

Development of BMD Phantom using 3D Printing

Junho Lee,¹ Kwan-Yong Choi,¹ Sung-Yong Hong^{2,*}

¹Department of Biomedical Engineering, Chungnam National University

²Department of Radio and Information Communications Engineering, Chungnam National University

Received: February 12, 2019. Revised: April 26, 2019. Accepted: April 30, 2019

ABSTRACT

DXA is the most commonly used BMD examination equipment with the best performance on reflecting the biological alteration with tiny change of bone density. In spite of the importance of the quality control to maintain the accuracy and precision of the examination, considerable number of hospitals are not conducting QC due to the difficulty and high cost of the phantom product. This study develops the cross revision phantom with 3D printer and the change of the degree of infilling filaments which can be readily secured, and provides the usefulness assessment of the developed phantom by comparing with existing products. The Hounsfield Units of ABS, TPU, PLA, 30% Cu-PLA, and 30% Al-PLA are assessed. The Hounsfield Units result at infilling rate 100% was -149.74 ± 2.36 , -55.62 ± 7.14 , -7.68 ± 3.82 , 87.53 ± 1.07 , and 1795.20 ± 16.15 . The L1, L2, L3 BMD of 3D printing phantom with linear regression model were 0.620 ± 0.010 g/cm², 1.092 ± 0.025 g/cm², 1.554 ± 0.026 g/cm² which are statistically relevant to the existing phantom products. This result provides the base line data for various medical phantom produce and capability of proper quality control of DXA equipment.

Keywords: 3D printing, Medical phantom, DXA, Cross-calibration, Hounsfield units

I . INTRODUCTION

의학 진단 도구로 사용되는 X-ray, 전산화단층촬영(CT; Computed Tomography), 이중에너지 방사선 흡수법(DXA; Dual energy X-ray Absorptiometry) 등 방사선 발생장치는 객관적인 영상을 의료진에게 제공하고 사실에 근거한 질병의 진단 및 치료를 가능하게 하여 전 세계적으로 의료방사선의 사용빈도 및 유효선량은 꾸준한 증가 추세에 있다.^[1-5] 그중 골밀도(BMD; Bone Mineral Density)는 골다공증을 진단하는 주요 요소 중의 하나로 이를 정확히 측정하는 것은 골절의 예방 및 치료에 있어 매우 중요하다.^[6] 일반적으로 골밀도 측정에는 DXA를 가장 널리 사용하고 있으며, 작은 골량의 변화로 발생하는 생물학적 변화를 가장 잘 반영할 수 있어 임상에서 우수한 성능을 발휘하고 있다.^[7,8] 골밀도 측정장비

의 정도관리는 골밀도 검사의 정확도와 정밀도의 유지를 위하여 필수적으로 수행되어야 하지만 장비 등의 관리가 잘 이루어지지 않아 골밀도 측정값이 정확히 측정되지 않는 경향이 있어 오진의 위험성을 내포하고 있다.^[9] 또한 방사선을 이용한 인체 진단 장비는 사회적 경제적인 요소들을 감안하여 방사선 피폭의 수준을 합리적으로 달성 가능한 한 감소시킨다는 ALARA(As Low As Reasonably Achievable) 원칙을 준수하여야 하며 관계 의료진들은 환자 선량을 최적화하기 위한 노력을 다각도로 수행하여야 한다.^[10] 이를 위해 의료기관들은 제조사 제공 DXA 팬텀 등으로 정도관리를 수행하고 있지만, 제조사 제공 DXA 팬텀은 제조사 기계의 특성에 맞게 고안되는 문제가 있다. 이를 보완하기 위해 장치마다 호환이 가능한 범용 팬텀의 개발이 이루어지고 있으나, 범용 팬텀은 고가의 가격으로 보급률이 떨어져 병원마다 보유하기 쉽지 않은 실정이

* Corresponding Author: Sung-Yong Hong E-mail: syhong@cnu.ac.kr

Tel: +82-42-821-6885

다.^[11]

최근 4차 산업혁명 기술은 의료분야 전반에 걸쳐 큰 영향을 미쳤으며, 특히 3D 프린팅 기술의 도입으로 교육용 인체모형, 모의 수술 및 개인 맞춤형 의료용품 개발 등 의료분야에서 도입이 활발하게 진행되고 있다. 그중 3D 프린팅 기술은 기존 절삭식 가공과 대비되는 적층형 가공 방식으로 다양한 형태로 가공이 가능하며 부산물이 많지 않고, 제작시간의 단축 및 비용 측면에서도 매우 효율적이므로 단순한 시제품 및 다양한 제품을 생산할 수 있다.^[12-14] 가장 대중적으로 사용되고 있는 용융적층 방식(FDM; Fused Deposition Modeling)의 3D 프린터는 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), PLA (Poly Lactic Acid), TPU(Thermoplastic Polyurethane) 등의 재료를 일정한 온도의 열로 녹여 한 층씩 적층시켜 형상을 만들어 내는 방식이다. 이를 활용하여 의료용 팬텀을 개발할 경우 기존 제품들보다 경제적인 비용으로 기존 제품들을 대체할 수 있음이 선행 연구들을 통해 확인되었다.^[15-17]

따라서 본 연구에서는 FDM 방식의 3D 프린터 소재들의 HU(Hounsfield Units)를 비교하여 DXA 정도관리 팬텀을 개발하고, 상용화된 제품과의 선형 회귀분석을 통해 유용성을 평가하고자 한다.

II. MATERIALS AND METHODS

1. 실험 개요 및 사용 장비

3D 프린팅을 이용한 팬텀 제작은 모델링 및 슬라이싱 후 출력 단계의 순으로 진행되며 Fig. 1은 흐름도를 나타내었다.

Fig. 2는 연구에 사용된 개인용 FDM 3D 프린터 (3DP-210F, Cubicon, Republic of Korea)이며 와이어 형태의 열가소성 플라스틱인 필라멘트를 녹여 적층하는 방식으로 작동한다. 3D 프린터의 최대 출력 크기는 150 × 150 × 150 mm (W × H × D), X, Y 위치 정밀도 12.5 μm, Z 위치 정밀도 2.5 μm이고, 1.75 mm 직경의 ABS, PLA, TPU, 30% Al-PLA, 30% Cu-PLA 필라멘트를 사용하였다. 팬텀의 모델링을 위하여 123D design(v2.2.14, Autodesk, USA)을 사용하였고, 3D 프린터 제조사의 전용 슬라이싱 프로그램

램인 Cubicreator (v2.5.3.2, Cubicon, Republic of Korea)를 사용하여 G-code를 생성하였다.

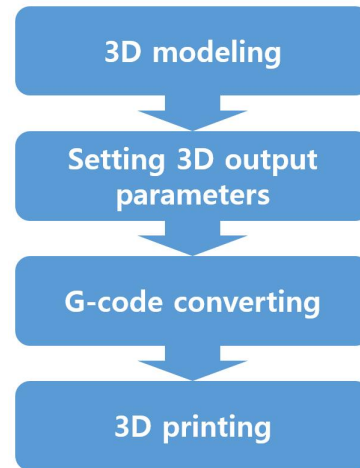


Fig. 1. 3D Printing process.



Fig. 2. 3D printer.

2. HU(Hounsfield Unit) 확인을 위한 시편 제작

Table 1과 같이 제조사가 제공하는 밀도를 토대로 1차적으로 ABS, PLA, TPU를 연부조직 모형, 30% Al-PLA 및 30% Cu-PLA를 골 모형 소재로 판단하였다. 연부조직 모형용 소재로 각 필라멘트의 HU를 평가하기 위하여 Fig. 3(a)와 같이 30 × 30 × 30 mm (W × D × H)로, Fig. 3(b)와 같이 골 모형용 소재를 40 × 30 × 25 mm (W × D × H)로 모델링하여 출력하였다. 이때, 각 재료의 HU 확인을 위해 내부 채움을 20%, 40%, 60%, 80%, 100%로 설정하였으며, 노즐 온도 등의 조건은 Table 2와 같이 각 필라멘트의 특성에 맞는 출력 조건을 사용하였다.

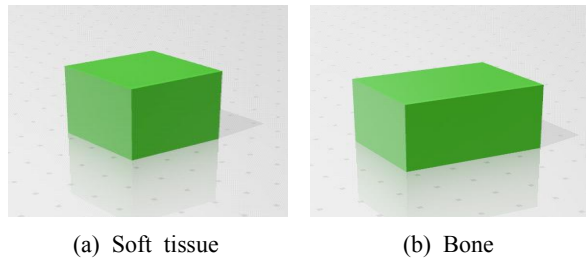


Fig. 3. Modeling for HU evaluation.

Table 1. Characteristics of materials.

	Density (g/cm ³)	Melting temperature (°C)
ABS	1.04	220~260
TPU	1.12	210~230
PLA	1.24	190~220

Table 2. The output parameters of 3D printing.

Parameter	Value	Parameter	Value
Printing type	FDM	Layer height	0.5 mm
Nozzle diameter	0.4 mm	Infill	20% ~ 100%
Nozzle temperature	190 ~ 240 °C	Fill overlap	15%
Heating bed temperature	40 ~ 115 °C	Printing speed	70~100 mm/s
Chamber temperature	40 ~ 50 °C	Build plate adhesion	raft

3. 3D 프린팅을 이용한 팬텀 제작

팬텀의 크기 및 내부 구성은 상용화된 DXA 팬텀 및 경제성을 고려하여 Fig. 4와 같이 전체 크기는 90 × 140 × 215 mm (W × D × H)로 제작하였으며 하단에 3개의 40 × 30 × 25 mm (W × D × H) 직사각형 구멍을 만들어 골 모형을 끼울 수 있게 하였다.

3D 프린터의 부하 및 출력 크기를 고려하여 연부조직 모형은 5, 10, 20 mm 높이의 판 형태로 분할 출력하였으며, 골 모형의 높이에 맞게 이를 감싸는 부분의 연부조직 모형도 25 mm 높이로 모델링하고 출력하였다. 시편 및 팬텀의 제작 후 사용된 raft를 제거하고 후처리를 하였다.

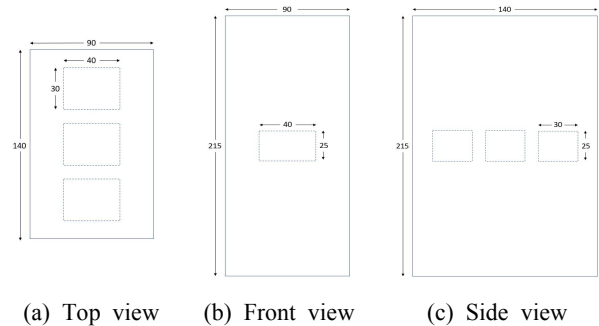


Fig. 4. Diagram of 3D printing phantom.

4. 시편의 HU 및 제작된 팬텀의 골밀도 평가

시편들을 16 ch CT (Alexion, TOSHIBA)로 촬영하여 DICOM 파일을 획득하였고, Image J 1.52a (National Institutes of Health, USA)를 이용하여 HU를 평가하였다. 또한, 골밀도 기기의 교차보정에 우수한 성능을 보이며^[8] 0.5 g/cm², 1.0 g/cm², 1.5 g/cm²의 표준화된 골밀도 값을 가지고 있는 ESP를 기준 팬텀으로 사용하였다.

ESP와 제작된 팬텀의 골밀도 평가 및 교차분석식 산출을 위하여 DXA (Lunar, GE) 장치로 각각 10회씩 측정하였다. 이때 측정된 값들의 관련성을 보기 위하여 SPSS 23.0 (SPSS Inc. Chicago, IL, USA)을 사용하여 선형회귀분석을 수행하였다.

III. RESULTS

1. Filament 소재에 따른 HU 평가

골밀도 팬텀의 구성요소인 연부조직과 골조직을 모사하기 위해 각 필라멘트 제조사가 제시하는 밀도 및 ABS, TPU, PLA, 30% Al-PLA, 30% Cu-PLA의 HU를 3회씩 측정하여 비교하였다. 각 필라멘트는 Fig. 5와 같이 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 내부 채움으로 출력하였고, 그 결과 Table 3과 같이 내부 채움 100% PLA는 -7.68±3.82, ABS는 -149.74±2.36, TPU는 -55.62±7.14, 30% Al-PLA는 87.53±1.07, 30% Cu-PLA는 1795.20±16.15의 HU를 나타내었다. 밀도 및 HU의 차를 고려하여 연부조직은 ABS, 골조직은 Cu-PLA를 사용하여 출력하였다.

2. DXA 팬텀 출력

Fig. 6(a)는 내부채움 60%, 80%, 100%의 30% Cu-PLA 골 모델을 끼운 모형이며 Fig. 6(b)는 연부 조직 모형을 쌓아 올린 모형이다. 출력된 모형에

대한 총 출력 시간 및 사용량은 약 65시간 55분, 2,831.74 g으로 ABS는 약 63시간 24분, 2,719.69 g을 사용하였고, 30% Cu-PLA는 약 2시간 31분, 112.05 g을 사용하였다.

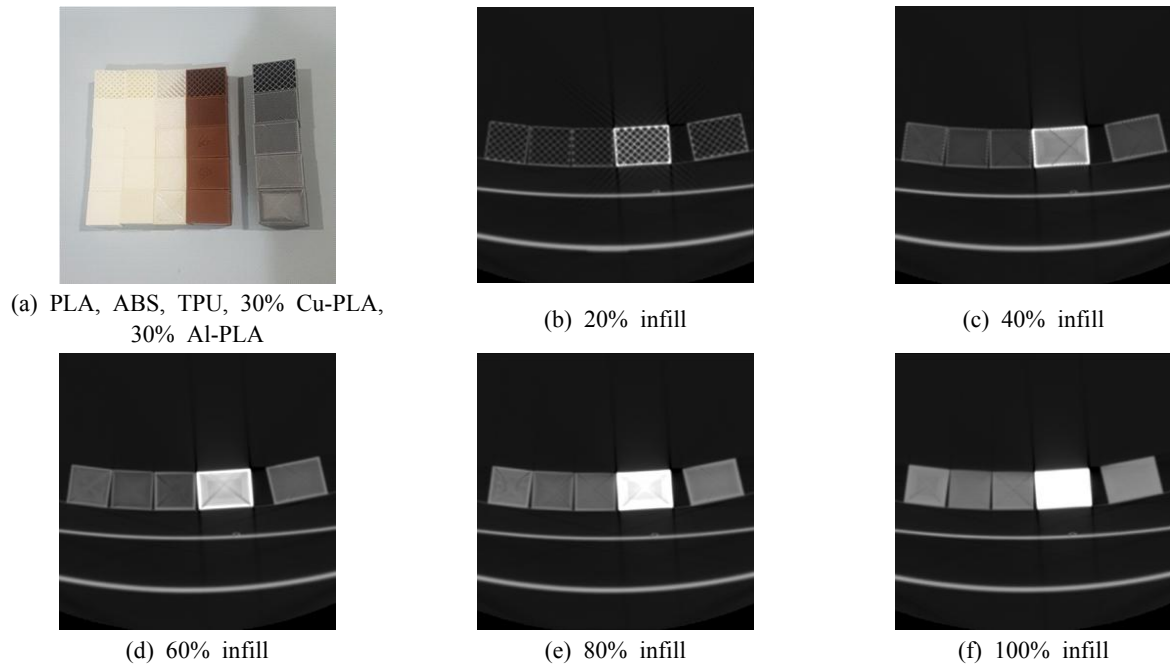


Fig. 5 CT scan by infill.

Table 3. HU measurement result by infill.

	20%	40%	60%	80%	100%
PLA	-803.66 ± 3.17	-583.48 ± 1.80	-378.09 ± 4.21	-189.28 ± 10.12	-7.68 ± 3.82
ABS	-826.49 ± 2.22	-649.61 ± 2.05	-467.61 ± 2.59	-307.35 ± 3.50	-149.74 ± 2.36
TPU	-844.43 ± 1.48	-663.16 ± 6.12	-550.15 ± 4.10	-274.60 ± 14.37	-55.62 ± 7.14
30% Al-PLA	-780.86 ± 2.86	-553.95 ± 1.62	-319.52 ± 2.44	-86.87 ± 4.92	87.53 ± 1.07
30% Cu-PLA	-358.55 ± 1.64	78.61 ± 8.95	654.56 ± 11.98	1167.32 ± 1.91	1795.20 ± 16.15

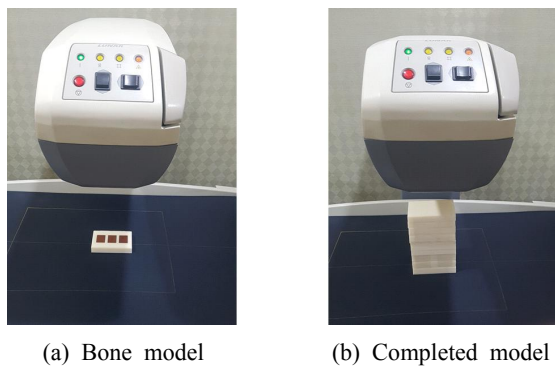


Fig. 6. Completed device in use for examination.

3 골밀도 평가 결과

골밀도 측정 결과는 Table 4와 같다. ESP에서 측정한 L1, L2, L3 골밀도 값은 $0.615 \pm 0.009 \text{ g/cm}^2$, $1.103 \pm 0.014 \text{ g/cm}^2$, $1.548 \pm 0.012 \text{ g/cm}^2$ 으로, 이는 기준 밀도보다 22.94%, 10.30%, 3.21% 높게 측정되었다. 또한, 3D 프린터로 제작된 팬텀은 $1.503 \pm 0.020 \text{ g/cm}^2$, $2.428 \pm 0.048 \text{ g/cm}^2$, $3.337 \pm 0.052 \text{ g/cm}^2$ 으로 측정되었다.

제작된 팬텀과 ESP의 관련성을 보기 위하여 선

형회귀분석을 수행하였다. 그 결과 Fig. 7과 같이 $R^2 = 0.9995$ 였으며 Eq. (1)과 같이 제작된 팬텀으로 기존 결과를 예측하는 식을 산출하였다.

$$y = 0.5089 \times 3D \text{ value} - 0.1443 \quad (1)$$

Eq. (1)을 적용한 결과 L1, L2, L3 골밀도 값은 $0.620 \pm 0.010 \text{ g/cm}^2$, $1.092 \pm 0.025 \text{ g/cm}^2$, $1.554 \pm 0.026 \text{ g/cm}^2$ 이고, ESP의 평균값과 각각 0.94%, -1.04%, 0.38% 차이를 나타냈다.

Table 4. BMD Measurement result. (unit: g/cm^2)

	ESP	3D printing phantom	Apply linear regression model
L1	0.615 ± 0.009	1.503 ± 0.020	0.620 ± 0.010
L2	1.103 ± 0.014	2.428 ± 0.048	1.092 ± 0.025
L3	1.548 ± 0.012	3.337 ± 0.052	1.554 ± 0.026
L1-3	1.125 ± 0.008	2.418 ± 0.027	1.086 ± 0.014

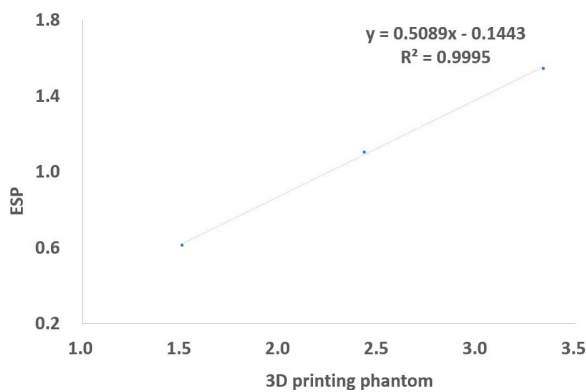


Fig. 7. Linear regression model of 3D printing phantom BMD values to ESP BMD values.

IV. DISCUSSIONS

진단용 방사선 이용 건수가 증가함에 따라 환자가 받는 의료 피폭선량은 꾸준히 증가해왔으며, 골밀도 검사를 시행한 환자 수 역시 빠르게 증가하고 있다.^[18] 따라서 각종 방사선 발생장치는 환자선량의 감소 및 정확한 검사 결과를 위하여 주기적으로 정도관리가 수행되어야 한다. 특히 골밀도 검사는

골다공증의 예방에 있어 중요한 정보를 주는 검사로 뼈의 소실이나 치료를 평가하는데 유효하지만 DXA 검사는 여러 인자에 의해 영향을 받을 수 있고 특히 부정확한 측정기는 결과의 판독에 큰 영향을 줄 수 있기 때문에 이를 방지하기 위한 다양한 연구가 수행되어 왔다. 특히 DXA 장비의 정도관리 및 이중 장비 간의 측정값 보정 연구에 ESP가 이용되고 있으며, 교차보정을 위한 선행연구에서도 꾸준히 사용되어왔다.^[19,20]

국제골밀도학회(ISC; International Society for Clinical Densitometry)는 서로 다른 시설의 골밀도 값을 비교 측정하거나, 기존 장비의 폐기 후 동일 제조사 또는 타 제조사의 장비가 도입된 경우 및 동일 장비의 이전 설치를 한 경우에는 반드시 DXA 장비의 교차분석을 시행하도록 하고 있다.^[21] 그러나 DXA 장비의 교차보정 팬텀은 교차보정에 관한 인지 부족 및 구입 경로의 어려움과 비용상의 문제 등 다양한 사유로 실제 보급되어있는 병원이 많지 않은 실정이다.^[22] 따라서 본 연구에서는 다양한 의학 분야에서 많은 시도를 하고 있는 3D 프린팅 기술을 사용하여 교차보정 팬텀을 개발하였다.

FDM 3D 프린터에서 주로 사용되는 소재는 ABS, PLA, TPU 등이 있고 이들의 밀도는 1.04, 1.24, 1.12 g/cm^3 이며 이들 소재는 인체 조직^[23]과 유사한 밀도를 가지고 있다. 이는 의료용 조직등가 팬텀으로 흔히 사용되는 물(H_2O , 밀도 1.0 g/cm^3)과 PMMA ($[\text{C}_5\text{O}_2\text{H}_8]_n$, 밀도=1.19 g/cm^3)와 유사하여^[23,24] 본 연구에서는 HU이 가장 낮아 골 모사 물질과 가장 큰 차이를 나타낼 수 있는 ABS를 조직등가 물질로 사용하였고, HU이 상대적으로 큰 구리 파우더가 함유된 PLA 소재를 골 모사 물질의 소재로 사용하였다.

제작된 팬텀은 기존 팬텀인 ESP와 서로 다른 골밀도 값을 나타내기 때문에 사용을 위해서는 반드시 교차분석이 이루어져야 한다. 본 연구 결과 산출된 교차분석 식은 Eq. (1)과 같으며, 제작된 팬텀을 ESP의 골밀도로 변환하기 위한 선형회귀분석 결과는 Fig. 6과 같다. 선형회귀분석 결과 $R^2 = 0.9995$ 로 두 팬텀 간의 교차분석이 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 이는 Eq. (1)을 적용하여 DXA 교차

보정에 제작된 팬텀을 사용할 수 있음을 의미한다.

이를 활용한다면 DXA 장치의 적절한 정도관리가 가능할 것이며, FDM 3D 프린팅을 이용한 다양한 의료용 팬텀 제작에 기초 자료로 활용될 것으로 사료된다.

다만, 타 DXA 팬텀에서 사용하는 알루미늄은 알루미늄 함량 상의 문제로 사용이 어려웠으며, 함량이 높은 AI-PLA 필라멘트의 경우 3D 프린터 장치의 한계로 인하여 출력에 실패하여 추후 연구에서 보완해야 할 것으로 생각된다.

V. CONCLUSIONS

본 연구에서는 DXA 교차보정 팬텀을 제작하기 위해 3D 프린터 재료의 HU 분석 결과를 토대로 팬텀을 제작하였다. 3D 프린팅을 이용하여 제작된 팬텀의 골밀도 값에 선형회귀분석을 적용한 결과 상용화된 팬텀의 골밀도 값과 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이를 활용한다면 DXA 장치의 적절한 정도관리 및 교차분석이 가능할 것으로 생각되며, 3D 프린팅 기술을 이용한 DXA 팬텀 제작에 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 보건장학회의 지원으로 수행하였음.

Reference

- [1] Y. J. Heo, K. T. Kim, S. C. Noh, S. H. Nam, J. K. Park, "A Base Study on the Constancy Quality Control Test and Clause of Diagnosis Radiation Equipment," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 8, No. 3, pp. 105-110, 2014.
- [2] Ministry of Food and Drug Safety, "Development of the diagnostic reference level of pediatric radiography (10 years old)," MFDS Research Report 2014.
- [3] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR Report, Vol. I, 2008.
- [4] Korea Institute of Nuclear Safety, "The Study on Regulatory Framework to Optimize Medical Exposure," KINS Research Report 2011.
- [5] National Council on Radiation Protection and Measurements, "Ionizing radiation exposure of the population of the United States," NCRP Report No. 160, 2009.
- [6] K. R. Dong, H. S. Kim, W. K. Jung, "A Study of Equipment Accuracy and Test Precision in Dual Energy X-ray Absorptiometry," *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 31, No. 1, pp. 17-23, 2008.
- [7] M. L. Bianchi, S. Baim, N. J. Bishop, C. M. Gordon, D. B. Hans, C. B. Langman, M. B. Leonard, H. J. Kalkwarf, "Official positions of the International Society for Clinical Densitometry (ISCD) on DXA evaluation in children and adolescents," *Pediatric Nephrology*, Vol. 25, No. 1, pp. 37-47, 2010.
- [8] B. M. Kang, S. T. Kwon, D. Y. Kim, E. H. Kim, I. J. Kim, J. K. Kim, H. S. Kim, H. S. Kim, H. Y. Kim, M. R. Park, S. Y. Park, S. Y. Park, I. H. Park, M. H. Baek, G. W. Seo, S. O. Yang, H. J. Oh, Y. Y. Won, B. Y. Yoo, B. G. Yun, B. I. Lee, B. J. Lee, S. G. Lim, D. J. Jeong, S. K. Jeong, Y. S. Jeong, H. W. Jeong, U. H. Choi, H. Choi, J. Y. Hwang, *Manual of Bone Densitometry*, Cheongwoon, Seoul, pp. 155-160, 2009.
- [9] C. C. Glüer, G. Blake, Y. Lu, B. A. Blunt, M. Jergas, H. K. Genant, "Accurate assessment of precision errors: how to measure the reproducibility of bone densitometry techniques," *Osteoporosis International*, Vol. 5, No. 4, pp. 262-270, 1995.
- [10] International Commission on Radiological Protection, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," ICRP Publication 103, 2007.
- [11] H. S. Kim, K. R. Dong, Y. H. Ryu, "Accurate Quality Control Method of Bone Mineral Density Measurement - Focus on Dual Energy X-ray Absorptiometry," *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 32, No. 4, pp. 361-370, 2009.
- [12] S. J. Choi, Y. H. Bae, I. H. Lee, H. C. Kim, "Latest Research Trends of 3D Printing in Korea," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 35, No. 9, pp. 829-834, 2018.
- [13] D. H. Won, "Development of 3D printer heating block using clad plate material," *Journal of the*

- Korea Convergence Society, Vol. 8, No. 4, pp. 199-205, 2017.
- [14] M. Vatani, Y. Lu, E. D. Engeberg, J. W. Choi, "Combined 3D Printing Technologies and Material for Fabrication of Tactile Sensors," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 16, No. 7, pp. 1375-1383, 2015.
- [15] J. Tran-Gia, S. Schlögl, M. Lassmann, "Design and Fabrication of Kidney Phantoms for Internal Radiation Dosimetry Using 3D Printing Technology," *The Journal of Nuclear Medicine*, Vol. 57, No. 12, pp. 1998-2005, 2016.
- [16] C. Hazelaar, M. V. Eijnatten, M. Dahele, J. Wolff, T. Forouzanfar, B. Slotman, W. F. Verbakel, "Using 3D printing techniques to create an anthropomorphic thorax phantom for medical imaging purposes," *Medical Physics*, Vol. 45, No. 1, pp. 92-100, 2018.
- [17] T. Kairn, S. Crowe, T. Markwell, "Use of 3D Printed Materials as Tissue-Equivalent Phantoms," *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, Vol. 51, pp. 728-731, 2015.
- [18] <http://opendata.hira.or.kr/op/opc/olapMfrnIntrsDiagBhvInfo.do>.
- [19] Ministry of Food and Drug Safety, "Guideline Establish for Bone Mineral Densitometry of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry," MFDS Research Report, 2016.
- [20] J. S. Kim, Y. H. Rho, I. J. Lee, K. A. Kim, I. J. Lee, J. M. Kim, "Cross-Calibration of Domestic Devices and GE Lunar Prodigy Advance Dual-Energy X-Ray Densitometer Devices for Bone Mineral Measurements," *Journal of Radiation Industry*, Vol. 11, No. 1, pp. 27-31, 2017.
- [21] <http://www.iscd.org/official-positions/2015-iscd-official-positions-adult>.
- [22] H. S. Kim, "Research on the Bone Mineral Densitometer Quality Control and the Precision Test of Radio-Technologists by Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA) at Metropolitan Area Hospital," *Journal of Radiation Industry*, Vol. 11, No. 4, pp. 283-289, 2017.
- [23] F. M. Khan, J. P. Gibbons, *KHAN'S The Physics of Radiation Therapy*, 5th Ed., Wolters Kluwer, Philadelphia, pp. 64-67, 2014.
- [24] C. L. Lee, "Estimation of Computed Tomography Dose in Various Phantom Shapes and Compositions," *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 40, No. 1, pp. 13-18, 2017.

3D 프린팅을 이용한 골밀도 팬텀 개발

이준호,¹ 최관용,¹ 홍성용^{2,*}

¹충남대학교 의과대학 의공학과

²충남대학교 공과대학 전파정보통신공학과

요 약

DXA 검사는 작은 골량의 변화로 발생하는 생물학적 변화를 가장 잘 반영할 수 있어 임상에서 우수한 성능을 발휘하는 골밀도 검사 장치이다. 검사의 정확도와 정밀도의 유지를 위하여 정도관리가 필수적으로 수행되어야 하지만 팬텀의 제작이 어렵고 상대적으로 고가의 가격이기 때문에 병원마다 보유하지 않고 있는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 3D 프린터 및 시중에서 손쉽게 구할 수 있는 필라멘트의 내부채움 정도의 변화를 이용하여 교차보정 팬텀을 개발하고 상용화된 팬텀과의 비교 평가를 통해 유용성을 평가하였다. 팬텀의 개발을 위해 ABS, TPU, PLA, 30% Cu-PLA, 30% Al-PLA의 HU를 평가하였으며 각각 내부 채움 100%에서 -149.74 ± 2.36 , -55.62 ± 7.14 , -7.68 ± 3.82 , 87.53 ± 1.07 , 1795.20 ± 16.15 의 HU를 나타내었다. 선형회귀분석이 적용된 3D 프린팅 팬텀의 L1, L2, L3 골밀도는 $0.620 \pm 0.010 \text{ g/cm}^2$, $1.092 \pm 0.025 \text{ g/cm}^2$, $1.554 \pm 0.026 \text{ g/cm}^2$ 으로, 기존 팬텀과 통계적으로 높은 관련성을 보였다. 이를 활용한다면, DXA 장치의 적절한 정도관리가 가능할 것이며, FDM 3D 프린팅을 이용한 다양한 의료용 팬텀 제작에 기초 자료로 활용될 것으로 사료된다.

중심단어: 3D 프린팅, 의료용 팬텀, 이중에너지 방사선 흡수법, 교차보정, 하운스필드 유닛

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	이준호	충남대학교 의과대학 의공학과	대학원생(박사)
(공동저자)	최관용	충남대학교 의과대학 의공학과	대학원생(박사)
(교신저자)	홍성용	충남대학교 공과대학 전파정보통신공학과	교수