Length	35 mm	65 mm
Dia. at Gamma Camera(Calculated)	7.7	5.1
Dia. of collimator(Calculated)	2.08	2.27
Dia. of collimator(Designed)	2.0	2.0
MAX Count	98	70
FWHM	8.0	5.8

결론 및 논의

컴프턴 산란 실험을 수행하기 위하여 Mössbauer 선원용 콜리메이터를 제작하였다. 선원의 방사능은 0.275 mCi로 계산되었으며 조사선량 측정결과 10 cm에서의 조사 선량이 약 2 mR/h로 주간 작업시간 20 시간을 준수하면 방사선 방호 측면에서 문제가 없는 것으로 평가되었다. 컴프턴 산란 실험을 위해 콜리메이터를 제작하였는데 방사선 선원의 방사선 준위가 그리 높지 않아 제작이 간편한 SUS303를 콜리메이터 재질로 사용하였다.

방사선 집속 크기를 평가하였는데 광학적 집속과 달리 방사선은 산란현상이 존재하기 때문에 비교적 기울기가 큰 경계부분(penumbra)이 발생하여 정량적 비교를 위해 FWHM 값을 방사선 집속 값으로 사용하였다. 2 mm 크기의 콜리메이터는 2.08 mm, 2.27 mm로 각각 평가되어 4%, 14% 크게 평가되었다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 원자력연구개발사업의 지원 및 방사선안전기술연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. A. Brunetti, B. Golosio and R. Cesareo, "A Correction Procedure for the Self-Absorption Artifacts in X-ray Compton Tomography," *X-ray Spectrometry*, 31, 377-382 (2002).
2. R. Cesareo, C.C. Borlino, A. Brunetti, B. Gologio and A. Castellano, "A Simple Scanner for Compton Tomography," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 487, 188-192 (2002).
3. <http://www.ritverc.com>, Mössbauer sources (2002).
4. 과학기술부, 원자력법시행령, 제2조 제5호 (2001).
5. R.E. Faw and J.K. Shultis, *Radiological Assessment : Sources and Exposures*, Second Edition, pp. 285, 626-627, PTR Prentice-Hall (1993).
6. Wannoo Lee and Gyuseong Cho, "Pinhole Collimator Design for Nuclear Survey System," *Annals of Nuclear Energy*, 29, 2029-2040 (2002).
7. O. Gal, C. Izac, F. Jean, F. Laine, C. Leveque and A. Nguyen, "CARTOGAM - a Portable Gamma Camera for Remote Localization of Radioactive Sources in Nuclear Facilities," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 460, 138-145 (2001).
8. O. Gal, F. Jean, F. Laine and C. Leveque, "The CARTOGAM Portable Gamma Imaging System," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 47(3), 952-956 (2000).
9. J.T. Bushberg, J.A. Seibert, E.M. Leidholdt and J.M. Boone, *The Essential Physics of Medical Imaging*, Second Edition, pp. 269-273, Lippincott Williams and Wilkins (2002).