

Evaluation of Metal Composite Filaments for 3D Printing

Ki-Seok Park¹, Woo-Jeon Choi², Dong-Hyun Kim^{3,*}

¹Department of Radiological Science, Busan Haeundae PAIK Hospital

²Department of Radiological Science, Busan BON Hospital

³Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: September 15, 2021. Revised: October 25, 2021. Accepted: October 31, 2021

ABSTRACT

It is hard to get Filaments which are materials of the 3D printing Fused Deposition Modeling(FDM) method as radiation shielding in Korea. and also related research is insufficient. This study aims to provide basic data for the development of radiation shields using 3D printing by evaluating the physical properties and radiation shielding capabilities of filaments containing metal particles. after selecting five metal filaments containing metal particle reinforcement materials, the radiation shielding rate was calculated according to the Korean Industrial Standard's protective equipment test method to evaluate physical properties such as tensile strength, density, X-ray Diffraction(XRD), and weight measurement using ASTM's evaluation method. In the tensile strength evaluation, PLA + SS was the highest, ABS + W was the lowest, and ABS + W is 3.13 g/cm³ which value was the highest among the composite filaments in the density evaluation. As a result of the XRD, it may be confirmed that the XRD peak pattern of the particles on the surface of the specimen coincides with the pattern of each particle reinforcing material powder metal, and thus it was confirmed that the printed specimen contained powder metal. The shielding effect for each 3D printed composite filament was found to have a high shielding rate in proportion to the effective atomic number and density in the order of ABS + W, ABS + Bi, PLA+SS, PLA + Cu, and PLA + Al. In this study, it was confirmed that the metal particle composite filament containing metal powder as a reinforcing material has radiation shielding ability, and the possibility of using a radiation shielding filament in the future.

Keywords: 3D Printing, Fused Deposition Modeling, Radiation Shielding, Metal Filament, Compostie Filament

I. INTRODUCTION

3D프린팅은 재료를 연속적으로 적층하여 3차원 물체를 설계하고 제작할 수 있는 장점이 있다. 방사선 차폐능력이 있는 재료를 사용하여 3D프린팅을 하면 방사선 차폐체 제작이 가능하지만 현재 국내에는 방사선 차폐성능을 지니고 있는 3D프린팅 재료인 필라멘트는 판매되지 않고 있는 실정이며 이에 관한 제작연구도 미비한 실정이다^[1]. 따라서 FDM방식 3D프린터를 통하여 출력된 금속 필라멘트가 방사선에 대한 차폐능력을 가지는지 평가하

고 새로운 금속 필라멘트를 개발하여 사용함으로써 향후 3D프린트를 활용하여 맞춤형 방사선 차폐체 제작 시 다양한 활용방안에 대한 기초자료를 제공하려 한다. 본 연구는 기존 시판되고 있는 금속 분말을 강화재로 하는 금속 복합필라멘트의 물성 및 방사선 차폐능력을 평가하여 맞춤형 차폐체 제작의 가능성을 파악한다. FDM방식은 타 방식에 비해 장치의 구조와 프로그램이 간단해 장비 가격과 유지보수 비용이 낮으며 다양한 제품 제작이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 장점 때문에 국내의 프린트 산업의 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며 주된 재료로 사용되는 열가소성 플라스틱이 가

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

장 높은 점유율을 차지하고 있다. 하지만 프린팅된 고분자 제품은 기하학적 복잡성을 가질 수 있고 기계적 강도와 기능성 부재는 광범위한 응용분야의 여전히 큰 과제로 남아 있다. 이에 다양한 분야에서 요구되는 기계적인 특성 및 기능적인 특성을 구현하기 위해서 고분자 기지재에 단섬유 또는 기능적 입자의 강화재로 복합시키는 복합과정의 재료화를 하는 게 가장 효율적이며 효과적인 방법론으로 거론되고 있다. 그 중 금속 입자강화 복합재료는 주로 금속 분말을 입자강화재로 사용하여 만든 복합재료의 필라멘트가 있다. 금속의 높은 원자번호와 밀도는 방사선의 차폐효과를 가져올 수 있다. 이에 본 연구는 금속 입자가 함유된 필라멘트의 물성과 방사선의 차폐능력을 평가하고 3D 프린트를 통해 방사선 차폐체의 제작의 기초자료를 제시하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험 재료

1.1 기지재와 강화재

실험에 사용된 금속 복합필라멘트의 기지재로 PLA와 ABS를 사용하였으며 강화재로 Al powder, Cu powder, Stainless steel powder, Bismuth powder, tungsten powder를 사용하였다.



Fig. 1. Composite Filament of Metal Reinforcement.

2. 연구 방법

2.1 금속입자 복합 필라멘트 시편 프린팅

금속 입자 강화재가 함유되어 있는 복합 필라멘트를 선정하고 FDM 방식의 3D 프린트를 이용하여 물성평가 및 방사선 차폐성능을 평가하기 위해서 시편을 설계하고 출력하였다. 시편의 모델링은 Autodesk사의 Fusion 360 Student Version을 사용하였고^[1], 인장강도 시편은 ASTM D638 IV에 준하여 설계하였으며 밀도시험에 사용되는 시편은 ASTM D792에 기준하여 30 mm × 30 mm × 3 mm, XRD 시험에 사용되는 시편은 25 mm × 25 mm × 3 mm로 설계하였다. 방사선 차폐성능 평가에 사용된 시편의 크기는 50 mm × 50 mm의 시편을 각각 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm로 설계 진행하였고, STL파일로 변환된 모델링 데이터를 기반으로 출력을 하였다^[2,3].



Fig. 2. FDM 3D Print.

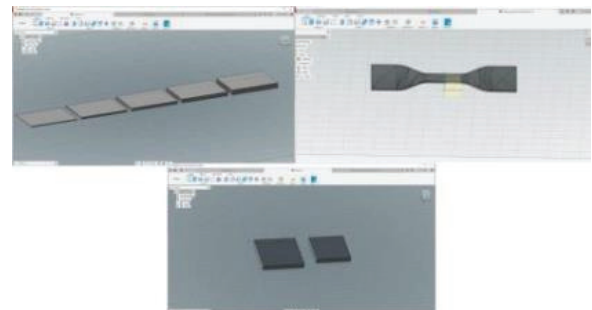


Fig. 3. 3D Printing Modeling of the Test Piece.

2.2 시편의 물성 및 차폐능력 평가

금속입자 복합재료로 프린팅 된 각 시편들을 ISO/KS A 17025 규정요건 및 시험소관리방침에 따라 운영되는 국제공인 시험 연구소인 한국고분자 연구소(Korea Polymer Testing & Research Institute, Koptri)에 의뢰하여 물성평가를 실시하였으며^[4] 차폐실험은 한국산업표준의 X선 방호용품류의 납 당량 시험방법(KS A 4025 ; 2017)에 좁은 선속 사용 시험에 적용되는 기하학적 조건과 동일하게 구현하여 실험하였으며^[5] 각 시편 출력물당 10회씩 측정하여 차폐능력을 평가하였다.

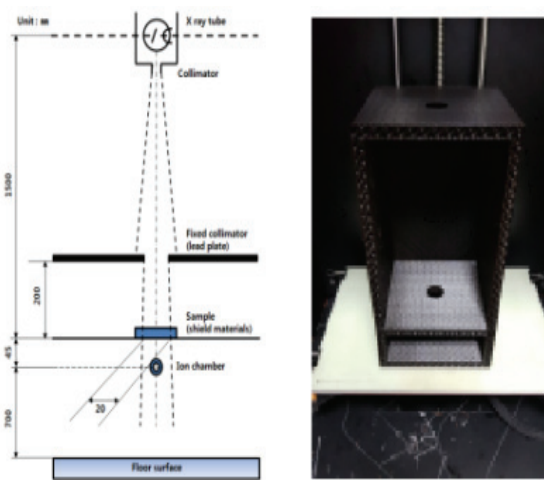


Fig. 4. Radiation Shielding Test Tool(narrow beam).

III. RESULT

1. 금속 필라멘트 시편 출력물

금속입자 강화재가 함유된 복합 필라멘트를 출력한 결과물은 Fig. 5와 같이 프린팅 되었다.

복합 필라멘트의 출력 환경 중 ABS + W가 가장 까다로웠으며, 금속 분말입자 강화재가 들어가는 라멘트는 일반적으로 사용되는 0.4 mm의 노즐은 막힘현상이 나타나 직경이 최소 0.6 mm 이상 되는 노즐이 필요 하였다. 또한 일반적으로 PLA 또는 ABS의 출력온도 환경보다 조금 더 높은 온도의 출력환경이 필요 하였다. 베드 온도는 PLA보다 ABS 일 경우 높은 온도가 필요하며 일반적인 ABS보다 약 10도 정도 높은 온도의 베드 온다가 필요하였다. 프린트의 속도는 속도가 낮을수록 베드에 안착

되는 확률이 높았으나 노즐의 온도가 낮을수록 베드에 출력물이 안착되지 않는 경향을 보였다.

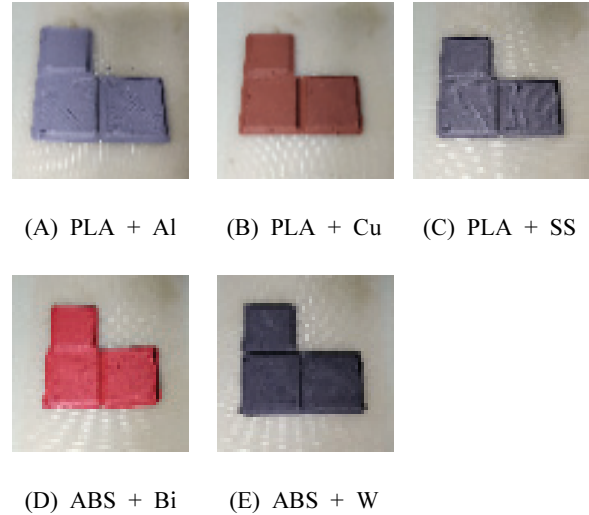


Fig. 5. 3D Printed Sample.

2. 물성 평가

금속입자 복합재료로 프린팅 된 각 시편 출력물의 인장강도 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Tensile Strength of 3D Printed Samples (unit: N/mm²)

Protocol	Mean Value	SD	CV
PLA + Al	19.61	0.58	2.94
PLA + Cu	22.93	1.02	4.46
PLA + SS	32.82	1.19	3.64
ABS + Bi	18.50	0.30	1.60
ABS + W	13.53	1.08	7.96

금속입자 복합재료로 프린팅 된 각 시편 출력물의 밀도측정 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Density of 3D Printed Samples (unit: g/cm³)

Protocol	Specific gravity	Density (Mean)	SD	CV
PLA + Al	1.162	1.159	0.002	0.15
PLA + Cu	1.940	1.934	0.002	0.09
PLA + SS	1.971	1.965	0.001	0.18
ABS + Bi	2.311	2.304	0.005	0.20
ABS + W	3.319	3.129	0.012	0.40

금속입자 복합재료로 프린팅 된 각 시편 출력물의 XRD 회절분석 결과는 Fig. 6과 같다.

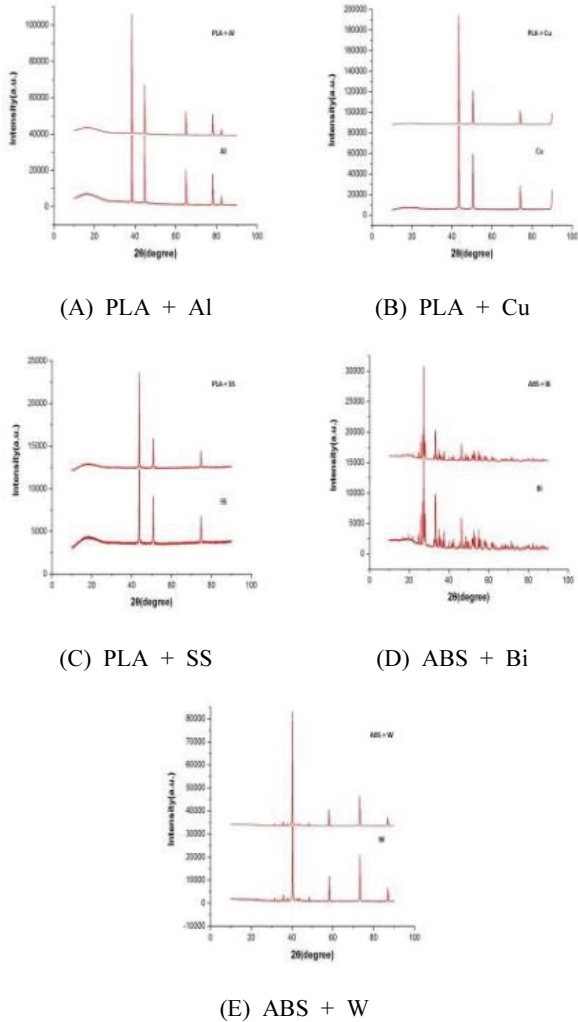


Fig. 6. X-ray Diffraction Analysis.

금속입자 복합재료로 프린팅 된 각 시편 출력물의 무게측정 결과는 Table 3과 같다.

	PLA + Al	PLA + Cu	PLA + SS	ABS + Bi	ABS + W
1	14.23	23.02	24.36	28.99	37.89
2	14.11	23.08	24.85	28.36	37.13
3	14.05	23.11	24.69	28.47	37.45
4	14.23	23.5	24.33	28.15	37.42
5	14.35	23.62	24.78	28.33	37.96
SD	0.11	0.27	0.24	0.31	0.34
Mean	14.19	23.27	24.60	28.46	37.57

3. 차폐 능력 평가

한국산업표준의 X선 방호용품류의 납 당량 시험 방법(KS A 4025; 2017)에 좁은 선속 사용 시험에 적용되는 기하학적 조건과 동일하게 구현하였으며 차폐체를 놓지 않고 실험을 하였고 관전압 60 kVp, 80 kVp, 100 kVp에서의 선량측정 결과는 Table 4와 같다.

PLA + Al 시편 출력물의 관전압 60 kVp, 80 kVp, 100 kVp에서 선량측정 결과는 Table 5와 같다.

PLA + Cu 시편 출력물의 관전압 60 kVp, 80 kVp, 100 kVp에서 선량측정 결과는 Table 6과 같다.

	60 kVp	80 kVp	100 kVp
1	0.603	1.013	1.503
2	0.599	1.015	1.502
3	0.597	1.020	1.520
4	0.600	1.013	1.522
5	0.605	1.016	1.519
Mean	0.601	1.015	1.513
SD	0.002	0.002	0.009

	Thickness	Dose (Mean)	SD	shielding rate(%)
60 kVp	1 mm	0.5586 mGy	0.004003	7.09
	2 mm	0.5160 mGy	0.001857	14.17
	3 mm	0.4790 mGy	0.003440	20.34
	4 mm	0.4783 mGy	0.003029	20.44
	5 mm	0.4178 mGy	0.001890	30.50
80 kVp	1 mm	0.9542 mGy	0.003817	6.03
	2 mm	0.8918 mGy	0.007754	12.17
	3 mm	0.8386 mGy	0.004860	17.41
	4 mm	0.8351 mGy	0.004896	17.76
	5 mm	0.7459 mGy	0.005125	26.54
100 kVp	1 mm	1.4388 mGy	0.008786	4.92
	2 mm	1.3598 mGy	0.004658	10.14
	3 mm	1.2880 mGy	0.009110	14.88
	4 mm	1.2816 mGy	0.006731	15.31
	5 mm	1.1664 mGy	0.001808	22.92

Table 6. Absorbed dose of PLA + Cu

	Thickness	Dose (Mean)	SD	shielding rate(%)
60 kVp	1 mm	0.2388 mGy	0.001965	60.27
	2 mm	0.0891 mGy	0.000473	85.18
	3 mm	0.0520 mGy	0.000361	91.35
	4 mm	0.0358 mGy	0.000273	94.05
	5 mm	0.0221 mGy	0.000091	96.33
80 kVp	1 mm	0.4944 mGy	0.002060	51.31
	2 mm	0.2367 mGy	0.001126	76.69
	3 mm	0.1677 mGy	0.000572	83.49
	4 mm	0.1297 mGy	0.000469	87.23
	5 mm	0.0940 mGy	0.000440	90.74
100 kVp	1 mm	0.8325 mGy	0.018013	44.98
	2 mm	0.4815 mGy	0.003425	68.18
	3 mm	0.3739 mGy	0.001625	75.29
	4 mm	0.2943 mGy	0.001877	80.55
	5 mm	0.2271 mGy	0.001474	84.99

PLA + SS 시편 출력물의 관전압 60 kVp, 80 kVp, 100 kVp에서 선량측정 결과는 Table 7과 같다.

ABS + Bi 시편 출력물의 관전압 60 kVp, 80 kVp, 100 kVp에서 선량측정 결과는 Table 8과 같다.

Table 7. Absorbed Dose of PLA + SS

	Thickness	Dose (Mean)	SD	shielding rate(%)
60 kVp	1 mm	0.2416 mGy	0.001714	59.82
	2 mm	0.1272 mGy	0.000518	78.84
	3 mm	0.0819 mGy	0.000319	86.37
	4 mm	0.0552 mGy	0.001001	90.82
	5 mm	0.0409 mGy	0.000849	93.19
80 kVp	1 mm	0.4929 mGy	0.002357	51.46
	2 mm	0.3073 mGy	0.001576	69.74
	3 mm	0.2212 mGy	0.001147	78.22
	4 mm	0.1698 mGy	0.001252	83.27
	5 mm	0.1372 mGy	0.000577	86.49
100 kVp	1 mm	0.8401 mGy	0.003636	44.48
	2 mm	0.5778 mGy	0.005772	61.81
	3 mm	0.4460 mGy	0.004256	70.52
	4 mm	0.3687 mGy	0.001924	75.64
	5 mm	0.3128 mGy	0.001808	79.33

Table 8. Absorbed dose of ABS + Bi

	Thickness	Dose (Mean)	SD	shielding rate(%)
60 kVp	1 mm	0.0515 mGy	0.000225	91.44
	2 mm	0.0135 mGy	0.000037	97.76
	3 mm	0.0067 mGy	0.000022	98.89
	4 mm	0.0046 mGy	0.000042	99.23
	5 mm	0.0036 mGy	0.000037	99.40
80 kVp	1 mm	0.1562 mGy	0.000847	84.62
	2 mm	0.0642 mGy	0.000163	93.67
	3 mm	0.0347 mGy	0.000115	96.59
	4 mm	0.0214 mGy	0.000119	97.90
	5 mm	0.0144 mGy	0.000093	98.58
100 kVp	1 mm	0.3286 mGy	0.001404	78.28
	2 mm	0.1570 mGy	0.000660	89.62
	3 mm	0.0927 mGy	0.000601	93.87
	4 mm	0.0623 mGy	0.000290	95.88
	5 mm	0.0410 mGy	0.000123	97.29

ABS + W 시편 출력물의 관전압 60 kVp, 80 kVp, 100 kVp에서 선량측정 결과는 Table 9와 같다.

Table 9. Absorbed Dose of ABS + W

	Thickness	Dose (Mean)	SD	shielding rate(%)
60 kVp	1 mm	0.0363 mGy	0.000084	93.96
	2 mm	0.0107 mGy	0.000029	98.22
	3 mm	0.0056 mGy	0.000035	99.07
	4 mm	0.0042 mGy	0.000029	99.31
	5 mm	0.0037 mGy	0.000010	99.38
80 kVp	1 mm	0.1191 mGy	0.000475	88.27
	2 mm	0.0468 mGy	0.000146	95.39
	3 mm	0.0247 mGy	0.000150	97.56
	4 mm	0.0158 mGy	0.000050	98.44
	5 mm	0.0123 mGy	0.000069	98.79
100 kVp	1 mm	0.2316 mGy	0.001343	84.69
	2 mm	0.0940 mGy	0.000504	93.79
	3 mm	0.0485 mGy	0.000222	96.79
	4 mm	0.0305 mGy	0.000069	97.98
	5 mm	0.0222 mGy	0.000123	98.53

금속입자 복합 필라멘트의 조사 조건별 차폐율은 60 kVp 일 때 ABS + W는 가장 높은 차폐율을 보였으며 ABS + Bi, PLA + Cu, PLA + SS, PLA + Al등으로 나타났다. 80 kVp 일 때 ABS + W 가장 높은 차폐율을 보였으며 ABS + Bi, PLA + Cu, PLA + SS, PLA + Al등으로 나타났다. 100 kVp일 때 역시 ABS + W 가장 높은 차폐율을 보였으며 ABS + Bi, PLA + Cu, , PLA + SS, , PLA + Al등으로 나타났다. 차폐체 두께에 따른 금속입자 복합 필라멘트의 차폐율은 두께가 증가할수록 차폐율도 증가하는 경향을 보였다⁶⁾. 특히 입자강화재중 비스무트와 텅스텐이 함유되어있는 복합필라멘트는 1 mm 부터 90%이상의 차폐율을 보여주었다. 이는 높은 실효원자번호로 인해 나타난 결과라 생각된다⁷⁾.

IV. DISCUSSION

3D 프린트는 디지털 데이터를 사용하여 평면에 재료를 쌓아 올리는 기술로 ASTM/ISO의 분류에 따라 7가지로 분류되며 가장 보편적으로 사용되는 기술은 FDM방식으로 타 방식에 비해 구조가 간단하고 낮은 유지보수비용이 들어 국내 프린트 산업의 가장 높은 점유율을 차지하고 있고 FDM방식의 주된 재료로 사용되는 필라멘트가 가장 높은 점유율을 차지하고 있다. 열가소성 플라스틱은 기본적으로 고분자 기지재를 포함하고 있고 대표적으로 PLA, ABS, Nylon, TPE등이 있다. 하지만 고분자 기지재인 필라멘트로 제품을 구현하기 위해서는 많은 제약이 따르기 때문에 강화재를 첨가하여 기계적, 기능적 향상을 위한 연구들이 진행되고 있다. 이에 본 연구는 금속필라멘트를 선정하여 차폐능력을 연구하여 이를 기반으로 차폐용 필라멘트를 제작하고 물성 및 방사선 차폐능력을 평가하였다⁸⁾. 본 연구에 선정된 필라멘트는 PLA + Al, PLA + Cu, PLA + SS, ABS + Bi, ABS + W이며 3D프린트를 이용하여 시편을 출력하였다. 금속입자 강화재가 함유된 복합 필라멘트의 인장강도는 바탕재의 능력에 따라 차이를 보였으며, PLA가 ABS보다 인장강도가 우수하다. 각 필라멘트의 출력의 난이도는 PLA보다 ABS가 더 높고, ABS 계열 시편 출력시 수축이 잘 일어나 베드의 온도가 높아질수록 성공확률이 증가 하였다. 복합 필라멘트의 밀도는

ABS + W가 3.13g/cm³으로 가장 높게 나타났으며 방사선 차폐율 역시 가장 높게 나타났다. X선 회절 분석은 Bragg law를 이용하여 검사하는 방법으로서 X선이 결정에 부딪히면 그중 일부는 회절을 일으키고 그 회절각과 강도를 측정하여 결정성을 확인하는 방법이다. 본 연구에 사용된 금속 필라멘트의 회절분석 peak값이 각각의 강화재인 알루미늄, 구리, 스테인리스, 비스무스, 텅스텐 분말의 peak와 일치함을 확인할 수 있었다. 무게 측정 결과 밀도가 높은 순으로 무게가 높았으며, ABS + W가 가장 무겁게 나타났다. 방사선 차폐능력평가 결과 ABS + W, ABS + Bi에서 가장 높은 방사선 차폐율을 보였으며 이는 MCNP를 통하여 시행된 선량감소 연구의 결과와 일치하여⁹⁾ 높은 실효원자번호와 높은 밀도가 차폐율을 향상시킨다는 것을 확인하였다^{7,9)}. 금속 입자 강화재가 사용된 복합 필라멘트의 차폐능력 평가에 대해 최근 연구되어지기 시작했으며, 본 연구를 통해 금속입자 강화재의 복합필라멘트가 방사선이 차폐된다는 것을 증명하였다. 이를 토대로 다양한 바탕재와 금속입자 강화재의 조합을 통하여 용도에 맞는 3D프린트 필라멘트 개발의 기초자료에 사용될 것이라 생각된다.

V. CONCLUSION

금속복합 필라멘트 중 인장강도는 PLA + SS가 가장 높고 ABS + W가 가장 낮았으며, 밀도는 ABS + W 가 3.13 g/cm³으로 가장 높게 나타났다. XRD 결과 시편의 표면의 입자의 XRD peak 패턴이 각 입자강화재 분말 금속의 패턴과 일치함을 확인할 수 있어 프린트된 시편이 분말금속이 함유되었음을 확인하였다. 3D 프린트 복합 필라멘트별 차폐효과는 ABS + W, ABS + Bi, PLA + SS, PLA + Cu, PLA + Al의 순서로 실효원자번호 밀도에 비례하여 높은 선량감소효과를 보였다

Acknowledgement

본 연구는 2021년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의해 수행되었습니다.

Reference

- [1] K. T. Kim, S. S. Kang, S. C. Noh, B. J. Jeong, 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>
- [2] W. J. Choi, S. Y. Ye, D. H. Kim, "Making Aids of Magnetic Resonance Image Using 3D Printing Technology", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 10, No. 6, pp. 403-409, 2016. <https://doi.org/10.7742/jksr.2016.10.6.403>
- [3] H. G. Kim, J. H. Yoon, S. D. Choi, "Study on 3D Printer Production of Auxiliary Device for Upper Limb for Medical Imaging Test", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 38, No. 4, pp. 389-394, 2015. <https://doi.org/10.17946/JRST.2015.38.4.08>
- [4] K. S. Seol, B. H. Jo, B. C. Shin, S. W. Jang, "Infill Print Parameters for Mechanical Properties of 3D Printed PLA Parts", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 17, No. 4, pp. 9-16, 2018. <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.4.009>
- [5] K. S. Chon, "Monte Carlo Simulation for Radiation Protection Sheets of Pb-Free", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 11, No. 4, pp. 189-195, 2017. <https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.4.189>
- [6] S. S. Kang, K. T. Kim, S. C. Noh, B. J. Jeong, 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. <https://doi.org/10.7742/jksr.2014.8.6.333>
- [7] S. C. Kim, K. T. Kim, J. K. Park, "Barium Compounds through Monte Carlo Simulations Compare the Performance of Medical Radiation Shielding Analysis", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 7, No. 6, pp. 403-408, 2013. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2013.7.6.403>
- [8] R. S. Kaundal, "Comparative Study of radiation shielding parameters for bismuth borate glasses. *Materials Research*", *SciELO* Vol. 19, No. 4, pp. 776-780, 2016.
- [9] S. W. Yang, K. B. Park, Y. J. Heo, J. K. Park, "Evaluating the Reduction of Spatial Scattering based on Lead-free Radiation Shielding Sheet using MCNPX Simulation", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 14, No. 4, pp. 367-373, 2020. <https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.4.367>

3D 프린팅용 금속 입자 필라멘트의 물성 및 차폐 능력 평가

박기석¹, 최우전², 김동현^{3,*}

¹해운대백병원 영상의학과

²부산본병원 영상의학과

³부산가톨릭대학교 방사선학과

요약

3D 프린팅 FDM방식의 재료인 필라멘트 중 차폐성능을 지닌 필라멘트는 국내에 판매되지 않고 있으며 관련 연구도 미비하다. 이에 본 연구는 금속 입자가 함유된 필라멘트의 물성과 방사선의 차폐능력을 평가하여 3D 프린트를 이용한 방사선 차폐체 개발의 기초자료를 제공하고자 한다. 금속입자 강화재가 함유된 금속 필라멘트 5가지를 선정 후 ASTM의 평가방법을 이용하여 인장강도, 밀도, XRD, 무게측정 등 물성을 평가하고 방사선 차폐능력을 알아보기 위하여 한국산업표준의 방호용구류 시험방법에 따라서 방사선 차폐율을 구하였다. 인장강도는 PLA + SS가 가장 높았고 ABS + W가 가장 낮았으며 밀도는 ABS + W가 3.13 g/cm³으로 가장 높게 나타났다. XRD결과 시편의 표면의 입자의 XRD peak 패턴이 각 입자 강화재 분말 금속의 패턴과 일치함을 확인 할 수 있어 프린트된 시편이 분말금속이 함유 되었음을 확인하였다. 3D 프린트 복합 필라멘트별 차폐효과는 ABS + W, ABS + Bi, PLA + SS, PLA + Cu, PLA + Al의 순서로 실효원자번호와 밀도에 비례하여 차폐율이 높게 나타났다. 본 연구에서는 강화재로 금속 분말이 함유된 금속입자 복합 필라멘트는 방사선의 차폐능력을 가지는 것이 확인되었으며 향후 방사선 차폐용 필라멘트의 사용가능성을 확인하였다.

중심단어: 3D 프린팅, FDM 방식, 방사선 차폐체, 금속 필라멘트, 복합 필라멘트

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	박기석	해운대 백병원 영상의학과	방사선사
(공동저자)	최우전	부산본병원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	김동현	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수