

산화철, 알루미나를 이용한 X선 차폐체 개발 및 성능 평가

양희수¹, 김지환¹, 전민철^{2*}

¹대전보건대학교 방사선과 학생, ²대전보건대학교 방사선과 교수

Development and Performance Evaluation of X-Ray Shields using Fe₂O₃ and Al₂O₃

Hui-Su Yang¹, Ji-Hwan Kim¹, Min-Cheol Jeon^{2*}

¹Student, Department of Radiology, Daejeon Health Institute of Technology

²Professor, Department of Radiology, Daejeon Health Institute of Technology

요약 방사선 차폐 물질인 납을 대신하여 싸고 친환경적인 산화철, 알루미나로 차폐체를 제작 후 차폐체의 성능을 평가하고자 한다. 산화철과 알루미나 각각 석고와 혼합하여 차폐체를 제작 이후 X-ray Tube를 이용하여 석고보드, 납복과 비교하여 성능을 평가한다. 관전압에 변화를 주며 실험한 결과 알루미나의 차폐 성능은 석고보드보다 차폐 성능이 떨어졌으며 50%의 알루미나가 함유되었을 때 석고보드와 차폐 성능이 비슷하였다. 산화철은 약 75%가 함유되었을 때 납복의 차폐 성능과 비슷해졌다. 알루미나를 이용한 차폐체는 석고와 비슷한 차폐 성능을 보여줘 납 대체물질로 적합하지는 않다. 하지만 산화철은 납복과 비슷한 차폐 성능을 나타내어 향후 납을 대체하는 X선 차폐 물질로 활용이 가능하기에 추가 연구가 필요하다.

주제어 : 납, 석고, 관전압, 차폐, 물질

Abstract It is intended to evaluate the performance of the shield after manufacturing a shield with cheap and eco-friendly iron oxide and alumina instead of lead, which is a radiation shielding material. After manufacturing the shield by mixing iron oxide and alumina with gypsum, the performance is evaluated by comparing it with gypsum board and lead apron using an X-ray tube. As a result of the experiment, the shielding performance of alumina was lower than that of the gypsum board, and when 50% of alumina was contained, the shielding performance was similar to that of the gypsum board. Iron oxide became similar to the shielding performance of lead apron when it contained about 75%. A shielding material using alumina shows shielding performance similar to that of gypsum, so it is not suitable as a substitute for lead. However, since iron oxide exhibits similar shielding performance to lead, it can be used as an X-ray shielding material to replace lead in the future, so further research is needed.

Key Words : Lead, Gypsum, Tube voltage, Shielding, Material

1. 서론

의료기관에서 치료 및 검사를 위한 의료방사선 사용이 증가함에 따라 방사선차폐와 관련하여 많은 연구가

이어지고 있다[1,2]. 즉, 방사선 차폐는 X선을 이용한 검사 시 환자에게 불필요한 피폭을 방지하고 검사자의 직업적 피폭을 막기 위해서 매우 중요한 작업이다[3]. 방사선 차폐 재료로 사용되고 있는 납은 얇은 시트

*이 논문은 교육부 산하 한국연구재단 LINC 3.0 사업비 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Min-Cheol Jeon (99jmc@hanmail.net)

Received November 19, 2022

Revised December 20, 2022

Accepted December 21, 2022

Published December 30, 2022

형태로 만들어질 만큼 가공성이 좋고 무엇보다 값이 싸서 일반적으로 사용되고 있다[4]. 하지만 납에는 많은 장점들도 있지만, 많은 단점 또한 가지고 있다[5].

납은 인체에 노출되면 신경 및 인지 장애부터 신장 또는 심혈관계 손상에 이르기까지 다양한 건강 영향을 미치고[6] 폐기 시 독성의 영향으로 환경오염을 유발할 가능성이 존재하며[1] 납을 이용한 방사선 차폐복은 납 이외의 여러 금속이 합쳐진 합금 형태로 제작되어 물리적으로 무게가 무겁고 착용이 불편하여 검사자가 오랜 시간 착용 시 직업성 근·골격계 이상 질환 등을 발생시킬 우려가 있다[3,7]. 그래서 방사선사의 근무환경과 병원의 진단과 환경을 고려한다면 가벼우면서도 인체의 무해한 의료방사선 차폐 재료를 고려할 필요가 있다[8].

2020년 scoencedirect에 한 연구 결과에 산화된 금속을 이용한 코팅이 적은 무게로 동일한 방사선 차폐 수준을 유지하면서도 같은 무게일 때 보편적으로 사용되는 기술과 비교해서 차폐효과를 30% 이상 개선할 수 있다는 결과를 보였다[9]. 이와 같은 배경 하에, 본 연구에서는 가격이 저렴하고 인체에 무해 하면서 폐기에 용이한 산화철과 알루미늄을 이용하여 차폐체를 제작 및 성능을 평가하고자 한다.

2. 대상 및 방법

2.1 연구 대상

본 실험에 사용된 차폐체는 알루미늄과 산화철을 각각 건축 재료인 석고를 이용해 교반하여 무게비 0%, 25%, 50%, 75% 크기 100x100x10 mm³ 으로 제작하여 실험하였다. 본 논문에서 산화철로 제작한 차폐체는 F-G, 알루미늄으로 제작한 차폐체는 A-G로 나타낸다. X-선 차폐 성능 실험을 위해 X선 발생장치(E7252, Toshiba, Japan)를 사용하였다. 선량장치는 RaySafe X2의 R/F Sensor를 사용하여 선량을 측정하였다. 선량을 정확히 측정하려면 표준 선량이 필요하기에 RQR 표준 선량으로 조절하기 위해 알루미늄(Al) 부가필터를 사용하였다. 제작한 차폐체의 성능을 평가하기 위해 두께 0.25mmPb의 납복(Lead 100%)을 사용하였다.

이외 x선 튜브의 수평을 조절하기 위해 수평계를 사용하였다.



Fig. 1. The manufacture x-ray Shields



Fig. 2. RaySafe X2 R/F Sensor

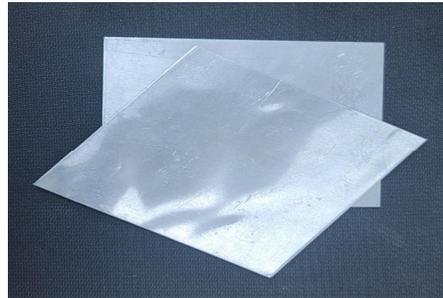


Fig. 3. Al filter



Fig. 4. 0.25 mmPb Apron

2.2 연구 방법

2.2.1 RQR 표준 선질

정확한 선량을 측정하기 위해서는 표준 선질이 필요하다. 연구에서 사용한 표준 선질은 Table.1과 같이 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)의 TRS-457 문서의 흡수체가 없을 때 선량 측정에 사용되는 RQR 3~8의 선질을 사용하였다.[8] RaySafe X2 R/F Sensor를 이용하여 반가층을 측정 후 알루미늄 부가필터를 이용해 선질을 조절하였다.

Table 1. Standards beam quality of RQR

Radiation Quality	Tube Voltage (kV)	HVL (mmAl)
RQR3	50	1.78
RQR4	60	2.19
RQR5	70	2.58
RQR6	80	3.01
RQR7	90	3.48
RQR8	100	3.97

2.2.2 X-선 차폐 평가 실험

제작한 차폐체 F-G 와 A-G, 납복(Lead0.25mmpb)을 촬영거리 100cm, 관전압 50, 60, 70, 80, 90, 100 kVp, 50 mAs의 X선 에너지를 조사하여 선량을 측정하였고 실험에 구조는 Fig.5 와 같이 설정하였다. 촬영 중 후방 산란선을 방지하기 위해 바닥에 납판을 설치하였다.



Fig. 5. X-ray shield performance test

3. 결과

3.1 50 kVp 촬영

50 kVp 50 mAs로 촬영한 결과 석고는 평균 $135.2 \pm 0.06 \mu\text{Gy}$, A-G25%는 평균 $287.0 \pm 0.12 \mu\text{Gy}$, 50%는 평균 $145.3 \pm 0.12 \mu\text{Gy}$, F-G25%는 평균 $56.9 \pm 0.03 \mu\text{Gy}$, 50% 평균 $16.0 \pm 0.06 \mu\text{Gy}$, 75%는 평균 $6.7 \pm 0.06 \mu\text{Gy}$ 그리고 납복은 평균 $2.7 \pm 0.00 \mu\text{Gy}$ 의 성능을 보여주었다.

Table 2. The dose measured by 50 kVp, 50 mAs (unit : μGy)

Matter	Exposure(N)			Average \pm SD
	1	2	3	
Gypsum	135.1	135.2	135.2	135.2 \pm 0.06
Al25%	286.9	287.1	287.1	287.0 \pm 0.12
Al50%	145.2	145.4	145.4	145.3 \pm 0.12
Fe25%	56.9	56.9	57.0	56.9 \pm 0.06
Fe50%	15.9	16.0	16.0	16.0 \pm 0.06
Fe75%	6.8	6.7	6.7	6.7 \pm 0.06
Lead	2.7	2.7	2.7	2.7 \pm 0.00

3.2 60 kVp 촬영

60 kVp 50 mAs로 촬영한 결과 석고는 평균 $284.0 \pm 0.52 \mu\text{Gy}$, A-G25%는 평균 $523.4 \pm 0.44 \mu\text{Gy}$, 50%는 평균 $301.9 \pm 0.12 \mu\text{Gy}$, F-G25%는 평균 $144.9 \pm 0.20 \mu\text{Gy}$, 50%는 평균 $54.7 \pm 0.15 \mu\text{Gy}$, 75%는 평균 $29.2 \pm 0.10 \mu\text{Gy}$ 그리고 납복은 평균 $15.0 \pm 0.10 \mu\text{Gy}$ 의 성능을 보여주었다.

Table 3. The dose measured by 60 kVp, 50 mAs (unit : μGy)

Matter	Exposure(N)			Average \pm SD
	1	2	3	
Gypsum	284.6	283.7	283.7	284.0 \pm 0.52
Al25%	523.9	523.1	523.2	523.4 \pm 0.44
Al50%	301.8	301.8	302.0	301.9 \pm 0.12
Fe25%	145.1	144.7	144.9	144.9 \pm 0.20
Fe50%	54.5	54.8	54.7	54.7 \pm 0.15
Fe75%	29.2	29.3	29.1	29.2 \pm 0.10
Lead	14.9	15.0	15.1	15.0 \pm 0.10

3.3 70 kVp 촬영

70 kVp 50 mAs로 촬영한 결과 석고는 평균

493.6±0.49 μGy, A-G25%는 평균 822.0±1.29 μGy, 50%는 평균 512.4±0.40 μGy, F-G25%는 평균 285.6±0.67 μGy, 50%는 평균 136.3±0.12 μGy, 75%는 평균 88.1±0.12 μGy 그리고 납복은 평균 49.8±0.06 μGy의 성능을 보여주었다.

Table. 4. The dose measured by 70 kVp, 50 mAs (unit : μGy)

Matter	Exposure(N)			Average±SD
	1	2	3	
Gypsum	493.9	493.0	493.8	493.6±0.49
Al25%	823.4	820.9	821.6	822.0±1.29
Al50%	512.0	512.4	512.8	512.4±0.40
Fe25%	285.4	286.3	285.0	285.6±0.67
Fe50%	136.4	136.2	136.2	136.3±0.12
Fe75%	88.2	88.2	88.0	88.1±0.12
Lead	49.8	49.9	49.8	49.8±0.06

3.4 80 kVp 촬영

80 kVp 50 mAs로 촬영한 결과 석고는 평균 736.8±0.50 μGy, A-G25%는 평균 1140.0±3.46 μGy, 50%는 평균 761.3±0.75 μGy, F-G25%는 평균 467.3±0.5 μGy, 50%는 평균 248.5±0.25 μGy, 75%는 평균 173.3±0.26 μGy 그리고 납복은 평균 116.3±0.2 μGy의 성능을 보여주었다.

Table. 5. The dose measured by 80 kVp, 50 mAs (unit : μGy)

Matter	Exposure(N)			Average±SD
	1	2	3	
Gypsum	736.7	736.3	737.3	736.8±0.50
Al25%	1138.0	1138.0	1144.0	1140.0±3.46
Al50%	761.3	760.6	762.1	761.3±0.75
Fe25%	466.8	467.3	467.8	467.3±0.5
Fe50%	248.7	248.2	248.5	248.5±0.25
Fe75%	173.5	173.4	173.0	173.3±0.26
Lead	116.1	116.4	116.5	116.3±0.21

3.5 90 kVp 관전압 촬영

90 kVp 50 mAs로 촬영한 결과 석고는 평균 1023.0±2.52 μGy, A-G25%는 평균 1023.7±0.58 μGy, 50%는 평균 1048.0±1.00 μGy, F-G25%는 평균 694.0±0.60 μGy, 50%는 평균 402.0±0.12 μGy, 75%는 평균 297.±0.354 μGy 그리고 납복은 평균 216.0±0.06 μGy의 성능을 보여 주었다.

Table. 6. The dose measured by 90 kVp, 50 mAs (unit : μGy)

Matter	Exposure(N)			Average±SD
	1	2	3	
Gypsum	1021.0	1026.0	1024.0	1023.7±2.52
Al25%	1491.0	1490.0	1490.0	1490.3±0.58
Al50%	1049.0	1048.0	1047.0	1048.0±1.00
Fe25%	693.9	693.4	694.6	694.0±0.60
Fe50%	402.1	402.1	401.9	402.0±0.12
Fe75%	297.4	297.0	297.7	297.4±0.35
Lead	216.0	215.9	216.0	216.0±0.06

3.6 100 kVp 관전압 촬영

100 kVp 50mAs로 촬영한 결과 석고는 평균 1397.0±0.00 μGy, A-G25%는 평균 1940.3±4.93 μGy, 50%는 평균 1423.7±3.79 μGy, F-G25%는 평균 995.6±0.35 μGy, 50%는 평균 637.8±0.26 μGy, 75%는 평균 472.6±0.21 μGy 그리고 납복은 평균 341.0±0.45 μGy의 성능을 보여주었다.

Table. 7. The dose measured by 100 kVp, 50 mAs (unit : μGy)

Matter	Exposure(N)			Average±SD
	1	2	3	
Gypsum	1397.0	1397.0	1397.0	1397.0±0.00
Al25%	1937.0	1938.0	1946.0	1940.3±4.93
Al50%	1428.0	1421.0	1422.0	1423.7±3.79
Fe25%	995.4	995.4	996.0	995.6±0.35
Fe50%	638.0	637.5	637.9	637.8±0.26
Fe75%	472.5	472.4	472.8	472.6±0.21
Lead	341.0	340.6	341.5	341.0±0.45

3.7 50~100 kVp 관전압 촬영 평균값

50 kVp부터 100 kVp까지 촬영한 결과 값을 평균 값으로 도출하여 Table.8과 같이 나타내었다. 석고는 평균 678.4±474.09 μGy, A-G25%는 평균 1022.8 ±617.08 μGy, 50%는 평균 698.8±479.57 μGy, F-G25%는 평균 440.7±355.40 μGy, 50%는 평균 249.2±236.36 μGy 75%는 평균 177.9±179.20 μGy 그리고 납복은 평균 123.5±132.41 μGy의 성능을 보여주었다.

본 연구에서는, F-G, A-G 차폐체와 납복의 선량을 50~100 kVp까지 측정하여 Fig. 7와 같이 나타내었다. 실험 결과 F-G, A-G 둘 다 산화철 알루미늄 함유

량이 높아질수록 차폐 성능이 좋아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 알루미늄은 25% 함유되었을 때 100% 석고 차폐체 보다 낮은 차폐 성능을 보여줬으며 알루미늄이 50% 차폐체에 함유되었을 때 100% 석고와 비슷한 차폐 성능을 보여주었다. F-G 차폐체는 산화철이 약 25% 차폐체에 함유되었을 때부터 석고와 A-G보다 우수한 차폐 성능을 보여주었으며, 약 75% 함유되었을 때는 두께 0.25mmPb 납으로 만들어진 차폐복과 비슷한 차폐 성능을 보여주었다.

Table 8. The average dose measured by 50~100 kVp, 50 mAs (unit : μ Gy)

Matter	Exposure(μ Gy)						Average \pm SD
	100	90	80	70	60	50	
Gypsum	1397.0	1023.7	736.8	493.6	284.0	135.2	678.4 \pm 474.09
Al25%	1940.0	1490.3	1140.0	822.0	523.4	287.0	1033.8 \pm 617.08
Al50%	1423.7	1048.0	761.3	512.4	301.9	145.3	698.8 \pm 479.57
Fe25%	995.6	694.0	467.3	285.6	144.9	56.9	440.7 \pm 355.40
Fe50%	637.8	402.0	248.5	136.3	54.7	16.0	249.2 \pm 236.36
Fe75%	472.6	297.4	173.3	88.1	29.2	6.7	177.9 \pm 179.20
Lead	341.0	216.0	116.3	49.8	15.0	2.7	123.5 \pm 132.41

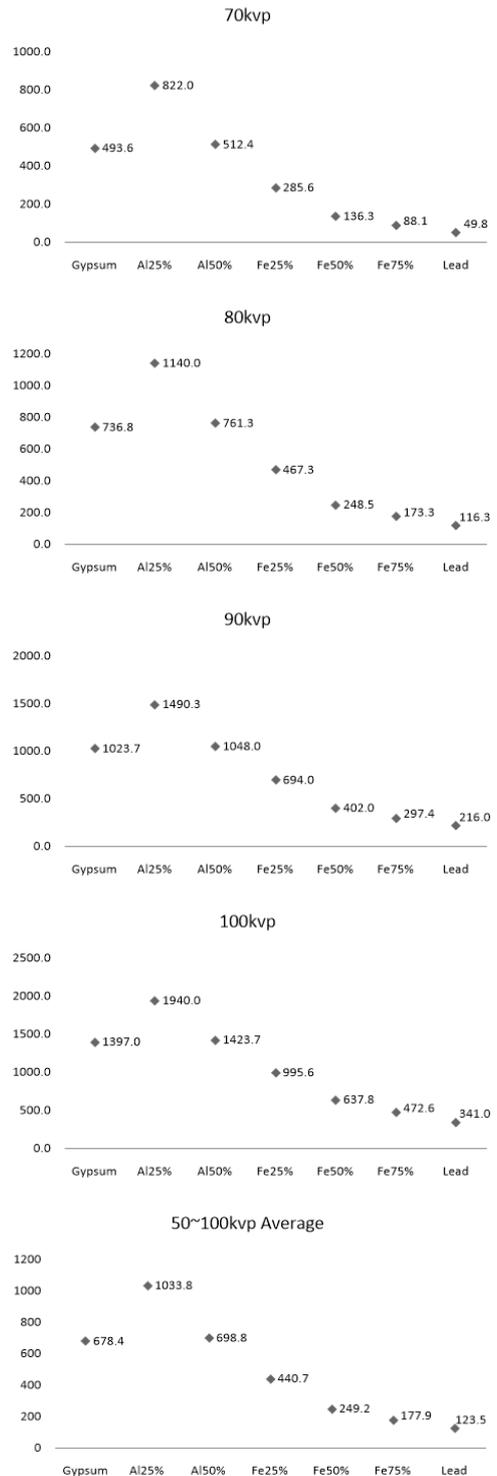
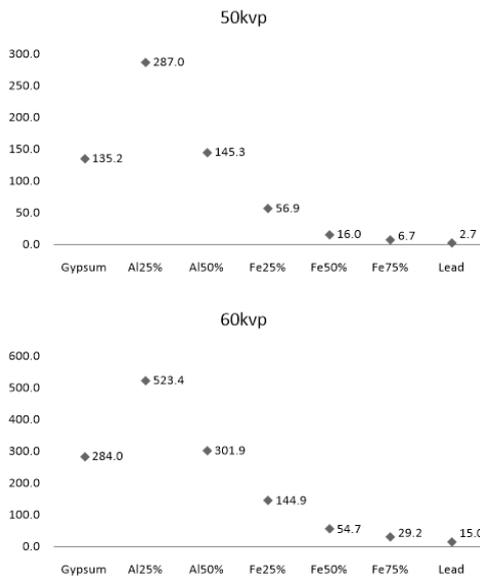


Fig. 7 Comparison of shielding characteristics for F-G, A-G shields 50~100 kVp

4. 고찰

의료기관에서의 X-선 발생장치 사용은 질병의 진단 및 비파괴 검사에 도움을 주나 X-선이 과다할 경우 암, 백내장 등 다양한 질병을 야기할 수 있다[5]. 특히 방사선사는 직업 특성상 X-선 발생장치와 근접하여 근무하기에 방사선차폐에 관하여 빠질 수 없는 관계이다. 방사선사는 방사선으로부터 인체를 보호하기 위해 주로 납을 함유한 앞치마를 사용하는데 납을 함유한 앞치마는 방사선 차폐효과가 뛰어나지만[10,11] 무겁고 폐기시 환경오염의 문제가 발생한다[12].

본 연구에서는 임상에서 자주 사용되는 방사선 차폐 물질인 납을 대신하여 친환경적이고 가격이 저렴한 알루미늄과 산화철을 이용하여 친환경 차폐체를 개발하였고 성능을 평가하였다. 알루미늄은 차폐체에 함유량이 높을수록 차폐성능이 좋아졌으나 25% 함유되었을 때 아무것도 안 들어간 100% 석고 차폐체 보다 차폐성능이 떨어졌으며 50% 함유되었을 때 석고 차폐체와 차폐 성능이 비슷한 것으로 나타났다. 이로 인해 알루미늄은 납을 대체할 수 있는 차폐 물질로서 적합하지 않다고 판단된다. 산화철은 25% 함유되었을 때부터 100% 석고와 알루미늄 차폐체의 차폐성능보다 우수하며 75% 산화철이 함유되었을 때는 임상에서 사용되는 두께 0.25mmPb의 납복과 비슷한 차폐 성능을 보여주었다. 그러나 75%의 산화철이 함유된 차폐체도 납보다는 낮은 차폐 성능을 보여주었으며, 이는 관전압이 높을수록 더욱 격차가 벌어졌다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 총 두 가지의 제한점이 존재한다. 첫째, 실험 대상의 종류가 다양하지 않아 한정된 물질만 이용하여 실험을 하였으며, 둘째, 교반을 하는 과정을 수작업으로 교반을 하게 되어 알루미늄과 산화철이 차폐체에 고르게 혼합되지 않았을 것이라고 예상된다. 또한 차폐체를 수작업으로 제작함에 있어 차폐 블록마다 두께에 오차가 있었을 것이다. 그러나 차폐체의 두께와 산화철의 함유량, 산화철과 같이 교반된 건축 재료를 개선하고 바꾼다면[13-15] 충분히 납을 대체하는 친환경 차폐물질로 사용이 가능하다고 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 임상에서 사용되고 있는 차폐물질인

납을 대체할 물질 산화철과 알루미늄을 이용하여 차폐체를 제작하였고 성능을 평가하였다. 실험 결과, 알루미늄은 납보다 차폐성능이 좋지 않아 대체가 불가하였고 산화철은 임상에서 사용되는 납복과 비슷한 차폐성능을 가지고 있다고 판단되어 두께와 함유량을 개선한다면 납을 대체할 수 있는 차폐 물질로서 사용이 가능할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] S. C. Kim. (2021). Verification of the Possibility of Convergence Medical Radiation Shielding Sheet Using Eggshells. *Journal of the Korea Convergence Society*, 12(6), 33-38. DOI : 10.15207/JKCS.2021.12.6.033
- [2] J. P. McCaffrey, H. Shen, B. Downton & E. Mainegra-Hing. (2007). Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments. *Medical Physics*, 34(2), 530-537. DOI : 10.1118/1.2426404
- [3] H. M. Jang. (2019). Usefulness Evaluation and Fabrication of the Radiation Shield Using 3D Printing Technology. *Journal of the Korean Society of Radiology*, 13(7), 1015-1024. DOI : 10.7742/JKSR.2019.13.7.1015
- [4] S. C. Kim. (2013). Barium Compounds through Monte Carlo Simulations Compare the Performance of Medical Radiation Shielding Analysis. *Journal of the Korea Society of Radiology*, 7(6), 403-408. DOI : 10.7742/JKSR.2013.7.6.403
- [5] S. J. Kim. (2020). Development and Performance Evaluation of Eco-Friendly X-Ray Shields using BaSO₄. *Journal of Radiation Industry*, 14(1), 13-18. DOI : 10.23042/RADIN.2020.14.1.13
- [6] Y. J. Choi. (2017). A convergence study on the exposure levels of lead and cardiovascular diseases in adults women using the 7th Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *Journal of the Korea Convergence Society*, 13(3), 113-124. DOI : 10.15207/JKCS.2022.13.03.113
- [7] Mori H. (2014) Evaluation of the effectiveness of X-ray protective aprons in experimental and practical fields, *Radiological Physics and Technology*, 7(1), 158-166. DOI : 10.1007/s00540-016-2140-2

- [8] S. C. Kim & M. H. Park. (2010). Development of Radiation Shield with Environmentally-Friendly Materials; II: Evaluation of Barum, Tourmaline, Silicon Polymers in the Radiation Shielding Sheet. *Journal of radiological science and technology*, 34(2), 141-147.
- [9] M. DeVanzo & R. B. Hayes. (2020). *Ionizing radiation shielding properties of metal oxide impregnated conformal coatings*, Radiation Physics and Chemistry.
DOI : 10.1016/j.radphyschem.2020.108685.
- [10] Matsuda M, Suzuki T(2016). Evaluation of lead aprons and their maintenance and management at our hospital. *J Anesth*, 30(3), 518-21.
DOI : 10.1007/s12194-013-0246-x
- [11] E. Al-Sarraya, I. Akkurta, K. Gunoglub, A. Evcinc & N.C. Bezira. (2017). Radiation Shielding Properties of Some Composite Panel. *Acta physica polonica series a*, 132(3), 490-492.
DOI : 10.12693/APhysPolA.132.490
- [12] K. S. Chon. (2017) Monte Carlo Simulation for Radiation Protection Sheets of Pb-Free, *Journal of the Korean Society of Radiology*, 11(4), 189-195.
DOI:10.7742/JKSR.2017.11.4.189.
- [13] J. S. Kim. (2018). Evaluation of Energy Dependency for Air Kerma Area Product by RQR Beam Quality and Indirect Calibration. *Journal of the Korean Society of Radiology*, 12(6), 769-776.
DOI : 10.7742/JKSR.2018.12.6.769
- [14] I. Akkurat. (2006). Radiation shielding of concretes containing different aggregates. *Cem. Concr. Compos.* 28, 153-157.
DOI : 10.1016/j.cemconcomp.2005.09.006
- [15] S. C. Kim. (2021). Construction of a Medical Radiation-Shielding Environment by Analyzing the Weaving Characteristics and Shielding Performance of Shielding Fibers Using X-ray-Impermeable Materials. *Applied Science*, 11(4), 1705.
DOI : 10.3390/app11041705

양희수(Hui-Su Yang)

[학생회원]



- 2021년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 방사선과 재학
- 관심분야 : 방사선 치료학, 혈관 조영, 방사선 촬영학
- E-Mail : yhskmo1644@naver.com

김지환(Ji-Hwan Kim)

[학생회원]



- 2019년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 방사선과 입학
- 관심분야 : 방사선 치료학, 방사선 촬영학, 방사선 관계법령
- E-Mail : jihwan118@naver.com

전민철(Min-Cheol Jeon)

[정회원]



- 2010년 3월 ~ 2012년 8월 : 충남대학교 의공학 석사
- 2013년 3월 ~ 2017년 2월 : 충남대학교 의공학 박사
- 2006년 1월 ~ 2017년 2월 : 충남대학교 병원 영상의학과
- 2017년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 방사선과 교수
- 관심분야 : 임상CT영상학, 방사선촬영학, 영상해부학
- E-Mail : 99jmc@hanmail.net