

Analysis of the Effect of Entry-Level 3D Printer Materials on CT Images

Se-Hwan Park¹, Hyun-Jung Jo¹, Sung-Jun Lee¹, Song-Bin Lee¹,
Sang-Hyub Park², Dae-Yeon Ryu², Yeong-Cheol Heo^{1,*}

¹Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Eulji University

²Department of Radiology, Asan Medical Center

Received: September 20, 2022. Revised: November 29, 2022. Accepted: November 30, 2022.

ABSTRACT

In this study, based on PLA, we analyzed the Hounsfield Unit (HU) of materials containing 20% each of aluminum, wood, copper, carbon, and marble, and tried to analyze how they affect the image. A cylindrical phantom of 5×30×30 mm³ (thickness×diameter×height) was fabricated using a entry-level 3D printer. The kV was changed to 80, 100 and 120, and the mAs was changed to 100 and 200 mAs, and the phantom in the center of the table was cross-scanned under a total of six conditions. A circular ROI was set using image J program and the quantification value of the material part HU and the quantification value of the peripheral part CNR were obtained. The HU average of the material part increased in the order of [PLA - wood 20%], [PLA - marble 20%], [PLA - carbon 20%], [PLA 100%], [PLA - aluminum 20%], [PLA - copper 20%] (p<0.05) a negative correlation was confirmed with the HU by increasing kV. It was confirmed that the CNR value in the peripheral area increased in the order of [PLA - marble 20%], [PLA - copper 20%], [PLA - carbon 20%], [PLA - wood 20%], [PLA - aluminum 20%], and [PLA - 100%] (p<0.05). Human organs with similar HU values for each material are [PLA - copper 20%] compact bone, [PLA - aluminum 20%] cancellous bone, [PLA 100%] coagulated blood, [PLA - carbon 20%] and [PLA - marble 20%] liver, muscle, spleen and [PLA - wood 20%] had similar values to fat. In addition, we confirmed the blur phenomenon that blurs the image around the filament with all materials, and confirmed that [PLA 100%] especially has the most blur around the filament. Therefore, it is considered desirable to reflect the HU value of the target organ and consider cloudiness around the phantom when selecting materials for medical phantom fabrication, and this research can provide basic data.

Keywords: Polylactic Acid(PLA), 3D printer, Computed Tomography(CT), CT number, Hounsfield Unit(HU)

I. INTRODUCTION

전산화단층영상장치(Computed Tomography: CT)는 인체 장기의 해부학적 구조를 정확하게 묘출하고 장기의 기능이나 상태를 영상화하여 고화질의 영상을 얻을 수 있는 장치이다^[1]. CT 검사는 인체의 해부학적 정보를 객관적인 데이터로 제공할 수 있고 국민건강보험의 적용으로 최근 10년 사이 검사 건수가 크게 증가하는 등 의료영상 검사에서 활용도가 높아지고 있다^[2]. 하지만 전체 영상의학 검

사의 X-선 피폭 중 67%를 차지할 정도로 의료 방사선 피폭에 대한 문제가 지적되고 있어 피폭 관련 연구가 매우 중요하다^[3]. CT 검사의 다양한 피폭 관련 연구들은 인체를 대상으로 하기 어렵기 때문에 의료용 팬텀이 필요하다. 하지만 기존의 의료용 팬텀은 국내 제작이 어려워 수입에 의존하거나, 고가의 가격이 형성되어 있어 팬텀의 보급이 용이하지 못한 문제가 있다^[4]. 따라서 다양한 형태의 의료용 팬텀 연구가 진행되고 있으며 최근에는 3D 프린터를 이용하여 의료용 팬텀을 제작하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 3D 프린터는 고체 형태의

* Corresponding Author: Yeong-Cheol Heo E-mail: eehrn@hanmail.net

Tel: +82-31-740-7134

필라멘트를 액체 형태로 녹여 분사하여 적층형의 형태로 쌓아 원하는 물질과 형태를 자유롭게 만들 수 있는 장점이 있다^{15,6)}. 특히 보급형 3D 프린터는 저가형으로 구매 문턱이 낮고 다양한 재료를 이용하여 팬텀 제작이 가능하기 때문에 저가의 의료용 팬텀 제작 연구에 많이 이용되고 있다. 필라멘트로 는 Polylactic Acid(PLA)가 3D 프린터 재료로 인체의 등가 물질로 잘 알려져 있어 의료용 팬텀 연구에서 가장 많이 사용하는 재료이다. 최근에는 PLA를 기반으로 알루미늄, 나무, 구리, 카본, 대리석을 섞은 재료가 보급되고 있어 다양한 재질의 팬텀 제작이 가능하게 되었다. 하지만 이러한 재료들이 CT 영상에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 PLA를 기반으로 알루미늄, 나무, 구리, 카본, 대리석이 각각 20% 함유된 재질들의 CT number를 분석하고 영상에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고자 한다.

II. MATERIALS AND METHODS

1. 원통형 3D 프린팅 팬텀 제작

원통형 3D 프린팅 팬텀의 제작을 위해 Polylactic Acid (PLA) 100%, PLA - 알루미늄 20%, PLA - 나무 20%, PLA - 구리 20%, PLA - 카본 20%, PLA - 대리석 20%의 총 6가지 필라멘트(Pure Eco, Korea)를 선정하였다. Fig. 1과 같이, 오픈소스인 Tinkercad를 이용해 환자를 위한 팬텀 강도를 고려한 최소의 두께 5 mm, 직경 30 mm, 높이 30 mm 원통형태의 팬텀 모델링을 한 후 STL (Stereolithography Tessellation Language) 파일로 변환하였다. 변환된 STL 파일을 CURA (V.15.04.6, Ultimaker, Netherlands) 프로그램을 사용하여 노즐온도 190~210 °C, 내부채움 100%, 셀 두께 0.4 mm, 노즐 사이즈 0.4 mm, 출력속도 40 mm/sec의 조건을 설정하였고, G-coding 후 적층형 출력 방식(Fused Deposition Modeling, FDM)의 보급형 3D 프린터(PINTER A8, Korea)로 전송하여 팬텀을 출력하였다.

2. CT Scan

CT장비는 128MDCT (SOMATOM Definition Edge, SIMENSE health care, Germany) 를 사용하였

으며, 각 팬텀을 갠트리 중앙에 가로로 놓혀 위치시킨 후, 팬텀 중앙으로부터 위 7.5 mm, 아래 7.5 mm를 설정하여 단면두께 3 mm로 5개의 슬라이스를 얻었으며, 처음과 마지막 슬라이스가 두껍게 출력되는 3D프린터의 물리적 특성상 가장 균일하다고 판단한 3번째 슬라이스의 axial 영상을 분석에 이용하였다. CT 스캔에는 재구성 간격 3 mm, pitch 0.8, collimation 0.6 mm, standard 알고리즘을 사용하였고 관전압을 80, 100, 120 kV로, 관전류량을 100, 200 mAs로 변화시켜 팬텀 6종류를 2회씩, 총 72회 스캔하였다.

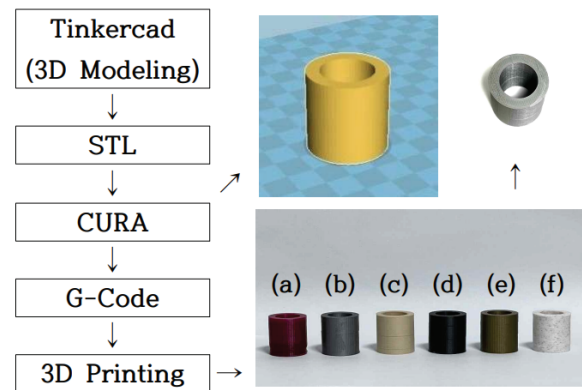


Fig. 1. After modeling phantom through Tinkercad, it is converted to G-Code through CURA to output phantoms. (a) PLA-100%, (b) PLA-Aluminum20%, (c) PLA-Wood20%, (d) PLA-carbon20%, (e) PLA-Cu20%, and (f) PLA-Marble20%

영상분석 프로그램은 Image J(V.1.8.0, NIH, USA)를 사용하였다. 물질 부분은 Fig. 2-(a)-(1), 주변 부분은 Fig. 2-(a)-(2)와 같이 정의하였다. 백그라운드(Background; BKG)는 Fig. 2-(b)와 같이 평균 19.93 mm²인 원형의 ROI(Region of Interest)를 8개의 영역에 설정하여 총 576개의 CT number의 평균값(mean)과 표준편차(Standard Deviation; SD)를 구하였고, 인체 조직 CT number와의 비교를 위해 팬텀의 물질 부분에 평균 11.95 mm²의 8개의 원형 ROI(Fig. 2-(c))를 설정하여 총 576개의 CT number의 평균값과 표준편차를 구하였으며, 주변부에 평균 20.54 mm²의 16개의 원형 ROI(Fig. 2-(d))를 설정하여 총 1152개의 CT number의 평균값과 표준편차를 구하였다.

3. 데이터 획득

주변부의 흐림현상(Blurring)을 확인하기 위해 백그라운드 평균값과 관심 영역 평균값의 차이를 백그라운드 표준편차로 나누어 대조도대잡음비(Contrast to Noise Ratio; CNR)^[7]를 구하였다.

$$CNR = \frac{|BKGmean - ROI_{mean}|}{BKGSD} \quad (1)$$

통계분석은 SPSS(V.20.0, IBM, USA) 프로그램을 사용하여 재료별 물질 부분의 CT number와 주변부의 CNR의 평균값을 비교하기 위해 일원배치분산분석(ANOVA Test)를 하였고, Dunnett을 이용하여 사후검정을 하였다. 또한 kV의 변화에 따른 상관성을 비교하기 위해 Pearson's Correlation Test를 하였으며, mAs의 변화에 의한 분석은 물질 부분과 주변부를 나누어 독립 t-검정(Independent t-test)하였다. 이때 p값이 0.05보다 작을 때 통계적으로 유의한 차이가 난다고 판단하였다.

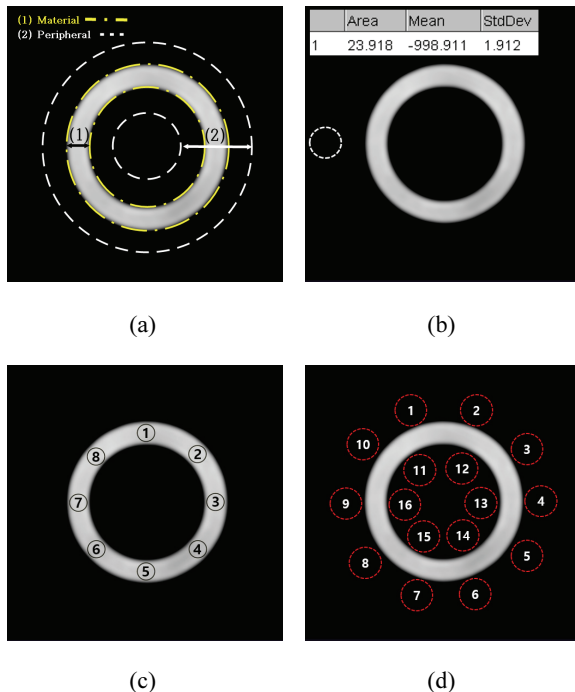


Fig. 2. (a) - (1) was defined as the material region and (a) - (2) as the peripheral region. (b) background ROIs, (c) 8 ROIs of material region, (d) 16 ROIs of peripheral region were set.

III. RESULT

1. 물질 부분의 관전압(kV), 관전류량(mAs)에 따른 CT number값

물질 부분의 kV, mAs 변화에 따른 CT number값은 PLA-구리20%가 가장 컸고 PLA-알루미늄20%, PLA-100%, PLA-카본20%, PLA-대리석20%, PLA-나무20% 순으로 낮아졌다(p<0.05).

PLA-구리20%의 CT number는 최소 696.33±5.20 HU에서 최대 1023.68±17.27 HU 이었으며 100 mAs에서 kV 증가에 따라 매우 강한 음의 상관성을 확인하였고, (r=-0.983, p<0.05) 200 mAs에서도 kV 증가에 따라 매우 강한 음의 상관성을 확인하였다 (r=-0.968, p<0.05).

PLA-알루미늄20%의 CT number는 최소 130.48±15.17 HU에서 최대 167.16±12.40 HU 이었으며 100 mAs에서 kV 증가에 따라 강한 음의 상관성을 보였고 (r=-0.629, p<0.05), 200 mAs에서도 kV 증가에 따라 강한 음의 상관성을 보였다(r=-0.693, p<0.05).

PLA-100%의 CT number는 최소 92.57±24.02 HU에서 최대 98.86±22.97 HU 이었으며, 100 mAs에서 kV 증가에 따라 차이를 보이지 않았고(p>0.05), 200 mAs에서도 kV 증가에 따라 차이를 보이지 않았다 (p>0.05).

PLA-카본20%의 CT number는 최소 49.52±10.67 HU에서 최대 61.42±14.31 HU 이었으며 100 mAs에서 kV 증가에 따라 매우 약한 음의 상관성을 보였고 (r = -0.29, p<0.05), 200 mAs에서는 kV 증가에 따라 약한 음의 상관성을 보였다(r = -0.362, p<0.05).

PLA-대리석20%의 CT number는 최소 49.58±10.21 HU에서 최대 56.70±7.91 HU 이었으며 100 mAs에서 kV 증가에 따라 약한 양의 상관성을 보였으며 (r = 0.329, p<0.05), 200 mAs의 경우 kV 증가에 따라 차이를 보이지 않았다(p>0.05).

PLA-나무20%에서 최소 -131.27±14 HU에서 최대 -120.12±9.99 HU였으며 100 mAs에서는 kV 증가에 따라 약한 음의 상관성을 보였으며 (r = -0.313, p<0.05), 200 mAs에서도 kV 증가에 따라서 약한 음

의 상관성을 보였다.($r = -0.304, p < 0.05$)

2. 주변부분 관전압(kV), 관전류량(mAs)에 따른 CNR값

주변부분의 kV, mAs 변화에 따른 대조도대잡음비 값은 100 kV, 100 mAs에서는 PLA-구리20%가 가장 낮았고, 그 외의 조건에서는 PLA-대리석20%이 가장 낮았으며, PLA-구리20%, PLA-카본20%, PLA-나

무20%, PLA-알루미늄20%, PLA-100% 순으로 증가하였다.

가장 낮은 값을 보였던 PLA-대리석20%의 CNR은 최소 10.77 ± 4.29 HU, 최대 27.13 ± 15.12 HU 였으며 100 mAs에서는 kV 증가에 따라 약한 양의 상관성을 보였으며($r = 0.408, p < 0.05$), 200 mAs에서는 kV 증가에 따라 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

Table 1. CT number of Material Region

Materials	80 kV			100 kV			120 kV		
	100 mAs	200 mAs	P	100 mAs	200 mAs	P	100 mAs	200 mAs	P
PLA-100%	92.57 ±24.02	92.67 ±23.92	.788	98.86 ±22.97	96.60 ±26.14	.766	97.27 ±29.54	94.71 ±23.89	.497
PLA - Aluminum20%	167.16 ±12.40	163.01 ±13.21	.739	144.82 ±14.02	147.08 ±14.38	.753	138.44 ±16.66	130.48 ±15.17	.945
PLA - Wood 20%	-120.12 ±9.99	-121.99 ±9.66	.997	-126.07 ±14.82	-127.29 ±11.75	.248	-130.01 ±12.59	-131.27 ±14	.429
PLA - Carbon 20%	61.42 ±14.31	59.96 ±10.32	.129	56.29 ±14.71	57.50 ±12.59	.560	50.06 ±18.15	49.52 ±10.67	.036
PLA - Copper 20%	1023.68 ±17.27	1020.03 ±8.14	.006	816.77 ±10.75	818.08 ±20.27	.008	696.87 ±13.21	696.33 ±5.20	.000
PLA - Marble 20%	49.84 ±7.51	49.58 ±10.21	.376	56.40 ±9.00	56.69 ±8.31	.855	56.70 ±7.91	53.47 ±7.38	.920
<i>p</i>	.000	.000		.000	.000		.000	.000	

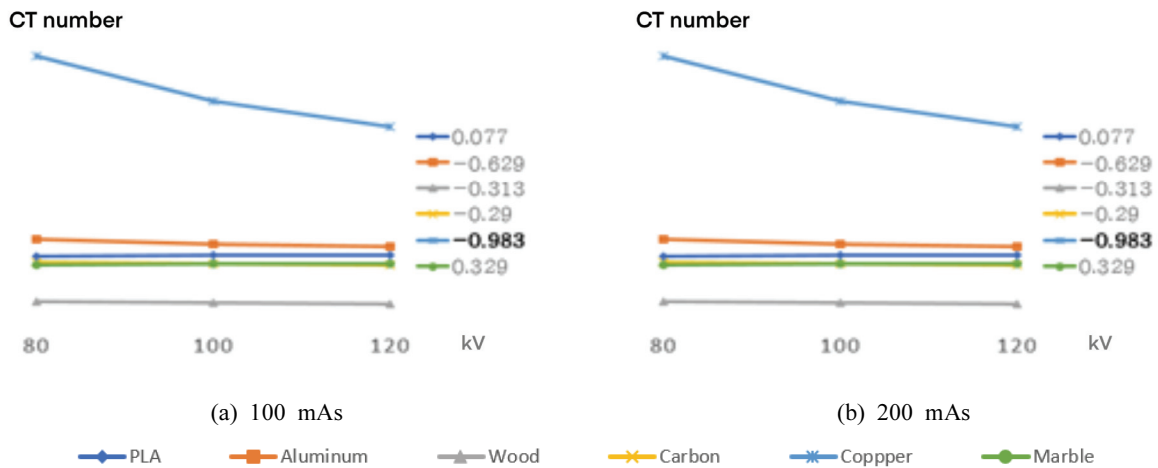


Fig. 3. (a) As Pearson's Correlation Test of CT number in 100 mAs of material region It was showed strong negative correlation in PLA-Aluminum20%(-0.629), very strong negative correlation in PLA-copper20%(-0.983) and weak positive correlation in PLA-Marble20%(0.329). (b) As Pearson's Correlation Test of CT number in 200 mAs of the material region, It was showed strong negative correlation in PLA-Aluminum20%(-0.629), weak negative correlation in PLA-Wood20%(-0.304) and very strong negative correlation in PLA-copper20%(-0.968)

Table 2. CNR of Peripheral Region

Materials	80 kV 100 mAs	80 kV 200 mAs	<i>P</i>	100 kV 100 mAs	100 kV 200 mAs	<i>P</i>	120 kV 100 mAs	120 kV 200 mAs	<i>P</i>
PLA-100%	52.58 ±15.80	50.74 ±11.07*	.019	45.08 ±10.48*	49.02 ±12.04*	.290	37.98 ±9.55*	52.98 ±13.78	.047
PLA - Aluminum20%	33.30 ±9.84	29.38 ±7.67	.030	22.17 ±6.97	24.03 ±7.39	.948	28.89 ±8.57	31.56 ±11.48	.099
PLA - Wood 20%	29.70 ±6.92	47.51 ±9.66*	.045	41.00 ±10.06*	48.05 ±9.46*	.681	41.93 ±8.13*	41.99 ±8.17	.964
PLA - Carbon 20%	19.94 ±7.11	33.02 ±9.88	.057	23.19 ±6.13	28.01 ±9.36	.022	26.26 ±8.40	29.00 ±9.49	.831
PLA - Copper 20%	14.74 ±15.38	19.19 ±17.96	.401	16.39 ±13.18	21.72 ±16.06	.041	22.80 ±14.87	24.76 ±16.15	.722
PLA - Marble 20%	10.77 ±4.29	17.11 ±8.72	.000	27.13 ±15.12	17.84 ±6.86	.039	18.83 ±7.43	20.86 ±7.27	.850
<i>p</i>	.000	.000		.000	.000		.000	.000	

* : *p* > 0.05 Comparison with PLA-100%, Post hoc test by Dunnett

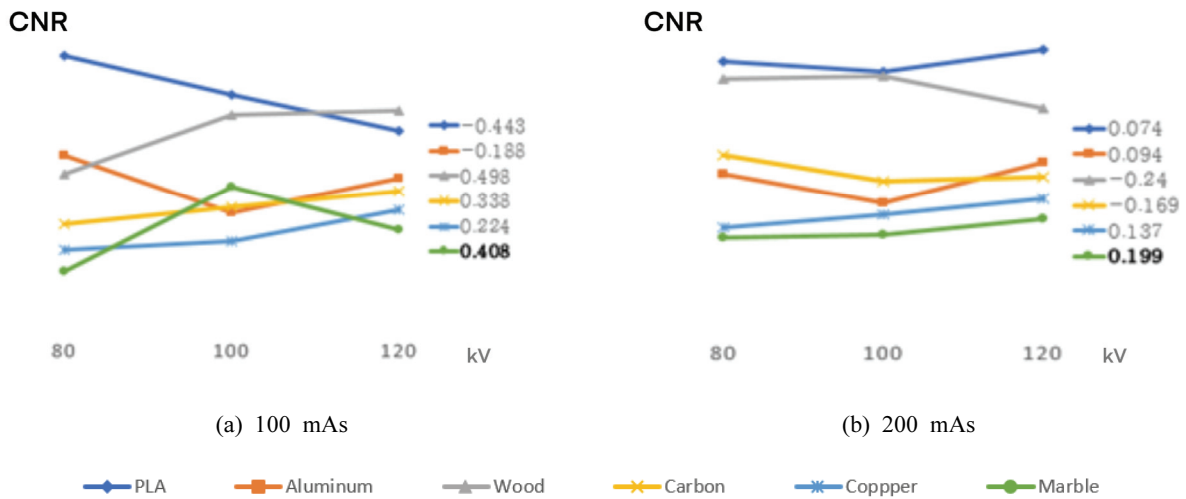


Fig. 4. (a) As Pearson's Correlation Test of CNR in 100 mAs of peripheral region. It was showed weak negative correlation in PLA-100% (◆ -0.443), weak negative correlation in PLA-Wood20% (▲ -0.498), weak positive correlation in PLA-Carbon20% (✕ 0.338), very weak positive correlation in PLA-copper20% (✱ 0.224) and weak positive correlation in PLA-Marble20% (● 0.408). (b) As Pearson's Correlation Test of CNR in 200 mAs of peripheral region. All filaments didn't show any difference according to kV change

IV. DISCUSSION

본 연구에서는 Polylactic Acid(PLA)를 기반으로 알루미늄, 나무, 구리, 카본, 대리석이 각각 20% 함유된 재질들의 CT number를 분석하고 영상에 어떠한

영향을 미치는지 분석하고자 하였다. 80, 100, 120 kV와 100, 200 mAs의 6가지 조건에서 3D 프린터 필라멘트들의 CT number, CNR의 평균값을 비교하였다. 물질 부분의 HU 평균값을 비교해 보았을 때, 물질 부분의 kV, mAs 변화에 따른 HU 값은 PLA-구리20%가 가장 컸고 PLA-알루미늄20%, PLA-100%,

PLA-카본20%, PLA-대리석20%, PLA-나무20%의 순으로 낮아졌다. 인체의 장기들과 비교해 보면, PLA-구리20%는 696.33 ± 5.20 에서 1023.68 ± 17.27 HU로 치밀골과 PLA-알루미늄20%는 130.48 ± 15.17 에서 167.16 ± 12.40 HU로 해면골과, PLA-100%는 92.57 ± 24.02 에서 98.86 ± 22.97 HU로 응고된 혈액과, PLA-카본20%은 49.52 ± 10.67 에서 61.42 ± 14.31 HU로 간, 근육, 비장과, PLA-대리석20%은 49.58 ± 10.21 에서 56.70 ± 7.91 HU로 간, 근육, 비장과, PLA-나무20%는 -131.27 ± 14 에서 -120.12 ± 9.99 HU로 지방과 유사한 값을 보였다^[8-11]. 재료와 인체 장기의 HU 비교 값은 해당 장기를 모델로 하는 팬텀을 제작하고자 할 때 참고 값을 제공할 수 있을 것이라 사료된다. 하지만 본 연구에서 제시하는 참고 값을 절대 값으로 인식해서는 안된다. 그것은 재료의 두께나 장비의 관전압에 따라 HU값의 변화가 나타나기 때문이다. 선행 연구 중 남궁^[12] 등의 연구에서는 본 연구에서 사용한 PLA-구리20%로 인체 대퇴골두(femoral head) 모델을 제작하여 120 kV 조건에서 검사하였을 때 753 ± 2.68 HU를 얻었다고 보고하였다. 이는 본 연구와 같은 재료, 같은 관전압을 사용하였지만 본 연구 결과보다 약 60 HU 정도 높게 나타난 결과였고 원인으로 팬텀의 두께일 가능성이 크다고 할 수 있다. 비슷한 사례로 이^[13] 등의 연구에서는 PLA-100%를 사용하여 4.07 ± 0.78 HU로 측정되어 본 연구 결과 보다 약 90 HU 정도 적게 측정된 값을 보고하였다. 성^[14] 등은 관전압과 HU 값의 상관성 분석에서 고관전압을 사용하면 HU 값이 낮아진다고 보고하였고, 이는 이 등의 연구에서 본 연구보다 낮은 값을 보인 이유로 고관전압을 사용하였기 때문으로 분석할 수 있다. 본 연구에서도 관전압이 증가할수록 HU 값은 음의 상관성을 확인하였다. 종합적으로 본 연구에서 제시한 3D 프린터 재질별 인체 장기들의 값과 비교한 값들은 추후 연구에서 관전압을 변화시키거나 팬텀의 두께를 다르게 제작하면 또 다른 값을 가지게 됨을 의미한다. 따라서 본 연구에서 제시하는 값을 절대값으로 인식해서는 안되며 추후 연구에서는 각 재료별 두께에 따른 상관성의 연구가 필요한 상황이다. 본 연구에서는 필라멘트 재질이 CT 영상에 미치는 영향을 분석하고자 하였고 이에 대한 분석으로 팬텀

주변에 발생하는 흐림 현상을 측정하는 연구를 진행하였다. 팬텀 주변부의 CNR 값을 측정하여 영상의 백그라운드 평균값인 -999.33 HU보다 높게 측정되면 필라멘트에 의한 흐림 현상이 발생했다고 판단할 수 있다. 본 연구에서는 PLA-대리석20%가 가장 낮은 주변부 CNR 값을 보여 흐림 현상이 가장 적었고, PLA-구리20%, PLA-카본20%, PLA-나무20%, PLA-알루미늄20%, PLA-100% 순으로 흐림 현상이 증가하였다. 특히 PLA-100%의 경우 CT-선량 팬텀의 주 재질인 아크릴과 밀도가 유사하기 때문에 팬텀 제작의 기본 재료로 많이 사용되고 있다^[9]. 하지만 재료에 의한 주변부 흐림 현상이 가장 많이 발생하고 있기 때문에 팬텀 제작 시 재료 선정에 주요 고려 사항이 되어야 할 것이다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 PLA를 기반으로 알루미늄, 나무, 구리, 카본, 대리석이 각각 20% 함유된 보급형 3D 프린터 재질들의 CT number와 영상의 영향 정도를 분석하였다. 각 재료별 HU 값과 유사한 인체 장기로 PLA-구리20%는 치밀골, PLA-알루미늄20%는 해면골, PLA-100%는 응고된 혈액, PLA-카본20%와 PLA-대리석20%는 간, 근육, 비장, PLA-나무20%는 지방과 유사한 값이었다. 또한 모든 재료에서 필라멘트 주변부 영상을 흐리게 하는 흐림 현상을 확인하였고 특히 PLA-100%에서 영상 주변부 흐림 현상이 가장 많은 것을 확인하였다. 따라서 의료용 팬텀 제작의 재질을 선정할 때 목표 장기의 HU 값을 반영하고, 팬텀 주변부의 흐림 현상을 고려하는 것이 바람직하다고 판단하며 본 연구가 기초 자료를 제공할 수 있을 것이라 사료된다.

Acknowledgements

이 연구는 2022년 을지대학교 대학혁신지원사업 지원을 받아 진행한 연구임.

References

- [1] H. J. Kim. "A study of beam hardening effect reduction occur in brain CT", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No.

- 12, pp. 8479-8468, 2015.
<http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.12.8479>
- [2] J. S. Lee, K. S. Chon, "Reduction of Radiation Exposure Dose of Eyeball and Thyroid for Chest and Abdomen CT Scan", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 2, pp. 147-151, 2019.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.2.147>
- [3] M. Y. Park, S. E. Jung, "CT radiation dose and radiation reduction strategies", *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 54, No. 12, pp. 1262-1268, 2011. <http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2011.54.12.1262>
- [4] 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>
- [5] M. S. Yoon, S. M. Hong, Y. C. Heo, D. K. Han, "A Study on the Fabrication and Comparison of the Phantom for Computed Tomography Image Quality Measurements Using Three-Dimensions Printing Technology", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 41, No. 6, pp. 595-602, 2018.
<https://doi.org/10.17946/JRST.2018.41.6.595>
- [6] W. K. Oh, "Customized Model Manufacturing for Patients with Pelvic Fracture using FDM 3D Printer", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 14, No. 11, pp. 370-377, 2014.
<http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2014.14.11.370>
- [7] J. H. Hwang, J. A. Choi, H. S. Kim, K. B. Lee, "Evaluation of Clinical Application Model of Optimized Parameter through Analysis of Stability of Radiation Output and Image Quality when Exposure Time Change of Digital Radiography (DR)", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 14, No. 2, pp. 139-148, 2020.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.2.139>
- [8] J. C. Choi, S. S. Choi, S. O. Yang, Y. I. Lee, D. H. Chung, "The changes of CT number in various organs according to hematocrite level", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 29, No. 1, pp. 174-178, 1993.
<http://dx.doi.org/10.3348/jkrs.1993.29.1.174>
- [9] M. S. Yun, D. K. Han, Y. M. Kim, Y. Joon, "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>
- [10] H. J. Lee, J. Y. Hwang, "Multidetector Computed Tomography in Patients with Femoral Neck Fracture for Assessing Osteoporosis : Comparison with Dual Energy X-Ray Absorptiometry", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 82, No. 1, pp. 173-181, 2021. <https://doi.org/10.3348/jksr.2019.0193>
- [11] P. Hu, X. Yang, Y. Li, G. Deng, Y. Xu, L. Ye, Y. Qi, Z. Zong, Q. Chen, "Predictive effects of admission white blood cell counts and hounsfield unit values on delayed cerebral ischemia after aneurysmal subarachnoid hemorrhage", *Clinical Neurology and Neurosurgery*, Vol. 212, pp. 107087, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clineuro.2021.107087>
- [12] E. J. Namkung, D. H. Kim, S. H. Kim, S. E. Park, D. B. Jung, S. H. Park, Y. C. Heo, "A Fundamental Study on the Fabrication of Human Model Bone Phantom using an Entry-Level 3D Printer: using FDM Method for the Femur Model", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 14, No. 5, pp. 651-660, 2020.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.5.651>
- [13] Y. K. Lee, S. M. Ahn, "Usefulness of Brain Phantom Made by Fused Filament Fabrication Type 3D Printer", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 43, No. 6, pp. 453-460, 2020.
<https://doi.org/10.17946/JRST.2020.43.6.453>
- [14] Y. H. Seoung, "Comparison of Hounsfield Units by Changing in Size of Physical Area and Setting Size of Region of Interest by Using the CT Phantom Made with a 3D Printer", *Journal of Radiological Science and Technology*. Vol. 38, No. 4, pp. 421-427, 2015.
<http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2015.38.4.12>

보급형 3D프린터 재료가 CT 영상에 미치는 영향 분석

박세환¹, 조현정¹, 이성준¹, 이송빈¹, 박상협², 류대연², 허영철^{1,*}

¹을지대학교 보건과학대학 방사선학과

²서울아산병원 영상의학과

요약

본 연구에서는 PLA를 기반으로 알루미늄, 나무, 구리, 카본, 대리석이 각각 20% 함유된 재질들의 CT number를 분석하고 영상에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고자 하였다. 보급형 3D 프린터를 이용하여 5 × 30 × 30 mm³(두께 × 직경 × 높이)의 원기둥 모양 팬텀을 제작하였다. 관전압을 80, 100, 120 kV로 변화시키고, 관전류초를 100, 200 mAs로 변화시켜 테이블 중앙에 놓인 팬텀을 총 6가지 조건으로 횡단 스캔하였다. Image J를 이용하여 원형의 ROI를 설정하고 물질부 CT number의 정량값과 주변부 CNR의 정량값을 구하였다. 물질부의 CT number 평균값은 PLA-나무20%, PLA-대리석20%, PLA-카본20%, PLA-100%, PLA-알루미늄20%, PLA-구리20% 순으로 높아졌고(p<0.05), kV 증가에 따른 CT number는 음의 상관성을 확인하였다. 주변부의 CNR값은 PLA-대리석20%, PLA-구리20%, PLA-카본20%, PLA-나무20%, PLA-알루미늄20%, PLA-100% 순으로 증가 됨을 확인하였다(p<0.05). 각 재료별 HU 값과 유사한 인체 장기는 PLA-구리20%는 치밀골, PLA-알루미늄20%는 해면골, PLA-100%는 응고된 혈액, PLA-카본20%와 PLA-대리석20%는 간, 근육, 비장, PLA-나무20%는 지방과 유사한 값이었다. 또한 모든 재료에서 필라멘트 주변부 영상을 흐리게 하는 흐림 현상을 확인하였고 특히 PLA-100%에서 영상 주변부 흐림 현상이 가장 많은 것을 확인하였다. 따라서 의료용 팬텀 제작의 재질을 선정할 때 목표 장기의 HU 값을 반영하고, 팬텀 주변부의 흐림 현상을 고려하는 것이 바람직하다고 판단하며 본 연구가 기초 자료를 제공할 수 있을 것이라 사료된다.

중심단어: 폴리젯산(PLA), 3D 프린터, 전산화단층영상장치, CT 수, Hounsfield Unit(HU)

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	박세환	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	학부생
	이성준	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	학부생
	이송빈	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	학부생
(공동저자)	조현정	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	학부생
	박상협	서울아산병원 영상의학과	방사선사
	류대연	서울아산병원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	허영철	을지대학교 보건과학대학 방사선학과	교수