

A Study on the Performance of 3D Printing Metal Filters and Shields in C-arm Neuroblocking

Myeong-Seong Yoon*

MIP (Medical Imaging Process) Lab

Received: November 04, 2024. Revised: November 29, 2024. Accepted: November 30, 2024.

ABSTRACT

This study developed a metal filter and shielding device using FDM-based 3D printing to reduce the radiation exposure of the operator to the reproductive organs during C-arm-guided nerve blocking. Three filters made of copper (Cu), aluminum (Al), and nickel (Ni) were combined with a copper filament housing to create a composite shielding device. When the dose measurements were compared with and without the filter at 60, 80, and 100 kVp, Filter A 45%, Filter B 63%, and Filter C showed a high dose reduction rate of 74%. Image quality was evaluated quantitatively Contrast to Noise Ratio (CNR), Signal to Noise Ratio (SNR) and qualitatively (Likert scale), and although there was a slight decrease due to the use of the filter, the clinical impact was minimal. The developed filter effectively reduces operator radiation exposure during C-arm-guided nerve blocking, and the C filter shows high practicality and dose reduction ability. The implementation of these filters is expected to contribute to enhancing the operator's safety and minimizing radiation exposure.

Keywords: Filters, 3D printers, Filaments, Combined shields, Image quality evaluation

I. INTRODUCTION

현대 의학에서 척추 치료의 발전과 함께 C-arm 장비를 활용한 신경차단술의 중요성이 부각되고 있다. C-arm은 시술 중 실시간으로 방사선 영상을 통해 시술자가 정확한 위치에 약물을 주입할 수 있도록 실시간 방사선 영상을 제공하여 척추 신경 부위에 정확한 약물 주입을 가능하게 한다. 이를 통해 환자의 통증을 신속하게 완화하고, 시술의 정밀도를 높여 치료 성공률을 증가시키는 데 기여하고 있다^[1]. 건강보험심사평가원에서 보고한 자료에 따르면 2019년에 C-arm 장비의 보급 수는 5,778대였지만, 5년이 지난 현재 2024년에는 8,175대로 설치수가 증가하고 있으나 부작용에 대한 보고가 점차 증가하고 있어, 이에 관한 연구가 이루어지고 있는 실정이다^[2,3]. 신경차단술은 시술자가 환자의 뼈 경계를 관찰하며 약물을 주입하는 시술이므로 낮은

선량으로 시술이 가능하다. 하지만 현재 사용되는 C-arm 장비는 신경차단술 외에도 다양한 시술에 적용 가능한 다목적 장비로서, 일반적으로 C-arm을 사용하는 다른 시술들은 짧은 시간 동안 방사선을 조사하지만, 신경차단술은 반복적이고 지속적으로 방사선을 조사해야 하므로 필요한 방사선 선량이 상대적으로 높다. 이는 시술자가 시술 중 실시간으로 환자의 상태를 확인하고, 정확한 위치를 찾아내기 위해 지속적으로 촬영해야 하기 때문이다. 따라서 생식선과 같은 부위에 불필요한 1차선 피폭의 위험이 존재한다. 방사선 노출은 장기적으로 건강에 심각한 부정적인 영향을 미칠 수 있어, 세포 손상, 유전자 변형, 그리고 암 발생의 위험을 증가시킬 수 있는 요인으로 작용할 수 있다^[4]. 특히 의료진은 장기간에 걸쳐 반복적으로 방사선에 노출될 가능성이 크기 때문에 이러한 위험은 더욱 심각하게 고려되어야 한다. 예를 들어, C-arm 장비의 X선

* Corresponding Author: Myeong-Seong Yoon E-mail: yoon5690@naver.com

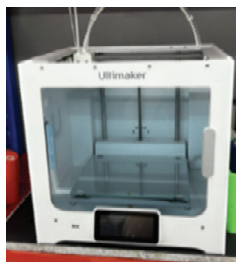
Tel: +82-8765-0424

조사 경로 안에 손이 노출되면, 분당 40 mSv의 선량이 발생하며, 이런 경우 12분 30초 만에 연간 허용량인 500 mSv에 도달하게 되는 아주 높은 수치이다^[5]. 이러한 문제는 의료 현장에서 방사선 안전성을 확보하는 데 있어 해결해야 할 과제로 남아 있다. 따라서, 방사선 피폭을 최소화하기 위한 다양한 방안이 필요하다^[6]. 3D 프린팅 기술은 복잡한 형태의 구조물을 정밀하게 제작할 수 있는 능력을 지니고 있어, 시술 중 특정 부위를 효과적으로 보호할 수 있는 차폐체 설계에 적합하다. 3D 프린팅은 다양한 형태로 맞춤형 소량 생산이 가능하며, 이러한 문제들을 해결하기 위해 3D 프린팅 기술을 적용하면 효과적인 해결책이 될 수 있을 것으로 사료된다.

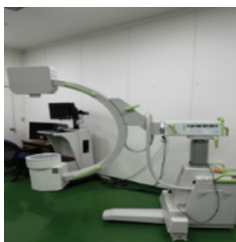
또한, 이러한 기술은 생산 비용을 절감하고, 제작 시간을 단축할 수 있는 장점도 있다. 이에 따라, 3D 프린팅 기술의 다양한 응용 가능성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[7-9]. 이에 본 연구에서는 맞춤형 제작이 용이한 3D 프린팅 기술을 활용하여, 신경차단술 시술 시 발생하는 1차선에 대해 생식선을 방어할 수 있는 차폐체와 금속 필터를 제작하고 그에 따른 필터 성능의 유용성을 평가하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험재료 및 장비



(a) 3D printer for shielding production



(b) c-arm equipment



(C) Survey dosimeter

Fig. 1. Apparatus used in this study.

1.1. 3D Printer

본 연구에서는 필터를 제작하기 위해 모델링 프로그램인 Rhino program(Rhinoceros, McNeel & Associates, USA)를 이용하였으며, Fig. 1 - (a)와 같이 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 Ultimaker 프린터(S3, Ultimaker, Netherland)를 사용하여 출력하였다.

1.2. 선량 저감화 필터

1차선을 줄이기 위한 선량 저감화 필터는 구리 (Copper; Cu), 알루미늄 (Aluminum; Al), 니켈 (Nickel; Ni) 세 개의 금속 파우더의 비율을 각각 다른 비율로 배합하여 3가지의 필터를 Type 별로 상이하게 설정하였다. 필터 A는 40 : 35 : 25%, 필터 B는 45 : 30 : 25%, 필터 C는 50 : 40 : 10%로 각각 다르게 배합하여 X-ray Tube에서 발생하는 1차선을 감약시켜 줄 수 있는 3개의 금속 필터를 Fig. 2와 같이 제작하였다. 각각의 필터는 X-ray Tube 모양에 맞추어 원형으로 제작하였으며 지름 : 9.2 cm, 두께 : 1.3 cm의 같은 크기로 세 필터의 구분을 위해 색을 다르게 하였다.

1.3 선량 측정 및 영상 품질 평가를 위한 실험 장비

필터의 성능 및 영상 품질을 평가하기 위해 Fig. 1 - (b) 진단용 방사선 발생 장치의 안전관리에 관한 규칙의 검사기준에 적합한 장비로 Under Tube Type인 C-arm (Anyview - 500S, Eecotron, Korea) 장비를 사용하였다. 선량 측정을 위해서 Fig. 1 - (c)의 조사선량계 (Cobia Smart R/F, RTI Electronics, Sweden)를 사용하여 조사선량을 측정하였다.

2. 실험 방법

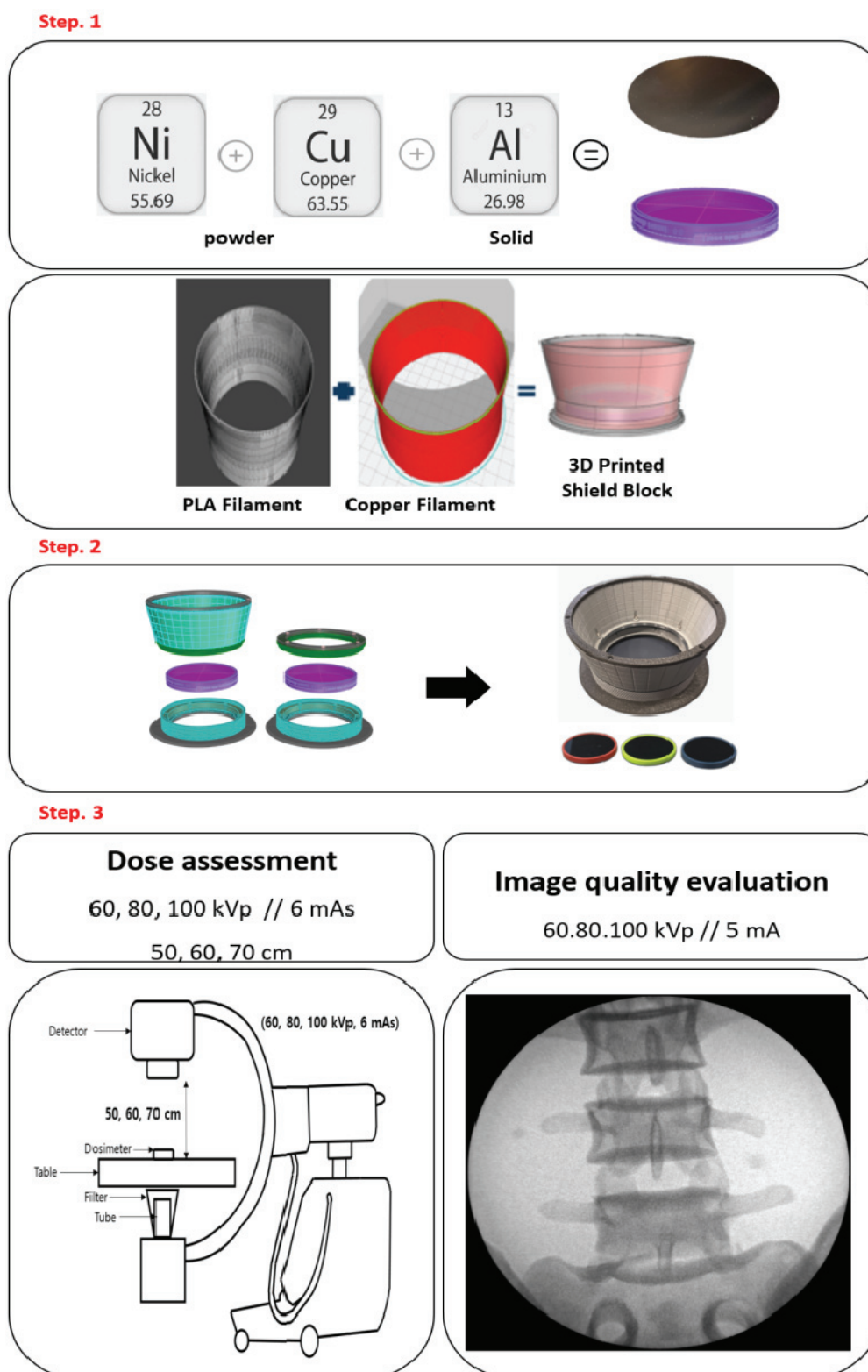


Fig. 2. Flowchart of the process in the study.

3. 필터 평가를 위한 결합형 차폐체 제작

필터를 통과한 산란선을 차폐시킬 수 있도록 Copper Filament를 사용한 원통 모양의 하우징을 Fig. 3과 같이 출력하였다. 출력된 하우징과 필터를 조립하여 C-arm 장비에 적용할 수 있는 결합형 차폐체를 완성하였다.

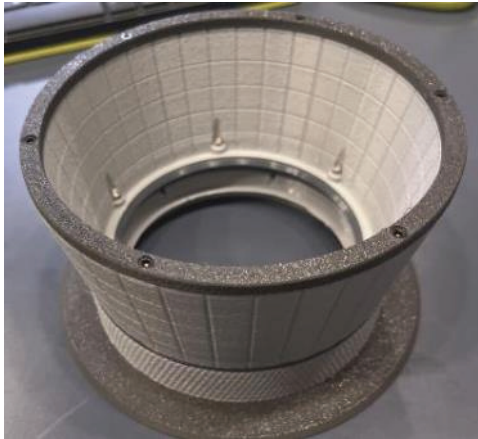


Fig. 3. Output of housing produced through 3D printing.

4. 필터 성능 평가를 위한 선량 평가 방법

C-arm 튜브에서 제작한 필터를 사용하였을 때 조사되는 선량의 감소 효과를 확인하기 위해 필터를 사용하지 않았을 때와 A, B, C 각각의 필터를 사용하였을 때의 결과를 비교하였다. 촬영 시 Table과 Detector 간의 거리를 50 cm, 60 cm, 70 cm로 변경하여 실시하였다. 촬영 조건은 6 mAs로 고정하였고, 관전압은 60, 80, 100 kVp로 세 가지 관전압을 사용하여 Table 1과 같이 도출하였다. 본 실험은 선량계를 Table 위에 위치시켜 각 측정 조건마다 선량을 10회 씩 측정 후 평균값을 산출하여 조사선량 값을 구하였다.

Table 1. Experimental variables

Parameter	Value
Tube voltage [kVp]	60, 80, 100
Tube current [mAs]	6
Table - Detector Distance [cm]	50, 60, 70

5. 영상 품질의 정성적 및 정량적 평가 방법

5.1. 영상 품질의 정성적 평가 방법

영상의 정성적 평가를 위해 영상의학과에서 3년 이상 근무한 현역 방사선사 5명에게 블라인드 테스트를 진행하였다. 60, 80, 100 kVp에서 필터를 사용하지 않은 영상과 A, B, C 필터를 사용하여 촬영한 12장의 영상에 리커트 척도 (Likert scale)를 이용해 매우 나쁘다에서 매우 좋다까지 5단계로 나누어 평가하였고, 각 항목을 1~5점으로 점수를 부여해 각 영상의 점수들을 합산하여 평균값을 도출하였다.

5.2. 영상 품질의 정량적 평가 방법

필터의 유무에 따른 영상의 품질 평가를 위하여 필터를 사용하지 않았을 때 촬영한 영상과 각각의 A,B,C 필터를 사용하여 촬영한 영상을 정량적으로 비교하고자 하였다^[11-13]. 촬영조건으로 관전압은 60, 80, 100 kVp로 변경하며 촬영하였고 Table과 Detector 사이의 거리를 50 cm로 고정, 관전류는 5 mA로 고정하고 Phantom을 사용하여 총 12장의 영상을 촬영하였다. 정량적으로 영상의 품질을 평가하기 위해 Image J program (National institutes of health, kensington, USA)을 이용하여 12장의 영상을 L-spine과 Background 부위에서 88 mm × 88 mm의 ROI를 설정하여 신호 대 잡음비(SNR; Signal to Noise Ratio)의 경우 Eq (1)과 같은 공식으로 구하였으며, 대조도 대 잡음비(CNR; Contrast to Noise Ratio)의 경우에는 Eq (2)와 같은 공식을 사용하였다.

$$SNR = \frac{Signal_{Mean}}{Background_{Standard Deviation}} \quad (1)$$

$$CNR = \frac{|Signal_{Mean} - Background_{Mean}|}{Background_{Standard Deviation}} \quad (2)$$

III. RESULT

1. 선량 비교 평가

1.1. Table과 Detector 간의 거리가 50 cm 일 때 선량 감소 평가 (60, 80, 100 kVp, 6 mAs 고정)

C-arm 장비에서의 거리가 50 cm 일 때의 선량 및 선량 감쇠율 결과는 Table 2와 같다, 60 kVp에서 필터가 없을 때 25.9 mR, A filter는 13.01로 49.77%, B filter는 7.06 mR로 72.75%, C filter는 4.94 mR로 80.93%의 선량 감쇠율을 확인할 수 있었다. 80 kVp에서는 필터가 없을 때 53.66 mR, A filter는 30.17 mR로 43.78%, B filter는 19.26 mR로 64.11%, C filter는 15.28 mR로 71.53%의 선량 감쇠율을 확인할 수 있었고, 100 kVp에서는 필터가 없을 때 97.33 mR, A filter는 45.91 mR로 52.84%, B filter는 31.25 mR로 67.9%, C filter 26.29 mR로 72.99%의 선량 감쇠율을 Fig. 4 - (a)를 통해 확인할 수 있었다.

1.2. Table과 Detector 간의 거리가 60 cm 일 때 선량 감소 평가 (60, 80, 100 kVp, 6 mAs 고정)

Carm 장비에서의 거리가 60 cm 일 때의 선량 및 선량 감쇠율 결과는 Table 2와 같다, 60 kVp에서 필터가 없을 때 43.89 mR, A filter는 22.27 mR로 49.26%, B filter는 12.11 mR로 72.41%, C filter는 8.65 mR로 80.3%의 선량 감쇠율을 확인할 수 있었고, 80 kVp에서 필터가 없을 때 90.29 mR, A filter는 51.12 mR로 43.39%, B filter는 32.85 mR로 63.61%, C filter는 26.56 mR로 70.6%의 선량 감쇠율을 확인할 수 있었다. 100 kVp에서 필터가 없을 때 131.4 mR, A filter는 77.97 mR로 40.67%, B filter는 53.24 mR 59.49%, C filter는 44.44 mR로 66.18%를 Fig. 4 - (b)와 같이 확인할 수 있었다.

1.3. Table과 Detector 간의 거리가 70 cm 일 때 선량 감소 평가 (60, 80, 100 kVp, 6 mAs 고정)

C-arm 장비에서의 거리가 70 cm 일 때의 선량 및 선량 감쇠율 결과는 Table 2와 같다, 60 kVp에서 필터가 없을 때 69.29 mR, A filter는 35.93 mR로

48.14%, B filter는 19.34 mR로 72.08%, C filter는 13.44 mR로 80.6%의 선량 감쇠율을 확인할 수 있었다. 80 kVp에서 필터가 없을 때 146.5 mR, A filter는 83.01 mR로 43.33%, B filter는 53.09 mR로 63.76%, C filter는 41.48 mR로 71.68%의 선량 감쇠율을 확인할 수 있었다. 100 kVp에서 필터가 없을 때 214.5 mR, A filter는 127.4 mR로 40.6%, B filter는 86.26 mR로 32.29%, C filter는 71.03 mR로 66.88%의 선량 감쇠율을 Fig. 4 - (c)와 같이 확인할 수 있었다.

2. 영상 품질의 정량적 및 정성적 평가

2.1. 영상 품질의 정성적 평가

영상의학과 경력 3년 이상 근무한 현역 방사선사 5명에게 Table 3의 지문을 통해 블라인드 테스트를 하여 12장의 영상의 평균 점수를 책정한 결과는 Table 4와 같다. 필터를 사용하지 않은 영상은 각 관전압 별로 평균 4.2, 4.4, 4.4점으로 총 평균 4.33점, A필터를 사용한 영상은 각 관전압 별로 각각 평균 3.4, 4, 4점으로 총 평균 3.8점, B 필터를 사용한 영상은 각 관전압 별로 평균 3.6, 4, 4점으로 총 평균 3.86점, C 필터를 사용한 영상은 각 관전압 별로 평균 3.6, 4, 4점으로 총 평균은 3.86점으로 평가되었다.

2.2. 영상 품질의 정량적 평가

정량적 평가를 위해 A, B, C 필터를 사용하였을 때 영상의 SNR과 CNR값을 각각 구하여 필터를 사용하지 않았을 때 영상의 SNR과 CNR값을 Table 5와 같이 비교하였다. 필터를 사용하였을 때의 SNR 값은 60 kVp에서 필터를 사용하지 않았을 때의 값보다 평균 300%정도 감소하였지만, 80, 100 kVp로 관전압이 증가할수록 평균 150% 정도 값이 커지는 것을 관찰하였다. 필터를 사용하였을 때의 CNR값은 60, 80, 100 kVp에서 평균적으로 필터를 사용하였을 때 대비 $\pm 30\%$ 값 정도로 근소한 차이를 보였다.

Table 2. Results for dose and shielding rate for each variable

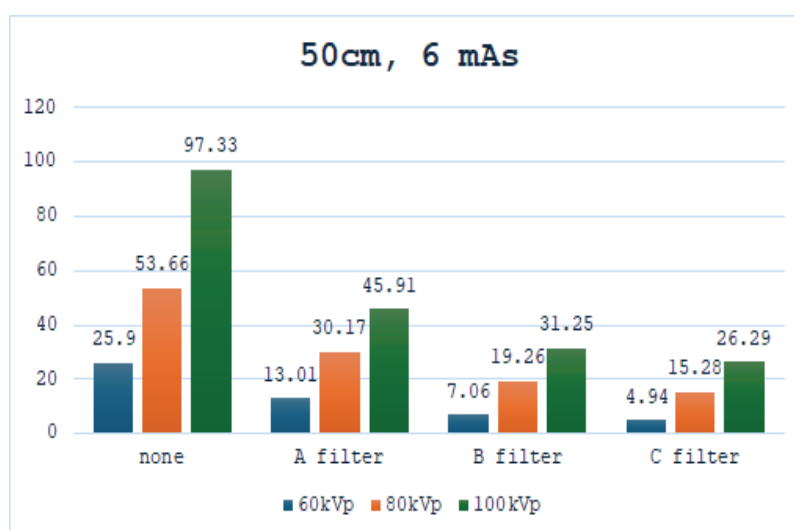
C-arm									
cm	kVp	mAs	None	A filter		B filter		C filter	
			Dose [mR]	Dose [mR]	shielding rate [%]	Dose [mR]	shielding rate [%]	Dose [mR]	shielding rate [%]
50 cm	60	6	25.91	13.01	49.77	7.06	72.75	4.94	80.93
	80	6	53.66	30.17	43.78	19.26	64.11	15.28	71.53
	100	6	97.33	45.91	52.84	31.25	67.94	26.29	72.99
60 cm	60	6	43.89	22.27	49.26	12.11	72.41	8.65	80.36
	80	6	90.29	51.12	43.39	32.85	63.61	26.56	70.68
	100	6	131.41	77.97	40.67	53.24	59.49	44.44	66.18
70 cm	60	6	69.29	35.93	48.14	19.34	72.08	13.44	80.62
	80	6	146.51	83.01	43.33	53.09	63.76	41.48	71.68
	100	6	214.53	127.4	40.62	86.26	32.29	71.03	66.88

Table 3. Likert scale results of patient umage cases evaluation items

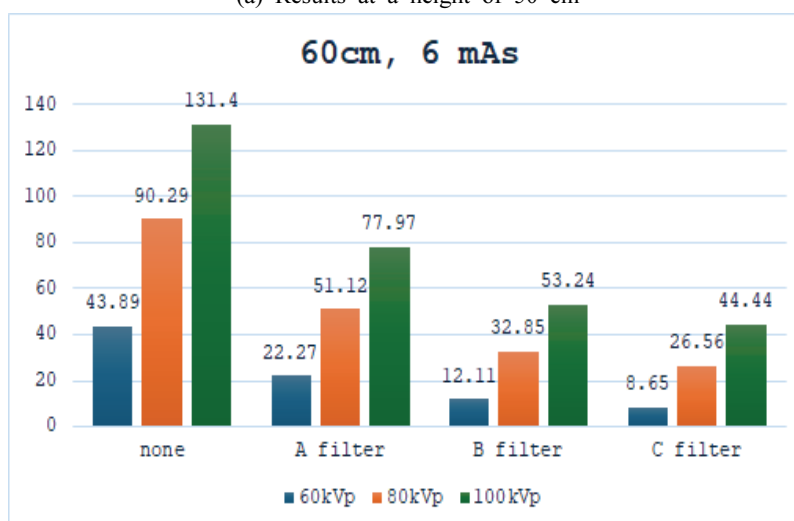
Q	Evaluation Item		score				
	Is this image useful for diagnostic evaluation?		Very bad	Bad	Moderate	Good	Very good
1	60 kVp, None filter		①	②	③	④	⑤
2	80 kVp, None filter		①	②	③	④	⑤
3	100 kVp, None filter		①	②	③	④	⑤
4	60 kVp, A filter		①	②	③	④	⑤
5	80 kVp, A filter		①	②	③	④	⑤
6	100 kVp, A filter		①	②	③	④	⑤
7	60 kVp, B filter		①	②	③	④	⑤
8	80 kVp, B filter		①	②	③	④	⑤
9	100 kVp, B filter		①	②	③	④	⑤
10	60 kVp, C filter		①	②	③	④	⑤
11	80 kVp, C filter		①	②	③	④	⑤
12	100 kVp, C filter		①	②	③	④	⑤

Table 4. Mean value of images by condition

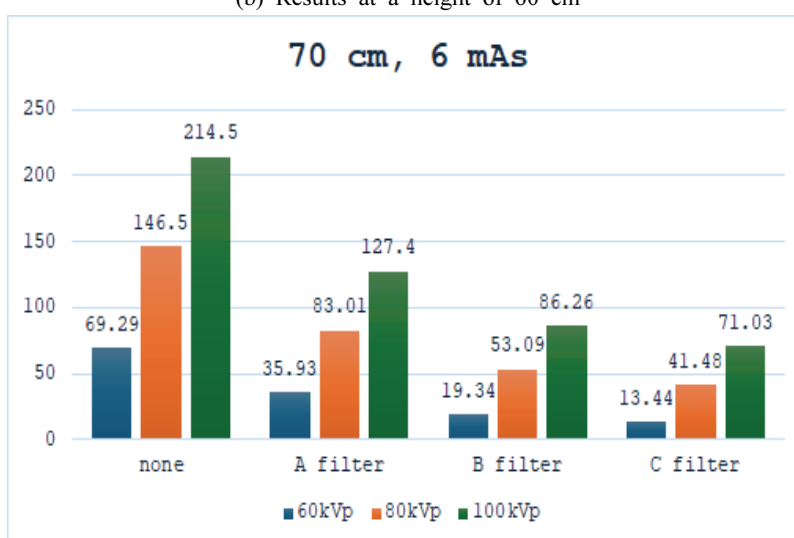
Filter	kVp			Mean
	60	80	100	
none	4.2	4.4	4.4	4.33
A	3.4	4.0	4.0	3.80
B	3.6	4.0	4.0	3.86
C	3.6	4.0	4.0	3.86



(a) Results at a height of 50 cm



(b) Results at a height of 60 cm



(c) Results at a height of 70 cm

Fig. 4. Results of graph for shielding rate according to the type of lens in the C-arm.

Table 5. SNR and CNR values for each classification

kVp	classification	Signal Mean	Signal Std.Deviation	SNR / $\pm$ %	CNR / $\pm$ %
		Background Mean	Background Std.Deviation		
60	None filter	174.734	15.215	15.89	- 6.11
		241.995	10.994		
	A filter	96.020	22.642	4.58 / - 346%	- 4.70 / + 130%
		194.597	20.944		
	B filter	104.527	19.618	5.79 / - 274%	- 5.64 / + 108%
		206.238	18.030		
	C filter	94.433	19.064	5.81 / - 273%	- 5.55 / + 110%
		184.617	16.249		
	None filter	90.696	19.519	5.32	-5.24
		180.061	17.032		
80	A filter	148.797	17.164	12.38 / + 232%	- 6.61 / + 126%
		228.361	12.019		
	B filter	152.973	17.872	11.19 / + 210%	- 5.78 / - 110%
		231.961	13.660		
	C filter	152.790	17.665	11.05 / + 207%	- 6.06 / - 115%
		236.639	13.820		
100	None filter	154.841	17.808	11.09	-5.89
		237.078	13.962		
	A filter	170.624	15.752	14.83 / + 133%	- 6.84 / - 116%
		243.640	11.502		
	B filter	169.772	15.605	14.71 / + 132%	- 6.12 / - 103%
		240.420	11.537		
	C filter	169.523	15.670	13.57 / + 122%	- 5.38 / + 109%
		236.846	12.492		

IV. DISCUSSION

X선이 연속적으로 조사되는 튜브 앞에서 일정시간 동안 이루어지는 신경차단술은 시술자에게 지속적인 방사선 노출로 인해 장해를 입힐 수 있다. 이에 대한 실제 예시로는 2014년 척주 주사 요법을 한 달에 평균 100회 이상씩 17년간 시행한 경력이 있는 정형외과 의사의 수부가 방사선 피폭에 의해 피사, 통증, 염증이 발생하여 피사부위의 절제술 시행 후 피관 이식술을 시행한 보고가 발생했다^[15]. 이러한 문제들을 해결하기 위해 많은 연구들이 진행 중에 있다^[16]. 선행 연구에 따르면, Copper Filament는 방사선 차단 효과적 대안으로 제시되었다^[17]. 기존 연구들은 단일 금속 재료를 활용한 차폐체에 집중했던 반면, 본 연구에서는 3D 프린터

를 사용하여 결합형 차폐체를 제작하고, Cu, Al, Ni 각기 다른 금속파우더의 배합을 다르게 한 세 가지의 서로 다른 필터와 Copper Filament를 사용한 하우징을 출력하여 결합형 차폐체를 완성시켰고, 각 필터에 대한 선량감쇠율 측정과 영상품질 평가를 진행하였다. 선량 측정에서는 Table과 Detector 간의 거리를 3단계(50, 60, 70 cm)로, 관전압을 3단계(60, 80, 100 kvp)로 각 조건마다 10 회씩 선량을 측정하여 낸 평균치의 선량값을 사용하여, 각 거리와 관전압에 따른 선량 결과 및 각 필터의 차폐 효율을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과 결합형 차폐체를 적용하였을 때, None 상태일 때에 비해 A 필터에서는 Table과 Detector 사이 거리가 50 cm 일 때 평균 49.8 %, 60 cm 일 때 평균 44.44 %, 70 cm일 때 평균 44 %정도 선량이 감쇠하였고, B 필터에서

는 Table과 Detector 사이 거리가 50 cm일 때 평균 68 %, 60 cm일 때 평균 65.1 %, 70 cm일 때 평균 56 % 정도 선량이 감쇠하였다. C 필터에서는 Table과 Detector 사이 거리가 50 cm 일 때 평균 75.15 %, 60 cm일 때 평균 72.36 %, 70 cm일 때 평균 73 % 정도 선량이 감쇠됨을 확인하였다. 영상 품질 평가는 정량적, 정성적 평가를 진행하였으며, 정량적 평가에서는 필터를 사용한 영상의 SNR 계산에서 A,B,C 필터 모두, 필터를 사용하지 않았을 때의 값보다 60 kVp의 관전압에서는 평균 300% 감소하는 현상이 발생하였다. 하지만 80, 100 kVp로 관전압이 증가 할수록 평균 150% 정도 값이 증가하여, A, B, C 필터 모두 관전압이 높을수록 비슷한 SNR값을 보인다는 것을 확인하였다. CNR 계산에서는 60, 80, 100 kVp 모두 평균적으로 필터를 사용하지 않았을 때 대비 $\pm 30\%$ 값 정도로 근소한 차이를 보였다. 따라서 정량적 평가 시, 선량 감쇠율에 비해 필터를 사용한 영상의 정량적 수치는 필터를 사용하지 않은 상태일 때의 영상에 비해 크게 변화되지 않았다. 정성적 평가에서는, 리커트 척도를 이용하여 임상에서 있는 영상의학과 방사선사 5명의 설문 결과에서 필터를 사용하지 않은 상태일 때 각 관전압 별 총 평균은 4.33점이었지만 A필터에서의 각 관전압 별 총 평균은 3.8점, B필터에서의 각 관전압 별 총 평균은 3.86점, C필터에서의 관전압 별 총 평균은 3.86점으로 A, B, C 필터 중 B, C 필터가 가장 근접한 평균값을 보였으며, 감소값이 크지 않아 기술 시에는 지장이 없을 것으로 판단된다. 본 연구에서 제작 된 필터 중 가장 선량 감쇠율이 높고 영상 품질평가가 우수한 C 필터는 임상에서 기술자의 불필요한 피폭선량을 줄이기 위한 활용가치가 높을 것으로 사료된다. 본 연구의 제한점으로는 첫째, 연구에 사용된 선량계는 조사 선량계로, 조사 선량계의 특성상 산란선을 측정하기에 어려워 산란선 차폐율을 측정하기에 어려움이 있었다. 둘째, 기술자 입장에서 높이를 고려하지 못하여 차폐체가 기술자의 어느 신체 부위에 대해 가장 효과적 인지 확인하는 데에 어려움이 있었다. 셋째, 영상 품질 평가를 위한 정성적 평가에서는 실제 환자의 신체가 아닌 Phantom으로 실험을 진행하여 실제 환자의 신체적 특성과 두께 정보에 대한 선량 및 화

질 평가는 이루어지지 않았다. 넷째 방사선의 종류에 따라 필터의 성능이 달라질 수 있다. 핵의학과 같은 다양한 검사 방법을 통해 각 방사선 유형에 최적화된 필터의 성능을 평가하고 비교하는 연구가 필요하다. 추후 연구에는 산란선 차폐율을 측정할 수 있는 선량계를 이용하여 수직으로 선량을 측정하고, 제작된 결합형 차폐체를 사용하였을 때 기술자의 신체부위에 따른 선량 감소 연구가 필요할 것으로 사료된다. 이와 관련하여, 영상 품질과 선량 감소 간의 trade-off는 임상적 의사결정에서 중요한 요소이다. 선량을 줄이는 것은 환자의 방사선 노출을 감소시키지만, 이는 영상 품질 저하로 이어질 수 있다. 본 연구에서도 필터를 사용한 경우 SNR이 감소하는 경향을 보였으나, 관전압이 증가함에 따라 SNR이 다시 증가하는 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 선량 감소가 영상 품질에 미치는 영향을 고려해야 함을 시사한다. 따라서, 필터의 사용이 영상 품질에 미치는 영향을 최소화하면서도 방사선 노출을 줄일 수 있는 방법을 지속적으로 연구하는 것이 중요하다. 또한 다양한 조건에서의 물리적 손상 및 화학적 변화에 대한 저항력을 평가하는 것이 중요하다. 향후 연구에서는 필터의 재질과 구조가 장기간의 사용에 적합한지를 검토하는 연구가 진행되어야 할 것이다. 다양한 의료 기관에서는 장비의 종류, 운영 방식, 환자의 신체적 특성 등이 상이하기 때문에 3D 프린팅 기술을 적용하면 필터를 커스터마이징하여 특정 의료 장비에 맞춤형으로 제작할 수 있어 필터의 일반화 가능성을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 위와 같은 제한점에도 불구하고 차폐체를 사용하였을 때 선량은 높은 수치로 줄어드나, 영상을 진단하기에 큰 영향을 주지 않는다는 점에서 본 연구의 의의를 둘 수 있다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 C-arm 장비의 X-ray 튜브에 결합하여 사용할 수 있는 필터와 하우징을 3D 프린팅 기술로 제작하여 결합형 차폐체를 완성하였다. 제작된 차폐체는 선량 평가에서 70% 이상의 높은 선량 감소율을 보였고, 영상 품질 평가를 위해 실시한 정량적, 정성적 평가 결과, SNR, CNR 값은 저

하되었으나 낮은 선량으로도 영상 구성이 가능한 신경차단술에는 영향을 미치지 않을 수준이다. 따라서 본 연구에서 제작한 필터 중 가장 우수하다고 판단되는 C 필터는 임상에서 시술자의 불필요한 방사선 피폭선량을 줄이기 위한 대안으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Reference

- [1] N. Navab, S. M. Heining, J. Traub, "Camera Augmented Mobile C-Arm (CAMC): Calibration, Accuracy Study, and Clinical Applications", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol. 29, No. 7, pp. 1412-1423, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1109/TMI.2009.2021947>
- [2] Health Insurance Review & Assessment Service, Facility and Equipment Status, 2019. From URL; <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/olapInfraEquipmentStatInfoTab3.do>
- [3] Health Insurance Review & Assessment Service, Facility and Equipment Status, 2024. From URL; <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/olapInfraEquipmentStatInfoTab3.do>
- [4] S. W. Jo, H. G. Lee, M. G. Kang, W. J. Lee, S. K. Go, "Current Status of Radiation Exposure and Safety Management Among Residents", *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 67, No. 2, pp. 134-146, 2024.
<http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2024.67.2.134>
- [5] C. T. Mehlman, T. G. DiPasquale, "Radiation exposure to the orthopaedic surgical team during fluoroscopy: "how far away is far enough?""", *Journal of Orthopaedic Trauma*, Vol. 11, No. 6, pp. 392-398, 1997.
<http://dx.doi.org/10.1097/00005131-199708000-00002>
- [6] I. W. Yoo, J. Y. Chung, K. S. Lee, "A Study on the Reduction of Staff Radiation Exposure Dose by Installing a Lead Curtain during EVAR (Endovascular Aneurysm Repair) Procedure Using a C-Arm", *J. Korean Soc. Digit. Imaging Med.*, Vol. 14, No. 2, pp. 33-38, 2012.
- [7] K. T. Kwon, H. M. Jang, M. S. Yoon, "Evaluation of the Usefulness of the Transmittance of Metal Filaments Fabricated by 3D Printers in Radiation Therapy", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 15, No. 7, pp. 965-973, 2021.
<http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2021.15.7.965>
- [8] W. K. Oh, "Evaluation of Usefulness and Availability for Orthopedic Surgery using Clavicle Fracture Model Manufactured by Desktop 3D Printer", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 37, No. 3, pp. 203-209, 2014.
- [9] M. S. Yun, D. K. Han, Y. M. Kim, J. Yun, "A Study on the Production of Bone Model X-ray Phantom Using CT Data and 3D Printing Technology", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 12, No. 7, pp. 879-886, 2018.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.7.879>
- [10] Minisry of Health and Welfare, "Regulations on Safety Management of Diagnostic X-ray Equipment", No. 924, Dec. 19, 2022.
- [11] M. J. Kim, J. S. Lee, S. J. Ko, S. S. Kang, J. H. Kim, D. H. Kim, C. S. Kim, "Ultrasound Image Evaluation Using the ATS-539 Multimodal Phantom and SNR", *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 13, No. 8, pp. 284-291, 2013.
- [12] C. S. Kim, S. S. Kang, J. H. Kim, "Quantitative Image Evaluation Using Frequency and Parameters in Ultrasound Imaging", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 10, No. 4, pp. 247-253, 2016. <https://doi.org/10.7742/jksr.2016.10.4.247>
- [13] E. H. Goo, "Evaluation of Image Quality for Compressed SENSE(CS) Method in Cerebrovascular MRI: Comparison with SENSE Method", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 15, No. 7, pp. 999-1005, 2021.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2021.15.7.999>
- [14] D. M. Shim, Y. M. Kim, S. K. Oh, C. M. Lim, B. T. Kown, "Radiation Induced Hand Necrosis of an Orthopaedic Surgeon Who Had Treated a Patient with Fluoroscopy-Guided Spine Injection", *Journal of the Korean Orthopaedic Association*, Vol. 49, No. 3, pp. 250-254, 2014.
<https://doi.org/10.4055/jkoa.2014.49.3.250>
- [15] A. Mahajan, S. Samuel, A. K. Saran, M. K. Mahajan, M. K. Mam, "Occupational radiation exposure from C arm fluoroscopy during common orthopaedic surgical procedures and its prevention", *Journal of clinical and diagnostic research : JCDR*,

Vol. 9, No. 3, pp. RC01-RC04, 2015.

<http://dx.doi.org/10.7860/JCDR/2015/10520.5672>

- [16] W. J. Lee, "Occupational Radiation Exposure and Health Effects in Medical Personnel", Korean Journal of Medicine, Vol. 93, No. 3, pp. 237-246, 2018.
- [17] K. T. Kwon, D. Y. Yoon, R. U. Shin, B. J. Han, M. S. Yoon, "A Study on the Usefulness of Copper Filter in Single X-ray Whole Spine Lateral using 3D Printer", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 14, No. 7, pp. 899-906, 2020.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.7.899>

3D 프린팅으로 제작된 금속 필터와 차폐체의 C-arm 신경차단술 적용 성능 연구

윤명성

엠아이피 연구소

요 약

현대 의학에서 C-arm 장비를 활용한 신경차단술의 중요성이 증가하면서, 시술자의 생식선에 대한 1차선 피폭 위험이 우려되고 있다. 본 연구에서는 FDM 방식의 3D 프린팅 기술을 이용해 신경차단술 시 발생하는 1차선을 방어할 금속 필터와 차폐체를 제작하고, 필터 성능을 평가하였다. Cu, Al, Ni의 비율을 다르게 배합한 3개의 필터와 Copper 필라멘트로 제작한 하우스징을 결합형 차폐체로 출력하였다. C-arm에서 필터를 사용했을 때 선량 감소 효과를 평가하기 위해 60, 80, 100 kVp에서 필터 유무에 따른 선량을 비교한 결과, A 필터는 45%, B 필터는 63%, C 필터는 74%의 높은 선량 감쇠율을 보였다. 모든 조사 조건에서 필터를 사용할 때 높은 선량 감쇠율이 관찰되었으며, 특히 C 필터가 가장 우수한 성능을 나타냈다. 영상품질 평가는 정량적(CNR, SNR) 및 정성적(리커트 척도)으로 진행하였으며, 필터 사용 시 영상 품질은 약간 저하되었으나 임상적 영향은 미미하였다. 본 연구에서 개발한 필터는 C-arm 장비를 사용하는 신경차단술 시술자의 불필요한 방사선 피폭을 효과적으로 줄일 수 있는 대안으로 제시되며, 그 중 C 필터는 높은 선량 감쇠율을 보였으며, 영상품질이 다소 저하되었으나 임상적 적용에 큰 영향을 주지 않아 실용적으로 적용 가능성이 높았다. 따라서 제작된 필터의 활용은 시술자의 안전성을 높이고, 방사선 노출을 최소화하는 데 기여할 것으로 사료된다.

중심단어: 필터, 3D 프린터, 필라멘트, 결합형 차폐체, 영상 품질 평가

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	윤명성	MIP(Medical Imaging Process) Lab	연구원