

Shielding Performance of PLA and Tungsten Mixture using Research Extruder

Do-Seong Kim¹, Tae-Hyung Kim², Myeong-Seong Yoon³, Sang-Hyun Kim^{1,*}

¹Department of Radiological Science, College of Health Science, Shin-Han University

²Department of Radiological Science, College of Health Science, Kangwon National University

³Department of Emergency Medicine, College of Medicine, Hanyang University

Received: July 25, 2023. Revised: August 25, 2023. Accepted: August 31, 2023.

ABSTRACT

In this study, 3D printing technology was used to compensate for the shortcomings of the use of lead, which has proven to have excellent shielding performance, and to control unnecessary human exposure. 3D printers can implement three-dimensional shapes and can immediately apply individual ideas, which has great advantages in maintaining technology supplementation while reducing the cost and duration of prototyping. Among the various special 3D printers, the FDM method was adopted, and the filament used for output was manufactured using a research extruder by mixing two materials, PLA (Poly-Lactic-Acid) and tungsten. The purpose was to verify the validity through dose evaluation and to provide basic information on the production of chapezones of various materials. The mixed filament was implemented as a morphological shield. Filaments made of a research extruder by mixing PLA and tungsten were divided into 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, and 50 % according to the tungsten content ratio. Through the process of 3D Modeling, STL File storage, G-code generation, and output, 10 cm × 10 cm × 0.5 cm was manufactured, respectively, and dose and shielding ability were evaluated under the conditions of tube voltages of 60 kVp, 80 kVp, 100 kVp, 120 kVp, and tube currents of 20 mAs and 40 mAs.

Keywords: Radiation Shielding, 3D Printer, PLA, Tungsten, Extruder

I. INTRODUCTION

방사선 기술은 공업 · 농업 · 환경 등 삶의 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히 방사선 기술은 의료분야에서 활발하게 이용되고 있다. 의료분야에서의 방사선 기술은 의료 기술의 발전과 함께 성장하여 질병을 진단하거나 치료 과정에서 중추적인 역할로 이용되었다^[1].

방사선 기술은 다양한 형태로 삶에 많은 혜택을 주지만 이용에 있어 주의가 필요하다. 방사선에 노출되면 결정론적 영향과 확률론적 영향으로 인체에 부정적인 보건 영향을 발생시킨다^[2].

방사선 방호 목표를 달성하기 위해서 국제방사

선방호위원회 (ICRP) The 2007 Recommendations of the International Commission On Radiological Protection, ICRP Publication 103. 에 따르면 방사선 방호 원칙을 권고하고 있다. 정당화, 최적화, 선량한도 세 가지 방사선 방호 원칙이 사용되고 있다. 하지만 의료 피폭의 경우 국제방사선방호위원회가 권고하는 선량한도를 제한하지 않는다. 선량한도를 제한하지 않는 것이 무분별한 노출을 허락하는 것은 아니다^[3].

최근 국내뿐만 아니라 세계적으로 의료 영상 검사가 증가하는 추세이다. 이는 환자의 방사선 노출의 증가에 따른 인체의 부정적인 영향을 초래할 수 있다^[4]. 방사선의 노출에 따른 보건 영향을 최소화하기 위해서 불필요한 피폭은 제한되어야 한다. 혼

* Corresponding Author: Sang-Hyun Kim E-mail: snuhkim1@naver.com Tel: +82-31-870-3417 Address: Shin-Han University, 95, Hoam-ro, Uijeongbu-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea, 11644

히 사용되는 외부피폭의 방호 3대 원칙 중 하나인 방사선 차폐 물질을 활용하면 피폭을 줄일 수 있다.

원자번호가 높은 납(Pb)은 의료 및 방사선 이용 분야에서 차폐 물질로 많이 사용되고 있다^[5]. 납 차폐체는 우수한 성능과 가공이 용이한 장점이 있지만, 미량이라도 빈혈, 신기능 및 생식 기능 장애, 신경 위축 등의 많은 위험성이 연구로 보고되었다^[6,8].

본 연구는 납의 위험에서 자유롭고 동일한 차폐 효과를 나타낼 수 있는 방사선 차폐체를 4차 산업의 혁명으로 각광받는 3D 프린팅 기술을 활용하였다. FDM (Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터에 사용되는 필라멘트 소재의 다양화를 위해 연구용 압출기로 텅스텐과 PLA (Poly-Lactic-Acid)를 혼합한 필라멘트를 출력하였다.

차폐체의 형태학적인 구현과 의료 진단영역에서의 방사선 차폐 성능 평가로 개인 맞춤형 차폐체를 개발 및 발전할 수 있도록 기초 자료를 제공하고자 본 연구를 시행하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 연구재료

1.1. 폴리락트산(Polylactic acid, PLA) 알갱이, 텅스텐 분말(W)

본 연구는 FDM 방식의 대표적인 필라멘트 재료 중 하나인 PLA Pellet와 방사선 차폐 효과가 있는 텅스텐(W)을 혼합한 차폐 물질 연구가 목적이다.



(a) Poly lactic acid pellet (b) Tungsten powder

Fig. 1. Experimental materials.

Fig. 1과 같이 친환경 수지인 PLA는 ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)와 함께 3D 프린터 필라멘트 소재 중 가장 많이 사용되고 있으며, 압출기의 혼합 입

도를 높이기 위하여 Pellet 형태의 PLA와 분말 형태의 텅스텐을 사용하였다. PLA의 경우 주변 온, 습도의 영향을 받기 쉬운 소재이므로 취급에 주의해야 한다.

1.2. 연구용 압출기

필라멘트 제작을 위한 연구용 압출기는 Fig. 2와 같은 FILIBOT450 (FORDENTECH, Korea) 장비를 이용하였다. 세부적인 사항은 Table 1과 같다.



Fig. 2. Research extruder for 3D filament production. (FORDENTECH FILIBOT H450)

Table 1. Detailed explanation of FILIBOT H450

Control Temperature	RPM	Nozzle	discharge amount	Purpose
manual 23~550 °C	0~24	1.5~1.7 mm	20 mm/s	Test research

1.3. 3D PRINTER

연구용 압출기로 제작된 혼합 필라멘트를 차폐체로 형태학적 구현하기 위해 Fig. 3와 같은 LUGOpro M(FORMERSFARM, Korea)을 사용하였다.

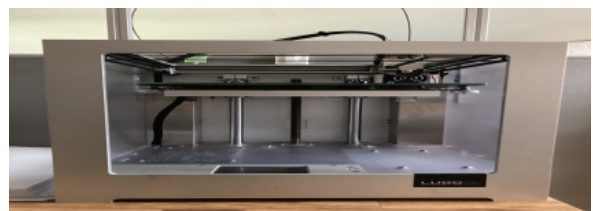


Fig. 3. 3D printer for the study. (FORMERSFARM LUGO^{PRO} M)

1.4. 선량평가장비

혼합차폐체의 차폐 성능을 평가하기 위하여 Fig. 4와 같이 방사선 조사 장치로 Innovision ELIN T5(DK medical system, Korea)를 사용하였다. 선량 측정을 위해 Magicmax Universal (IBA, Belgium)을 선량계로 사용하였다.



(a) Innovision ELIN T5 (DK medical system, Korea) (b) Magicmax Universal (IBA, Belgium)

Fig. 4. Equipment and device for measuring radiation dose.

2. 연구 방법

본 연구는 Fig. 5와 같은 순서로 진행하였다. 우선 필라멘트를 제작하기 위해 연구용 압출기 온도 (260 °C)를 설정하고 30분 예열하였다. PLA Pellet과 텅스텐 분말을 비율별로 혼합하고 함유율에 따라서 RPM 6~8로 출력 속도를 설정하였다.

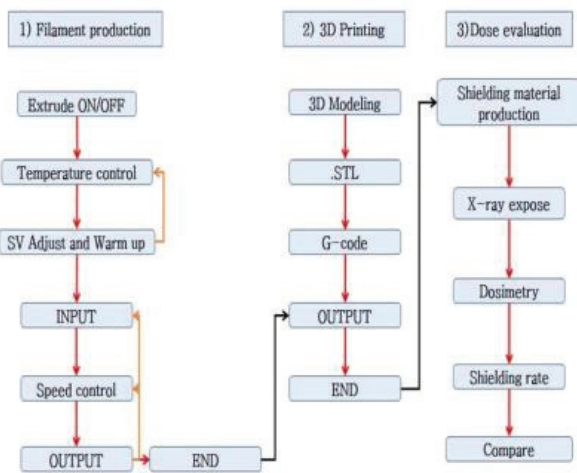


Fig. 5. Schematic work-flow for the study.

3D 설계 프로그램인 Open source Free CAD 0.19를 사용하여 가로 10 cm × 세로 10 cm × 높이 0.5 cm의 크기로 설계하고 .STL 파일 형식으로 저장하였다. .STL 파일은 3D 프린터 이용을 위해 G-code로 변환하였다. Fig. 6은 출력 완성품으로 같은 형태로 출력하기 위해 Table 2와 같은 조건을 설정하였다. 텅스텐의 함유율에 따라 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %로 총 5종류의 혼합차폐체를 구현하였다.

Table 2. 3Dprinter output condition of mix filament

Item	Tungsten				
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
Temperatuer (°C)	203	207	210	215	215
Nozzle size (mm)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Layer height (mm)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Printing speed (mm/s)	35	35	35	28	28
Bed temperature (°C)	65	65	65	65	65
Infil Density (%)	100	100	100	100	100



Fig. 6. Shield sheet.

3. 선량평가 및 차폐율 측정

흡수선량 및 차폐율 측정 실험의 결과에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 실험 전 장비의 출력 직선성 및 재현성의 양호함을 먼저 확인하였다. 진단 의료 영역에서 사용되는 방사선 에너지 범위의 차폐 효과를 알아보기로 관전압 60 kVp, 80 kVp, 100 kVp, 120 kVp 조건에서 관전류 20 mAs, 40 mAs 조건으로 10회만 조사하였고 결과의 평균을 사용하였다.

조사야는 2 cm × 2 cm의 크기로 heel effect를 최소화하면서 차폐체와 선량계의 크기를 고려하였다. 산란선의 영향을 줄이기 위하여 선량계 주변에 납블럭을 설치하였다. 한국산업표준의 X선 방호용품류의 납당량 실험 방법(KS A 4025 : 2017)과 동일한 방법을 준수하면서 제작된 혼합 필라멘트 차폐체의 성능을 확인하였다.

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

차폐율 성능을 표기하기 위하여 Eq. (1)을 사용하였다. W는 차폐체가 있을 경우, W₀는 차폐체가 없을 경우의 흡수선량이다. 각각의 차폐체의 차폐효율 및 선량을 측정하기 위하여 관전류와 관전압의 차이

를 두어 차폐율을 측정하였다. 차폐체가 없을 경우 텅스텐 함유율 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %과 0.5 mm (Pb)의 차폐율과 비교하여 분석하였다^[7,8].

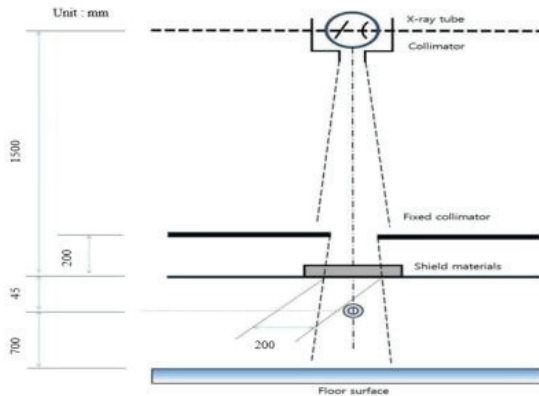


Fig. 7. Method of testing the lead equivalent of X-ray protective supplies according to the Korean Industrial Standard 4025.

4. 통계 분석

실험 결과값에 대한 정규성 검정을 진행하였으며, Shapiro-wilk에서 유의확률이 0.05를 초과하였다. 모든 분석은 통계 프로그램(SPSS, Statistical Package for Social Science v.22, SPSS Inc., IBM Company)을 사용하였다.

III. RESULT

관전압과 관전류의 증가할수록 차폐율의 감소하는 결과값이 나타났다. 고정된 관전압(kVp)에서 관전류(mAs) 조건을 변경하여도 차폐체의 성능은 유사한 결과로 나타났다. 텅스텐 함유량이 증가함에 따라 차폐체의 흡수선량 평균값은 기존 납 (0.5 mmPb) 차폐체의 흡수선량 평균값에 수렴하는 양상이 나타났다.

1. 필라멘트 제작 조건에 따른 출력 결과

1.1. 압출기 조건 RPM 6 및 온도 230 °C, 290 °C

연구용 압출기의 RPM 6 및 온도 230 °C 설정 조건의 결과는 Table 3와 같다. 텅스텐 함유율이 20 %까지 필라멘트 생산이 가능했으나 30 % 이상에서는 높은 용융점으로 생산을 할 수 없었다.

연구용 압출기의 RPM 6 및 온도 290 °C 설정 조건의 결과는 Table 4와 같다. 텅스텐 함유율이 40 % 이상의 조건에서 필라멘트 생산이 가능하였다. 설정된 온도는 PLA의 용융점 보다 높은 조건으로 30 % 이하에서는 생산을 할 수 없었다.

Table 3. Conditions of extruder RPM 6 and temperature 230°C

Parameter	Temperature	Control	Nozzle	Extrude speed	base material
value	230 °C	manual	1.5 mm	20 mm/sec	PLA
Tungsten content	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
RPM	6	6	6	6	6
Production	o	o	x	x	x

Table 4. Conditions of extruder RPM 6 and temperature 290°C

Parameter	Temperature	Control	Nozzle	Extrude speed	base material
value	290 °C	manual	1.5 mm	20 mm/sec	PLA
Tungsten content	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
RPM	6	6	6	6	6
Production	x	x	x	o	o

1.2. 압출기 조건 RPM 7 및 온도 230 °C, 290 °C

연구용 압출기의 RPM 7 및 온도 230 °C 설정 조건의 결과는 Table 5와 같다. 텅스텐 함유율이 20 %까지 필라멘트 생산이 가능했으나 30 % 이상에서는 높은 용융점으로 생산을 할 수 없었다.

연구용 압출기의 RPM 7 및 온도 290 °C 설정 조건의 결과는 Table 6와 같다. 텅스텐 함유율이 40 % 이상의 조건에서 필라멘트 생산이 가능하였다. PLA의 용융점 과 높아진 RPM 조건으로 30 % 이하에서는 생산을 할 수 없었다.

Table 5. Conditions of extruder RPM 7 and temperature 230°C

Parameter	Temperature	Control	Nozzle	Extrude speed	base material
value	230 °C	manual	1.5 mm	20 mm/sec	PLA
Tungsten content	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
RPM	7	7	7	7	7
Production	o	o	x	x	x

Table 6. Conditions of extruder RPM 7 and temperature 290°C

Parameter	Temperature	Control	Nozzle	Extrude speed	base material
value	290 °C	manual	1.5 mm	20 mm/sec	PLA
Tungsten content	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
RPM	7	7	7	7	7
Production	x	x	x	o	o

Table 7. Proper set temperature and RPM according to tungsten ratio

Parameter	Temperature	Control	Nozzle	Extrude speed	base material
value	260 °C	manual	1.5 mm	20 mm/sec	PLA
Tungsten content	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
RPM	8	8	7	6	6
Production	o	o	o	o	o

1.3. 텅스텐 비율에 따른 적정 설정온도 및 RPM

연구용 압출기의 다양한 설정 조건에서 필라멘트 출력이 가능하였다. 압출기 온도 260 °C 에서 텅스텐 비율 10 ~ 20 % 사이의 경우 RPM 8로, 30 % 의 경우 RPM 7로, 40 ~ 50 % 의 경우 RPM 6의 설정 조건에서 지속적으로 필라멘트 출력이 가능하였다.

2. 흡수선량 및 차폐율 평가

Table 8은 다양한 조건의 흡수선량 평가한 결과로 한국산업표준의 X선 방호용품류의 납당량 실험 방법(KS A 4025 : 2017)을 준수하여 선량 평가 측정 결과이다. Table 9는 다양한 조건의 차폐율을 평가한 결과이다.

Table 8. Evaluation of Absorption Dose under Various Conditions

(unit: mean ± SD [μGy])

Items	non filter	10 % Tungsten	20 % Tungsten	30 % Tungsten	40 % Tungsten	50 % Tungsten	0.5 mmPb	F	p-value	
60 kVp	20 mAs	646.75 ± 9.72	176.54 ± 1.60	107.57 ± 0.65	73.70 ± 2.37	35.47 ± 0.91	19.54 ± 0.04	3.33 ± 0.01	34635.746	0.00
	40 mAs	1320.90 ± 7.41	358.07 ± 2.46	222.34 ± 1.52	149.02 ± 1.74	73.58 ± 0.46	37.43 ± 0.38	5.93 ± 0.03	223693.403	0.00
80 kVp	20 mAs	1172.30 ± 8.65	420.40 ± 2.70	279.31 ± 1.19	206.05 ± 0.85	122.78 ± 0.48	79.61 ± 0.25	33.02 ± 0.07	128076.989	0.00
	40 mAs	2373.60 ± 10.53	802.55 ± 0.67	549.04 ± 3.09	422.35 ± 2.88	247.53 ± 1.58	157.86 ± 0.54	65.67 ± 0.38	335313.798	0.00
100 kVp	20 mAs	1762.50 ± 8.78	681.48 ± 1.63	509.85 ± 1.06	383.85 ± 1.18	251.56 ± 1.28	157.56 ± 0.51	99.31 ± 0.29	271320.889	0.00
	40 mAs	3619.50 ± 22.56	1365.80 ± 9.48	983.33 ± 8.92	784.90 ± 4.20	498.26 ± 3.64	333.39 ± 3.50	203.58 ± 1.59	133363.761	0.00
120 kVp	20 mAs	2474.60 ± 23.92	1127.30 ± 4.44	801.04 ± 4.22	619.61 ± 1.01	427.05 ± 2.02	276.91 ± 1.87	175.32 ± 1.10	70289.568	0.00
	40 mAs	4935.80 ± 17.16	2201.60 ± 13.63	1588.00 ± 14.60	1232.00 ± 5.59	837.64 ± 5.40	563.46 ± 2.87	308.77 ± 1.59	227466.36	0.00

Table 9. Evaluation of shielding rates under various conditions

(unit: mean ± SD [%])

Items	10 % Tungsten	20 % Tungsten	30 % Tungsten	40 % Tungsten	50 % Tungsten	0.5 mmPb	
60 kVp	20 mAs	72.78 ± 0.154	83.41 ± 0.088	88.73 ± 0.111	94.53 ± 0.043	96.98 ± 0.014	99.48 ± 0.002
	40 mAs	72.89 ± 0.077	83.16 ± 0.333	88.71 ± 0.044	94.42 ± 0.017	97.16 ± 0.009	99.55 ± 0.001
80 kVp	20 mAs	64.13 ± 0.705	76.17 ± 0.571	84.42 ± 0.049	89.52 ± 0.025	93.20 ± 0.018	97.18 ± 0.006
	40 mAs	66.21 ± 0.060	76.86 ± 0.053	82.20 ± 0.058	89.57 ± 0.014	93.33 ± 0.008	97.21 ± 0.006
100 kVp	20 mAs	61.33 ± 0.072	71.07 ± 0.059	78.22 ± 0.038	85.72 ± 0.038	91.06 ± 0.018	94.36 ± 0.011
	40 mAs	62.97 ± 0.125	72.83 ± 0.079	78.31 ± 0.053	86.23 ± 0.040	90.84 ± 0.060	94.29 ± 0.029
120 kVp	20 mAs	54.44 ± 0.134	67.62 ± 0.121	74.95 ± 0.079	82.74 ± 0.051	88.80 ± 0.037	92.91 ± 0.027
	40 mAs	55.39 ± 0.055	67.82 ± 0.081	75.03 ± 0.027	83.02 ± 0.039	88.58 ± 0.018	93.74 ± 0.013

3. 납 0.5 mmPb과 텅스텐 비율에 따른 차폐 비교

Fig. 8은 텅스텐 함유율 및 관전압(kVp)의 변화에 따른 차폐율을 도식화하였다. 60 kVp에서 73.18 %로 나타났고, 80 kVp에서 67.05 %, 100 kVp에서 65.89 %, 120 kVp에서 58.82 %의 차폐율을 보였으며, 관전압의 증가함에 따라서 차폐율의 감소하는 결과를 나타냈다.

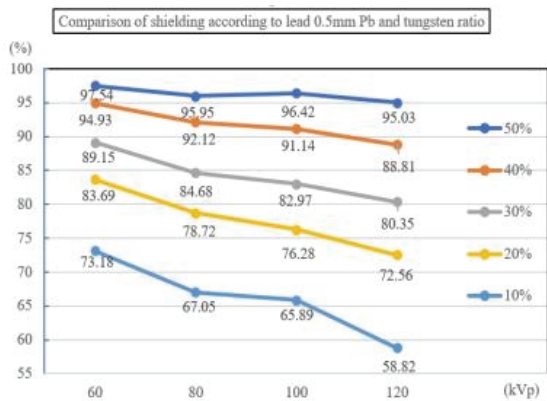


Fig. 8. Comparison of shielding according to lead 0.5 mm Pb and tungsten ratio.

IV. DISCUSSION

방사선 차폐를 위해서 현재의 의료계에서는 납(Pb) 기반의 차폐체가 대부분이며 납은 무겁고, 독성을 가지고 있다. 중금속으로 분류된 납의 유해성은 이미 많이 알려졌다. 납 중독과 무게로 이용자의 피로감 등의 문제 해결을 위한 대체 물질의 많은 선행연구가 진행되고 있다^[8].

본 연구에서는 4차 산업혁명의 하나인 3D 프린터를 활용하여 납을 대신할 수 있는 새로운 차폐체를 형태학적으로 구현하였다. 3D 프린터의 친환경 소재로 알려진 PLA pellet을 이용하여 텅스텐 분말 입자와 혼합 압출하여 필라멘트를 제작하였다. 혼합 필라멘트를 이용하여 제작된 차폐체의 흡수선량과 차폐율을 평가 분석하였다.

먼저 필라멘트 제작에 있어 PLA pellet과 텅스텐의 용융점 차이로 PLA pellet의 적정 온도(180 ~ 200 °C)와 3D 프린터의 출력 한계온도(300 °C) 사이에서

출력이 가능할 수 있는 적용 가능한 설정 온도를 알아내는 것이 본 연구의 첫 번째 과제였다.

설정 온도 260 °C에서 출력 RPM은 10 %, 20 %의 경우 8, 30 %의 경우 7, 40%, 50%의 경우 6의 설정 값으로 출력 가능하였다. PLA pellet과 텅스텐 분말을 압축하는 필라멘트 제작 과정에서 텅스텐 함유량 50 % 초과 시 텅스텐의 높은 용융점으로 인해 사용이 불가하였다.

3D 프린터의 익스트루더는 스테핑 모터를 이용하여 히트블록과 노즐에 필라멘트를 공급하는 역할을 한다. 텅스텐 함유 비율 30 % 이하에서는 필라멘트가 원활하게 공급되었다. 텅스텐 함유 비율이 높아지면서 익스트루더로 필라멘트의 로딩이 원활하지 않아 콜드 엔드에서 핫 엔드로 공급이 중단되는 상황이 나타났다. 공급이 멈추는 동안 핫 엔드의 노즐 내부 온도가 낮아져 입구가 막히는 현상도 나타났다.

고정된 관전압과 관전류 조건에서 텅스텐 함유 비율에 따른 흡수선량 측정 비교 시 차폐체가 없을 때, 텅스텐 함유율 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 증가할수록 전체적인 흡수선량도 낮게 나타났다.

특히 50 % 함유 비율에서 기존 납(0.5 mmPb) 차폐체 흡수선량 평균값과 차폐율의 차이가 가장 작았다. 이는 텅스텐 함유량이 증가할수록 흡수선량 값이 낮아질 거라 예상한 것과 같은 결과를 나타냈다. 하지만 특별한 화학 처리없는 단순 제조공정으로 텅스텐 혼합에서 물리적인 한계가 존재하였다.

납의 문제점을 극복하기 위한 차폐 연구는 이미 많은 선행연구 자료들로 확인할 수 있었다. 김등(2012)의 연구에서 텅스텐과 납의 흡수 스펙트럼 비교시 60 keV ~ 70 keV 영역에서는 납이 텅스텐보다 차폐효과가 더 있지만 전체적인 총 흡수 확률을 비교하면 텅스텐이 납 보다 약 21 % 높게 나타났다. 강(2019)의 바륨을 이용한 연구에서는 50 kVp, 2 mAs의 조건으로 흡수선량을 평가하여, 진단영역에서 상대적인 고관전압 실험 결과를 확인하지 못하였다.^[9,10]

본 연구에서는 진단영역에서 사용되는 에너지를 충분히 포함하려 노력하였다. 가공하기가 쉽지만

적은 양의 불순물에도 경도의 영향을 받아 단단하지만 부서지기 쉬운 텅스텐의 특징을 보완하기 위하여 3D 프린터를 이용하여 구현하였다.

본 연구의 제한점으로 3D 프린터 필라멘트 소재를 PLA로만 국한하여 실험을 진행하였다. 텅스텐과 혼합하는 물질을 여러 소재로 혼합하여 다양한 차폐체의 혼합 입도 및 차폐 성능을 고려하는 연구가 필요하다.

친환경적인 방사선 차폐체의 수요는 지속적으로 증가할 것이다. 방사선 차폐에 효과가 있는 다양한 물질들을 이용한 차폐 연구의 필요성은 더욱 증가할 것이다. 다양한 형태 구현의 어려움은 3D 프린터를 이용한 접근으로 한계점을 극복할 수 있으며, 본 연구의 기초 자료가 차폐체 연구의 발전과 납을 대체하는 물질 개발에 도움이 되길 기대한다.

V. CONCLUSION

기존의 납 차폐체 사용에 따라 발생하는 문제점을 보완하기 위해 이용한 텅스텐을 형태학적인 차폐체로 만들 수 있었다.

PLA pellet과 텅스텐 입자를 혼합 압축시켜 제작된 차폐체의 차폐 성능은 상대적으로 낮은 관전압인 60 kVp 에너지 영역에서 기존의 납 차폐체와 유사한 결과가 나타났으며, 납을 대체할 수 있는 차폐 효과를 확인하였다.

Reference

[1] K, P, Kim, J, S, Lee, S, H, Jung, K, W, Lee, "IAEA Program for Radioisotope Production and Radiation Technology During 2008~2009 and a Strategy for an Enhancement of its Active Participation", Journal of Radiological Science and Technology, Vol. 31, No. 4, pp. 313-321, 2008.

[2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2012 Report: Report to the General Assembly Scientific Annexes A and B, New York: United Nations, 2015.

[3] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP

Publication 103, Pergamon Press, 2007.

[4] J. L. Choi, "Prospects on the increase of radiological examinations in Korea", Journal of the Korean Medical Association, Vol. 63, No. 3, pp. 136-139, 2020. <http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2020.63.3.136>

[5] H, G, Lim, S, H, Kim, T, H, Kim, W, Y, So, "Development of Qualitative Evaluation of Medical Radiation Protective Apron", Vol. 40, No. 3, pp. 453-460, 2017. <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2017.40.3.13>

[6] D, H, Kim, S, H, Kim, Y, J, Lee, D, K, Han, "Study on Exposure Dose and Image Quality of Operator Using Shielding Material in Neuro Interventional Radiology", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 11, No. 7, pp. 579-587, 2017. <https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.7.579>

[7] KS A 4025, Testing method of lead equivalent for X-ray protective Devices, 2017.

[8] Y. J. Heo, S. U. Yang, J. K. Park, "A Study on the Non-Toxic Compound-Based Multi-Layered Radiation Shielding Sheet and Improvement of Properties", Journal of the Korean Society of Radiology Vol. 14, No. 2. pp. 149-155, 2020. <https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.2.149>

[9] K, T, Kim, S, S, Kang, S. C. Noh, B. J. Jung, C. H. Cho, Y. J. Heo, J. K. Park, "Absorbed Spectrum Comparison of Lead and Tungsten in Continuous X-ray Energy Using Monte Carlo Simulation", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 6, No. 6 pp. 483-487, 2012. <https://doi.org/10.7742/jksr.2012.6.6.483>

[10] H. H. Kang, "A Study on the Development of Barium Hybrid Shielding System Using 3D Printer", Catholic University of Pusan, Master of Radiology, pp. 31-51, 2019.

연구용 압출기를 활용한 PLA와 텅스텐 혼합물의 차폐 성능

김도성¹, 김태형², 윤명성³, 김상현^{1,*}

¹신한대학교 보건과학대학 방사선학과

²강원대학교 보건과학대학 방사선학과

³한양대학교 의과대학 응급의학과

요약

본 연구에서는 차폐성능의 우수함이 증명된 납 사용에 있어 나타나는 단점을 보완하고 불필요한 인체 피폭을 제어하기 위하여 3D 프린팅 기술을 이용하였다. 3D 프린터는 3차원 형상 구현이 가능하며, 개인의 아이디어를 즉각적으로 적용할 수 있어 시제품 제작 비용 및 시간을 줄여주면서 기술 보완 유지에 큰 장점이 있다. 다양한 특종의 3D 프린터 중 FDM 방식을 채택하였으며, 출력에 사용되는 필라멘트를 폴리락트산 (Polylactic acid, PLA)와 텅스텐 두 가지 소재를 혼합하여 연구용 압출기를 활용해 제작하였다. 출력된 혼합 필라멘트를 형태학적 차폐체로 구현하였으며, 선량평가를 통해 유효성 검증과 동시에 다양한 물질의 차폐체 제작에 기초 정보 제공에 목적을 두었다. PLA와 텅스텐을 혼합하여 연구용 압출기로 제작된 필라멘트는 텅스텐 함유 비율에 따라서 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %로 구분하여 제작하였다. 3D Modeling, STL File 저장, G-code생성, 출력등의 처리과정으로 10 cm × 10 cm × 0.5cm의 크기로 각각 제작하였고, 관전압 60 kVp, 80 kVp, 100 kVp, 120 kVp와 관전류 20 mAs, 40 mAs의 조건으로 선량 및 차폐성능 평가 실험하였다.

중심단어: 방사선차폐, 3D 프린터, PLA, 텅스텐, 압출기

구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김도성	신한대학교 보건과학대학 방사선학과	대학원생
(공동저자)	김태형	강원대학교 보건과학대학 방사선학과	교수
	윤명성	한양대학교 의과대학 응급의학과	연구원
(교신저자)	김상현	신한대학교 보건과학대학 방사선학과	교수