

## &lt;원저&gt;

## 3D 프린팅을 이용한 손 엑스선 검사 보조도구의 유용성

김지원<sup>1)</sup>·구본열<sup>2)</sup><sup>1)</sup>대전보건대학교 방사선의과학대학 방사선과 · <sup>2)</sup>전주비전대학교 방사선과

## Usefulness of an Auxiliary Tool for Hand Radiography by Using 3D Printing

Ji-Won Kim<sup>1)</sup>·Bon-Yeoul Koo<sup>2)</sup><sup>1)</sup>Department of Radiology, College of Radiology and Medical Science, Daejeon Health Institute of Technology<sup>2)</sup>Department of Radiology, Vision College of Jeonju

**Abstract** As an auxiliary tool for fixing the patient's posture when taking an X-ray, sponges with high radiolucencies are laminated in various thicknesses. This study aimed to evaluate the usefulness of an auxiliary tool for hand oblique projection X-ray by manufacturing it with a uniform thickness by 3D printing and comparing it with existing sponge tools. In the auxiliary tool, radiolucency was measured at the stairs where each finger was located, and pixel information values were compared in the digital imaging and communications in medicine(DICOM) image. Contrast to noise ratio(CNR) and signal to noise ratio(SNR) were compared by shooting the hand phantom and the auxiliary tool together. As the thickness of the sponge tool increased, radiolucency decreased by 15.52% and pixel information value increased by 20.61%. The transmittance of the 3D printing tool increased by 0.82%, and the pixel information value differed by 5.66%. CNR and SNR increased by 20.03% and 22.42% in 3D printing compared to existing sponge tools, while taking hand oblique projection, maintaining the thickness of the auxiliary tool uniformly through 3D printing maintains high radiolucency and minimal impact on medical images, and increases CNR and SNR, making it useful as an auxiliary tool for taking hand oblique projection.

**Key Words:** 3D printing, Hand radiography, Auxiliary tool, Radiolucency, Medical image

**중심 단어:** 3D 프린팅, 손 엑스선 검사, 보조도구, 방사선 투과도, 의료영상

## 1. 서론

인체는 크고 작은 206개의 뼈로 이루어져 있다. 그중 손은 면적은 작으면서 27개의 뼈와 많은 관절의 입체적 구조로 이루어졌다. 손가락뼈 14개와 손허리뼈 5개는 연속된 관절로 이루어져 있고, 8개의 손목뼈는 가까이 붙어 있어서 질병의 진단을 위한 엑스선 검사에서 다양한 촬영법이 사용된다. 기본적인 손 엑스선 검사는 후·전 방향 촬영(posterior anterior projection)과 사방향 촬영(oblique projection)이 있다. 손의 후·전 사방향 촬영은 손가락 및 손허리뼈의 골절과 변형 및 병변 유무의 확인을 위해 45° 엽침 자세로

검사되고, 손허리손가락관절과 끝마디뼈 사이 관절이 열려 보여야 한다[1]. 5개의 손가락이 각각 일정한 간격으로 겹침이 없어야 하지만 의식이 없거나 질병으로 자세 협조가 어려운 경우 올바른 검사 자세를 유지하기 위해 보조도구의 활용이 필요하다.

엑스선 검사 시 환자의 올바른 촬영 자세를 유지하고 의료영상의 재현성 향상을 위해 다양한 형태의 보조도구가 사용되고 있다[2-6]. 보조도구의 재료 중 스펀지(sponge)는 방사선 투과성이 높고 다양한 형태로 제작이 간편하여 엑스선 검사의 손 후·전 사방향 촬영을 비롯하여 많은 검사에서 자세를 유지할 목적으로 사용되고 있다. 스펀지를 계단

Corresponding author: Bon-Yeoul Koo, Department of Radiology, Vision College of Jeonju, 235 Cheonjam-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 55069, Republic of Korea / Tel: +82-63-220-3684 / E-mail: kooby@jvision.ac.kr

Received 15 October 2023; Revised 30 October 2023; Accepted 8 November 2023

Copyright ©2023 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

형태로 쌓아 올리면서 손가락을 하나씩 올리는 형태로 제작하면 엄지와 집게손가락 위치는 두꺼워지고, 반대로 새끼손가락 위치로 갈수록 얇아진다. 인체의 엑스선 검사 목적 부위를 두께가 다른 보조도구로 고정하면 엑스선 투과도의 차이가 발생하여 불균질한 영상이 생성되고, 인공물(artifact)로 인식되어 진단에 영향을 줄 수 있다[7,8]. 또한 스펀지 재질의 특성으로 환자의 체액이나 상처로 인한 혈액 등이 스펀지 내부로 스며들면 세척이나 소독의 어려움으로 다른 환자에게 감염병 위험이 발생할 수 있다[9,10]. 따라서 손 엑스선 검사에서 기존 스펀지 재료를 대신하여 감염병 위험을 줄이고 의료영상에 영향을 낮출 수 있는 보조도구의 제작이 요구된다.

의료산업에서 3D 프린팅 기술은 개인 맞춤형 의료보형물 분야에서부터 의료용 지지체 제작 등 폭넓은 분야에서 활발히 적용되고 있다[11-16]. 특히 제품의 디자인을 간단하게 수정하고 별도의 금형 제작이 필요 없는 3D 프린팅은 다품종 소량 생산 및 개인 맞춤형 제작이 가능하여 엑스선 촬영시 다양한 보조도구 제작에 적합하다[17].

따라서 본 연구는 3D 프린팅으로 손의 사방향 촬영을 위한 보조도구를 제작하여 기존 스펀지 보조도구와 비교를 통해 엑스선 투과도와 영상을 평가하여 보조도구로서의 유용성을 평가하고자 하였다.

## II. 실험 재료 및 방법

### 1. 3D 모델링

손 엑스선 검사 보조도구 제작을 위해 3D computer aided design(CAD) Inventor 프로그램(Autodesk, USA)을 사용하였다. 설계한 보조도구는 손 사방향 촬영이 가능한 형태로 전체 크기는 300×260×60 mm, 두께는 1.5 mm 이다. 각각의 손가락이 위치하는 계단은 수평과 수직 두께를 일정하게 유지하도록 각 계단의 수직 방향 경사는 50°, 수평 방향 경사는 10°로 설계하였다. 3D 프린팅은 Moment M350 (Moment, Korea)을 이용하여 FFF(fused filament fabrication) 방식으로 Slicing 하였고, 원료는 폴리젯산(polylactic acid, PLA)과 carbon fiber를 혼합한 carbon fiber PLA filament를 사용하였다. 제작된 손 엑스선 검사 보조도구는 대한민국 특허청에 특허출원(출원번호 10-2023-0133362) 되었다[Fig. 1].

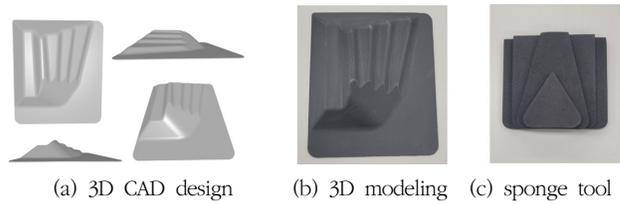


Fig. 1. 3D printed auxiliary tools and existing sponge auxiliary tools

### 2. 실험 도구

엑스선 검사 장치는 DR X-ray System(Accuray-650R, 동강의료기, Korea)를 사용하였고 촬영조건은 50 kVp, 100 mA, 0.05 sec였다. 3D 프린터로 제작된 보조도구의 투과 선량 측정은 Magicmax Universal XR detector(IBA dosimetry, S/N: R22-0777, 교정일: 2022.10, 독일)를 사용하였다[Fig. 2]. 팬텀은 PBU-50 hand (Kyotokagaku, Japan)을 사용하였고, 획득된 영상의 평가는 ImageJ(미국 국립보건원, USA) 프로그램을 사용하였다.

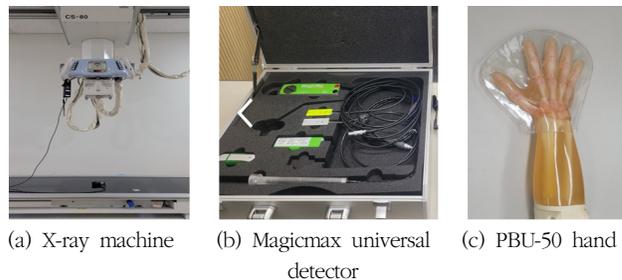


Fig. 2. Test tools for X-ray taking

### 3. 실험방법

#### 1) 투과도 평가

손 사방향 촬영 보조도구의 투과도 측정을 위해 엑스선 초점에서 촬영 테이블까지 거리 1,100 mm, 조사야 17×17", 촬영조건(50 kVp, 100 mA, 0.05 sec)에서 측정하였다. 반도체 선량계인 XR detector를 이용하여 보조도구가 없을 때 측정된 선량을 기준으로 기존 스펀지 보조도구와 3D 프린팅 보조도구를 투과한 선량을 비교하였다[Fig. 2]. 투과도는 식(1)을 사용하였다. 투과도 측정은 보조도구의 손가락 위치 5개의 계단에서 각각 7회를 측정하여 최댓값과 최솟값을 제외하고 5회 평균값을 평가하였다.

$$\text{Radiolucency} = \frac{\text{Radiation Dose with Material}}{\text{Radiation Dose without Material}} \times 100 \quad \text{식(1)}$$

## 2) 영상평가

보조도구에 따른 영상평가를 위해 보조도구를 촬영하여 생성된 의료용 디지털 영상 및 통신(digital imaging and communications in medicine, DICOM) 영상을 ImageJ 프로그램으로 평가하였다. 보조도구에서 손가락이 위치하는 각 계단에 102×102 pixel 크기의 관심 영역(region of interest, ROI)을 설정하여 동일 좌표에서 pixel 정보값을 비교하였다[Fig. 3].

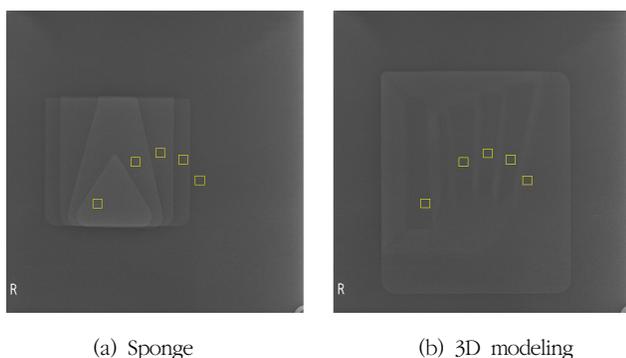


Fig. 3. Evaluation of pixel value in ROI

## 3) 손 팬텀 영상평가

손 팬텀과 보조도구를 함께 사용했을 때 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)와 대조도 대 잡음비(contrast to noise ratio, CNR) 비교를 위해 5개의 손가락 첫마디뼈(proximal phalanges)와 보조도구 겹침이 없는 곳에서 background ROI를 설정하였다. ROI 크기는 손가락뼈 크기를 고려하여 지름 62 pixel 원형으로 설정 설정하여 ImageJ 프로그램으로 분석하였다(Fig. 4). CNR은 식(2), SNR은 식(3)를 사용하였다[18].

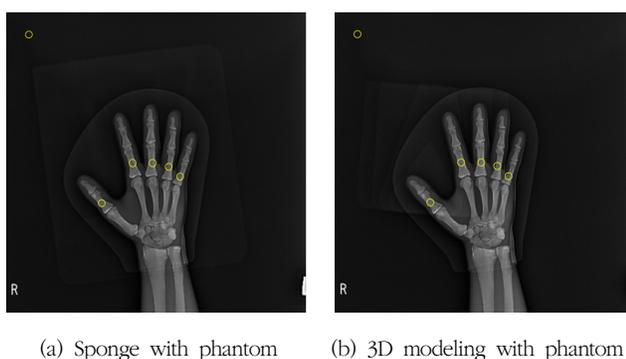


Fig. 4. Evaluation of pixel value in ROI

$$CNR = \frac{(ROI_{SI_{Avg}} - Background_{SI_{Avg}})}{\sqrt{ROI_{SD}^2 + Background_{SD}^2}} \quad \text{식(2)}$$

$$SNR = \frac{(ROI_{SI_{Avg}} - Background_{SI_{Avg}})}{ROI_{SD}} \quad \text{식(3)}$$

- 1)  $ROI_{SI_{Avg}}$  : average signal intensity of region of interest
- 2)  $ROI_{SD}$  : standard deviation of region of interest
- 3)  $Background_{SI_{Avg}}$  : average signal intensity of background
- 4)  $Background_{SD}$  : standard deviation of background

## 4) 통계 분석

엑스선 투과도와 영상평가 데이터는 평균과 표준편차를 사용하였다. 보조도구에 따른 엑스선 투과도와 pixel 정보값 차이의 유의성을 확인을 위해 비모수 검정법인 Mann-Whitney 검정법을 실시했고, 통계 프로그램은 IBM SPSS (ver.25.0.1.0, USA) 프로그램을 이용하여 95% 신뢰 수준에서  $p$ -value가 0.05보다 작은 경우 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

## III. 결과

## 1. 보조도구에 따른 투과도 평가

손 엑스선 촬영조건(50 kVp, 100 mA, 0.05 sec)에서 보조도구가 없을 때 테이블에서 측정된 선량은 131.57  $\mu$ Gy 이었다. 기존 스펀지 재질 도구에서 각 계단에서 측정된 선량은 111.52  $\mu$ Gy, 115.94  $\mu$ Gy, 121.04  $\mu$ Gy, 126.40  $\mu$ Gy, 131.78  $\mu$ Gy로 평균 121.33  $\mu$ Gy이었다. 3D 프린팅된 도구는 126.68  $\mu$ Gy, 126.06  $\mu$ Gy, 125.60  $\mu$ Gy, 126.18  $\mu$ Gy, 126.10  $\mu$ Gy로 평균 126.12  $\mu$ Gy이었다.

보조도구가 없을 때 기준으로 스펀지 도구의 각 계단에서 측정된 투과도는 84.76~100.15%이었고, 계단의 두께가 증가할 투과도는 감소하여 최대 15.39% 차이를 보였다. 3D 프린팅 도구는 약 95.46~96.28%로 최대 0.82% 차이를 보였다. 투과도의 평균은 3D 프린팅 도구가 스펀지 보조도구보다 평균 3.94% 높게 측정되었다. 보조도구에 따른 투과도는 손가락 1~3, 5번 위치에서는 95% 신뢰구간에서 유의한 차이를 보였고, 4번 위치에서는 유의한 차이가 없었다 <Table 1>.

**Table 1.** Radiolucencies according to location of auxiliary tools

Location	Tool	N	Mean ± SD (μGy)	Radiolucency (%)	U	P-value
Finger 1th	Sponge	5	111.52 ± 0.17	84.76	0.00	0.008
	3D printing	5	126.68 ± 0.26	96.28		
Finger 2th	Sponge	5	115.94 ± 0.08	88.12	0.00	0.008
	3D printing	5	126.06 ± 0.32	95.81		
Finger 3th	Sponge	5	121.04 ± 0.35	91.99	0.00	0.008
	3D printing	5	125.60 ± 0.29	95.46		
Finger 4th	Sponge	5	126.40 ± 0.36	96.07	7.50	0.310
	3D printing	5	126.18 ± 0.42	95.90		
Finger 5th	Sponge	5	131.78 ± 0.30	100.15	0.00	0.008
	3D printing	5	126.10 ± 0.17	95.84		

**2. 보조도구에 따른 영상평가**

투과도 측정과 동일 촬영조건에서 보조도구가 없을 때 생성된 영상의 중심에서 pixel 정보값은 평균 233.71이었다. 스펀지 도구에서 각 계단의 ROI에서 측정된 pixel 정보값은 289.91, 274.88, 261.41, 249.75, 241.73으로 평균 263.54이었다. 3D 프린팅 도구는 243.34, 246.31, 250.24, 248.33, 256.57로 평균 248.96이었다.

보조도구가 없을 때 pixel 정보값을 기준으로 스펀지 도구는 103.43~124.04%로 측정되었고, 각 계단의 두께가 증가할수록 정보값은 감소하여 20.61%의 차이가 있었다. 3D 프린팅 도구는 104.12~109.78%로 측정되었고, 각 계단에서 5.66% 차이를 보였다. pixel 정보값은 스펀지 도구가 3D 프린팅 도구 보다 평균 5.85% 높게 측정되었다. 보조도구에 따른 pixel 정보값은 손가락 1~3, 5번 위치에서는 유의한 차이를 보였고, 4번 위치에서는 유의한 차이가 없었다 (Table 2).

**3. 손 팬텀 영상평가**

손 팬텀을 각각의 보조도구와 함께 사용하여 CNR과 SNR을 비교하였다. 손 팬텀을 사용했을 때 스펀지에서 background는 249.60 ± 2.07, 3D 프린팅에서 247.4 ± 2.30이었다. 스펀지 도구와 손 팬텀을 사용했을 때 각 손가락 첫마디뼈에서 측정된 CNR은 80.28, 78.81, 81.14, 69.42, 66.04로 평균 75.13이었다. 3D 프린팅 도구는 89.47, 90.23, 101.28, 84.41로 평균 90.1이었다. CNR은 3D 프린팅 도구가 스펀지보다 평균 20.03% 높았다.

스펀지 도구와 손 팬텀을 사용했을 때 SNR은 82.26, 80.38, 82.52, 70.55, 67.63으로 평균 76.66이었다. 3D 프린팅 도구는 93.44, 93.08, 105.49, 88.48, 88.76으로 평균 93.85이었다. SNR은 3D 프린팅 도구가 스펀지보다 평균 22.42% 높았다 (Table 3).

**Table 2.** Pixel value according to location of auxiliary tools

Location	Tool	N	Mean ± SD	U	P-value
Finger 1th	Spongy	5	289.91 ± 4.69	0.00	0.008
	3D printing	5	243.34 ± 5.23		
Finger 2th	Spongy	5	274.88 ± 4.64	0.00	0.008
	3D printing	5	246.31 ± 5.27		
Finger 3th	Spongy	5	261.41 ± 4.27	1.00	0.016
	3D printing	5	250.24 ± 5.34		
Finger 4th	Spongy	5	249.75 ± 4.22	11.00	0.841
	3D printing	5	248.33 ± 5.19		
Finger 5th	Spongy	5	241.73 ± 4.06	0.00	0.008
	3D printing	5	256.57 ± 5.36		

**Table 3.** CNR and SNR according to hand phantom and auxiliary tools

Location	CNR		SNR	
	Spongy	3D Printing	Spongy	3D Printing
Finger 1th	80.28	89.47	82.26	93.44
Finger 2th	78.81	90.23	80.38	93.08
Finger 3th	81.14	101.53	82.52	105.49
Finger 4th	69.42	85.28	70.55	88.48
Finger 5th	65.04	84.41	67.63	88.76
Mean	75.13 ± 6.91	90.18 ± 6.83	76.66 ± 7.04	93.85 ± 6.91

#### IV. 고찰

엑스선 검사 시 촬영 자세를 일정하게 유지하여 재현성을 높이고 환자의 움직임 방지를 위해 보조도구를 사용하고 있다[2-6]. 보조도구는 엑스선의 투과도가 높은 재질로 의료 영상에 영향이 낮아야 하지만 투과도가 낮거나 두께가 증가할수록 인공물로 인식되어 질병의 진단에 오류를 나타낼 수 있다.

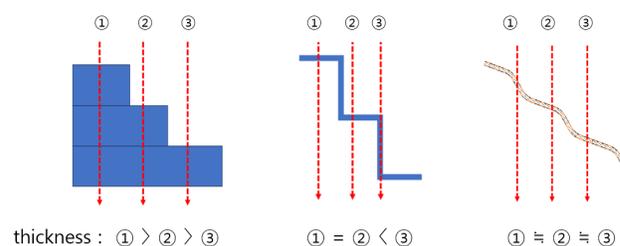
이전 연구에서 엑스선 검사 시 보조도구의 재질로써 탄소 섬유 강화 플라스틱(carbon fiber reinforced plastics)은 기존 아크릴(acrylic), 폴리카보네이트(polycarbonate)와 비교하여 얇은 두께에서도 엑스선 투과도가 높은 특성이 확인되었다[18].

3D 프린팅은 복잡한 구조물을 맞춤형으로 제작하고 다양한 필라멘트 재질을 활용하여 의료영상 분야에서도 많이 사용되고 있다[7,8]. 본 연구에서는 3D 프린팅으로 손 엑스선 검사 보조도구 제작을 위해 carbon fiber와 PLA가 혼합된 carbon fiber PLA 필라멘트를 재료로 사용하였다. 3D 프린팅한 도구는 기존 sponge 소재 보조도구와 엑스선 투과도와 영상의 pixel 정보값을 비교하여 평가하였다.

촬영 테이블 중심에서 보조도구가 없을 때 측정된 선량을 기준으로 스펀지 도구의 투과도는 84.76~100.15%로 계단이 두꺼워질수록 투과도는 감소하여 15.52% 차이가 있었고, 3D 프린팅은 95.46~96.28%로 계단에 따라 0.95% 범위로 일정하게 측정되었다. 스펀지 재료는 밀도가 낮고 엑스선 투과도가 높아서 엑스선 검사 시 보조도구 재료로 많이 사용되고 있지만 강도가 낮아서 특정 형태나 무게를 지지하기 위해 두께를 증가시켜야 한다. 그러나 하나의 구조물에 다른 두께를 적용하면 스펀지 두께가 균일하지 않아서 투과도가 달라지면 균일도(uniformity)가 낮아질 수 있다. 또한 강도가 높고 방사선 투과성이 좋은 PVC 재료를 수직 형태로 사용하면 수평부와 수직부의 두께가 달라져서 스펀지와

마찬가지로 불균질한 영상의 원인이 된다. 반면에 3D 프린팅은 복잡한 구조물이라도 수직 구조를 경사 구조로 설계하면 두께를 일정하게 유지하고, 투과도가 높은 재질의 필라멘트를 활용함으로써 강도가 높으면서 각 계단에서 균질한 엑스선 투과도를 얻을 수 있었다[Fig 5].

영상평가를 위해 ROI를 설정하여 측정된 pixel 정보값은 도구가 없을 때를 기준으로 스펀지에서 측정값은 103.43~124.04%로 두께가 증가할수록 정보값은 증가하여 20.61% 차이였다. 3D 프린팅 도구는 104.12~109.78%로 계단 위치에 따라 5.66% 차이였다. 엑스선 투과도와 마찬가지로 3D 프린팅 도구에서 pixel 정보값 변동 폭이 작은 것은 균일한 두께로 인해 영향을 낮추었기 때문이다. 그러나 각 손가락 위치에서 표준편차의 평균은 스펀지 4.37, 3D 프린팅 5.27로 3D 프린팅이 스펀지보다 잡음(noise)이 증가하였다.



**Fig. 5.** Thickness according to auxiliary tool shape

스펀지 도구는 계단이 증가할수록 투과도는 감소하고 pixel 정보값은 증가했지만 3D 프린팅은 각 계단에서 투과도와 pixel 정보값은 균일한 값을 나타냈고, 스펀지 1층의 4번째 손가락 위치에서 보조도구 간의 유의한 차이가 없었다. 이것은 3D 프린팅으로 손 보조도구를 제작하면 스펀지와 같이 계단 형태로 적층하지 않고, 손 전체를 동일한 두께로 제작하여 스펀지 1층과 같은 투과도와 pixel 정보값을 나타낼 것으로 판단할 수 있다.

손 팬텀을 보조도구와 함께 사용하여 CNR과 SNR을 비

교했을 때 3D 프린팅에서 스펀지 도구보다 CNR은 20.03%, SNR은 22.421% 높게 나타났다. 기존 두께가 변하는 스펀지 도구보다 탄소섬유가 함유된 재료로 균일하게 제작된 3D 프린팅 도구에서 높은 엑스선 투과도로 인접 신호를 구분하는 CNR이 증가하고, 신호에 동반하는 잡음이 감소하여 SNR이 증가했기 때문으로 볼 수 있다.

다양한 엑스선 검사에서 3D 프린팅 기술을 이용한 보조 도구의 사용은 시도되었고, 촬영 자세를 일정하게 유지하여 의료영상의 재현성을 높일 수 있다고 하였다[11-14]. 그러나 보조도구의 사용은 엑스선 투과도를 떨어뜨리고, 불균질한 음영이 발생시키는 인공물로 인식될 수 있으므로 의료영상에 영향을 가능한 낮추는 것을 전제로 해야 한다.

본 연구에서는 손 엑스선 검사를 위한 보조도구 제작 시 3D 프린팅 기술을 사용하여 균일한 두께로 설계하고 엑스선 투과도가 높은 carbon fiber PLA filament를 사용함으로써 투과도와 영상의 pixel 정보값을 일정하게 유지하였다. 또한 코로나19로 인해 감염병 관리의 관심 증가로 기존 스펀지 재료와 같이 환자의 혈액이나 체액 등이 스며들지 않고 강도가 높은 filament를 사용하면 환자 간 감염 예방에 유용하다. 연구의 제한점으로 컴퓨터 단층촬영(computed tomography)의 영상평가는 물의 감약계수(attenuation coefficient), 잡음, 고대조도 분해능(high contrast resolution), 저대조도 분해능(low contrast resolution), 균일도, 직진성(linearity) 등 다양한 평가를 하지만 본 연구에서는 단순 엑스선 영상에서 pixel 정보값으로 CNR과 SNR만을 평가하여 영상평가에 한계가 있다. 또한 손과 같이 비교적 크기가 작은 스펀지 도구를 비교하였기 때문에 머리, 복부, 다리 등의 두꺼운 부위 보조도구의 제작 방법, 형태, 크기 등을 적용하여 다양한 촬영조건에서 실제 의료영상 평가에 대한 추가연구가 필요하다.

## V. 결론

엑스선 검사 시 올바른 자세 유지를 위한 보조도구는 정확한 진단과 높은 재현성에 도움이 되지만 의료영상에 영향을 최소한으로 하는 것이 전제되어야 한다. 손 후·전 사방향 검사 시 3D 프린팅으로 보조도구 두께를 균일하게 유지하고, 투과도와 강도가 높은 탄소섬유 재료를 사용하면 높은 엑스선 투과율과 의료영상에 영향을 최소한으로 유지하여 손 엑스선 검사를 위한 보조도구로 유용하게 사용될 수 있다.

## REFERENCES

- [1] Korean Society of Medical Imaging Technology. Textbook of radiographic positioning and clinical diagnosis. 6th ed. Vol. 1. Chung-Ku Publisher; 2019:76-8.
- [2] Lim WT, Hong DH. Development of the upper wear fixation device for chest ap x-ray imaging on the emergency stretcher bed. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2022;45(3):205-11. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2022.45.3.205>
- [3] Uhm SY, Cho YK, Kang SJ. A study on the accuracy and convenience of imaging method using support device in knee joint lateral radiography. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2017;11(4):253-62. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.4.253>
- [4] Rhee DB, Seo SJ, Choi HW, Lee SH, Kim JK. Development and use of supporting device for patellar x-ray imaging. *Journal of Biomedical Engineering Research*. 2020;41(4):165-71. DOI: <https://doi.org/10.9718/JBER.2020.41.4.165>
- [5] Rhee DB, Lee SM, Kim JK, Lee JM. A study on chest x-ray using ancillary device for child radiography. *Journal of Biomedical Engineering Research*. 2018; 39(1):48-54. DOI: <https://doi.org/10.9718/JBER.2018.39.1.48>
- [6] Choi OR, Jang WS, Jung PS, Lee YS, Lee KS. Evaluation of usefulness of the device when taking a wrist lateral radial tilt view. *Journal of Korean Society of Radiological Imaging Technology*. 2014; 2014(1):1-8. Retrieved from <https://ebook.kyobobook.co.kr/dig/pnd/scholar/detail/product?cmdtcode=4010025912754>
- [7] Park JK, Yang SW, Jun JH, Cho SY, Kim KT, Heo YJ, et al. The effects of image quality due to scattering x-ray according to increasing patient thickness. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2017;11(7): 670-7. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.7.671>
- [8] Seo JH, Jeong JH, Shin JH, Won JH, Jung SW, Ha SY, et al. Investigation of scattered radiation on images effect in digital radiography. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2014;8(1):77-9. Retrieved from <https://ebook.kyobobook.co.kr/dig/pnd/scho>

lardetail/product?cmdtcode=4010023818063

[9] Chang JH, Yang EJ, Kim YJ. A study on the distribution of microorganisms in department of radiography. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2021; 15(2):165-71. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2021.15.2.165>

[10] Hong DH, Kim HG. Analysis of bacterial contamination on surface of general radiography equipment and CT equipment in emergency room of radiology. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2016;39(3):421-7. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2016.39.3.17>

[11] Kim SH. Study on 3D printer producing of assistive devices for vertical incidence of law method. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2020;43(6): 489-94. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2020.43.6.489>

[12] Kim HG. Evaluation of the clinical usefulness of an assistive device fabricated by 3D printing in an oblique x-ray examination of the lumbar vertebrae. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2022; 16(5):505-12. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2022.16.5.505>

[13] Kim HG, Yoon JH, Choi SD. Study on 3D printer production of auxiliary device for upper limb for medical imaging test. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2015;38(4):389-94. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2015.38.4.08>

[14] Yoon MS, Han DK, Sin RW, Han SS, Yang YJ, In YJ, et al. The study of making an assistance device in hand lateral examination using 3D printer. *Journal of the Korean Society of Radiological Imaging Technology*. 2018;2018(1):119-23. Retrieved from <https://ebook.kyobobook.co.kr/dig/pnd/scholar-detail/product?cmdtcode=4010026498868>

[15] Cho YI. Feasibility of the 3D printing materials for radiation dose reduction in interventional radiology. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2020;43(3):169-76. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2020.43.3.169>

[16] Yoon J, Yoon MS. Evaluation of tungsten blended filament shields made by 3D printer in radiography. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2021;44(6):615-21. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2021.44.6.615>

[17] Kim KM. Utilization of 3D printing technology in the mold industry used in shipbuilding, energy, heavy industry and automobiles. *Industry News* [Internet]. 2020 [cited 2023 Oct 6]. Retrieved from <https://www.industrynews.co.kr/news/article-view.html?idxno=39065>

[18] Moon JH, Koo BY. Usefulness of carbon fiber reinforced plastics as a material of auxiliary tool for x-ray imaging. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2023;46(3):197-205. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2023.46.3.197>

구분	성명	소속	직위
제1저자	김지원	대전보건대학교	조교수
교신저자	구본열	전주비전대학교	조교수

