

<원저>

PET/CT 팬텀의 3D 프린팅 소재 적용 가능성 평가

이주영¹⁾·김지현²⁾·박훈희³⁾¹⁾송호대학교 방사선과·²⁾서울의료원 핵의학과·³⁾신구대학교 방사선학과

Evaluation of the Applicability of PET/CT Phantom as a 3D Printing Material

Ju-young Lee¹⁾·Ji-Hyeon Kim²⁾·Hoon-Hee Park³⁾¹⁾Department of Radiological Technology, Songho University²⁾Department of Nuclear Medicine, Seoul Medical Center³⁾Department of Radiological Science, Shingu College

Abstract The purpose of this study is to present objective information in applying 3D printing technology for PET/CT (Positron Emission Tomography/Computed Tomography) performance evaluation and use it as a basic research that can be applied to various purposes in the future. Phantoms were manufactured with step wedge of ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) and ACR(Acrylic acid) material. The counts for each ROI(Region of Interest) were analyzed through image acquisition in PET/CT. And the variation rate of counts and CNR(Contrast Noise Ratio) was evaluated. In the counts analysis, the effect of thickness occurred. In addition, in the variation rate analysis, the thickness setting of steps wedge 4 to 5 levels should be considered first. These results minimize quantitative and qualitative changes in the phantom manufactured based on 3D printing, and enable more stable PET/CT performance evaluation. Based on 3D printing in PET/CT, various phantoms are expected to be produced in the future. If the characteristics of each material are considered and applied through the basic research such as this research, the result of the phantom manufactured through 3D printing can be more meaningful and will be used in a wide range.

Key Words: Nuclear Medicine, PET-CT, 3D Printing, ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene), ACR(Acrylic acid)

중심 단어: 핵의학, 양전자방출컴퓨터단층검사, 3D 프린팅, ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene), ACR(Acrylic acid)

I. 서론

양전자방출단층촬영(Positron Emission Tomography, PET)과 전산화단층촬영(Computed Tomography, CT)이 결합된 PET/CT(Positron Emission Tomography/Computed Tomography) 검사는 방사성동위원소를 이용한 생리·생화학적 대사 정보와 해부학적 영상을 하나의 장비로 동시에 촬영해 진단적 정보를 제공하는 검사이다[1]. PET는 세포 기능 및 분자 영상을 제공하여 암을 비롯한 다양한 병의 진단에 도움을 주는 의료영상기기로서 질환에 대한 특이성

은 우수하지만, 상대적으로 영상의 해상도가 낮은 단점이 있으며 CT는 조직 내의 밀도에 따른 고해상도 해부학적 구조 영상을 제공하는 장점이 있다. 따라서 PET/CT는 CT의 고해상도 해부학적 영상을 바탕으로 PET의 분자영상학적 정보를 제공하여 기존의 PET 영상에 비해 진단적 정확성을 높여주게 되었다[2].

특히 PET/CT 검사는 암에 대한 감별 진단, 병기 설정, 재발 평가, 치료 효과 판정 등에 유용한 검사로 알려지면서 검사의 빈도는 꾸준히 증가하고 있다[3]. 이에 따라 양질의 영상 제공을 위해 장비의 성능평가 및 정도관리 방법에 대

This study was carried out as a research fund support project of the Industry-Academic Cooperation Foundation of Shingu College. Corresponding author: Hoon-Hee Park, Department of Radiological Technology, Shingu College, 377 Gwangmyeong-ro, Seongnam, Gyeonggi-do, 13174, Republic of Korea / Tel: +82-31-740-1638 / E-mail: hzpark@shingu.ac.kr

Received 31 July 2022; Revised 26 August 2022; Accepted 23 September 2022

Copyright ©2022 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

한 요구도가 증가하고 있으며, 각종 관련 기술이 진보하고 있어 지속적인 발전이 요구되고 있다. 또한 자체적인 기술의 보유와 경험이 필요하며 나아가 PET/CT 영상의 표준화(normalization), 투과스캔(transmission scan), 감쇠보정(attenuation correction), 분해능(resolution) 등과 같은 요인에 대한 세부적인 정도관리의 중요성이 강조되고 있다[4]. 하지만 다양한 성능평가의 효율적 검사방법과 성능을 재현할 수 있는 팬텀 개발에 대한 연구는 미비한 실정이며 이러한 상황은 장비 정도관리를 위한 다양한 형태의 팬텀을 제작하거나 유지, 보수하는데 많은 제한이 되고 있으며, 특히 제작방식에 따른 제작소요 시간과 높은 비용 문제는 팬텀 제작의 보편적 적용에 한계가 있다[5].

이러한 한계점에도 불구하고 핵의학 분야에서는 3D 프린팅 기술을 기반한 팬텀을 PET/CT에 적용하기 위한 팬텀 구성 물질의 성질을 파악하고 기존 팬텀 구성 물질과 3D 프린팅 기술에 사용되는 물질 간 차이점을 명확하게 확인해야 할 필요성이 있으며, 이러한 기본 정보를 바탕으로 기존 물질과 3D 프린팅 물질의 대체 가능성을 확인하여 적용한다면 PET/CT 정도관리를 위한 팬텀 적용의 폭이 넓어질 수 있다[6]. 또한 이를 통해 PET/CT 성능평가의 다양성과 경제적인 한계를 극복할 계기가 마련될 수 있을 것이다. 그러므로 본 연구에서는 PET/CT 성능평가를 위한 3D 프린팅 기술 적용하는데 있어서 기존의 팬텀 구성 물질과 대체 후보 물질간의 핵의학 영상 계수치와 변동성을 분석하여 객관적인 정보를 제시하여 추후 다양한 목적에 적용될 수 있는 기초 연구로 활용하는데 목적을 두었다.

II. 대상 및 방법

1. 팬텀 제작

팬텀 소재의 비교를 위하여 실측(140 × 62 × 35 mm)된 계단 썰기(step wedge)의 설계를 바탕으로 각각 아크릴로나이트릴 뷰타다이엔 스타이렌(ABS, Acrylonitrile Butadiene Styrene) 수지와 아크릴산(ACR, Acrylic acid) 소재의 팬텀을 동일한 크기로 제작하였다. ABS 계단 썰기는 3가지 단량체가 섞인 합성수지로 3D 프린팅 기술에 사용되는 가장 대표되는 소재로 제작되었고, ACR은 핵의학 분야에서 정도관리를 위해 사용되는 팬텀과 동일한 성분의 아크릴 소재로 제작되었다(Fig. 1).

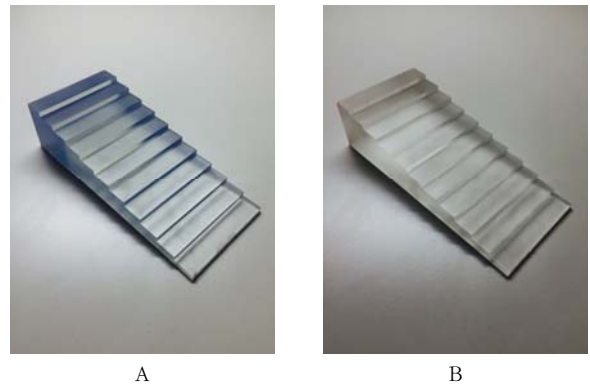


Fig. 1. Step wedges are made by each material : ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)(A), ACR(Acrylic acid)(B)

2. 영상 획득

PET/CT Ingenuity TF 128(Philips, Cleveland, USA) 장비를 사용하였으며, 팬텀 제작은 NEMA(National Electrical Manufacturers Association) NU2-1994 팬텀의 내부를 제거하고, ABS, ACR 계단 썰기를 각각 스티로폼(styrofoam)을 이용하여 팬텀 내부에 고정시킨 상태에서 생리식염수(saline) 8L에 ¹⁸F-FDG를 4.0 mCi(148 MBq)를 교반기로 혼합하여 팬텀 내부를 빈 공간 없이 채워 제작한 후 영상을 획득하였다(Fig. 2).

PET의 영상획득은 90초간 1 bed로 설정하여 방출(emission) 영상을 획득하였으며, CT의 영상획득은 매트릭스(matrix)를 512 × 512로 설정하여 CTAC(Computed Tomography Attenuation Correction)을 적용하였다.

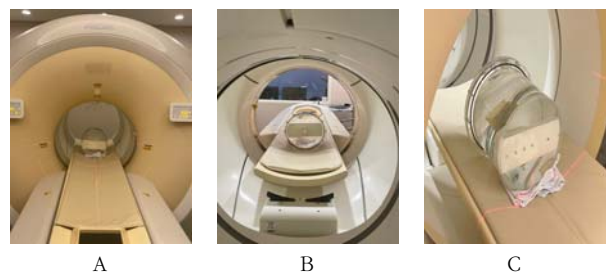


Fig. 2. Image acquisition by inserting step wedge into NU2-1994 phantom in PET/CT : PET/CT front part(A), PET/CT posterior part(B), phantom position on PET/CT table(C)

3. 영상 분석 및 평가

1) 관심영역(ROI, Region of Interest) 설정

획득 영상의 분석을 위한 관심영역은 팬텀 내부 열소(hot region)는 팬텀 중심부의 MR(Mid Region: 팬텀 중심영역),

계단 썰기 주변의 PM(Periperal Mid: 계단 썰기 측면영역), PR(Periperal Right: 계단 썰기 우측영역), PL(Periperal Left: 계단썰기 좌측영역)로 설정하였다.

팬텀 내부 냉소(cold region)는 계단썰기 내부의 EM(Edge Mid: 계단썰기 중심영역), ER(Edge Right: 계단썰기 우측영역), EL(Edge Left: 계단 썰기 좌측영역)으로 설정하였다. 팬텀 외부 냉소로 BKG(Background: 배후방사능)를 설정하였으며, 각 관심영역의 크기는 20±0.1 mm로 적용하였다(Fig. 3, 4).

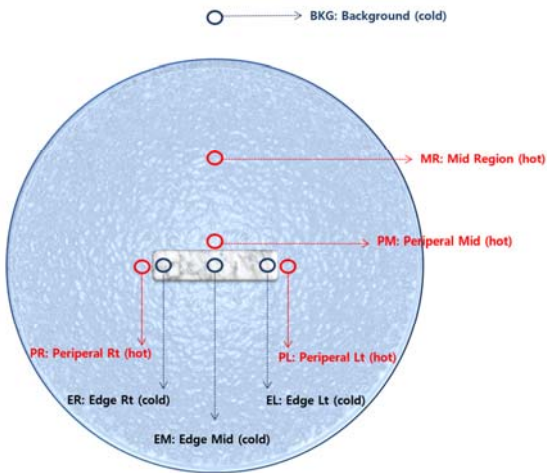


Fig. 3. The ROI of phantom is divided into hot region and cold region, and the size of ROI is 20±0.1 mm

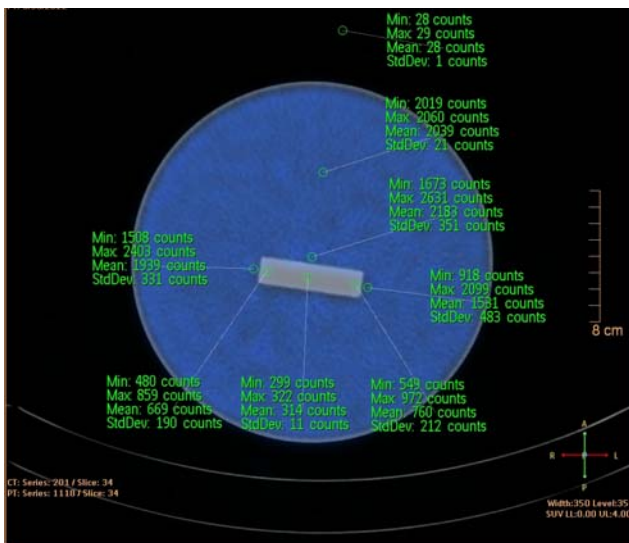


Fig. 4. The ROI setup and measurement example

2) 계수치 측정

관심영역을 설정하여 각각의 계수치를 5회씩 계단 썰기

의 단계별로 측정하였다. 계단 썰기의 종축방향에서 양쪽 단계를 제외한 총 8단계를 측정하였다. 이는 고정을 위해 사용된 스티로폼의 간섭과 NEMA팬텀의 외형구조물 등에 의한 산란선의 영향으로 값이 유효하지 않음을 확인하고 제외하였다.

3) 변동률(variation rate) 비교

계단 썰기의 단계에 따라 PM과 MR에 해당하는 위치의 계수치와 CNR(Contrast Noise Ratio)의 변동률을 산출하고 계단 썰기의 물질과 두께 변화에 따른 영향을 확인하였다(Fig. 5).

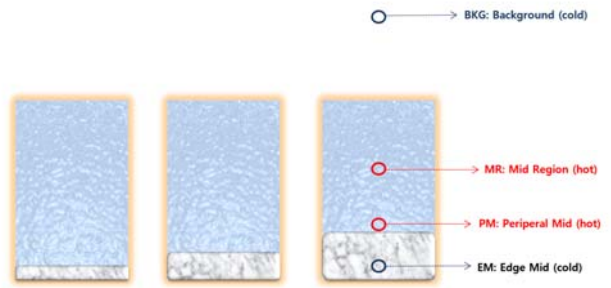


Fig. 5. ROI setting to calculate counts and CNR variation rate

계수치 변동률(%)은 각 계단 썰기의 단계별 두께 변화에 따른 변동성을 평가하기 위해 가장 두께가 얇은 계단 썰기 2단계의 두께를 기준으로 계단의 두께 변화에 따른 상대적 변동성(%)을 확인하였다.

CNR 변동률(%)은 각 계단 썰기의 단계별 두께 변화에 따른 CNR의 변화를 분석하기 위해 다음의 공식을 사용하였다 (Eq. 1.).

$$CNR = \frac{Contrast}{Noise} = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \quad Eq. 1.$$

- μ_1, μ_2 = mean values in two different ROIs
- σ_1, σ_2 = SD in two different ROIs

4) 통계 분석

통계분석을 위해 SPSS ver 27.0을 사용하였으며, ABS, ACR 계단썰기의 소재에 따른 영역을 분류하여 유의성을 확인하였으며, 교차분석을 활용하여 검정하고 결과치를 제시하였다.

III. 결과

1. ABS 단계별 계수치 비교

ABS 계단쌓기의 계수치 측정을 위해 단계별 영상 적용하였다(Fig. 6)

1) ABS 열소 단계별 계수치 비교

ABS 계단 쌓기의 열소의 계수치는 설정한 관심영역에 따라 일정한 경향성을 나타내지 않았다. 세부적으로 PR과 PL 간의 큰 차이가 없었으며, MR과 PM 간의 큰 차이가 없었다. 각 단계별 차이는 P-value 0.05 이하로 통계적으로 유의하였다(Table 1).

2) ABS 냉소 영역별 계수치 비교

ABS 계단 쌓기의 냉소의 계수치는 설정한 관심영역에 따

라 계단 쌓기의 두께가 두꺼워질수록 감소 추세를 나타냈다. 세부적으로 ER과 EL 영역의 계단 쌓기 2, 3단계에서는 상대적으로 계수치가 높았지만, 4~9단계에서는 두께에 따라 일정하게 감소하였다. BKG 영역에서는 18.6~33.8의 계수치를 나타냈고 각 단계별 차이는 P-value 0.05 이하로 통계적으로 유의하였다(Table 2).

2. ACR 단계별 계수치 비교

ACR 계단 쌓기의 계수치 측정을 위해 단계별 영상 적용하였다(Fig. 7)

1) ACR 열소 단계별 계수치 비교

ACR 계단 쌓기의 열소의 계수치는 설정한 관심영역에 따라 일정한 경향성을 나타내지 않았으며 PR, PL, MR, PM 간의 차이가 발생하지 않았다. 각 단계별 차이는 P-value

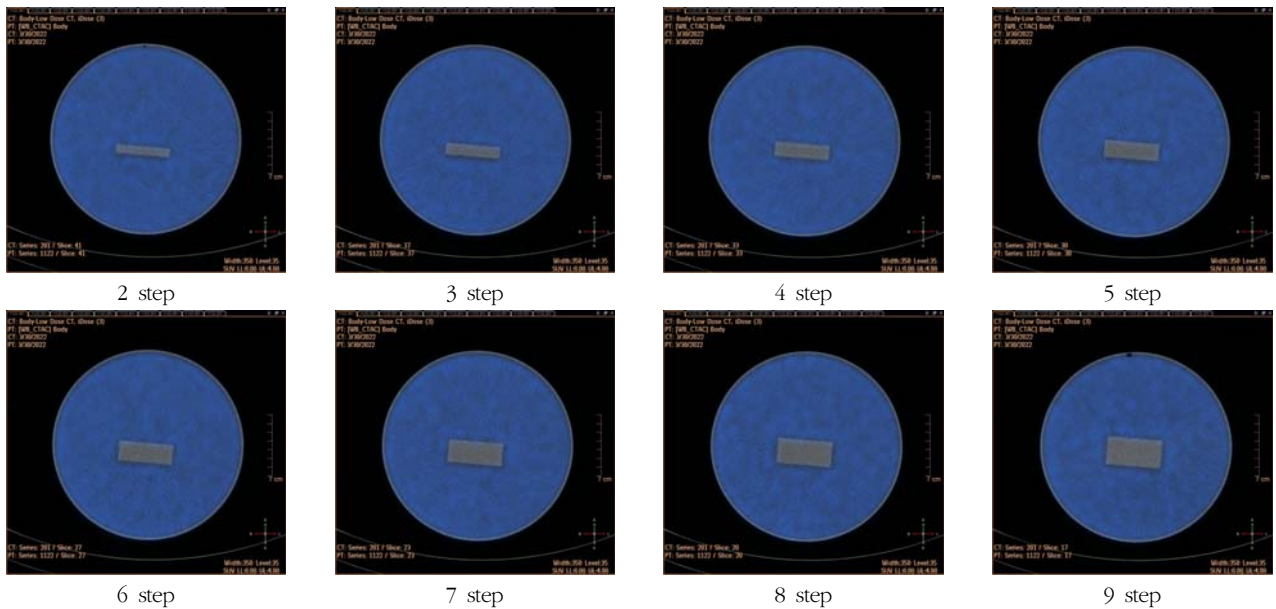


Fig. 6. Image application to measure the counting value of the ABS stepwedge

Table 1. Hot region counts according to ABS steps

Steps	PL		MR		PR		PM	
	Counts	p-value	Counts	p-value	Counts	p-value	Counts	p-value
2	2,026.4	0.00	1,970.0	0.00	1,966.6	0.00	1,920.6	0.00
3	1,976.8	0.00	2,022.8	0.00	1,995.0	0.00	1,981.8	0.00
4	2,003.0	0.00	2,032.4	0.00	2,063.0	0.00	2,005.8	0.00
5	2,013.0	0.00	2,053.0	0.00	2,035.2	0.00	1,994.2	0.00
6	2,005.4	0.00	2,102.6	0.00	1,968.0	0.00	2,066.2	0.00
7	1,980.6	0.00	2,121.6	0.00	2,095.2	0.00	2,030.2	0.00
8	2,023.8	0.00	2,067.4	0.00	1,978.6	0.00	1,980.2	0.00
9	2,019.4	0.00	2,078.2	0.00	1,956.4	0.00	2,029.2	0.00

Table 2. Cold region counts according to ABS steps

Steps	EL		EM		ER		BKG	
	Counts	p -value	Counts	p -value	Counts	p -value	Counts	p -value
2	1,111.6	0.00	1,145.8	0.00	1,542.4	0.00	18.6	0.00
3	957.2	0.00	830.6	0.00	1,181.8	0.00	20.0	0.00
4	798.2	0.00	419.0	0.00	814.4	0.00	19.0	0.00
5	699.8	0.00	381.0	0.01	669.0	0.00	22.0	0.00
6	655.0	0.00	350.2	0.00	654.4	0.01	22.6	0.00
7	615.6	0.00	307.8	0.00	634.4	0.01	33.8	0.01
8	562.6	0.00	266.4	0.00	604.8	0.00	25.2	0.00
9	508.0	0.00	258.4	0.00	557.6	0.00	31.4	0.01

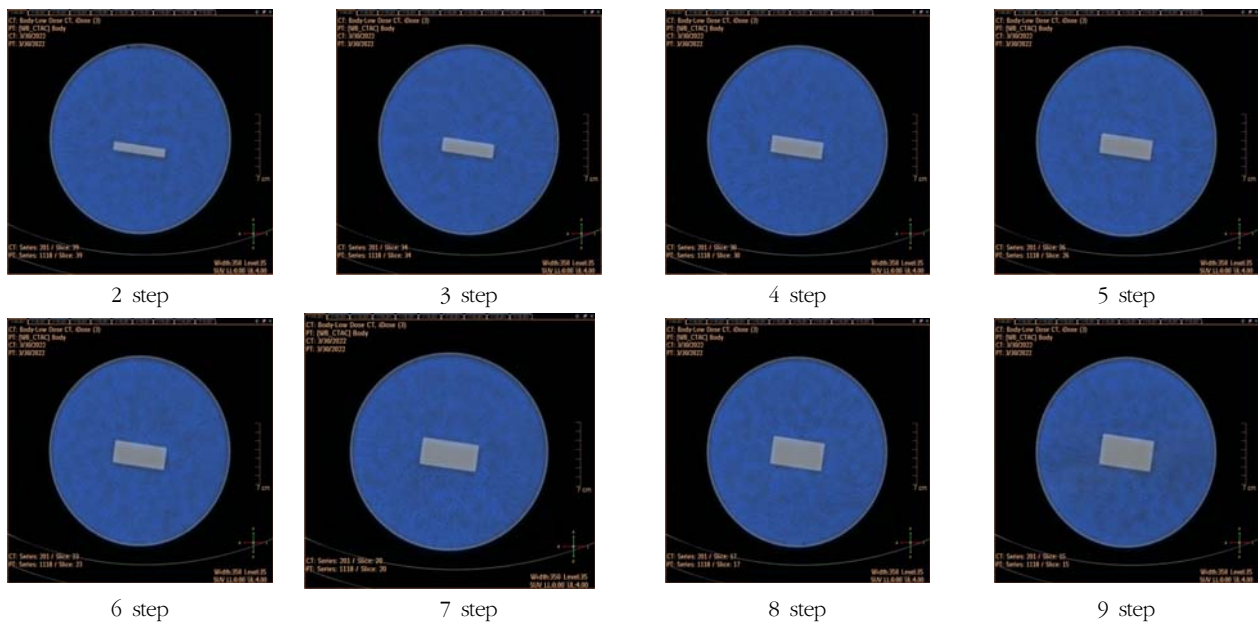


Fig. 7. Image application to measure the counting value of the ABS stepwedge

Table 3. Hot region counts according to ACR steps

Steps	PL		MR		PR		PM	
	Counts	p -value	Counts	p -value	Counts	p -value	Counts	p -value
2	1,638.4	0.00	1,606.4	0.00	1,636.2	0.00	1,626.6	0.00
3	1,661.2	0.00	1,614.0	0.00	1,684.0	0.00	1,644.6	0.00
4	1,690.2	0.00	1,632.4	0.00	1,670.0	0.00	1,636.0	0.00
5	1,657.0	0.00	1,662.2	0.00	1,705.6	0.00	1,674.6	0.00
6	1,673.4	0.00	1,710.0	0.00	1,626.6	0.00	1,677.6	0.00
7	1,620.0	0.00	1,727.8	0.00	1,677.4	0.00	1,681.4	0.00
8	1,663.0	0.00	1,702.6	0.00	1,661.4	0.00	1,689.2	0.00
9	1,706.2	0.00	1,747.4	0.00	1,650.8	0.00	1,724.2	0.00

0.05 이하로 통계적으로 유의하였다(Table 3).

2) ACR 냉소 단계별 계수치 비교

ACR 계단 썩기의 냉소의 계수치는 설정한 관심영역에 따

라 계단 썩기의 두께가 두꺼워질수록 감소 추세를 나타냈다. 세부적으로 EL, EM, ER영역은 전체적으로 단계별로 두께에 따라 감소하였다. BKG 영역에서는 3.8~15.0의 계수치를 나타냈고 각 단계별 차이는 P -value 0.05 이하로

통계적으로 유의하였다(Table 4).

3. ABS, ACR 단계별 계수치 비교

1) ABS, ACR 열소 단계별 계수치 비교

ABS 계단 췌기를 기준으로 ACR 계단 췌기의 열소의 계수치를 비교한 결과, 각 단계별 291.0~417.8의 계수치 범위에서 ABS 계단 췌기가 높았으며, 단계별 차이는 발생하지 않았다. 각 단계별 차이는 *P*-value 0.05 이하로 통계적

으로 유의하였다(Table 5).

2) ABS, ACR 냉소 단계별 계수치 비교

ABS 계단췌기를 기준으로 ACR 계단 췌기의 열소의 계수치를 비교한 결과 각 단계별 27.4~381.2의 계수치 범위에서 ABS 계단 췌기가 높았으며, 단계별 차이는 발생하지 않았다. 각 단계별 차이는 *P*-value 0.05 이하로 통계적으로 유의하였다(Table 6).

Table 4. Cold region counts according to ACR steps

Steps	EL		EM		ER		BKG	
	Counts	<i>p</i> -value	Counts	<i>p</i> -value	Counts	<i>p</i> -value	Counts	<i>p</i> -value
2	1072.8	0.00	898.0	0.00	1385.4	0.00	15.0	0.00
3	888.4	0.00	501.6	0.00	965.8	0.00	14.6	0.01
4	651.8	0.00	391.6	0.00	606.6	0.00	11.6	0.00
5	436.2	0.00	334.4	0.00	454.6	0.00	11.2	0.00
6	353.8	0.00	257.4	0.00	312.0	0.00	6.4	0.00
7	287.8	0.00	204.2	0.00	262.0	0.00	11.8	0.00
8	231.8	0.00	135.0	0.00	234.6	0.00	3.8	0.00
9	139.0	0.00	130.8	0.00	176.4	0.01	7.2	0.00

Table 5. Differences in hot region counts according to ABS and ACR steps

Steps	PL		MR		PR		PM	
	Counts	<i>p</i> -value	Counts	<i>p</i> -value	Counts	<i>p</i> -value	Counts	<i>p</i> -value
2	388.0	0.04	363.6	0.00	330.4	0.04	294.0	0.03
3	315.6	0.02	408.8	0.02	311.0	0.02	337.2	0.04
4	312.8	0.00	400.0	0.00	393.0	0.03	369.8	0.00
5	356.0	0.04	391.0	0.00	329.6	0.00	319.6	0.02
6	332.0	0.00	392.6	0.00	341.4	0.00	388.6	0.00
7	360.6	0.00	393.8	0.00	417.8	0.00	348.8	0.01
8	360.8	0.03	364.8	0.00	317.2	0.02	291.0	0.01
9	313.2	0.00	330.8	0.00	305.6	0.00	305.0	0.01

Table 6. Differences in cold region counts according to ABS and ACR steps

Steps	EL		EM		ER		BKG	
	Counts	<i>p</i> -value	Counts	<i>p</i> -value	Counts	<i>p</i> -value	Counts	<i>p</i> -value
2	38.8	0.00	247.8	0.00	157.0	0.00	3.6	0.00
3	68.8	0.02	329.0	0.04	216.0	0.04	5.4	0.02
4	146.4	0.03	27.4	0.02	207.8	0.03	7.4	0.00
5	263.6	0.00	46.4	0.03	214.4	0.00	10.8	0.00
6	301.2	0.01	92.8	0.00	342.4	0.00	16.2	0.00
7	327.8	0.02	103.6	0.00	372.4	0.00	22.0	0.03
8	330.8	0.01	131.4	0.00	370.2	0.00	21.4	0.00
9	369.0	0.00	127.6	0.00	381.2	0.02	24.2	0.00

4. 계수치와 CNR 변동률(%) 비교

1) ABS, ACR 단계별 계수치 변동률(%)

계단 썬기의 두께가 가장 얇은 2단계를 기준으로 각 단계별 계수치의 변화를 평가한 결과, ABS MR에서 2.7~7.7%, PM에서 3.1~7.6%의 변동률(%)을 보였고, ACR MR에서는 0.5~8.8%, PM에서 0.6~6.0%의 변동률을 보였다. 계단 썬기의 두께에 따른 계수치 변동률이 5% 미만인 단계는 ABS MR에서 2, 3, 4, 5, 8단계였고, ABS PM에서 2, 3, 4, 5, 8단계였다. 또한 ACR MR에서는 2, 3, 4, 5단계, PM에서 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8단계였다. ABS와 ACR에서 공통적으로 계수치 변동률이 5%미만인 영역은 2~5단계였고, 가장 유사한 변동률을 보인 단계는 5단계로 나타났다(Table 7).

2) ABS, ACR 단계별 CNR 변동률(%)

계단 썬기의 두께가 영상 품질에 미치는 영향을 알아보고자 CNR을 산출하였고, 각 계단 썬기의 두께에 따른 CNR 변동률은 ABS에서 -4.3~-1.7%였고, ACR에서는 -2.7~1.9%였다. ABS와 ACR에서 계단 썬기의 두께 변화에 의한 CNR의 변동률은 모두 5% 미만이었으며, ABS와 ACR 모두 가장

적은 변동률을 보인 단계는 4단계로 나타났다(Table 8).

IV. 고찰

최근 미국, 유럽, 일본 등 제조산업 선진국을 중심으로 제조업 혁신을 위한 3D 프린팅 기반 기술 및 응용기술 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 생체·의공학 분야에 있어 2000년을 전후로 하여 FDM 기술에 열가소성 생체적합 고분자를 적용하여 조직공학용 인공지체체를 직접 제작함에 따라 3D 프린팅의 바이오 조형 기술 활용이 시작되었다[7]. 현재는 단순한 제작을 넘어서 현재 의료·바이오 산업과 연관됨에 따라 고부가가치 미래형 융복합 산업으로 인지되어 생체적합성 물질 및 유전 정보 등을 포함한 영역의 확대가 이뤄지고 있다[8]. 향후 생물학적 기능성이 강화되어 실제 조직과 유사한 수준으로 활용되거나 전기적 기능을 추가하여 신체기능을 보완하는 응용기술이 개발됨에 따라 단순 조직 치환 및 재생을 넘어서는 활용이 이루어질 것으로 보여진다[9, 10]. 따라서 3D 프린팅 기술이 의료산업에 상당한 영향을 미칠 것으로 전망되며, 특히 의료장비 분야에 있

Table 7. Counts variation rate(%) of MR and PM according to ABS and ACR steps

Steps	ABS		ACR	
	MR(%)	PM(%)	MR(%)	PM(%)
2	0.0	0.0	0.0	0.0
3	2.7	3.2	0.5	1.1
4	3.2	4.4	1.6	0.6
5	4.2	3.8	3.5	3.0
6	6.7	7.6	6.4	3.1
7	7.7	5.7	7.6	3.4
8	4.9	3.1	6.0	3.8
9	5.5	5.7	8.8	6.0

Table 8. CNS variation rate(%) of MR and PM according to ABS and ACR steps

Steps	ABS			ACR		
	MR(counts)	PM(counts)	Variation(%)	MR(counts)	PM(counts)	Variation(%)
2	1969.8	1920.5	-2.5	1606.1	1626.5	1.3
3	2022.3	1981.5	-2.0	1613.8	1644.5	1.9
4	2032.0	2005.7	-1.3	1632.0	1635.9	0.2
5	2052.5	1994.1	-2.8	1661.9	1674.4	0.8
6	2102.0	2066.0	-1.7	1709.9	1677.5	-1.9
7	2120.3	2030.0	-4.3	1727.6	1681.4	-2.7
8	2066.4	1979.7	-4.2	1702.4	1689.2	-0.8
9	2077.7	2028.9	-2.3	1747.3	1724.1	-1.3

어서는 더욱 관심도가 높다[11]. 많은 기업과 기관은 3D 프린팅의 잠재력을 인식함에 따라 기술의 도입도 증가할 것이며, 관련 산업은 3D 프린팅 기술의 도입에 따른 의료 장비 시장에서 일어난 빠른 변화에 3D 프린팅 기술에 대한 다양한 접근이 예상된다[12].

핵의학 분야의 PET/CT도 분자 영상을 기반으로 종양학, 심장학 등 여러 분야에서 널리 활용되면서 3D 프린팅 기술을 이용한 팬텀 제작의 연구 빈도 또한 증가하고 있다[13]. 따라서 이러한 3D 프린팅 기술의 적용에 따른 시스템의 신뢰도와 정확도가 요구되고 있으며, 이를 기초로 한 표준화된 정도관리의 중요성이 대두되고 있다[14]. 하지만 PET/CT의 장비별 특성이 조금씩 다르고 제조사별 점검 항목의 차이가 있기 때문에 관련 기술 개발에 대한 지속적인 추가 연구가 필요하다[15].

현재 3D 프린팅 기술에 다양한 소재의 적용이 시도되고 있지만 본 연구에서는 3D 프린팅 기술에서 가장 대표적으로 사용되는 ABS 소재를 적용하여 계단 썸미를 제작하였고, 기존의 의료기기 성능평가용 팬텀에서 보편적으로 적용하고 있는 ACR 소재와 비교 평가하였다.

제작한 팬텀의 ABS, ACR 계단 썸미에 대해 열소와 냉소 영역에 관심영역을 설정하여 계수치를 비교하였으며, 각 열소영역에서 단계별로 계수치는 경향성을 보이지 않았지만, 냉소 영역은 단계가 증가하여 계단 썸미의 두께가 증가할수록 계수치는 감소하는 공통된 경향을 나타냈다. 또한 ABS 계단썸미를 기준으로 ACR 계단 썸미 영역별 계수치를 비교한 경우 열소영역에는 단계별로 의미 있는 차이 또는 경향성은 없었지만, 냉소영역에서는 계단 썸미의 단계, 즉 두께가 두꺼워질수록 ABS, ACR과의 차이가 커짐에 따라 소재에 따른 고려가 필요하다고 여겨진다.

ABS, ACR 계단 썸미의 소재와 두께가 계수치에 미치는 영향을 확인하고자 두께서 가장 얇은 2단계를 기준으로 각 단계별 계수치의 변화를 평가한 결과, 공통적으로 계수치의 변동율이 5% 미만인 영역은 2~5 단계로 계수치의 영향을 최소화하여 적용하기 위해서는 일정 두께 이하의 팬텀의 적용이 필요한 것으로 확인하였다. ABS, ACR 계단 썸미의 물질과 두께가 CNR에 미치는 영향을 확인한 결과, ABS와 ACR 모두 변동률에는 차이를 보이지 않았으나 4단계에서 가장 적은 변동율을 나타냈고, 계수치와 CNR의 변동율을 통한 ABS와 ACR의 비교에서 ABS 계단 썸미 4~5단계 수준의 두께 설정이 우선적으로 고려된다면 3D 프린팅 기반으로 제작한 팬텀에 정량적, 정성적 변화를 최소화하고, 기존의 ACR 팬텀과의 유사성을 가장 잘 반영한 적정 두께로 사료된다.

PET/CT에 3D 프린팅을 기반으로 향후 다양한 형태의 팬텀 제작이 예상되며 이에 대한 적용에 있어 본 연구와 같은 기초연구를 통해 소재별 특성을 고려하여 적용한다면 3D 프린팅을 통해 제작한 팬텀의 성능평가 결과의 신뢰도와 정확도 면에서 의미를 부여할 수 있으며, 활용 범위 또한 보다 넓어질 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구에서는 PET/CT 성능평가를 위한 3D 프린팅 기술을 기반으로 적용할 수 있는 팬텀의 소재에 따른 차이를 확인하고자 ABS, ACR 소재의 계단 썸미로 팬텀을 제작하여 PET/CT에서 영상획득을 통해 관심영역 별 계수치를 분석하고, 계수치 및 CNR의 변동율을 확인하여 평가하였다. 계수치 분석에서 두께에 따른 영향이 발생하고 있으며, 변동률 분석에서 계단 썸미 4~5단계 수준의 두께 설정이 우선적으로 고려되어야 3D 프린팅 기반으로 제작한 팬텀에 정량적, 정성적 변화를 최소화할 수 있을 것이라 여겨진다.

PET/CT에 3D 프린팅 기반한 팬텀을 적용하기 위해서는 구성 물질의 성질을 파악하고 차이점을 명확하게 확인한다면 보다, 안정적인 정도관리를 위한 팬텀 적용의 폭이 넓어질 수 있고 팬텀의 다양성과 경제적인 한계를 극복할 계기가 마련될 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] Christian C, Richard LW. Applications of positron emission tomography/computed tomography image fusion in clinical positron emission tomography-clinical use, interpretation methods, diagnostic improvements. *Semin Nucl Med*, 2003;33(3):228-37.
- [2] Oh JS. Nuclear Medicine Physics: Review of Advanced Technology. *Progress in Medical Physics*, 2020;31(3):81-98.
- [3] Lee JS, Kim JH. Recent advances in hybrid molecular imaging systems. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2014;18(02):103-22.
- [4] Lee BI. Quality Assurance and Performance Evaluation of PET/CT. *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2008;42(2):137-44.
- [5] Park HH, Lee JY, Kim JH. Evaluation of Scintillation

Camera Applications of 3D Printing Phantom, Journal of Radiological Science and Technology. 2021;44(4):343-50.

[6] Park HH, Lee JY. Development and Evaluation of the Usefulness for Hoffman Brain Phantom Based on 3D Printing Technique, Journal of Radiological Science and Technology. 2019;42(6):441-6.

[7] Zein I, Hutmacher DW, Tan KC, Teoh SH. Fused Deposition Modeling of Novel Scaffold Architectures for Tissue Engineering Applications, Biomaterials. 2022;23(4):1169-85.

[8] Yoo JJ, Lee IW. Regenerative Medicine. Koonja Publishing Inc.; 2010:293-508.

[9] Mannoor MS, Jiang Z, James T, Kong YL, Malatesta KA, et al. 3D Printed Bionic Ears. Nano Lett. 2013;13(6):2634-9.

[10] Park SH, Park JH, Lee HJ, Lee NK. Current Status of Biomedical Applications using 3D Printing Technology. J Korean Soc Precis Eng. 2014;31(12):1067-76.

[11] Lee SW, Kim TH, Hong DY, Ock JY, Kwon JY, Gwon ES, Kwon JH, et al. Review of Three-Dimensional Printing Technology for Medical Applications. J Korean Soc Radiol. 2019;80(2):213-25.

[12] Kim HC. A Study on the socio-economic impact of 3D Printing. Journal of Digital Convergence. 2015;13(7):23-31.

[13] Gear JI, Long C, Rushforth D, Chittenden SJ, Cumming C, Flux GD. Development of patient-specific molecular imaging phantoms using a 3D printer. Nuclear Medicine Physics. 2014;41(8):082502.

[14] Qiu J, Hou K, Dyer BA, Chen JC, Shi L, Sun Y, et al. Constructing Customized Multimodal Phantoms Through 3D Printing: A Preliminary Evaluation. Front Phys. 2021;9:605630.

[15] Ivo R, Agustin R, Itziar VP, Jacobo CG, Thomas B Ignasi C. Performance Evaluation of the Vereos PET/CT System According to the NEMA NU2-2012 Standard. J Nucl Med. 2019;60(4):561-7.

구분	성명	소속	직위
제1저자	이주영	송호대학교 방사선과	조교수
공동저자	김지현	서울의료원 핵의학과	방사선사
교신저자	박훈희	신구대학교 방사선학과	부교수