

<원저>

아크릴로나이트릴·뷰타다이엔·스타이렌 수지와 용융적층조형 방식의 3차원 프린팅 기술로 제작된 전산화단층영상장치 팬텀에서 영상 균일성 및 X선 투과성 평가

- Evaluation of Image Uniformity and Radiolucency for Computed Tomography Phantom Made of 3-Dimensional Printing of Fused Deposition Modeling Technology by Using Acrylonitrile Butadiene Styrene Resin -

청주대학교 방사선학과

성열훈

— 국문초록 —

본 연구에서는 3차원(3-dimensional, 3D) 프린팅 기술로 출력된 팬텀에 대한 X선 투과성을 평가하고자 하였다. 3D 프린팅 방식은 용융적층조형(fused deposition modeling, FDM) 방식을 이용했으며 소재는 아크릴로나이트릴·뷰타다이엔·스타이렌(acrylonitrile butadiene styrene, ABS)을 사용하였다. 팬텀은 원통 모양으로 설계하였으며 전산화단층영상장치(computed tomography, CT)에서 획득한 단면영상으로 균일도를 측정하였다. X선 투과성 평가는 3D 출력된 팬텀 내부에 이온챔버를 삽입하여 실시하였다. 그 결과, 평균 균일도가 2.70 HU이었으며 기존 폴리메틸 메타크릴레이트(poly methyl methacrylate, PMMA) CT 팬텀과 3D 프린터로 출력된 팬텀에서 측정된 X선 투과성의 상관관계는 0.976로 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 향후 3D 프린팅 기술을 이용한 방사선정도관리 팬텀 제작에 기초자료로 활용할 수 있으리라 기대한다.

중심 단어: ABS, 용융적층조형술, 3차원 프린팅, 영상 균일성, X선 투과성

1. 서 론

3차원(3-dimensional, 3D) 프린팅(printing) 기술은 분말, 액체, 고체 형태의 특정 소재를 이용하여 3차원의 설계도 기반으로 모델링된 가상의 조형물을 3D 프린터를 통해 분사 또는 적층하여 실제적인 3차원 형태의 입체물을 제작하는 것으로 산업용 기계, 자동차, 항공, 의료, 전자, 우주 등 다양한 분야에서 활용되고 있다¹⁾. 3D 프린팅 시장은 아직 초기단계로 다양한 콘텐츠개발과 활용 가능한 시장 창출이 필요하다.

3D 프린팅 시장의 확대를 위해서는 3D 프린팅 기술의 대

표적인 특징인 소량으로 맞춤형 생산품을 제작할 수 있는 영역을 찾아야 하는데 이러한 기술적 특징과 일치하는 분야가 의료분야이며 2012년을 기준으로 3D 프린팅 시장의 전체 매출 중에서 16.4%가 의료분야에서 발생했다는 보고가 이를 뒷받침하고 있다²⁾. 최근에는 방사선의학 분야에서 인체 팬텀 제작으로 수술이나 중재적 시술 전에 미리 확인하여 시술시간을 단축하고 부작용을 최소화 하고자 하는 시도가 있다^{3,4)}. 방사선분야에서의 팬텀은 인체를 대신해서 방사선의 특성을 파악하는데 중요한 측정 장비이다. 그러나 인체와 동일하게 제작한다는 것은 고도의 기술과 많은 비용이 드는 어려움이 있다. 따라서 이를 해결해 줄 수 있

Corresponding author: Youl-Hun Seoung, Department of Radiological Science, Cheongju University 298 Daeseongro, Sangdang-gu, Cheongju, Chungbuk 28503, Korea / Tel: +82-43-229-7993 / E-mail: radimage@cju.ac.kr

Received 15 August 2016; Revised ; 05 September 2016 ; Accepted 07 September 2016

는 3D 프린팅 기술이 필요하다. 그러나 방사선의학 분야에서 팬텀 제작에 대한 3D 프린팅 기술을 적용하기 위해서는 소재에 따른 방사선 투과성 특성이 선형적으로 진행되어야 한다⁵⁾. 3D 프린팅 방식은 출력소재에 따라 액체 형태의 광경화성 플라스틱을 사용하는 광경화 수지 조형술(stereolithography apparatus, SLA)과 디지털 광학 기술(digital light processing, DLP)이 있으며 파우더기반으로 출력하는 선택적 레이저 소결 조형술(selective laser sintering, SLS)이 있다⁶⁻⁸⁾. 마지막으로 고체기반은 열에 잘 녹는 고체 플라스틱의 열가소성 물질을 사용하는 용융적층조형술(fused deposition modeling, FDM)이 있다⁹⁾. 이 중 FDM 방식은 지난 2008년에 특허가 종료되어 일반적으로 많이 사용하는 출력방식이다. FDM 방식의 3D 프린팅 기술에서는 소재 비용문제로 적층 시 내부를 비우고 외형 모양 위주로 출력하는 경향이 있어 물질의 밀도와 밀접한 관계를 가지고 있는 방사선 팬텀으로 제작하기 위한 보완이 필요하다. 또한 FDM 방식의 3D 프린팅 기술이 방사선 선량 측정 팬텀 제작에 유효한 기술인지에 대한 평가가 필요하며 이를 위해서는 X선의 투과성에 대한 기본 연구가 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 3D 프린팅 기술에서 가장 일반적으로 사용되는 FDM 방식과 열가소성 플라스틱 계열인 분해성 플라스틱인 아크릴로나이트릴·부타다이엔·스타이렌(acrylonitrile butadiene styrene, ABS)에 대한 X선 투과성을 평가하여 방사선 선량 측정 팬텀 제작에 3D 프린팅 기술이 적합한지를 평가하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

본 실험에서는 4-다중검출기 전산화단층영상장비(multi-detector computed tomography, MDCT, MX-8000, Philips, USA)를 이용하여 X선을 발생시켰다. 팬텀 제작은 최대 출력 조형크기가 355×254×254 mm이고 적층 두께는 0.178 mm까지의 정밀도를 가지고 있는 FDM의 프린팅 방식의 3D 프린터기(Fortus 360mc/400mc, Stratasys, USA)를 이용하였다. 조형물의 소재로는 ABS (ABS-M30, Stratasys, USA)을 사용하였고 조형물의 지지체 소재로는 ABS (SR-30, Stratasys, USA)을 이용하였다. 팬텀을 모델링하기 위한 모델러는 CAD (CADian 3D ver 2.5, IntelliKorea, Korea) 프로그램을 사용하였다. 조형물 출력을 위한 G-code 변환 프로그램은 Creator K 9.0 슬라이서

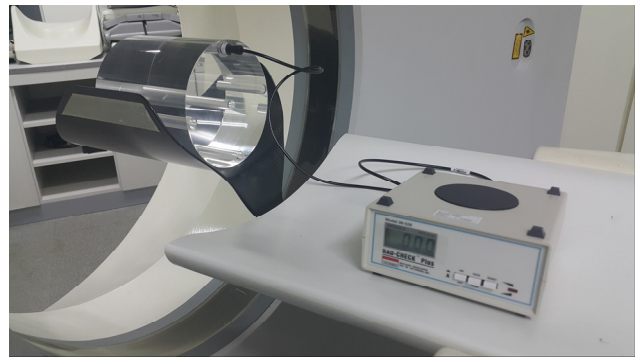


Fig. 1 Dose evaluation by using ion chamber at PMMA CT head phantom

(slicer) 프로그램을 사용하였다. X선 투과성 평가를 위한 선량 측정 장비는 Fig. 1처럼 연필모양의 챔버로 민감도(sensitivity)는 10 R.cm/nC, 챔버 내경은 6.4 mm, 챔버 벽두께는 54 mg/cm² 유효 측정 길이는 10 cm로 설계된 CT 전용 이온 챔버(ionization chamber, Model 500-200, Fluke Biomedical, Cleveland, OH, USA)를 사용하였고 이온 챔버에서 전리된 에너지를 조사선량(R)으로 표시할 수 있는 전리계측기(electrometer, Model 06-526, Fluke Biomedical, Cleveland, OH, USA)를 사용하였다. 그리고 X선 투과성 측정을 위한 팬텀은 미국 FDA 공식 표준 머리 팬텀(Model 76-414, Fluke Biomedical, Cleveland, OH, USA)을 이용하였다. 이 팬텀은 일반적으로 아크릴 수지로 알려진 폴리메틸메타크릴레이트(poly methyl methacrylate, PMMA) 재질로 만들어져 있으며 중앙부와 주변부 4곳(동, 서, 남, 북방향)에 직경 1.27±0.04 cm 크기의 구멍이 있어 이온 챔버를 삽입할 수 있도록 구성되어 있다.

팬텀 단면영상의 균일도 평가를 위한 영상분석 프로그램은 미국 국립보건원(national institute of health, NIH)에서 제공하는 영상분석 프로그램 Image J를 사용하였다.

2. 팬텀 모델링 및 출력

방사선 투과성 평가를 위한 팬텀의 제작은 총 3 단계로 이루어졌다.

1단계는 CT 팬텀을 모델링 하는 단계이다. 팬텀의 구조는 CT 장비에서 X선이 회전 조사하는 기하학적 특징을 고려하여 Fig. 2와 같이 180×180×50 mm의 원통형으로 디자인하였으며 중앙과 주변부 4곳(1시, 4시, 7시, 10시 방향)에 30.6 mm 크기의 원형 구멍을 생성하였다. 이 원형구멍에는 이온챔버를 장착한 원통 부속 팬텀이 삽입할 수 있도록 하였다. 또한 Fig. 3과 같이 CT 테이블에 의한 X선 감약을 없애기 위하여 CT 테이블 끝에 장착할 수 있도록 팬텀 몸통과

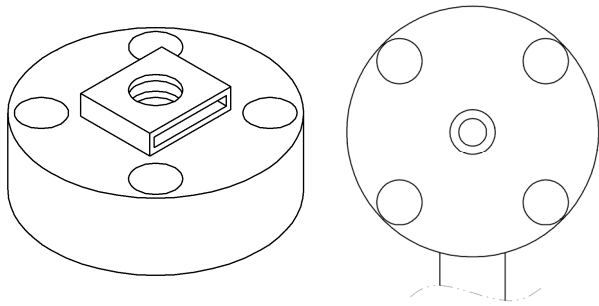


Fig. 2 Designed for phantom dosimetry by FDM 3D printing technology

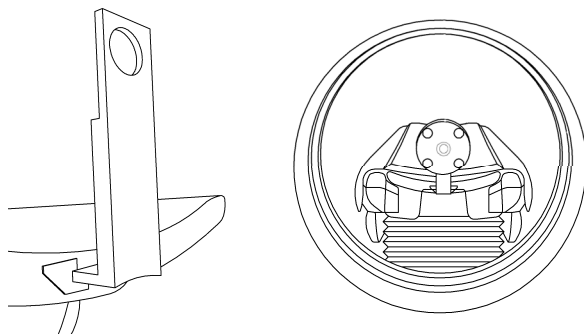


Fig. 3 Designed for phantom dosimetry equipped at the CT scanner table-edge

일체형으로 지지체 결합부를 설계하였다. 또한 팬텀 지지체를 팬텀 몸통이 CT 테이블에 대하여 수직될 수 있고 CT 테이블 끝에 결합할 수 있도록 모델링을 하였다.

모델링된 팬텀은 3D 프린터가 인식할 수 있도록 STL (stereolithography) 파일로 변환하여 저장하였다. 이때 모델링한 STL 파일에 결함이 있다면 3D 프린터에 의한 출력시 오류가 발생하기 때문에 netfabb Basic 프로그램을 이용하여 수정하였다.

2단계는 출력단계이다. STL 파일로 변환된 팬텀은 Creator K 9.0 슬라이서를 이용하여 G-code로 변환한 후 출력하는 단계이다. 실험에 사용된 3D 프린터 기기의 소재 출력이 듀얼 노즐로 구성되어 있어 한 노즐에서는 ABS (ABS-M30, Stratasys, USA)을 사용하여 주 조형물을 출력하고 다른 노즐에서는 ABS (SR-30, Stratasys, USA)을 사용하여 조형물의 지지체 출력하였다. 이때 출력시 조형물의 밀도를 좌우하는 것은 소재를 채우는 정도 (infill solidity)이다. 일반적으로 30% 비율을 권고하고 있으나 본 실험에서는 ABS의 방사선 투과성을 평가하기 위해 조형물 내부를 100%로 채웠으며 Fig. 4와 같이 infill pattern은 선형(line)으로 교차 적층하였다.

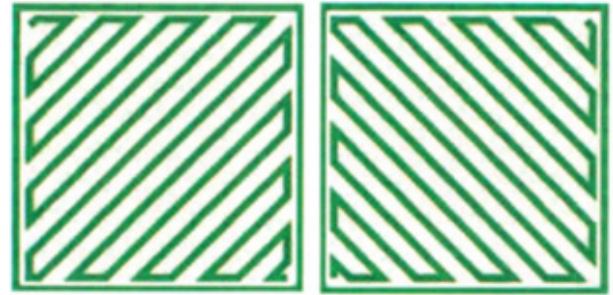


Fig. 4 Line of infill pattern by G-code



Fig. 5 Removed for supporter in the main phantom

3단계는 출력된 주 조형물의 지지대를 제거하는 후 가공 단계이다. Fig. 5와 같이 62°C로 가열된 온열 탱크 안에 조형물을 넣으면 지지대로 출력된 소재가 용해되면서 최종 조형물이 완성된다.

3. 팬텀의 균일도 평가

본 실험에서 사용한 3D 프린팅 방식은 ABS를 용융하여 적층하는 방식이기 때문에 적층과정에 생길 수 있는 공극을 평가해야 방사선 투과성의 신뢰성을 확보할 수 있다. 신뢰성 확보는 CT장비에서 획득한 팬텀의 단면영상에 대하여 균일도를 평가하였다. 균일도는 동일한 ROI 크기 내 평균 CT 값(Hounsfield Unit, HU)값을 구하여 평가하였다. ROI 설정 위치는 Fig. 6과 같이 중앙부 하단과 동, 서, 북방향의 2/3 지점에서 측정하였다.

균일도 측정 공식은 아래 식(1)과 같으며 중심부와 주변부가 5 HU 이내일 때 균일하다고 평가하였다.

$$\text{균일도} = \text{중앙부 평균 HU} - \text{주변부 평균 HU} \quad (\text{식 } 1)$$

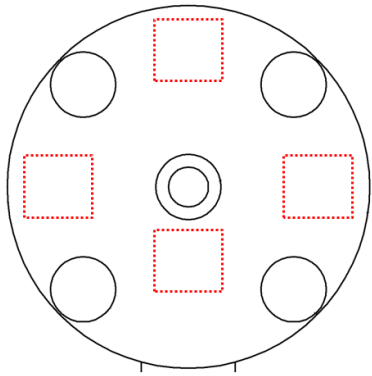


Fig. 6 The ROI'S location on the main phantom

또한 범용 영상분석 imageJ 프로그램을 이용하여 plot profile을 그려 균일도에 대한 육안적 평가를 실시하였다.

4. X선 투과성 평가

X선 투과성 방법은 PMMA CT 머리 팬텀과 ABS 소재로 3D 프린팅된 팬텀의 중앙부와 주변부 4곳(동, 서, 남, 북)의 구멍에 이온챔버를 삽입하여 각각 조사선량(R)을 5회씩 측정하였다. 이때 이온 챔버가 삽입되지 않은 구멍에는 PMMA CT 머리 팬텀과 같은 재질의 PMMA 원통의 붕과 3D 프린터로 출력된 팬텀의 소재인 ABS를 원통 형태의 보조 팬텀으로 각각 채워 공기에 의한 감약이 없도록 하였다. 검사조건은 FOV 250 mm, 입사각도는 팬텀과 수직이 되게 하였고 axial 모드로 1 회 360°를 0.75 초 동안 조사하였다. 검출기의 조합은 2×5 mm으로 실시하여 Z-축 길이가 10 mm이 되었으며, 관전압은 120 kVp, 관전류량은 250 mAs 으로 실시하였다¹⁰⁾. 이와 같은 방법으로 PMMA CT 머리 팬텀에서 측정된 선량과 3D 프린터로 출력된 ABS 소재에 대한 선량을 Pearson 상관관계 계수(r)로 X선 투과도를 비교 평가하였다. 이때 상계 계수가 1에 가까울수록 두 선량 간에 강한 양(+)의 선형관계(상관관계), -1에 가까울수록 강한 음(-)의 선형관계(상관관계)를 이루며 0에 가까울수록 변수 간의 상계가 없다는 것을 의미한다.

III. 결 과

1. 팬텀 3D 출력과 영상의 균일도 측정

Fig. 7과 같이 팬텀 지지체와 팬텀이 성공적으로 출력하여 CT 테이블 끝에 장착할 수 있었다.

PMMA CT 머리 팬텀과 3D 프린팅 기술로 제작한 CT

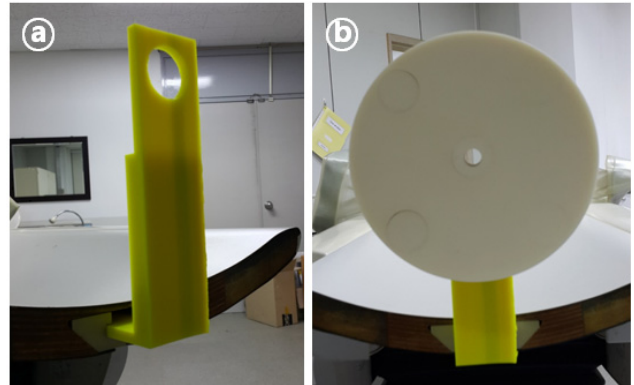


Fig. 7 3D printed ABS CT phantom (a) the support fixture (b) the main phantom

Table 1 The results of uniformity comparison with PMMA CT phantom and 3D printed ABS CT phantom

Peripheral and central ROI's	PMMA CT Phantom	ABS CT Phantom
Center-North	3.03 HU	0.67 HU
Center-West	1.89 HU	4.33 HU
Center-East	1.84 HU	3.10 HU
Mean Uniformity	2.25 HU	2.70 HU

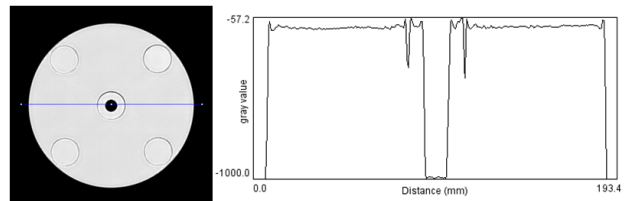


Fig. 8 Plot profile in the 3D printed ABS CT phantom

선량 팬텀에 대한 균일도 평가 결과는 다음과 같다.

PMMA CT 머리 팬텀에서 획득한 영상의 중심부 ROI 내 평균 HU는 125.84 ± 0.15 , 북쪽 ROI 부위의 평균 HU는 122.82 ± 0.03 , 서쪽 ROI 부위의 평균 HU는 123.95 ± 0.17 , 동쪽 ROI 부위의 평균 HU는 124.00 ± 0.08 이었다. 그리고 3D 프린팅 기술로 제작한 CT 선량 팬텀에서 획득한 영상의 중심부 ROI 내 평균 HU는 -112.56 ± 0.10 , 북쪽 ROI 부위의 평균 HU는 -111.89 ± 0.30 , 서쪽 ROI 부위의 평균 HU는 -116.89 ± 0.03 , 동쪽 ROI 부위의 평균 HU는 -109.45 ± 0.10 이었다. 이에 대한 균일도 결과는 Table 1과 같이 PMMA CT 머리 팬텀에서 평균 2.25 HU, ABS를 소재로 3D 프린팅한 CT 선량 팬텀에서는 2.70 HU로 모두 5 HU 이내로 합격 기준이었다.

또한 Fig. 8과 같이 plot profile을 그려 평가한 결과 팬텀 내부의 plot profile이 평평한 모양을 보이고 있었다.

2. X선 투과성 비교 결과

Fig. 9와 같이 ABS 소재와 FDM 방식의 3D 프린팅 기술로 출력된 팬텀을 CT 테이블 끝에 장착하고 이온챔버를 중심부, 1시 방향, 4시 방향, 7시 방향, 10시 방향에 삽입하고 X선 투과성 실험을 진행하였다.

그 결과 Fig. 10과 같이 ABS 소재의 CT 팬텀의 중심부에서 측정된 평균 조사선량은 0.044 ± 0.001 R, 1시 방향은 0.046 ± 0.001 R, 4시 방향은 0.046 ± 0.002 R, 7시 방향은 0.046 ± 0.001 R, 10시 방향은 0.046 ± 0.002 R이었으며 모든 방향에서 측정된 평균 조사선량은 0.045 ± 0.001 R로 나타났다.

또한 기존 PMMA CT 머리 팬텀에서는 Fig. 11과 같이 중심부에서 측정된 평균 조사선량은 0.047 ± 0.001 R, 12시 방향은 0.050 ± 0.001 R, 3시 방향은 0.050 ± 0.002 R, 6시 방향은 0.050 ± 0.002 R, 9시 방향은 0.050 ± 0.003 R이었으며 모든 방향에서 측정된 평균 조사선량은 0.049 ± 0.002 R로 나타났다.

마지막으로 두 선량에 대한 Pearson 상관관계 계수(r)로 X선 투과도를 비교 평가한 결과, 두 선량간의 상관관계는

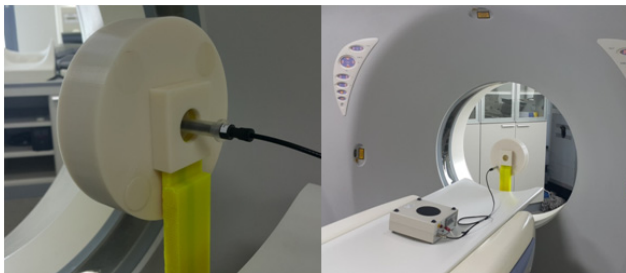


Fig. 9 Dose evaluation by using ion chamber at 3D printed ABS CT phantom

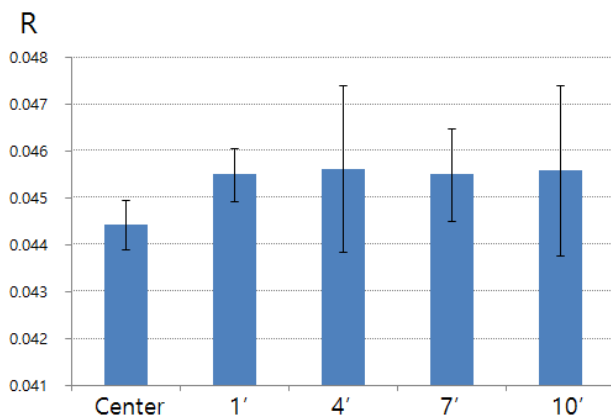


Fig. 10 The results of exposure dose from the ROI's of the 3D printed ABS CT phantom

0.01 유의수준 하에서 유의한 관계가 있는 것으로 나타났으며 PMMA CT 머리 팬텀에서 측정된 선량과 3D 프린터로 출력된 ABS 소재에 대한 선량 간의 상관관계는 0.976로 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

초기 3D 프린팅 기술은 소량으로 맞춤 생산에 적합한 기술로 주로 조형물의 실물모형(mock up) 제작에 사용되었다. 그러나 3D 프린팅 기술의 발전으로 적용되는 사례가 다양해지고 있다. 단순 외형조형물 제작이 아닌 생체공학적 접근으로 인체의 특정부위를 출력할 수 있는 바이오 3D 프린팅 기술이 대표적인 사례이다^{11,12)}. 의학분야에도 3D 프린팅 기술로 환자 맞춤형 부품을 제작하여 기존 부품보다도 우수한 강도와 선명한 방사선 손목영상을 획득하여 추적 검사에 유용할 것이라는 사례보고도 있었다¹³⁾. 이처럼 3D 프린팅 기술에서는 단순 외형조형물 제작을 벗어나 다양한 분야에 진출하고 있다. 본 연구에서는 방사선정도관리 분야에서 3D 프린팅 기술을 적용하기 위해 가장 일반적인 FDM 출력방식과 널리 사용하고 있는 ABS 소재를 이용하여 방사선 투과성 실험을 실시하였다. X선이 회전 조사되는 CT장비를 사용하였기 때문에 원통모형으로 제작하였으며 기존 머리 팬텀 받침대(headrest)를 제거하여 선속경화현상이 발생하지 않도록 CT 테이블 끝에 장착하여 공중에서 스캔되도록 하였다¹⁴⁾. 이러한 외형의 변형으로 팬텀 지지체와 이온챔버 삽입위치가 중첩되지 않도록 1시, 4시, 7시, 10시 방향으로 옮겨 설계하였다. 그러나 CT 장비는 X선이 회전하기 때문에 기존의 12시, 3시, 6시, 9시 방향에서 측정했던 방법과

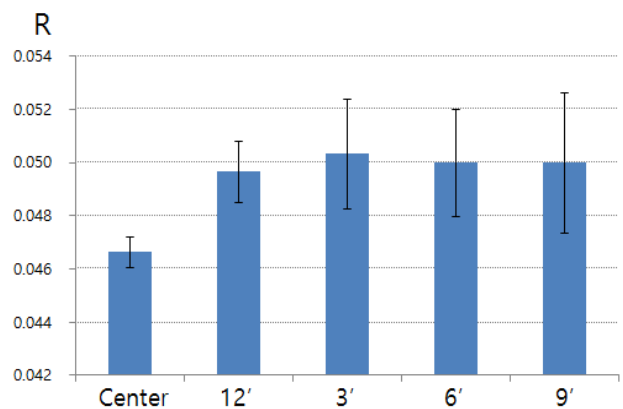


Fig. 11 The results of exposure dose from the ROI's of the PMMA CT head phantom

물리적으로 큰 차이가 없다고 판단된다. 또한 FDM 출력방식은 필라멘트 형태의 소재를 녹여서 적층하는 방식이기 때문에 용융점 설정이 중요하다. 본 실험에서 사용한 ABS 수지는 아크리로나이트릴(A), 브타디엔(B), 스티렌(S)의 세 가지 성분으로 되어 있으며, 내충격성, 내약품성, 내후성 등이 뛰어나고, 특히 사출 성형, 압출 성형 등의 성형성과 착색 등 2차 가공성이 우수하여 3D 프린팅 소재로 많이 사용하고 있으며 230°C~238°C의 용융점을 가지고 있기 때문에 FDM 출력방식에도 적합하다. 그러나 적층된 소재가 온도에 따라 수축이 잘되기 때문에 주의를 해야 한다¹²⁾. 특히 본 실험에서는 소재에 대한 X선 투과성을 평가하는 것이기 때문에 조형물 내부를 채우는 정도를 100%로 설정해야 한다. 그러나 100%로 적층할 때는 출력시간이 길어져 출력된 조형물이 외부 온도에 따라 굳는 정도가 달라 균일성을 유지하는데 많은 어려움과 시행착오가 있었다. 따라서 출력 조형물이 외부에 노출되어 있는 3D 프린터 기기보다는 출력 내부가 외부와 차단되어 있는 고가의 3D 프린터 기기 사용을 권장하고자 한다. 본 실험에서도 이와 같은 장비를 사용하여 조형물의 내부의 균일도를 확보할 수 있었다. 그럼에도 불구하고 용융적층 시 온도 차이에 의한 차이로 균일도의 오차는 발생할 수 있다. 그 사례로 표 1에서 중앙과 서쪽방향의 균일도가 다른 방향의 균일도보다 차이나는 이유가 적층 시 발생하는 온도차이로 밀도에 영향을 주었다고 추정된다. 따라서 FDM 방식으로 출력할 때에는 사전에 팬텀 내부의 균일도를 평가하여 신뢰성을 확보해야 할 것이다. 본 연구에서는 균일도가 확보된 ABS 팬텀을 이용하여 X선 투과성을 평가하였다. 그 결과 기존의 PMMA CT 팬텀과 같이 주변부보다 중앙에서의 선량이 감소하는 투과특성이 유의한 수준에서 상관관계를 가지고 있었다. 이러한 결과는 조평곤 외의 선행연구와 일치하는 선량분포로 신뢰할 수 있는 실험결과라고 판단된다¹⁰⁾. 그러나 PMMA CT 팬텀보다 ABS 소재의 CT 팬텀의 평균 투과선량이 0.004 R 정도 낮게 나왔다. 이는 한국 사람의 평균 머리둘레가 180 mm 인점을 고려하여 ABS 소재의 CT 팬텀의 지름을 180 mm로 출력하여 지름이 160 mm인 PMMA CT 팬텀보다 20 mm 정도 더 크기 때문이라고 판단되며 절대 지름 크기로 비교하지 못한 것이 본 연구의 제한점이다. 또한 FDM의 한 가지 출력방식과 일개 ABS 소재만을 평가한 것도 한계점이지만 3D 프린팅 기술도 시작단계인 점을 고려하여 앞으로 다양한 출력방식과 소재에 대한 방사선투과성 실험과 소재에 대한 선감약계수도출 연구가 필요하다. 방사선 정도관리분야에 3D 프린팅 기술을 적용한 사례는 고에너지를 사용하는 방사선치료 분야에 활용된 사례는 있었으나 저에너지인 진단용 X-선을

사용하는 CT에 적용한 사례는 미미하다^{15,16)}. 앞으로 방사선 발생장치의 발전과 다양한 검사법의 진보로 환자 안전을 위해서는 이에 맞는 정도관리 팬텀 개발이 필요할 것이다. 본 연구에서 활용한 3D 프린팅 기술은 다양한 팬텀 형태를 설계하여 출력할 수 있으며 비용을 절감할 수 있는 장점을 가지고 있다¹⁷⁾. 따라서 X선 투과성에 대한 선행연구는 꼭 필요하며 향후 3D 프린팅 기술을 이용한 방사선정도관리 팬텀 제작에 기초자료로 활용할 수 있으리라 기대한다.

V. 결 론

본 연구에서는 ABS 소재와 FDM 방식의 3D 프린팅 기술로 출력된 팬텀에 대한 X선 투과성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. FDM 방식의 3D 프린팅 기술로 팬텀을 제작할 때에는 적층 시 발생할 수 있는 밀도의 변화를 평가하기 위해 균일도를 측정하여 신뢰성을 확보해야 한다.
2. ABS 소재로 출력한 팬텀과 기존의 PMMA CT 팬텀의 X선 투과성 특성이 유의한 수준에서 상관관계를 가지고 있어 향후 방사선 선량측정 팬텀 제작에 적합하다고 판단된다.

REFERENCES

1. Reeves P., Mendis D.: The Current Status and Impact of 3D Printing Within the Industrial Sector: An Analysis of Six Case Studies, Bournemouth university, 1-68, 2015
2. Wohlers T.: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry, Wohlers Associates, Inc. 2013.
3. Julian R.P., Steven L., Arta M.M., Jian J.L.: Anthropomorphic Phantoms for Confirmation of Linear Accelerator-Based Small Animal Irradiation, Cureus, 7(3), e254, 2015
4. Oh W.K.: Evaluation of Usefulness and Availability for Orthopedic Surgery using Clavicle Fracture Model Manufactured by Desktop 3D Printer, Journal of Radiological Science and Technology, 37(3), 203-209, 2013
5. Seoung Y.H.: A Study of 3D Printing of Self-

- Customization Cast by Using Fused Deposition Modeling Technique of ABS Resin, *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 16(9), 6019-6026, 2015
6. Yayue P., Xuejin Z., Chi Z., Yong C.: Smooth surface fabrication in mark projection based stereo-lithography, *Journal of Manufacturing Processes*, 14(4), 460-470, 2012
 7. Katal G., Tyagi N., Joshi A.: Digital Light Processing and its Future Applications, *Int. J. of Scientific and Research Publication*, 3(4), 1-8, 2013
 8. Ruban W., George G.J., Chockalingam H.: process parameters optimization in selective laser sintering, *ISR National Journal*, 1(1), 42-55, 2014
 9. Ahn S.H., Montero M., Odell D., Roundy S., Wright P.K.: Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS, *Rapid Prototyping Journal*, 8(4), 248-257, 2002
 10. Jo P.K., Kim Y.H., Choi I.J. et al.: Assessment of the Eye Lens Dose Reduction by Bismuth Shields in Rando Phantom Undergoing CT of the Head, *Journal of Radiological Science and Technology*, 31(2), 171-175, 2008
 11. Park S.H., Park J.H., Lee H.J., N. K, Lee N.K.: Current Status of Biomedical Applications using 3D Printing Technology, *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, 31(12), 1067-1076, 2014
 12. Miller J.S., Stevens K.R., Yang M.T., et al.: Rapid casting of patterned vascular networks for perfusable engineered three-dimensional tissues, *Nat Mater.* 11(9), 768-774, 2012
 13. Seoung Y.H.: 3-Dimension Printing for Mesh Types of Short Arm Cast by Using Computed Tomography, *J Korean Conten Soc*, 15(1), 308-315, 2015
 14. Seoung Y.H.: 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*, 38(4), 421-427, 2015
 15. Ionita C.N., Mokin M., Varble N., et al.: Challenges and Limitations of Patient-Specific Vascular Phantom Fabrication Using 3D Polyjet Printing, *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*, 9038:90380M, 13, 2014
 16. Russ M, O'Hara R, Setlur Nagesh S.V., et al.: Treatment Planning for Image-Guided Neuro-Vascular Interventions Using Patient-Specific 3D Printed Phantoms, *Proc SPIE Int Soc Opt Eng* 9417:941726-1-941726-11, 19, 2015
 17. Leigh, Simon J., Pursell, C. P., Billson, D. R., Hutchins, D. A.: A Simple, Low-Cost Conductive Composite Material for 3D Printing of Electronic Sensors, *Plus One*, 2012

•Abstract

Evaluation of Image Uniformity and Radiolucency for Computed Tomography Phantom Made of 3-Dimensional Printing of Fused Deposition Modeling Technology by Using Acrylonitrile Butadiene Styrene Resin

Youl-Hun Seoung

Department of Radiological Science, Cheongju University

The purpose of this study was to evaluate the radiolucency for the phantom output to the 3D printing technology. The 3D printing technology was applied for FDM (fused deposition modeling) method and was used the material of ABS (acrylonitrile butadiene styrene) resin. The phantom was designed in cylindrical uniformity. An image uniformity was measured by a cross-sectional images of the 3D printed phantom obtained from the CT equipment. The evaluation of radiolucency was measured exposure dose by the inserted ion-chamber from the 3D printed phantom. As a results, the average of uniformity in the cross-sectional CT image was 2,70 HU and the correlation of radiolucency between PMMA CT phantom and 3D printed ABS phantom is found to have a high correlation to 0,976. In the future, this results will be expected to be used as the basis for the phantom production of the radiation quality control by used 3D printing technology.

Key Words : Acrylonitrile Butadiene Styrene, Fused Deposition Modeling, 3D printing technology, Image Uniformity, Radiolucency