

<원저>

3D 프린팅 기법 기반의 Hoffman Brain 팬텀 개발 및 유용성 평가

박훈희¹⁾·이주영²⁾¹⁾신구대학교 방사선과·²⁾송호대학교 방사선과

Development and Evaluation of the Usefulness for Hoffman Brain Phantom Based on 3D Printing Technique

Park Hoon-Hee¹⁾·Lee Joo-Young²⁾¹⁾Department of Radiological Technology, Shingu College²⁾Department of Radiological Technology, Shongho University

Abstract The purpose of this paper is to recognize the usefulness of the Phantom produced with 3D printing technology by reproducing the original phantom with 3D printing technology. Using CT, we obtained information from the original phantom. The acquired file was printed by the SLA method of ABS materials. For inspection, SPECT/CT was used to obtain images. We filled the both Phantom with a solution mixed with ^{99m}TcO₄ 1 mCi in 1 liter of water and acquired images in accordance with the standard protocol. Using Image J, the SNR for each slice of the image was obtained. As a reference images, AC images were used. For the analysis of acquired images, ROI was set in the White mater and Gray mater sections of each image, and the average Intensity Value within the ROI were compared. According to the results of this study, 3D printed phantom's SNR is about 0.1 higher than the conventional phantom. And the ratio of Intensity Value was shown in the original 1 : 3.4, and the printed phantom was shown to be 1 : 3.2. Therefore, if Calibration Value is applied, It is assumed that it can be used as an alternative to the original.

Key Words: 3D Printing, SPECT, Brain Phantom, PMMA, ABS, SNR, Intensity Value

중심 단어: 3D 프린팅, SPECT, 뇌팬텀, PMMA, ABS, SNR, Intensity Value

1. 서론

3D 프린팅 기술은 의료, 전자, 자동차, 항공·우주 등 다양한 분야에서 폭넓게 활용되고 있으며, 시장 규모는 전 세계적으로 증가 추세를 보이고 있다[1]. 국내 3D 프린팅 시장은 주요 선진국에 비해 미비한 수준이지만, 뒤늦은 기술 도입과 개발을 통해 시장 규모를 점층적으로 넓히고 있다[2]. 3D 프린팅을 활용한 의료 산업은 기존에 할 수 없었던 일을 가능하게 하고 있으며, 그 예로 인공관절, 인공장기, 뼈, 치아 등과 같은 다양한 부분에서 적용되고 있다[3]. 다품종 소량생산은 3D 프린팅의 가장 큰 장점으로 특히, 순수 티타늄(Titanium) 소재로 제작된 인공 두개골을 이용한 두개골 수

술은 환자 개인의 맞춤형 서비스를 제공하였다. 태아의 심장과 같이 정밀성이 요구되는 수술 역시 맞춤형 모형을 통한 모의 수술이 가능하게 되었다. 치아, 의족, 의수와 같은 비수술 분야도 마찬가지이다[4].

이러한 3D 프린팅 기술은 3D 스캔, CAD(Computer aided design)와 같은 프로그램을 이용하여 모델링 등의 과정을 거치고, 삼차원 설계도면이 만들어진다. 그 다음 플라스틱, 금속 등의 재료를 이용하여 3차원으로 물품을 생산하는 기술이다[5]. 3D system(USA)에서 첫 개발을 시작한 이후 지속적인 연구와 발전을 거듭하여 ABS(Acrylonitrile butadiene styrene copolymer)나 PLA(Polylactic acid)같은 플라스틱 재료를 녹인 후 분출하여 단면을 쌓아가는 FDM(Fused

Corresponding author: Hoon-Hee Park, Department of Radiological Technology, Shingu College, 377 Gwangmyeong-ro, Seongnam, 13174, Korea / Tel: +82-31-740-1638 / E-mail : hzpark@shingu.ac.kr

Received 28 November 2019; Revised 8 December 2019; Accepted 13 December 2019

Copyright ©2019 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

deposition modeling)방식이 개발되었다[6]. 이 방식은 기존의 방식보다 비교적 저렴하고 단순하여 대중에게도 3D 프린팅 기술이 보편화되는 계기가 되었다.

그 후, 3D 프린팅 기술은 빠르게 발전하였으며 현재는 다양한 인크소재들을 활용하여 단순 물건을 제조해 내는 것을 넘어 많은 분야에 적용되고 있다. 제조업에서는 가구디자인 분야에 이용되기도 하며, 건축 분야에서는 건축 전 모형의 제작을 넘어 직접 건물을 짓는 방식도 개발되고 있다[7, 8]. 또한 2014년 NASA에서는 금속 3D 프린팅 기술로 로켓엔진 부품의 연소 테스트에 성공하기도 하였다[9].

이처럼 3D 프린팅 기술은 다양한 분야에서 활용 가능성을 보여주고 있으며, 특히 의학 분야에서는 인공 뼈, 인공 관절 등 인체에서 맞춤 제작이 필요한 보형물을 제작하는 연구도 진행되고 있다[10]. 영상의학 분야에서는 3D 프린팅의 주재료인 ABS와 PLA를 팬텀의 재료로 제작되기도 하였으며, 기존에 이용되는 PMMA(Polymethylmethacrylate) 팬텀 재료와 X선의 에너지 감약계수를 비교하였으며, 이를 통해 기존의 팬텀을 대체할 수 있는 가능성이 확인되었다[11].

이러한 활용과 함께 핵의학 분야에서도 3D 프린팅으로 제작된 팬텀에 대해서 감마카메라에 적용 가능성에 대한 연구가 진행된 바 있다[12]. 하지만 핵의학 분야에서는 방사성 동위원소를 사용하여 팬텀을 활용해야하는 제한점으로 다양한 연구가 미비한 실정이다. 일부 3D 프린팅을 활용한 동적심장팬텀, 정도관리 팬텀 등에 적용하고 있지만 다른 분야에 비해 활발한 연구가 진행되지 못하고 있다.

단일광자방출 컴퓨터단층촬영(SPECT : Single photon emission computed tomography)에서 사용되고 있는 뇌 팬텀의 경우, 1990년 Hoffman 등에 의해 고안되어 뇌의 혈류와 신진대사를 재현하기 위한 목적으로 제작되었다. 본 연구에서는 현재 PET과 SPECT를 이용한 다양한 연구를 위해 이용되고 있는 뇌팬텀을 3D 프린트를 적용하여 제작하였다. 보다 구체적으로는 CT를 이용하여 SPECT 뇌 팬텀을 3D 프린팅 기술을 적용하였으며, 팬텀의 유용성을 평가하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 팬텀 제작

기존 팬텀의 주재료인 PMMA소재의 Hoffman 뇌 팬텀(Hoffman brain phantom)내부 형태에 대한 정보를 얻기 위해서 CT(Definition AS, SIEMENS, Germany)촬영을 시

행하였다. 촬영조건은 120 kV, 35 mA, 2.7 s, 0.6 mm 단면두께로 스캔(scan)하였으며, DICOM(Digital imaging and communications in medicine)파일을 얻었다(Fig. 1).

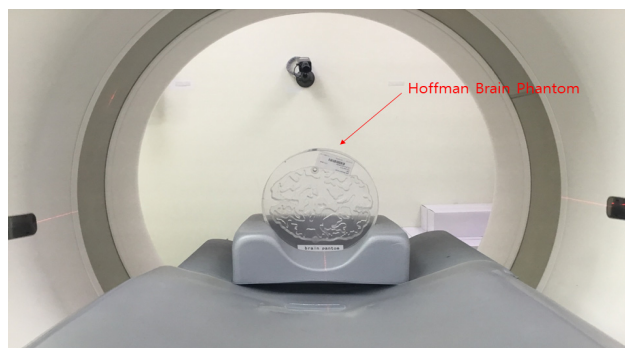


Fig. 1. SPECT Brain phantom was scanned with CT

획득한 DICOM파일은 CT값의 차이를 이용하여 3D slicer(4.10.1 Version)를 통해 3D 프린팅이 가능한 형식인 STL(Stereolithography)파일로 변환하였다(Fig. 2).

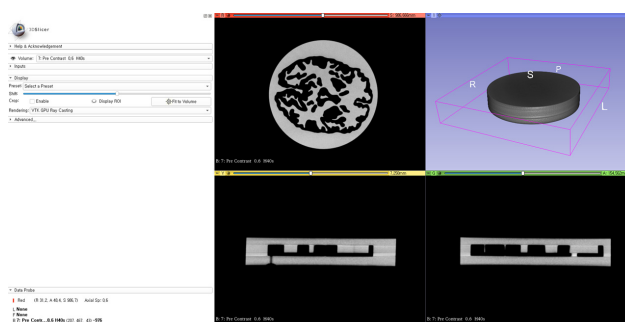


Fig. 2. The DICOM file was converted to STL format using 3D slider

파일 변환 후 거칠게 나타나는 표면을 후처리를 위하여 Meshmixer(Autodesk, San Rafael, USA)를 사용하였으며, 부드럽게 다듬어 준 후 모델링을 완성하였다(Fig. 3).

수정한 STL파일은 ABS소재를 이용하여 3D 프린팅의 SLA(Stereo lithography apparatus)방식으로 위, 아랫면으로 나누어 출력한 후 결합하였다(Fig. 4).

2. 영상 획득

SPECT/CT Discovery NM/CT670(GE Healthcare, USA)를 적용하여 영상을 획득하였다(Fig. 5).

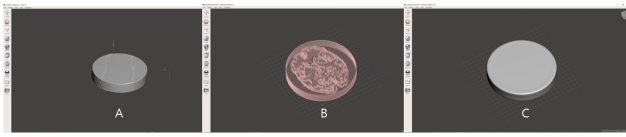


Fig. 3. Modeling with rough surfaces(A), inner part of phantom(B), refined modeling(C)

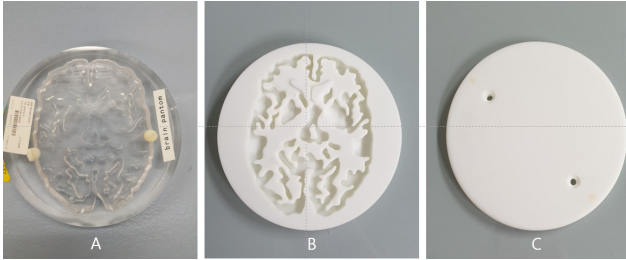


Fig. 4. Conventional Phantom(A) and results of 3D Printed Phantom(B), (C)



Fig. 5. Discovery NM/CT 670(GE Healthcare, USA)

영상획득 과정은 물 1 L에 $^{99m}\text{TcO}_4$ 1 mCi를 동일하게 Hoffman 뇌 팬텀과 3D 프린팅 제작 팬텀에 가득 채운 후, 각각 Brain SPECT 검사절차에 따라 검사 테이블 높이는 95 cm, 20 sec/frame로 23분간 획득하였다(Fig. 6).

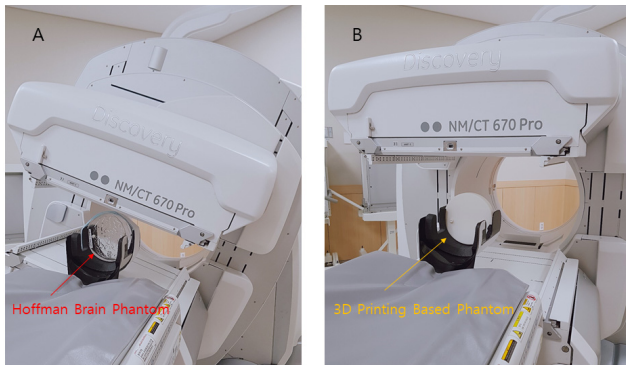


Fig. 6. Conventional phantom(A) and 3D printed phantom(B) on the table of SPECT/CT

3. 영상 분석 및 평가

1) SNR(Signal to Noise Ratio)비교

핵의학단층촬영 영상에서 잡음(noise)은 배후방사능이나 산란선 혹은 영상을 왜곡시키는 모든 요인을 포함하기 때문에 산란선을 평가하는 지표인 SNR을 비교하여 평가하였다. Hoffman 뇌 팬텀과 3D 프린팅 제작 팬텀의 영상을 Image J(LOCI, University of Wisconsin, Madison, USA)를 통하여 다음의 식(1)을 이용한 방식으로 각 단면(slice)별 SNR을 구하였다[10]. 기준영상은 잡음을 제거하는 AC(Attenuation correction)영상을 적용하였다.

$$SNR = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_0^{n_x-1} \sum_0^{n_y-1} [r(x,y)]^2}{\sum_0^{n_x-1} \sum_0^{n_y-1} [r(x,y) - t(x,y)]^2} \right] \dots (1)$$

2) Intensity Value 비교

Hoffman 뇌 팬텀은 뇌의 백질(White matter)과 회백질(Gray matter) 부분에서 일정한 비율의 방사성동위원소의 분포가 나타나도록 설계되었다. 따라서 획득한 영상의 분석을 위하여 백질과 회백질 부분에 $10 \times 10 \text{ mm}^2$ 의 ROI (Region of interest)을 설정한 후, ROI내의 평균 농도값을 비교하였다(Fig. 7). 또한 통계적 유의성을 확인하기 위하여 SPSS(20.0 Version)을 사용하였다.

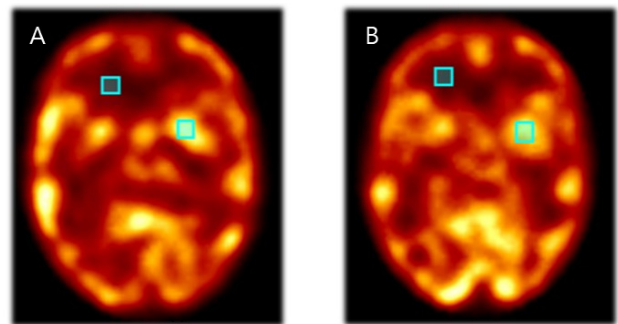


Fig. 7. Setting the ROI of white and gray matter in the examination of the conventional phantom(A) and 3D printing based phantom(B)

III. 결과

1. SNR 비교

Hoffman 뇌 팬텀의 SNR은 슬라이스(Slice) 10에서 최대

Table 1. SNR Comparison of SPECT Brain Phantom and 3D Printing Phantom

Slice No.	SPECT Brain Phantom	3D Printed Phantom
1	5.36	5.00
2	5.33	5.72
3	5.27	5.59
4	5.24	5.47
5	5.28	5.40
6	5.33	5.36
7	5.36	5.37
8	5.39	5.38
9	5.44	5.41
10	5.45	5.45
11	5.33	5.54
12	5.00	5.44
Avg.	5.32	5.43
C.V. (%)	2.10	3.00

Table 2. Intensity Value Comparison of SPECT Brain Phantom and 3D Printing Phantom

	SPECT Brain Phantom	3D Printed Phantom	P-value
White matter	9.59	13.32	0.05 <
Gray matter	32.64	42.98	0.05 <

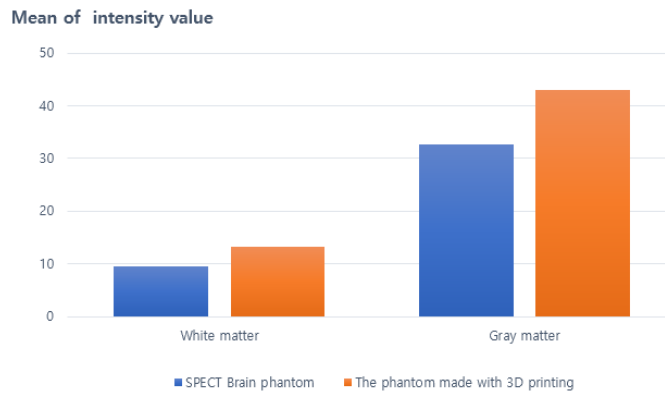


Fig. 8. Graph showing the Intensity value of the Conventional brain phantom and the Intensity value of the 3d printed phantom

값 5.45, 슬라이스 12에서 최소값 5.00, 평균 5.32였으며, 3D 프린팅 제작 팬텀은 슬라이스 2에서 최대값 5.72, 슬라이스 1에서 최소값 5.00, 평균 5.43으로 나타났다(Table 1). 각 단면의 SNR에 대한 변동계수는 Hoffman 뇌 팬텀이 2.10%, 3D 프린팅 제작 팬텀이 3.00%였다.

탐에서는 백질에서는 13.32, 회백질에서는 42.98의 Intensity Value가 나타났다(Table 2), (Fig. 8). 또한 통계적 유의성을 확인하기 위하여 SPSS(20.0 Version)을 사용하였다. 통계적으로 P-value가 0.05 이하로 유의하였다.

2. Intensity Value 비교

Hoffman 뇌 팬텀에서는 백질에서는 9.59, 회백질에서는 32.64의 Intensity Value가 나타났다. 3D 프린팅 제작 팬

IV. 고 찰

정보통신산업진흥원이 발표한 2018년 3D 프린팅 산업 실태조사 보고서에 따르면, 3D 프린팅 시장규모는 전년대비

2017년에는 19.4%, 2018년에는 16.2% 성장하여 3,958.4억 원을 기록하며 꾸준히 성장하고 있다. 핵의학 분야에서도 이러한 3D 프린팅 기술을 정도관리 등에 활용되는 팬텀 제작에 활용할 수 있을 것으로 보고 연구가 진행된 바 있다[13].

본 연구에서는 3D 프린팅 기술을 이용하여 제작한 핵의학 팬텀의 유용성을 영상에서 나타나는 SNR과 Intensity Value를 이용하여 평가하였으며, 결과에서 SNR의 경우, 3D 프린팅 제작 팬텀이 Hoffman 뇌 팬텀보다 0.1 높았다. Intensity Value의 경우, Hoffman 뇌 팬텀과 3D 프린팅 제작 팬텀이 차이가 있었지만 백질과 회백질에서 나타나는 Intensity Value의 비가 Hoffman 뇌 팬텀은 1 : 3.4, 3D 프린팅 제작 팬텀은 1 : 3.2의 비율로 근사치를 나타냈다. 따라서 추후 보정치를 산출하여 적용한다면 Hoffman 뇌 팬텀을 대체하여 3D 프린팅 제작 팬텀의 활용이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구를 통해 핵의학 정도관리분야에서 확장된 적용이 가능하며, 현재 임상에서는 팬텀을 이용한 장비 성능 및 영상 화질 평가에 있어 해외 팬텀 구입에 어려움이 있고, 표준화된 팬텀의 경우 가격적인 부담이 되는 애로사항을 가지고 있기에 본 연구가 국내에서 안정화된 팬텀에 대한 평가방법 정착에 도움이 되리라 여겨진다. 또한 세계적으로 3D 프린팅 기반 팬텀의 제작 및 활용이 미비하고, 영상의 품질관리에 대한 세계적인 표준이 정해지지 않은 분야로 이와 관련된 지속적인 연구는 국가적으로 최신기술을 선점할 수 있는 기회를 가질 수 있다고 생각된다.

그러나, 본 연구에서는 3D 프린팅에서는 가장 보편적인 ABS 소재만을 적용하였기에 보다 다양한 소재의 적용이 필요하리라 사료된다.

V. 결론

본 연구에서는 핵의학 분야에서 3D 프린팅 기술의 적용 가능성을 확인하고자 연구를 진행하였으며 기존 핵의학 분야에서 사용하는 Hoffman 뇌 팬텀과 3D 프린팅 제작 팬텀을 비교한 결과, 각 슬라이스에서 SNR값은 근사치로 나타났고 백질과 회백질의 ROI에 따른 Intensity Value 비율도 일정했다.

따라서 본 연구를 바탕으로 3D 프린팅 기술이 핵의학 분야에서 유용하게 사용될 수 있는 가능성이 확인되었다. 향후 발전된 3D 프린팅 기술이 핵의학 분야에 다양하게 적용된다면, 정도관리의 효율적 검사와 비용감소에도 기여할 수

있을 것이라 생각된다.

REFERENCES

- [1] Christensen A, Rybicki FJ. Maintaining safety and efficacy for 3D printing in medicine. *3D Print Med*. 2017;3:1
- [2] George F, Liacouras P, Rybicki FJ, Mitsouras D. Measuring and establishing the accuracy & reproducibility of 3D-printed medical models. *Radiographics*. 2017;37(5):1424-50.
- [3] Epley BL, Sadove AM. Computer-generated patient models for reconstruction of cranial and facial deformities. 1998;9(6):548-66.
- [4] Salmia M, Paloheimo KS, Tuomia J, Wolff J, M kitiead A. Accuracy of medical models made by additive manufacturing (rapid manufacturing). *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2013; 41(7):603-9.
- [5] Charles W. 'Chuck' Hull: Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. US 4575330 A, United States Patent; 1984.
- [6] S. Scott Crump: Apparatus and method for creating three-dimensional objects. US 5121329 A, United States Patent; 1989.
- [7] Kang HD. Analysis of furniture design cases using 3D printing technique. *The Journal of the Korea Contents Association*. 2015;15(2):177-86.
- [8] Lim YS. A study on the influence and potential of a 3D printer in the design and construction processes of the architectural industry [Doctorate]. Yonsei University; 2015.
- [9] NASA. Printing Technology sparks Fly as NASA Pushes the Limits of 3-D. Aug 28, 2014. [Internet]. Available from: <https://www.nasa.gov/press/2014/august/sparks-fly-as-nasa-pushes-the-limits-of-3-d-printing-technology/>
- [10] Kyung JH, Park JY, Yoon JW, et al. A 3D-printing bone model for surgical planning of total hip replacement after failed triple pelvic osteotomy. *Journal of Veterinary Clinics*. 2017;34(6):463-6.
- [11] Veneziani GR, Corrêa EL, Potiens MPA, Campos LL,

Attenuation coefficient determination of printed ABS and PLA samples in diagnostic radiology standard beams. *Journal of Physics: Conference Series*. 2016;733:1.

[12] Park HH, Lee JY, Kim JH. Evaluation of nuclear medicine applications of 3D printing phantom -

Gamma camera centricity. *The Korean Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2017;21(2):65-73.

[13] Lee BI. Quality Assurance and performance evaluation of PET/CT, nuclear medicine molecular imaging. 2008;42(2):137-44.

구분	성명	소속	직위
교신저자	박훈희	신구대학교	부교수
공동저자	이주영	송호대학교	조교수