

# The Radiation Shielding Rate of Spectacle Lenses according to Changes in Degree

Beom-Hee Han<sup>1,a</sup> and Youngju An<sup>2,b,\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Radiological Science, Baekseok Culture University, Professor, Cheonan 31065, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Optometry, Baekseok Culture University, Professor, Cheonan 31065, Korea

(Received August 8, 2025; Revised August 19, 2025; Accepted September 10, 2025)

**Purpose:** In this study, the effects of changes in lens thickness according to diopter on the shielding effectiveness against radiation exposure to the crystalline lens were experimentally verified. **Methods:** Radiation was applied to the central point of eyeglass lenses with diopters of  $-0.25$ ,  $-2.50$ , and  $-4.00$  D. The radiation exposure conditions were set with fixed radiation doses of 10, 20, and 32 mAs, while the tube voltage was varied at 40, 60, 80, 100, and 120 kVp. Each condition was irradiated five times to calculate the mean and standard deviation. The results were regarded as the Entrance Surface Dose (ESD) and expressed in  $\mu\text{Gy}$ . Radiation attenuation was then comparatively analyzed for each experimental value. **Results:** At 10 mAs and 40 kVp, the eyeglass lens with a diopter of  $-0.25$  D showed the highest radiation attenuation at 6.97%, while the  $-4.00$  D lens showed the lowest at 4.75%. Under the 120 kVp condition, the  $-4.00$  D lens exhibited the highest attenuation at 3.32%, and the  $-0.25$  D lens the lowest at 2.61%. At 20 mAs and 40 kVp, the  $-0.25$  D lens showed the highest radiation attenuation at 5.67%, while the  $-4.00$  D lens showed the lowest at 3.92%. At 120 kVp, the  $-4.00$  D lens showed the highest attenuation at 3.12%, while the  $-2.50$  D lens showed the lowest at 2.85%. At 32 mAs and 40 kVp, the  $-0.25$  D lens showed the highest attenuation at 5.38%, and the  $-2.50$  D lens the lowest at 4.52%. Under the 120 kVp condition, the  $-0.25$  D lens showed the highest attenuation at 3.60%, while the  $-2.50$  D lens showed the lowest at 3.45%. **Conclusions:** Radiation attenuation increased as the radiation dose and energy decreased, resulting in improved shielding effectiveness. Conversely, as the radiation dose and energy increased, the shielding effectiveness decreased relatively.

**Key words:** Spectacle lenses, Degree, Radiation shielding rate, Radiometer, Lens dose

## 서 론

현대 의학의 발전과 함께 영상의학 검사는 질병의 조기 진단과 정밀한 치료 계획 수립에 필수적인 요소로 자리 잡고 있다. 특히 X선 검사, CT, PET-CT 등 방사선을 이용한 진단기술은 높은 정확도와 신속한 결과를 바탕으로 의료 현장에서 광범위하게 활용되고 있다. 이에 따라 방사선 검사의 비중은 매년 증가하는 추세이며, 국민 건강검진과 같은 예방적 검사에서도 그 활용도가 지속적으로 확대되고 있다. 그러나 방사선검사의 증가와 함께 우려되는 점은 바로 방사선 피폭량의 누적이다. CT와 같은 고선량 방사선검사의 빈도 증가로 인해 환자 개개인에 노출되는 누적 방사선량 또한 증가하고 있으며, 이는 장기적으로 암 발병 등의 건강 문제와 직결될 수 있다는 점에서 경각심이 요구된다.

2023년 질병관리청은 국민이 질병진단 또는 건강검진

목적으로 실시한 의료방사선 검사의 이용 현황을 발표한 결과, 2023년 한 해 동안 전 국민의 의료방사선 검사 건수는 총 3억 9,800만여 건으로, 국민 1인당 약 7.7건이며, 전 국민의 피폭선량은 총 162,106 man·Sv로, 국민 1인당 3.13 mSv이었다. 이는 전년('22년) 대비 검사 건수는 13.00%, 피폭선량은 14.30% 증가한 것으로, 최근 4년간('20년~'23년) 검사 건수는 평균 9.00%, 피폭선량은 평균 8.30% 수준으로 매년 증가하는 추세이다.<sup>[1]</sup> 특히 인체에서 방사선에 민감한 기관 중 하나인 눈의 수정체는 비교적 낮은 방사선량에도 생물학적 영향을 받을 수 있어,<sup>[2]</sup> 최근 들어 더욱 주목받고 있다.

기존에는 백내장 발생과 관련된 방사선 피폭량의 기준이 상대적으로 높게 설정되어 있었으나, 최근 연구 결과에 따르면 수정체는 이전에 알려진 것보다 훨씬 낮은 선량에도 영향을 받을 수 있음이 밝혀지면서 국제적으로 그 기준이 대폭 강화되었다.<sup>[3]</sup> 국제방사선방호위원회(ICRP)는

\*Corresponding author: Youngju An, TEL: +82-41-550-2906, E-mail: yjan@bscu.ac.kr

Authors ORCID: <sup>a</sup>https://orcid.org/0009-0000-5732-4530, <sup>b</sup>https://orcid.org/0000-0003-1084-6395

이러한 과학적 근거를 바탕으로, 직업적으로 방사선에 노출되는 작업자에 대한 수정체 선량 한도를 연간 15.00에서 20.00 mSv로 하향 조정하였으며,<sup>[4]</sup> 이로 인해 방사선 관련 분야 종사자들에 대한 보호조치와 작업환경 개선의 필요성이 더욱 부각되고 있다. 특히 중재시술실, 핵의학과, 방사선치료실 등에서는 의료진의 눈 피로를 줄이기 위한 장비 개선과 보호구 착용이 중요한 과제로 떠오르고 있으며, 수정체 피로의 생물학적 영향과 주요 발생원인, 그리고 국제적 기준 변화와 이에 따른 방사선 방어의 필요성이 증대되고 있다.

인간의 시각은 외부 환경으로부터 정보를 받아들이는데 있어 가장 중요한 감각 중 하나이며, 그 중심에는 눈의 핵심 구성 요소인 수정체가 존재한다.<sup>[5]</sup> 수정체는 외부에서 들어오는 빛을 굴절시켜 망막에 상을 정확히 맺도록 하는 역할을 하며, 이러한 기능의 손상은 일상생활의 질을 크게 저하시킬 수 있다.<sup>[6]</sup> 특히 자외선(UV)과 고에너지 가시광선(청색광)과 같은 광학적 자극은 수정체의 단백질 구조에 영향을 주어 백내장과 같은 퇴행성 질환을 유발할 수 있다는 사실이 다양한 연구를 통해 밝혀지고 있다.<sup>[7]</sup> 이러한 광학적 위험 요소로부터 눈을 보호하기 위한 방법 중 하나로 안경렌즈의 활용이 주목받고 있다. 현대의 안경렌즈는 단순한 시력 교정 도구를 넘어서, 다양한 코팅 기술과 소재 개선을 통해 자외선 차단, 청색광 억제, 눈부심 감소 등 눈 건강을 지키는 중요한 역할을 수행하고 있다.<sup>[8]</sup> 특히 수정체는 재생 능력이 거의 없기 때문에 외부 자극으로부터의 사전 보호가 무엇보다 중요하며, 이에 따라 안경렌즈의 수정체 보호 효과에 대한 관심과 필요성이 점차 증가하고 있다.

본 논문에서는 평상 시 자외선과 고에너지 가시광선에 의한 영향뿐만 아니라 방사선검사 시 안경렌즈가 방사선량을 얼마나 차폐되는지를 분석하고, 수정체 보호에 기여하는 메커니즘을 고찰하고자 한다. 이를 통해 눈 건강을 위한 예방적 시각 보호 장치로서 안경렌즈의 역할과 중요성을 재조명하고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 실험대상

본 연구에서 사용된 안경렌즈는 근시용 (-)렌즈로 동일한 브랜드 및 중굴절률(1.56)을 갖는 렌즈 중 근시 정도에 따라 가장 낮은 단계와 경도 및 중등도에 해당하는 세 가지(-0.25, -2.50, 그리고 -4.00 D)종류를 선택하였다(Fig. 1). 안경렌즈의 빛 투과율은 ISO8980-3의 규격에 부합하였으며 CR-39 소재의 단초점, 무색, 초경발수 코팅렌즈를 사용하였으며, 백석문화대학교 기관생명윤리위원회(IRB)

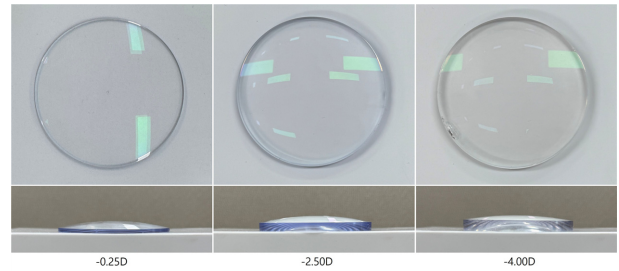


Fig. 1. Spectacle lenses.

의 심의와 승인을 받은 후 시행하였다(IRB: 제2-7008132-A-N-01호, 25-12).

### 2. 측정장비

안경렌즈의 방사선 차폐율을 측정하기 위해 사용한 장비는 국제원자력기구(IAEA)에서 인정하는 SSDL(secondary standard dosimetry laboratory) 기관으로 등록된 IBA Calibration Lab에서 직접 검교정하여 그 신뢰도를 인정받은 독일 IBA Dosimetry에서 생산된 Magicmax Universal 방사선측정기를 사용하였다(Fig. 2).

Magicmax Universal 방사선측정기는 진단용 방사선 발생장치의 X선을 분석하는 장치로 각 종류별 디텍터를 사용하여 일반촬영장치, 유방촬영장치, 단층 촬영 장치까지 방사선의 측정과 특성 분석, 관전압, 관전류, 광조도 측정이 가능하며, 방사선 선질 분석을 위해 반가중을 측정하여 각 엑스선의 특성(선질) 분석이 가능한 장비이다. 또한 측정된 모든 데이터가 시간별로 누적되어 저장되며 엑셀로도 연동하여 관리할 수 있다. 측정 가능한 선량의 범위는 50.00 nGy~50.00 Gy 또는 5.70 mR~5.70 kR이며, 오차범위는  $\pm 5.00\%$ 의 신뢰성을 갖추고 있다.

### 3. 연구방법

안경렌즈의 방사선 차폐율을 측정하기 위한 실험방법은



Fig. 2. MagicMaX universal x-ray meter.



Fig. 3. Experimental method.

FFD 100 cm와 조사야 10 × 10 cm 조건에서 방사선측정기로 커마값을 구하였다(Fig. 3). 안경렌즈의 도수 -0.25, -2.50, -4.00 D에 따라 렌즈의 광학중심점을 각각 선택하여 방사선을 조사하였다. 방사선 조사 조건은 방사선량 10, 20, 32 mAs에서 각각 고정하고 관전압 40, 60, 80, 100, 그리고 120 kVp로 변경하면서 5회 조사하여 평균과 표준편차를 구하고 이를 입사표면선량(entrance surface dose; ESD)으로 간주하여  $\mu\text{Gy}$  단위로 표시하고 각 실험값에 대해 방사선 차폐율을 다음식으로 구하고 비교 분석하였다.

$$\text{방사선차폐율(\%)} = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

$I_0$  : 렌즈 없이 측정된 방사선량  
 $I$  : 렌즈를 통과한 후 측정된 방사선량

4. 통계처리

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS 23.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 사용하여 측정치는 평균±표준편차로 제시하였고, Independent t-test를 이용하여 도수 변

화에 따른 안경렌즈의 방사선 차폐율의 차이를 평가하였다. 모든 분석에서 통계적 유의수준은  $p < 0.05$ 로 설정하였다.

결 과

1. 선량 10 mAs일 때 안경렌즈 도수 변화에 따른 방사선 차폐율

방사선량 조건을 10 mAs로 설정하고 안경렌즈의 도수 -0.25, -2.50, -4.00 D에 따라 선량과 방사선 차폐율을 측정된 결과, 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 선량은 40 kVp 조건에서  $77.00 \pm 0.20 \mu\text{Gy}$ 로 가장 낮게 나타났고, 120 kVp 조건에서  $1125.40 \pm 3.30 \mu\text{Gy}$ 로 가장 높게 나타났다. 방사선 차폐율은 관전압 40 kVp 조건에서 6.97%로 가장 높게 나타났으며, 관전압 120 kVp 조건에서 2.61%로 가장 낮게 나타났다. 안경렌즈의 도수 -2.50D에서 선량은 40 kVp 조건에서  $78.50 \pm 0.20 \mu\text{Gy}$ 로 가장 낮게 나타났고, 120 kVp 조건에서  $1123.4 \pm 0.80 \mu\text{Gy}$ 로 가장 높게 나타났다. 방사선 차폐율은 관전압 40 kVp 조건에서 5.16%로 가장 높게 나타났으며, 관전압 120 kVp 조건에서 2.80%로 가장 낮게 나타났다. 안경렌즈의 도수 -4.00D에서 선량은 40 kVp 조건에서  $78.80 \pm 0.30 \mu\text{Gy}$ 로 가장 낮게 나타났고, 120 kVp 조건에서  $1117.20 \pm 1.60 \mu\text{Gy}$ 로 가장 높게 나타났다. 방사선 차폐율은 관전압 40 kVp 조건에서 4.75%로 가장 높게 나타났으며, 관전압 120 kVp 조건에서 3.32%로 가장 낮게 나타났다(Table 1).

2. 선량 20 mAs일 때 안경렌즈 도수 변화에 따른 방사선 차폐율

방사선량 조건을 20 mAs로 설정하고 안경렌즈의 도수 -0.25, -2.50, 그리고 -4.00 D에 따라 선량과 방사선 차폐율을 측정된 결과, 안경렌즈의 도수 -0.25D에서 선량은 40 kVp 조건에서  $151.00 \pm 0.60 \mu\text{Gy}$ 로 가장 낮게 나타났고, 120 kVp 조건에서  $2307.60 \pm 4.30 \mu\text{Gy}$ 로 가장 높게 나타났

Table 1. Radiation shielding rate of spectacle lenses at 10 mAs

kVp \ Degree	None ( $\mu\text{Gy}$ )	-0.25 D		-2.50 D		-4.00 D		p-value*
		Dose ( $\mu\text{Gy}$ )	Shielding Rate <sup>a</sup> (%)	Dose ( $\mu\text{Gy}$ )	Shielding Rate <sup>b</sup> (%)	Dose ( $\mu\text{Gy}$ )	Shielding Rate <sup>c</sup> (%)	
40	$82.80 \pm 0.40$	$77.00 \pm 0.20$	6.97	$78.50 \pm 0.20$	5.16	$78.80 \pm 0.30$	4.75	a>b ( $p < 0.001$ ) a>c ( $p < 0.001$ )
60	$219.60 \pm 0.60$	$210.20 \pm 0.50$	4.30	$211.70 \pm 0.50$	3.58	$210.50 \pm 1.00$	4.13	a>b ( $p = 0.002$ ) b<c ( $p = 0.044$ )
80	$460.40 \pm 1.8$	$445.10 \pm 1.10$	3.31	$446.00 \pm 1.20$	3.11	$444.30 \pm 1.00$	3.50	b<c ( $p = 0.035$ )
100	$818.40 \pm 1.00$	$791.10 \pm 1.40$	3.34	$790.50 \pm 1.80$	3.40	$788.90 \pm 0.80$	3.60	a<c ( $p = 0.016$ )
120	$1155.60 \pm 1.90$	$1125.40 \pm 3.30$	2.61	$1123.20 \pm 0.80$	2.80	$1117.20 \pm 1.60$	3.32	b<c ( $p < 0.001$ ) a<c ( $p = 0.001$ )

\*Independent t-test

Table 2. Radiation shielding rate of spectacle lenses at 20 mAs

kVp \ Degree	None (μGy)	-0.25 D		-2.50 D		-4.00 D		p-value*
		Dose (μGy)	Shielding Rate <sup>a</sup> (%)	Dose (μGy)	Shielding Rate <sup>b</sup> (%)	Dose (μGy)	Shielding Rate <sup>c</sup> (%)	
40	160.10±0.60	151.00±0.60	5.67	153.10±0.50	4.35	153.80±0.20	3.92	a>b (p<0.001) b>c (p=0.032) a>c (p<0.001)
60	455.30±1.20	436.10±0.80	4.23	436.20±0.80	4.20	437.10±1.00	3.99	-
80	981.40±4.20	940.60±1.10	4.15	945.20±1.10	3.68	940.70±2.00	4.15	b<c (p=0.005)
100	1686.00±2.50	1624.60±3.60	3.64	1631.00±1.20	3.26	1627.00±2.10	3.50	a>b (p=0.005) b<c (p=0.006)
120	2379.60±4.30	2307.00±3.20	3.05	2311.80±1.60	2.85	2305.40±1.70	3.12	a>b (p=0.017) b<c (p<0.001)

\*Independent t-test

다. 방사선 차폐율은 관전압 40 kVp 조건에서 5.67%로 가장 높게 나타났으며, 관전압 120 kVp 조건에서 3.05%로 가장 낮게 나타났다. 안경렌즈의 도수 -2.50 D에서 선량은 40 kVp 조건에서 153.10±0.50 μGy로 가장 낮게 나타났고, 120 kVp 조건에서 2311.80±1.60 μGy로 가장 높게 나타났다. 방사선 차폐율은 관전압 40 kVp 조건에서 4.35%로 가장 높게 나타났으며, 관전압 120 kVp 조건에서 2.85%로 가장 낮게 나타났다. 안경렌즈의 도수 -4.00 D에서 선량은 40 kVp 조건에서 153.80±0.20 μGy로 가장 낮게 나타났고, 120 kVp 조건에서 2305.40±1.70 μGy로 가장 높게 나타났다. 방사선 차폐율은 관전압 40 kVp 조건에서 3.92%로 가장 높게 나타났으며, 관전압 120 kVp 조건에서 3.12%로 가장 낮게 나타났다(Table 2).

3. 선량 32 mAs일 때 안경렌즈 도수 변화에 따른 방사선 차폐율

방사선량 조건을 32 mAs로 설정하고 안경렌즈의 도수 -0.25, -2.50, 그리고 -4.00 D에 따라 선량과 방사선 차폐율을 측정할 결과, 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 선량은

40 kVp 조건에서 24506.00±0.50 μGy로 가장 낮게 나타났고, 120 kVp 조건에서 3844.20±10.40 μGy로 가장 높게 나타났다. 방사선 차폐율은 관전압 40 kVp 조건에서 5.38%로 가장 높게 나타났으며, 관전압 120 kVp 조건에서 3.60%로 가장 낮게 나타났다. 안경렌즈의 도수 -2.50 D에서 선량은 40 kVp 조건에서 248.20±0.50 μGy로 가장 낮게 나타났고, 120 kVp 조건에서 3711.60±10.20 μGy로 가장 높게 나타났다. 방사선 차폐율은 관전압 40 kVp 조건에서 4.52%로 가장 높게 나타났으며, 관전압 120 kVp 조건에서 3.45%로 가장 낮게 나타났다. 안경렌즈의 도수 -4.00 D에서 선량은 40 kVp 조건에서 248.00±0.20 μGy로 가장 낮게 나타났고, 120 kVp 조건에서 3710.00±4.00 μGy로 가장 높게 나타났다. 방사선 차폐율은 관전압 60 kVp 조건에서 4.91%로 가장 높게 나타났으며, 관전압 120 kVp 조건에서 3.49%로 가장 낮게 나타났다(Table 3).

4. 도수 변화에 따른 안경렌즈의 방사선 차폐율 비교분석

방사선량 조건을 10 mAs로 설정하고 안경렌즈의 도수 -0.25, -2.50, 그리고 -4.00 D에 따라 선량과 방사선 차폐

Table 3. Radiation shielding rate of spectacle lenses at 32 mAs

kVp \ Degree	None (μGy)	-0.25 D <sup>a</sup>		-2.50 D <sup>b</sup>		-4.00 D <sup>c</sup>		p-value*
		Dose (μGy)	Shielding Rate (%)	Dose (μGy)	Shielding Rate (%)	Dose (μGy)	Shielding Rate (%)	
40	259.90±0.60	245.90±0.50	5.38	248.20±0.50	4.52	248.00±0.20	4.59	a>b (p<0.001) a>c (p<0.001)
60	772.90±0.80	734.60±0.80	4.96	738.30±1.00	4.47	734.90±0.80	4.91	a>b (p<0.001)
80	1618.00±0.70	1540.00±0.70	4.82	1550.00±1.00	4.20	1541.00±0.70	4.76	a>b (p<0.001) b<c (p<0.001)
100	2736.60±1.80	2614.40±1.90	4.47	2634.00±2.00	3.75	2617.40±0.50	4.36	a>b (p<0.001) b<c (p<0.001) a>c (p=0.022)
120	3844.20±10.40	3706.00±7.60	3.60	3711.60±10.20	3.45	3710.00±4.00	3.49	-

\*Independent t-test

율을 비교분석한 결과, Fig. 4에서 보듯이 에너지가 낮은 관전압 40 kVp 조건에서 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -4.00 D에서 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다( $p<0.001$ )(Table 1). 하지만 중간 에너지의 관전압 80 kVp 조건에서는 안경렌즈의 도수 -4.00 D에서 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -2.50 D에서 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다( $p=0.035$ ). 그리고 에너지가 가장 높은 관전압 120 kVp 조건에서는 안경렌즈의 도수 -4.00 D에서 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고,

-0.25 D에서 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다( $p=0.001$ ).

Fig. 5를 살펴보면 에너지가 낮은 관전압 40 kVp 조건에서 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -4.00 D에서 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다( $p<0.001$ )(Table 2). 하지만 중간 에너지의 관전압 80kVp 조건에서는 안경렌즈의 도수 -4.00 D에서 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -2.50 D에서 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다( $p=0.005$ ). 그리고 에너지가 가장 높은 관전압 120 kVp 조건에서는 안경렌즈의 도수 -4.00 D에서 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -2.50 D에서 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다( $p<0.001$ ).

Fig. 6을 살펴보면 에너지가 낮은 관전압 40 kVp 조건에서 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -2.50 D에서 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다( $p<0.001$ )(Table 3). 하지만 중간 에너지의 관전압 80 kVp 조건에서는 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -2.50 D에서 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다( $p<0.001$ ). 그리고 에너지가 가장 높은 관전압 120 kVp 조건에서는 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -2.50 D에서 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였으나 통계적 유의성은 없었다.

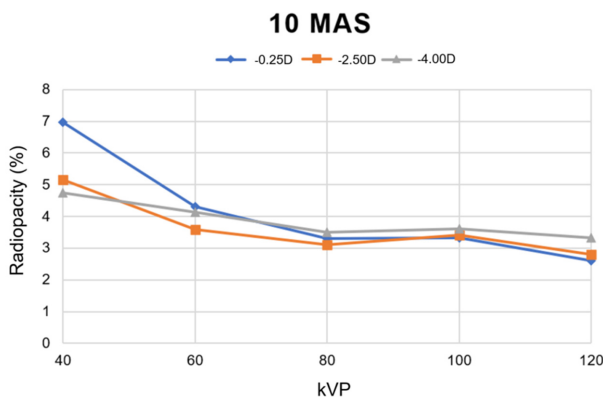


Fig. 4. Radiation shielding rate according to kVp at 10 mAs.

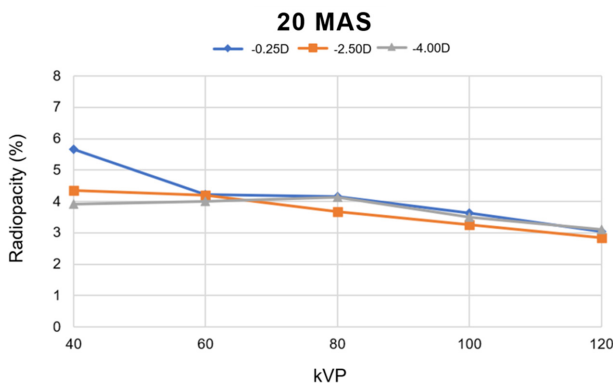


Fig. 5. Radiation shielding rate according to kVp at 20 mAs.

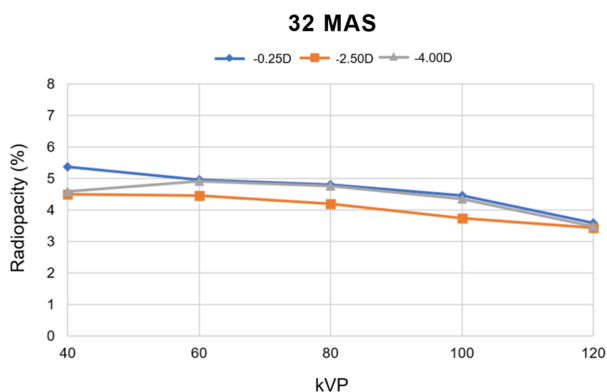


Fig. 6. Radiation shielding rate according to kVp at 32 mAs.

## 고 찰

피부를 제외하고 방사선에 가장 많이 노출되는 기관은 눈이다.<sup>[9]</sup> 국제방사선방호위원회(ICRP)는 2012년 발표한 Publication 118을 통해 눈의 수정체는 방사선에 민감한 조직이라 규정하고 있으며,<sup>[10]</sup> 특히 직업적 방사선 노출자에서 눈이 피부 다음으로 높은 누적 방사선량에 노출되는 기관으로 여러 논문에서 확인되고 있다. 2007년 Worgul, et al<sup>[11]</sup>의 논문에서 체르노빌 사고 후 방사선 노출자를 대상으로 한 연구에서 백내장의 발생률이 선량에 비례하여 증가함을 보고하고 있다. 또한 방사선 피폭과 백내장 발생간의 관련성은 원폭 생존자, 체르노빌 작업자, 우주 비행사, 그리고 중재시술 종사자들을 대상으로 한 역학 연구에서 확인되었다. 특히, 방사선에 장기간 노출된 종사자에서 누적 선량이 0.50 Gy 이하에서도 백내장 발생률이 유의하게 증가한다고 보고하였다.<sup>[12]</sup> 기존에는 방사선 유도 백내장은 역치선량(threshold dose) 이상에서만 발생한다고 간주되었으나, 최근 ICRP 및 여러 역학 연구에서는 무선량 역치성(non-threshold) 반응 가능성도 제기하고 있다. 특히, 0.10 Gy 이하에서도 통계적으로 유의미한 백내장 발생률 증가가 보고된 바 있다.<sup>[13]</sup> 이는 연구 결과들이 보여준 눈의 방사선 민감도가 기존에 알려진 것보다 훨씬 높다는 사실을 반영한 것이다. 현대 사회에서 방사선 노출은 의료

영상 검사, 산업 현장, 원자력 시설 등 다양한 분야에서 빈번하게 발생하고 있다. 특히 병원과 연구소 등 방사선 환경에서 근무하거나 생활하는 인구가 증가함에 따라, 인체 조직의 방사선 피폭을 최소화하기 위한 보호 장비의 필요성이 강조되고 있다. 그중에서도 안구는 방사선에 민감한 장기로 알려져 있으며,<sup>[14]</sup> 이러한 변화는 일상적인 시력 보정을 위한 안경렌즈가 단순한 시력 교정 도구를 넘어, 방사선 환경에서 일정 수준의 차폐 기능을 수행할 가능성에 대한 관심을 불러일으키고 있다.

안경렌즈는 일반적으로 폴리카보네이트, CR-39, 고굴절 아크릴 수지, 미네랄 유리 등 다양한 재료와 도수(굴절력)에 따라 제작된다.<sup>[15]</sup> 일반적으로 비정시도가 높아질수록 굴절률이 높은 재료의 렌즈를 사용하게 되며, 동일 굴절률의 렌즈를 사용할 경우 두께가 증가하게 되는데 이는 방사선에 대한 차폐율 또는 선량 저감 효과에 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서는 연구결과 가장 낮은 선량과 에너지에서 최대 6.97%의 방사선 차폐율을 보였다. 방사선 차폐율에 대한 다른 논문과 비교하면 2021년 Kim 등<sup>[16]</sup>의 논문에서 Ytterbium oxide 차폐 성능은 약 5.00% 이내의 차이로 우수한 결과를 확인한 바 있다. 또한, 2024년 Tomoko Oikawa와의 다양한 선원의 방사선(<sup>99m</sup>Tc, <sup>123</sup>I, <sup>131</sup>I 등)에 대해 Pb 두께별(0.07~0.88 mmPb) 보호 안경의 차폐효과를 분석한 논문에서 0.75 mmPb 이상에서는 핵종 종류에 상관없이 유의미한 차폐 효과가 나타났으며, 특히 0.88 mmPb는 최대 50.00% 이상 방사선 저감 효과를 분석하였다.<sup>[17]</sup> 그러나 전 세계적으로 납에 대한 사용을 제한하고 있는 추세에 따라서 대체물질에 대한 개발이 필요한 실정이다. 이에 따라 본 연구와 같은 납 대체물질에 대한 다양한 제품들을 이용하여 방사선 차폐의 효용성을 높이도록 노력해야 한다. 2022년 J. John Lucido 등<sup>[18]</sup>의 논문을 살펴보면 기존 금속 보호대와 달리 두께 23.00 mm 투명 아크릴로 제작된 눈 보호대 사용 시 방사선량 12배 감소하는 차폐 성능을 확인하였다. 의료장비의 후방산란이 눈의 방사선량에 어떠한 영향을 미치는지 분석한 2024년 Saya Ohno 등<sup>[19]</sup>의 논문에서 Tube voltage 증가에 따라 후방산란 비율이 17.00~22.00%까지 증가하고, 보호안경 사용이 필요하다고 기술하였다.

그러나 현재까지 방사선 차폐용 특수 안경이나 납 유리 등에 초점이 맞추어져 있으며, 방사선으로부터 보편적이고 친환경적 수정체 보호 차폐물에 대한 체계적인 연구가 매우 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 다양한 도수에 따른 안경렌즈를 대상으로, 방사선에 의한 차폐율 변화를 정량적으로 파악하고 이를 통해 도수의 변화가 방사선 차폐 성능에 미치는 영향을 분석하였으며, 궁극적으로 방사선 노출 환경에서 일상적 착용 가능한 보호 수단으로서의 안

경렌즈 활용 가능성을 평가하였다.

하지만 본 연구에서는 특정 재료의 안경렌즈만을 사용하였으며, 다양한 소재에 따른 방사선 차폐율의 차이를 고려하지 못했다는 한계가 있다. 또한 렌즈 중심점만을 대상으로 조사하였기 때문에 비구면 렌즈나 다초점 렌즈와 같은 다양한 구조에서의 방사선 차폐 효과를 반영하지 못했다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 방사선검사 시 안경렌즈가 방사선량을 얼마나 차폐되는지를 분석한 국내 첫 연구라는 점에서 그 의의가 있다고 할 수 있으며, 이러한 제한점을 바탕으로 추후 연구를 통해 렌즈의 종류를 다양하게 확대하여 안경렌즈를 이용한 방사선 차폐의 효용성을 분석하고자 한다.

## 결론

본 연구에서는 수정체에 대한 방사선피폭 저감화 노력의 일환으로 일상에서 사용하고 있는 안경렌즈를 대상으로 -0.25, -2.50, 그리고 -4.00 D의 도수의 변화에 따라 방사선 차폐율을 분석하였다. 이에 대한 결론은 kVp가 증가할수록 방사선 차폐율은 점차적으로 감소하고, 모든 mAs 그룹에서 비슷한 패턴이 보이며, 방사선량이 낮은 10 mAs 조건에서 모든 도수의 방사선 차폐율은 전반적으로 가장 높게 나타나고, 방사선량 높은 32 mAs 조건에서 전체 방사선 차폐율이 상대적으로 낮아지는 경향을 보였다. 다시 말해 mAs가 증가할수록 방사선량 증가로 인해 차폐의 효과가 상대적 줄어드는 것을 시사하였다.

본 연구에서 나타났듯이 방사선 차폐에 대한 다양한 재료의 연구가 필요하며, 일상에서 보편적으로 사용하는 제품들을 이용하여 방사선 차폐의 효용성을 평가하고 임상 적용 가능성을 높이도록 노력해야 한다.

## REFERENCES

- [1] KDCA(Korea Disease Control and Prevention Agency). National Medical Radiation Assessment Yearbook, Department of Medical Radiation, 2020-2022. <https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20305050000&bid=0003> (19 February 2024).
- [2] Coppeta L, Spataro A, Pietroiusti A, et al. Lens dose and risk of radiation-induced early lens opacities among hospital staff: a cross-sectional study. *Radioprotection*. 2020; 55(3):195-198. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/2020055>
- [3] Ainsbury EA, Bouffler SD, Dörr W, et al. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. *Radiat Res*. 2009;172(1):1-9. DOI: <https://doi.org/10.1667/RR1688.1>
- [4] Shore RE. Radiation and cataract risk: impact of recent epidemiologic studies on ICRP judgments. *Mutat Res*

- Rev Mutat Res. 2016;770(PartB):231-237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2016.06.006>
- [5] Zeller K, Mühleisen S, Shanmugarajah P, et al. Influence of visible violet, blue and red light on the development of cataract in porcine lenses. *Medicina*. 2022;58(6):721. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicina58060721>
- [6] Linetsky M, Raghavan CT, Johar K, et al. UVA light-excited kynurenines oxidize ascorbate and modify lens proteins through the formation of advanced glycation end products: implications for human lens aging and cataract formation. *J Biol Chem*. 2014;289(24):17111-17123. DOI: <https://doi.org/10.1074/jbc.M114.554410>
- [7] Linetsky M, Ranson N, Ortwerth BJ. The aggregation in human lens proteins blocks the scavenging of UVA-generated singlet oxygen by ascorbic acid and glutathione. *Arch Biochem Biophys*. 1998;351(2):180-188. DOI: <https://doi.org/10.1006/abbi.1997.0548>
- [8] Zhao WJ, Yan YB. Increasing susceptibility to oxidative stress by cataract-causing crystallin mutations. *Int J Biol Macromol*. 2018;108:665-673. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.013>
- [9] Seo EJ. Analysis of light transmittance according to material of spectacle lens. MS Thesis. Eulji University, Daejeon. 2019;11-17.
- [10] Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, et al. ICRP PUBLICATION 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs—threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP*. 2012;41(1-2):1-322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.02.001>
- [11] Worgul BV, Kundiyevev YI, Sergiyenko NM, et al. Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res*. 2007;167(2):233-243. DOI: <https://doi.org/10.1667/RR0298.1>
- [12] Ainsbury EA, Dalke C, Hamada N, et al. Radiation-induced lens opacities: epidemiological, clinical and experimental evidence, methodological issues, research gaps and strategy. *Environ Int*. 2021;146:106213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106213>
- [13] Scalchi P, Magagna J, Montenegro GM, et al. Eye lens dose monitoring in interventional radiology. *Phys Med*. 2018;52 (Supplement1):83-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2018.06.291>
- [14] Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M, et al. Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *Am J Epidemiol*. 2008;168(6):620-631. DOI: <https://doi.org/10.1093/aje/kwn171>
- [15] Diallo ML, Simonet P, Frenette B, et al. Resistance of plastic ophthalmic lenses: the effect of base curve on different materials during static load testing. *Optom Vis Sci*. 2001;78(7):518-524. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-200107000-00015>
- [16] Kim SC. Analysis of radiation fusion shielding performance of ytterbium oxide, a radiation impermeable substance. *J Korea Converg Soc*. 2021;12(4):87-94. DOI: <https://doi.org/10.15207/JKCS.2021.12.4.087>
- [17] Oikawa T, Saito K, Kurihara K, et al. Evaluation of x-ray protective goggles in mitigating eye lens radiation exposure during radiopharmaceutical handling and patient care in nuclear medicine. *Global Health and Medicine*. 2024; 6(4):244-250. DOI: <https://doi.org/10.35772/ghm.2024.01023>
- [18] Lucido JJ, Veres AJ, Kehret SM, et al. Development of transparent eye shields for total skin electron beam radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys*. 2022;23(9):e13722. DOI: <https://doi.org/10.1002/acm2.13722>
- [19] Ohno S, Konta S, Shindo R, et al. Effect of backscatter radiation on the occupational eye-lens dose. *J Radiat Res*. 2024;65(4):450-458. DOI: <https://doi.org/10.1093/jrr/trae034>

## 도수 변화에 따른 안경렌즈의 방사선 차폐율에 관한 연구

한범희<sup>1</sup>, 안영주<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>백석문화대학교 방사선과, 교수, 천안 31065

<sup>2</sup>백석문화대학교 안경광학과, 교수, 천안 31065

투고일(2025년 8월 8일), 수정일(2025년 8월 19일), 게재확정일(2025년 9월 10일)

**목적:** 본 연구는 도수에 따른 렌즈 두께 변화가 방사선 차폐율을 분석하여 수정체에 대한 차폐 효과에 어떠한 영향을 미치는지를 실험적으로 검증하였다. **방법:** 안경렌즈의 도수 -0.25, -2.50, -4.00 D에 따라 중심점을 선택하여 방사선을 조사하였다. 방사선 조사 조건은 방사선량 10, 20, 32 mAs에서 각각 고정하고 관전압 40, 60, 80, 100, 그리고 120 kVp로 변경하면서 5회 조사하여 평균과 표준편차를 구하고 이를 입사표면선량(entrance surface dose; ESD)으로 간주하여  $\mu\text{Gy}$  단위로 표시하고 각 실험값에 대해 방사선 차폐율을 비교 분석하였다. **결과:** 10 mAs일 때 40 kVp 조건에서 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 6.97%로 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -4.00 D에서 4.75%로 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다. 120 kVp 조건에서는 안경렌즈의 도수 -4.00 D에서 3.32%로 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -0.25 D에서 2.61%로 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다. 20 mAs일 때 40 kVp 조건에서 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 5.67%로 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -4.00 D에서 3.92%로 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다. 120 kVp 조건에서는 안경렌즈의 도수 -4.00 D에서 3.12%로 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -2.50 D에서 2.85%로 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다. 32 mAs일 때 40 kVp 조건에서 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 5.38%로 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -2.50 D에서 4.52%로 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다. 120 kVp 조건에서는 안경렌즈의 도수 -0.25 D에서 3.60%로 가장 높은 방사선 차폐율을 보였고, -2.50 D에서 3.45%로 가장 낮은 방사선 차폐율을 보였다. **결론:** 방사선량과 에너지가 낮을수록 방사선 차폐율은 높게 나타나 차폐 효과가 증가하였으며, 방사선량과 에너지가 높을수록 차폐의 효과가 상대적 줄어들었다.

**주제어:** 안경렌즈, 도수, 방사선 차폐율, 방사선측정기, 수정체선량