

Design of Double Layer Shielding Structure using Eco-friendly Shielding Materials

Ji Koon Park,¹ Il Hong Choi,¹ Hyung Hoo Park,¹ Sung Woo Yang,¹ Kyo Tae Kim,² Sang Sik Kang^{1,*}

¹Department of Radiological Science, International University of Korea

²Department of Biomedical Engineering, Inje University

Received: October 15, 2016. Revised: December 15, 2016. Accepted: December 31, 2016

ABSTRACT

Recently, a barium(Ba) and an iodine(I) being studied as a conventional lead(Pb) alternatives of shielding material has excellent shielding rate, but the characteristic x-ray photons in the energy range near 30 keV line is released. In this study, with bismuth oxide(BiO) coupled barium sulfate(BaSO₄) double layer, transmitted spectra, shielding rates and relative weighting rates were evaluated to validate the applicability of eco-friendly double layer shielding structure using monte carlo simulations as a prior study. From the evaluation results, in 0.4mm and 0.5mm thickness of BiO layers coupled with top 0.1mm-BaSO₄ layer, the shielding rate showed 1.9% and 3.9% higher than 0.6mm thickness of Pb single layer, respectively. In addition, the relative weight also 28% and 34.5% lower than 0.6mm-Pb in 0.4mm and 0.5mm thickness of BiO layers coupled with top 0.1mm-BaSO₄ layer.

Key Words : lead, barium sulfate, bismuth oxide, shielding rate

I. INTRODUCTION

고령화 사회 진입에 따라 최근 의료분야에서 진단 및 치료를 위해 방사선의 이용이 급격히 증가되고 있는 추세이다. 이에 방사선 종사자 및 환자에 대한 불필요한 방사선 피폭을 저감하기 위한 체계적인 관리의 중요성이 높아지고 있는 실정이다.^[1] 방사선안전관리와 관련하여 방사선방호위원회(International Commission of Radiation Protection; 이하 ICRP)는 외부피폭 방어 3 원칙으로 시간단축, 선원과의 거리유지 및 차폐체 활용을 제시하고 있다. 그러나, 의료방사선 분야는 일반촬영, 유방촬영, 투시촬영, 그리고 핵의학 및 종양학 분야 등 사용하는 방사선의 에너지와 선량이 다양하다. 그러나, 현재 이러한 다양한 분야에서 외부방사선 차폐를 위한 납(Pb)의 종류가 세분화되어 있지 않고, 인식 또한 미흡한 실정이다.

한편, 현재 의료분야에서 방사선 차폐를 위해 납(Pb)

재질의 여러 형태의 방어복을 착용하고 있는데, 이러한 납은 인체에 유해한 납 중독 및 경량화 한계 등의 문제를 가지고 있으며 친환경 대체 물질을 개발하고자 많은 연구를 진행하고 있다.^[2] 최근 납의 대체물질로서 연구되고 있는 바륨(Ba)과 요오드(I) 등은 차폐능은 우수하지만, 30 keV 근처의 에너지 영역에서 특성 X선이 방출되는 문제점이 있다.^[3-5]

이에 본 연구에서는 1차 방사선을 차폐하기 위한 황산바륨(BaSO₄)과 저에너지 특성 X선을 제거하기 위한 2차 차폐물질로 산화비스무스(BiO)로 구성된 친환경 이중차폐체의 적용가능성을 검증하기 위한 선행연구로 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 투과스펙트럼, 차폐율 등을 평가하여 차폐체의 두께 최적화를 제시하고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

본 연구에서는 전세계적으로 검증된 방사선 수송 모

*Corresponding Author: Sang Sik Kang

E-mail: kss94@nate.com

Tel: +82- 55-751-8302

Address: 965 dongburo munsaneup jinju gyeongnam, korea

의 코드인 MCNPX 코드를 이용하여 관전압 120 kVp의 X선 광자의 1차 빔 에너지 스펙트럼을 소스 데이터로 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 타겟 재질은 텅스텐(W)을 이용하였고, 관전압과형맥동율을 13 % 및 2.5 mm 알루미늄으로 여과된 에너지 스펙트럼 이용하여 MCNPX의 입력데이터로 이용하였다. 차폐체의 종류는 일반적으로 방호용으로 이용되고 있는 납(Pb)과 본 연구에서 선정한 BaSO₄, BiO를 이용하였으며, 면적은 5 cm × 5 cm 로 하였다. 각 차폐체에 대해서 X선 광자가 상호작용한 흡수율은 다음의 수식과 같다.

$$\Delta I = I_0 - I, \quad I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

여기서 I₀는 입사 X선 강도, I는 투과된 X선 강도, μ는 선감약계수이고, x는 차폐체의 두께이다. 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 임의의 x에 대한 I를 추정하여 ΔI를 계산하여 그 결과값을 비교하였다.

차폐체에 입사한 광자가 물질과 상호작용하여 통과한 광자들의 에너지 스펙트럼을 얻기 위해 Mode P를 이용하여 X선 광자들의 모의수송을 정의하였고, ERG는 일반촬영용 텅스텐에서 발생하는 연속 X선 광자의 에너지 분포 데이터를 SI 및 SP 함수를 이용하여 소스 에너지의 히스토그램을 정의하였다.

시뮬레이션 결과 값을 얻기 위한 Tally specification card는 F1 Tally를 이용하여 X선의 한 표면에 입사하는 광자가 반대쪽 표면을 통과할 확률을 추정하였다. 50,000개의 소스 광자들이 진단 영역의 연속 X선 스펙트럼과 동일한 확률로 샘플링 하였다. 또한 이러한 연속 에너지를 가지는 광자의 투과 확률을 에너지별로 구분하여 적분함으로써 차폐능을 도출하였다.

차폐체의 두께에 따른 차폐능을 조사하기 위해 Reference 차폐물로 두께 0.1 mm의 Pb에 대하여 결과 값을 얻었고, 다양한 두께조합의 황산바륨(BaSO₄)와 산화비스무스(BiO)로 구성된 이중구조 차폐체에 대해 투과스펙트럼을 얻었다.

III. RESULT AND DISCUSSION

1. 이중구조 차폐체의 투과 스펙트럼

0.2mm-BaSO₄의 단일층 구조의 차폐체와 상부(0.2mm-BaSO₄)와 하부(0.4mm-BiO)의 이중층 구조의 차폐체에 대한 120 kVp의 연속 X선 광자에 대한 투과 스펙트럼을 Fig. 1와 같이 나타내었다. 그림에서와 같이, BaSO₄ 단일층의 차폐체의 투과 스펙트럼에서 입사되는 X선 광자와 차폐체와의 상호작용에 의해 33 keV와 37 keV에서 특성 X선이 발생하는 것을 알 수 있었다.

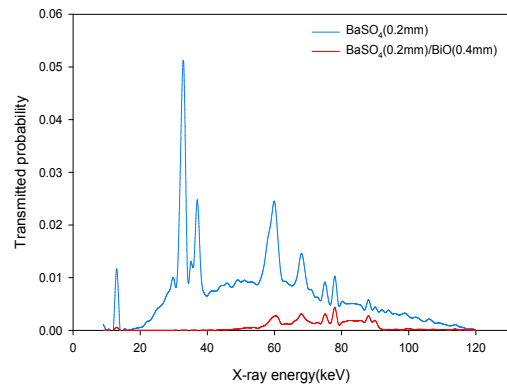


Fig. 1. Transmitted spectrum of BaSO₄(0.2mm) and BaSO₄(0.2mm)/BiO(0.4mm) structure

한편, BaSO₄ 단일층의 하부에 BiO 층을 삽입하여 이중 구조의 차폐체에 대한 스펙트럼은 BiO 층에 의해 45 keV 이하의 저에너지 및 특성 X선이 제거되는 것을 확인할 수 있었다.

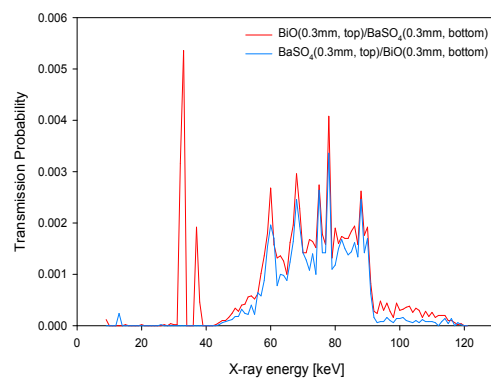


Fig. 2. Transmitted spectrum of BiO(0.3mm, top)/BaSO₄(0.3mm, bottom) and BaSO₄(0.3mm, top)/BiO(0.3mm, bottom) structure

상부(0.3mm-BiO)와 하부(0.3mm-BaSO₄) 구조의 차폐체와 상부(0.3mm-BaSO₄)와 하부(0.3mm-BiO) 구조의 차폐체에 대한 투과 스펙트럼을 Fig. 2와 같이 나타내었다. 두 차폐체 구조 모두 40 keV 이상의 에너지 영역

에서의 투과 스펙트럼은 거의 유사하나 BaSO₄(상부)/BiO(하부) 구조에서의 차폐효과가 더 우수한 것을 알 수 있었고, 특히 반대의 구조와는 달리 하부의 BiO 층에서 상부의 BaSO₄에서 발생하는 특성 X선(33 keV, 37 keV)을 제거하고, 저에너지에서 특성 X선 발생하지 않는 것을 알 수 있었다.

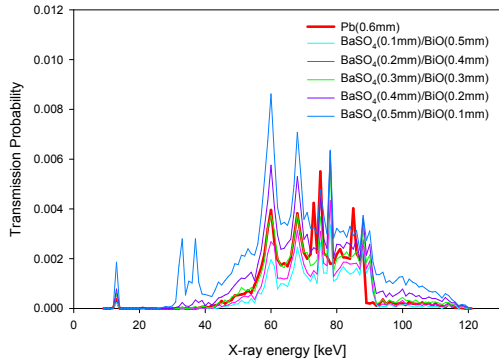


Fig. 3. Transmitted spectrum of various thickness of BaSO₄/BiO double layer structure and Pb(0.6mm) single structure

일반촬영 에너지 영역의 X선 스펙트럼(120 kVp)에 입사시켜 0.6mm 두께의 납 단일층과 다양한 두께 조합의 BaSO₄/BiO 이중층 구조로 된 차폐체를 투과한 투과 스펙트럼 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 0.5mm-BaSO₄/0.1mm-BiO 구조에서 0.1mm 두께의 BiO 층은 상부의 BaSO₄층에서 발생하는 특성 X선을 모두 제거하지 못하여 방출하였고, 납에 비해 차폐효율이 낮을 것을 알 수 있었다. 또한, 0.4mm-BaSO₄/0.2mm-BiO 구조는 저에너지 특성 X선은 제거되지만, 납에 비해 차폐효율이 낮은 것을 알 수 있었다. 한편, 0.3mm-BaSO₄/0.3mm-BiO 와 0.2mm-BaSO₄/0.4mm-BiO 구조는 납과 유사한 차폐효율을 보였으며, 0.1mm-BaSO₄/0.5mm-BiO 구조는 납보다 더 우수한 차폐효과가 있는 것을 알 수 있었다.

2. 이중구조 차폐체의 차폐능

상부층으로 0.1 mm 두께의 BaSO₄ 와 결합된 BiO(0.1mm, 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm, 0.5mm) 의 이중구조 차폐체에 대한 차폐율 결과를 Fig. 4와 같이 나타내었다. 0.1 mm와 0.2 mm 두께에서는 0.6 mm 두께의 납보다 낮은 90 % 이하의 차폐율을 보인 반면, 0.3 mm 두께에서는 거의 유사한 결과를 얻었다. 또한, 0.4 mm와 0.

5 mm 두께에서는 94 % 이상의 높은 차폐효율을 가짐을 알 수 있었다.

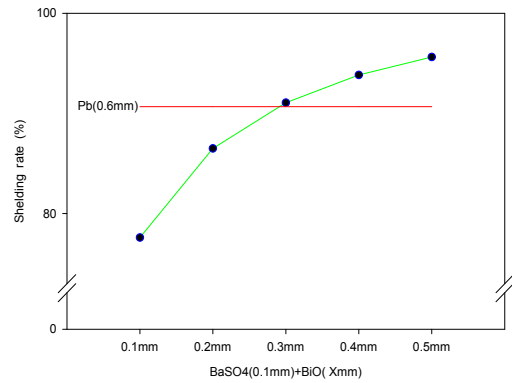


Fig. 4. Shielding rate of various thickness of bottom BiO layer and top BaSO₄(0.1mm) layer structure.

Tab. 1. Shielding rate and relative weighting ratio of Pb single layer and BaSO₄/BiO double layer

Thickness of double layer (mm)	Shielding rate(%)	Relative weighting ratio (%)
Pb (0.6)	90.7	100.0
BaSO ₄ (0.1)/BiO(0.5)	94.6	72.0
BaSO ₄ (0.1)/BiO(0.4)	92.6	65.5
BaSO ₄ (0.1)/BiO(0.3)	90.2	59.0
BaSO ₄ (0.1)/BiO(0.2)	86.5	52.6
BaSO ₄ (0.1)/BiO(0.1)	79.9	46.1

0.6mm 두께의 Pb 단일층과 다양한 두께 조합의 BaSO₄/BiO 이중구조에 대한 차폐능과 상대적인 중량비를 Tab. 1과 같이 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이, 이중구조의 차폐체가 납보다 무게가 낮았으며, 특히 BiO 하부층의 두께가 0.4mm 와 0.5mm에서는 각각 차폐율이 1.9 %, 3.9 % 높은 성능을 보이면서도 상대적 중량 또한 각각 34.5 %, 28 % 경량화가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

IV. CONCLUSION

본 연구에서 일반촬영 에너지(120 kVp) 스펙트럼에 대해 차폐체(Pb, BaSO₄/BiO)의 투과스펙트럼, 차폐효율을 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 비교 분석하여 친환경 이중구조 차폐체의 적용 가능성을 평가하였다. 실

험 결과, BaSO₄ 층의 하부에 BiO 층을 삽입함으로써 고에너지 X선 광자 뿐만 아니라, BaSO₄ 층에서 발생한 33 keV 및 37 keV 특성 X선도 제거되어 차폐효율을 크게 증가시켰으며, 0.1mm-BaSO₄/0.4mm-BiO와 0.1mm-BaSO₄/0.5mm-BiO는 납보다 우수한 차폐능을 가짐과 동시에 상대적으로 납보다 낮은 중량을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 일반촬영용 방호기구로서 BaSO₄/BiO 의 이중구조로 된 차폐체는 종래의 납 차폐체를 대체할 경우 유용하고 시트 형태로 제조가 가능하기 때문에 적용범위도 다양한 것으로 기대된다. 본 연구 결과를 활용하여 향후 핵의학, 치료용 고에너지 감마선 등에 대한 차폐체 구조설계 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되며, 실제 차폐체 제작을 통한 성능 평가 시 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

ields against x-ray photons in diagnostic energy range", J. of Biomed. Phys. Eng. Vol. 1(1). pp. 17-21, 2011.

Acknowledgement

This work was supported by International University of Korea's research fund in 2016.

Reference

- [1] J. S. Song, "Study on optimal process development of radiation protection", Journal of radiation protection and research, Vol. 5, No. 2, pp. 1-11, 1994.
- [2] K. T. Kim, H. J. Kim, J. H. Kim, C. H. Cho, I. H. Choi, J. K. Park, S. S. Kang, "Comparison of shielding rate of tungsten and lead in continuous x-ray energy using monte carlo simulation", Proceedings of the 2011 autumn symposium on the korean society of radiology, Vol. 5, No. 2, pp. 35-39, 2011.
- [3] S. C. Kim, M. W. Park, "Development of radiation shielding sheet with environmentally-friendly materials;II: Evaluation of barium, tourmaline, silicon polymers in the radiation shielding sheet", Journal of radiological science and technology, Vol. 34, No. 2, 2011.
- [4] Katoh Y, Fukushi M, Abe S, et al. "Evaluation of non-lead board as X-ray protective material", Nippon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi., Vol. 20, No. 63, p. 428-435, 2007.
- [5] Aghamiri M. R., Mortazavi S. M. J., et al. "A novel design for production of efficient flexible lead-free shields

친환경 차폐물질을 이용한 이중구조 차폐체의 설계

박지균,¹ 최일홍,¹ 박형후,¹ 양승우,¹ 김교태,² 강상식^{1,*}

¹한국국제대학교 방사선학과

²인제대학교 의용공학과

요 약

최근 납의 대체물질로서 연구되고 있는 바륨(Ba)과 요오드(I) 등은 차폐능은 우수하지만, 30 keV 근처의 에너지 영역에서 특성 X선이 방출되는 문제점이 있다. 본 연구에서는 황산바륨(BaSO₄)과 산화비스무스(BiO)로 구성된 친환경 이중차폐체의 적용가능성을 검증하기 위한 선행연구로 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 투과스펙트럼, 차폐율 등을 평가하였다. 평가결과, 0.6mm 두께의 Pb 단일층과 비교하여 0.1 mm 두께의 BaSO₄ 하부층에 BiO 층의 두께가 0.4 mm 와 0.5 mm에서는 각각 차폐율이 1.9 %, 3.9 % 높은 성능을 보였다. 뿐만 아니라, 상대적인 중량 또한 각각 34.5 %, 28 % 경량화가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

중심단어: 납, 황산바륨, 산화비스무스, 차폐율