

<원저>

결합제 분사 방식 3D 프린팅 기술을 활용한 소아 생식기 차폐체 제작 및 유용성 평가

이인자·홍다영

동남보건대학교 방사선학과

Production and Utility Assessment of Pediatric Genital Shields Using 3D Printing Technology with Colorjet 3D Printing

In-Ja Lee·Da-Yeong Hong

Department of Radiological Science, Dongnam Health University

Abstract In this study, the aim was to assess the shielding performance of different 3D printing materials, specifically those produced using FDM, SLA, and CJP methods, with a focus on their application as shielding devices in clinical settings. Additionally, the weight of lead shielding materials can evoke reluctance in pediatric patients undergoing X-ray imaging. A total of 12 materials were printed using their respective 3D printers. These materials were then subjected to X-ray testing using diagnostic X-ray equipment and an exposure meter. The goal was to evaluate their shielding capabilities in comparison to 1 mm lead. The results of this evaluation revealed that VisiJet PXL-Pastel, produced using the CJP method, exhibited the highest shielding performance. Therefore, VisiJet PXL-Pastel by CJP method was selected for the creation of a shielding device designed for pediatric reproductive organs. Subsequent tests demonstrated that both the newly created shielding device and conventional lead shielding equipment achieved the same maximum shielding rate at 50 kVp. Specifically, the shielding rate for the 3D printed device was measured at 84.53%, while the conventional lead shielding equipment, categorized as Apron1 (85.74%), Apron2 (99.98%), and Apron3 (99.04%), demonstrated similar performance. In conclusion, the CJP-produced VisiJet PXL-Pastel material showcased excellent radiation shielding capabilities, allowing for anatomical observations of the target organs and their surrounding structures in X-ray images. Furthermore, its lower weight in comparison to traditional lead shielding materials makes it a clinically practical and useful choice, particularly for pediatric applications.

Key Words: 3D printing, 3D Printing Materials, Colorjet printing, Pediatric reproductive organs, Radiation Shielding

중심 단어: 3D프린팅, 3D프린팅 재료, 결합제 분사 방식 프린팅, 소아생식기, 방사선차폐

1. 서론

의료에서 방사선분야는 영상진단과 치료영역에서 큰 비중을 가지고 의료장비 및 기술의 발달로 방사선의 이용은 매년 증가하고 있으며[1, 2], 의료 방사선의 사용량이 매년 증가함에 따라 국민 1인당 유효선량도 연평균 7.2%씩 증가

하는 추세이다[3]. 의료 방사선은 다양한 질병의 정보를 시각적으로 획득할 수 있고 인체 외상없이 종양을 치료할 수 있는 장점이 있지만, 진단 및 치료에 있어서 방사선 피폭에 관한 문제를 항상 고려할 필요가 있다. 현재 의료방사선은 국제방사선방호위원회의 권고에 따라 의료피폭에 대한 선량한도의 기준을 적용하고 있지 않지만[4], 돌발상황이나

This work was supported by the research grant of the Dongnam Health University.

Corresponding author: Da-Yeong Hong, Department of Radiological Science, Dongnam Health University, 50, Cheoncheon-ro 74beon-gil, Jangan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 16328, Republic of Korea / Tel: +82-31-249-6406 / E-mail: dyhong.89@gmail.com

Received 31 October 2023; Revised 29 November 2023; Accepted 30 November 2023

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

반복적인 방사선 피폭 시 생화학적 변화로 인해 백내장, 암, 대사 이상 등 신체적, 유전적 영향으로 다양한 인체 장애가 유발될 수 있다[5].

특히 소아의 경우 성인과 비교했을 때, 세포분열이 활발하여 방사선 감수성이 높고, 긴 잔여수명으로 방사선에 대한 위험도가 높으며, 작은 체구로 인해 유효선량이 높아 방사선 피폭의 위험성이 더 크고 작은 체구로 성인보다 유효선량이 높아 방사선 피폭의 위험성이 더 크다[6]. 이에 소아 환자의 경우 가능한 방사선 노출을 피하거나 검사 시 부위별 제시된 권고 선량에 따라 성인 대비 조사조건을 최소화하며 갑상선, 생식선 등 민감한 장기 부분은 반드시 차폐해야 한다. 현재 임상에서 피폭선량을 최소화하기 위해 일반적으로 알려진 차폐 물질 중 납(Pb) 재질을 주로 사용하고 있다. 원자번호 82인 납은 밀도 또한 11.34로 높아 X선 차폐율이 뛰어나며, 경제적 측면에서도 물질의 가공성이 우수해 방사선 차폐체로 가장 많이 상용화되어 있다[7]. 그러나 납을 이용한 개인용 방호 장비는 물리적인 중량이 크기 때문에 장시간 착용에 불편함이 있고 인체에 축적되는 유해한 중금속으로 분류되어 있어 과다 접촉 시 체내 흡수, 납중독으로 인한 근신경계, 뇌 증상 등 다양한 질병과 후유증을 야기할 수 있다[8]. 이에 납을 대체하기 위한 차폐체 연구가 지속해서 진행되고 있으며, 그중 무납 차폐체의 복잡한 제작 과정과 높은 제작비용을 대체하기 위한 기술로 3D 프린팅 기술을 제시하고자 한다[9].

3D 프린팅 기술은 재료를 가공하여 적층하는 방식으로, 원하는 재료를 이용하여 3차원 조형물을 제조하는 기술이다. 3D 프린팅은 사용자가 제작 시간과 비용을 조절할 수 있으며, 특히 의료에 있어서 각 질병이나 인체의 특성에 맞춰 필요한 형태로 제작할 수 있는 장점이 있다[10]. 또한, 3D 프린팅 기술 방식뿐만 아니라 재료 또한 플라스틱에서 금속까지 다양해짐에 따라 납 차폐체의 대체재 제작을 위한 연구가 지속되고 있다[11]. 3D 프린팅 출력 기술은 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식, PolyJet(Photopolymer Jetting) 방식, SLA(Stereolithography Apparatus) 방식 등이 주로 사용되고 있으며, 특히 현재 FDM 3D 프린팅 기술을 이용하여 다양한 의료분야에서 많은 연구가 이루어지고 있는데[12] 이는 타 방식에 비해 재료의 가공 및 성형이 쉽고, 유지보수 비용이 낮아 차폐체 제작에도 대중적으로 연구가 수행되고 있다[13]. 하지만 아크릴을 주재료로 갖는 필라멘트의 특성상 단일재료로써 차폐 성능을 갖기 어렵고, 금속분말이나 타 재료와의 혼합 등이 부수적으로 필요한 경우가 많아 임상 적용에 한계가 있었다[14-16].

따라서, 본 연구에서는 다양한 3D 프린팅 방식과 각 재료

의 차폐 성능을 확인하고, 차폐 효율이 가장 높은 재료를 이용해 소아 생식선의 방사선 차폐를 위한 차폐체를 제작하여 유용성을 평가하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 재료의 차폐 성능 평가

소아 생식기용 차폐체 제작에 앞서 3D 프린팅 방식에 따른 재료의 차폐 성능을 평가하기 위해 각각의 재료 샘플을 제작하여 실험을 진행하였다. 재료 샘플은 선량계를 이용해 측정할 수 있는 가장 최소의 사이즈인 50×20×10 mm로 제작하였으며, 사용된 재료는 총 12가지이다(Table 1)(Fig. 1).

Table 1. Information of 3D printing materials

Material	Device	Method
Clear	Formlabs Form 3	SLA
HTv2		
Elastic		
Flaxa693	X-fab	FDM
Invitra977		
Vitra430		
PLA	Ultimaker3	FDM
TPU		
ABS		
Bone lab	Projct 660 Pro	CJP
Bone		

* PLA : Poly Lactic Acid, TPU : Thermoplastic Poly Urethane, ABS : Acrylonitrile-butadiene-styrene, CJP : ColorJet Printing

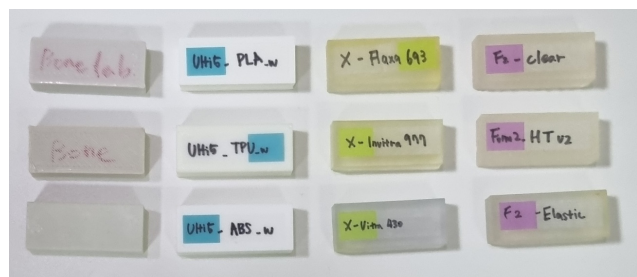


Fig. 1. 3D printing material samples. From the top left Bone lab, Bone, VisiJet PXL-Pastel, PLA, TPU, ABS, Flaxa693, Invitra977, Vitra430, Clear, HTv2, Elastic.

측정을 위한 장비는 방사선 선량계(Magic Max, Iba Dosimetry GdlfmbH, Germany)와 진단용 디지털 X선 장치(GRX-68S

X-RAY UNIT, DRGEM, Korea)를 이용하였으며 식품의약품안전청의 소아 일반 영상의학 검사의 표준촬영 가이드라인에 기초하여 촬영조건은 100 mA, 0.1 sec로 고정하고 50 kV, 60 kV, 70 kV로 kV 변수를 두었다[17]. 조사야는 100×100 mm는 선원과 소아팬텀 측정을 위한 측정기 간의 거리를 100 cm로 설정하였다(Fig. 2).

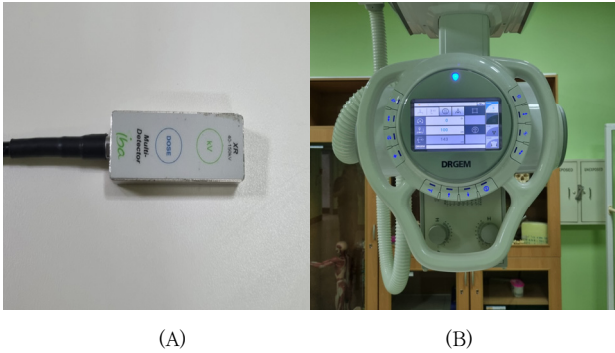


Fig. 2. Equipment used to measure doses, (A); Iba dosimeter, (B); Diagnostic digital X-ray unit.

환자 테이블 중심에 맞춰 선량계를 위치시키고 그 위에 재료 샘플을 올려 50 kV, 60 kV, 70 kV로 변수를 적용하여 각 3회씩 반복 촬영 후 선량의 평균값을 구하여 차폐율을 계산하였다(Fig. 3)(Eq. 1). 추가적으로 1 mm 순수 납의 선량 및 차폐율을 측정하여 재료 샘플과 비교하였다. 차폐율은 다음과 같은 식으로 산출할 수 있다.

$$ShieldingRate(\%) = (NS - S / NS) \times 10 \quad \text{Eq. 1.}$$

*NS : Dose without shielding, S : Dose with shielding
Eq. 1. A measurement that determines the performance of a radiation shielding material

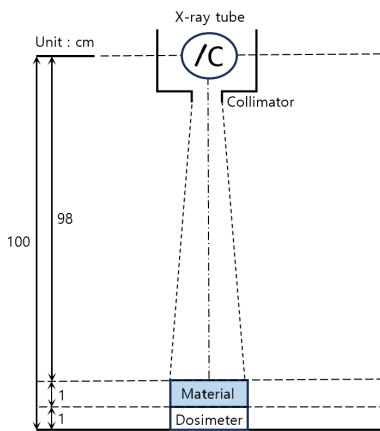


Fig. 3. Method of dosimetrically measure 3D printing materials.

2. 결합제 분사 방식의 VisiJet PXL-Pastel 재료를 이용한 차폐체 제작

재료실험 결과 결합제 분사 방식이라 불리는 Color-jet 3D printing(CJP)의 VisiJet PXL-Pastel에서 가장 높은 차폐율이 측정되었으며, 본 재료를 이용하여 소아 차폐체를 제작하고자 하였다. 소아 차폐체는 10세 여아의 평균 골반 크기(103.1mm × 69.9 mm)를 기준으로 소아용 생식선 차폐체를 제작하였다[17,18].

1) 3D 모델링

SolidWorks(Waltham, MA) 프로그램을 이용하여 70×100×10 mm의 차폐체를 모델링 하였으며 STL 파일로 변환하여 저장하였다(Fig. 4).

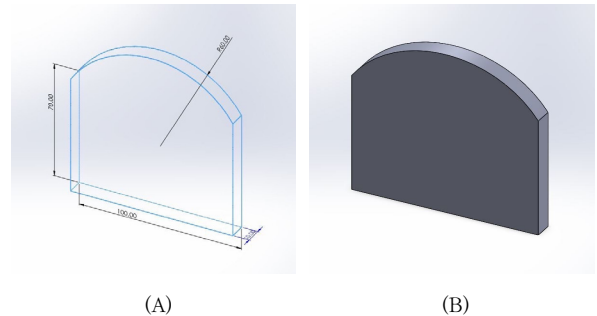


Fig. 4. (A, B); 3D modeling of shielding sheet.

2) 3D 프린터 출력 및 후가공

출력에 사용한 3D 프린터는 Projet 660 Pro(3D Systems, USA)이며 출력 시간은 약 32분이 소요되었으며, 쿨링 등의 후처리 공정을 포함하여 최종적으로 약 60분이 소요되었다(Fig. 5).

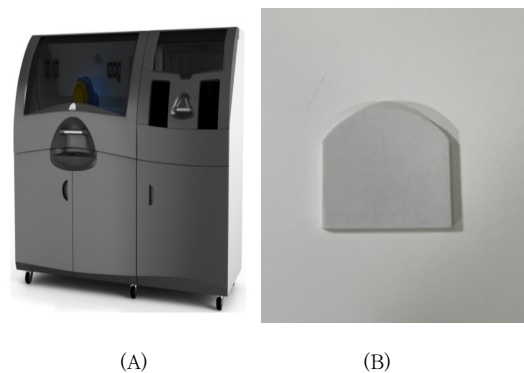


Fig. 5. Shielding sheet made by 3D printer. (A); 3D printer, (B); 3D printed shielding sheet.

3. 선량 측정

1) X선에서의 선량 및 차폐율 측정

제작한 차폐체의 차폐 성능을 평가하기 위해 진단용 디지털 X선 장치(GRX-68S X-RAY UNIT, DRGEM, Korea)와 인체등가물질로 제작된 소아팬텀(Model 706-G, CIRS, USA)을 사용하였으며, 선량계(Magic Max, Iba Dosimetry GdlfmbH, Germany)를 통해 표면입사선량을 측정하였다. 소아팬텀의 생식선 위에 선량계를 위치시키고 그 위에 차폐체를 올렸으며, KUB(kidney ureter bladder)촬영을 위해 선원과 소아팬텀 측정을 위한 측정기 간의 거리를 100 cm, 조사야는 iliac crest를 중심선으로 상복부와 pubic symphysis를 포함하여 350×450 mm로 설정하였다(Fig. 6). 촬영조건은 식품의약품안전청의 소아 일반 영상의학 검사의 표준촬영 가이드라인에 기초하여 첫 번째 50kV, 100mA, 40 mAs, 두 번째 60kV, 100mA, 32 mAs, 세 번째 70kV, 100mA, 20 mAs로 설정하여 보고자 하는 부위의 해상도를 균일하게하고자 하였으며, 차폐체 유무에 따라 각 3회씩 반복 촬영하여 평균 선량을 측정하였다. 측정된 평균 선량은 차폐율 공식을 적용하여 차폐율을 계산하였다(Eq. 1).

2) 납 방호도구의 선량 및 차폐율 측정

CJP 방식의 VisiJet PXL-Pastel로 제작한 차폐체와 기

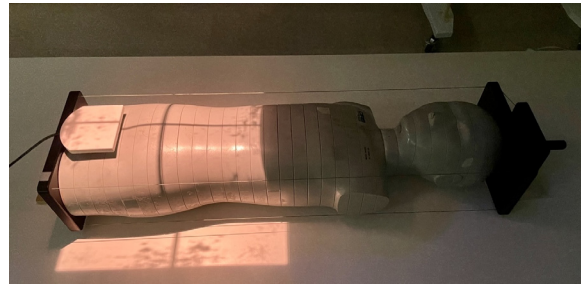


Fig. 6. Dose measuring method for fabricated shield.

존 납 방호도구의 성능을 비교하기 위해 임상에서 쓰이는 Apron1, Apron2, Apron3을 3D 프린팅 재료 샘플 실험과 동일한 촬영 조건에서 각 3회씩 반복 촬영하여 선량 및 차폐율을 측정하였다(Table 2).

III. 결과

1. 각 3D 프린팅 재료의 차폐율

다양한 3D 프린팅 방식에 따라 12가지 재료로 제작된 샘플의 선량 및 차폐율을 측정하기 위해 촬영 조건을 10 mAs로 고정하고 kV 값을 50 kV, 60 kV, 70 kV로 증가시켜 실험을 진행한 결과는 다음과 같다.

Table 2. Lead Apron list

	Apron1	Apron2	Apron3
Manufacturer	Burlington medical centre	Shielding International	Sung Kwang Meditech
Lead thickness	0,175 mmPb	0,5 mmPb	0,25 mmPb

Table 3. Results of dose and shielding rate of 3D printing materials in X-ray (50 kV, 10 mAs)

Printing Type	Materials	Dose [μGy]	Shielding rate [%]
SLA	None	257,40	-
	1 mm Pb	0,01	99,99
	Clear	192,00	25,40
	HTv2	188,90	26,61
	Elastic	196,50	23,66
	Flaxa693	195,70	23,97
	Invitra977	185,80	27,81
	Vitra430	196,00	23,85
	PLA	181,80	29,37
	TPU	191,60	25,56
FDM	ABS	195,20	24,16
	Bone lab	141,50	45,02
	Bone	129,40	49,72
CJP	Visijet PXL - Pastel	40,21	84,37

Table 4. Results of dose and shielding rate of 3D printing materials in X-ray (60 kV, 10 mAs)

Printing Type	Materials	Dose [μ Gy]	Shielding rate [%]
-	None	375.50	-
	1 mm Pb	0.26	99.93
SLA	Clear	283.80	24.42
	HTv2	292.60	22.07
	Elastic	299.70	20.18
	Flaxa693	293.80	21.75
	Invitra977	292.10	22.21
	Vitra430	292.20	22.18
FDM	PLA	268.80	28.41
	TPU	291.70	22.31
	ABS	296.60	21.01
	Bone lab	218.50	41.81
	Bone	204.10	45.64
CJP	VisiJet PXL - Pastel	80.60	78.53

Table 5. Results of dose and shielding rate of 3D printing materials in X-ray (70 kV, 10 mAs)

Printing Type	Materials	Dose [μ Gy]	Shielding rate [%]
-	None	552.20	-
	1mm Pb	1.79	99.67
SLA	Clear	428.30	22.43
	HTv2	431.80	21.80
	Elastic	442.20	19.92
	Flaxa693	441.20	20.10
	Invitra977	431.60	21.84
	Vitra430	431.50	21.85
FDM	PLA	410.50	25.66
	TPU	431.20	21.91
	ABS	436.80	20.89
	Bone lab	329.00	40.42
	Bone	307.10	44.38
CJP	VisiJet PXL - Pastel	146.00	73.56

50 kV, 10 mAs 촬영조건에서 1mm 순수 납은 0.01 μ Gy로 차폐율 99.99%로 측정되었다. 3D 프린팅 재료 샘플 중 CJP 방식의 VisiJet PXL-Pastel이 40.21 μ Gy로 차폐율 84.37%의 가장 높은 차폐율로 측정되었고 FDM 방식의 Bone이 129.40 μ Gy로 차폐율 49.72%, Bone lab이 141.50 μ Gy로 차폐율 45.02% 순으로 높은 차폐율이 측정되었다(Table 3).

60 kV, 10 mAs 촬영조건에서 1mm 순수 납이 0.26 μ Gy로 차폐율 99.93%가 측정되었으며, CJP 방식의 VisiJet PXL-Pastel이 80.60 μ Gy로 차폐율 78.53%, FDM 방식의 Bone이 204.10 μ Gy로 차폐율 45.64% 순으로 높은 차폐율이 측정되었다(Table 4).

70 kV, 10 mAs 촬영조건에서 1mm 순수 납이 1.79 μ Gy로 차폐율 99.67%이 측정되었으며, CJP 방식의 VisiJet PXL-Pastel이 146.00 μ Gy로 차폐율 73.56%, FDM 방식의 Bone이 307.10 μ Gy로 차폐율 44.38% 순으로 높은 차폐율이 측정되었다(Table 5).

50 kV, 10 mAs 에서 모든 3D 프린팅 재료 샘플들이 최대 차폐율을 나타내었으며 kV 값이 증가함에 따라 차폐율은 감소함을 확인하였다. 또한, 모든 조건에서 순수 납을 제외하면 CJP 방식의 VisiJet PXL-Pastel이 가장 높은 차폐율을 나타냄을 확인하였다(Fig. 7).

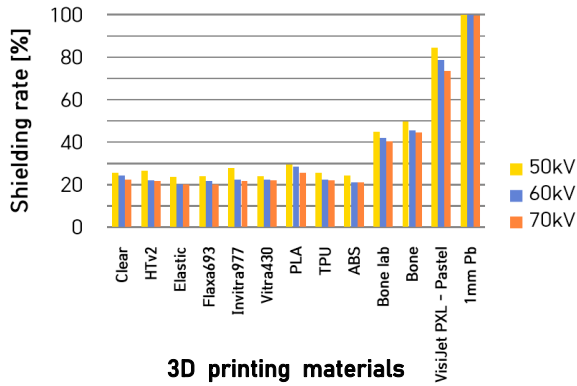


Fig. 7. The graph of 3D printing materials shielding rate according to tube voltage variation.

2. 차폐체의 선량 및 차폐율 측정 결과

VisiJet PXL-Pastel을 이용하여 제작한 소아 생식기용 차폐체의 표면입사선량 및 차폐율을 측정한 결과는 다음과 같다.

50 kV, 40 mAs에서 차폐체가 없을 때 1558.00 μ Gy, 차폐체가 있을 때 241.00 μ Gy로 차폐율이 84.53%가 측정되었으며, 60 kV, 32 mAs에서 차폐체가 없을 때 1969.00 μ Gy, 차폐체가 있을 때 400.1 μ Gy로 차폐율은 79.68%로 측정되었고, 70 kV, 20 mAs에서 차폐체가 없을 때 1700.00 μ Gy,

차폐체가 있을 때 427.10 μ Gy로 차폐율 74.87%가 측정되어 50 kV일 때 84.53%로 가장 높은 차폐율이 측정됨을 확인할 수 있었다.

3. 납 방호도구의 선량 및 차폐율 측정 결과와 3D printing 제작 차폐체와의 차폐율 비교

50 kV, 10 mAs에서 Apron1은 36.69 μ Gy, Apron2는 0.03 μ Gy, Apron3이 2.45 μ Gy로 Apron1을 제외한 Apron2와 Apron3의 차폐율이 99%가 초과함을 확인하였다(Table 6).

60 kV, 10 mAs에서 Apron1은 62.32 μ Gy, Apron2는 0.68 μ Gy, Apron3은 10.12 μ Gy로 Apron1을 제외한 Apron2와 Apron3의 차폐율이 95%가 초과함을 확인하였다(Table 7).

70 kV, 10 mAs에서 Apron1은 101.40 μ Gy, Apron2는 3.43 μ Gy, Apron3은 27.33 μ Gy로 Apron1을 제외한 Apron2와 Apron3의 차폐율이 95%가 초과함을 확인하였다(Table 8).

각각의 동일한 kV 값에서 VisiJet PXL-Pastel 샘플과 제작 차폐체의 차폐율 오차가 1.5% 미만으로 비슷한 수치로 측정되었다. 이에 기존 납 방호도구와 비교한 결과, 제작 차폐체와 납 방호도구 모두 kV 값이 증가할수록 차폐율은 감소하였으며, 50 kV에서 제작 차폐체는 84.53%, Apron1은 85.74%, Apron2는 99.98%, Apron3은 99.04%로 모두 최대 차폐율이 측정되었다. 비교적 가벼운 중량의 Apron1과

Table 6. Shielding rate results of apron and 3D printed shielding sheet by X-ray (50 kV)

Sheet	Shielding rate [%]
Apron1	85.74
Apron2	99.98
Apron3	99.04
3D printed shielding sheet	84.53

Table 7. Shielding rate results of apron and 3D printed shielding sheet by X-ray (60 kV)

Sheet	Shielding rate [%]
Apron1	83.40
Apron2	99.81
Apron3	97.30
3D printed shielding sheet	79.68

Table 8. Shielding rate results of apron and 3D printed shielding sheet by X-ray (70 kV)

Sheet	Shielding rate [%]
Apron1	81.63
Apron2	99.37
Apron3	95.05
3D printed shielding sheet	74.87

비교하면 제작 차폐체의 차폐율이 기존 납 방호도구보다 1.21% 떨어지지만 거의 동일한 차폐율을 나타냄을 확인하였다.

IV. 고 찰

의학의 발달과 개인의 건강에 관한 수요가 증가함에 따라 의료 방사선의 이용도 증가하고 있는 추세이며 대부분 진단 영역의 방사선 에너지 준위는 비교적 낮지만, 검사 시 불필요한 피폭으로 인체의 여러 장애를 일으킬 수 있어 방사선 방호는 필수적이다. 특히 소아의 경우 성인보다 방사선 위험도가 더 크기 때문에 올바른 기술 인자를 적용하고 차폐체를 이용하여 소아의 방사선 방호는 더 중요하게 관리되어야 한다. 현재 일반적으로 쓰이는 납 차폐체는 무게가 무겁고 인체에 유해한 영향을 일으킬 수 있다. 이에 납을 대체하기 위한 3D 프린팅 기반 차폐체 연구가 진행되고 있으나 대부분 FDM 방식으로 한정되어 있어 다양한 3D 프린팅 방식에 따른 재료의 차폐 성능 평가 결과가 부족한 실정이다 [19,20]. 따라서 본 연구는 다양한 3D 프린팅 방식과 각 재료의 차폐 성능을 평가하여 제작이 용이하고 인체에 무해하며, 무게가 비교적 가벼운 소아 생식기용 차폐체를 제작하고 그 유용성을 평가하였다.

본 연구에서는 FDM, SLA, CJP 방식의 다양한 3D 프린팅 기술을 이용한 12가지의 차폐체 재료로 제작된 각각의 샘플을 가지고 50 kV, 60 kV, 70 kV로 kV 변수를 주어 차폐 성능을 평가하였다. 그 결과 CJP 방식을 이용한 VisiJet PXL-Pastel이 50 kV, 10 mAs에서 84.53%의 최대 차폐율이 측정되어 이에 VisiJet PXL-Pastel을 이용하여 10세 여아 생식기용 차폐체를 제작하여 차폐 성능 검사를 진행했다. 위 연구 결과는 선량을 측정하는 과정에서 주변 산란선이나 차폐체로부터 발생하는 2차선으로 인한 오차와 검사자 간의 실험적 오차가 반영되어 있을 수 있다. 또한 10세 여아 표준체형을 기준으로 하여 소아 생식기용 차폐체를 제작하여 실험했기 때문에 이외에 다양한 체형의 연령대와 성별에 대한 후속 연구가 이루어진다면 효과적인 소아 차폐관리가 가능할 것으로 판단된다.

제작한 소아 생식기용 차폐체는 kV 와 mAs 변수를 적용하여 차폐율을 측정하고 기존 납 방호도구와 비교하였다. 제작 차폐체와 납 방호도구의 비교에 앞서 제작 차폐체 실험에서 팬텀의 제조업체와 영상에 따라 mAs 값이 유동적이기에 kV 값은 3D 프린팅재료 샘플 실험과 동일하게 kV 변수를 적용하였으나 mAs 값은 촬영된 영상에 따라 설정하였

다. 제작 차폐체와 비슷한 차폐율이 측정된 Apron1과 차폐율 비교를 진행하였을 때 50 kV에서 제작 차폐체의 차폐율은 84.53%로 측정되었고 Apron1은 85.74%로 측정되어 Apron1보다 차폐율이 낮긴 하였으나 거의 동일한 차폐율이 측정됨을 확인하였다. 위 연구 결과, 제작 차폐체가 납 방호도구의 단점을 보완할 수 있고 비교적 가벼운 무게로 검사자와 피검사자 모두 사용에 있어 용이할 것을 예상할 수 있었다.

제작한 차폐체와 기존 납 방호도구의 차폐율을 측정한 결과 kV 값이 증가할수록 차폐율의 표준편차가 Apron1이 1.13인 것에 비해 제작 차폐체는 4.06으로 kV 값이 증가함에 따른 차폐율 변동이 크다는 것을 확인하였다. 다만, 제작한 차폐체와 동일한 사이즈의 납 방호도구를 제작하여 측정한 것이 아니므로 정확한 비교에 어려움이 있었다. 따라서 향후 VisiJet PXL-Pastel의 차폐 성능에 관한 추가적인 연구와 동일한 형태와 사이즈의 납 방호도구 및 상용화된 생식선 보호대의 비교가 이루어진다면 보다 정확한 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다. 뿐만 아니라, 기존의 납 차폐체의 중량 대비 다소 낮은 27.4g의 차폐체를 제작함으로써 실제 환자가 느끼는 차폐체의 무게 및 불편함을 줄일 수 있었다.

본 연구에서 차폐 성능이 가장 높은 것으로 확인된 CJP 방식을 이용한 VisiJet PXL-Pastel에 관한 후속 연구가 진행된다면 기존 납 차폐체의 단점을 극복할 수 있는 3D printing 차폐체 제작이 상용화될 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

의료피폭에 대한 제한은 없으나 최소한의 피폭선량을 위한 방사선 방호는 모든 의료용 방사선 사용에 궁극적인 목표이다. 특히 소아는 성인보다 피폭에 대한 위험성이 크기에 적극적인 방사선 방호도구의 사용이 필요하다.

따라서, 결합제 분사 방식의 3D프린팅 기술인 VisiJet PXL-Pastel을 이용하여 높은 소아 생식선 차폐율을 확인하였으며, 기존의 납 차폐체가 갖는 문제점을 극복하고 대체할 수 있는 방안이 될 것으로 기대된다.

REFERENCES

[1] Korea Disease Control and Prevention Agency, Status of diagnostic x-ray equipment in the Republic of

- Korea, 2021. DOI: <https://doi.org/10.56786/PHWR.2022.15.51.3021>
- [2] Ministry of Health and Welfare. OECD health statistics 2022, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2023.46.1.15>
- [3] Korea Disease Control and Prevention Agency. Assessment of radiation exposure of Korean population by medical radiation. Retrieved from <https://www.kdca.go.kr/filepath/boardDownload>
- [4] ICRP. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP. 2007;37. Retrieved from <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>
- [5] Lim CS, Kim SH. A study on the radiation dose managements in the nuclear medicine department. Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society. 2009;10(7):1760-5. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.7.1760>
- [6] Brenner D, Elliston C, Hall E, Berdon W. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. AJR Am J Roentgenol. 2001;176:289-96. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Martin-Law-2/publication/26684135_Pediatric_64-MDC_T_Coronary_Angiography_With_ECG-Modulated_Tube_Current_Radiation_Dose_and_Cancer_Risk/links/5f3a7020458515b72927739a/Pediatric-64-MDC-T-Coronary-Angiography-With-ECG-Modulated-Tube-Current-Radiation-Dose-and-Cancer-Risk.pdf
- [7] Kim K, Kang S, Noh S, Jung B, Cho C, Heo Y, Park J. Absorbed spectrum comparison of lead and tungsten in continuous x-ray energy using monte carlo simulation. Journal of the Korean Society of Radiology. 2012;6(6):483-7. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2012.6.6.483>
- [8] Kim JY, Kim JH, Kim HW, Roh JH, Lee KH, Cheon BC, Nam SM. A review of lead poisoning cases reported for recent 30 years in Korea. Korean Journal of Medicine; 2004:17-624. Retrieved from <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/wpr-195200>
- [9] Bae, M, Lee H. A study on radiation shielding materials for protective garments using Monte Carlo simulation. Journal of Korean Society for Quality Management. 2015;43(3):239-52. DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2015.43.3.239>
- [10] Park KS, Choi WJ, Kim DH. Evaluation of metal composite filaments for 3D printing. Journal of the Korean Society of Radiology. 2021;5(5):697-704. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2021.15.5.697>
- [11] Oh WK. Customized model manufacturing for patients with pelvic fracture using FDM 3D printer. The Journal of the Korea Contents Association. 2014;14(11):370-7. DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2014.14.11.370>
- [12] Lee H, Kim D. Assessment of radiation shielding ability of printing materials using 3D printing technology: FDM 3D printing technology. Journal of the Korean Society of Radiology. 2018;12(7):909-17. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.7.909>
- [13] Park KS, Kim DH. Evaluation of 3D printing filaments for radiation shielding using high density polyethylene and bismuth. Journal of the Korean Society of Radiology. 2022;16(3):233-40. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2022.16.3.233>
- [14] Jang HM, Yoon J. Usefulness evaluation and fabrication of the radiation shield using 3D printing technology. Journal of the Korean Society of Radiology. 2019;13(7):1015-24. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.7.1015>
- [15] Lee H, Kim D. Assessment of radiation shielding ability of printing materials using 3D printing technology: FDM 3D printing technology. Journal of the Korean Society of Radiology. 2018;12(7):909-17. DOI: <https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.7.909>
- [16] Korea Disease Control and Prevention Agency. Korean diagnostic reference level for general radiography and mammography in 2022, 2023. DOI: <https://doi.org/10.56786/PHWR.2023.16.31.2>
- [17] Chui SH, Park JE, Chun WK, Ju YJ, Yang NH, Dong KR. Usability evaluation through gonad shielding production of pediatric patients by gender and age rating. Journal of Radiation Industry. 2015;9(2):69-75. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO201526863114452.page>

- [18] Kim YH, Choi JH, Kim SS, Oh YH, Lee CH, Cho PK, ... Kim CM. Evaluation of effective dose during X-ray training in a radiological technology program in Korea. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2018;11(4):383-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2018.08.001>
- [19] 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>
- [20] Cho YI, Kim JH. Evaluation of the effectiveness of the shielding device and the organ dose of subject during bone mineral density. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2020;43(3):187-94. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2020.43.3.187>

구분	성명	소속	직위
제1저자	이인자	동남보건대학교	정교수
교신저자	홍다영	동남보건대학교	조교수

