

Effect of Refractive Power and Diameter on Weight and Thickness in Spectacle Lenses for Myopia

Jae-Kyun Shim^{1,a}, Byeong-Yeon Moon^{2,b}, Hyun Gug Cho^{2,c}, Sang-Yeob Kim^{2,d}, and Dong-Sik Yu^{2,e,*}

¹Dept. of Medical Health Science, Graduate School, Kangwon National University, Student, Samcheok 25949, Korea

²Dept. of Optometry, Kangwon National University, Professor, Samcheok 25949, Korea

(Received January 2, 2024: Revised January 17, 2024: Accepted January 17, 2024)

Purpose: This study aimed to evaluate the effect of changes in diameter corresponding to lens size and refractive power on the thickness and weight of spectacle lenses for myopia. **Methods:** A comprehensive analysis of 147 pairs of commercially available spectacle lenses with different refractive indices (1.56, 1.60, 1.67, and 1.74) and powers (-2.00 D, -4.00 D, and -6.00 D) was conducted. Lenses with both spheric and aspheric designs were obtained from three companies. Subsequently, these lenses were ground to diameters of 45 mm, 50 mm, and 55 mm with flat edges. The thickness and weight were measured, and the factors related to the weight and thickness of the lens were analyzed. **Results:** Evaluation of the variations in lens diameter (1 mm) and refractive power (0.25 D) revealed that the weight of lenses was more significantly influenced by the changes in diameter rather than the refractive power. Conversely, edge thickness was more affected by the alterations in refractive power than the changes in diameter. At a fixed diameter and refractive power, weight-related factors exhibited the most substantial impact in the following order: center thickness, edge thickness, refractive index, and specific gravity. **Conclusions:** In patients requiring thinner and lighter spectacle lenses for myopia, changes in lens size and refractive power can aid in the selection based on weight and thickness, respectively. Additionally, changes in center and edge thickness, rather than refractive index and specific gravity, may be advantageous for selection based on weight at a given refractive power and lens size.

Key words: Spectacle lenses, Refractive power, Diameter, Weight, Thickness

서 론

전 세계적으로 굴절이상(refractive error)의 인구는 10억 ~20억 명으로 추산하고 있으며, 2050년까지 세계인구의 절반이 근시일 것으로 보고 있다.^[1,2] 근시의 비율은 지역마다 다를 수 있지만 특히 아시아 인구에서는 근시의 비율이 80%로 높다.^[3,4] 국민건강영양조사에 따르면 국내 근시의 유병률은 2013년 20~49세에서 70.6%,^[5] 2016년 5~18세에서 65.4%^[6]로 이전의 조사에 비하여 모두 증가하였고 이에 따른 시력 교정 인구도 늘어나고 있다.^[7] 굴절이상의 교정은 안경(spectacles)이나 콘택트렌즈(contact lens)에 의한 것이 대부분이고 이 중에서도 안경의 착용 비율이 70.9%로 높다.^[8-10] 이처럼 안경 착용 비율이 높은 만큼 안경테와 안경렌즈의 선택도 중요하다. 안경렌즈는 최근의 근시억제용 렌즈(myopia control lens)와 더불어 단초점

렌즈(single vision lens), 누진렌즈(progressive addition lens) 및 기능성 렌즈(absorptive lens) 등 매우 다양해졌다.^[11] 그러나 시력 교정은 대부분 단초점렌즈로 렌즈를 선택할 때 굴절률, 아베수, 비중과 같은 광학적 요소가 중요하다.^[12] 한편 시력 교정을 할 때 고객은 주로 안경렌즈의 두께는 얇고 무게는 가벼운 것을 요구한다. 안경사들은 이러한 관점에서 안경렌즈에 대한 정확한 광학적인 성능(optical performance)과 무게와 두께 등의 물리적인 치수(physical measure)를 고객에게 바르게 인식시킬 필요가 있을 것이다.

안경렌즈는 CR-39(굴절률, n=1.498)의 플라스틱 소재부터 중굴절(n=1.560) 렌즈, 고굴절(n=1.60) 렌즈, 초고굴절(n=1.67), 굴절률이 1.74, 1.76까지 다양한 렌즈를 시력 교정용 렌즈로 사용하고 있다.^[13,14] 이러한 렌즈들의 선택 기준은 굴절률과 아베수가 높고 비중이 낮은 것이다. 그러나 안경렌즈의 선택은 시력의 이상 정도와 안경테의 크기에

본 논문의 일부 내용은 심사위원의 석사학위 논문을 발췌하였음

*Corresponding author: Dong-Sik Yu, TEL: +82-33-540-3415, E-mail: yds@kangwon.ac.kr

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0009-0008-3644-9770>, ^b<https://orcid.org/0000-0003-0645-4938>, ^c<https://orcid.org/0000-0002-8267-3801>, ^d<https://orcid.org/0000-0001-6806-3305>,

^e<https://orcid.org/0000-0002-4387-4408>

따라 달리 선택될 수 있을 것이다. 원시 교정에 필요한 안경렌즈는 중심이 두껍고 가장자리 얇으며 근시 교정용 안경렌즈는 중심이 얇고 가장자리가 두꺼운 형태를 이루고 있다. 국내의 경우 대부분 근시로 이러한 근시 교정용 안경렌즈는 겉으로 드러나는 가장자리 두께와 무게에 민감하다. 이러한 관점에서 근시용 안경렌즈의 크기와 굴절력 변화에 따른 렌즈의 무게나 두께 변화를 이해하는 것은 고객과의 신뢰와 소통을 증진하는 데 중요할 것이다.

지금까지 안경렌즈의 무게와 두께에 관련된 연구는 유리 렌즈를 대상으로 다양한 굴절률과 렌즈 직경에 따른 마이너스 렌즈의 무게와 두께를 비교한 연구로서 플라스틱 렌즈의 조제가공에 따른 크기 변화를 고려한 것은 아니었다.^[15] 한편, 국내에서는 재질의 내충격 시험 평가^[16]나 투과율에 관련된 연구^[17,18]로 물리적 특성이나 광학적 성질에 관한 것이다. 무게와 두께에 관한 정보는 제조사들이 제공하는 다양한 사양을 바탕으로 파악할 수 있으나, 직접적으로 무게나 두께 변화와 관련된 연구나 자료는 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 안경렌즈 선택과 조제가공 상황을 고려하여 안경테의 크기 변화와 광학적 조건을 포함하는 물리적 치수의 변화에 해당하는 요소로 렌즈 크기와 굴절력 변화를 가했을 때 나타나는 근시용 안경렌즈의 무게와 두께 변화를 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료 선정

선정한 안경렌즈는 국내 유통되고 있는 플라스틱 안경렌즈로 쉽게 수집이 가능한 3개 사 제품으로 굴절률(refractive index)이 1.56, 1.60, 1.67 및 1.74이며 렌즈 디자인은 구면과 비구면 렌즈이다. 렌즈 종류를 구분하기 위해서 안경렌즈의 종류별 코드로 제조사 코드는 'A', 'B' 및 'C', 굴절률 코드는 굴절률의 1과 소수점을 제외한 굴절률 1.56인 경우 '56', 굴절률 1.60은 '60', 굴절률 1.67은 '67' 및 굴절률 1.74는 '74'로 부여하였고, 구면은 'a'로 비구면은 'b'를 부여하였다. 예를 들어 렌즈의 종류가 'B60a'라면 B사 제품으로 굴절률이 1.60인 구면렌즈를 의미하며, 모든 회사를 포함하는 경우 '60a'와 같이 표기하였다. 각 렌즈의 종류별 굴절력은 약도, 중등도와 고도 근시의 교정렌즈 굴절력으로 -2.00 D, -4.00 D와 -6.00 D로 한정하였다.

렌즈를 수집한 시점에서 현재 생산되지 않은 렌즈는 3개 회사 모두에서 굴절률 1.67과 1.74의 구면렌즈, A사의 굴절률 1.56의 구면렌즈, B사의 굴절률 1.56의 구면과 비구면 렌즈, 굴절률 1.74의 비구면렌즈, C사의 굴절률 1.74의 비구면 렌즈는 제외하였다. 각 렌즈 종류별로 2개(1조)

를 선정하여 A사 102개, B사 90개, C사 102개로 총 294개(147조)를 선정하였다.

2. 직경별 렌즈가공

안경렌즈 크기와 모양은 안경테 렌즈삽입부크기(eye size)의 소, 중, 대의 크기에 준하는 조제가공 후의 직경 크기가 45 mm, 50 mm와 55 mm인 원형으로 하였다. 렌즈의 광학적중심점과 기하학적 중심이 일치하도록 원형의 패턴을 이용하였고, 자동옥습기(Auto edger Mr Blue Sun & Sport, Essilor, France)를 사용하여 평산각으로 가공하였다. 가공된 각각 렌즈의 직경은 ± 0.05 mm 이내일 때 호칭크기(nominal size)으로 각각 45 mm, 50 mm와 55 mm로 하였다.

3. 렌즈의 굴절력 확인, 두께 및 무게 측정

렌즈의 굴절력은 렌즈미터(VX36, Visionix, Israel)로 확인하였고, 안경렌즈의 굴절력 기준규격의 허용오차는 ± 0.12 D 이내로 하였다. 안경렌즈 직경과 가장자리 두께 측정은 0.01 mm 단위로 측정할 수 있는 디지털 버니어 캘리퍼스(Digital vernier caliper DC200-2, CAS, Korea)로 하였고, 무게 측정은 0.01 g 단위로 측정할 수 있는 고분해 미량저울(Micro weighing scale MWII-H, CAS, Korea)을 이용하였고, 중심 두께는 0.01 g 단위로 측정이 가능한 두께 게이지(Digimatic indicator ID-S1012, Mitutoyo, Japan)로 사용하여 측정하였다. 렌즈 종류별로 2개(1조)에 대해 가장자리 두께와 렌즈 직경은 각각 다른 3지점에서 측정하여 평균하였고, 중심 두께와 무게는 연속 3번 측정하여 평균하였다. 수집된 데이터는 렌즈 2개에 대해 각각 3번 측정된 값을 평균으로 하였으며, A사, B사 및 C사의 개체 수(N)는 각각 51, 45, 51로 총 147이었다.

4. 자료 분석

수집된 자료는 MedCalc 소프트웨어(Version 12.7.7.0, MedCalc Software, Belgium)를 사용하여 통계 분석하였다. 자료는 렌즈 크기와 굴절력별 렌즈의 중심 두께, 가장자리 두께와 무게 등으로 구성되며 D'Agostino-Pearson 이용하여 정규분포 검정하였다. 두께와 무게의 평균 비교는 모수적 방법과 비모수적 방법으로 각각 일원배치분석(one-way ANOVA)과 Kruskal-Wallis으로 검정하였다. 각 자료 간의 상관관계는 모수적 방법의 Pearson 계수와 비모수적 방법의 Spearman 계수로 평가하였으며, 렌즈의 직경과 굴절력이 렌즈 무게에 미치는 영향이나 렌즈 두께가 렌즈 무게에 미치는 영향을 단순선형회귀분석(simple linear regression analysis)을 하였다. 통계 분석에서 유의확률(p)이 유의수준(α) 0.05 이하일 때 유의한 것으로 판정하였다.

결과 및 고찰

1. 렌즈 직경과 굴절력 변화에 따른 렌즈의 무게 변화

조제가공된 렌즈의 실제 직경은 44.99±0.02 mm(range: 44.96~45.03), 49.98±0.06 mm(range: 49.57~50.03)와 55.00±0.02 mm(range: 54.95~55.03)로 정확하였고 이를 각각의 호칭크기로서 직경 45 mm, 50 mm와 55 mm로 하였다. 렌즈 종류의 열거 순서는 일반적으로 알려진 무게나 두께가 감소하는 방향으로 굴절률과 렌즈 디자인별로 56a, 56b, 60a, 60b, 67b, 74b의 순으로 하였다.

Table 1과 같이 렌즈 직경에 따른 렌즈 종류의 평균 무게는 통계적으로 유의한 차이는 없었다(one-way ANOVA, $p=0.887$). 한편 45 mm, 50 mm와 55 mm 직경 간의 평균 무게는 유의한 차이를 보였다(one-way ANOVA, $p<0.001$). 모든 렌즈(N=147)를 직경 변화에 따른 무게 변화를 x축은 렌즈 직경, y축은 렌즈 무게로 하여 단순선형회귀분석으로 분석할 때 $y=-11.07+0.34x(r^2=0.604, p<0.001)$ 로 1 mm 당 0.34 g(7.94%)씩 증가하였다.

렌즈 종류별로 무게 변화는 유의하지 않았으나 굴절률 1.56의 구면에서 굴절률 1.67의 비구면 렌즈까지 미미한 감소 추세를 보였으며, 굴절률 1.74의 비구면의 무게는 굴절률 1.67 비구면렌즈보다 무거운 경향이였다. 이는 굴절률 1.74의 비중 증가가 굴절률 1.67의 비중 증가보다 큰 영향으로 보인다. 이러한 경향은 3개 사 모두 유사하였다.

또한, Table 2와 같이 렌즈의 굴절력에 따른 렌즈 종류의 평균 무게는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(-2.00 D: Kruskal-Wallis test, $p=0.428$; -4.00 D: one-way ANOVA, $p=0.868$; -6.00 D: Kruskal-Wallis test, $p=0.761$). 한편 -2.00 D, -4.00 D, -6.00 D간의 평균 무게는 유의한 차이를 보였다(Kruskal-Wallis test, $p<0.001$). 모든 렌즈(N=147)를 굴절력 변화에 따른 무게 변화를 x축은 렌즈의 굴절력, y축은 렌즈 무게로 하여 단순선형회귀분석할 때 $y=3.42, -0.63x(r^2=0.318, p<0.001)$ 로 -1.00 D당 0.63 g(13.49%)씩 증가하였다.

각각의 굴절력 -2.00 D, -4.00 D, -6.00 D에서 렌즈 종류별 무게는 3개 사 모두 굴절률 1.56의 구면에서 굴절률

Table 1. Means and standard deviations of weight for diameters

Lens ^a	Weight (g)				
	N	All diameters (N=147)	45 mm (N=49)	50 mm (N=49)	55 mm (n=49)
56a	21	6.13±1.76	4.50±0.62	5.97±0.99	7.91±1.45
56b	24	6.03±1.87 (-1.63%)	4.33±0.76 (-3.78%)	5.93±1.15 (-0.67%)	7.85±1.59 (-0.76%)
60a	27	5.80±1.85 (-5.38%)	4.17±0.76 (-7.33%)	5.70±1.14 (-4.52%)	7.55±1.68 (-4.55%)
60b	27	5.78±1.84 (-5.71%)	4.15±0.74 (-7.78%)	5.67±1.11 (-5.03%)	7.51±1.68 (-5.06%)
67b	27	5.70±1.77 (-7.01%)	4.15±0.74 (-7.78%)	5.62±1.10 (-5.86%)	7.34±1.64 (-7.21%)
74b	21	6.25±1.76 (+1.69%)	4.53±0.59 (+0.67%)	6.12±0.88 (+2.51%)	8.11±1.30 (+2.53%)
Mean		5.93±1.79	4.28±0.69	5.82±1.03 (+35.98%)	7.68±1.52 (+79.44%)

Data are presented as mean±standard deviation (SD), and rate of change in parentheses

Rate of change=[(lens weight - reference weight)/reference weight]×100% (Reference weight is based on a spherical lens with a refractive index of 1.56.)

Minus and plus signs indicate decrease and increase, respectively

^aTwo characters indicate the refractive index without 1 and decimal point, the last words show 'a' and 'b' letters for spheric and aspheric designs, respectively

Table 2. Means and standard deviations of weight for diopters

Lens	Weight (g)			
	N	-2.00 D (N=48)	-4.00 D (N=54)	-6.00 D (N=45)
56a	21	5.28±1.27	6.43±1.66	7.72±2.46
56b	24	4.83±1.22 (-8.60%)	6.30±1.65 (-2.04%)	7.45±2.07 (-3.11%)
60a	27	4.41±1.00 (-16.48%)	5.84±1.50 (-9.13%)	7.16±1.92 (-6.87%)
60b	27	4.43±1.01 (-16.06%)	5.76±1.42 (-10.45%)	7.15±1.95 (-6.99%)
67b	27	4.38±0.93 (-17.08%)	5.68±1.40 (-11.62%)	7.05±1.83 (-7.90%)
74b	21	4.68±1.21 (-11.42%)	5.91±1.43 (-8.13%)	7.12±1.85 (-7.25%)
Mean		4.67±1.09	5.99±1.47 (+28.27%)	7.20±1.84 (+54.18%)

See footnotes in Table 1

1.67의 비구면 렌즈까지 변화가 미미한 감소 추세거나 변화가 없었으며, 굴절률 1.74의 비구면의 무게는 굴절률 1.67 비구면렌즈보다 미미한 증가를 나타내었다. 이는 굴절률 1.74의 비중 증가가 굴절률 1.67의 비중 증가보다 큰 영향이 있는 것으로 보인다.

2. 렌즈 직경과 굴절력 변화에 따른 렌즈 중심 변화

렌즈 직경 변화에 따른 렌즈 중심 두께 변화는 Table 3과 같다. 이 결과는 각 굴절률에 따른 모든 굴절력을 45 mm, 50 mm, 55 mm 직경으로 분류했을 때 해당되는 중심 두께를 나타낸다. 평균 중심 두께 변화는 직경별로 유의한 차이를 보이지 않았고(one-way ANOVA, $F=0.087$, $p=0.917$), 각각의 직경에서 평균 중심 두께는 렌즈 종류별의 유의한 차이는 보였다(Kruskal-Wallis test, $H=46.21$, $p<0.001$). 특히 56a, 56b와 60a 간에 차이가 있었고, 60a, 67b와 74b 간에는 차이를 보이지 않았다.

굴절력(-2.00 D, -4.00 D, -6.00 D) 변화에 따른 렌즈 중심 두께 변화는 Table 4와 같다. 이 결과는 각 굴절률에 따른 모든 직경을 -2.00 D, -4.00 D, -6.00 D로 분류했을 때 해당되는 중심 두께를 나타낸다. 평균 중심 두께 변화는 굴절력 간에는 유의한 차이를 보이지 않았고(Kruskal-Wallis test, $H=4.15$, $p=0.124$), 각각의 굴절력에서 렌즈 종류 간에는 유의한 차이를 보였다(-2.00 D: Kruskal-Wallis test, $H=25.19$, $p<0.001$; -4.00 D: one-way ANOVA, $F=5.65$,

$p<0.001$; -6.00 D: Kruskal-Wallis test, $H=14.96$, $p=0.010$). 특히 56a, 56b와 60a 간에 차이가 있었고, 60a, 67b와 74b 간에는 차이를 보이지 않았다.

3. 렌즈 직경과 굴절력 변화에 따른 가장자리 두께 변화

렌즈 직경 변화에 따른 렌즈 가장자리 두께 변화는 Table 5와 같다. 평균 가장자리 두께 변화는 직경별로 유의한 차이를 보였고(Kruskal-Wallis test, $H=18.93$, $p<0.001$), 모든 렌즈($N=147$)를 직경 변화(x 축)에 따른 가장자리 두께 변화(y 축)를 단순선형회귀 분석할 때 $y=-0.79+0.08x$ ($r^2=0.145$, $p<0.001$)로 1 mm당 0.08 mm(2.76%)씩 증가하였다. 한편 각각의 직경에서 평균 가장자리 두께는 렌즈 종류별의 유의한 차이는 보이지 않았다(one-way ANOVA, $F=0.965$, $p=0.441$).

굴절력(-2.00 D, -4.00 D, -6.00 D) 변화에 따른 렌즈 가장자리 두께 변화는 Table 6과 같다. 평균 가장자리 두께 변화는 굴절력 간에는 유의한 차이를 보였고(Kruskal-Wallis test, $H=105.05$, $p<0.001$), 모든 렌즈($N=147$)를 굴절력 변화(x 축)에 따른 가장자리 두께 변화(y 축)를 단순선형회귀 분석할 때 $y=1.48-0.46x$ ($r^2=0.692$, $p<0.001$)로 -1.00 D당 0.46 mm (19.33%)씩 증가하였다. 또한 각각의 굴절력에서 렌즈 종류 간에도 유의한 차이를 보였으며(-2.00 D: Kruskal-Wallis test, $H=21.25$, $p=0.001$; -4.00 D: one-way ANOVA, $F=6.96$, $p<0.001$; -6.00 D: Kruskal-Wallis test,

Table 3. Means and standard deviations of center thickness for diameters

Lens	Center thickness (mm)					
	N	All diameters (N=147)	45 mm (N=49)	50 mm (N=49)	55 mm (N=49)	
All Co	56a	21	1.50±0.27	1.51±0.29	1.48±0.28	1.50±0.27
	56b	24	1.36±0.25	1.34±0.22	1.38±0.27	1.37±0.27
	60a	27	1.18±0.05	1.18±0.04	1.20±0.05	1.17±0.05
	60b	27	1.19±0.04	1.18±0.04	1.20±0.04	1.19±0.03
	67b	27	1.19±0.04	1.19±0.03	1.21±0.04	1.18±0.04
	74b	21	1.20±0.03	1.20±0.03	1.20±0.03	1.20±0.03

See footnotes in Table 1

Table 4. Means and standard deviations of center thickness for diopters

Lens	Center thickness (mm)					
	N	All diopters (N=147)	-2.00 D (N=48)	-4.00 D (N=54)	-6.00 D (N=45)	
All Co.	56a	21	1.50±0.27	1.60±0.28	1.47±0.26	1.28±0.02
	56b	24	1.36±0.25	1.40±0.23	1.43±0.31	1.21±0.03
	60a	27	1.18±0.05	1.19±0.05	1.19±0.04	1.16±0.05
	60b	27	1.19±0.04	1.21±0.04	1.19±0.04	1.18±0.03
	67b	27	1.19±0.04	1.18±0.05	1.19±0.03	1.21±0.03
	74b	21	1.20±0.03	1.19±0.02	1.20±0.02	1.20±0.04

See footnotes in Table 1

Table 5. Means and standard deviations of edge thickness for diameters

Lens	Edge thickness (mm)				
	N	All diameters (N=147)	45 mm (N=49)	50 mm (N=49)	55 mm (N=49)
56a	21	3.48±0.83	3.09±0.61	3.45±0.81	3.90±0.94
56b	24	3.49±0.95	3.06±0.74	3.48±0.91	3.94±1.06
60a	27	3.35±0.96	2.93±0.75	3.34±0.91	3.78±1.10
60b	27	3.31±0.92	2.88±0.73	3.31±0.84	3.73±1.06
67b	27	3.07±0.86	2.72±0.70	3.07±0.81	3.42±0.97
74b	21	3.12±0.69	2.73±0.51	3.09±0.62	3.54±0.76
Mean		3.30±0.88	2.90±0.67	3.29±0.80 (+13.45%)	3.71±0.96 (+34.83%)

See footnotes in Table 1

Table 6. Means and standard deviations of edge thickness for diopters

Lens	Edge thickness (mm)				
	N	All diopters (N=147)	-2.00 D (N=48)	-4.00 D (N=54)	-6.00 D (N=45)
56a	21	3.48±0.83	2.77±0.34	3.79±0.52	4.68±0.70
56b	24	3.49±0.95	2.54±0.37	3.73±0.50	4.57±0.60
60a	27	3.35±0.96	2.29±0.21	3.35±0.39	4.41±0.54
60b	27	3.31±0.92	2.30±0.21	3.30±0.36	4.32±0.54
67b	27	3.07±0.86	2.13±0.18	3.05±0.31	4.03±0.45
74b	21	3.12±0.69	2.05±0.20	2.89±0.31	3.71±0.46
Mean		3.30±0.88	2.38±0.35	3.35±0.51 (+40.76%)	4.22±0.59 (+77.31%)

See footnotes in Table 1

H=13.40, $p=0.020$), 렌즈 종류 간에는 굴절률이 낮을수록 감소하는 추세를 보였다.

4. 렌즈 두께와 무게와 관련된 변수 간의 상관관계와 영향력

모든 렌즈(N=147)에 대해 중심 두께, 가장자리 두께, 굴절률, 비중 및 무게 관련 변수 간에 상관관계 분석은 정규 분포일 때 모수적 방법의 Pearson 계수와 모수가 적어 정규성 검정을 할 수 없거나 검정하더라도 정규분포가 아닐 때 비모수적 방법의 Spearman 계수로 분석하였고 그 결과는 Table 7과 같다.

모든 렌즈에 대해 중심 두께와 가장자리 두께의 상관성은 보이지 않았으나($p=0.510$) 굴절률별로 나누어 분석할 때 -2.00 D에서 뚜렷한 상관성을, -4.00 D에서 약한 상관성을 보였다(각각 $r_s=0.683$, $p<0.001$; $r_s=0.272$, $p=0.048$). 렌즈 무게와 관련된 상관성은 중심 두께보다 가장자리 두께에서 강한 상관성을 보였다. 특히 가장자리 두께와 무게의 상관성은 -2.00 D, -4.00 D, -6.00 D로 나누어 분석할 때도 강한 양적 관계를 보였고(각각 $r=0.800$, 0.813 , 0.869 , $p<0.001$), 가장자리 두께를 x축, 렌즈 무게를 y축으로 하는 단순선형 회귀 분석에서 -2.00 D는 $y=-1.29+2.50x$ ($r^2=0.640$), -4.00 D는 $y=-1.86+2.34x$ ($r^2=0.661$)과 -6.00 D는 $y=-4.28+2.72x$ ($r^2=0.755$)

Table 7. Correlation coefficients between center and edge thickness, weight, and other parameters

Lens	CT vs. ET		CT vs. weight		ET vs. weight		RI vs. weight		SP vs. weight	
	r	p-value	r	p-value	r	p-value	r	p-value	r	p-value
All diopters	0.055 ^s	0.510	0.053 ^s	0.524	0.801 ^s	<0.001 [*]	-0.023 ^s	0.786	-0.019 ^s	0.820
-2.00 D (N=48)	0.683 ^s	<0.001 [*]	0.368 ^s	0.012 [*]	0.800	<0.001 [*]	-0.217 ^s	0.137	-0.165	0.263
-4.00 D (N=54)	0.272 ^s	0.048 [*]	0.133 ^s	0.333	0.813	<0.001 [*]	-0.179 ^s	0.193	-0.131	0.347
-6.00 D (N=45)	0.048	0.754	0.062	0.685	0.869	<0.001 [*]	-0.062	0.684	-0.073	0.635

r=correlation coefficient (Pearson's correlation coefficient). ^sSpearman's rank correlation coefficient), CT=center thickness, ET=edge thickness, RI=refractive index, SG=specific gravity

^{*} $p<0.05$ is considered statistically significant

Table 8. Correlation coefficients between edge thickness and weight for lens design

	Lens design	r	p-value	Regression equation	r ²
A Co.	Spheric design (N=15)	0.837	<0.001*	y=0.32+1.68x	0.700
	Aspheric design (N=36)	0.848	<0.001*	y=0.53+1.67x	0.718
B Co.	Spheric design (N=15)	0.855	<0.001*	y=-0.05+1.73x	0.730
	Aspheric design (N=30)	0.850	<0.001*	y=-0.18+1.87x	0.723
C Co.	Spheric design (N=18)	0.891	<0.001*	y=-0.09+1.76x	0.794
	Aspheric design (N=33)	0.856	<0.001*	y=0.10+1.78x	0.732
All Co.	Spheric design (N=48)	0.864	<0.001*	y=0.06+1.73x	0.747
	Aspheric design (N=99)	0.850	<0.001*	y=0.21+1.76x	0.723

r=Pearson's correlation coefficient

r²=coefficient of determination

*p<0.05 is considered statistically significant

로 가장자리 두께 1 mm 증가는 렌즈 무게 2.34~2.72 g 증가시킨다. 한편 굴절률과 비중은 렌즈 무게와 관련성을 보이지 않았다.

강한 양적 상관성을 보인 가장자리 두께와 무게 간의 영향력을 구면과 비구면으로 나누어 분석하기 위해 x축(독립변수)을 가장자리 두께로 하고, y축(종속변수)을 렌즈 무게로 하여 단순선형회귀 분석한 결과는 Table 8과 같다. 렌즈 제조사 모두 구면과 비구면 디자인의 렌즈는 결정계수(r²)가 0.700~0.794로 가장자리 두께가 렌즈 무게에 강한 영향을 주었다. 구면과 비구면별 렌즈 가장자리가 무게에 미치는 영향력을 선형회귀 모형으로 각각 74.5%와 72.3% 정도 설명할 수 있다.

5. 일정한 렌즈 크기와 굴절력에서 여러 변수 간의 상관관계

제조사에 3곳에서 수집된 안경렌즈는 렌즈 종류별 즉, 굴절률, 굴절력, 구면과 비구면 디자인별로 각각 2개를 선정하였으나 제조사별 생산 여건이나 매출 전략으로 일부 생산하지 않아 연구에서 배제하였다. 이렇게 배제된 렌즈의 영향을 최소화하기 위해 제조사별로 모두 구비가 가능한 렌즈는 -4.00 D의 렌즈였다. 본 연구에서 일정한 굴절

력과 일정한 크기에서 변수 간의 상관관계를 분석하기 위한 -4.00 D와 직경 50 mm의 렌즈로 한정하였다. 각 변수 간의 상관관계는 Table 9와 같다. 결과에서 렌즈의 중심 두께가 가장자리 두께보다 더욱 강한 양적 관계를 보였고, 굴절률과 비중은 뚜렷한 음적 상관관계였다. 그러나 렌즈 디자인은 무게와 상관성은 보이지 않았다.

안경은 테와 렌즈의 조합으로 구성되고 고객의 눈 상태, 선호도와 안경사와의 상담과 같은 일련의 과정을 통해 테와 렌즈가 선택된다. 특히 안경렌즈는 안경테의 모양과 크기, 시력 교정에 사용될 안경렌즈의 특성에 따라 선택될 것이다. 이러한 선택 과정에서 중요한 요소는 두께와 무게일 것이다. 본 연구는 선택이 가능한 안경렌즈, 즉 현재 유통되고 있는 플라스틱 안경렌즈를 제조사별, 렌즈 종류별로 선정하였고, 근시 안경렌즈에서 두께와 무게에 미치는 영향이나 상관성을 렌즈 크기, 굴절력, 굴절률, 구면과 비구면 디자인, 비중과 같은 요소를 중심으로 평가하였다.

렌즈 모양은 원형으로 하여 렌즈 직경이 1 mm 증가하면 렌즈 무게는 0.34 g 증가하였고, 근시 렌즈의 굴절력이 1.00 D(0.25 D) 증가하면 렌즈 무게는 0.63 g(0.16 g) 증가하였다. Tang의 연구^[15]에서 크라운 유리의 경우 직경 50 mm와 60 mm 기준으로 추산하면 직경 1 mm 증가는

Table 9. Correlation coefficients between weight and other variables under fixed lens diameter and refractive power

Lens	Weight				
	N	r	p-value	Direction of change	
All Co.	Center thickness	18	0.861 ^s	<0.001*	Increase with increasing edge thickness
	Edge thickness	18	0.684 ^s	0.005*	Increase with increasing edge thickness
	Refractive index	18	-0.587 ^s	0.016*	Decrease with increasing refractive index
	Specific gravity	18	-0.569 ^s	0.019*	Decrease with increasing specific gravity
	Lens design	18	-0.375 ^s	0.122	No significance between spheric and aspheric design

Values based on lens diameter of 50 mm and refractive power of -4.00 D, without missing data

r=correlation coefficient (Pearson's correlation coefficient. ^sSpearman's rank correlation coefficient)

*p<0.05 is considered statistically significant

렌즈 무게 1.65 g 증가시키고, 직경 50 mm 기준에서 굴절력 1.00 D 증가는 렌즈 무게 1.75 g 증가시켜 플라스틱 렌즈가 유리 렌즈보다 2.8~4.8배 가볍다는 것을 확인할 수 있었다. 이를 다양한 크기에 적용할 수 없으나 크기와 굴절력 변화에 따른 무게 변화를 상대적으로 평가할 수 있었다. 다시 말하자면 직경 1 mm 증가가 굴절력 1단계 (0.25 D) 증가보다 렌즈 무게에 미치는 영향이 크다는 의미이다.

한편 렌즈 직경이나 굴절력의 증가는 렌즈 종류별 무게에 통계적으로 유의한 변화를 주지 않았다. 굴절률이 높을수록 그리고 구면보다 비구면일수록 두께가 얇아 가볍다고 알려져 있다.¹⁹⁾ 비록 통계적으로 유의한 변화는 없었으나 무게 변화의 추이를 보면 굴절률이 크고 구면보다 비구면 렌즈일수록 렌즈 무게가 줄어드는 경향을 보였다. 굴절률이 1.74의 경우 굴절률이 1.67보다 오히려 무게가 증가하여 1.67보다 가볍다고 단정할 수 없다. 렌즈 종류 간에 비중 차이를 보면 굴절률 1.56, 1.60, 1.67과 1.74의 비중은 각각 1.28(A사) 또는 1.17(B사와 C사), 1.30(A사, B사와 C사), 1.35(A사) 또는 1.36(B사와 C사)과 1.47(A사, B사와 C사)로 굴절률 1.47일 때가 비중이 0.12 만큼 더 증가하는 요인으로 무게 증가한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 비중이 클수록 렌즈 무게가 무거워진다는²⁰⁾ 사실에 부합한다.

렌즈의 직경과 굴절력 변화는 가장자리 두께의 변화를 초래하고 렌즈 무게도 변한다. 결과에서 렌즈 직경 1 mm 증가는 렌즈 가장자리 두께를 0.08 mm 증가시키고 근시 렌즈 굴절력이 1.00 D(0.25 D) 증가하면 가장자리 두께 0.46 mm(0.12 mm) 증가시켰다. 이와 관련된 자료^[20,21]를 살펴보면 가장자리 두께는 굴절률 1.60 기준일 때 렌즈 직경 1 mm 증가는 0.02 mm 증가하고, 1.00 D 증가는 0.75 mm 또는 0.52 mm 증가하는 것으로 파악된다. 본 연구 결과는 이에 비해 렌즈 직경 변화에 따라 가장자리 두께가 크게 변하고, 굴절력 변화는 가장자리 두께가 작게 변한다. 그러나 관련 자료나 본 연구 모두 가장자리 두께에 미치는 영향은 굴절력이 렌즈 직경보다 크다는 의미는 같다. 한편, 단순선형회귀 분석의 결과에서 가장자리 두께 1 mm 증가는 렌즈 무게 2.34~2.72 g 증가시켰다. 이것은 앞서 언급한 렌즈 직경 1 mm 증가가 렌즈 무게를 0.34 g 증가시키고 굴절력 0.25 D는 0.16 g 증가시킨 것과 비교할 때 렌즈 무게에 미치는 영향이 큰 순서는 가장자리 두께, 렌즈 직경, 굴절력 순으로 나타났다. 이러한 경향은 가장자리 두께와 직경 굴절력과의 관계식^[14,22]으로부터 직경 1 mm 증가와 굴절력 0.25 D 증가는 가장자리 두께 1 mm 증가보다 작다는 것과 맥락을 같이 한다.

렌즈 직경과 굴절력 변화는 렌즈 중심 두께 변화와 관

련이 없었다. 이러한 결과는 렌즈 중심 두께는 렌즈 직경과 굴절력 변화에 따라 변화가 있는 것이 아니라 렌즈 재질에 따른 굴절력 범위와 외부 충격에 허용되는 최소의 중심 두께가 렌즈 설계 단계에서 미리 결정^[23]되는 것으로 여겨진다. 또한, 렌즈 굴절률과 비중의 렌즈 무게와의 관련성은 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 렌즈 크기와 굴절력 변화에서 렌즈의 굴절률과 비중이 렌즈 무게의 주요한 요소가 아님을 의미한다.

렌즈 크기와 굴절력 변화에 따라 구면과 비구면 디자인별 가장자리 두께 변화가 렌즈 무게에 미치는 영향을 설명하기 위해 결정계수로 확인하였다. 구면과 비구면에서 결정계수가 각각 74.7%와 72.3%로 나타나 디자인에 관계 없이 가장자리 두께가 렌즈 무게에 강한 영향을 미치는 것으로 설명할 수 있다.

렌즈 크기와 굴절력 변화가 아닌 렌즈 크기와 굴절력이 일정할 때 중심 두께와 렌즈 무게의 변화는 강한 양적 상관관계를 보였고, 가장자리 두께와 렌즈 무게의 변화는 뚜렷한 양적 상관관계를 보였다. 두께 변화에 따른 무게의 변화는 가장자리 두께가 중심 두께보다 더 낮은 상관계수를 보였다. 중심 두께가 거의 일정한 상태에 비하여 가장자리 두께가 변화되어 무게와의 상관성이 높게 예상되었지만 반대의 결과였다. 이러한 결과는 원자료를 바탕으로 분석하면 굴절률 1.74에서 가장자리 두께가 얇아도 불구하고 렌즈 무게가 무겁기 때문인 것으로 추정된다. 굴절력 및 비중과 렌즈 무게 간의 관계는 뚜렷한 음의 상관관계로 감소하는 경향을 보였다. 구면 및 비구면의 디자인과 렌즈 무게 간의 상관성은 통계적으로 유의하지 않았고, 구면과 비구면의 무게 차이가 없는 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 굴절률을 구분하지 않고 구면과 비구면의 무게 비교에서 차이가 없었다. 그러나 Atchison의 연구^[24]에 따르면 비구면이 구면에 비해 직경 60 mm 기준으로 8~31% 가볍다고 하였고, 직경이 작을수록 무게 차이는 작다고 한 결과를 비추어 볼 때, 일정한 조건 즉, 같은 굴절률, 같은 굴절력, 같은 크기에서 비교하였다면 다른 결과를 보였을 것이다. 하지만 이러한 조건에서 무게 비교가 가능할 정도의 다양한 렌즈를 균형 있게 갖추지 못한 점이 본 연구의 한계이다. 일반적으로 알려진 바와 같이 렌즈 선택할 때 비구면이 구면렌즈보다 가볍고 구면수차와 왜곡수차 등의 각종 수차를 줄이는 이점^[25]을 고려하여야 할 것이다.

본 연구의 한계점은 렌즈의 다양성이 부족하였다. 렌즈는 근시 렌즈에 한정하였으며 CR-39 렌즈는 현재 생산되지 않아 연구에 포함할 수 없었고, 중굴절 렌즈나 -6.00 D 이상의 렌즈는 제조사별로 모두 수집할 수 없었으며, 굴절률 1.67 초고굴절 이상에서 -2.00 D 렌즈는 일부 렌즈 제조사로부터 구면 디자인 렌즈만 구할 수 있었다. 또 하나

는 렌즈의 전면과 후면의 커브에 따른 디자인의 변화와 이에 따른 무게 변화를 고려하지 않았다. 또한, 렌즈 모양을 원형하고 원형의 중심을 광학적 중심으로 평가함으로써 다양한 테의 모형과 광학적 중심을 고려하지 않았다. 실제 안경 처방 후 완성된 안경은 다양한 렌즈 모양과 광학적 중심이 존재하여 가장자리 두께나 렌즈 무게가 가변적일 것이다. 이러한 이유에서 다양한 렌즈 모양과 광학중심점에 따른 변화를 실제로 평가하는데 시간과 경비가 적지 않으며 쉽지 않을 것이다. 한편, 이러한 어려움을 해결하기 위해 추후 연구에서 근시 렌즈의 두께와 무게를 예측하고 실측과 비교하여 평가할 필요가 있다. 그러나 본 연구는 이러한 한계점과 추가 연구의 필요성이 있지만 안경렌즈를 선택할 때의 고려할 요소 즉, 안경렌즈의 크기, 굴절력, 굴절률, 비중, 디자인에 따른 렌즈 두께와 무게의 변화를 평가할 수 있었다.

결론

근시 안경렌즈를 선택할 때 고려할 요소로 렌즈의 직경(크기), 굴절력, 굴절률, 비중 및 구면과 비구면 디자인에 따른 안경렌즈의 두께와 무게 변화를 평가하였다.

렌즈 직경과 굴절력 최소 단위의 변화, 즉 1mm와 0.25 D의 변화에 따른 렌즈 무게에 미치는 영향은 굴절력보다 직경이 더 컸으나 굴절률, 비중, 구면과 비구면 디자인은 렌즈 무게와의 관련성은 없었다. 가장자리 두께에 미치는 영향은 렌즈 직경보다 굴절력이 더 컸다. 렌즈 무게에 미치는 영향은 가장자리 두께 변화 1mm를 최소 단위로 할 때 가장자리 두께, 렌즈 직경, 굴절력 순으로 컸다. 렌즈 직경과 굴절력이 일정한 상태에서 렌즈 무게와의 관련성은 렌즈 중심 두께, 가장자리 두께, 굴절률, 비중 순으로 컸다. 따라서 근시용 안경렌즈를 무게와 두께 기준으로 선택할 때 렌즈의 크기와 굴절력에 따른 렌즈의 무게와 두께 변화, 그리고 렌즈 무게와 관련된 변수들의 관계는 유용할 것이다.

REFERENCES

- [1] Denniston AKO, Murray PI. Oxford handbook of ophthalmology, 4th Ed. Oxford: Oxford Medical Handbooks, 2018;925-927.
- [2] Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016;123(5):1036-1042. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>
- [3] Burton MJ, Ramke J, Marques AP, et al. The Lancet global health commission on global eye health: vision beyond 2020. *Lancet Glob Health*. 2021;9(4):e489-e551. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30488-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30488-5)
- [4] Sankaridurg P, Tahhan N, Kandel H, et al. IMI impact of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021;62(5):2. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.62.5.2>
- [5] Han SB, Jang J, Yang HK, et al. Prevalence and risk factors of myopia in adult Korean population: Korea national health and nutrition examination survey 2013-2014 (KNHANES VI). *PLoS One*. 2019;14(1):e0211204. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211204>
- [6] Kim H, Seo JS, Yoo WS, et al. Factors associated with myopia in Korean children: Korea National Health and nutrition examination survey 2016-2017(KNHANES VII). *BMC Ophthalmol*. 2020;20(1):31. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12886-020-1316-6>
- [7] Hashemi H, Fotouhi A, Yekta A, et al. Global and regional estimates of prevalence of refractive errors: systematic review and meta-analysis. *J Curr Ophthalmol*. 2017;30(1):3-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joco.2017.08.009>
- [8] 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>
- [9] Korean Optometric Association. National survey on the use of glasses and contact lenses in 2023, 2023. [https://www.optic.or.kr/pdf/web/viewer.html?file=/data/board/doc/e268c7a056d535fa798f4a94089bfe34.pdf\(29 October 2023\)](https://www.optic.or.kr/pdf/web/viewer.html?file=/data/board/doc/e268c7a056d535fa798f4a94089bfe34.pdf(29%20October%202023)).
- [10] Oh YG, Lee SJ, Lee JY, et al. Actual status of ametropia in school age and its changing pattern by period. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2021;26(4):289-297. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2021.26.4.289>
- [11] Pillay R, Hansraj R, Rampersad N. Historical development, applications and advances in materials used in spectacle lenses and contact lenses. *Clin Optom (Auckl)*. 2020;12:157-167. DOI: <https://doi.org/10.2147/OPTO.S257081>
- [12] Jalie M. *Ophthalmic lenses and dispensing*, 3rd Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008;29-41.
- [13] Blackman A. *Glass lenses in modern dispensing*, 2013. [https://www.abdo.org.uk/wp-content/uploads/2012/06/CET139.pdf\(30 October 2023\)](https://www.abdo.org.uk/wp-content/uploads/2012/06/CET139.pdf(30%20October%202023)).
- [14] Black TA. Fundamentals of ophthalmic dispensing – part 9: properties of lens materials. *Optician*. 2020;2020(6). DOI: <https://doi.org/10.12968/opti.2020.6.8281>
- [15] Tang CY. Thickness and weight of lenses for myopia. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1990;10(2):159-167. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1990.tb00970.x>
- [16] Park M, Jeo I, Hwang KH, et al. Impact resistance testing of NK55 ophthalmic lenses in domestic market. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2011;16(3):229-235.
- [17] Kim TH, Ye KH, Sung AY. The research on the optical reliability of spectacle lens in Korea. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2008;13(1):43-48.
- [18] Park SK, Ri HC, Jang YS, et al. A comparative study on the local transmittance homogeneity of the ocular lens. *J*

- Korean Ophthalmic Opt Soc. 2015;20(4):471-476. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2015.20.4.471>
- [19] Benjamin WJ. Borish's clinical refraction, 2nd Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006;1075-1077.
- [20] Optician. Optical properties of lens materials, 2005. <https://www.opticianonline.net/content/features/optical-properties-of-lens-materials-1>(21 November 2023).
- [21] Meister D. Methods for estimating lens thickness. Optical World. 1997;26(201):1-5.
- [22] Wakefield KG. Bennett's ophthalmic prescription work, 4th Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002;83-101.
- [23] Mattison-Shupnick M. MR material: premium, clear, strong, thin, with visual appeal and integrity, 2017. <https://www.2020mag.com/ce/mr-material-premium-clear-strong> (21 November 2023).
- [24] Atchison DA, Tame SA. Performance of aspheric spectacle lenses. Clin Exp Optom. 1992;75(6):210-217. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.1992.tb00767.x>
- [25] Atchison DA. Spectacle lens design: a review. Appl Opt. 1992;31(19):3579-3585. DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.31.003579>

근시용 안경렌즈에서 굴절력과 직경이 무게 및 두께에 미치는 영향

심재균¹, 문병연², 조현국², 김상엽², 유동식^{2,*}

¹강원대학교 일반대학원 보건의료과학과, 학생, 삼척 25949

²강원대학교 안경광학과, 교수, 삼척 25949

투고일(2024년 1월 2일), 수정일(2024년 1월 17일), 게재확정일(2024년 1월 17일)

목적: 근시용 안경렌즈에서 렌즈 크기에 해당하는 직경과 굴절력 변화가 렌즈의 두께와 무게에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. **방법:** 시중에 유통되고 있는 안경렌즈는 3개 사 제품으로 굴절률(1.56, 1.60, 1.67, 1.74), 굴절력(-2.00 D, -4.00 D, -6.00 D), 구면과 비구면별로 총 147조를 수집하였다. 모든 렌즈는 종류별로 45 mm, 50 mm와 55 mm 직경의 평산각으로 가공하여 두께와 무게를 측정하여 렌즈의 무게와 두께에 관련된 요인을 분석하였다. **결과:** 렌즈 직경 1 mm와 굴절력 0.25 D 단위의 변화에서 근시 렌즈의 무게는 굴절력보다 렌즈 직경의 영향이 컸으며, 가장자리 두께는 렌즈 직경보다 굴절력의 영향이 더 컸다. 렌즈 직경과 굴절력이 일정할 때 렌즈 무게와의 상관관계는 렌즈 중심 두께, 가장자리 두께, 굴절률, 비중 순으로 컸다. **결론:** 근시용 안경렌즈에서 더 얇고 가벼운 렌즈가 최선의 선택될 경우, 렌즈 크기의 변화는 무게 기준의 선택에서 유용할 것이며, 굴절력의 변화는 두께 기준의 선택에서 유용할 것이다. 또한, 굴절력과 크기가 일정할 때 무게 기준의 선택에서 굴절률과 비중보다 중심과 가장자리 두께 변화가 유용할 것이다.

주제어: 안경렌즈, 굴절력, 직경, 무게, 두께