

<원저>

엑스선 촬영 시 보조도구 재료로써 탄소 섬유 강화 플라스틱의 유용성

문준호¹⁾·구본열²⁾¹⁾건국대학교 식량자원과학과 · ²⁾전주비전대학교 방사선과

Usefulness of Carbon Fiber Reinforced Plastics as a Material of Auxiliary Tool for X-ray Imaging

Joon-Ho Moon¹⁾·Bon-Yeoul Koo²⁾¹⁾Department of Crop science, Konkuk University²⁾Department of Radiology, Vision College of Jeonju

Abstract When taking X-rays, various auxiliary tools were used to fix a patient's exact shooting position and posture. In this study, we evaluated the usefulness of carbon fiber reinforced plastics(CFRP) 3K as a material of auxiliary tools by comparing poly methyl metha acrylate(PMMA), polycarbonate(PC), and CFRP 3K each of which has high radiolucency. X-ray radiolucencies were measured by stacking 1 mm panels of each material, and contrast to noise ratio(CNR) and signal to noise ratio(SNR) of images of each material were measured by comparing with None, which stands for images that are taken without any material. All three materials showed over 90% X-ray radiolucencies within 2 mm thickness, and there was no significant difference. PC, PMMA and CFRP 3K had high CNR and SNR in order, and CFRP 3K showed the closest CNR and SNR to those of None. While taking X-rays, by using CFRP 3K material within 2 mm thickness as a material of auxiliary tools, which are used to reduce re-shooting and X-ray exposure by fixing a patient's exact shooting position and posture and improve the quality of medical images, a high X-ray radiolucency of over 90% would be obtained, and the influence on the image could be minimized.

Key Words : Carbon fiber reinforced plastics, Radiolucency, Auxiliary tool, Contrast to noise ratio, Signal to noise ratio

중심 단어 : 탄소 섬유 강화 플라스틱, 방사선 투과율, 보조도구, 신호 대 잡음비, 대조도 대 잡음비

1. 서론

방사선을 이용하는 의료행위에서 환자의 움직임이나 촬영 자세 불량으로 인한 재촬영은 불필요한 방사선 피폭의 원인이 되고 장비 가동시간의 증가와 환자의 촬영 대기시간을 길게 하는 원인이다[1]. 의료피폭은 개인에게 의학적인 이득을 주기 때문에 선량한도를 정하지 않았지만, 최적화의 노력을 통해 환자의 방사선 피폭을 줄이기 위한 노력이 강조된다.

세계방사선사협회(international society of radiographers and radiological technologist, ISRRT)는 방사선사의 책임 7개 분야에서 선량의 최적화를 위해 방사선 방호관리자로서 역할을 강조하며 방사선을 이용하는 검사에서 피폭선량을 줄이기 위해 환자의 촬영 자세 고정을 목적으로 부속장치와 방호장치의 필요성을 제시하였다[2]. 또한 대한방사선사협회(Korean radiological technologists association, KRTA)에서도 방사선 관리에 적정을 기해 환자에 대한 피폭선량 경감을 위하여 노력해야 한다고 방사선사의 윤리강령에서

Following are results of a study on the "Leaders in INdustry- university Cooperation 3.0" Project, supported by the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea

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 08 May 2023; Revised 21 May 2023; Accepted 24 May 2023

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

명시하였다[3].

환자의 엑스선 재촬영을 줄이기 위해 촬영 자세 고정을 목적으로 활용되는 보조도구의 종류로는 모래주머니, 아크릴(acrylic), 폴리카보네이트(polycarbonate, PC), 목재, 알루미늄, 폼(foam), 라텍스(latex), 스티로폼(styrofoam) 등의 다양한 재료가 사용되고 있다. 촬영 두께가 얇은 사지의 말단 부위는 보조도구의 두께가 얇아도 충분한 촬영 자세를 유지하면서 생성된 의료영상에 영향을 최소한으로 유지되어야 한다. 그러나 촬영 두께가 무겁고 두꺼울 경우 보조도구의 두께가 두꺼워짐으로써 의료영상에 영향을 줄 수 있다. 따라서 기존 보조도구의 재질과 같이 엑스선 투과도가 높으면서도 강도가 높은 보조도구의 재료 특성이 요구된다.

2000년대 초반부터 선진국을 중심으로 충격에 강하고 내피로성과 높은 생체적합성으로 인공장기 및 의료기구의 재료로서 탄소 섬유 강화 플라스틱(carbon fiber reinforced plastics, CFRP)을 적극적으로 활용하고 있다. 우리나라에서는 작은 방사선량에도 효율적 검사가 가능하고 높은 엑스선 투과율로 촬영 각도에 상관없이 굴절이 발생하지 않는 특징으로 전산화단층촬영(computed tomography, CT), 수술용 테이블, 엑스선 촬영대, 방사선 치료용 고정장치, 엑스선 디텍터(detector) 등에 사용되고 있다[4-6].

엑스선 검사에서 보조도구의 재료는 엑스선 투과성이 높고 생성되는 의료영상에 영향을 최소한으로 유지하기 위해 얇은 두께에도 충분한 강도를 가져야 한다. 따라서 본 연구는 엑스선 투과성이 높아서 유방촬영에서 압박대 재질로 사용되는 PC, 아크릴의 대표적인 폴리메틸메타아크릴레이트(poly methyl metha acrylate, PMMA), CFRP 3K를 비교하여 엑스선 촬영 시 보조도구의 재료로서의 유용성을 확인하고자 한다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험 재료

CFRP는 0.005~0.01 mm 굵기의 매우 가는 탄소 섬유를 재료로 3K를 사용하였고, 여기서 K는 Kilo 즉 1,000가닥을 의미한다. 엑스선 촬영 시 투과되는 선량을 측정하기 위해 PMMA, PC, CFRP 3K를 가로, 세로 100 mm의 정사각형, 두께 1 mm 형태로 각각 10개씩 제작하였다[Fig. 1]. 진단용 방사선 발생 장치는 DR X-ray System(comed TITAN 2000, gemss medical, Korea)으로 엑스선 제어장치(EVA-HF 750-CT)와 고전압 발생장치(EVA-HF750-HT) 및 엑스선

관 장치(E7252X, TOSHIBA)로 구성되어 있다. 재료의 두께별 투과 선량 측정을 위해 한국산업표준 엑스선 방호용품류의 납 당량 시험에서 좁은 빔을 사용할 때의 조건을 참고하여 엑스선 초점에서 재료까지 거리가 1,500 mm, 재료에서 detector까지 거리는 45 mm, 고정 조리개로 실험 도구를 제작하였다[7][Fig. 2]. 준비된 재료의 투과 선량 측정 장비는 Magicmax Universal의 XR detector (S/N:R22-0777, 교정일: 2022.10, 제조사: IBA dosimetry, 제조사: Germany)를 사용하였다[Fig. 3]. 영상평가를 위해 의료영상저장 전송 시스템(picture archiving and communication system, PACS) 프로그램(Infinit)과 Java 기반 이미지 분석 프로그램 ImageJ를 사용하였다.

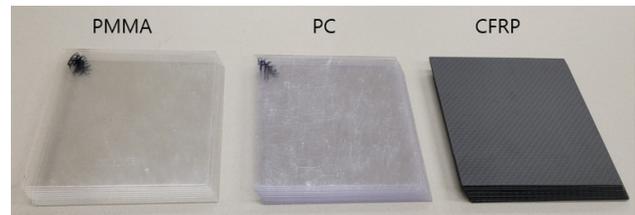


Fig. 1. 1 mm thickness panels of PMMA, PC, CFRP 3K

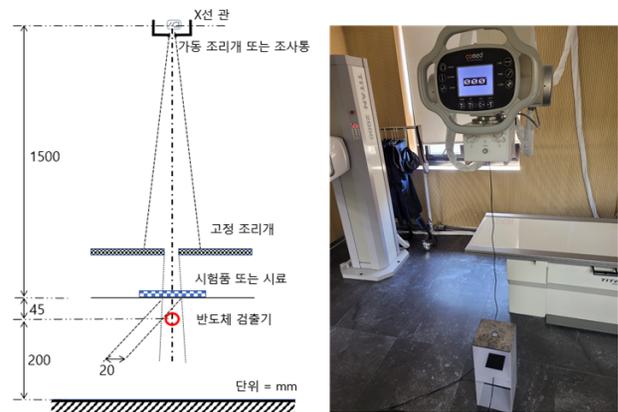


Fig. 2. Testing apparatus for using narrow beams

2. 실험 방법

1) 투과도 평가

엑스선 투과도 측정을 위해 제작된 실험 도구를 사용하였을 때 고정 조리개 두께는 5 mmPb, 엑스선 초점에서 재료까지 거리는 1,500 mm, 재료에서 조사야는 지름 20 mm의 원형이다. PMMA, PC, CFRP 3K 재료를 1장씩 적층해가며 1~10 mm까지 두께별 투과 선량을 측정하였다[Fig. 4]. 촬영 조건은 팔과 다리에서 가장 많이 사용되는 촬영 보조도구임을 고려하여 동일한 촬영조건(50 kVp, 100 mA, 0.1 sec)에서

각각 4회씩 촬영하여 극단값을 제거하기 위해 가장 차이가 큰 1회를 제거하고 3회의 평균값을 도출하여 재료가 없을 때 선량과 비교하였다[Fig. 2].



Fig. 3. Magicmax Universal XR detector

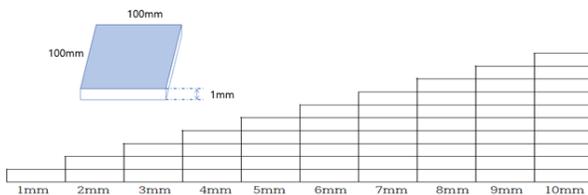


Fig. 4. Schematic diagram of stacking panels

2) 영상평가

촬영 테이블에 재료가 없을 때와 2mm 두께의 3가지 재료를 같은 촬영조건(50 kVp, 100 mA, 0.1 sec)에서 초점과 이미지 카세트 간 거리를 1,100 mm, 조사야 17×17"로 각각 4회씩 촬영하여 극단값을 제거하기 위해 가장 차이가 큰 1회를 제거하고 3회 측정값을 사용하였다. 생성된 영상은 PACS 프로그램을 활용하여 의료용 디지털 영상 및 통신(digital imaging and communications in medicine, DICOM)파일 형식을 추출하여 ImageJ 프로그램을 사용하여 영상 정중앙에 가로, 세로 300 pixel의 관심영역(region of interest, ROI)를 설정하고 대조도 대 잡음비(contrast to noise ratio, CNR)와 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)를 비교하였다. 재료가 없을 때 영상의 ROI pixel 값을 background로 하였고, CNR은 식(1), SNR은 식(2)를 통해 비교하였다[8]. CNR과 SNR 식에서 pixel 정보 값은 재료를 사용한 ROI average가 재료가 없는 background average보다 항상 큰 값으로 ROI average에서 background average를 빼주어 절대값을 생략하였다.

$$CNR = \frac{(ROI SI_{Avg} - Background SI_{Avg})}{\sqrt{ROI SD^2 + Background SD^2}} \quad \text{식(1)}$$

$$SNR = \frac{(ROI SI_{Avg} - Background SI_{Avg})}{ROI SD} \quad \text{식(2)}$$

3) 통계 분석

투과도와 영상평가에 사용된 데이터는 평균과 표준편차로 나타냈고, 재료가 없을 때와 3가지 재료를 사용했을 때를 비교하였다. 두께의 증가와 각 재료의 투과도의 유의한 상관관계를 확인하기 위해 Pearson 상관분석을 실시하였고, 각 재료의 차이에 따른 투과율의 차이와 영상 정보 값의 차이의 유의성을 판단하기 위해서 비모수 검정법인 Kruskal-Wallis 검정법을 실시하였다. 또한, 사후검정으로 쌍대비교(pairwise comparison)를 시행하여 재료의 차이에 따른 투과도와 영상 정보 값의 차이의 유의성을 검정하였다. 통계 프로그램은 IBM SPSS Statistics(ver.29.0.1.0, USA)를 이용하였다.

III. 결과

1. 투과도 평가

한국산업표준 엑스선 방호용품류의 납 당량 시험에서 좁은 빔을 사용할 때의 조건 기준으로 3개 재질을 두께 1~10 mm까지 적층하며 같은 촬영조건에서 투과도를 측정하였다. 재료가 없을 때 측정된 선량은 68.45 μGy이었고, 각 재질에 따라 1~10 mm까지 측정된 선량은 PMMA 66.0~45.36 μGy, PC는 65.04~46.71 μGy, CFRP 3K는 65.71~43.21 μGy로 측정되었다. 방사선 투과도를 비교하면 PMMA는 96.42~66.26%, PC는 95.01~68.23%, CFRP 3K는 95.99~63.12%가 측정되었다.

3가지 재료 모두 2mm 두께까지 투과도는 90% 이상이었으며, 두께 3mm 이상부터 모든 재료가 90% 미만으로 측정되었다. 2mm 두께에서 투과도는 PMMA, CFRP 3K, PC 순이었지만 차이는 0.45%로 이내로 매우 작았다. 두께가 10mm에 가까울수록 투과도는 PC, PMMA, CFRP 3K 순이었다 <Table 1>.

1) 두께와 투과율의 상관관계 분석

두께의 증가와 각 재료의 투과도가 유의한 상관관계가 있는지 확인하기 위해 Pearson 상관분석을 실시하였다. 그 결과, 두께와 CFRP의 투과도 사이의 상관관계 r=-0.996, p<0.001

Table 1. Mean of radiolucencies of each material according to thickness

Thickness (mm)	None	PMMA	PC	CFRP 3K
0	68.45 ± 0.24	-	-	-
1	-	66.00 ± 0.55	65.04 ± 0.12	65.71 ± 0.59
2	-	62.45 ± 0.12	62.76 ± 0.48	62.62 ± 0.59
3	-	60.01 ± 0.55	59.65 ± 0.26	59.70 ± 0.87
4	-	57.59 ± 0.45	57.72 ± 0.61	56.75 ± 0.09
5	-	54.60 ± 0.01	55.71 ± 0.56	54.48 ± 0.28
6	-	52.65 ± 0.07	54.55 ± 0.31	52.78 ± 0.72
7	-	51.58 ± 0.39	51.92 ± 0.30	49.78 ± 0.18
8	-	48.81 ± 0.13	49.35 ± 0.16	47.37 ± 0.25
9	-	46.73 ± 0.26	47.86 ± 0.54	45.55 ± 0.07
10	-	45.36 ± 0.57	46.71 ± 0.20	43.21 ± 0.02

- 1) PMMA : poly methyl metha acrylate
- 2) PC : polycarbonate
- 3) CFRP : carbon fiber reinforced plastics

Table 2. Correlation Analysis of thickness and radiolucency of each material

	Thickness	PMMA	PC	CFRP
Thickness	1			
PMMA	-0.994**	1		
PC	-0.993**	0.995**	1	
CFRP	-0.996**	0.995**	0.995**	1

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

- 1) PMMA: poly methyl metha acrylate
- 2) PC: polycarbonate
- 3) CFRP: carbon fiber reinforced plastics

로 가장 높은 부(-)의 상관관을 보였다. 반대로, 두께와 PC의 투과도 사이의 상관관계 $r = -0.993$, $p < 0.001$ 로 가장 작은 부(-)의 상관관계를 가졌다. PMMA와 PC의 상관관계, PC와 CFRP의 상관관계, CFRP와 PMMA의 상관관계는 모두 $r = 0.995$, $p < 0.001$ 로 높은 정(+)의 상관관계를 가졌다 <Table 2>. 3가지 재료 모두 두께에 따른 투과도는 상관관계 수가 -1에 가까웠고, 재료에 따른 상관계수는 1에 가까워서 동일한 특성을 가지는 것으로 판단되었다.

2) 재료의 투과율의 Kruskal-Wallis 검정

각 두께에서의 투과율의 평균이 재료에 따라 유의한 차이가 있는지 확인하기 위해서 ANOVA의 비모수 검정법인 Kruskal-Wallis 검정을 이용하여 시행하였다. 그 결과, 1~4, 6, 7 mm 두께에서는 투과율의 평균이 재료에 따라 유의한 차이가 있음을 확인할 수 없었다. 그러나, 5, 8, 9, 10 mm 두께에서는 95% 신뢰구간에서 투과율의 평균이 재료에 따라 유의하게 차이를 보였다.

투과율의 평균이 재료에 따라 유의하게 차이가 있는 경우

에는 다중비교(pairwise comparison)를 통해, 어떤 재료의 투과도와 다른 재료의 투과도의 차이가 유의한지 확인하였다. 그 결과 5, 8, 9, 10 mm 두께에서 CFRP 3K의 투과도는 95% 신뢰구간에서 PMMA의 투과도는 유의한 차이를 보이지 않았지만, PC의 투과도와는 유의한 차이를 보이는 것을 확인하였다 <Table 3>.

2. 영상 평가

촬영 테이블에서 재료 유무에 따라 생성된 DICOM 영상을 PACS 프로그램에서 추출하여 ImageJ 프로그램으로 분석하였다. 재료가 없을 때 ROI pixel 정보 값은 1702.41, 투과율이 90% 이상이었던 2 mm PMMA는 1791.29, PC는 1836.64, CFRP 3K는 1786.76이었다 <Table 4>. 재료가 없을 때 ROI pixel 값을 background로 설정하여 측정된 CNR은 CNR_{PMMA} 0.85, CNR_{PC} 1.28, CNR_{CFRP} 0.80이었다. SNR은 SNR_{PMMA} 1.18, SNR_{PC} 1.79, SNR_{CFRP} 1.12이었다. CNR과 SNR 모두 PC, PMMA, CFRP 순으로 높게 나타났다 <Table 5>.

Table 3. Kruskal-Wallis Test of Radiolucency of each material

Thickness (mm)	Material	N	Mean ± SD	Kruskal-Wallis H	P-value
1	PMMA	3	66.01 ± 0.55	3,200	0,202
	PC	3	65.04 ± 0.12		
	CFRP 3K	3	65.41 ± 0.59		
2	PMMA	3	62.45 ± 0.13	0,267	0,875
	PC	3	62.77 ± 0.48		
	CFRP 3K	3	62.62 ± 0.60		
3	PMMA	3	60.01 ± 0.56	0,800	0,670
	PC	3	59.66 ± 0.26		
	CFRP 3K	3	59.71 ± 0.88		
4	PMMA	3	57.59 ± 0.46	4,863	0,088
	PC	3	57.72 ± 0.62		
	CFRP 3K	3	56.75 ± 0.09		
5	PMMA ^{b,c 1)}	3	54.60 ± 0.01	7,200*	0,027
	PC ^{a,b}	3	55.72 ± 0.57		
	CFRP 3K ^c	3	54.36 ± 0.16		
6	PMMA	3	52.66 ± 0.08	5,600	0,061
	PC	3	54.55 ± 0.31		
	CFRP 3K	3	52.78 ± 0.72		
7	PMMA ^{b,c}	3	51.58 ± 0.39	5,956	0,051
	PC ^{a,b}	3	51.92 ± 0.31		
	CFRP 3K ^c	3	49.79 ± 0.19		
8	PMMA ^{b,c}	3	48.81 ± 0.13	7,200*	0,027
	PC ^{a,b}	3	49.35 ± 0.16		
	CFRP 3K ^c	3	47.37 ± 0.26		
9	PMMA ^{b,c}	3	46.73 ± 0.26	7,200*	0,027
	PC ^{a,b}	3	47.87 ± 0.54		
	CFRP 3K ^c	3	45.56 ± 0.07		
10	PMMA ^{b,c}	3	45.36 ± 0.58	7,261*	0,027
	PC ^{a,b}	3	46.71 ± 0.21		
	CFRP 3K ^c	3	43.22 ± 0.02		

*p<0,05

1) 'a', 'b', 'c' stands for rank which is the result of pairwise comparison

2) PMMA: poly methyl metha acrylate

3) PC: polycarbonate

4) CFRP: carbon fiber reinforced plastics

Table 4. Pixel mean value in 2 mm thickness

Materials	Mean ± SD
None	1702,41 ± 73,23
PMMA	1791,29 ± 75,32
PC	1836,64 ± 74,90
CFRP 3K	1786,76 ± 75,37

1) PMMA: poly methyl metha acrylate

2) PC: polycarbonate

3) CFRP: carbon fiber reinforced plastics

Table 5. Comparison of CNR and SNR in 2 mm thickness

Materials	Contrast to Noise Ratio (CNR)	Signal to Noise Ratio (SNR)
PMMA	0.85	1.18
PC	1.28	1.79
CFRP 3K	0.80	1.12

- 1) PMMA: poly methyl metha acrylate
- 2) PC: polycarbonate
- 3) CFRP: carbon fiber reinforced plastics

Table 6. Kruskal-Wallis Test of ROI pixel of each material

Material	N	Mean ± SD	Kruskal-Wallis H	P-value
None ^{c 1)}	3	1702.41 ± 73.23	9.462*	0.024
PMMA ^{b,c}	3	1791.29 ± 75.32		
PC ^{a,b}	3	1836.64 ± 74.90		
CFRP 3K ^{b,c}	3	1786.76 ± 75.37		

*p<0.05

- 1) 'a', 'b', 'c' stands for rank which is the result of pairwise comparison
- 2) PMMA: poly methyl metha acrylate
- 3) PC: polycarbonate
- 4) CFRP: carbon fiber reinforced plastics

Table 7. Kruskal-Wallis Test of ROI pixel of each material

Material	N	Mean ± SD	Kruskal-Wallis H	P-value	
CNR	PMMA	3	0.85 ± 0.01	5.695	0.058
	PC	3	1.28 ± 0.06		
	CFRP 3K	3	0.80 ± 0.07		
SNR	PMMA	3	1.18 ± 0.01	5.647	0.059
	PC	3	1.79 ± 0.09		
	CFRP 3K	3	1.12 ± 0.09		

- 1) PMMA: poly methyl metha acrylate
- 2) PC: polycarbonate
- 3) CFRP: carbon fiber reinforced plastics

1) Kruskal-Wallis 검정

재료가 없을 때 생성된 영상과 2 mm 두께에서 생성된 영상의 ROI pixel 정보 값의 정도를 비교하고, 그 값을 토대로 재료의 차이에 따라 ROI pixel 정보 값이 유의한 차이를 보이는지 확인하기 위해 Kruskal-Wallis 검정을 시행하였다. 그 결과, 재료가 없을 때와 재료가 있을 때의 ROI pixel 값의 평균은 95% 신뢰구간에서 유의하게 차이가 있는 것으로 판단되었다.

사후분석으로 다중비교를 한 결과, PC를 사용했을 때의 영상 정보 값은 재료를 사용하지 않았을 때와 95% 유의수준에서 유의한 차이를 보였지만, PMMA와 CFRP 3K를 재료

로 이용했을 때의 영상 정보 값과는 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한, PMMA와 CFRP 3K의 영상 정보 값은 재료를 사용하지 않았을 때의 영상 정보 값과 유의한 차이를 보이지 않았다<Table 6>.

2) CNR과 SNR의 Kruskal-Wallis 검정

재료에 따른 CNR과 SNR의 차이가 유의한 차이가 있는지 확인하기 위해서 Kruskal Wallis 검정을 시행하였다. 그 결과, CNR과 SNR 모두 재료에 의한 차이는 유의하지 않은 것으로 판단되었다<Table 7>.

IV. 고 찰

질병관리청 조사에 따르면 진단용 의료방사선 검사의 증가로 피폭선량은 2016년 101,000 man·Sv에서 2019년 125,000 man·Sv로 연평균 약 7.6% 증가하였고, 의료방사선 검사별 건수는 2019년 일반 엑스선 촬영이 71.6%로 가장 높게 나타났다[9].

엑스선을 이용하는 검사에서 다양한 원인으로 재촬영이 발생하고 불필요한 반복 검사는 환자에게 방사선 피폭이 증가하는 원인이 된다. 엑스선 재촬영 원인분석에서 전체 촬영 건수의 7%가 환자의 자세 불량, 움직임 등으로 나타났다[1], 방사선 발생장치의 구조적 한계로 인한 방사선 피폭을 경감하고, 환자의 올바른 촬영 자세를 위한 보조기구의 사용은 재촬영을 감소시켜 피폭선량을 줄일 수 있다 [10,11]. 또한, 보조기구 사용으로 진단 또는 치료의 신속성과 촬영 자세를 일정하게 유지하여 생성된 의료영상의 재현성을 높이고 화질의 손상을 낮출 수 있다[12-14].

엑스선 촬영에서 환자 자세를 유지하기 위한 보조도구는 의료영상과 겹침으로 인해 artifact의 원인이 되기도 한다. 따라서 보조도구 사용 시 의료영상에 영향을 낮추기 위해 엑스선 투과성이 높고 두께가 얇으면서도 충분한 강도를 가지는 재료의 특성이 요구된다. CFRP는 다양한 분야에서 활용되고 있으며 PMMA, PC와 비교했을 때 비슷한 비중 (specific gravity)에서 높은 인장강도(tensile strength)와 굽힘강도(flexural strength)를 가진 특성과 방사선 투과도가 높아서 의료기 부품 시장에서 많이 활용되고 있다[15,16]. 대표적인 의료분야의 CFRP 재료는 높은 강도와 높은 투과율로 다양한 의료기 테이블 제작과[5] 재활 의료기 재활 분야에서 활용되고[17], 재료의 높은 안정성으로 생체조직으로 활용되고 있다[18].

지외규 등의 연구[19]에서 방사선 에너지가 큰 치료 분야의 보조도구로써 탄소 섬유는 PMMA보다 1%가량 투과도가 낮았지만 얇으면서 높은 경도로 고정기구로써의 재질로 적합하다고 하였다. 본 연구의 진단 엑스선 영역에서 90% 이상 투과했던 두께 2 mm에서 3가지 재료는 모두 유의한 차이가 없었다. 두께 2 mm의 영상평가에서 PC는 재료가 없을 때와 pixel 정보 값이 유의한 차이가 있었고, PMMA와 CFRP 3K는 재료가 없을 때와 유의한 차이가 없어서 기존의 PMMA를 대체하여 CFRP 3K를 사용할 수 있다.

홍동희 등의 연구[20]에서 28 kVp, 80 mAs의 유방 촬영 조건에서 Carbon은 기존 유방촬영 압박대 재질인 PC와 PMMA보다 10% 이상 높은 투과율을 나타냈다. 본 연구의 50 kVp, 10 mAs 촬영조건에서 CFRP 3K의 투과도는 5 mm

까지 PMMA, PC와 비교하여 1% 이내의 차이를 보였다. 따라서 Carbon 재질은 낮은 kVp와 높은 mAs에서 PMMA와 PC보다 높은 투과도를 가지고 일반 엑스선 촬영조건에서는 PMMA, PC와 유의한 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

Carbon은 PMMA, PC와 비교하여 비중은 약 1.5배이고 인장강도는 28배 이상, 굽힘강도는 16배 이상 높은 특성이 있다[20]. 따라서 세 가지 재료 모두 두께 2 mm에서 90% 이상 엑스선 투과율을 보였지만, PMMA와 PC 재료 2 mm의 두께 강도를 carbon으로 대체하면 약 0.2 mm 이하의 두께로 얇아져서 투과도는 더욱 높아진다. 마찬가지로 PMMA와 PC는 신체의 몸통과 같이 두껍고 무거운 체중을 지지하기 위해 10 mm 이상의 두께를 사용하면 엑스선 투과율은 45% 미만으로 작아져서 촬영조건을 높여야 하지만, carbon 재료는 2 mm 이내로 유지하더라도 PMMA나 PC의 10 mm 두께 강도를 대신하여 90% 이상의 투과율로 기존의 촬영조건을 유지할 수 있게 된다. 따라서 carbon 소재를 이용한 CFRP 3K 재료는 기존의 PMMA와 PC에 비교하여 얇은 두께에서도 높은 강도를 가지는 특성으로 진단영역에서의 보조도구로써의 적합성을 높다고 할 수 있다.

의료영상의 품질을 평가하는 매개변수로 CNR과 SNR이 클수록 정량적 평가는 높게 평가된다. 인접한 신호를 구분하는 능력인 CNR과 신호와 잡음의 차이를 나타내는 SNR은 높은 값일수록 영상의 background와 신호의 명확한 구분이 가능하다. 본 연구에서 두께 2 mm 보조도구의 재료를 촬영하여 얻은 영상을 평가했을 때 CNR과 SNR 모두 PC, PMMA, CFRP 3K 순으로 높게 나타났지만 3가지 재료에서 유의한 차이는 없었다. 투과율과 마찬가지로 두께 2 mm PMMA와 PC를 대신하여 16~28배 강도가 높은 carbon 소재의 CFRP 3K를 0.2 mm 이하로 사용하면 재료가 없을 때의 pixel 정보 값인 background와 가깝게 되어 CNR과 SNR은 낮아질 것으로 예상할 수 있다. 엑스선 촬영에서 인체를 투과한 정보는 의료영상으로 표현되지만, 보조도구를 투과하여 생성된 정보는 의료영상의 질을 떨어뜨리게 된다. 따라서 엑스선은 보조도구를 투과하여 측정된 CNR과 SNR 값이 낮을수록 의료영상에 미치는 영향이 작은 것으로 판단 할 수 있다.

엑스선 촬영에 사용되는 보조도구는 촬영 자세를 일정하게 유지하고 재현성을 좋게 하지만 환자의 의료영상정보에 영향을 주면 artifact의 원인이 된다. CFRP 3K 재료는 기존 PMMA와 PC와 비교하여 같은 두께에서 엑스선 투과도는 유의한 차이가 없지만 높은 강도를 가지는 재료 특성으로 인해 얇은 형태로 사용하여 엑스선 촬영 시 보조도구의 재료로써 유용하다고 여겨진다. 연구의 제한점으로는 실제

신체를 대상으로 촬영 후 생성된 영상을 평가하지 않았기 때문에 촬영 부위, 촬영 방법, 환자 자세, 두께 등의 다양한 변수가 있으므로 CFRP 3K를 활용한 다양한 형태의 보조도구를 사용하여 실제 영상평가에 대한 추가연구가 필요하다.

V. 결론

엑스선 촬영 시 환자의 촬영 자세를 고정하기 위해 보조도구를 사용하는 것은 재촬영을 줄여주어 환자에게 불필요한 피폭을 감소시키고 의료영상의 재현성을 높여주는 장점이 있다. 보조도구의 재료로써 PMMA, PC, CFRP 3K 재료의 엑스선 투과도와 획득된 영상의 CNR과 SNR을 비교한 결과 CFRP 3K 재료를 2 mm 이내로 사용하면 90% 이상의 높은 엑스선 투과도와 획득된 영상에 영향을 최소로 유지하여 보조도구의 재질로써의 유용하게 사용될 수 있다.

REFERENCES

- [1] Dong KR, Chung WK, Kim CB, Park YS, Kim HS, Im IC, et al. The causes analysis for the number of patients waiting in general X-ray room(Focus on utilization of Quality Improvement (QI)). *Journal of Radiological Science and Technology*. 2008;31(4):337-46.
- [2] Korea Health Personnel Licensing Examination Institute. A study on policy proposals for training and producing excellent radiologists [Internet]. KDCA; 2017 [cited 2023 Jan 30] Available from: https://rnd.kuhsiwon.or.kr/last/selectLastDetail.do?MENU_ID=C-01-01&reportno=2017082802&sYear=&sJssfc_code=&sResearchindexcd=&researcherid=%EC%9E%84%EC%B0%BD%EC%84%A0&sRsrchtasknm=&PAGE_NUM=1&PER_PAGE=10&IS_PAGE_NEW_SEARCH=Y&TOTAL_PAGE=2
- [3] Korean Radiological Technologists Association. Code of ethics for radiogist [Internet]. KRTA [cited 2023 Jan 30] Available from: <https://krta.or.kr/krta/introduce/sub03.php>
- [4] Yang MS, Kim JS, Lee SY, Kwon HC. Dose assessment according to application of carbon fabric blanket during radiation therapy of the spine metastasis cancer. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2019;42(1):61-6.
- [5] Lee SJ, Kim HD, Lee JH, Hong SH, Kim HK. A study on the table design technology of medical equipment through the analysis of X-ray transmission rate for the each thickness of CFRP. *Korean Society for Precision Engineering*. 2013;2013(10):887-8.
- [6] Lee SH, Kim HS, Kang SM. A study on design for animal X-ray detector using CFRP CNT panel. *Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology*. 2020;30(6):264-70.
- [7] Korean Agency for Technology and Standards. Testing method of lead equivalent for X-ray protective devices [Internet]. KSSN; 2017 [cited 2023 Jan 30] Available from: <https://e-ks.kr/stream-docs/view/sd;streamdocsId=72059279667059509>
- [8] Kim KW, Min JW, Lyu KY, Kim JM, Lee JA, Jung JH, et al. Comparison study on CNR and SNR of thoracic spine lateral radiography. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2013;36(4):273-80.
- [9] Korea Disease Control and Prevention Agency. Announcement of the number of national medical radiation cases and exposure doses for diagnosis from 2016 to 2019 [Internet]. KDCA; 2021 [cited 2023 Jan 12] Available from: https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20501010000&bid=0015&act=view&list_no=712651
- [10] Rhee DB, Seo SJ, Choi HY, Ko CW, Kim JK. Development of children's x-ray imaging assist device. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2020;43(4):243-9.
- [11] Choi JH, Kim DJ, Goo BS, Park SH, Dae CM, Min KH. Evaluation of effectiveness shoulder supero-inferior axial examination applying assist device. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2017; 2017(1):75-82.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Yang MS, Kim JS, Lee SY, Kwon HC. Dose assessment according to application of carbon fabric blanket during radiation therapy of the spine metastasis cancer. Journal of Radiological Science and Technology. 2019;42(1):61-6.
- [15] Korea Chemical Fibers Association. Applications of Carbon Fiber Composites (CFRP) in the medical industry [Internet]. KCFA; 2021 [cited 2023 Jan 12] Available from: http://www.kcfa.or.kr/bbs/board.php?bo_table=info&wr_id=8385
- [16] Small and Medium Business Administration. Development of carbon fiber composite foam core sandwich table for X-ray medical [Internet]. SMB A; 2014 [cited 2023 Jan 30] Available from: <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO201500006004&dbt=TRKO&rn=>
- [17] Kwon HD. A study on the development of stationary and mobile rehabilitation with supporting hybrid type Carbon Fiber Reinforced Plastic(CFRP) to lower limb rehabilitation robot system [dissertation]. Andong National University; 2019.
- [18] Kang KT, Chun HJ, Kim HJ, Yeom JS, Park KM, Hwang IH, et al. Finite element analysis of instrumented posterior lumbar interbody fusion cages for reducing stress shielding effects: Comparison of the CFRP cage and titanium cage. Journal of the Korean Society for Composite Materials. 2012; 25(4):98-104.
- [19] Chie EK, Park JP, Huh SN, Hong SM, Park SW, Kim IA, et al. Carbon fiber as material for radiation fixation on device: A comparative study with acrylic. Journal of Radiation Protection and Research. 2005;30(1):1-7.
- [20] Hong DH, Jung HR. A study on compression paddle materials to reduce radiation exposure dose during mammography; PC and PMMA and carbon. Journal of Radiological Science and Technology. 2015; 38(2):81-7.

구분	성명	소속	직위
제1저자	문준호	건국대학교	건국대학교(대학졸업)
교신저자	구본열	전주비전대학교	조교수