

Evaluating the Reduction of Spatial Scattering based on Lead-free Radiation Shielding Sheet using MCNPX Simulation

Seung u Yang,¹ Geum-byeol Park,² Ye Ji Heo,² Ji-Koon Park^{2,*}

¹Department of Radiation Oncology, Collage of medicine, Inje University

²Department of Radiological Science, International University of Korea

Received: February 05, 2020. Revised: February 20, 2020. Accepted: August 31, 2020

ABSTRACT

Most of the spatial scattered dose caused by the scattered rays generated by the collision between the object and X-rays is relatively easily absorbed by the human body as electromagnetic waves in the low energy region, thereby increasing the degree of radiation exposure. Such spatial scattering dose is also used as an indicator of the degree of radiation exposure of radiation workers and patients, and there is a need for a method to reduce exposure by reducing the spatial scattered dose that occurs indirectly. Therefore, in this study, a lead-free radiation shielding sheet was proposed as a way to reduce the spatial scattering dose, and a Monte Carlo (MC) simulation was performed based on a chest X-ray examination. The absorbed dose was calculated and the measured value and the shielding rate were compared and evaluated.

Keywords: lead-free radiation shielding sheet, Monte Carlo (MC) simulation, shielding rate

I . INTRODUCTION

의료영역에서 방사선은 진단 및 치료 등 넓은 분야에서 사용되고 있다. 이러한 방사선의 이용은 과학기술의 발전과 국민들의 건강에 대한 관심이 증가하고 병변의 조기 발견 및 예방을 위한 검진의 수요 증가로 인해 증가하는 추세이다. 방사선 이용의 증가는 방사선 관계 종사자들에게 노출 기회와 그에 따른 방사선의 양을 증가시키고 있어 방사선 피폭 경감 문제가 대두되고 있는 실정이다.^[1-3] 특히 방사선 작업종사자와 보호자에 대한 피폭은 공간산란 선량으로 인한 외부피폭 중 간접적인 피폭으로 인해 주로 발생하게 된다. 물체와 X선의 상호작용으로 발생하는 산란선으로 야기되는 공간 산란 선량은 대부분이 저에너지 영역의 전자기파로 인체에 비교적 쉽게 흡수되어 방사선 피폭 정도가 증가하게 된다. 이러한 공간 산란 선량은 방사선 작업 종사자 및 환자의 방사선 피폭 정도 지표로도 사용되

고 있다.^[4-6] 간접적으로 발생하는 공간 산란 선량을 줄여 피폭을 저감화하는 방안의 필요성이 마련될 필요성이 있다.

또한, 공간 산란 선량으로 방사선 피폭의 저감화하기 위한 방안으로는 방사선 방호 3원칙 시간, 거리, 차폐를 고려하여 최소화해야 하며, 정해진 원내 시설과 규격화된 촬영 방법으로 의도치 않은 방사선 피폭을 받을 시에는 방사선 납 앞치마 등으로 대표되는 방사선 차폐복을 입어야 한다. 이러한 방사선 방호복은 대부분이 중량이 무겁고 인체의 유해한 납을 기반으로 한 제품을 사용하고 있다.

이에 본 연구에서는 공간 산란 선량을 저감화 방안으로 무납 방사선 차폐 시트를 제시하였고, 산란선 발생량을 정량적으로 분석하고자 임상 병원에서 많이 시행하는 검사 중 한 가지인 가슴 X선 촬영검사를 기준으로 몬테카를로 (MC; Monte Carlo) 시뮬레이션을 수행하여 거리의 변화에 따른 갑상샘과 생식선 위치에서 흡수되는 산란선의 흡수 선량을

* Corresponding Author: Ji-Koon Park

E-mail: didtmddn4295@naver.com

Tel: +82-10-7288-4663

Address: 965, Dongbu-ro, Munsan-eup, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea

산출하였고 실측치와 차폐율을 비교 평가하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

본 연구에서는 식품의약품안전처에서 발행한 ‘영상의학 검사에서의 표준 촬영기법’에 제시되어있는 가슴 전·후면 촬영 Chest AP 검사 조건인 89 kVp, 8 mAs를 설정하였다.^[7] 또한 한국 인체 수치 조사에서 제시된 바와 같이 갑상샘의 높이를 바닥으로부터 150.2 cm로 설정하고 생식샘의 높이를 81.2 cm로 설정하여 공간 산란 선량 측정 및 시뮬레이션 수행하였다.^[8]

1. 공간산란선량 측정을 위한 차폐 시트 제작

Fig. 1은 본 연구에서 제작된 무납 방사선 차폐시트 BaSO₄ (1 ~ 4 μm, Alfa Aesar Inc., USA), Bi₂O₃ (10 μm, Sigma-Aldrich Inc., USA) 두 가지 물질을 사용하여 다중 층으로 제작하였다. 제작 방법은 실리콘 기반 바인더에 경화제를 혼합하고 물질과 4:1 중량비로 교반하여 Mask 격자 안에 도포하고 균일 후 40 °C 온도에서 12 시간 동안 오븐 건조 후 최종 차폐 시트를 제작하였다.



Fig. 1. Lead free radiation shielding sheet.

2. 공간 산란 선량 실측 방법

Chest AP 검사 조건을 설정하기 위하여 실제 준비된 ANSI (ANSI; American National Standards Institute) 팬텀에 X선 조사를 진행하였다. ANSI 팬텀은 미국표준협회에서 조직 등가 물질로 사용하기 위해 제작된 팬텀으로 이를 바탕으로 100 cm SID로 설정하여 실험을 진행하였다. 본 실험에 사용된 방사선 발생 장치는 40 - 150 kVp의 X선 관전압 출력 범위를 갖는 UD 150L-30 E (동강의료기(주), Korea) Model이며 측정 장치는 Ionization

chamber(20 X6-60 E) & (20X-6-1800) Probe [Radical]을 사용하였으며 측정 횟수는 각 위치에서 10회 반복 측정하였다. 측정 위치는 Fig. 2와 같이 선원으로부터 50 cm 에서 250 cm 까지 50 cm 간격을 두고 검출기의 위치는 갑상샘과 생식샘 높이에서 차폐체 유무에 따른 공간 산란 선량 값을 흡수선량으로 변환 후 차폐율을 산출하였다. 실험에 사용된 무납 차폐시트는 두께 1.7mm, 무게 1.60g/cm²이며, 비교 측정에 사용된 납 차폐시트는 두께 1.7mm, 무게 2.10g/cm²이다. 납 차폐시트는 상용화된 PbO 재질의 납당량 0.25mmPb 낱 앞치마를 재단하여 사용하였다.

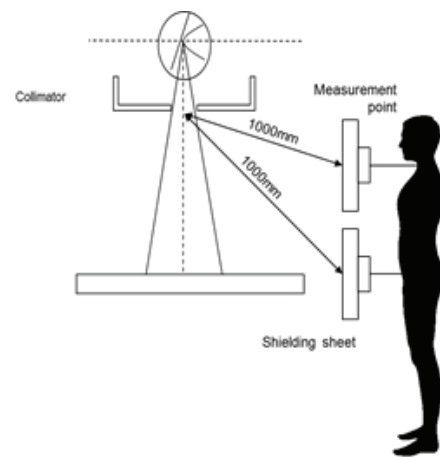


Fig. 2. Schematic diagram of spatial scattered dose measurement.

3. 시뮬레이션 측정 Modeling

3.1 공간 산란 선량 측정을 위한 modeling

방사선 수송 모의 코드인 MCNP (Los Alamos National Laboratory, USA, Ver. X)를 사용하여 Fig. 3과 같은 모델링을 시뮬레이션 상에 구축하였다. 팬텀은 미국표준협회에서 조직 등가 물질을 사용하기 위해 제작된 팬텀을 참고하였으며, 방사선 검출기 간의 거리는 100 cm로 설정하였다.

3.2 ANSI 팬텀

Fig. 4는 ANSI 팬텀의 모식도로 4개의 동일한 아크릴 판(30.5 cm × 30.5 cm × 2.51 cm)과 두께가 다른 알루미늄 2개의 판(1 ea : 30.5 cm × 30.5 cm ×

0.1 cm) 로 이루어져 있으며, 팬텀의 중앙 부분에 30 cm × 30 cm 가슴 조사야를 구현하였다.

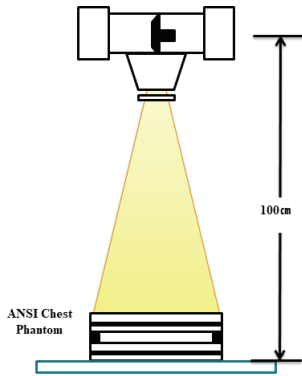


Fig. 3. Schematic diagram of designed of the geometrical model.

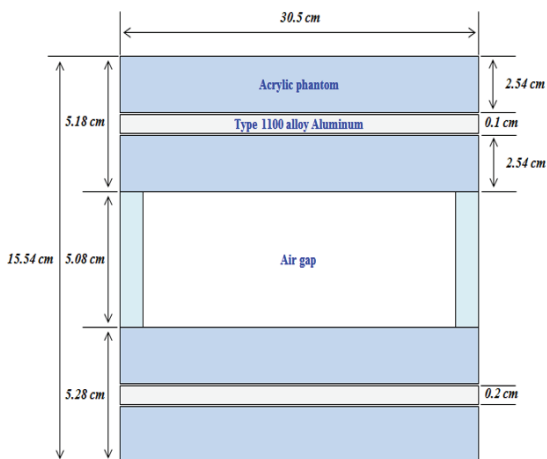


Fig. 4. ANSI chest phantom.

4. 공간 산란 선량 시뮬레이션 측정

Siemens healthcare GmbH에서 제공하는 오픈 소스를 이용하여 텅스텐 타겟, 89 kVp에 대한 연속 엑스선 광자 에너지 분포 데이터를 점 선원으로 사용하였다. 광자의 모의수송을 진행하기 위해 Mode P를 사용하였다. 이후 선원으로부터 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cm에 거리를 두고 검출기를 위치시키고 BaSO₄와 Bi₂O₃ 기반의 다층 방사선 차폐 시트 사용에 따른 공간 산란 선량 값을 산출

하였다. 공간 산란 선량 값을 얻기 위하여 Ionization chamber를 시뮬레이션 상에 구현하였다. 검출기에 조사되고 흡수되는 선량은 Tally specification card의 F6 Tally를 사용하여 질량 당 흡수되는 에너지를 산출하여 결과 값을 얻을 수 있도록 하였다. 1 × 10⁹번의 샘플링을 통해 검출기에 흡수될 확률을 모의 추정하였다.

III. RESULT

1. 공간 산란선량의 시뮬레이션 결과

Fig. 5와 Fig. 6는 납 차폐 시트와 본 연구에서 제작된 BaSO₄와 Bi₂O₃ 기반의 다층 구조의 무납 차폐시트의 차폐율을 시뮬레이션 한 결과이다. BaSO₄와 Bi₂O₃ 기반의 다층 구조의 무납 차폐시트의 차폐율을 분석한 결과 갑상샘은 200 cm에서 100 %, 생식샘은 250 cm에서 100 % 로 분석되었다. 상용화된 납 차폐 시트는 갑상샘에서 200 cm 이상 거리의 차폐율이 100 % 로 분석되었으며 생식샘은 250 cm 거리에서 차폐율이 100 % 로 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 시뮬레이션 결과 50 cm의 짧은 거리에서 차폐율은 본 연구에서 제작된 BaSO₄와 Bi₂O₃ 기반의 다층 구조의 무납 차폐시트의 차폐율이 갑상샘과 생식샘 모두 상용화된 납 차폐 시트에 비해 우수한 특성을 나타내는 것으로 분석되었다

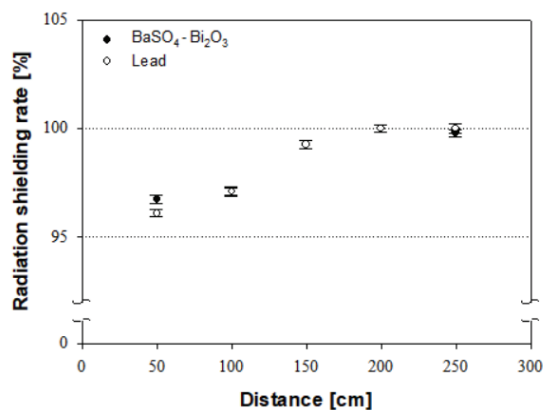


Fig. 5. Space scattered rays of simulation result of the increased distance of the multi-layered lead-free (BaSO₄ and Bi₂O₃) shielding sheet and lead sheets in Thyroid gland.

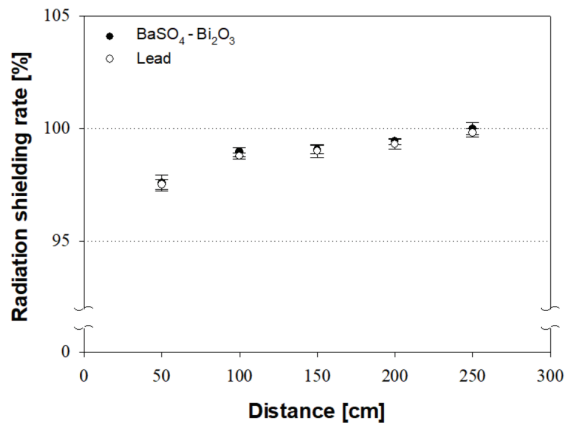


Fig. 6. Space scattered rays of simulation result of the increased distance of the multi-layered lead-free ($BaSO_4$ and Bi_2O_3) shielding sheet and lead sheets in Gonad.

2. 공간 산란 선량의 시뮬레이션 결과와 실측 선량 비교 결과

2.1 갑상샘의 공간 산란 선량 차폐율 비교 결과

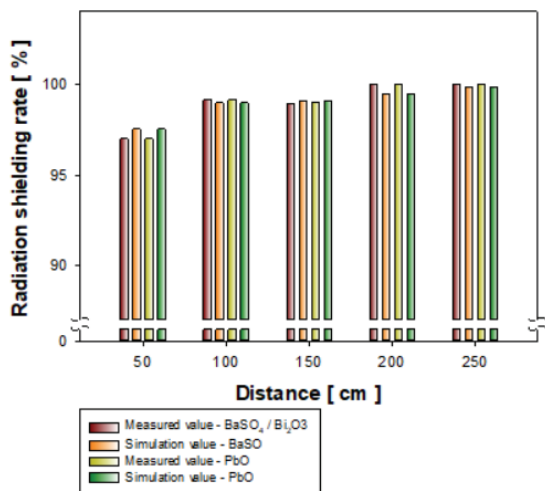


Fig. 7. Space scattered rays result of the increased distance of the multi-layered lead-free ($BaSO_4$ and Bi_2O_3) shielding sheet and lead sheets in Thyroid gland.

Fig. 7은 Fig. 5의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 갑상샘에서 실측 선량과 비교한 결과이다. 먼저 납 차폐체의 경우 50 cm 거리에서 시뮬레이션 결과 96.09 %, 실측 결과 96.21 % 로 0.12 % 공간 산란 선량의 차폐율 차이를 보였으며 이를 제외한 거리 증가에 따른 실측 공간 산란 선량 차폐율이 유사한 특성을 보였다. 본 연구에서 제작된 $BaSO_4$ 와 Bi_2O_3

기반의 다층 구조의 무납 차폐 시트의 경우 50 cm 거리에서 시뮬레이션 결과 96.09 %, 실측 결과 96.32 % 로 0.23 % 공간 산란 선량의 차폐율 차이를 보였으며 100 cm 거리 이상에서는 모두 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 나타내었다.

이러한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 갑상샘에서의 공간 산란 선량 차폐율의 실측치를 상용화된 납 차폐체와 본 연구에서 제작된 무납 차폐시트를 비교한 결과 상용화된 납 차폐체가 50 cm 지점까지 약 0.63 % 우수한 특성을 보였으나 100 cm에서는 무납 차폐 시트가 0.37 % 우수하였고, 150 cm는 상용화된 납 차폐 시트가 0.17 % 우수한 것으로 분석되었다. 본 연구에서 제작된 차폐 시트와 상용화된 납 차폐 시트 모두 200 cm 거리 이상에서는 차폐율이 100 %로 분석되었다.

2.2 생식샘 공간 산란 선량 차폐율 비교 결과

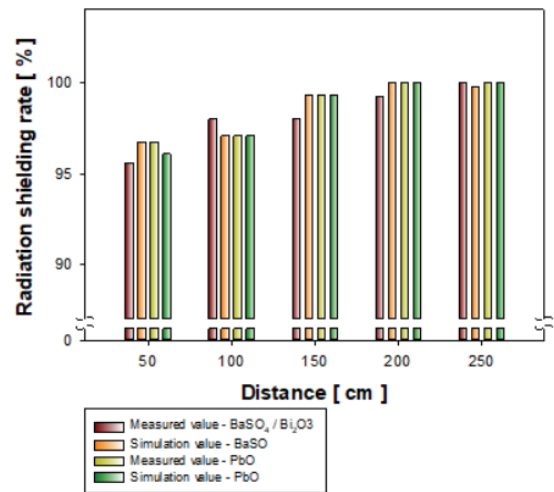


Fig. 8. Space scattered rays result of the increased distance of the multi-layered lead-free ($BaSO_4$ and Bi_2O_3) shielding sheet and lead sheets in Gonad.

Fig. 8은 Fig. 6의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 생식샘에서 실측선량과 비교한 결과이다. 먼저 납 차폐체의 경우 50 cm 거리에서 시뮬레이션 결과 97.52 %, 실측 결과 97.00 % 로 0.52 % 공간 산란 선량의 차폐율 차이를 보였으며 이를 제외한 거리 증가에 따른 실측 공간 산란 선량 차폐율이 유사한 특성을 보였다. 본 연구에서 제작된 $BaSO_4$ 와 Bi_2O_3 기반의 다층 구조의 무납 차폐 시트의 경우 50 cm

거리부터 250 cm 까지 실측 공간 산란 선량 차폐율과 시뮬레이션 결과가 유사한 특성을 나타내었다.

이러한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 생식샘에서의 공간 산란 선량 차폐율의 실측치를 상용화된 납 차폐체와 본 연구에서 제작된 무납 차폐 시트를 비교한 결과 본 연구에서 제작된 차폐 시트가 50 cm 지점에서는 1.04 % 우수한 것으로 분석되었으며 100 cm부터 150 cm까지는 납 차폐 시트가 0.26 %, 0.69 % 우수한 것으로 나타났다. 앞선 갑상샘 결과와 마찬가지로 본 연구에서 제작된 차폐 시트와 상용화된 납 차폐 시트 모두 200 cm 거리 이상에서는 차폐율이 100 %로 분석되었다.

IV. DISCUSSION

본 연구에서는 상용화된 납 차폐체와 본 연구에서 제시한 BaSO₄와 Bi₂O₃ 기반의 다층 구조 무납 방사선 차폐 시트의 시뮬레이션 결과를 비교하여 공간 산란 선량 차폐율을 위한 활용 가능성을 검증하였고 무납 방사선 차폐 시트를 제작하여 실측 평가를 수행하여 공간 산란 선량의 차폐율을 정량적으로 분석하였다. 먼저 상용화된 납 차폐 시트는 갑상샘과 생식샘 모두 50 cm 위치에서 98 % 이상 우수한 차폐 성능을 보였으나 이와 비교하여 본 연구에서 제작된 BaSO₄와 Bi₂O₃ 기반의 다층 구조 무납 방사선 차폐 시트와 실측치를 비교한 결과 갑상샘의 차폐율이 96%로 2 %의 차폐 성능이 저하되는 것을 확인하였다. 이는 타 논문에 게재된 바와 같이 갑상샘의 측정 높이가 150 cm로 X선 튜브와 가까이 위치하고 수직으로 분포된 공간 산란 선량 값이 증가하므로 인해 상용화된 납 차폐체 보다 차폐율이 저하되는 것으로 사료된다.^[9,10] 이러한 결과로 보아 근접 거리의 공간 산란 선량 차폐 성능을 보다 높이기 위해서는 추후 다층 구조 물질 층의 혼합비를 고려하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 공간 산란 선량을 저감하기 위해 상용화된 납 차폐체를 대체할 BaSO₄ / Bi₂O₃ 기반의 다층 구조의 무납 차폐 시트를 제안하였으며 시뮬레이션 결과를 바탕으로 방사선 차폐율을 실측

평가하여 공간 산란 선량 차폐체로서의 가능성을 평가하였다. 평가 결과 인체에서 높은 부위인 갑상샘의 경우 납 차폐체에 비하여 차폐율이 저하되는 특성을 나타냈는데 이는 본 연구에서 제안한 다층 구조의 무납 시트의 혼합비 변화를 통해 개선이 가능할 것으로 기대된다. 이러한 연구 결과로부터 인체에 유해한 물질인 납을 대체하여 무납으로 구성된 BaSO₄ / Bi₂O₃ 차폐 물질이 감수성이 높은 장기에서 95% 이상의 공간 산란 선량을 저감하는데 차폐 성능이 유사한 것으로 분석되었으므로 이는 공간 산란 선량을 저감하기 위한 차폐체로서 유용성을 가지고 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 논문은 2017년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임.(2017R1A2B4009249).

Reference

- [1] Korea Centers for Disease Control and Prevention. Publication of Medical Radiation Occupational Radiation Statistics Statistical Yearbook. 2017 [cited 2017 October 10]; <https://www.cdc.go.kr/CDC/contents/CdcKrContentLink.jsp?fid=21&cid=72953&ctype=1>.
- [2] Health checkup statistics: "distribution of chest radiograph results by chest, Korean Statistical Information service", 2010 ~ 2016.
- [3] J. G. Lee, Principles of Radiation Protection, Korea Association for Radiation Application. Geoseong Publishing Printing, pp. 541-93, 2016.
- [4] S. K., Choi, "Change of the Scattered Dose by Field Size in X-ray Radiography", The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 13, No. 3 pp. 198-203, 2013. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2013.13.03.198>
- [5] S. J. Eun, S. G. Kim, B. W. Min, "The Measurement of Helper's Exposure Dose of nearby Radiographic Table in X-ray Examination", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 5, No. 6, pp. 415-420, 2011. <https://doi.org/10.7742/jksr.2011.5.6.415>

- [6] S. C. Kim, D. Y. Won, C. H. Park, K. R. Dong, "Bone Density Spatial Distribution of Radiation Dose Measurement", *Korean Journal of Digital Imaging in Medicine*, Vol. 13, No. 2, p. 59-62, 2011.
- [7] "Standard imaging technique in radiological examination (general imaging)", Ministry of Food and Drug Safety, 2014, p. 34.
- [8] "Korean human body figure survey", <https://sizekorea.kr>, 2015.
- [9] S. K. Kim, S. H. Son, "The Measurement and Analysis by Free Space Scatter Dose Distribution of Diagnostic Radiology Mobile Examination Area", *Korean Journal of Digital Imaging in Medicine*, Vol. 11, No. 1, pp. 5-13, 2009.
- [10] Y. J. Heo, K. T. Kim, C. H. Cho, S. M. Kang, J. K. Park, S. S. Kang, S. C. Noh, B. J. Jung, "Measurement of Comparison to Scattering Dose Space According to the Presence or Absence of Protective Clothing in the X-ray Room", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 6, No. 4, pp. 313-320, 2012.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2012.6.4.313>

MCNPX 시뮬레이션을 이용한 무납 방사선 차폐 시트 기반의 공간산란 저감화 평가

양승우,¹ 박금별,² 허예지,²박지균^{2,*}

¹인제대학교 의과대학 방사선 종양학과

²한국국제대학교 방사선학과

요 약

물체와 X선의 상호작용으로 발생하는 산란선으로 야기되는 공간 산란선량은 대부분이 저에너지 영역의 전자기파로 인체에 비교적 쉽게 흡수되어 방사선 피폭정도가 증가하게 된다. 이러한 공간 산란 선량은 방사선작업 종사자 및 환자의 방사선 피폭 정도 지표로도 사용되고 있으며 간접적으로 발생하는 공간 산란 선량을 줄여 피폭을 저감화하기 위한 방안의 필요성이 마련될 필요성이 있다. 이에 본 연구에서는 공간산란 선량을 저감화 방안으로 무납 방사선 차폐 시트를 제시하였고 가슴 X선 촬영검사를 기준으로 몬테카를로 (MC; Monte Carlo) 시뮬레이션을 수행하여 거리 변화에 따른 갑상샘과 생식선 위치에서 흡수되는 산란선의 흡수선량을 산출하였고 실측치와 차폐율을 비교 평가하였다.

중심단어: 무납 방사선 차폐 시트, 몬테카를로 시뮬레이션, 차폐율

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	양승우	인제대학교 의과대학 방사선종양학과	대학원생(석사)
(공동저자)	박금별	한국국제대학교 방사선학과	학사과정
	허예지	한국국제대학교 방사선학과	외래교수
(교신저자)	박지균	한국국제대학교 방사선학과	교수