

Correlation between Optometric Dispensing Errors and Optical Performance

Beomjun Kim^{1,a}, Hyungoo Kang^{2,b}, and Sang-il Park^{2,c*}

¹Dept. of Biomedical Engineering, Catholic Kwandong University, Student, Gangneung 25601, Korea

²Dept. of Optometry, Catholic Kwandong University, Professor, Gangneung 25601, Korea

(Received November 21, 2022: Revised December 8, 2022: Accepted December 12, 2022)

Purpose: This study was aimed at investigating whether changes in light transmittance depend on the pantoscopic angle and distance between the optic point in lenses with different indices, refractive powers, and coatings. **Methods:** Lenses with different refractive indices, refractive powers, and coatings were enrolled, and light transmittance was measured using a spectrophotometer. **Results:** Light transmittance of the lenses decreased by 1.20% when pantoscopic tilts were increased. Light transmittance correlated most strongly with a lens with a refractive index of 1.56. Light transmittance of the lenses decreased by 5.59% when the distance from the optic point was increased. The amount of decrease in light transmittance was the largest in the -3.00 D lens. As the distance from the optic point increased, the decrease in light transmittance correlated more strongly in all lenses. **Conclusions:** The results of this study confirmed that the decrease in light transmittance was related to the distance from the optic point rather than the pantoscopic tilt.

Key words: Light transmittance, Pantoscopic tilt, Optic point, Refractive index, Refractive power

서 론

물체로부터 나온 광선은 눈의 굴절 매체를 통과하여 굴절된 후 망막에 결상이 되고 망막에서 결상된 상은 전기적 신호로 전달되어 대뇌에서 상을 인식한다.^[1] 굴절이상 은 눈의 굴절매체를 통한 상이 망막에 점상으로 상을 맺지 못하게 된 상태로 유전적, 환경적 요인에 의해 영향을 받으며, 최근 잦은 근거리 활동이 굴절이상 증가의 원인이 되는 것으로 알려져 있다.^[2] 대한안경사협회의 2021년 19세 이상 성인의 안경 착용률 조사 결과에 따르면 우리나라 성인의 약 55% 이상이 안경을 착용하고 있는 것으로 보고되어 있다.^[3] 현대의 안경은 눈의 굴절이상, 안위 이상, 조절 및 폭주 기능을 보정하는 시기능 교정용 안경, 스포츠 및 작업상의 안전을 위한 보호용 안경, 그리고, 패션을 위한 안경 등 다양한 용도로 사용된다. 또한, 일상생활에서 태양광선의 적외선, 자외선과 같은 유해 광선 노출을 차단하기 위한 유해 광선 차단용 안경과 함께 스마트기기에서 발생하는 가시광선 파장 중 청색광의 차단을 위한 안경이 사용되기도 한다.^[4]

안경렌즈에서 발생하는 광학적 수차를 최소화하기 위해서는 빛이 렌즈 면에 수직으로 입사하도록 하기 위해 안

경의 경사각과 동공 중심간 거리를 잘 조정해야 한다. 근거리 주시에선 조준선이 아래로 향하게 되어 경사각의 크기는 커진다. 일반적으로 원용 안경의 경사각은 10°~15° 사이이며 근용 안경의 경우 15°~20°로 조제가공된다. 좌우 동공 간 거리가 달라지는 경우 프리즘의 영향이 생겨 양안단일시를 하기 위한 운동성 융합에 필요 이상의 부담이 가게 된다.^[5] 경사각이나 동공 중심간 거리가 바르지 않은 안경을 착용하게 되면 광축에서부터 입사점의 거리가 멀어지게 되어 여러 가지 수차가 발생하며 시야 내 상이 왜곡되고 흐려 보이게 된다. 또한 안경 사용자의 부주의로 인하여 안경에 변형이 일어나거나 미관상의 이유, 잘못된 조제가공 등의 이유로 착용 안경의 광학중심점에 주시점이 일치하지 못하게 되는 경우가 생길 수 있다.^[6]

안경렌즈의 광투과율은 360 nm~780 nm 파장의 가시광선 영역을 측정하며 이러한 광투과율이 높아야 밝고 선명한 시야를 확보할 수 있다. 광투과율은 렌즈의 굴절률에 의해 가장 큰 영향을 받으며, 렌즈의 다층반사방지막 코팅을 이용해 투과율의 획기적인 개선이 이루어졌다.^[7,8] 하지만, 빛이 굴절률이 다른 매질을 통과할 때 매질의 경계면에서의 입사각이나 렌즈의 두께에 의한 변수들은 렌즈의 광투과율을 저하하는 요인이 될 수 있다. 색 렌즈의 색상

*Corresponding author: Sang-il Park, TEL: +82-33-649-7406, E-mail: sangil@cku.ac.kr

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0000-0003-3281-2743>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-1200-9913>, ^c<https://orcid.org/0000-0002-5015-0416>

본 논문의 일부내용은 2021년도 한국인광학회 동계학술대회에서 포스터로 발표되었음

이 광투과율에 영향을 끼친다는 연구 결과가 있으며,^[9] Park의 연구^[10,11]에 따르면 안경렌즈의 코팅이 광투과율에 영향을 미친다는 연구 결과가 있다. 안경 사용자들이 안경을 사용하면서 정확한 정점간거리와 경사각이 유지된 상태로 사용을 하는 경우는 적다. 특히 최근 유행하는 선글라스와 색상 안경들은 외관상의 이유로 인해 경사각이 무시되는 경우가 많이 있으며 광학중심점의 중요성이 무시된 안경 및 선글라스들이 출시되고 있다. 광학중심점이 경사각이나 렌즈의 정점간거리에서 멀어지게 되는 것이 투과율에 영향을 미친다는 사실은 잘 알려져 있지만, 이에 관한 정량적 지표는 부족한 실상이다. 달라진 정점간거리와 경사각으로 인하여 생기는 프리즘이나 시차에 대한 연구는 진행되었지만,^[6] 광투과율에 생기는 영향에 대한 자료가 부족하다는 판단에 본 연구에서는 안경렌즈의 코팅과 굴절률, 굴절력이 다른 다양한 렌즈에서 경사각의 변화와 렌즈의 광학중심점에서 멀어지는 거리에 따른 광투과율의 변화를 알아봄으로써 렌즈의 투과율에 대한 기초 자료를 제공하고, 각각의 위치에 따른 광투과율변화의 수치를 측정함으로써 안경 및 선글라스 개발에 기초자료를 제공함과 동시에 정확한 조제가공의 필요성에 대한 자료를 제공하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상

본 실험에 사용한 렌즈는 멀티코팅 렌즈 3종(Lens A: Index 1.56, Lens B: Index 1.61, Lens C: Index 1.67)과 청광차단 코팅렌즈 1종(Lens D: Index 1.61), 전자파차단 코팅렌즈 1종(Lens E: Index 1.61)의 5종류의 렌즈(CHEMI, chemiglass, Korea)를 사용하였다. 각각의 렌즈별로 굴절력 0.00 D, +3.00 D, -3.00 D, -6.00 D인 렌즈를 사용하였다(Table 1).

2. 방법^[12,13]

각 렌즈의 광투과율의 측정은 자외선 가시광선 분광측색계(CM-3600A, KONICA MINOLTA, Japan)를 이용하여 측정하였으며 측정 파장 범위는 가시광선 영역인 360 nm ~ 780 nm로 설정하였다. 시료의 측정구경은 측정하고자 하는 지점의 최소범위를 측정하기 위해 2.50의 마스크를

이용하여 국소투과율을 측정하였다. 안경렌즈의 경사각에 따른 광투과율의 변화를 확인하기 0°~24°까지 6° 단위로 변화를 주어 측정하였으며, 광학중심점으로부터의 거리에 따른 광투과율 변화 측정을 위한 실험의 경우 분광측색계 측정기기 내부에 눈금을 장착하여 광학중심점을 측정기준점과의 거리가 6 mm, 9 mm, 12 mm, 15 mm가 되도록 이동하여 측정하였다. 파장에 따른 광투과율의 분석은 spectra magic(NX, KONICA MINOLTA, Japan)을 이용하여 분석하였으며 각 시료는 투과율에 방해되는 이물질은 제거하고 각각 4회씩 측정하였다.

3. 통계처리

본 실험에서는 렌즈의 굴절률, 코팅, 굴절력이 다른 20종의 렌즈에서 경사각과 렌즈의 광학중심점에서의 거리에 따른 광투과율의 변화를 비교하였다. 렌즈의 굴절률, 코팅, 굴절력과 같이 세 그룹 이상의 평균 비교는 One-way ANOVA (Prism, Graphpad software, San Diego, USA)를 실시하였고, 사후분석은 Bonferroni 분석을 사용하였다. 각각의 test에서 신뢰도 95%를 기준으로 할 때, 유의수준(p -value)이 0.05 이하이면 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다. 또한, 경사각의 증가 및 광학중심점과의 거리에 따른 광투과율 비교를 위해 상관분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 경사각의 변화에 따른 광투과율 변화

안경렌즈의 경사각 변화에 따른 광투과율의 변화는 경사각이 0°에서 24°로 6° 간격으로 증가하였을 때 광투과율은 상대적으로 100.00±0.25%에서 98.80±1.51%로 약 1.20% 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 굴절률이 서로 다른 세 종류의 렌즈 A, B, C를 대상으로 비교하였을 때 각 굴절률별 렌즈의 광투과율 변화 값 평균은 굴절률 1.56인 렌즈 A에서는 98.52±2.28%로 약 1.48% 감소하였고 경사각이 24°인 경우에는 낮은 경사각과 비교하였을 때 통계적으로 유의한 감소를 확인할 수 있었다(0°: $p < 0.01$, 6°, 12°: $p < 0.05$). 굴절률이 1.61인 렌즈 B에서는 99.30±0.54%로 0.70% 감소하였고, 굴절률이 1.67인 렌즈 C에서는 98.38±1.80%로 1.62% 감소하는 것을 확인하였다. 렌즈의 코팅이 서로 다른 렌즈 B, D, E를 대상으로 실험을 진행한 결과 본 실험에선 렌즈의 코팅에 따른 광투과율 변화의 평균은 청광차단 코팅렌즈인 D의 경우 98.54±1.08%로 1.46% 감소를 확인하였으며, 전자파차단 코팅렌즈인 E에서는 99.26±1.08%로 0.74% 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 굴절력에 따른 광투과율 변화는 굴절률이 1.56인 렌즈 A의 +3.00 D에서는 투과율이 99.85±0.17%로 0.15% 감

Table 1. Specification of lenses used in the study

Lens	Lens A	Lens B	Lens C	Lens D	Lens E
Index	1.56	1.61	1.67	1.61	1.67
Coating	Multi, hard, UV, ultra-water repellent				
			Blue cut	EMI	

소하였고, 0.00 D에서는 $99.19\pm 0.16\%$ 로 0.09% 감소하였으며, -3.00 D에서는 $99.85\pm 0.09\%$ 로 0.15% 감소, -6.00 D에선 $95.18\pm 2.40\%$ 로 4.82% 감소를 보였다, 굴절률인 1.61인 렌즈 B에서 +3.00D, 0.00 D, -3.00 D, -6.00 D에서의 투과율은 굴절률별로 $99.89\pm 0.04\%$, $99.46\pm 0.36\%$, $98.79\pm 0.15\%$, $99.07\pm 0.62\%$ 로 각각 0.11%, 0.54%, 1.21%, 0.93% 감소하는 것을 확인하였다. 렌즈 A는 0.00 D, -3.00 D, -6.00 D에서 경사각 증가에 대한 광투과율 감소량이 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었으며($p<0.001$), +3.00 D에서는 통계적 유의한 증가 및 감소를 확인할 수 없었다. 렌즈 B와 렌즈 C의 경우 렌즈 B의 0.00 D, 렌즈 C의 -6.00 D를 제외한 모든 굴절력에서 경사각 증가에 대한 광투과율 감소가 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 청광차단코팅을 한 렌즈 D 또한, -6.00 D를 제외한 나머지 굴절력에서 통계적으로 유의한 광투과율 감소를 확인할 수 있었다. 하지만 전자파차단 코팅렌즈인 렌즈 E에서는 유의한 광투과율 감소를 확인할 수 없었다(Table 2, $p<0.001$). 전자파차단 코팅이 되어있는 렌즈 E에서의 투과율은 +3.00 D의 경우 투과율이 $99.93\pm 0.04\%$ 로 0.07% 감소, 0.00 D에서는 $99.93\pm 0.02\%$, -3.00 D에서는 $99.47\pm 0.37\%$,

-6.00 D는 $97.71\pm 1.09\%$ 로 경사각에 의한 광투과율의 일정한 변화량을 확인할 수 없었다.

경사각이 증가함에 따라 전자파차단 코팅렌즈 E를 제외한 나머지 렌즈에서는 굴절률이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며 렌즈 A는 경사각의 증가함에 따라 광투과율 감소량과의 상관관계가 다른 렌즈에 비해 상관성이 높은 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1-A, B, $r^2=0.961$). 렌즈의 굴절률에 따른 광투과율의 변화는 -3.00 D렌즈를 기준으로 굴절률이 1.56일 때 가장 큰 광투과율 감소를 확인하였으며 통계적으로 유의한 차이를 확인할 수 있었다. 전자파차단 렌즈와 청색광차단렌즈에서는 경사각에 따른 광투과율 변화의 차이는 확인할 수 없었는데 이는 코팅에 의한 영향이라고 판단된다. 경사각이 증가함에 따른 파장별 광투과율의 차이를 보면 렌즈의 굴절률과 코팅의 변화에 의해 특정 파장의 광투과율이 감소하는 것은 확인할 수 없었다.

2. 광학중심점에서의 거리에 따른 광투과율 변화

렌즈의 광학중심점에서 광투과율과 광학중심점으로부터 15 mm 이동하였을 때 광투과율은 상대적으로 $100.00\pm$

Table 2. Light transmittance according to the pantoscopic tilt for the refractive power

Diopter (D)	Transmittance (% , mean \pm SD)						
	Pantoscopic Angle (°)						
	0	6	12	18	24	Total decrease rate	
Lens A	+3.00	100.00 \pm 0.30	99.82 \pm 0.15	99.68 \pm 0.08	99.80 \pm 0.16	99.85 \pm 0.17	0.15 \pm 0.43
	0.00	100.00 \pm 0.08	99.90 \pm 0.05	99.82 \pm 0.10	99.56 \pm 0.16***	99.19 \pm 0.16***	0.81 \pm 0.10
	-3.00	100.00 \pm 0.55	98.92 \pm 0.25*	98.50 \pm 0.12**	98.82 \pm 0.15***	99.85 \pm 0.09***	0.15 \pm 0.55
	-6.00	100.00 \pm 0.06	99.44 \pm 0.12	99.04 \pm 0.17	98.87 \pm 0.69	95.18 \pm 2.40***	4.28 \pm 0.06
Lens B	+3.00	100.00 \pm 0.01	99.98 \pm 0.02	99.95 \pm 0.02	99.97 \pm 0.02	99.89 \pm 0.04***	0.11 \pm 0.04
	0.00	100.00 \pm 0.14	99.85 \pm 0.07	99.79 \pm 0.17	99.71 \pm 0.17	99.46 \pm 0.36	0.54 \pm 0.41
	-3.00	100.00 \pm 0.30	99.08 \pm 0.29	98.47 \pm 0.21***	98.19 \pm 0.12***	98.79 \pm 0.15***	1.21 \pm 0.25
	-6.00	100.00 \pm 0.34	99.38 \pm 0.23*	98.65 \pm 0.19	98.36 \pm 0.51	99.07 \pm 0.62***	0.93 \pm 0.80
Lens C	+3.00	100.00 \pm 0.01	99.97 \pm 0.01	99.96 \pm 0.01	99.98 \pm 0.01	99.87 \pm 0.06***	0.13 \pm 0.06
	0.00	100.00 \pm 0.01	99.98 \pm 0.01	99.98 \pm 0.01	99.99 \pm 0.01	99.91 \pm 0.03***	0.09 \pm 0.02
	-3.00	100.00 \pm 0.27	98.14 \pm 0.20**	96.86 \pm 0.28**	96.03 \pm 0.26***	95.62 \pm 0.04***	4.38 \pm 0.25
	-6.00	100.00 \pm 0.09	99.30 \pm 0.10*	98.44 \pm 0.13*	97.61 \pm 0.15**	98.10 \pm 0.27	1.90 \pm 0.22
Lens D	+3.00	100.00 \pm 0.03	99.96 \pm 0.02	99.95 \pm 0.03	99.88 \pm 0.06*	99.72 \pm 0.08***	0.28 \pm 0.10
	0.00	100.00 \pm 0.28	99.67 \pm 0.17	99.56 \pm 0.36	99.34 \pm 0.37	98.86 \pm 0.73*	1.14 \pm 0.84
	-3.00	100.00 \pm 0.58	98.93 \pm 0.53*	97.90 \pm 0.45*	96.90 \pm 0.18**	97.04 \pm 0.18**	2.96 \pm 0.51
	-6.00	100.00 \pm 0.31	99.62 \pm 0.21	99.09 \pm 0.27	98.69 \pm 0.34	98.56 \pm 0.51	1.44 \pm 0.63
Lens E	+3.00	100.00 \pm 0.01	99.93 \pm 0.02	99.87 \pm 0.01	99.86 \pm 0.02	99.93 \pm 0.04	0.07 \pm 0.05
	0.00	100.00 \pm 0.00	99.94 \pm 0.01	99.89 \pm 0.00	99.87 \pm 0.01	99.93 \pm 0.02	0.07 \pm 0.03
	-3.00	100.00 \pm 0.15	99.23 \pm 0.07	99.03 \pm 0.03	99.48 \pm 0.28	99.47 \pm 0.37	0.53 \pm 0.47
	-6.00	100.00 \pm 0.59	99.13 \pm 0.56	98.21 \pm 0.63	98.03 \pm 1.09	97.71 \pm 1.09	2.29 \pm 1.32

*** $p<0.001$, ** $p<0.005$, * $p<0.05$, Significantly different from each group compared

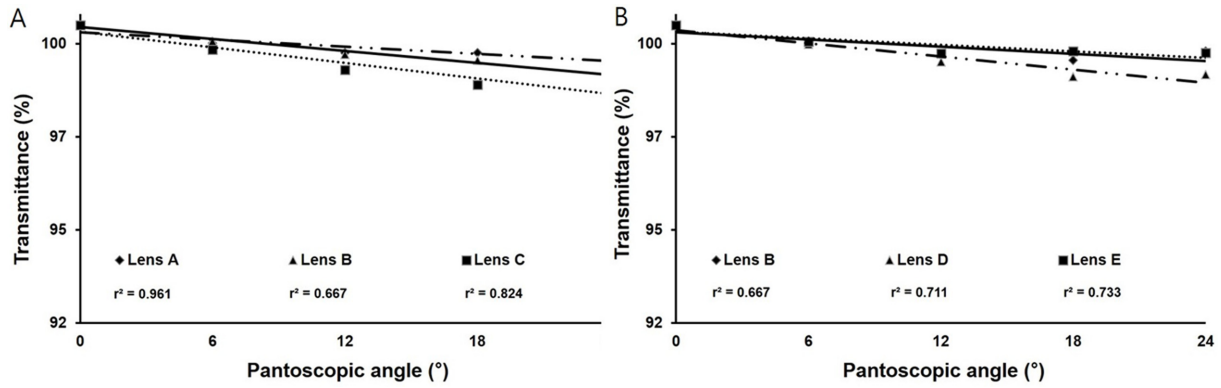


Fig. 1. Light transmittance according to the pantoscopic tilt. A. Lenses with different refractive indices, B. Lenses with different coatings.

0.87%에서 94.41±4.81%로 약 5.59% 감소하였다. 광학중심점에서의 거리에 따른 광투과율의 변화 또한 굴절률이 서로 다른 렌즈 A, B, C와 렌즈의 코팅의 종류가 서로 다른 렌즈 B, D, E로 나누어 비교하였다. 각 굴절률별 전체 렌즈의 광투과율 변화의 평균은 렌즈 A에서는 94.96±4.15%로 약 4.04% 감소하였으며, 렌즈 B에서는 93.74±3.83%로 6.62% 감소하였다. 굴절률이 가장 높은 렌즈 C의 경우 95.22±6.36%로 4.78% 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 모든 굴절률의 렌즈에서 광학중심점 기준 거리가 증가할수록 광투과율은 유의하게 감소됨을 확인할 수 있었다(Fig. 2-A, $p < 0.05$). 렌즈의 코팅에 따른 전체 렌즈의 광투과율 변화의 평균에서는 청색광차단 코팅렌즈인 렌즈 D의 경우 93.26 ±4.96%로 약 6.74% 감소하였고, 전자파차단 코팅인 렌즈 E에선 94.87±5.06%로 약 4.13% 감소하였다. 청색광차단 코팅렌즈와 전자파차단 코팅렌즈의 광투과율 또한, 광학중심점 기준 거리가 증가할수록 감소하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2-B, $p < 0.05$).

굴절률별 굴절력에 따른 광투과율의 변화에서는 렌즈 A의 +3.00D에서 투과율이 94.56±0.84%로 5.44% 감소하였

고, 0.00D에서는 99.96±0.02%로 감소량의 차이가 보이지 않았으며, -3.00 D에서는 90.34±0.60%로 9.66% 감소하였고, 렌즈 B의 경우 +3.00 D, 0.00 D, -3.00 D의 순서로 광투과율이 91.86±1.84%, 98.65±0.64%, 90.71±0.91%로 각각, 약 8.14%, 1.35%, 9.29% 감소하였다. 렌즈 C의 경우 +3.00D에서 투과율이 98.78±0.95%로 1.22% 감소, 0.00 D에서는 99.51±0.08%로 0.49% 감소, -3.00 D에서는 87.38±4.87%로 상대적으로 12.62% 감소함을 확인할 수 있었다. 굴절률이 다른 세 종류의 렌즈 A, B, C 모두 0.00 D의 경우 광투과율이 광학중심점 에서 보다 15 mm 이동하였을 때 광투과율이 감소하는 경향을 보였고, 굴절률과 광투과율의 감소는 상관관계가 없었으며, 모든 굴절률에서 굴절력이 -3.00 D인 경우 가장 큰 감소율을 보이는 것을 확인할 수 있었다(Table 3). 코팅 별 굴절력에 따른 광투과율 변화는 렌즈 D와 렌즈 E에서 0.00 D를 제외한 모든 굴절력에서 모두 통계적으로 유의미한 감소를 확인할 수 있었다. 렌즈 D의 굴절력이 +3.00 D인 경우에는 투과율이 88.31±1.63%로 11.69% 감소, -3.00 D에서는 92.16±2.01%로 7.84%의 감소율을 보였으며 렌즈 E는 +3.00 D에서의

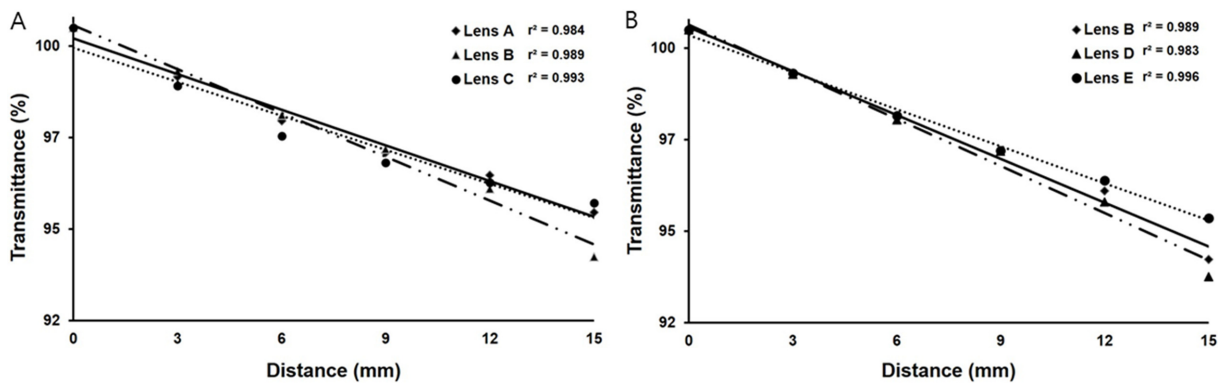


Fig. 2. Light transmittance according to the distance from the optic point. A. Lenses with different refractive indices, B. Lenses with different coatings

Table 3. Light transmittance according to the distance from the optic point for the refractive power

		Transmittance (% , mean±SD)						
		Distance (mm)						
Diopter (D)		0	3	6	9	12	15	Total decrease rate
Lens A	+3.00	100.00±0.03	99.95±0.01	99.91±0.02	99.94±0.03	99.12±0.27***	94.56±0.84***	5.44±0.84
	0.00	100.00±0.01	100.00±0.00	100.00±0.00	99.98±0.01	99.92±0.02	99.96±0.02*	0.04±0.03
	-3.00	100.00±1.30	96.03±0.89***	92.46±0.59***	89.84±0.19***	88.88±0.08***	90.34±0.60***	9.66±0.99
Lens B	+3.00	100.00±0.01	99.99±0.01	99.97±0.01	99.75±0.16	97.85±0.54	91.86±1.84***	8.14±1.83
	0.00	100.00±0.00	99.99±0.01	99.97±0.01	99.94±0.01	99.93±0.02	98.65±0.64*	1.35±0.64
	-3.00	100.00±1.83	96.46±1.28***	92.90±0.63***	90.40±0.48***	89.02±0.08***	90.71±0.91	9.29±2.62
Lens C	+3.00	100.00±0.00	99.99±0.01	99.99±0.01	99.95±0.02	99.85±0.08	98.78±0.95**	1.22±0.95
	0.00	100.00±0.01	99.99±0.00	99.99±0.00	99.99±0.00	99.96±0.04	99.51±0.08***	0.49±0.08
	-3.00	100.00±1.19	95.26±0.83***	91.15±0.43***	88.99±0.18***	87.51±0.04***	87.38±4.87***	12.62±4.34
Lens D	+3.00	100.00±0.01	99.98±0.01	99.98±0.01	99.64±0.35	96.33±1.13***	88.31±1.63***	11.69±1.63
	0.00	100.00±0.01	99.97±0.01	99.97±0.01	99.96±0.01	99.98±0.01	99.32±0.18	0.68±0.18
	-3.00	100.00±2.76	96.42±1.52***	92.70±0.67***	90.48±0.23***	89.59±0.05***	92.16±2.01***	7.84±4.68
Lens E	+3.00	100.00±0.02	99.96±0.02	99.94±0.02	99.86±0.04	99.37±0.51	95.41±4.08*	4.59±4.07
	0.00	100.00±0.01	100.00±0.00	99.97±0.01	99.92±0.01	99.85±0.02	99.94±0.07	0.06±0.07
	-3.00	100.00±0.95	96.50±1.28***	93.10±1.29***	90.32±0.90***	88.44±0.17***	89.26±0.78***	10.74±1.04

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.005$, * $p < 0.05$, Significantly different from each group compared

투과율이 95.41±4.08%로 4.59% 감소, -3.00 D에서는 89.26±0.78%로 10.74% 감소하였음을 확인할 수 있었다(Table 3).

렌즈의 광학중심점에서 거리가 멀어질수록 광투과율의 감소량은 실험에 사용한 모든 렌즈에서 높은 상관관계를 확인할 수 있었다(Fig. 2-A,B). 렌즈의 굴절률의 증가에 따른 광투과율의 변화는 -3.00D렌즈를 기준으로 굴절률이 1.67일 때 가장 큰 광투과율 감소를 확인할 수 있었으며 상관관계 또한 가장 높은 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2-A). 코팅이 다른 렌즈 또한, 높은 상관관계를 가지며 전자 파차단렌즈에서 가장 높은 상관관계를 확인할 수 있었다(Fig. 2-B).

광학중심점과 측정기준점의 거리가 증가함에 따른 파장별 광투과율의 차이는 렌즈의 굴절률과 코팅의 변화에 의해 특정 파장의 광투과율이 감소하는 것을 경사각의 변화에서와 마찬가지로 확인할 수 없었다.

광투과율의 변화는 경사각에 의한 변화보다 광학중심점과의 거리가 더 큰 영향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 입사광과 경계면의 각도에 의한 감소보다는 렌즈의 두께의 변화가 광투과율에 더 큰 영향을 미치는 것이라고 사료되며, 굴절률이 0.00D인 렌즈에서는 정면의 경사각 변화나 광학중심점에서의 거리 변화에 의한 광투과율의 변화를 확인할 수 없었다. 경사각과 광투과율의 상관관계 또한 광학중심점까지의 거리의 증가가 더 큰 상관관

계를 보이는 것을 확인할 수 있는데 이 또한 렌즈의 두께 변화로 인한 광로장의 증가가 렌즈의 광투과율에 영향을 미쳤다고 판단된다. Wang 등¹⁴의 연구에 의하면 렌즈의 두께가 광투과율에 영향을 미친다고 보고되어 있는데, 본 연구 결과 또한 광학중심점간의 거리 변화는 렌즈의 두께 변화와 연관되어 있고 이러한 변화를 통해 광투과율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

결론

본 연구에서는 여러 가지 변수의 안경렌즈가 안경 착용자의 경사각이나 정점간거리 같은 다양한 원인으로 인하여 착용자의 기준점으로부터 달라졌을 때 생길 수 있는 경사각과 광학중심점의 변화가 안경렌즈의 변수와 광투과율의 상관관계를 알아보려고 하였다. 광투과율의 미소 변화는 경사각에 의한 변화보다 광학중심점과의 거리가 더 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었으며 평면렌즈를 제외한 모든 굴절력의 렌즈에서 미소 광투과율의 감소를 확인할 수 있었다. 경사각의 변화와 광학중심점간의 거리 변화에 따른 광투과율의 상관관계 또한 광학중심점의 거리 변화가 더 큰 상관관계를 확인할 수 있었으며, 특정 파장의 광투과율 감소는 경사각이나 광학중심점과의 거리에 영향을 미치지 않는 것으로 확인하였다.

광학중심점과의 거리를 다르게 하여 광투과율을 측정 한 후 광학중심점의 광투과율을 기준으로 비교한 결과 굴절률과 렌즈의 다양한 변수에 따른 유의한 차이는 확인할 수 없었다. 안경렌즈의 변수에 따라 광투과율은 부분 감소하는 경향을 보였지만 큰 상관관계를 보이지 않았다. 하지만 모든 렌즈에서 경사각의 증가에 따라 투과율의 감소가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구 결과는 렌즈의 다양한 변수가 광투과율에 영향을 미치는지를 확인하였고, 안경 조제가공시 발생할 수 있는 경사각 및 광학중심점의 정확한 조제가공의 중요성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2022RIS-005)

REFERENCES

- [1] Lim HS, Ji TS, Kim BH. A study on the optical properties of eye-glasses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 1997;2(1): 31-43.
- [2] Oh SJ, Noh JH, Moon BY, et al. Relationship between more myopic errors and accommodative functions after nearwork. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2021;26(4): 261-266. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2021.26.4.261>
- [3] Lee YI, Park SH, Jeon IC. The wearing rate of vision correction spectacles in korea(2013~2019). *Korean J Vis Sci.* 2020;22(3):259-276. DOI: <https://doi.org/10.17337/JMBI.2020.22.3.259>
- [4] Ouyang X, Yang J, Hong Z, et al. Mechanisms of blue light-induced eye hazard and protective measures: a review. *Biomed Pharmacother.* 2020;130:110577. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110577>
- [5] Kim SK, Sung A. The clinical study on spectacle wearers of highschool students. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2004;9(1):19-27.
- [6] Kim JH. A study of effects to the quantity of phoria by the refractive error and the conformity to the optical center and the pupillary center. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2004;9(2):361-370.
- [7] Ozdemir T, Saglam A, Ozdemir FB, et al. The evaluation of spectral transmittance of optical eye-lenses. *Optik.* 2016; 127(4):2062-2068. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.11.034>
- [8] Kim TH, Sung AY. Physical characterization and contact lens application of polymer produced with propylene glycol additive. *J Korean Chem Soc.* 2010;54(1):105-109. DOI: <https://doi.org/10.5012/JKCS.2010.54.01.105>
- [9] Lee SH, Lee YJ, Cho HG. Changes of contrast sensitivity according to light transmittance of color lenses. *J Kor Acad Ind Coop Soc.* 2009;10(11):3427-3433. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.11.3427>
- [10] Park M. Fabrication and characterization of coated blue-light blocking lens. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2020;25(3): 307-314. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2020.25.3.307>
- [11] Park MC. Study for transmittance changes with the thicknesses of ito and water-repellent films of ophthalmic lens. *Korean J Vis Sci.* 2017;19(2):139-147. DOI: <https://doi.org/10.17337/JMBI.2017.19.2.139>
- [12] Yu DS, Moon BY, Kim DH, et al. Evaluation of transmittance characteristics of contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2007;12(2):37-45.
- [13] Gursoy H, Basmak H, Esen H, et al. Transmittance spectrum of unbranded sunglasses using spectrophotometer. *Open J Ophthalmol.* 2015;5(1):1-5. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojoph.2015.51001>
- [14] Wang K, Wen W, Liu H, et al. Transmittance characterization of objective lenses covering all four near infrared optical windows and its application to three-photon microscopy excited at 1820 nm. *IEEE Photonics J.* 2018; 10(3):3900607. DOI: <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2018.2828435>

안경조제가공 오차와 광학적 성능의 상관관계에 관한 연구

김범준¹, 강현구², 박상일^{2,*}

¹가톨릭관동대학교 대학원 의료공학과, 학생, 강릉 25601

²가톨릭관동대학교 의료융합대학 안경광학과, 교수, 강릉 25601

투고일(2022년 11월 21일), 수정일(2022년 12월 8일), 게재확정일(2022년 12월 12일)

목적: 본 연구에서는 굴절률, 굴절력, 코팅이 다른 다양한 렌즈에서 경사각의 변화와 렌즈의 광학중심점에서 멀어지는 거리에 따른 광투과율의 변화를 알아보았다. **방법:** 광투과율 측정에 사용된 렌즈는 멀티코팅 렌즈 3종과 청광차단 코팅렌즈 1종, 전자파차단 코팅렌즈 1종의 5종류의 굴절률, 굴절력, 코팅이 다른 렌즈별로 굴절력 0.00 D, +3.00 D, -3.00 D, -6.00 D인 렌즈를 사용하였다. 광투과율은 분광측색계를 이용하여 경사각과 광학중심점 사이의 거리를 다르게 광투과율을 측정하였다. **결과:** 안경렌즈의 광투과율은 경사각이 증가함에 따라 약 1.20% 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 굴절률이 다른 렌즈에서의 광투과율 감소의 차이는 없었고, 코팅이 다른 렌즈 중 전자파차단렌즈에서는 광투과율의 감소를 확인할 수 없었다. 굴절력에 다른 렌즈에서는 굴절률이 1.56인 렌즈에서 가장 큰 상관관계를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 광학중심점과의 거리에 따른 광투과율의 감소는 거리가 멀어짐에 따라 약 5.59% 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 모든 굴절률에서 광투과율의 감소량 차이는 확인할 수 없었으며, 굴절력은 -3.00 D의 렌즈에서 가장 큰 감소를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 광학중심점과의 거리가 멀어질수록 광투과율의 감소량은 모든 렌즈에서 높은 상관관계를 확인할 수 있었다. 경사각의 증가와 광학중심점과의 거리가 멀어질 때 특정 파장이 감소하는 것은 확인할 수 없었다. **결론:** 광투과율의 감소는 경사각에 의한 변화보다는 광학중심점간의 거리가 더 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었으며 평면렌즈를 제외한 모든 굴절력의 렌즈에서 광투과율의 감소를 확인할 수 있었다.

주제어: 광투과율, 경사각, 광학중심점, 굴절률, 굴절력