

# Development and Evaluation of a Knee Joint CT Phantom based on 3D Printer Human Tissue Equivalent Filaments

Kyung-Tae Kwon<sup>1</sup>, Myeong-Seong Yoon<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Science, Dongnam Health University

<sup>2</sup>MIP(Medical Imaging Process) Lab

Received: November 04, 2024. Revised: December 27, 2024. Accepted: December 31, 2024.

## ABSTRACT

Most of the phantoms currently in use are composed of acrylic and bone, which have technical limitations in perfectly reproducing the complex density and shape of human tissue. This study addresses the limitations of existing phantoms by using anonymized DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) data to create 3D printing phantoms with filaments mimicking soft tissue, skin, fat, and bone. We then measured and compared the CT numbers of the produced 3D-printed phantom, the conventional acrylic phantom, and the anonymized DICOM file. The CT number measurement results for the acrylic knee phantom showed bone at 1586.64±269.78 HU and acrylic at 45.5±22.79 HU. For the 3D-printed phantom, the measurements were skin 53.2±11.5 HU, fat -116.5±5.3 HU, soft tissue 62.9±3.7 HU, and bone 892.6±38.3 HU. The measurements from the anonymized DICOM file revealed skin at 52.5±17.7 HU, fat -115.7±2.8 HU, soft tissue 65.2±0.7 HU, and bone 929.3±103.3 HU. This study demonstrates that the CT numbers of the 3D-printed phantom are similar to those of actual human tissue, indicating its potential for educational and clinical use. Furthermore, this study suggested that 3D printing is a practical alternative for medical phantom production and it is anticipated that further research will contribute to advancements in medical technology.

Keywords: Computed Tomography, CT number, 3D Printing, Phantom, Human Tissue-equivalent Filament

## I. INTRODUCTION

3D 프린팅 기술은 CT, MRI 등의 정확한 데이터를 기반으로 환자의 장거나 조직을 3차원 모델로 구현하여 복잡한 형태의 구조물의 제작에 있어 획기적인 발전을 가져왔다<sup>[1]</sup>. 적층 제조 공정을 통해 층층이 쌓아 올려지는 3D 프린팅은 환자 맞춤형 의료 기구나 해부학적 모델을 제작하여 수술 계획 및 시뮬레이션에 활용될 수 있다<sup>[2,3]</sup>. 그 중 CT 검사는 다수의 X-ray 이미지를 결합하여 신체 내부의 단면 영상을 3차원 영상을 생성함으로써, 뼈의 미세한 구조나 골절의 방향 등을 상세히 분석할 수 있다. 이러한 세밀한 이미지는 의사가 환자의 상태

를 파악하고, 진단 및 치료 계획을 수립하는데 중요한 정보를 제공한다. CT 검사에서 중요한 요소 중 하나는 CT number (Hounsfield Unit: HU)이다. CT number는 각 조직의 밀도를 수치로 표현하여, 뼈, 연부 조직, 액체 등 다양한 조직 간의 밀도 차이를 의미한다, 이를 바탕으로 적절한 치료 방안을 결정하는데 기여한다<sup>[4-6]</sup>. 현재 임상에서 사용되고 있는 팬텀은 인체의 해부학적 구조를 정밀하게 재현한 인공 구조물로, 방사선 검사 교육 및 훈련에 다양하게 활용된다. 의료진은 팬텀을 통해 실제 환자에게 적용하기 전에 다양한 방사선 촬영 기법을 안전하게 연습할 수 있는 실질적인 이점을 제공하며, 이로 인해 환자에게 제공되는 치료의 질을 높이는데 기여한다. 그러나 현재 사용되는 대부분의

\* Corresponding Author: Myeong-Seong Yoon E-mail: yoon5690@naver.com

Tel: +82-8765-0424

팬텀은 아크릴과 뼈 등으로 구성되어 있으며, 인체 조직의 복잡한 밀도와 형태를 완벽하게 재현하는데 기술적 한계를 가지고 있다<sup>[7,8]</sup>. 또한 기존의 인체 등가 팬텀은 국내 제작이 어려워 고비용의 해외 수입에 의존해야 하는 상황이다. 이로 인해 팬텀의 접근성과 경제적 부담이 문제로 지적되고 있다<sup>[9-11]</sup>. 이러한 문제들을 해결하기 위해 원하는 모형의 디지털 데이터만 있다면 어디서든 장소에 크게 구애받지 않고, 다양한 형태로 맞춤형 소량 생산이 가능한 3D 프린팅의 적용으로 해결할 수 있을 것이라 사료된다<sup>[12-14]</sup>. 3D 프린터의 기본재료로 사용되고 있는 필라멘트는 플라스틱에서 금속까지 다양하게 형성되어 있지만, 인체 내부 장기의 유사한 밀도와 인체 장기를 정확하게 표현할 수 있는 재료는 부족한 실정이며, 방사선 불투과성이 세밀하게 구현되지 않을 수 있다. 영상 의학 분야 및 치료에 적용하기 위해서는 모든 구조의 형상이 정확하게 표현되어야 하고, 조직의 동등성을 제공하여야 한다<sup>[15]</sup>. 보고된 선행된 연구에서는 인체와 유사한 필라멘트를 구현하기 위해 많은 연구 과정을 걸쳤으나 파라핀 왁스를 녹여 지방을 재현했으며, 그로 인해 인체 조직의 복잡한 밀도와 형태를 완벽하게 재현하는데 기술적 한계가 있었다<sup>[16]</sup>. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 개인정보가 익명화된 DICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine) 영상을 이용하여 모델링 후 3D 프린팅을 통해 인체 조직 등가와 유사한 팬텀을 출력하고, CT number 측정 및 평가하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 실험재료

인체 조직 등가와 유사한 팬텀을 표현하기 위해 Fig. 1의 피부(Skin), 지방(Fat), 연부조직(Soft tissue), 뼈(Bone) 필라멘트(Petela, Gwangju, Korea)를 사용하여 출력하였다. 양수의 값이 나오는 Skin과 Soft tissue 필라멘트의 경우 PBT(Polybutylene Terephthalate) 기반의 폴리머와 황산바륨( $BaSO_4$ ) 등으로 제작하였고 Fat 필라멘트의 경우 젤라틴 기반으로 제작하였다. Bone 필라멘트의 경우 방사선 불투과성을 표현하기 위해 탄산칼슘( $CaCO_3$ ), 마그네슘(Mg), 황산바

륨( $BaSO_4$ ) 첨가제를 사용하였다.



Fig. 1. Filaments similar to human tissue equivalents.

### 2. 실험 장치

CT number 측정을 위해 Fig. 2-(a)의 CT (CT-WS-21A, HITACHI, Japan)를 사용하였으며, 팬텀 출력은 Fig. 2-(b)의 FDM (Fused Deposition Modeling)방식의 Bambu Lab 프린터(X1 Carban, Bambu, China)를 사용하였다.



(a) CT equipment used to perform the evaluation



(b) Phantom output 3D printer of the FDM type  
Fig. 2. Equipment used for phantom production and usability evaluation.

### 3. 실험 방법

#### 3.1. 3D 모델링 및 출력 과정

팬텀 제작을 위해 AVIEW(Modeler, Coreline Soft, Seoul, Korea)를 이용하여 개인정보가 익명화된 DICOM File 모델을 Fig. 3과 같이 피부, 지방, 연부 조직, 뼈로 각각 분리하는 모델링을 진행하였다. 이후 Fig. 4와 같은 절차를 걸쳐 모델링한 파일을 3MF 파일로 변환 후 Table 1과 같이 매개변수를 설정하고 G-code 파일로 변환하여 출력하였다.

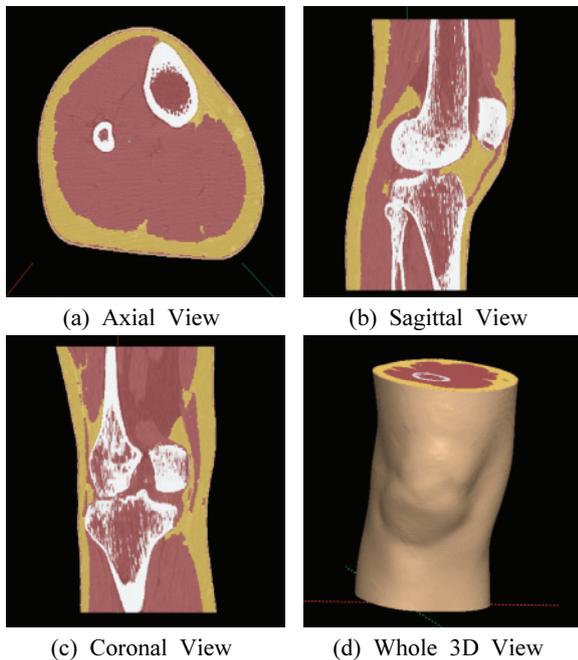


Fig. 3. Modeling Process for Phantom Production.

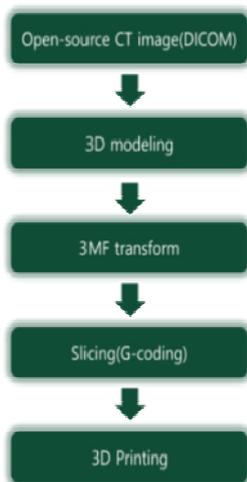


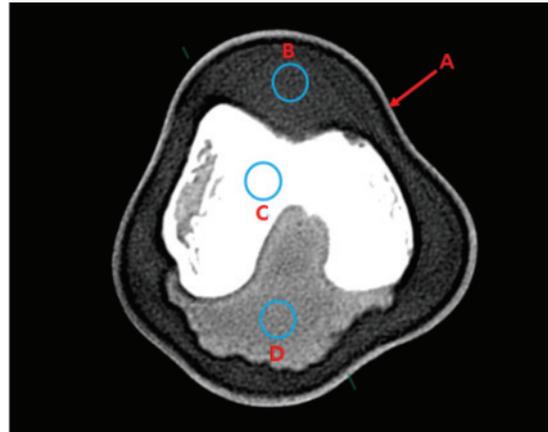
Fig. 4. Sequence of 3D printing process.

Table 1. The output parameters of 3D printing

parameter	value
Temperature of printing (°C)	250
bed temperature (°C)	60
Infill Density (%)	100
Printing speed (mm/s)	50

#### 3.2. CT number 측정 및 분석

팬텀의 비교평가를 위해 3D 프린터로 출력한 팬텀과 아크릴 팬텀을 120 kVp, 200 mAs, Standard algorithm으로 CT 스캔하였다. 그 후 AVIEW 프로그램을 이용하여 각 인체 조직의 ROI를 Fig 5와 같이 지정하고 Eq. (1)의 공식을 사용하여 아크릴 팬텀과 출력된 팬텀, 개인정보가 익명화된 DICOM File의 CT number를 측정하였다.



(a) Skin, (b) Fat, (c) Bone, (d) Soft Tissue

Fig. 5. ROI Setup CT image.

$$CT\ Number = \frac{\mu_x - \mu_w}{\mu_w} \cdot K \quad (1)$$

$\mu_w$  : Linear attenuation coefficients of water  
 $\mu_x$  : Linear attenuation coefficients of measured

### 4. 분석

IBM SPSS Statistics 30.0.0(IBM Co, Chicago, USA)을 이용하여 CT number에 대해 ANOVA 검정을 시행하였으며, p-value 0.05 이상에서 유의한 차이가 없다고 판단하였다.

### III. RESULT

#### 1. 아크릴 팬텀 CT number 측정

아크릴 Knee 팬텀의 각 부위별 CT number 및 SD 를 측정하기 위해 팬텀의 각 조직 구조에 ROI를 지정하여 각 10회씩 측정한 결과, 아크릴 팬텀은 뼈와 아크릴 2가지로 구성되어 있어 뼈의 경우에는  $1586.64 \pm 269.78$  HU, 아크릴의 경우  $45.5 \pm 22.79$  HU가 측정되었다.

#### 2. Knee 팬텀 CT number 측정

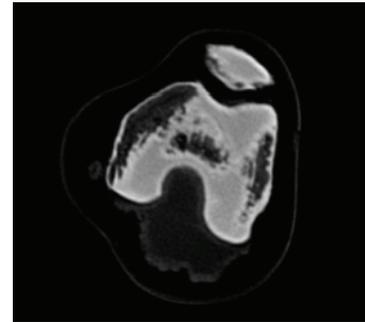
3D 프린터로 출력한 Knee 팬텀은 피부, 지방, 연부조직, 뼈의 4가지 조직으로 이루어졌다. 아크릴 팬텀과 동일하게 ROI를 지정하여 각 10회씩 측정한 결과, 피부의 경우에는  $53.2 \pm 11.5$  HU, 지방은  $-116.5 \pm 5.3$  HU, 연부조직은  $62.9 \pm 3.7$  HU, 뼈는  $892.6 \pm 38.3$  HU의 결과값이 측정되었다.

#### 3. 개인정보가 익명화된 DICOM File CT number 측정

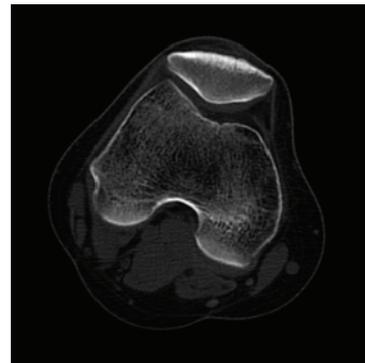
개인정보가 익명화된 DICOM File은 피부, 지방, 연부조직, 뼈의 4 부위를 선정하여 아크릴 팬텀과 동일하게 ROI를 지정 후 각 10회씩 측정한 결과, 피부의 경우에는  $52.5 \pm 17.7$  HU, 지방은  $-115.7 \pm 2.8$  HU, 연부조직은  $65.2 \pm 0.7$  HU, 뼈는  $929.3 \pm 103.3$  HU의 결과값이 측정되었다. 3D 프린팅 팬텀의 CT number는 DICOM 데이터와 통계적으로 유의미한 차이가 없었으나, 기존 아크릴 팬텀과는 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).



(a) Acrylic phantom



(b) 3D printed Knee phantom



(c) DICOM File CT scan with anonymized personal information

Fig. 6. Acrylic Phantom and 3D Printed Phantom Comparison.

Table 2. CT number measurement result for each Phantom

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average SD
Acrylic	Fat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Skin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Cortical Bone	1460.2	1414.4	1488	1397	1013.3	1357.5	1093.9	896.8	1496.5	1418.6	1303.6±21.6
	Soft Tissue	67.4	65.9	60.4	60.9	56.2	57.2	58.1	45.1	57.7	58.7	58.7±6.0
3D Printing Phantom	Fat	-108.4	-120.2	-118.6	-122.4	-121.6	-113.8	-120.1	-119.5	-108.5	-112.3	-116.5±5.3
	Skin	61.8	64.9	59.6	45.9	49.5	32.8	72.1	54.1	43.8	47.8	53.2±11.5
	Cortical Bone	925.8	920.1	857.9	940.6	877.2	915.7	890.7	915.9	865.9	816.3	892.6±38.3
	Soft Tissue	63.9	60.2	59.4	66.1	59.1	68.6	65.7	57.2	62.6	66.2	62.9±3.7
Anonymized Patient	Fat	-116.9	-118.8	-117.7	-117.8	-117.8	-117	-115.1	-115.1	-111.3	-110.3	-115.7±2.8
	Skin	37.7	63	37.8	60.8	50.7	76.5	78	36.2	26.4	58.6	52.5±17.7
	Cortical Bone	802.5	826.8	839.2	856.4	897	935.4	965.8	1006.1	1057.2	1106.6	929.3±103.3
	Soft Tissue	65.8	65.7	66.2	65.5	64.5	64.5	65.2	64	65.4	66	65.2±0.7

#### IV. DISCUSSION

인체 팬텀은 실제 인체와 유사한 인체적 특성을 가지기 위해 많은 연구가 되어왔지만, 환자의 인체 조직의 복잡한 밀도와 형태를 완벽하게 재현하는데 기술적 한계를 가지고 있다<sup>[17]</sup>. 또한 국내 생산의 어려움으로 인하여 고비용의 해외 수입에 의존하고 있으며, 이에 따라 모든 병원에서 구비하기 어렵고 구비하고 있는 병원도 부위별로 팬텀을 보유하기에는 어려운 실정이다<sup>[18,19]</sup>. 이를 해결하기 위해 3D 프린팅 기술을 적용한다면 다품종 소량 생산을 가능하게 하며, 기존의 주물 형식의 제작 방식에 비해 제작 비용을 대폭 절감할 수 있어 가격 측면에서도 뛰어나다<sup>[20-22]</sup>. 하지만 3D 프린터의 기본재료로 사용되고 있는 필라멘트는 플라스틱에서 금속까지 다양하게 형성되어 있지만 인체 내부 장기의 유사한 밀도와 인체 장기를 정확하게 표현할 수 있는 재료는 부족한 실정이다<sup>[15]</sup>. 영상 의학 분야 및 치료에 적용하기 위해서는 모든 구조의 형상이 정확하게 표현되어야 하고, 조직의 동등성을 제공하여야 한다. 이에 본 연구는 개인정보가 익명화된 DICOM File을 기반으로 모델링 후 3D 프린팅을 통해 팬텀을 출력하고, CT number 측정 및 평가하였다. 기준점이 되는 DICOM File의 측정된 평균과 표준편차의 값은 Fat, Skin, Cortical bone, Soft tissue, 순으로  $-115.7 \pm 2.8$ ,  $52.5 \pm 17.7$ ,  $929.3 \pm 103.3$ ,  $65.2 \pm 0.7$  HU이 측정되었다. 아크릴 팬텀은 acrylic, Bone 두가지로 구성되어있어 신체 조직을 정밀하게 표현하지 못했고 평균과 표준편차는  $1303.6 \pm 21.6$ ,  $58.7 \pm 6.0$  HU으로 DICOM File과도 유사하지 못한 CT number를 보였다( $p < 0.05$ ). 하지만 3D printing을 통하여 만든 팬텀은 인체 조직 등과 물질과 유사한 4가지의 필라멘트를 사용하여 인체의 해부학적 구조를 보다 정밀하게 표현 할 수 있었고 평균과 표준편차는  $-116.5 \pm 5.3$ ,  $53.2 \pm 11.5$ ,  $896.6 \pm 38.3$ ,  $62.9 \pm 3.7$  HU으로 원본 DICOM File과도 유사한 결과값을 보였다( $p > 0.05$ ).

Kim 등의 보고에 의하면 지금까지는 실제 사람의 뼈나 제작한 팬텀에 의존하였으나 인체 조직과 유사한 물질이 개발되어 3D 프린터로 손쉽게 해부

학적 구조를 만들게 되었고 내부채움을 변수로 두어 CT number를 조절하는 경우가 다수였다<sup>[15]</sup>.

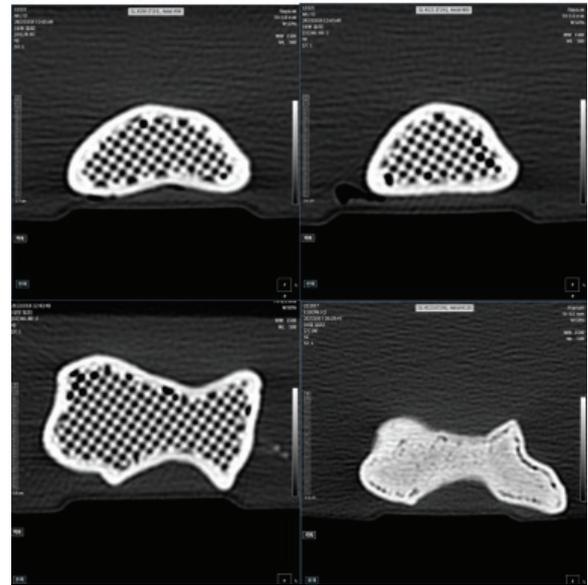


Fig. 7. Degree of Phantom Infill.

하지만 선행 연구에 따르면 Fig. 7과 같이 내부 채움을 100%가 아닌 50, 60, 70%와 같이 조절하여 팬텀을 출력하였을 경우 팬텀 내부의 공기가 포함된 ROI 내의 평균 CT number 값은 실제 인체의 CT number와 상이한 값을 나타내었다고 보고되었다<sup>[15,23]</sup>. 이에 본 연구는 내부 채움 값을 100%로 지정하고 다양한 필라멘트를 활용해 4가지의 주요 인체 조직의 특성을 재현함으로써 File과 유사한 결과값을 도출하였다.

본 연구의 제한점으로 첫째, 3D 프린터의 기본 재료로 사용되고 있는 필라멘트는 여전히 인체 조직의 복잡한 물리적 특성을 완벽하게 묘사하기에는 부족하기 때문에 조직 간의 미세한 차이와 장기 내부의 복잡한 구조를 정밀하게 재현하는 데 어려움이 있었다<sup>[15]</sup>. 둘째, 본 연구는 특정 부위에 한정된 비교를 진행하였기 때문에, 다른 부위의 조직 재현력에 대한 검증이 추가로 필요하다. 셋째, 본 연구는 후향적 연구로 수행되었으며, 의료 영상 데이터 DICOM File을 활용하여 환자의 정보가 삭제된 상태에서 데이터를 비교 분석하였지만, 다양한 환자 데이터와 다른 영상 장비를 활용하는 후속 연구가 요구된다. 3D 프린팅 기술을 활용하여 인체

모형 팬텀을 제작하면 다품종 소량 생산이 가능하며, 기존 제작 방식에 비해 비용을 대폭 절감하면서도 기존 팬텀의 단점을 보완할 수 있는 해결 방안으로 제공될 수 있다. 따라서, 3D 프린터를 통해 출력된 인체 팬텀은 기존의 임상에서 사용되는 팬텀을 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

## V. CONCLUSION

본 연구에서는 개인정보가 익명화된 DICOM 기반으로 3D 프린팅 기술을 이용해 인체 조직 등가와 유사한 팬텀을 제작하고, CT number를 측정하였다. 그 결과 3D 프린팅 팬텀은 실제 인체 조직과 유사한 CT number 값을 보였다. 특히, 아크릴 팬텀에 비해 3D 프린팅 팬텀이 인체 조직의 복잡한 밀도와 형태를 더 정확하게 재현할 수 있음을 확인하였다.

## Acknowledgement

본 연구는 2024년 동남보건대학교 교내연구비의 지원에 의해 수행되었다.

## Reference

- [1] A. Squelch, "3D printing and medical imaging", *Journal of Medical Radiation Sciences*, Vol. 65, No. 3, pp. 171-172, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.1002/jmrs.300>
- [2] K. C. Wong, "3D-printed patient-specific applications in orthopedics", *Orthopedic Research and Reviews*, Vol. 8, pp. 57-66, 2016.  
<http://dx.doi.org/10.2147/ORR.S99614>
- [3] J. H. Lee, K. Y. Choi, S. Y. Hong, "Development of BMD Phantom using 3D Printing", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 2, pp. 185-192, 2019.  
<https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.2.185>
- [4] S. G. Oh, "Understanding the Principles and Images of CT", *Journal of Korean Veterinary Medical Association*, Vol. 48, No. 4, pp. 239-241, 2012.
- [5] P. R. Patel, O. De Jesus, "CT Scan", *StatPearls* [Online]. Available: <https://www.statpearls.com>.  
[Accessed: Jan. 2, 2023].
- [6] D. Leonov, M. Kodenko, D. Leichenko, A. Nasibullina, N. Kulberg, "Design and validation of a phantom for transcranial ultrasonography", *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol. 17, No. 9, pp. 1579-1588, 2022.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11548-022-02647-7>
- [7] D. Y. Hong, "A Study on the Production of Patient- and Disease-Specific 3D Printing Phantoms Based on Medical Imaging", Master's thesis, Ulsan University, 2019.
- [8] K. B. Lee, K. C. Nam, H. C. Kim, "The Usability Assessment of Self-developed Phantom for Evaluating Automatic Exposure Control System Using Three-Dimensions Printing", *Journal of Biomedical Engineering Research*, Vol. 41, No. 4, pp. 147-153, 2020.  
<https://doi.org/10.9718/JBER.2020.41.4.147>
- [9] W. J. Choi, D. H. Kim, "Making Human Phantom for X-ray Practice with 3D Printing", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 11, No. 5, pp. 371-377, 2017.  
<https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.5.371>
- [10] D. Y. Hong, J. Lee, J. H. Lee, J. W. Mun, H. S. Oh, Y. W. Jeong, S. H. Jin, J. M. Hong, I. J. Lee, "Evaluation of Usefulness and Fabrication of Femur Phantom on Quality Control of Bone Mineral Density Using 3D Printing Technology", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 46, No. 1, pp. 1-8, 2023.  
<https://doi.org/10.17946/JRST.2023.46.1.1>
- [11] Y. Tian, C. X. Chen, X. Xu, J. Wang, X. Hou, K. Li, X. Lu, H. Y. Shi, E. S. Lee, H. B. Jiang, "A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications", *Scanning*, Vol. 2021, pp. 9950131, 2021.  
<http://dx.doi.org/10.1155/2021/9950131>
- [12] H. M. Jang, J. Yoon, "Usefulness Evaluation and Fabrication of the Radiation Shield Using 3D Printing Technology", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 7, pp. 1015-1024, 2019.  
<https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.7.1015>
- [13] J. S. Jang, Y. H. Kook, "A Study on Delta 3D Printer for DIY 3D Printing Education", *Journal Of Industrial Design Studies (ID)*, Vol. 12, No. 4, pp.

- 27-37, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.37254/ids.2018.12.46.03.27>
- [14] Y. S. Kim, J. Y. Lee, H. H. Park, "Evaluation of Application of 3D Printing Phantom According to Manufacturing Method", *Journal of Radiation Industry*, Vol. 17, No. 2, pp. 172-181, 2023.  
<https://doi.org/10.23042/radin.2023.17.2.173>
- [15] M. I. Kim, S. H. Ji, H. S. Wi, D. W. Lee, H. M. Jang, M. S. Yun, D. K. Han, "A Study on Elbow Phantom Production and Usability Evaluation by Adjusting Infill Density using 3D Printing", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 17, No. 6, pp. 929-937, 2023.  
<https://doi.org/10.7742/jksr.2023.17.6.929>
- [16] M. I. Kim, S. H. Ji, H. S. Wi, D. W. Lee, H. M. Jang, M. S. Yun, D. K. Han, "A Study on Elbow Phantom Production and Usability Evaluation by Adjusting Infill Density using 3D Printing", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 17, No. 6, pp. 929-937, 2023.  
<https://doi.org/10.7742/jksr.2023.17.6.929>
- [17] J. Qiu, K. Hou, B. A. Dyer, J. C. Chen, L. Shi, Y. Sun, L. Xu, H. Zhao, Z. Li, T. Chen, M. Li, F. Zhang, H. Zhang, Y. Rong, "Constructing Customized Multimodal Phantoms Through 3D Printing: A Preliminary Evaluation", *Frontiers of Physics in China*, Vol. 9, pp. 605630, 2021.  
<http://dx.doi.org/https://doi.org/10.3389/fphy.2021.605630>
- [18] J. Y. Lee, J. H. Kim, H. H. Park, "Evaluation of the Applicability of PET/CT Phantom as a 3D Printing Material", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 45, No. 5, pp. 423-431, 2022. <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2022.45.5.423>
- [19] H. H. Park, J. Y. Lee, "Development and Evaluation of the Usefulness for Hoffman Brain Phantom Based on 3D Printing Technique", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 42, No. 6, pp. 441-446, 2019.  
<http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2019.42.6.441>
- [20] M. F. Bieniosek, B. J. Lee, C. S. Levin, "Technical Note: Characterization of custom 3D printed multimodality imaging phantoms", *Medical Physics*, Vol. 42, No. 10, pp. 5913-5918, 2015.  
<http://dx.doi.org/10.1118/1.4930803>
- [21] S. W. Lee, T. H. Kim, D. Y. Hong, J. H. Ock, J. Y. Kwon, E. S. Gwon, "A Review of Three-Dimensional Printing Technology for Medical Applications", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 80, No. 2, pp. 213-225, 2019.  
<https://doi.org/10.3348/jksr.2019.80.2.213>
- [22] N. Occhipinti, "3D printing methods for radiological anthropomorphic phantoms", *Physics in medicine and biology*, Vol. 67, No. 15, 2022.  
<https://doi.org/10.1088/1361-6560/ac80e7>
- [23] M. S. Yoon, D. K. Han, Y. M. Kim, J. Yoon, "A Study on the Fabrication of Bone Model X-Ray Phantom Using CT Data and 3D Printing Technology", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 12, No. 7, pp. 879-886, 2018.  
<https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.7.879>

## 3D 프린터를 이용한 인체조직등가 필라멘트 기반 무릎관절 CT 팬텀 제작 및 유용성 평가

권경태<sup>1</sup>, 윤명성<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>동남보건대학교 방사선학과

<sup>2</sup>MIP (Medical Imaging Processing Lab)

### 요 약

현재 사용되는 대부분의 팬텀은 아크릴과 뼈 등으로 구성되어 있으며, 인체 조직의 복잡한 밀도와 형태를 완벽하게 재현하는 데 기술적 한계를 가지고 있다. 이에 본 연구는 기존의 팬텀의 제한점을 해결하고자 익명화된 DICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine) 파일을 모델링 기반으로 하여, 연부조직, 피부, 지방, 뼈와 유사한 필라멘트를 사용해 3D 프린터로 팬텀을 제작하였다. 이후 제작된 3D 프린팅 팬텀, 기존 아크릴 팬텀, 익명화된 DICOM 파일의 CT number를 측정하고 비교 평가하였다. 아크릴 무릎 팬텀의 CT number 측정 결과 뼈 1586.64±269.78 HU, 아크릴 45.5±22.79 HU로 나타났으며, 3D 프린팅 팬텀의 경우, 피부는 53.2±11.5 HU, 지방은 -116.5±5.3 HU, 연조직은 62.9±3.7 HU, 뼈는 892.6±38.3 HU로 측정되었다. 익명화된 DICOM 파일의 측정 결과는 피부 52.5±17.7 HU, 지방 -115.7±2.8 HU, 연조직 65.2±0.7 HU, 뼈 929.3±103.3 HU이 측정되었다. 본 연구를 통하여 3D 프린팅 팬텀은 CT number 측면에서 실제 DICOM 데이터와 유사한 값을 보였으며, 기존 아크릴 팬텀에 비해 인체 조직의 복잡한 밀도와 형태를 더 잘 재현하였다. 본 연구는 3D 프린팅 기술이 의료 분야에서 팬텀 제작에 있어 실질적인 대안이 될 수 있음을 입증하였으며, 향후 추가 연구를 통해 의료 기술 발전에 기여할 것으로 기대된다

중심단어: 전산화단층촬영, CT 수, 3D 프린팅, 팬텀, 인체조직등가 필라멘트

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	권경태	동남보건대학교 방사선학과	부교수
(교신저자)	윤명성	MIP (Medical Imaging Processing Lab)	연구원