

# A Study on the Shielding of Orbit by 3D Printed Filament in Brain CT

Woo Jeon Choi<sup>1</sup>, Dong Hyun Kim<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Science, Busan BON Hospital

<sup>2</sup>Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: March 14, 2021. Revised: April 21, 2021. Accepted: April 30, 2021.

## ABSTRACT

The CT can accurately present the anatomical structure of an organ in the human body, and the resolution of the image is excellent. On Brain CT examination, the radiation sensitivity of the orbit is high and it is subject to many exposure effects. To reduce exposure dose of lens, this study compares change of exposure dose and shielding rate about non-shielding and shielding in a way of using two shielding materials, bismuth and tungsten. In this study, we used bismuth and tungsten filament as shielding materials made by 3D printing to measure the exposure dose according to the materials thickness and each of slices. To compare each shielding rate, 1 mm to 5 mm of two materials was measured with the head phantom fixed and the Magicmax universal dosimeter placed on the eye when the shielding material is not placed, and the shielding material is placed on it. In the 1 mm thick filament, the bismuth filament showed 26.8% and the tungsten filament showed 43.1% shielding rate. Therefore, tungsten presents much greater shielding effect than bismuth.

Keywords: Bismuth Filament, Tungsten Filament, 3D printing, Brain CT

## I. INTRODUCTION

컴퓨터단층영상장치(Computed Tomography, CT)는 영상의학 분야에서 급격한 기술적 발전을 하고 있는 진단 장비로 최근 임상적 사용빈도가 급격하게 증가하고 있다<sup>[1]</sup>. CT는 X선을 사용하여 환자를 검사하고 이를 통해 획득한 raw data를 컴퓨터로 재구성하여 영상화 하기 때문에 인체 장기에 대한 분해능이 우수한 영상을 획득할 수 있다. 따라서 방사선 피폭이 많음에도 불구하고 영상진단 분야에 널리 이용되고 있다<sup>[2]</sup>.

이에 따라 해마다 CT 장비의 도입과 검사의 건수도 지속적으로 증가하는 추세이다. 건강보험심사평가원에서 분석한 CT 검사 환자 수 추이 통계 자료에 의하면 Brain CT 검사 횟수는 2010년 2,192,238건, 2012년 4,118,434건, 2014년 4,501,050건, 2016년 5,139,149건으로 2010년에 비해 2016년

에 2.35배 증가한 것을 알 수 있다<sup>[3]</sup>.

Brain CT를 이용한 검사의 경우 수정체와 갑상선은 피폭선량위험성이 다른 부위에 비해 민감하다. 수정체는 방사선 감수성이 높은 조직으로 국제방사선방호위원회(ICRP) 권고 역치 선량은 0.5 ~ 2 Gy로 보고하고 있다<sup>[4]</sup>. 수정체 피폭을 방지하기 위하여 임상에서는 비스무스(Bismuth) 및 납고글 차폐체등을 사용하고 있다. 하지만 이런 차폐체들은 무겁고 깨지기 쉬우며 고가라는 단점이 있어 실제 임상에서는 Brain CT 검사에 크게 사용하지 않는다<sup>[5]</sup>. 이러한 제한점들을 극복하기 위해 3D 프린팅 적층기술을 적용시키면 비용이 절감되고 구조적으로 안정된 출력물을 얻을 수 있다. 3D 프린팅은 재료들을 한 층씩 적층하여 형상을 제작하는 원리이며 3차원 구조로 설계 및 제작이 가능하다. 특히 의료분야에서 3D 프린팅 기술을 접목하여 의료 현장 작업흐름을 개선하는 연구가 활발하게 진행되고

\* Corresponding Author: Dong Hyun Kim E-mail: dhkim@cup.ac.kr  
Address: Catholic Univ. of Pusan, Bugok 3-dong, Geumjeong-gu, Busan, Korea

Tel: +82-51-510-0584

있다<sup>[6]</sup>.

따라서 본 연구에서는 3D 프린팅을 통한 비스무스(Bismuth), 텅스텐(Tungsten)이 포함된 필라멘트로 제작된 출력물의 차폐 전,후 선량 및 화질에 대한 비교분석을 통하여 차폐체로서 유용성을 평가하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 실험 재료

#### 1.1 전산화단층촬영장치

Siemens SOMATOM Perspective MDCT 128 Slice 장치를 활용하였다. CT 장치는 64개의 검출기로 구성되어 최대 관전압은 130 kVp, 최대 관전류는 200 mA 성능을 가지고 있다.

#### 1.2 인체 두부 팬텀

Head Phantom(Model SHO-1059, Radiation Management Services, Fluke Biomedical, USA)를 사용하였다.

#### 1.3 선량측정장비

평가에 사용한 선량 측정 장비는 IBA사의 MagicMax (magicmax universal XR multidetector, IBA Dosimetry GmbH, Germany) 선량계를 사용하여 피폭 선량을 측정하였다. MagicMax universal 선량계는 컴퓨터와 연결하여 소프트웨어를 활용한 선량(dose), 선량률(dose rate), 관전류(mA), 관전압(kVp), 조사시간(exposure time), 반가층(half layer thickness: HVL) 등을 측정할 수 있는 멀티미터이다. 특히, 측정의 장점으로 측정된 모든 데이터가 시간별로 누적되어 저장되며 엑셀로 연동하여 관리할 수 있다. 선량계 구성은 Basic unit로 PC에 검출기의 신호를 전송하는 기본 본체 기능을 하며, XR Multidetector는 Silicon Photodiode (PN) 센서를 사용하며 40 ~ 160 kV 까지 측정이 가능하고 정확도는  $\pm 2\%$  이다.

#### 1.4 차폐물질

3D 프린터를 활용한 비스무스(Bismuth), 텅스텐(Tungsten) 필라멘트 성분으로 제작한 차폐 물질을 사용하였다<sup>[8]</sup>. Tuner Tech사의 비스무스(Bismuth) 필라멘트, 텅스텐(Tungsten) 필라멘트의 분말 형태를 ABS라는 플라스틱 재질을 섞어 Printing을 한다. 비스무스+ABS의 밀도는 2.7 g/cc, 텅스텐+ABS의 밀도는 4.0 g/cc 이다.



Fig. 1. Siemens SOMATOM Perspective MDCT 128 Slice.



Fig. 2. Head Phantom.

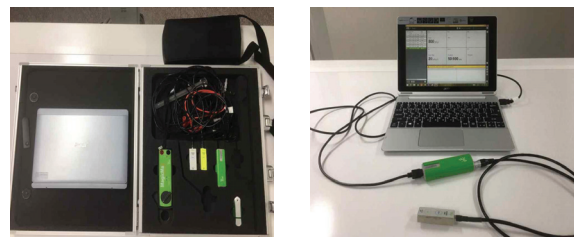


Fig. 3. IBA MagicMax Dosimeter.

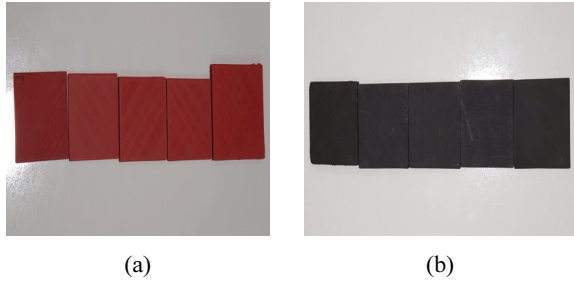


Fig. 4. (A) Shielding material of Bismuth Filament  
(B) Shielding material of Tungsten Filament.

## 2. 실험 방법

### 2.1 차폐 능력 평가

Siemens SOMATOM Perspective MDCT 128 Slice 장비를 이용하여 단층(topogram) 영상을 획득하고 스캔 범위를 동일하게 설정하여 차폐물질에 따른 수정체의 피폭선량을 비교하기 위해 고식적(conventional)방법으로 실험을 진행하였다. Brain CT 검사 시 스캔 기준선은 눈확아래귀구멍선(Infra OrbitMeatal Line : IOML)을 기준으로 스캔하고 촬영 조건은 관전압 130 kVp, 관전류량 200 mAs, FOV(Field Of View) 230 mm, 2.0 sec 동안 조사하였다. 수정체에 피폭되는 선량을 측정하기 위하여 인체팬텀을 고정시켜 놓고 안구에 Magicmax universal 선량계를 위치시키고 차폐 물질을 놓지 않았을 경우와 그 위에 차폐 물질을 놓았을 경우를 비교하여 측정하였다. 차폐 물질은 3D 프린터로 제작한 비스무스(Bismuth) 필라멘트, 텅스텐(Tungsten) 필라멘트를 사용하였고 차폐율을 비교하기 위해 두 물질을 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm 두께로 각각 측정하였다.



Fig. 5. 7 Slice of FOV.

위의 Fig. 5, 6와 같이 FOV를 7개의 슬라이스로 나누어 기저부(slice 1)에서 첨부(slice 7)까지 위치에 따라서 각 슬라이스마다 수정체에 어느 정도의 피폭선량이 측정되는지 수치로 확인하기 위해 실험하였으며 측정값의 신뢰도를 높이기 위해 검사별 총 3회씩 측정하여 평균값을 도출하였다.

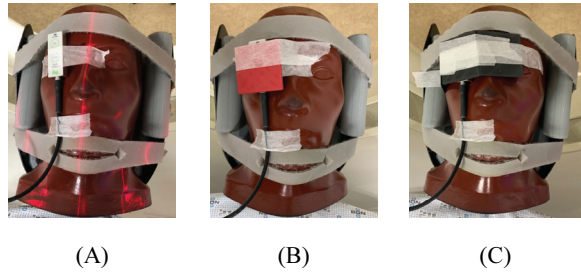


Fig. 6. (A) Non-shielding on Orbit  
(B) Shielding of Bismuth Filament on Orbit  
(C) Shielding of Tungsten Filament on Orbit

### 2.2 영상 아티팩트 평가

안구에 차폐물질을 올렸을 때 아티팩트가 발생되는지 확인하기 위해 실험을 진행하였다. 위와 동일한 조건으로 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm 두께의 비스무스 필라멘트와 텅스텐 필라멘트 차폐물질을 올려 아티팩트가 발생되는지 확인하였다.

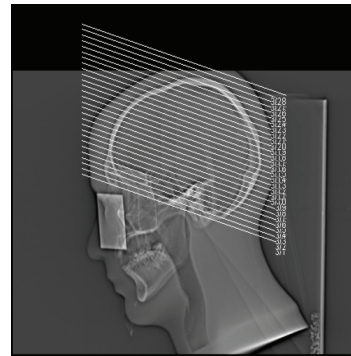


Fig. 7. Brain CT Topogram.

## III. RESULT

### 1. 차폐능력평가 결과

두부 CT 스캔 시 두경부의 피폭선량을 측정하기 위해 단층(topogram) 영상을 획득하고 스캔 범위(FOV)를 동일하게 설정한 다음 스캔범위(FOV)에서

7개의 슬라이스를 나누어 고식적 (conventional) 방법을 이용하였다. 차폐물질은 두께를 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm 변화시키며 각 차폐물질 당 두부 검사 시 수정체 피폭선량을 측정하여 결과 값을 획득하였고 표에 E-02는  $10^{-2}$ 을 의미한다. Table 1은 두부 CT 검사 시 차폐를 하지 않은 상태에서 각 슬라이스 위치에 따른 두·경부 피폭선량 값을 나타내었고 기저부의 1 slice에서는 4.445E-02 mGy/s, 첨부의 7 slice는 7.200E-03 mGy/s 의 선량률이 측정되

었다. Table 2는 비스무스(Bismuth) 필라멘트, Table 3은 텅스텐(Tungsten) 필라멘트로 차폐하였을 시 각 슬라이스의 위치에 따른 선량 값을 나타낸 것이다. 1 mm 두께의 비스무스(Bismuth) 필라멘트에서는 1 slice에서 3.253E-02 mGy/s, 7 slice에서 4.720E-03 mGy/s의 선량 값이 측정되었다. 1 mm 두께의 텅스텐(Tungsten) 필라멘트에서는 1 slice에서 2.527E-02 mGy/s, 7 slice에서는 3.330E-03 mGy/s 의 선량 값이 측정되었다.

Table 1. Average of Non-shielding on Orbit [Unit : mGy/s]

	Avg	SD
1 slice	4.445E-02	1.042E-04
2 slice	2.957E-02	6.342E-05
3 slice	2.230E-02	4.714E-05
4 slice	1.724E-02	5.715E-05
5 slice	1.355E-02	1.414E-05
6 slice	1.037E-02	2.625E-05
7 slice	7.200E-03	2.449E-05

Table 2. Average of Bismuth Filament on Orbit

[Unit : mGy/s]

mm/SD slice	1 mm	SD	2 mm	SD	3 mm	SD	4 mm	SD	5 mm	SD
1 slice	3.253E-02	1.021E-05	2.956E-02	2.121E-05	2.820E-02	2.123E-05	2.611E-02	3.022E-05	2.480E-02	2.225E-05
2 slice	2.050E-02	3.321E-05	1.910E-02	3.111E-05	1.728E-02	3.078E-05	1.569E-02	2.051E-05	1.454E-02	2.324E-05
3 slice	1.515E-02	4.111E-05	1.413E-02	2.561E-05	1.302E-02	2.468E-05	1.172E-02	1.571E-05	1.062E-02	2.624E-05
4 slice	1.170E-02	2.821E-05	1.090E-02	1.821E-05	9.910E-03	3.368E-05	9.010E-03	1.531E-05	8.210E-03	3.528E-05
5 slice	9.130E-03	2.261E-05	8.420E-03	2.911E-05	7.730E-03	2.137E-05	7.000E-03	2.721E-05	6.430E-03	4.625E-05
6 slice	6.900E-03	2.421E-05	6.430E-03	3.122E-05	5.910E-03	2.296E-05	5.320E-03	2.825E-05	4.950E-03	3.529E-05
7 slice	4.720E-03	3.121E-05	4.240E-03	5.022E-05	3.960E-03	3.125E-05	3.370E-03	2.942E-05	3.010E-03	3.426E-05

Table 3. Average of Tungsten Filament on Orbit

[Unit : mGy/s]

mm/SD slice	1 mm	SD	2 mm	SD	3 mm	SD	4 mm	SD	5 mm	SD
1 slice	2.527E-02	2.042E-05	2.523E-02	5.022E-05	2.518E-02	2.624E-05	2.486E-02	3.462E-05	2.476E-02	5.022E-05
2 slice	1.666E-02	4.625E-05	1.510E-02	3.111E-05	1.467E-02	2.911E-05	1.448E-02	3.367E-05	1.442E-02	2.567E-05
3 slice	1.204E-02	2.225E-05	1.099E-02	2.468E-05	1.060E-02	2.327E-05	1.040E-02	2.856E-05	1.041E-02	3.426E-05
4 slice	9.210E-03	3.368E-05	8.430E-03	2.725E-05	8.170E-03	2.821E-05	8.010E-03	2.952E-05	7.790E-03	3.468E-05
5 slice	7.230E-03	3.078E-05	6.470E-03	2.261E-05	6.450E-03	3.522E-05	6.120E-03	3.010E-05	6.090E-03	2.560E-05
6 slice	5.430E-03	2.942E-05	4.830E-03	4.022E-05	4.810E-03	2.067E-05	4.650E-03	2.562E-05	4.520E-03	3.782E-05
7 slice	3.330E-03	1.571E-05	2.980E-03	2.897E-05	2.950E-03	2.476E-05	2.920E-03	3.167E-05	2.650E-03	1.893E-05



비스무스 필라멘트 차폐율은 Fig. 8과 같이 1 mm 두께의 비스무스(Bismuth) 필라멘트는 1 slice에서 26.82 % , 7 slice에서는 34.76 % 의 차폐율이 나타났다. 5 mm 두께에서는 1 slice에서 44.17 % , 7slice에서는 58.51 % 의 차폐율이 측정되었다. 텅스텐 필라멘트 차폐율은 Fig. 9과 같이 1 mm 두께의 텅스텐(Tungsten) 필라멘트는 1 slice에서 43.15 % , 7 slice에서는 54.01 % 의 차폐율이 나타났다. 5 mm 두께에서는 1 slice에서 44.31 % , 7 slice에서는 63.35 % 의 차폐율을 확인할 수 있었다.

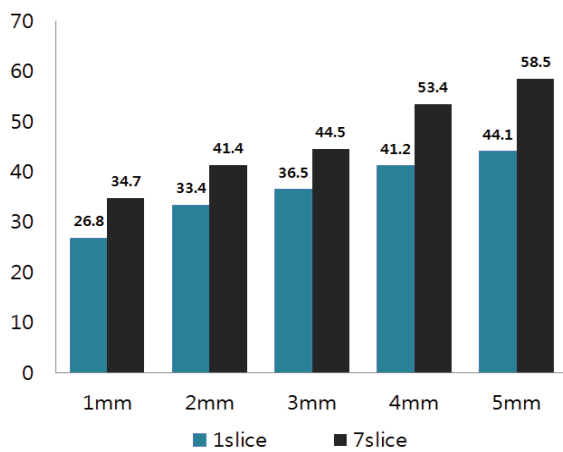


Fig. 8. Shielding Rate Graph of Bismuth Filament.

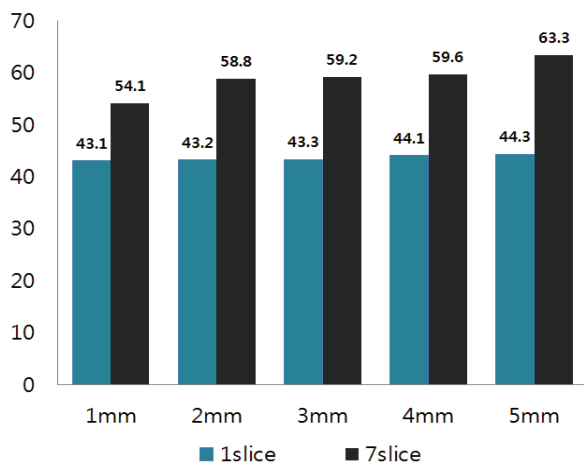


Fig. 9. Shielding Rate Graph of Tungsten Filament.

이 결과로 동일한 두께일 때 텅스텐 (Tungsten) 필라멘트 차폐율이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다.

## 2. 영상 아티팩트 평가

Fig. 10과 같이 영상의 아티팩트 평가에서는 안구에 두께 1 mm에 비스무스 필라멘트와 텅스텐 필라멘트를 두고 촬영하였을 때 두 필라멘트의 차폐체에 대한 영상의 아티팩트에 대한 영향은 발생되지 않았다.

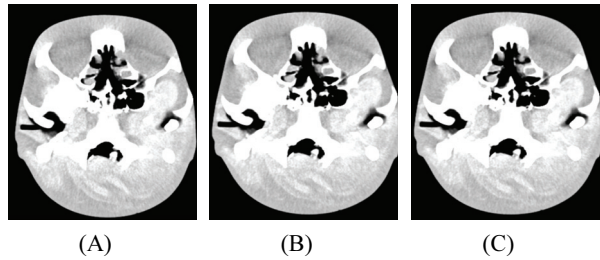


Fig. 10. (A) Before Putting on the Shielding Material (B) After Bismuth Filament on the Shielding Material (C) After Tungsten Filament on the Shielding Material

## IV. DISCUSSION

전산화단층촬영(Computed Tomography, CT) 장치는 기존의 X선 촬영기술과 컴퓨터 기술을 결합하여 인체의 단면을 형상화하는 장치로 임상적 유용성이 크게 향상되고 있다. 1996년부터 CT의 경우 건강보험급여대상에 포함되었고 2016년 건강보험심사평가원에서 분석한 CT 검사 환자 수 통계 자료에 의하면 CT의 이용이 증가하고 있는 추세이다.

그러나 병원에서는 CT 검사가 환자에게 미치는 방사선 피폭량은 영상정보에 대한 질 향상이라는 측면에 가려져 간과되어 임상에서는 환자 피폭은 특별한 문제로 인식되지 않고 있다<sup>[7]</sup>.

특히 Brain CT를 이용한 검사의 경우 수정체와 갑상선 등은 피폭선량 위험성이 다른 부위에 비해 더 민감하다. 그 중에서 수정체는 방사선 감수성이 높은 조직으로 방사선에 의해 수정체가 장해를 받을 수 있다<sup>[8]</sup>. Brain CT 검사의 경우 뇌의 조직이 두개골 내에 위치하고 있어 선량제어에 있어 많은 제약을 가지고 있고 검사 목적에 따라 안구를 포함시켜야 하는 경우가 자주 발생하게 되므로 선량의 감소에 많은 노력을 기울여야 한다<sup>[9]</sup>.

기존 임상에서 사용되고 있는 차폐체는 비스무

스 차폐체와 납고글 등이 있지만 고가의 가격과 층격에 의한 파손에 대한 우려가 많았고 이러한 단점에 대한 차폐체 연구 개발이 미비한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 저가의 가격과 범용적으로 사용되는 FDM방식에 3D 프린트 필라멘트인 비스무스(Bismuth) 필라멘트와 텅스텐(Tungsten) 필라멘트를 통하여 차폐체로서의 가능성에 대해 알아보았다. 수정체에 차폐를 하지 않았을 때에 비하여 텅스텐 필라멘트 1 mm의 차폐율이 43.1 %로 비스무스 필라멘트 4 mm일 때 차폐율인 41.2 % 보다 높은 결과가 나타났으며 이는 금속이 함유된 3D 프린트 필라멘트에 대한 몬테카를로 모의 연구 결과를 통해서도 ABS + 텅스텐의 복합 필라멘트가 가장 차폐효과가 높다는 것을 확인할 수 있었다<sup>[10]</sup>.

실험을 통해서 수정체의 피폭선량을 최대한 감소시키기 위해서 3D 프린트로 차폐체를 안구에 맞춤형으로 제작한다면 더 큰 차폐효과가 있을 것이다. 3D 프린터로 제작한 차폐 물질로 인하여 선량 감소 효과는 실험을 통해 확인하였으나 금속분말이 함유된 필라멘트의 프린팅시 필라멘트 안착의 문제 등이 발생되어 추후 금속함유 필라멘트 프린팅에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. CONCLUSION

본 연구에서는 Brain CT 검사 시 3D 프린팅을 통해서 제작한 필라멘트에 따른 수정체 차폐에 대한 감소방안에 대해 연구 하였다. 차폐 재질은 같은 두께일 경우 텅스텐(Tungsten) 필라멘트에서 더 우수한 차폐 효과를 나타내었고 차폐 물질의 두께가 두꺼울수록, 슬라이스의 위치가 기저부로 갈수록 차폐 효과가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

본 연구를 토대로 세부적인 3D 모델링을 통하여 차폐물질을 안구에 맞춤형으로 제작하면 보다 효과적인 산란선 차폐 효과를 기대할 수 있을 것으로 기대 되며 이에 대한 연구에 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

## Acknowledgement

이 논문은 2019년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

## Reference

- [1] H. J. Kim, "A study on radiation dose reduction of head and neck in CT image acquisition", Graduate school of Dongseo University, Republic of Korea, Master's thesis, 2018.
- [2] M. S. Yoon, "A Study on CT image quality and dose measurement Phantom using 3D printer", Graduate School of Eulji University, Republic of Korea, Master's thesis, 2018.
- [3] <http://opendata.hira.or.kr/>
- [4] E. B. Kang, "Comparison of Lens Dose in accordance with Bismuth shielding and Patient position in Brain perfusion CT", The Korean Society of Radiology, Vol. 12, No. 1, pp. 47-52, 2018. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2018.12.1.47>
- [5] M. Y. Jung, "Effectiveness of Bismuth Shield to Reduce Exposure Dose in Multiple Detector row Computed Tomography", Graduate School of Kyonggi University, Republic of Korea, Master's thesis, 2010.
- [6] Y. I. Cho, J. H. Kim, "Evaluation of the effectiveness of 3D Printing Shielding Devices using Monte Carlo Simulation in Plain Radiography," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 14, No. 3, pp. 303-311, 2020. <https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.3.303>
- [7] D. G. Jang, G. H. Kim, C. W. Park, "Analysis of Shielding Effect of Lead and Tungsten by use of Medical Radiation," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 12, No. 2, pp. 173-178, 2018. <https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.2.173>
- [8] J. Ceh, T. Youd, Z. Mastrovich, C. Peterson, S.Khan, T. A. Sasser, I. M. Sander, J. Doney, C.Turner, W. M. Leevy, "Bismuth infusion of ABS enables additive manufacturing of complex radiological phantoms and shielding equipment," Sensors, Vol. 17, No. 3, pp. 459, 2017. <http://dx.doi.org/10.3390/s17030459>
- [9] H. H. Kang, "A Study on Barium Mixed Radiation Shield using 3D Printer", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 14, No. 5, pp. 627-634, 2020. <https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.5.627>
- [10] I. K. Mun, S. H. Shin, "Study on the Development of an Outdoor Radiographic Test Shield Using 3D Printer Filament Materials" Journal of the Korean

Society of Radiology, Vol. 13, No. 4, pp. 565-572,  
2019. <https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.4.565>

# Brain CT검사 시 3D프린터 필라멘트에 따른 수정체 차폐 연구

최우전<sup>1</sup>, 김동현<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>부산본병원 영상의학과

<sup>2</sup>부산가톨릭대학교 방사선학과

## 요 약

CT는 인체 내 장기의 해부학적 구조를 정확하게 나타낼 수 있으며, 영상의 분해능이 우수하다. Brain CT 검사 시 수정체의 방사선 감수성이 높아서 피폭의 영향을 많이 받는다. 본 연구는 수정체에 피폭선량을 감소하기 위해 비스무스와 텅스텐 필라멘트 차폐물질을 사용하여 Non-shield와 Shield에 대한 피폭선량의 변화와 차폐율을 비교 하고자 한다. 본 연구에서는 3D printing으로 제작한 비스무스, 텅스텐 필라멘트 차폐물질을 사용하여, 차폐물질 두께와 slice에 따라 피폭되는 선량을 측정하였다. 헤드팬텀을 고정시켜 안구에 M agicmax universal 선량계를 위치시켜 차폐 물질을 놓지 않았을 경우와 그 위에 차폐 물질을 놓았을 때 차폐율을 각각 비교하기 위해 두 물질을 1mm ~ 5mm 두께로 각각 측정하였다. 1 mm 두께의 필라멘트에서 비스무스 필라멘트는 26.8 %, 텅스텐 필라멘트는 43.1 % 차폐율이 나타났다. 따라서 비스무스 필라멘트보다 텅스텐 필라멘트에서 더 큰 차폐효과가 나타났다. 차폐체의 종류, 두께, 슬라이스 간격에 따라 선량을 측정 한 결과, 비스무스 필라멘트 보다 텅스텐 필라멘트가 더 큰 차폐효과가 나타났다.

중심단어: 비스무스(Bismuth) 필라멘트, 텅스텐(Tungsten) 필라멘트, 3D printing, Brain CT

## 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	최우전	부산본병원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	김동현	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수