

Study on the Development of an Outdoor Radiographic Test Shield Using 3D Printer Filament Materials

Ik-Gi Mun,¹ Sang-Hwa Shin^{2,*}

¹Research Institute of Korea Inspection Technology CO.,LTD

²Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: July 29, 2019. Revised: August 26, 2019. Accepted: August 31, 2019

ABSTRACT

In this study, shielding analysis of material and thickness of 3D printer filaments was performed for the manufacture of custom shielding by radiation workers during outdoor radiographic test. The shielding was attached to the ICRU Slab Phantom after selecting the voxel source ¹⁹²Ir and ⁷⁵Se through simulation using MCNPX, and the distance between the source and the slab Phantom was set at 100 cm. The 12 shielding materials were divided into 5 mm units up to 200 mm from the absence of shielding materials to evaluate the energy absorbed per unit mass of each shielding material. The results showed that the shielding effect was high in the order of ABS + Tungsten, ABS + Bismuth, PLA + Copper, PLA + Iron from all sources of radiographic test. However, compared to lead, the shielding effect was somewhat lower. Based on this study in the future, further study of the atomic number and the high density filament material is necessary.

Keyword: Radiographic Test, 3D Printer Filament, MCNPX, Shielding Material

I. INTRODUCTION

방사선이란 ‘고에너지의 불안한 상태에 있는 원자 또는 원자핵이 안정된 상태를 찾기 위해 방출하는 에너지의 흐름’으로 정의한다. 넓은 범위에서는 우리가 일상에서 접하고 있는 다양한 형태의 전자기파들이 속하고, 좁은 범위에서는 전리방사선인 알파선, 베타선, 감마선 등이 속한다.^[1] 그 중 감마선을 방사선투과검사에 이용하고 있다.

비파괴검사(NDT; Non-Destruction Test)는 제품에 대한 모양이나 기능을 변화시키지 않고 내부구조 및 상태를 파악하여 결함의 유무를 알아내는 검사 방법이다.^[2] 우리나라에서는 다양한 비파괴검사 방법 중 방사선투과검사가 전체의 약 65%를 차지하고 있다. 제품 및 시설의 안전성과 품질 향상을 위함과 동시에 경제적, 산업적 이익 때문에 필수 불

가결한 보증검사수단으로 사용되고 있다.^[3] 그러나 방사선투과검사를 실시하는 방사선작업종사자의 경우, 고준위 방사선원에 의한 높은 피폭선량에 노출되고 있다. 방사선을 사용하는 직종 분야별 방사선작업종사자의 연평균 방사선 피폭선량 통계에 따르면, 비파괴검사 분야의 피폭선량이 2016년 기준 1.24 mSv로 의료분야 및 제조업 피폭선량의 평균보다 약 4배가량 높은 것으로 나타났다.^[4]

하지만 경제성에 대한 이유로 종사자 개인의 수요에 맞추어 차폐체를 제작하는 것은 어렵다. 그러므로 방사선투과검사 종사자의 방사선 피폭으로 인한 장애 발생 가능 요인을 낮추며, 작업환경에 관련한 환경요인 개선이 무엇보다 중요하다.

현재 야외 방사선투과검사에서 차폐체로 사용되는 대부분의 재료는 납(Lead)이다. 납은 얇은 시트 형태로 만들어질 만큼 가공성이 우수하고, 원자변

* Corresponding Author: Sang-hwa Shin

E-mail: sanghwashin@cup.ac.kr

Tel: +82-51-510-0782

호와 밀도가 높으며, 경제적이기 때문에 과거에서부터 많이 이용되어 왔다.^[5]

그러나 방사선투과검사용 방사선 방호장비로서 무게가 무겁고, 납 중독 등의 환경적인 문제점으로 인해 기존의 납을 대체하기 위한 연구가 지속되고 있다.^[6,7]

본 연구에서는 현재 3D 프린터의 재료로서 상용화되어 사용하는 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene), PLA (Poly Lactic Acid), TPU(Thermo Plastic poly Urethane), PETG(Poly Ethylene Terephthalate Glycol), PVA(Polyvinyl Alcohol), Nylon(Nylon polyamides)의 수지로 만들어진 필라멘트와 알루미늄(Al; Aluminium), 구리(Cu; Copper), 철(Fe; Iron), 비스무트(Bi; Bismuth), 텅스텐(W; Tungsten) 스테인레스 스틸(STS; Stainless Steel)을 혼합하여 만들어진 필라멘트의 차폐 효과를 비교하고, 차폐체 제작 시 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험 재료

1.1 몬테카를로 기법

몬테카를로 기법은 방사선과 물질과의 상호작용을 실제와 매우 유사한 결과로 제공하는 프로그램이다. 몬테카를로 기법을 모사한 프로그램과 코드의 종류는 다양하며, 현재도 개발되고 있다. 몬테카를로 기법을 적용한 프로그램은 MCNPX, GEANT, FLUKA, PENELOPE 등이 있으며, 이 중 MCNPX (Monte Carlo N-Particle Extended Code)는 각종 원자력시설 및 장비의 사전 설계검토에 반영되어 높은 신뢰도를 얻고 있다. 이를 이용하여 피폭방사선량 및 방사선 차폐, 방사선 방호 등의 연구가 전 세계적으로 많이 수행되고 있다. 본 연구에서는 MCNPX 프로그램(Ver.2.5.0)을 사용하여 모의 모사 형태로 연구를 수행하였다.

1.2 ICRU Slab Phantom

본 연구는 국제방사선단위측정위원회 (ICRU; International Commission on Radiation Unit and

Measurements)에서 제시한 모의 피폭체인 ICRU Slab Phantom을 토대로 모의 모사를 수행하였다. 실험에 사용된 ICRU Slab Phantom의 물성은 Table 1에 나타내었다.

측정 가능한 실용량 중 개인선량당량은 ICRU Tissue로 구성된 Phantom 표면으로부터 0.07 mm, 3 mm, 10 mm 깊이에서 측정된 선량을 각각 피부 $H_p(0.07)$, 수정체 $H_p(3)$, 전신 $H_p(10)$ 에 대한 선량당량으로 정의하고 있다.^[8]

Table 1. Composition of ICRU Slab Phantom.

Composition	Ratio (%)	Volume (cm ³)	Density (g/cm ³)
C	11.1	30 × 30 × 15	1
H	10.1		
O	76.2		
N	2.6		

1.3 방사선원의 선택

비과피검사 중 방사선투과검사에는 ¹⁹²Ir, ⁷⁵Se, ⁶⁰Co 감마선원 및 관전압 250 kV, 300 kV X선 발생장치가 주로 사용된다. 현행 원자력안전법상 야외 방사선투과검사는 ¹⁹²Ir 0.74 TBq 이하에 상응하는 방사성동위원소만을 사용할 것으로 명시되어 있다.^[9] 그러므로 본 연구에서는 ¹⁹²Ir 및 ⁷⁵Se를 사용하여 모의 모사를 진행하였으며, 각 선원의 물리적 특성은 Table 2에 나타내었다. 원자력안전법에 근거하여, X선 발생장치는 야외에서 사용할 수 없으므로 본 연구에서는 제외하였다. 또한 ⁶⁰Co은 감마상수가 ¹⁹²Ir, ⁷⁵Se 선원에 비해 매우 높아서 ¹⁹²Ir 0.74 TBq 이하에 상응하는 방사능량이 매우 낮다. 또한 감마선 조사기의 무게가 200 kg 이상으로 야외 방사선투과검사에 사용하는 것은 적절하지 않다. 그러므로 본 연구에서는 제외하였다.

Table 2. Physical Characteristics of Radiation Isotopes.

	$T_{1/2}$	E_{mean} (keV)	Gamma Ray Dose Constant (R · m ² / Ci · h)	
			Theoretical Value	Simulated Value
¹⁹² Ir	74 d	322.6	0.48	0.495
⁷⁵ Se	119 d	214.9	0.203	0.192
⁶⁰ Co	5.26 y	1067	1.33	1.265

1.4 필라멘트의 재료

현재 가장 대중화된 3D 프린팅 기술은 압출 적층 조형(FDM; Fused Deposition Modeling)방식이다. FDM 방식은 가는 실 형태의 고체 열가소성 물질을 노즐 안에서 녹여 얇은 필름 형태로 압출하여 출력한 후, 한 층씩 적층과 경화를 반복하여 원하는 형상을 출력해 나가는 방식을 말한다. 적층 노즐은 플라스틱을 녹일 수 있을 정도의 고열을 발산하고 플라스틱은 상온에서 경화하는 방식이다. 타 방식에 비해 장치의 구조와 프로그램이 간단하기 때문에 장비의 가격과 유지보수 비용이 낮으며, 다양한 소재 적용이 가능하고 대형화에 용이하여 다양한 산업 분야에 적용이 가능한 특징을 가지고 있다.^[10]

ABS, PLA, TPU, PETG, Nylon, PVA의 6가지 물성과 PLA + Al, PLA + Cu, PLA + STS, PLA + Fe, ABS + Bi, ABS + W의 6가지 혼합 물성을 이용하여 각각의 감마선에 대한 차폐특성을 납과 비교하였다. 각 필라멘트의 물성은 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Material Properties of Filament.

Materials	Composition	Density (g/cm ³)
PLA	C ₃ H ₄ O ₂	1.24
TPU	C ₃ H ₄ O ₃ CO	1.1
ABS	C ₃ H ₃ N + C ₄ H ₆ + C ₂ H ₃	1.04
PVA	CH ₂ (CH)(OH)	1.24
Nylon	C ₁₀ H ₂₀ (CO) ₂ (NH) ₂	1.2
PETG	C ₁₀ H ₈ O ₄	1.25
PLA + Cu	C ₃ H ₄ O ₂ + Cu (40%)	2.46
PLA + Al	C ₃ H ₄ O ₂ + Al (60%)	1.48
PLA + STS	C ₃ H ₄ O ₂ + Stainless Steel	2.4
PLA + Fe	C ₃ H ₄ O ₂ + Fe (40%)	2.4
ABS + Bi	C ₃ H ₃ N + C ₄ H ₆ + C ₂ H ₃ +Bi (40%)	2.7
ABS + W	C ₃ H ₃ N + C ₄ H ₆ + C ₂ H ₃ +W (40%)	4.0

2. 실험 방법

비파괴검사 중 야외 방사선투과검사의 작업환경을 모사하기 위해 현재 사용되는 감마선원의 물리적 특성을 토대로 지름 3 mm, 높이 1.5 mm 의 원

기둥 형태의 복셀 선원을 모사했다. 감마상수를 쉽게 적용하기 위해 복셀 선원으로부터 ICRU Slab Phantom 까지의 거리를 1 m 로 정한 뒤, ICRU Slab Phantom 표면에 차폐체를 붙여 모의 모사를 수행하였다.

필라멘트 차폐체는 차폐체가 없는 경우부터 200 mm 까지를 5 mm 단위로 나누어 모의 모사 하였다. 모의 모사 내 반복횟수(nps)는 10⁸번 추정하였으며, 신뢰성을 확보하기 위하여 불확도는 3% 미만 되도록 실험을 진행하였다.

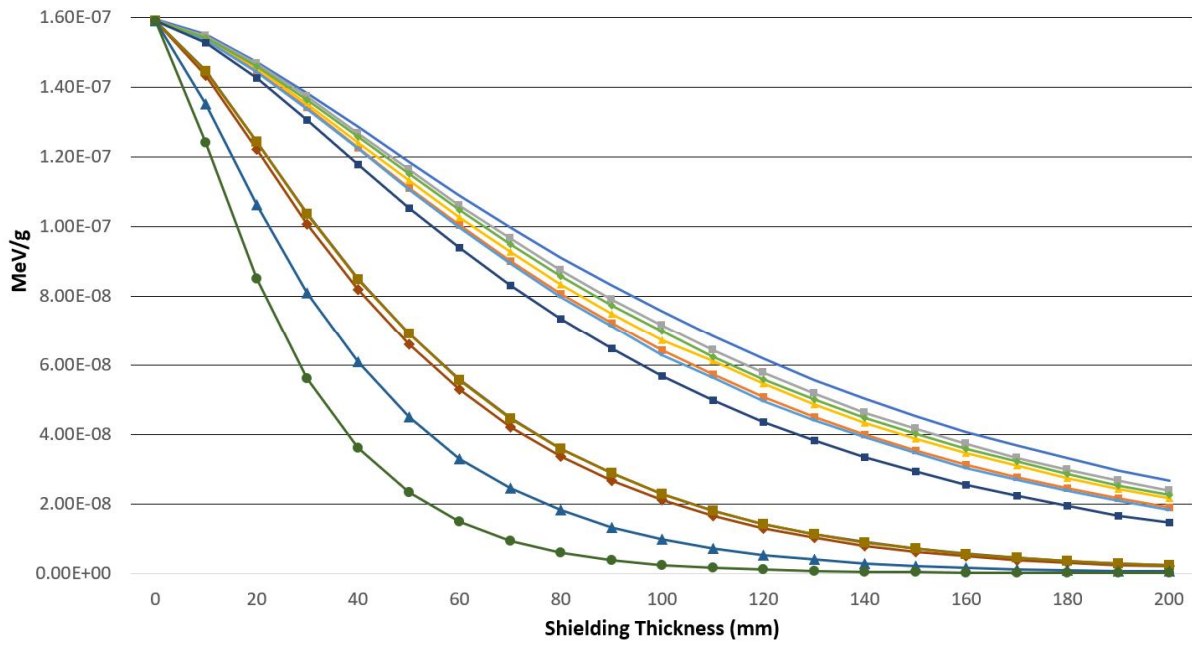
관심지점은 ICRU Slab Phantom의 깊이 10 mm 지점으로 설정하였으며, 관심지점 선량 번호(Tally specification cards)는 F6 번을 이용하여 각 물성의 두께에 따른 흡수된 에너지 분포를 단위 질량 당 흡수된 에너지 (MeV/g)로 획득하였다. 또한 필라멘트의 제1 반가층과 제2 반가층을 측정하여, 각 필라멘트의 차폐력을 평가하였다.

III. RESULT

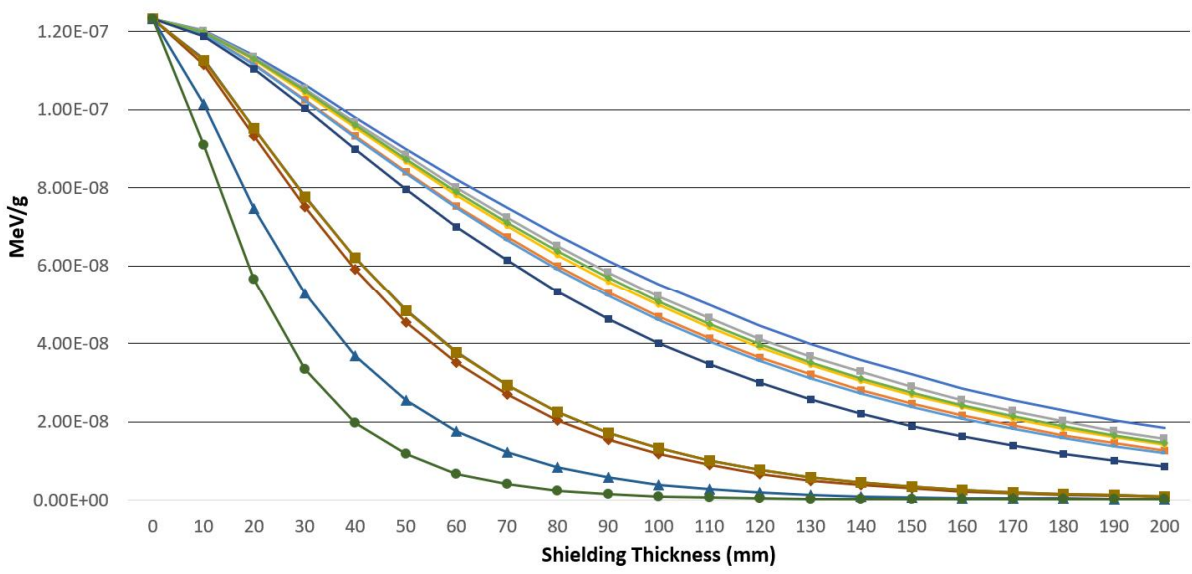
본 연구는 방사선투과검사에 사용되는 ¹⁹²Ir, ⁷⁵Se 선원에 대하여 차폐체 재질 변화 및 두께에 따른 에너지 흡수 분포를 분석하였다. 핵종 별 차폐체 두께에 따른 에너지 분포는 Fig. 1에 나타내었다.

Table 4. Thickness of Half Value Layer by Shielding Material.

Material	¹⁹² Ir		⁷⁵ Se	
	1st HVL (mm)	2nd HVL (mm)	1st HVL (mm)	2nd HVL (mm)
ABS	94.16	68.04	89.41	64.00
Nylon	81.12	62.75	77.60	55.47
PETG	89.43	64.78	85.01	59.98
PLA	85.54	62.47	81.68	57.45
PVA	80.04	58.41	76.40	54.28
TPU	87.42	63.40	82.99	57.84
PLA + Al	73.46	53.76	69.88	48.26
PLA + Cu	41.42	31.20	38.34	26.57
PLA + STS	43.21	32.23	40.42	27.89
PLA + Fe	43.20	32.22	40.32	27.83
ABS + Bi	30.64	23.38	25.69	19.14
ABS + W	21.78	16.19	18.40	13.29



(a) ¹⁹²Ir



(b) ⁷⁵Se

Fig. 1. The energy distribution according to shielding material and thickness of ¹⁹²Ir and ⁷⁵Se.

흡수체를 투과한 후의 강도가 투과 전의 강도의 1/2(50%)이 되는 흡수체의 두께를 반가층(HVL; Half Value Layer)이라 하며, 반가층은 투과 전, 후의 강도나 선량률 및 차폐계산에 편리하게 이용된

다. 또한 제2 반가층은 투과한 후의 강도를 투과 전의 강도의 1/4(25%)로 줄이는데 필요한 흡수체의 추가 두께를 말한다.^[11] 각 차폐물질 별 제1 반가층 및 제2 반가층의 두께는 Table 4에 나타내었다. ¹⁹²Ir

선원의 경우, ABS + W가 21.78 mm, ABS + Bi가 30.64 mm, PLA + Cu가 41.42 mm, PLA + Fe가 43.20 mm 순으로 제1 반가층이 두꺼워지는 경향을 나타내었다. 제2 반가층의 경우 ABS + W가 16.19 mm, ABS + Bi가 23.38 mm, PLA + Cu가 31.20 mm, PLA + Fe가 32.22 mm 순으로 제2 반가층이 두꺼워지는 경향을 나타내었다. 또한 제2 반가층은 제1 반가층 대비 72.26 ~ 77.35%의 두께로 단위 질량 당 흡수되는 에너지를 절반으로 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

^{75}Se 선원도 제1 반가층과 제2 반가층을 찾아보았다. 제1 반가층의 경우, ABS + W가 18.40 mm, ABS + Bi가 25.69 mm, PLA + Cu가 38.34 mm, PLA + Fe가 40.32 mm 순으로 제1 반가층이 두꺼워지는 경향을 나타내었다.

제2 반가층의 경우, ABS + W가 13.29 mm, ABS + Bi가 19.14 mm, PLA + Cu가 26.57 mm, PLA + Fe가 27.83 mm 순으로 제2 반가층이 두꺼워지는 경향을 나타내었다. 또한 제2 반가층은 제1 반가층 대비 69.00 ~ 74.50%의 두께로 단위 질량당 흡수되는 에너지를 절반으로 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

IV. DISCUSSION

현재 방사선투과검사 분야에서는 납을 대표적인 차폐체로 이용하고 있다. 납은 원자번호와 밀도가 높아 차폐 효과가 우수하지만, 중량이 매우 무겁고 납 중독 등의 환경적인 문제를 가지고 있다. 그러므로 본 연구에서는 MCNPX를 이용한 모의 모사를 통해, 기존의 납 차폐체가 아닌 3D 프린터 필라멘트를 이용한 맞춤형 방사선 차폐체 제작을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

비파괴검사 중 방사선투과검사의 작업환경 모사를 위해 지름 3 mm, 높이 1.5 mm의 원기둥 형태의 복셀 선원을 모사하였다. 선원으로부터 ICRU Slab Phantom까지의 거리를 1 m로 정한 뒤, ICRU Slab Phantom 표면에 차폐체를 붙여 모의 모사를 수행하였다. 관심 지점은 ICRU Slab Phantom의 깊이 10 mm 지점이며, 3D 필라멘트 재료 12가지의 핵종별 단위 질량 당 흡수하는 에너지를 차폐체가

없는 경우부터 200 mm까지 5 mm 단위로 나누어 비교하였다.

관심 지점에서의 필라멘트 차폐물질의 반가층은 ^{192}Ir 의 경우 ABS + W의 반가층이 21.78 mm로 가장 얇게 나타났으며, 이는 반가층이 가장 두꺼운 ABS와 비교했을 때 4.32배 우수하다. ^{75}Se 또한 ABS + W의 반가층이 18.40 mm로 가장 얇게 나타났으며, 이는 반가층이 가장 두꺼운 ABS와 비교했을 때 4.86배 우수하다. 또한 제1 반가층에 비해 제2 반가층의 두께는 ^{192}Ir 의 경우 29.28 ~ 38.39% 얇게 나타났으며, ^{75}Se 의 경우 34.23 ~ 44.93% 얇게 나타났다.

본 연구를 통해 3D 프린트를 이용하여 필라멘트 차폐체를 제작하여 방사선투과검사 종사자에게 적용할 경우 개인에게 맞춤형이 가능한 차폐체 제작이 가능할 것으로 예상된다.

NCRP Report No.49와 방사성동위원소 핵종정보에 따르면 납의 이론적 반가층은 ^{192}Ir 선원에서 방출되는 감마선의 경우 6 mm, ^{75}Se 선원에서 방출되는 감마선의 경우 1 mm 미만으로 명시하고 있다.^[12,13] 이를 토대로 12개의 필라멘트 차폐물질을 몬테카를로 기법으로 시뮬레이션 하여 측정된 결과 차폐물질의 반가층은 납에 비해 ^{192}Ir 선원의 경우 3.63 ~ 15.69배, ^{75}Se 선원의 경우 18.4 ~ 89.4배 두꺼운 것으로 나타났다. 이는 감마선 차폐에 있어 중요한 요소인 낮은 밀도와 낮은 원자번호의 구성 조적이 납에 비하여 좋지 못한 차폐 효과를 나타낸 것으로 판단된다. 또한 방사선투과검사용 감마선원에서 방출되는 높은 에너지로 인해, 3D 프린터 필라멘트 재료의 차폐 효과는 납에 대비하여 다소 낮은 결과를 보인 것으로 사료된다.

이흥연, 김동현의 연구에 따르면, FDM 방식의 3D 프린터에서 사용 가능한 열가소성 플라스틱 재료의 경우 차폐두께가 증가할수록 차폐 효과는 점차적으로 향상된다. 그러나 감마선의 에너지가 증가할수록 납에 비해 실효원자번호와 비중이 낮아 광전효과, 콤프턴 산란 등의 상호작용 발생 확률이 감소되어 차폐 효과가 떨어진다고 나타내고 있다.^[14]

또한 이강우, 문동현의 연구에 따르면, 기존의

3D 필라멘트는 금속 성질이 나타나지 않으며 공기 노출 시 산화(oxidation)가 발생한다. 또한 필라멘트 형태로의 압출 성형이 어려운 문제점이 있어, 금속 또는 금속의 합금 분말을 포함하는 3D프린터용 복합 필라멘트를 제시하고 있다.^[15]

더하여 조용인의 연구에 따르면, 시중에 판매되고 있는 금속이 함유된 필라멘트 ABS + Bi, ABS + W, PLA + Al 등을 이용하여 차폐 효과를 분석한 결과, 눈과 생식샘과 같은 결정 장기에 대해 유효한 차폐 효과가 있는 것으로 나타내고 있다.^[16]

향후 본 연구를 통해 평가한 3D 프린터 필라멘트를 이용한 방사선 차폐기구 제작을 위해서는, 3D 프린터를 통해 실제 제작된 출력물의 성능 평가가 필요할 것으로 사료된다. 또한 연구에 사용된 필라멘트를 제외한 원자번호와 밀도가 높은 필라멘트에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 3D 프린터의 필라멘트 재료를 이용한 방사선 차폐체 제작에 대한 기초 자료를 제공하고자, 필라멘트 재질 및 두께에 따라 MCNPX를 이용한 모의 모사를 수행하였다.

본 연구를 통해 각 필라멘트별 차폐력을 비교한 결과 ABS + W에서 가장 우수한 차폐 효과를 나타내었으며, ABS + Bi, PLA + Cu, PLA + Fe 의 혼합물 순으로 높은 차폐 효과를 나타내었다. 그러나 필라멘트 차폐기구의 차폐 효과는 기존에 차폐체로서 널리 사용되고 있는 납과 대비해서는 다소 낮은 결과를 보였다. 향후 3D 프린팅 기술을 이용한 방사선투과검사 분야 내 맞춤형 방사선 차폐기구 제작 시, 본 연구가 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Reference

[1] M. J. Bae, H. M. Lee, "A Study on Radiation Shielding Materials for Protective Garments using Monte Carlo Simulation," Journal of Korean Society for Quality Management, Vol. 7, No. 3, pp. 239-252, 2015.

[2] K. J. Ahn, "The Study on Design of lead monoxide

based radiation detector for Checking the Position of a Radioactive Source in an NDT," Journal of Korean Society of Radiology, Vol. 11, No. 4, pp. 183-188, 2017.

- [3] <http://www.kandt.or.kr/>
- [4] http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=127&tblId=T_X_10504_A068&vw_cd
- [5] K. T. Kim, S. S. Kang, S. C. Noh, B. J. Jung, C. H. Cho, Y. J. 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.
- [6] K. T. Kim, S. S. Kang, S. C. Noh, B. J. Jung, J. K. Park, "The Study on Design of Customized Radiation Protective Layer for Medical Radiation Dose Reduction," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 8, No. 6, pp. 333-338, 2014.
- [7] K. J. Kim, J. G. Shim, "A Study on the Shielding Element Using Monte Carlo Simulation," Journal of Radiological Science and Technology, Vol. 40, No. 2, 2017.
- [8] K. S. Seol, "Evaluation of equivalent mechanical properties of polymer parts fabricated by fused deposition modeling," The Graduate School of Dong-Eui University, Master thesis, '2018.
- [9] <http://www.law.go.kr/>
- [10] K. J. Na, "A Study on the Reproducibility of Exposure Doses and Half Value Layer by Shield for Medical X-ray Generator," The Graduate School of Mokpo National University, Master thesis, 2010.
- [11] Perry Sprawls, Jr, *Physical Principles of Medical Imaging*, 2nd Ed.. Perry Sprawls and Associates, Inc. pp. 161-164, 1995.
- [12] NCRP, "Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X-Rays and Gamma-Rays up to 10 MeV", National Council on Radiation Protection and Measurements, Vol. 6, No. 49, pp. 87-89, 1976.
- [13] M. C. Lee, *A Book of Radionuclide Information*, Korean Association for Radiation Application, pp. 123-141, 2010.
- [14] H. Y. Lee, D. H. Kim, "Assessment of Radiation

Shielding Ability of Printion Materials Using 3D
Printion Technology: FDM 3D Printing Technology”
Journal of Korean Society or Radiology, Vol. 12,
No. 7, 2018.

[15] <http://kportal.kipris.or.kr/>

[16] Y. I. Cho, "A Study on the Design Method of
Radiation Shielding Devices Using 3D Printing
Material," The Graduate School of Catholic
University of Pusan, Ph.D. thesis pp. 180-182,
2019.

3D 프린터 필라멘트 재료를 이용한 야외 방사선투과검사용 차폐체 개발을 위한 연구

문익기,¹ 신상화^{2,*}

¹고려검사기술(주) 기업부설연구소

²부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

요약

본 연구에서는 야외 방사선투과검사 시 방사선작업종사자의 맞춤형 차폐체 제작을 위해 3D 프린터 필라멘트의 재질 및 두께에 대한 차폐 분석을 수행하였다. MCNPX를 이용한 모의 모사를 통해 복셀 선원 ¹⁹²Ir, ⁷⁵Se를 선택 후 ICRU Slab Phantom에 차폐체를 부착하고, 선원과 Slab Phantom의 거리를 100 cm으로 설정하였다. 12 개의 차폐물질에 대하여 차폐물질이 없는 경우부터 200 mm 까지 5 mm 단위로 나누어 각 차폐물질별 단위 질량 당 흡수되는 에너지를 평가하였다. 그 결과 모든 방사선투과검사용 감마선원에서 ABS + Tungsten, ABS + Bismuth, PLA + Copper, PLA + Iron 순으로 차폐 효과가 높은 것으로 나타났다. 그러나 납에 비해서는 다소 낮은 차폐 효과를 보였다. 향후 본 연구를 토대로 원자번호와 밀도가 높은 필라멘트 재료에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

중심단어: 방사선투과검사, 3D 프린터용 필라멘트, MCNPX, 차폐체

구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	문익기	고려검사기술(주) 기업부설연구소	연구소장
(교신저자)	신상화	부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과	교수