

Usefulness Evaluation and Fabrication of the Radiation Shield Using 3D Printing Technology

Hui-Min Jang, Joon Yoon*

Department of Radiological Technology, Dongnam Health University

Received: December 07, 2019. Revised: December 25, 2019. Accepted: December 31, 2019

ABSTRACT

In the medical field, X-rays are essential in the diagnosis and treatment of diseases, and the use of X-rays continues to increase with the development of imaging technology, but X-rays have the disadvantage of radiation exposure. Although lead protection tools are used in clinical practice to protect against radiation exposure, lead is classified as a heavy metal and can cause harmful reactions such as lead poisoning. Therefore, the purpose of this study is to investigate the usefulness of the shield fabricated using materials of FDM (Fused Deposition Modeling) 3D printer. In order to confirm the filament's line attenuation factor, phantoms were fabricated using PLA, XT-CF20, Wood, Glow and Brass, and CT scan was performed. And the shielding sheet of 100 × 100 × 2 mm size was modeled, the dose and shielding rate was measured by using a diagnostic X-ray generator and irradiation dose meter, and the shielding rate with lead protection tools. As a result of the experiment, the CT number of the brass was measured to be the highest, and the shielding sheet was manufactured by using the brass. As a result of confirming with the diagnostic X-ray generator, the shielding rate was increased in the shielding sheet having a thickness of 6 mm upon X-ray irradiation under the condition of 100 kV and 40 mAs. It measured by 90% or more, and confirmed that the shielding rate is higher than apron 0.25 mmPb. As a result of this study, it was confirmed that the shield fabricated by 3D printing technology showed high shielding rate in the diagnostic X-ray region. there was.

Keywords: 3D printing, brass, X-ray shield

I . INTRODUCTION

현대의학 분야에서 X선은 질병의 진단 및 치료에 있어서 매우 큰 비중을 차지하고 있다.^[1] X선은 인체를 투과한 감약데이터로 영상화하여 인체 내부의 구조 및 상태를 개복 없이 알 수 있어, 방사선 피폭이라는 단점에도 불구하고 사용량이 지속적으로 증가하는 추세이다.^[2-4] 특히 단순 X선 검사 환자 수는 2014년 27,817,283명에서 2018년 30,709,771명으로 5년간 약 23% 증가했다고 보고되었다.^[5] 방사선을 이용하면 질병의 진단 정보를 유용하게 얻을 수 있지만 장비의 노후화, 불필요한 처방 등에 의해 2차 질병을 야기할 수 있다. 방사선 피폭은 확률

적 영향에 대한 위험에 문턱값 선량이 없다고 보기 때문에 선량이 증가함에 따라 위험도가 증가한다. 이에 X선을 이용한 검사 시 환자에게 불필요한 피폭을 방지하고 검사자의 직업적 피폭을 막기 위해 방사선 차폐는 매우 중요한 요소이다.^[6,7] 현재 의료 분야에서는 X선 차폐율이 우수하고 가공이 쉬우며 경제성이 뛰어난 납으로 제작된 차폐체가 주로 사용되고 있다.^[8] 하지만 납은 인체에 유해한 중금속으로 분류되며, 납중독 등 납으로 인한 질병을 야기할 수 있어 최근 세계적으로 규제되고 있는 추세이다.^[9,10] 또한 납을 이용한 방사선 차폐복은 납 이외의 여러 금속이 합쳐진 합금 형태로 제작되어 물리적으로 무게가 무겁고 착용이 불편하여 검사자

* Corresponding Author: Joon Yoon

E-mail: gmlals815@naver.com

Tel: +82-7449-1815

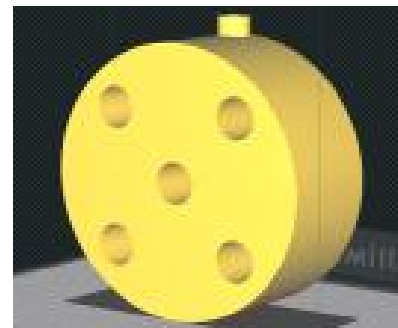
가 오랜 시간 착용 시 직업성 근·골격계 이상 질환 등을 발생시킬 우려가 있다. 이를 대체할 무납 차폐체 연구가 지속적으로 진행되고 있지만, 제작과정이 복잡하며 매우 고가에 형성되어 임상 적용이 쉽지 않은 현실이다.^[11] 이에 납을 대체하기 위한 연구는 다양한 물질을 이용하여 지속적으로 진행되고 있다. 이러한 점을 해결하기 위한 방안 중 하나로 3차원 프린팅 기술을 제시할 수 있다. 3차원 프린팅 기술은 4차 산업 혁명 대표기술로 제시되며, 컴퓨터로 설계한 디지털 데이터를 언제 어디서든 원하는 모형으로 침삭 가공하여 적층하는 방식으로 출력할 수 있다. 또한 제작 비용 및 시간을 절약할 수 있으며 3차원 프린터의 재료가 플라스틱에서 금속까지 확대되고 있어, 납과 동등한 차폐율을 가진 차폐체 제작에 효율적으로 대체 가능할 것으로 제시하고 있다.^[12,13] 따라서 본 연구에서는 경제성이 뛰어난 보급형FDM(Fused Deposition Modeling)방식의 3차원 프린팅 기술과 다양한 필라멘트를 이용하여 X선의 차폐 가능성을 확인하고 기존의 납과 동등한 차폐 성능을 가진 차폐체를 제작하여 기존 납 차폐체와의 비교분석을 통해 3차원 프린팅 차폐체의 유용성을 평가하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 필라멘트의 CT number 평가

차폐체 제작 및 실험에 앞서 3차원 프린터의 재료인 필라멘트의 밀도를 확인하기 위해 자체 제작한 팬텀을 이용하여 사전실험을 진행하였다. 기존의 표준 팬텀 재질인 아크릴과 밀도가 유사한 PLA(Poly Lactic Acid)를 이용하여 팬텀을 자체 제작하고 FDM 방식 3차원 프린팅 기술에 사용되는 필라멘트인 Glow fill, Brass, PLA, Wood, XT-CF20으로 핀을 Fig. 1과 같이 제작했다.

각 필라멘트의 밀도를 확인하기 위해 핀의 내부 채움을 20%, 40%, 60%, 80%, 100%로 달리하여 필라멘트당 5개를 제작하였다. 3차원 프린팅 기술은 격자 형태로 물체를 제작하기 때문에 CT 영상을 확인하였을 때 내부 채움이 올라갈수록 충전율이 높아져 가는 것을 확인하고자 제작하였다.



(a) CT phantom



(b) pin

Fig. 1. Proposed CT phantom modeling for CT number measurement.

평가에 사용되는 필라멘트 Glow fill, Brass, PLA, Wood, XT-CF20의 밀도는 Table 1과 같다..

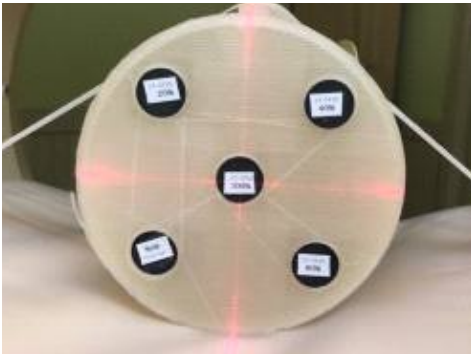
Table 1. Filament type

filament	density
Glow fill	1.21 - 1.43g/cm ³
Brass	3.9g/cm ³
PLA	1.24g/cm ³
Wood	1.15 - 1.25g/cm ³
XT-CF20	1.37g/cm ³

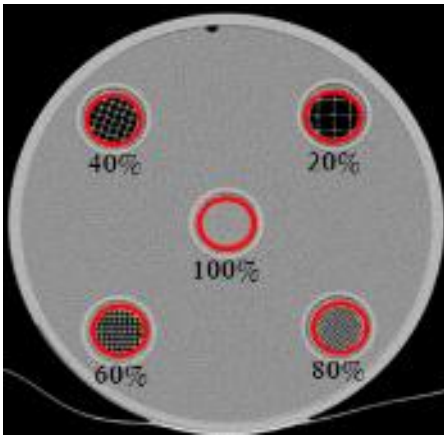
팬텀 내에 증류수를 채운 후 각 재질별 내부 채움이 다른 핀을 팬텀에 시계방향으로 삽입하고 CT 장비(ICTelite, Philips, Netherlands)의 레이저 포인터를 이용하여 Fig. 2-(b)와 같이 중심선 정렬 후 고정하였다. 이때 CT 스캔의 parameter는 표준 팬텀을 이용한 팬텀 영상 검사 시 사용하는 조건과 동일하게 설정하였으며 각 10회씩 스캔 후 얻어진 영상의 각 내부 채움 별로 ROI(region of interest)를 설정하여 CT number를 측정하고 재질의 밀도를 Fig. 2-(c)와 같이 확인하였다.



(a) CT scanner



(b) 3D printed phantom



(c) ROI's location on phantom

Fig. 2. CT scan by using 3D printed CT phantom.

2. 3차원 프린터와 Brass 필라멘트를 이용한 차폐 시트 제작

사전실험의 결과 Brass 필라멘트의 CT number가 가장 높게 측정되어 Brass 필라멘트를 사용하여 차폐 시트를 제작하기 위해 Fig. 3과 같은 실험순서로 진행하였다. Brass 필라멘트는 PLA + Fine brass powder를 혼합한 필라멘트이다.

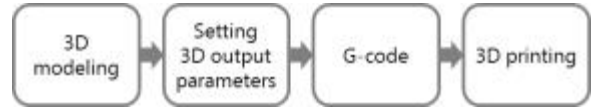


Fig. 3. 3D printing production process.

2.1. 3D 모델링

차폐 시트를 제작하기 위해 solid works(2018, USA) 프로그램을 사용하여 $100 \times 100 \times 2$ mm 크기의 차폐 시트를 모델링하였고 STL (stereo lithography) 파일로 변환하여 Fig. 4와 같이 저장하였다.

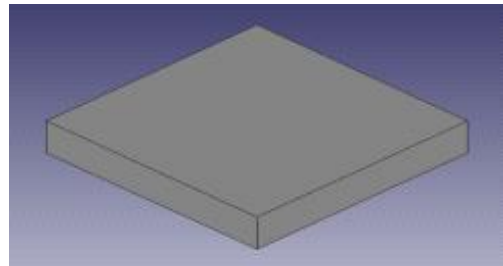


Fig. 4. Radiation shielding sheet modeling for dose measurement.

2.2. 출력변수 설정 및 G-code 변환

STL파일로 변환된 차폐 시트는 슬라이서 프로그램 CURA(1.54, Ultimaker, Netherlands)를 이용하여 출력온도, 베드온도, 내부 채움 등 출력설정을 한 뒤에 G-code 변환을 하고 프린터로 전송하였다. 설정내용은 Table 2와 같다.

Table 2. The output parameters of 3D printing

parameter	value
Temperature of printing (°C)	210
bed temperature (°C)	70
Infill Density (%)	100
Printing speed (mm/s)	50
Filament	Brass

2.3. 3차원 프린팅 및 후가공

전송된 G-code를 이용하여 3차원 프린터 (ALMOND, Opencreators, Korea)로 출력하고 후처리 과정을 통하여 차폐 시트를 Fig. 5와 같이 제작하였다.

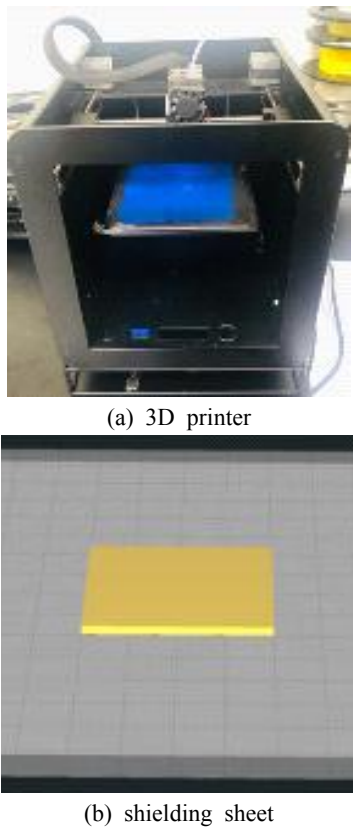


Fig. 5. 3D printing shielding sheet.

3. 선량 측정

제작된 차폐 시트의 차폐성능을 확인하기 위한 실험 방법은 한국산업표준에 X선 방호용품류의 납당량 시험 방법과 동일한 실험 방법을 준수하여 적용하였다. 더욱더 정확한 측정을 위해 X선 발생 장치(GC-85A, Samsung, Korea)의 재현성과 직선성이 양호한 것을 확인하였다. 고정조리개를 X선 관으로부터 1500 mm 지점에 놓고 차폐 시트를 그 위에 배치하였다. 그 후 차폐 시트 아래 50 mm 지점에 조사 선량계(RAD-CHECK Plus dosimeter, FLUKE, USA)를 배치해 선량을 Fig. 6과 같이 검출하였다. 선량 측정은 동일한 기하학적 조건 및 X선 조사조건에서 60, 80, 100 kVp의 관전압 변수를 적용하여 차폐 시트가 없는 경우의 조사 선량을 측정하고, 2 mm 차폐 시트를 10 mm 까지 두께를 증가시키며 조사 선량을 측정하였다. 조사조건은 Table 3과 같으며, 선량은 각 10회 측정하여 평균 선량을 산출하였다.

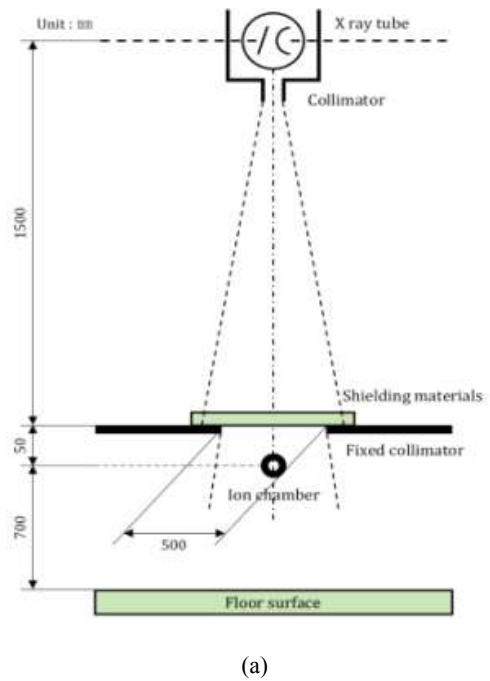


Fig. 6. Measuring arrangement for radiation shielding sheet.

Table 3. Parameter for dose measurement

parameter	value
Tube voltage [kVp]	60, 80, 100
Tube current [mA]	400
Exposure time [sec]	0.1
Colimation [inch]	1.5 × 1.5
filter [mmAl]	2.2

4. 차폐율 측정

차폐율은 Eq. (1)을 적용하여 계산하였다. 이때 W는 차폐체가 있을 경우의 조사선량이며 W₀는 차폐체가 없을 경우의 조사선량이다.

$$\text{Shielding Rate (\%)} = (1 - W/W_0) \times 100 \quad (1)$$

5. 납 방호도구의 선량 및 차폐율 측정

Brass로 제작한 차폐 시트와 기존의 납 방호도구의 차이를 비교하기 위해 0.25 mmPb, 0.35 mmPb apron과 0.5 mmPb thyroid, gonadal protector의 조사선량 및 차폐율을 측정하고, 차폐 시트의 차폐율과 비교·분석하였다.

III. RESULT

1. 필라멘트 소재에 따른 CT number 측정결과

필라멘트별 CT number는 Glowfill의 경우 내부 채움 100%일 때 400.3±0.13이며, Brass의 경우 내부 채움이 40%일 때 3071±0 이었다. PLA의 경우 내부 채움이 100%일 때 135.43±0.43이었다. Wood의 경우 내부 채움이 100%일 때 21.9±1.10이었다. XT-CF20의 경우 내부 채움이 100% 일 때 -14.5±0.28이었다. 각각의 필라멘트를 측정한 결과 Brass의 CT number가 내부 채움이 40%일 때부터 측정 최대치인 3071로 나타났으며 각 재료의 내부 채움이 100%일 때의 CT number를 Fig. 7과 같이 비교하였다.

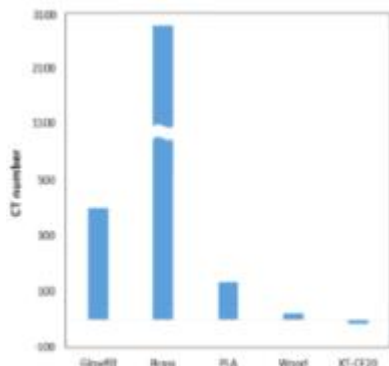


Fig. 7. The results of CT number measurement by 100% infill.

2. 3차원 프린터로 제작된 차폐 시트

측정된 CT number 측정결과를 토대로 Brass 필라멘트를 이용하여, 2 mm 두께의 차폐 시트를 5장 출력하였다. 실제 출력물의 기하학적 규격을 측정 도구를 통해 측정하여 동일한 두께로 출력되었음을 Fig. 8을 통해 확인하였다.



(a) radiation shielding sheet



(b) measuring thickness.

Fig. 8. 3D printed brass shielding sheet.

3. 차폐 시트의 선량 및 차폐율 결과

3차원 프린터로 제작된 차폐 시트를 2 mm 씩 두께를 늘려가며 실험을 진행한 결과는 다음과 같다. 60 kVp, 40 mAs에서 차폐 시트가 없을 때의 선량은 28.2 mR, 2 mm 일 때 선량은 3.4 mR, 4 mm 일 때 0.8 mR 6 mm 일 때 0.6 mR, 8 mm 일 때 0.4 mR, 10 mm 일 때 0.4 mR 이었으며 차폐율은 2 mm 차폐 시트 한 장으로도 87.94%의 차폐율을 Table 4와 같이 확인 할 수 있었다.

Table 4. The results of the radiation shielding sheet tests (60 kVp, 40 mAs)

Sheet	Dose [mR]	Shielding rate [%]
non	28.2	-
2 mm	3.4	87.94
4 mm	0.8	97.16
6 mm	0.6	97.87
8 mm	0.4	98.58
10 mm	0.4	98.58

80 kVp 40 mAs에서 실험을 진행한 결과로는 차폐 시트가 없을 때의 선량이 52.4 mR, 2 mm 일 때 선량은 8.8 mR, 4 mm 일 때 4.2 mR 6 mm 일 때 2.2 mR, 8 mm 일 때 0.6 mR, 10 mm 일 때 0.6 mR 이었으며 차폐율은 4 mm 일 때 90% 가 넘는 차폐율을 Table 5와 같이 확인 할 수 있었다.

Table 5. The results of the radiation shielding sheet tests (80 kVp, 40 mAs).

Sheet	Dose [mR]	Shielding rate [%]
non	52.4	-
2 mm	8.8	83.21
4 mm	4.2	91.98
6 mm	2.2	95.80
8 mm	0.6	98.85
10 mm	0.6	98.85

100 kVp, 40 mAs에서 실험을 진행한 결과로는 차폐시트가 없을 때의 선량이 83.6 mR, 2 mm 일 때 선량은 23.2 mR, 4 mm 일 때 11.6 mR 6 mm 일 때 6.4 mR, 8 mm 일 때 4.4 mR, 10 mm 일 때 1.2 mR 이었으며 차폐율은 6 mm 일 때 90%가 넘는 차폐율을 Table 6과 같이 확인 할 수 있었다.

Table 6. The results of the radiation shielding sheet tests (100 kVp, 40 mAs)

Sheet	Dose [mR]	Shielding rate [%]
non	83.6	-
2 mm	23.2	72.25
4 mm	11.6	86.12
6 mm	6.4	92.34
8 mm	4.4	94.74
10 mm	1.2	98.56

4. 선량 및 차폐율 비교

두께에 따른 선량 및 차폐율은 Fig. 9, 10과 같으며, 차폐 시트의 두께가 6 mm 일 때부터 모든 관전압 변수에서 90% 이상의 차폐율을 보였다.

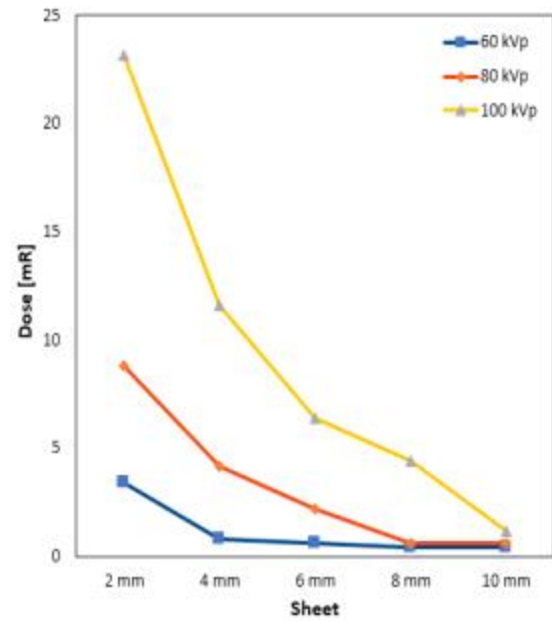


Fig. 9. Results of graph for dose according to sheet thickness.

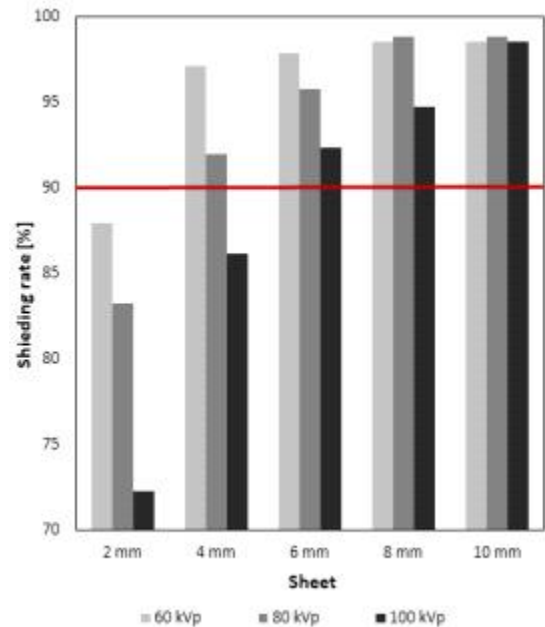


Fig. 10. Results of graph for shielding rate according to sheet thickness.

5. 납 방호도구의 선량 및 차폐율 측정과 차폐 시트와의 차폐율 비교

납 방호도구의 선량 및 차폐율 측정 결과 60 kVp, 40 mAs 에서는 차폐시트가 없을 때의 선량이

28.2 mR, Apron 0.25 mmPb 일 때 선량은 1.4 mR, Apron 0.35 mmPb 일 때 0.6 mR, thyroid protector일 때 0.4 mR, Gonadal protector일 때 0.6 mR 이었으며 차폐율은 Apron 0.25 mmPb 일 때 95.03%, Apron 0.35 mmPb 일 때 97.87%, thyroid protector일 때 97.88%, Gonadal protector일 때 98.87%로 Table 7과 같이 나타내었다.

Table 7. The results of the lead apron tests (60 kVp, 40 mAs)

Sheet	Dose [mR]	Shielding rate [%]
non	28.2	-
Apron 0.25 mmPb	1.4	95.03
Apron 0.35 mmPb	0.6	97.87
thyloid 0.5 mmPb	0.4	97.88
Gonadal 0.5 mmPb	0.6	98.87

80 kVp 40 mAs에서 실험을 진행한 결과, 차폐 시트가 없을 때의 선량이 52.4 mR, Apron 0.25 mm Pb 일 때 선량은 4.4 mR, Apron 0.35 mmPb 일 때 2.6 mR, thyroid protector일 때 1.2 mR, Gonadal protector일 때 1.4 mR 이었으며 차폐율은 Apron 0.25 mmPb 일 때 91.60%, Apron 0.35 mmPb 일 때 95.04%, thyroid protector일 때 97.71%, Gonadal protector일 때 97.33%로 Table 8과 같이 나타내었다.

Table 8. The results of the lead apron tests (80 kVp, 40 mAs)

Sheet	Dose [mR]	Shielding rate [%]
non	52.4	-
Apron 0.25 mmPb	4.4	91.60
Apron 0.35 mmPb	2.6	95.04
thyloid 0.5 mmPb	1.2	97.71
Gonadal 0.5 mmPb	1.4	97.33

100 kVp 40 mAs에서 실험을 진행한 결과, 차폐 시트가 없을 때의 선량이 83.6 mR, Apron 0.25 mm Pb 일 때 선량은 11.4 mR, Apron 0.35 mmPb 일 때 7.4 mR, thyroid protector일 때 2.4 mR, Gonadal protector일 때 3.0 mR 이었으며 차폐율은 Apron

0.25 mmPb 일 때 83.36%, Apron 0.35 mmPb 일 때 91.15%, thyroid protector일 때 97.13%, Gonadal protector일 때 96.41%로 Table 9와 같이 나타내었다.

Table 9. The results of the lead apron tests (100 kVp, 40 mAs)

Sheet	Dose [mR]	Shielding rate [%]
non	83.6	-
Apron 0.25 mmPb	11.4	86.36
Apron 0.35 mmPb	7.4	91.15
thyloid 0.5 mmPb	2.4	97.13
Gonadal 0.5 mmPb	3.0	96.41

100 kVp에서 90%이상의 차폐율을 보인 6 mm 일 때의 차폐 시트의 차폐율을 납 방호도구의 차폐율과 비교한 결과 임상에서 사용되는 납당량 0.25mm 고관전압 영역에서 차폐율이 떨어진다는 것을 알 수 있었고 기존의 방호도구보다 차폐율이 높게 측정되었다는 것을 Fig. 11과 같이 확인 할 수 있다.

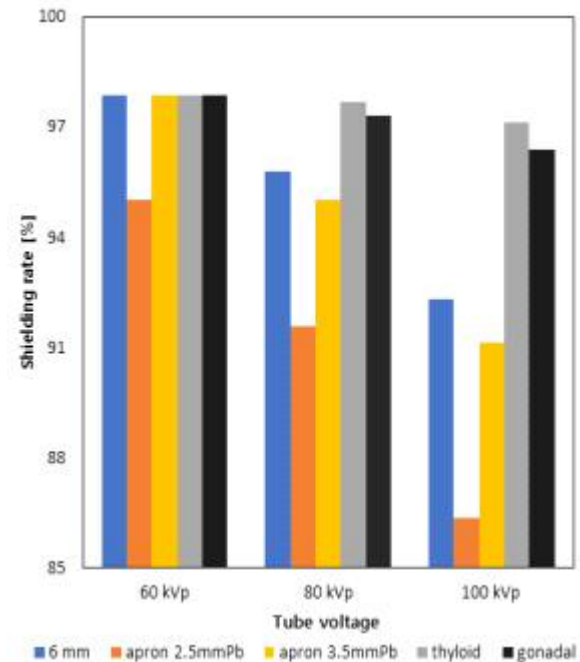


Fig. 11. Results of graph for shielding rate according to tube voltage.

IV. DISCUSSION

최근 라돈 침대에서 검출된 방사능과 후쿠시마 원전 사고 등으로 인해 많은 사람들이 방사선에 대해 방사선 피폭에 경각심을 갖고 주의를 기울이고 있다. 하지만 질병의 진단을 위해 필수적으로 사용되고 있는 의료용 방사선은 역시 저 선량이지만 불필요한 노출로 인해 2차 피폭을 야기할 수 있기 때문에 이를 감소 시키기 위한 노력이 필수적이다. 이에 납으로 제작된 차폐체를 사용하고 있으며, 납은 진단용 방사선에 대해 우수한 차폐력을 가지고 있고 가공이 쉬워 현재 임상에서는 납 가운이나 납 시트의 형태로 사용되고 있다. 하지만 납의 문제점으로 인체에 쌓였을 때 배출이 되지 않은 납중독을 유발할 수 있다. 따라서 기존의 납과 유사한 차폐 효과를 보이며 납의 한계점을 극복할 수 있는 새로운 차폐체의 임상 적용이 필요하다고 사료되며, 기존 연구들이 이뤄져 왔으나 아직 임상적용 까지 부족한 실정이다. 선행연구에서 비스무스, 텅스텐 또는 실리콘 재료의 차폐체 제작의 연구가 있었지만, 제작과정이 까다롭고 제작비용에 고가인 제한점을 가지고 있다.^[14] 이를 대체할 기술 중 하나로 3차원 프린터와 필라멘트를 이용하여 X선의 차폐 가능성을 확인하고 기존의 납과 동등한 차폐 성능을 가진 차폐체를 제작하여 기존 납 차폐체와의 비교분석을 통해 3차원 프린팅 차폐체의 유용성 평가를 수행하고자 하였다. 평가한 차폐체 재료인 Glow fill, Brass, PLA, Wood, XT-CF20을 이용하여 차폐체를 제작하고 실험을 통하여 차폐율과 기존의 납을 사용하는 차폐체와의 비교를 통하여 유용성 평가를 진행하였다. 각 소재에 따른 CT number 측정 결과 Brass 물질의 CT number가 높게 측정되었으며 CT number 측정 결과를 토대로 Brass 필라멘트를 이용하여 총 5장의 차폐 시트를 출력하여 시트의 선량 및 차폐율을 관전압과 관전류 변수로 알아봤다. 결과 60 kVp, 40 mAs의 실험에서는 8 mm, 10 mm 시트에서 높은 차폐율 알 수 있었으며, 80 kVp, 40 mAs의 실험에서는 차폐 시트가 없을시 10 mm 시트에서 높은 차폐율을 볼 수 있었다. 100 kVp, 40 mAs 실험에서는 전 실험과 동일하게 차폐 시트가 없을 때의 결과는 8 mm, 10 mm에서 동일

한 높은 수치의 차폐율을 확인할 수 있었다. 선량 및 차폐율을 비교하였을 때 6 mm 일 때 부터 모든 관전압 변수에서 90% 이상의 차폐율을 확인할 수 있었으며, 기존 방호도구와 차폐 시트의 차폐율을 비교 실험 결과 차폐 시트가 납 방호도구와 가장 비슷한 차폐율을 보인 6 mm 일 때와 비교를 진행하였다. 연구의 제한점으로 브래스의 소재는 컴퓨터로 모델링 한대로 어떤 형태로든 출력은 가능하지만 유연하지 않아 재질의 배합을 통한 유연한 재질의 연구를 지속적으로 진행해야 할 것이며 3차원 프린터의 컨디션이나 출력설정에 따라 내부 채움의 재현성이 떨어질 수 있어 결과 값 변동 가능성이 있을 수 있다고 사료된다. 추후 기존연구를 바탕으로 개인 맞춤형 방호도구를 만들 수 있는 연구가 진행될 수 있으며, 납을 대신하여 방사선 차폐체로 사용될 수 있을 것이라 사료된다.

V. CONCLUSION

본 연구를 통해 3차원 프린팅 기술로 제작된 차폐체는 진단용 X선 영역에서 높은 차폐율을 보이므로 기존의 납 방호도구를 대신하여 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 추후 3차원 프린팅 차폐체 제작을 위한 기초자료로 제공할 수 있을 것이라 사료된다.

Reference

- [1] Jang W. "Current status and main issues of Korean medical resources in OECD statistics," HIRA. Vol. 4, pp. 7-16, 2018.
- [2] Lee M Mitsumori, William P Shuman, Janet M Busey, Orpheus Kolokythas, Kent M Koprowicz, "Adaptive statistical iterative reconstruction versus filtered back projection in the same patient: 64 channel liver CT image quality and patient radiation dose," European Radiology, Vol. 22, No. 1, pp. 138-181, 2012.
- [3] S. W. Chae, "Radiographic Diagnosis of the Osteoporotic Vertebral Fractures," Korean Journal of Osteoporosis, Vol. 11, No. 1, pp. 59-65, 2013.
- [4] C. H. Lim, J. K. Cho, M. K. Lee. "A Study on Radiation Dose in Computed Tomographic

- Examinations," J Radiological Science and Technology, Vol. 30, No. 4, pp. 381-9, 2007.
- [5] Health Care Big Data Opening System, National Interested Care Behavior Statistics (Radiation Short Film), 2014-2018.
- [6] S. R. Do, P. G. Cho, S. J. Kim, D. K. Jung, "Measurement of Spatial Scattered Dose Distribution According to Presence or Absence of Radiation Shielding in the Operating Room," Journal of Radiological Science and Technology, Vol. 40, No.4, pp. 549-556. 2017.
- [7] Mori H, Koshida K. Ishigamori O, Matsubara K. "Evaluation of the effectiveness of X-ray protective aprons in experimental and practical fields," Radiological Physics and Technology, Vol. 7, No. 1, pp. 158-66, 2014.
- [8] Raissaki M, Perisinakis, K, Damilakis J, Nicholas G. "Eye-lens bismuth shielding in paediatric head CT: artefact evaluation and reduction," Pediatric Radiology, Vol. 40, No. 11, pp. 1748-54, 2010.
- [9] Servaes S. Zhu. X. "The effects of bismuth breast shields in conjunction with auto mati tube current modulation in CT imaging," Pediatric Radiology, Vol. 43, No. 10, pp. 1287-94, 2013.
- [10] Karvatskii L. M., V. P. Koval. "Effect of molybdenum, tungsten, titanium, aluminum, and lead on the cracking of 20 steel in a medium containing hydrogen sulfide. Soviet materials science : a transl of Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov" Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Vol. 14, No. 2, pp. 213-5, 1978.
- [11] Matsuda M, Suzuki T. "Evaluation of lead aprons and their maintenance and management at our hospital," J Anesth., Vol. 30, No. 3, pp. 518-21, 2016.
- [12] *W. G. Oh, Development of 3D Printer System for Making Customized Bone Models of Orthopedic Surgery Patient dissertation, Cheongjoo: University of Choong Book, 2014.*
- [13] H. H. Park, J. Y. Lee, J. H. Kim, K. S. Nam, K. Y. Lyu, T. S. Lee. "The Usability Evaluation According to the Application of Bismuth Shields in PET/CT Examination," Journal of Radiological Science and Technology. Vol. 37, No. 1, pp. 49-56, 2014.
- [14] H. H. Park, "The Evaluation of Performance and Usability of Bismuth, Tungsten Based Shields," Journal of Radiological Science and Technology, Vol. 41, No. 6, pp. 611-616, 2018.

3차원 프린팅 기술을 이용한 차폐체 제작 및 유용성 평가

장희민, 윤준*

동남보건대학교 방사선과

요약

최근 의료분야에서 X선은 질병의 진단 및 치료영역에서 필수적으로 요구되며, 영상의학 기술의 발전과 더불어 X선의 이용은 지속적으로 증가하는 추세지만, X선은 방사선 피폭의 단점을 가지고 있다. 방사선 피폭을 방어하기 위해 임상에서는 납 방호도구를 사용하지만 납은 중금속으로 분류되어 납중독 등 인체에 유해한 반응을 일으킬 수 있다. 따라서 본 연구는 FDM(Fused Deposition Modeling)방식의 3차원 프린터의 재료를 이용하여 제작한 차폐체의 유용성을 알아보고자 한다. 필라멘트의 선감약계수를 확인하기 위해 PLA, XT-CF20, Wood, Glow, Brass를 이용해 팬텀을 제작 하고, CT scan을 하였다. 그리고 100 × 100 × 2 mm 크기의 차폐 시트를 모델링하고, 진단용 X선발생장치와 조사선량계를 이용하여 선량 및 차폐율을 측정하였으며, 납 방호도구와의 차폐율을 비교하였다. 실험결과 Brass의 CT number가 가장 높게 측정되어 Brass를 이용하여 차폐시트를 제작하였으며, 진단용 X선발생장치로 확인한 결과 100 kV, 40 mAs 조건으로 X선 조사 시 6 mm 두께의 차폐시트에서 차폐율이 90 % 이상으로 측정되어 apron 0.25 mmPb보다 차폐율이 높은 것을 확인하였다. 본 연구의 결과 3차원 프린팅 기술로 제작한 차폐체가 진단용 X선 영역에서 높은 차폐율을 보이는 것을 확인하였으며, 납 방호도구와의 비교를 통하여 납을 대체하여 방사선 방호도구로서의 가능성을 알 수 있었다.

중심단어: 3차원 프린팅, Brass, X선 차폐

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	장희민	동남보건대학교 방사선과	학부생
(교신저자)	윤준	동남보건대학교 방사선과	교수