

A Study on Barium Mixed Radiation Shield using 3D Printer

Heon-Hyo Gang, Dong-Hyun Kim*

Department of Radiological Science, Collage of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: August 19, 2020. Revised: October 27, 2020. Accepted: October 31, 2020

ABSTRACT

Instead of lead, we intend to develop shielding materials for morphological implementation by mixing barium sulfate, an eco-friendly substance, and PLA filament, a 3D printer material. The environmental substance, barium sulfate powder and PLA filament, a 3D printer material, were used, and the shielding was made with a 3D printer after being fused into an extruder to mix the powder powder of barium sulfate with PLA. To check the mixing ratio of barium sulfate powder and PLA filament, the mixing input was analyzed, and the absorption dose by thickness according to barium sulfate content was obtained to check the shielding function of the mixed shielding. In the evaluation of the mixture of sulfate barium powder particles and PLA filaments, it was mixed in the most appropriate proportion when the content was 30% in the apparent and electron microscopic observation photographs. In the absorption dose results by thickness according to barium sulfate content, the difference between the content of 0% and the content of each % was greatest at 0.5 cm in thickness and the lowest dose value at 3 cm in thickness when the barium content was 30%. In addition, as the barium content began to increase at 30%, the absorbed dose value increased again. Instead of conventional lead, barium sulfate, an eco-friendly substance, could be mixed with PLA, a filament material, to create morphological shielding. Based on this study, it is expected that the mixing ratio of barium to the mixture is the most appropriate 30%, and will be used as the basis for the implementation of morphological shielding using 3D printers in the diagnosis and treatment section.

Keywords: Barium sulphate, PLA filament, 3D printer, mixed shielding

I . INTRODUCTION

현대 의학에서 주로 사용되고 있는 의료 방사선은 방사선 피폭에 의한 위해보다 환자가 얻을 수 있는 이익이 더 크기 때문에 환자 피폭에 대한 선량한도가 적용되지 않지만, 비록 의료 방사선이더라도 과다 피폭을 받게 되면 여러 가지 장애가 발생할 수 있다. 이에 현재 의료기관에서는 가능한 피폭선량을 최소화하기 위해 환자와 방사선 종사자들의 피폭을 줄이기 위한 노력을 마련하고 있다. 의료 방사선 피폭의 차폐를 위해 일반적으로 납(Pb) 재질의 차폐체로 환자와 방사선 종사자들에게 의료 환경에서 사용되고 있다. 납은 원자번호와 밀도가 높기 때문에 X선을 차단하고 흡수 할 수 있으

며 환자와 방사선 종사자가 방사선 피폭으로부터 보호받기 위해 방사선학 분야에서 널리 사용되어지고 있다.^[1] 방사선 차폐체로 널리 사용되고 있는 납(Pb)은 경제적 측면에서 의료방사선 차폐능과 물질의 가공성이 우수하기에 가장 많이 사용되어지고 있는 이유 중에 하나이다. 그러나 납(Pb)은 본질적으로 독성을 가지고 있으며 인류뿐만 아니라 환경에 부정적인 영향을 미친다. 납에 대한 유해성은 이미 많이 알려져 있으며, 중금속으로 분류되어 관리되고 있어 작업성 노출, 체내흡수 등 다양한 면에서 위험성을 내포하고 있다.^[2] 이러한 이유로 의료용 방사선 차폐가 환자 및 방사선 종사자의 방사선 피폭에 영향을 미쳤다는 사실은 차폐에 대한 많은 연구를 촉발했다.^[3] 이에 납의 중독성과 경량화

* Corresponding Author: Dong-hyun Kim

E-mail: dhkim@cup.ac.kr

Tel:

의 문제를 해결하기 위해 바륨, 텅스텐, 몰리브덴, 안티몬, 흑연 및 비스무트와 같은 다양한 물질로 납을 혼합하여 방사선 방호의 차폐능력을 향상하고 무게를 경량화하기 연구등이 보고되었다.^[4] 그 중 황산바륨은 자연계에 널리 분포하는 물질이며 무색, 무미, 무취로 공기 중에서도 안정하며 녹는점이 1600℃인 안정적인 물질로서 병원에서는 조영제 즉 차폐체로서 소화 장기의 검사 시 이용되는 내복제로 사용되고 있다. 이러한 황산바륨은 우수한 가공성과 경제성을 지니고 있으며 친환경물질이며 차폐물질로 대두되고 있다. 현재 임상에서 사용되어지고 있는 황산바륨은 분말가루로 황산바륨이 단일 차폐체로써 사용 시 형태학적인 제한점이 발생한다. 이러한 제한점을 극복하기 위해 최근 4차 혁명의 대표인 3D 프린트를 도입하여 형태학적 구조적 문제점을 해결 할 수 있다. 이에 본 연구는 기존의 차폐물질인 납을 대신해 친환경 물질인 황산바륨과 형태학적 구조의 문제를 해결하기 위한 3D 프린터의 필라멘트 재료를 압축기로 융합하여 차폐체로서 차폐효과를 알아보고자 필라멘트 재료 중 일반적으로 가장 많이 사용되는 친환경 물질인 PLA(Poly-Lactic-Acid) 필라멘트를 사용하였으며 황산 바륨과 PLA의 혼합입도를 평가하고 융합된 바륨 화합물의 차폐효율을 알아보고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험재료

Fig.1와 같이 FDM 방식의 3D 프린터에서 사용되는 필라멘트 소재인 펠렛 형태의 PLA와 파우더 형태인 황산바륨을 사용하였다.



Fig. 1. Materials for fabrication of mixed radiation shield. (a) PLA pellets, (b) barium sulphate

2. 실험장비

2.1 압출기/3D printer

프린터용 소재인 PLA와 황산바륨의 혼합을 위해 Fig. 2.와 같이 돌담테크사의 필라멘트 Extruder를 사용하였으며, 압출기로 출력된 혼합물의 필라멘트의 형태학적 차폐체를 만들기 위해 3D printer인 Machine Parameters를 사용하였다.

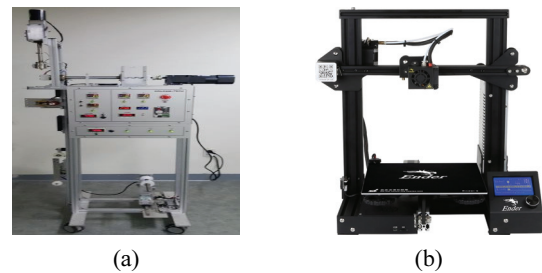


Fig. 2. Devices for fabrication of mixed radiation shield. (a) Filament Extruder (b) 3D Printer (Machine Parameters).

2.2 측정 장비

혼합차폐체의 차폐능을 평가하기 위해 일반영상 촬영 장비인 SIEMENS AXIOM Aristos MX 장비와 혼합된 차폐체의 흡수 선량을 평가하기 위하여 흡수선량계를 사용하였으며 선량 측정 시 주변의 산란선을 제거하기 위해 Fig. 3과 같이 폐기된 납 Apron을 활용하여 납박스를 자체 제작 후 선량을 측정하였다. 자세한 모형은 Fig. 3와 같다.

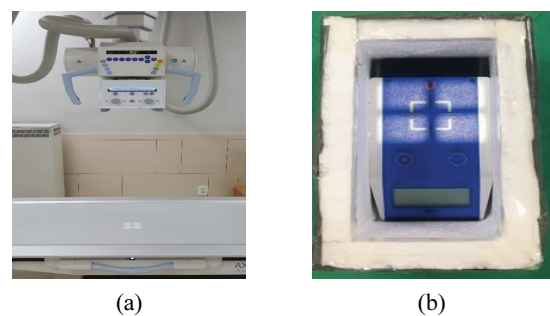


Fig. 3. X-ray tube and radiation dosimeter. (a) SIEMENS AXIOM Aristos MX (b) TEST-O-METER

3. 실험방법

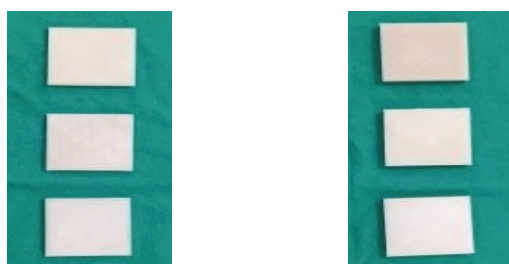
3.1 필라멘트(PLA)/황산바륨 혼합차폐체 제작

1) 차폐체 설계제작단계

PLA/황산바륨 단일차폐체를 만들기 위해 3D 프린터로 출력하기 전단계로 설계프로그램인 Cura 소프트웨어를 이용하여 설계하였다. 차폐체의 크기는 가로×세로×두께를 6×6×0.5cm와 6×6×1cm 두가지의 종류를 제작하였으며, PLA/황산바륨 비율을 10%, 20%, 30%로 하며 혼합 비율당 두께는 10%(0.5cm:2개, 1cm:2개), 20%(0.5cm:2개, 1cm:2개), 30%(0.5cm:2개, 1cm:2개) 총12개를 제작하였다.

2) 압출/공정 단계

PLA와 황산바륨의 비율로 조합하여 10%, 20%, 30%, 각각 나누어 압출기인 필라멘트 extruder를 이용하여 혼합된 필라멘트 압출하고 압출된 필라멘트는 3D프린터인 Machine parameters를 이용하여 Fig. 4와 같이 10%, 20%, 30% 으로 각각 함유된 두께 0.5cm, 1cm 사이즈의 혼합된 차폐체 총 12개 제작하였다. 모형은 Fig. 4와 같다.



(a) 6cm×6cm×0.5cm (b) 6cm×6cm×1cm

Fig. 4. Barium mixture shield.

2) 필라멘트(PLA)/황산바륨 혼합입도 테스트

PLA와 황산바륨을 계량하여 레오코더에 투입하여 약 10분간 혼합해 도출 후 바로 물을 이용하여 시트 형태를 내렸다. 이후 조성물의 외관 및 황산바륨의 분산정도를 확인하였으며 혼합조성비는 혼합물에 대한 황산바륨의 비율로 50%, 40%, 30%로 하기 위하여 PLA와 황산바륨을 100:100, 60:40, 70:30비율로 혼합하였다. 이후 전자현미경으로 혼합입도를 테스트를 하였다.

3.2 혼합 차폐체의 차폐능 평가

제작된 혼합물 차폐체의 차폐능을 측정하기 위해 일반영상 촬영장비인 SIEMENS AXIOM Aristos

MX장비를 사용하였으며 조건은 50 kVp, 2 mAs로 조사하였다. Fig. 5와 같이 각 %당 함유된 비율로 이루어진 혼합차폐체의 두께 0.5cm, 1cm 크기의 차폐체를 조합하여 0.5cm, 1cm, 1.5cm, 2cm, 2.5cm, 3cm의 두께로 만들고, 각 %당 두께별로 총 5회 조사한 후 평균을 내어 흡수선량을 측정하였다. 조사야는 6cm*6cm의 크기의 혼합차폐체와 동일하게 맞추었으며 주변의 산란선을 최소화하기 위해 납박스안에 흡수 선량계를 넣고 조사 측정하였다.

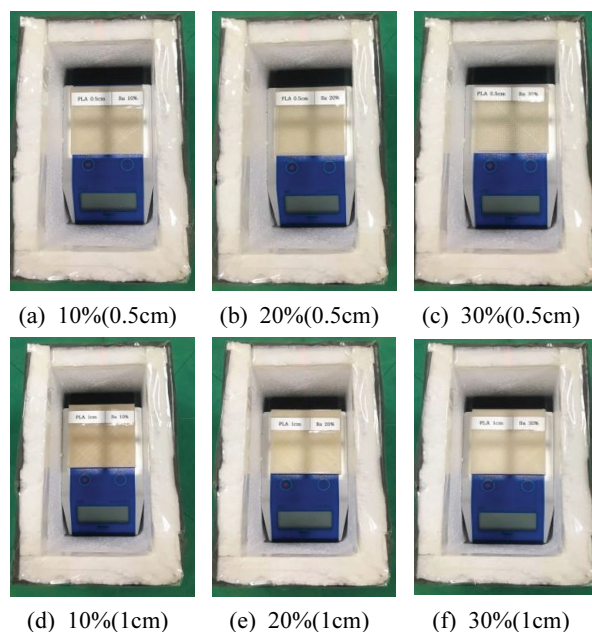


Fig. 5. Barium mixed shield with 0.5cm and 1cm per each %.

III. RESULT

1. PLA + BaSO₄ 혼합입도 결과

1.1 PLA + BaSO₄(0%)

황산바륨의 혼합 입도 외관상과 조성비를 확인하기 위해 먼저 PLA 자체의 입자구조를 확인하기로 하였다. 입자구조를 확인하기 위해 전자 현미경의 한 종류로 집중적으로 전자 빔을 주사하여 표본의 입자 구조상을 얻을 수 있는 주사전자현미경(SEM:Scanning Electron Microscope)을 사용하여 관찰하였다. Fig. 6과 같이 필라멘트의 형태의 조성물을 절단하여 각배율(SEM×50배, SEM×100배, SEM×250)배로 내부의 입자 구조를 관찰하였다.

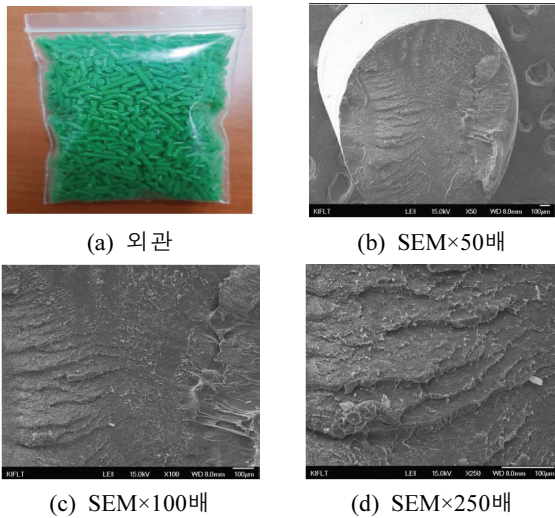


Fig. 6. PLA Scanning Electron Microscope Magnification Photo.

1.2 PLA + BaSO₄(30%)

30%의 황산바륨이 포함된 조성물의 외관과 바륨의 분산정도를 확인한결과 Fig. 7와 같이 외관상으로 PLA와 황산바륨의 입자들이 전체적으로 고르게 분포를 하였으며 주사전자현미경(SEM)의 각 배율에 나와 있는 황산바륨의 입자는 기존의 자체 PLA 현미경사진과 비교해 볼 때 PLA의 조성물에 황산바륨 입자들이 전체적으로 고르게 분포되어 있는 것을 볼 수 있다.

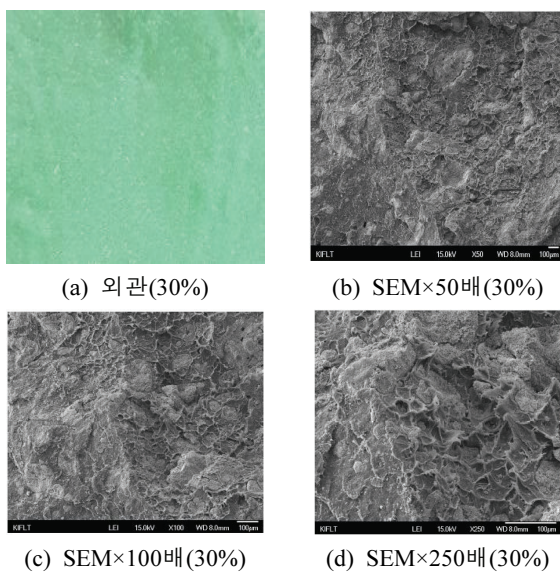


Fig. 7. 30% mixed particle size barium scanning microscope magnification photo.

1.3 PLA + BaSO₄(40%)

황산바륨의 비율을 40%의 중량비율로 혼합 시 Fig. 8과 같이 외관상 황산바륨의 입자가 고르게 분포되어 있지 않고 주사전자현미경(SEM)으로 관찰 시 황산바륨의 입자가 한 곳으로 집중된 양상이 관찰되며 띠 모양으로 입자가 모여 있는 것을 관찰할 수 있다.

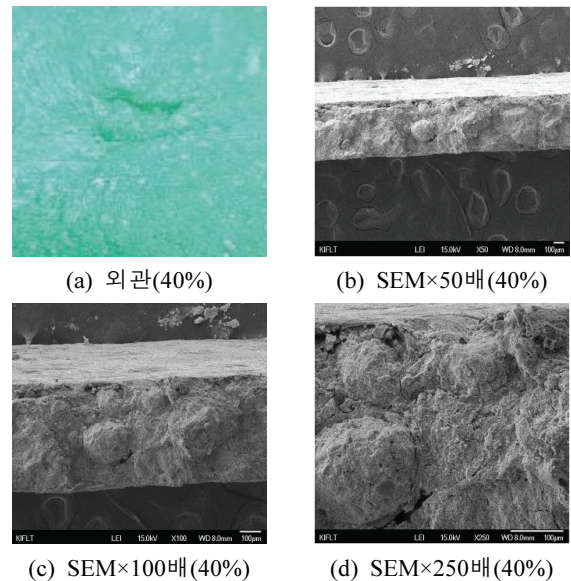


Fig. 8. 40% mixed particle size barium scanning microscope magnification photo.

1.4 PLA + BaSO₄(50%)

PLA와 황산바륨을 1:1 중량비율로 혼합 시 Fig. 9와 같이 황산바륨의 입자는 PLA 필라멘트에 혼합이 잘되지 않으며 입자는 뭉쳐서 고르게 분포되지 못하고 있다. 이러한 분포로 인하여 혼합 후 압출기로 출력 시 필라멘트에 황산바륨의 입자가 그대로 묻어나와 3D프린터로 출력하기에 부적절하다. 따라서 PLA 필라멘트와 황산바륨의 혼합 입도 테스트 결과 황산바륨의 중량비율을 30% 이하로 했을 때 혼합시 전체적으로 PLA 필라멘트에 황산바륨의 입자가 고르게 분포되었다

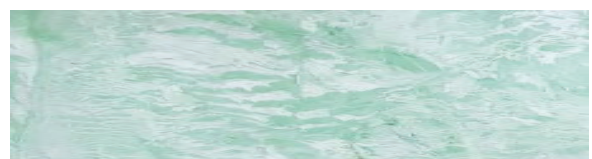


Fig. 9. 50% mixed granularity Barium mixture composition Exterior photograph.

2. 선량평가

2.1 황산바륨 각 함유량에 따른 흡수선량 평가

황산바륨을 함유하지 않은 차폐체와 10%에서 50%까지의 황산바륨을 함유한 차폐체의 결과값을 살펴보면 10%인 차폐체일 경우 바륨을 함유하지 않은 차폐체보다 각 두께별로 흡수선량값이 전체적으로 낮은 선량값을 가지는 결과를 나타냈으며 0.5cm 두께에서 흡수선량에 대한 차이가 가장 크게 나타났다. 함유량이 20%인 차폐체의 경우 바륨을 함유하지 않은 차폐체보다 각 두께별로 선량값이 전체적으로 낮은 선량값을 나타냈으며 0.5cm 두께에서 흡수선량의 차이가 가장 크게 나타났다. 함유량이 30%인 차폐체의 경우 각 두께별로 흡수선량의 값이 전체적으로 낮은 선량값을 가지며 3cm에서 가장 낮은 흡수선량값을 가지며 0.5cm 두께에서 흡수선량의 차이가 크게 나타났다. 함유량이 40%인 차폐체의 경우 전체적으로 낮은 선량값을 가지나 40%일 경우 함유량이 30%일 때 보다 두께별 흡수선량값이 전체적으로 높은 결과값을 나타냈으며, 바륨 함유량이 40%일 때 보다 높은 흡수선량 값을 나타내었다. 0.5cm의 두께에서 흡수선량의 차이가 가장 크게 나타났다. 마지막으로 함유량이 50%인 차폐체의 경우 각 두께별로 흡수선량값이 전체적으로 낮은 선량값을 가지나 바륨 함유량이 40%와 마찬가지로 바륨 함유량이 30%일 때 보다 두께별 흡수선량 값이 전체적으로 높은 결과값을 나타내었으며, 바륨 함유량이 40%일 때 보다 높은 흡수선량 값을 나타내었다. 0.5cm의 두께에서 흡수선량의 차이가 가장 크게 나타났다.

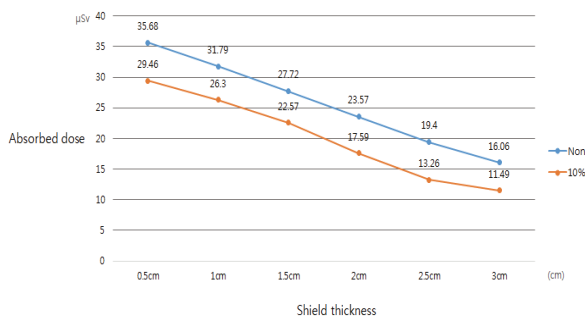


Fig. 10. Thickness of each shield according to mixed grain size 10%.

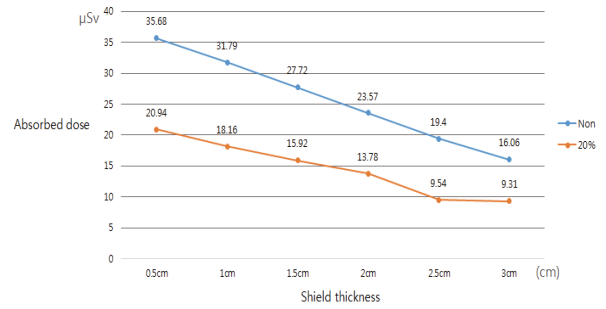


Fig. 11. Thickness of each shield according to mixed grain size 20%.

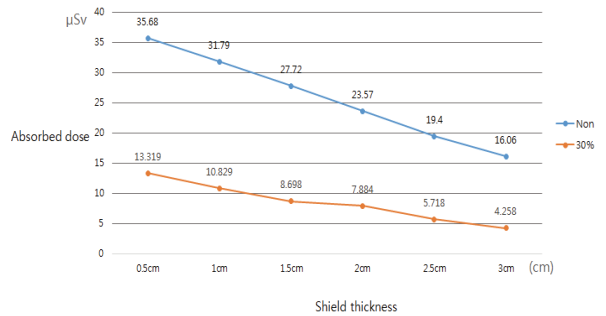


Fig. 12. Thickness of each shield according to mixed grain size 30%.

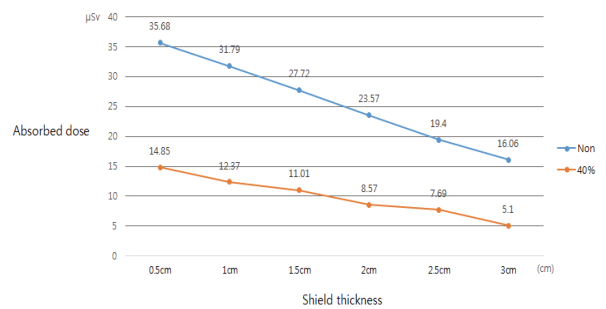


Fig. 13. Thickness of each shield according to mixed grain size 40%.

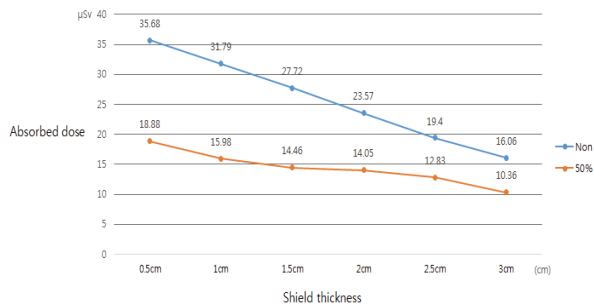


Fig. 14. Thickness of each shield according to mixed grain size 50%.

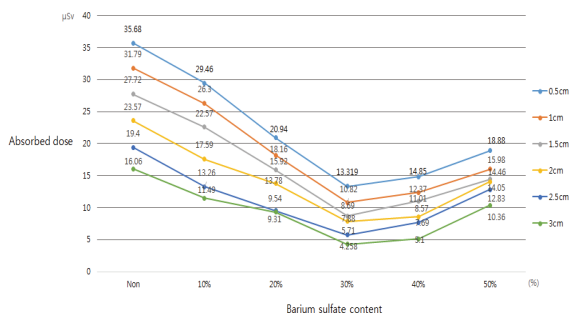


Fig. 15. Absorbed dose value by thickness according to barium sulfate content.

IV. DISCUSSION

현재 의료분야에서는 사용되고 있는 방사선 차폐물질은 납(Pb)기반의 차폐체가 대부분이다. 이러한 납은 차폐체로서 무겁고 본질적으로 독성을 가지고 있으며, 중금속으로 인한 유해성은 이미 많이 알려져 있다. 결국 인체에 해로운 납 중독 및 경량화 한계 등의 문제를 해결하기 위해 친환경 대체물질을 개발하고자 많은 연구가 이뤄지고 있다.^[5] 텅스텐, 비스무트 및 황산바륨은 입증된 차폐물질로서 X선 보호를 위해 다양한 분야에서 사용된다.^[6-8] 그 중 친환경물질인 황산바륨은 납만큼 우수한 가공성과 경제성을 지니고 있으며, 관련 연구 분야에서도 가장 많이 사용되는 차폐물질로 제시되고 있다.^[9,10] 또한 황산바륨은 방사능 보호에 널리 사용되는 환경 친화적인 차폐 재료이다.^[11] 선행연구에 따르면 납으로 된 앞치마(Apron)을 대신해 황산바륨을 이용해 방사선 차폐시트로 제작 시 제작 시트의 유연성을 확보하기 위해 토르말린을 실리콘 폴

리머에 첨가하여 차폐율과 시트의 가공성을 높일 수 있다고 보고되며, 또한 시멘트와 바륨을 혼합하여 X선 흡수율을 높여 차폐하는 방법도 제시하였다. 이에 본 연구에서는 최근 3D 프린터를 기반으로 납 대체 차폐체로서의 효과를 분석하고자 PLA와 황산바륨을 이용하여 새로운 차폐체를 제작하고 차폐능을 평가하고자 하였다. 3D 프린터의 소재 중 친환경 수지인 PLA(Poly lactic acid)를 이용하여 황산바륨과 혼합 입도를 평가하고 혼합된 차폐체의 두께에 따른 흡수선량 평가를 통해 차폐능을 분석하였다. 그 결과 황산바륨의 함유량에 따른 두께별 흡수선량결과 바륨을 함유하지 않은 자체 PLA 차폐체와 각 %별로 황산바륨을 함유한 차폐체 비교 시 각 두께별로 두께가 증가함 따라 전체적으로 흡수선량값이 낮아지는 결과값을 나타내었다. 특히 함유량에 따른 각 두께중 0.5 cm 두께에서 흡수선량 차이가 가장 크게 나타났다. 또한 황산바륨 함유량이 30%일 때 3cm 두께에서 4.258µSv로 가장 낮은 흡수선량값을 나타내었다. 본 연구에서 황산바륨 함유량에 따라 흡수선량 평가 시 황산바륨 함유량이 증가할수록 흡수선량값이 낮아질 거라 예상했지만, 바륨 함유량이 30%를 기점으로 함유량이 40~50%로 증가 시 흡수 선량값이 높아지는 결과를 나타내었다. 이는 혼합 입도 테스트 결과와 종합해볼 때 함유량이 30%일 경우 황산바륨 입자들의 입자분포가 40%와 50%에 비해 단일면적당 분산 정도에서 가장 고르게 분포되어지는 점과 일맥상통한 결과이다.

V. CONCLUSION

기존의 납 차폐체를 대신해 친환경 물질인 황산바륨으로 형태학적인 차폐체를 만들 수 있으며, 필라멘트인 PLA와 황산바륨을 혼합하여 차폐체를 만들 시 혼합물의 대한 바륨의 비율은 30%가 가장 적절하다고 판단된다.

Reference

- [1] Maghrabi, Huda Ahmed, Vijayan Arun, Deb, Pradip, Wang, Lijing, "Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings" Fibers and Polymers, Vol. 17, pp. 2047-2054, 2016.

- [2] Kim, Ki-Jeong, Sim, Jae-Gu, "A Study on the Shielding Element Using Monte Carlo Simulation". Journal of radiological science and technology, Vol.40, no.2, pp. 269 - 274, 2017.
- [3] Yoo, Se-Jong, Lim, Chang-seon, Sim, Kyu-ran. "A study on performance evaluation of Apron by shielding rate and uniformity". Journal of the Korea safety management & science Vol.17 no.1, pp.103-109, 2015.
- [4] Kim, Seon-Chil, Kyung-Rae Dong, and Woon-Kwan Chung. "Performance evaluation of a medical radiation shielding sheet with barium as an environment-friendly material." Journal of the Korean Physical Society, Vol. 60, pp.165-170, 2012.
- [5] Kim, K. T., et al. "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.
- [6] Sastri, Vinny R. "Polymer additives used to enhance material properties for medical device applications." Plastics in medical devices. pp. 55-72, 2014.
- [7] El-Sarraf, M. A., and A. El-Sayed Abdo. "Insulating epoxy/barite and polyester/barite composites for radiation attenuation." Applied Radiation and Isotopes 79 pp. 18-24. 2013.
- [8] Seon-Chil, Kyung-Rae Dong, and Woon-Kwan Chung. "Medical radiation shielding effect by composition of barium compounds." Annals of Nuclear Energy. Vol. 47, pp. 1-5, 2012.
- [9] Kim, Y.K., Jang, Y.I., Kim, J.M., "The weight of the apron for radiation protection and shielding performance improvement". Journal of Radiol. Sci. Tech. Vol. 26, pp. 45-51, 2003.
- [10] Kim, Seon-Chil, Park, Meong hwan. "Development of Radiation Shield with Environmentally-Friendly Materials ; I : Comparison and Evaluation of Fiber, Rubber, Silicon in the Radiation Shielding Sheet" Journal of radiological science and technology. Vol .33 no.2, pp.121-126, 2010.
- [11] Kim, Seon-Chil, Kyung-Rae Dong, and Woon-Kwan Chung. "Medical radiation shielding effect by composition of barium compounds." Annals of Nuclear Energy. Vol. 47, pp. 1-5, 2012.

3D 프린터를 이용한 바륨혼합형 차폐체에 대한 연구

강현효, 김동현*

부산가톨릭대학교 방사선학과

요 약

본 연구는 기존의 납을 대신해 친환경 물질인 황산바륨과 3D 프린터 소재인 PLA 필라멘트를 혼합하여 형태학적 구현을 위한 차폐체를 개발하고자 하였다. 환경 물질인 황산바륨 분말 가루와 3D프린터 소재인 PLA 필라멘트를 사용하였으며, 황산바륨 분말 가루와 PLA를 혼합하기 위하여 압출기로 용합 후 3D 프린터로 차폐체를 제작하였다. 황산바륨 파우더 분말 가루와 PLA 필라멘트 혼합비율을 확인하기 위해 혼합 입도를 분석하였으며, 혼합된 차폐체의 차폐능을 확인하기 위해 황산바륨 함유량에 따른 두께별 흡수선량을 구하여 선량을 평가한 후 차폐능을 분석했다. 황산바륨 분말 입자와 PLA 필라멘트 혼합 입도 평가 시 외관상과 주사전자현미경 관찰사진에서 함유량이 30%일 때 가장 적정비율로 혼합된 것을 확인하였다. 황산바륨 함유량에 따른 두께별 흡수선량 결과에서 함유량이 0%일 때와 각 % 별 함유량을 비교했을 때 두께 0.5 cm에서 흡수선량의 차이가 가장 크게 나타났으며, 바륨함유량이 30%일 때 두께 3 cm에서 가장 낮은 선량값을 나타냈다. 또한 바륨함유량이 30%를 기점으로 함유량이 증가할수록 흡수 선량값은 다시 높아지는 결과가 나타났다. 기존의 납 대신 친환경 물질인 황산바륨을 필라멘트 소재인 PLA와 혼합하여 형태학적인 차폐체를 만들 수 있었다. 혼합물에 대한 바륨의 혼합비율은 30%가 가장 적절하며, 본 연구를 토대로 진단 방사선 분야 내 3D 프린터를 이용한 형태학적 차폐체 구현을 위한 기초 자료로 사용될 것으로 기대한다.

중심단어: 황산바륨, PLA 필라멘터, 3D 프린터, 혼합차폐체

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	강현효	부산가톨릭대학교 방사선학과	대학원생
(교신저자)	김동현	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수