

# A Study of Spectroscopic Changes in Blue-Light Filtering Soft Contact Lenses

Jeong-Mee Kim\*

Dept. of Visual Optics, Far East University, Professor, Eumseong 27601, Korea

(Received December 3, 2025; Revised December 13, 2025; Accepted December 15, 2025)

**Purpose:** To evaluate spectroscopic changes in blue-light filtering soft contact lenses according to wearing time and accumulated wearing periods, and to obtain foundational data for verifying the optical properties related to blue-light filtering performance under actual wearing conditions. **Methods:** Two silicone hydrogel contact lenses with blue-light filtering mechanisms were examined. Oasys MAX 1-Day and TOTAL 30. Spectral transmittance was measured using a UV-Vis spectrophotometer. Daily disposable lenses were assessed under three conditions (new, 6-h and 12-h-worn). Monthly contact lenses were evaluated at four stages (new, 2-week, 4-week, and 6-week-worn). Photopic and scotopic luminous transmittance were calculated using the CIE  $V(\lambda)$  and  $V'(\lambda)$  functions. **Results:** Daily disposable contact lenses demonstrated minimal changes in blue-light transmittance and luminous transmittance after 6 and 12 hours of wear. Monthly lenses exhibited stable spectral transmittance until week 4; however, a reduction in spectral transmittance and luminous transmittance was observed at week 6. **Conclusions:** These findings indicate that short-term wear does not alter the optical performance of daily disposable lenses, whereas extended use of monthly lenses may gradually reduce optical stability. These preliminary results support future large-scale studies, including assessments of visual function and expansion of the sample of lens wearers.

**Key words:** Blue-light filtering contact lens, Cut-off wavelength, Luminous transmittance, Spectral transmittance

## 서 론

현대 사회에서 스마트폰, 태블릿, 컴퓨터 모니터 등 디지털 디스플레이 기기의 사용량은 지속적으로 증가하고 있으며,<sup>[1,2]</sup> 이에 따라 인체에 노출되는 특정 파장의 광량이 과거의 환경과는 다른 양상을 보이게 되었다. 특히 LED 기반 광원은 고휘도 및 에너지 효율을 가지면서, 스펙트럼 구성상 450 nm 부근의 청색광(blue light) 성분이 높은 비중을 차지한다. 청색광은 380~500 nm 범위의 단파장 가시광선으로 이 중 400~450 nm 구간의 고에너지 가시광선(HEV: high-energy visible light)은 생체 조직에 생물학적으로 크게 영향을 미칠 가능성이 제기되었다.<sup>[3]</sup>

청색광은 파장이 짧고 에너지가 높아 망막 광독성(phototoxicity)을 유발할 가능성이 제기되어 왔고,<sup>[4]</sup> 눈의 피로, 눈부심 증가, 대비감도 저하 등 시각적 불편감을 유발할 수 있다고 알려져 있다.<sup>[5,7]</sup> 또한, 청색광은 인체의 생체리듬 조절에도 중요한 역할을 하는데 이 파장은 멜라토닌 분비 억제를 통해 생체리듬을 교란하여 수면의 질에 영향을 줄 수 있음이 여러 연구를 통해 일관되게 보고되

고 있다.<sup>[8,9]</sup> 이러한 요인으로 인해 청색광 노출의 잠재적 영향은 단순한 시각적 불편을 넘어 생활 전반의 시각적 효율성과 건강에 중요한 요소로 여겨지게 되었다.

이에 따라 청색광 노출을 조절하기 위한 다양한 광학적 기술이 개발되어왔다. 초기에는 주로 청색광 차단 안경렌즈 중심으로 연구가 이루어졌으며, 눈부심 감소와 대비감도 향상 같은 긍정적 효과가 일부 보고되었다.<sup>[10]</sup> 렌즈 설계 측면에서, 렌즈 소재 또는 코팅에 의해 특정 파장의 빛이 과도하게 차단되거나 감소됨으로써 광투과율이 변화하고,<sup>[10]</sup> 이로 인해 시감도 및 색 인식, 대비감도 등이 영향을 받을 수 있어 적절한 차단 스펙트럼이 중요하다고 알려져 있다.<sup>[11-14]</sup> 이러한 기술적 흐름은 점차 콘택트렌즈 분야로 확장되어 특정 파장대를 선택적으로 흡수하는 색소(chromophore) 또는 나노구조 기반의 광학 필터 기술이 도입되고 있다.<sup>[15]</sup>

소프트 콘택트렌즈는 고분자 재질 특성, 흡수율 변화, 단백질 및 지방 침착물 축적, 표면 처리의 손상 등 다양한 요인에 의해 광학적 성능이 변화될 수 있다. 특히, 청색광 차단 성분이 포함된 렌즈의 경우 착용 시간이 길어지거나

\*Corresponding author: Jeong-Mee Kim, Tel: +82-43-880-3826, E-mail: kijeme@hanmail.net  
Authors ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9199-7357

착용 기간이 증가함에 따라 렌즈의 투과 스펙트럼이 변할 가능성이 존재하며 이는 실제 청색광 차단 효과, 광투과율, 시감도 곡선에 영향을 줄 수 있다.<sup>[16,17]</sup> 그러나 기존 연구들은 비착용 상태에서 렌즈의 광학적 특성을 평가한 실험실 연구에 집중되어 있으며, 청색광 필터링 기능을 갖는 소프트 콘택트렌즈를 대상으로 착용 전·후 및 장기간 사용에 따른 광학적 성질 변화를 체계적으로 분석한 연구는 매우 제한적이다.

따라서, 본 연구는 분광학적 기초 연구로서 청색광 필터링 기능을 갖는 일회용 렌즈와 교체 주기가 1개월인 실리콘 하이드로겔 렌즈 두 종류를 대상으로 실제 착용 환경을 반영한 착용 시간 및 누적 착용 기간에 따른 광투과율과 시감투과율의 변화를 렌즈 조건에서 평가하여 청색광 차단 콘택트렌즈의 분광학적 안정성을 검토하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구 설계

본 연구는 청색광 차단 기능을 갖는 소프트 콘택트렌즈의 광투과율과 시감투과율 변화를 분석하기 위한 실험적 연구로 수행되었다. 연구는 착용 전 상태의 새 렌즈와 일정 시간 또는 일정 기간 착용한 렌즈를 분광학적으로 비교 연구하는 형태로 설계하였다. 모든 실험 측정은 동일한 실험환경에서 동일한 대상자의 렌즈를 사용하여 변수를 통제하였다.

### 2. 연구 대상

#### 2.1. 소프트 콘택트렌즈

본 연구는 청색광 차단 기능을 갖는 두 종류의 실리콘 하이드로겔 렌즈를 대상으로 광학적 특성을 분석하였다.

A 렌즈는 일회용 렌즈인 난시용 Acuvue Oasys MAX 1-Day, B 렌즈는 1개월 교체 주기인 난시용 TOTAL 30을 사용하였다. 두 소프트렌즈의 세부적 특성은 표 1에 제시하였다(Table 1). 또한, 청색광 차단 기능을 갖는 일회용 A 렌즈의 광학적 특성을 비교하기 위해 동일 제조사의 일회용 일반렌즈인 Acuvue Oasys(senofilcon A, 38%)와 비교하였으나, 교체 주기가 1개월인 B 렌즈는 동일한 재질 및 함수율을 지닌 일반 렌즈가 없어 비교 렌즈를 선택하지 않았다.

본 연구는 임상적 일반화를 목적으로 한 렌즈 착용자 기반 연구가 아니라, 렌즈 착용 전·후 상태에 따른 분광학적 변화 경향을 관찰하기 위한 분석 연구로 설계되었다. 이에 광학적 요소가 아닌 생리적 차이(눈물층 상태, 눈감 박임 패턴, 착용 환경 등)를 고려하지 않고, 렌즈 재질 및 착용 누적 효과에 따른 분광학적 변화를 분리하여 관찰하기 위해 단일 착용자를 적용하였다. 소프트렌즈의 분광학적 평가를 위해 하루 평균 12시간 이상 착용할 수 있는 성인 1명(23세, 남)을 선택하였으며, 대상자는 연구 목적 및 절차를 충분히 이해하고 참여에 동의하였다. 연구 대상자는 지정된 렌즈를 규정된 기간 동안 일상생활 환경에서 하루 12시간 이상 착용하였고, 1개월 착용 렌즈의 경우 착용 기간 동안 세척 및 보관을 위해 렌즈 제조사의 다목적 용액(Opti-free Express, Alcon)을 사용하였다. 렌즈 세척 시 반드시 문지르고 충분히 헹구도록 요구하였다.

#### 2.2. 청색광 차단 기능을 갖는 소프트렌즈 착용 스케줄

본 연구에 사용된 A와 B 렌즈는 착용 시간에 따른 광학적 성질을 분석하기 위하여 일회용 A 렌즈는 6시간 착용과 12시간 이상 착용으로 구분하였고, 1개월 착용 B 렌즈는 2주, 4주, 6주 착용으로 구분하였다. 6주 착용 조건은 제조사 권장 교체 주기(4주)를 초과한 실험 조건이며

Table 1. Specifications of blue-light filtering soft contact lenses used in this study

	A Lens	B Lens
Lens brand	ACUVUE OASYS MAX 1-Day	TOTAL 30
Material	Senofilcon A (Silicone Hydrogel)	Lehfilcon A (Silicone Hydrogel)
Water content	38%	55% (core)~100% (surface) (Water Gradient design)
Oxygen transmissibility (DK/t) @ -3.00 D	121	154
BC / Diameter (mm)	8.5, 9.0 / 14.3	8.4 / 14.2
Center thickness @ -3.00 D (mm)	0.085	0.08
Lens type	Daily disposable	Monthly replacement/daily wear
Blue-light blocking mechanism	Absorptive chromophore (HEV* 400-450 nm)	Pigment-based blue-light filtering
Key features	TearStable™ Technology, blue-light filtering chromophore	Blue-light filtering pigment, Water Gradient surface

HEV\*; high energy visible light

장기 착용 시 광학적 특성 변화의 경향 확인을 위하여 포함되었다. 모든 렌즈는 동일 대상자가 정해진 기간 동안 착용한 후 수집하였다. 따라서, 착용 전 새 렌즈, 6시간과 12시간 이상 착용한 1-Day 착용인 A 렌즈, 일반 1-Day 새 렌즈, 착용 전 새 렌즈, 2주, 4주, 6주 착용한 1개월 교체 주기의 B 렌즈를 분석에 사용하였다.

### 3. 측정 장비 및 측정 절차

#### 3.1. 광투과율(transmittance) 측정

소프트 콘택트렌즈의 광투과율 측정에는 분광광도계(UV/Vis Spectrophotometer, Mecasys co., Korea)을 사용하였다. 이 장비의 측정 가능한 파장은 190~1100 nm로 콘택트렌즈의 분광투과율(spectral transmittance)은 200~900 nm 범위의 스펙트럼을 분석하였다. 이 파장 범위의 스펙트럼에 대해 렌즈를 통과한 빛의 상대 광량(%)을 계산하였고, 특히 청색광 영역인 380~500 nm 범위를 중심으로 세부 분석을 수행하였다.

##### 3.1.1. 광투과율 측정 과정

새 렌즈와 착용 렌즈는 회수 후 세척하여 렌즈 보관 용기에 다목적 용액으로 보관하였고, 측정 전 처리 과정으로 콘택트렌즈를 보관 용기에서 꺼내어 슬라이드 글라스 위에서 5분 유지 후 측정하였다. 자체 제작된 콘택트렌즈 홀더를 측정 장비의 홀더에 장착하였고 콘택트렌즈는 자체 제작 홀더에 장착한 후 측정 가능한 파장 영역을 0.5 nm 단위로 스캔하여 광투과율을 측정하였다(시간 변화에 대한 광투과율 변화를 확인하기 위해 동일 조건에서 3회 측정함). 단, 스캔 전에 홀더 만 장착하여 배경 측정을 실시하였다. 입사광은 렌즈의 전면부에서 입사하도록 고정하여 측정하였다.

##### 3.1.2. 시감투과율(luminous transmittance) 계산

명소시(photopic) 및 암소시(scotopic)의 시감투과율은 각각 CIE 1931  $V(\lambda)$ 와 CIE 1951  $V'(\lambda)$  함수를 사용하여 계산하였다.

#### 3.2. 광투과율 결과 분석 기준

Cut-off 파장은 투과율이 10%에 도달하는 파장으로 정의하였다.<sup>[18]</sup> 또한, 국제 표준 ISO 18369에서는 소프트 콘택트렌즈의 광투과율에 대해 기준 렌즈와 비교하여 절대값  $\pm 5\%$  이내를 허용 오차로 제시하고 있으며,<sup>[19]</sup> 이를 초과하는 경우 재질 변화나 첨가물에 따른 광학적 특성 변화로 간주하였다. 본 연구에서는 이러한 ISO 기준을 참고하여, 동일 재질 내 조건에서 광학적 변화의 해석 기준을 광투과율 차이가  $\pm 5\%$  이상일 때 임상적으로 의미 있는

변화로 해석하였다.

따라서, 모든 분석은 렌즈 착용자 특성이 아닌 렌즈 자체의 분광투과율 및 시감투과율 변화에 초점을 두어 수행되었다.

### 4. 데이터 분석

광학적 성질 측정으로 얻어진 모든 데이터는 SigmaPlot 12.0(Systat Software Inc., San Jose, CA, USA) 및 Microsoft Excel(MS Office 2021)을 사용하여 분석하였다. 데이터 분석은 착용 시간 및 착용 기간에 따른 광투과율 변화, 청색광 영역의 광투과율 변화, 시감투과율 변화를 중심으로 정량 지표를 사용하여 수행하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 청색광 차단 소프트 콘택트렌즈의 광투과율(optical transmittance)

##### 1.1. 일회용 청색광 차단 렌즈의 광투과율 특성

소프트 콘택트렌즈의 재질과 함수율이 동일한 일회용 일반 렌즈와 청색광 차단 기능이 있는 A 렌즈의 광투과율 비교에서, 청색광 차단 렌즈는 일반 렌즈와 비교하여 400~420 nm 영역에서 낮은 투과율을 보였다. 일반 렌즈는 약 375 nm에서 투과율이 급격히 증가한 반면, 청색광 차단 렌즈는 410 nm에서 cut-off 특성이 나타나 청색광 차단 기능이 안정적으로 구현되고 있음을 보여주고 있다(Fig. 1).

##### 1.2. 청색광 차단 렌즈의 착용 시간 및 착용 기간에 따른 광투과율

일회용 A 렌즈는 6시간 착용 렌즈와 12시간 이상 착용 렌즈의 광학적 성질을 착용 전 새 렌즈와 비교 분석하였다. 한 달 교체 주기의 B 렌즈는 하루 12시간 이상 렌즈를 착용하였으며, 2주 착용, 4주 착용, 6주 착용한 렌즈의

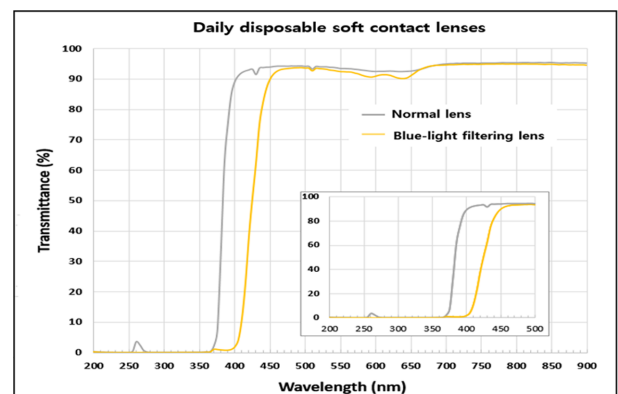


Fig. 1. Comparison of cut-off wavelength for blue-light filtering and normal daily disposable soft contact lenses.

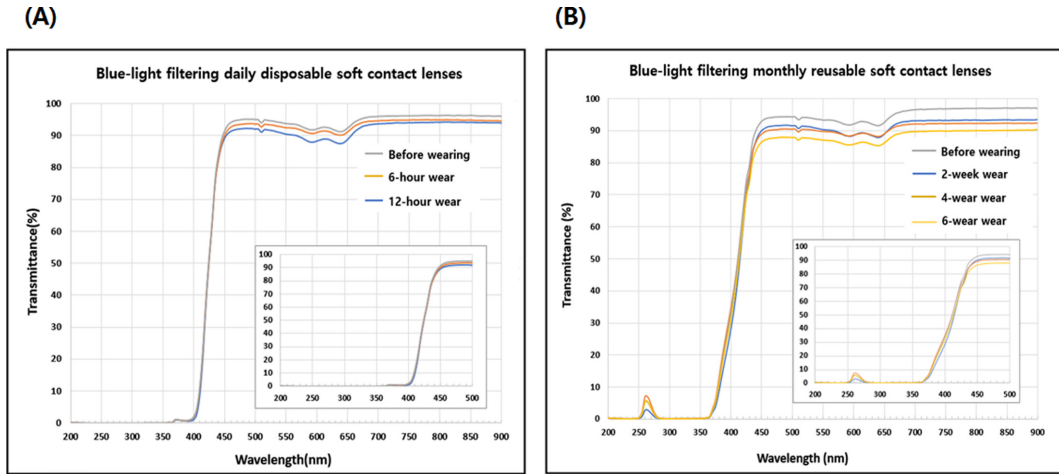


Fig. 2. The graphs illustrate spectral transmittance from 200 to 900 nm. (A) 1-Day A lenses for new before wearing, 6-h, and 12-h wear conditions; (B) Monthly B lenses for new lens, 2-week, 4-week, and 6-week wear.

광학적 성질을 착용 전 새 렌즈와 비교 분석하여 누적 착용 기간이 광학적 성능에 미치는 영향을 평가하였다.

일회용 A 렌즈의 경우, 새 렌즈, 6시간 착용 렌즈, 12시간 착용 렌즈의 전체 스펙트럼 비교에서는 420~780 nm 가시광 영역에서 착용 시간에 따른 투과율 변화가 2% 이내로 나타났으며, 청색광 범위(400~500 nm)에서도 변화가 미미하였다(Fig. 2). 이는 일회용 착용 렌즈의 경우 착용 시간에 따른 요인이 광학적 특성에 영향을 미치지 않았음을 시사한다.

청색광 차단 기능이 있는 1개월 착용 B 렌즈의 스펙트럼 분석에서는 약 380 nm에서 cut-off 특성이 나타났고, 새 렌즈, 2주, 4주 착용 렌즈는 cut-off 및 전반적 투과율에서 의미있는 변화가 없었으나, 6주 착용 렌즈에서 400~450 nm 청색광 영역의 투과율이 5% 이상 감소하였다. 500 nm 이상의 가시광 영역에서도 6주차 렌즈는 5% 이상의 변화가

관찰되었다(Fig. 2).

## 2. 청색광 차단 소프트 콘택트렌즈의 시감도 곡선 (luminous transmittance)

### 2.1. 청색광 차단 렌즈의 착용 시간 및 착용 기간에 따른 시감투과율

시감투과율은 가시광선 영역인 380~780 nm를 분석하였다. 일회용 A 렌즈의 경우, 새 렌즈, 6시간 착용 렌즈, 12시간 착용 렌즈의 착용 시간에 따른 명소시의 시감투과율의 변화는 500~570 nm 중심 영역에서 약 2~3% 이내였으며, 착용 시간 증가에 따른 정량적 비교에서 큰 변화는 보이지 않았다. 암소시의 시감투과율에서도 착용 시간에 따른 차이가 거의 관찰되지 않았으며, 480~520 nm 중심 영역에서도 2% 이내의 변화만 나타났다(Fig. 3).

1개월 착용 B 렌즈의 명소시 시감투과율 분석에서는 6

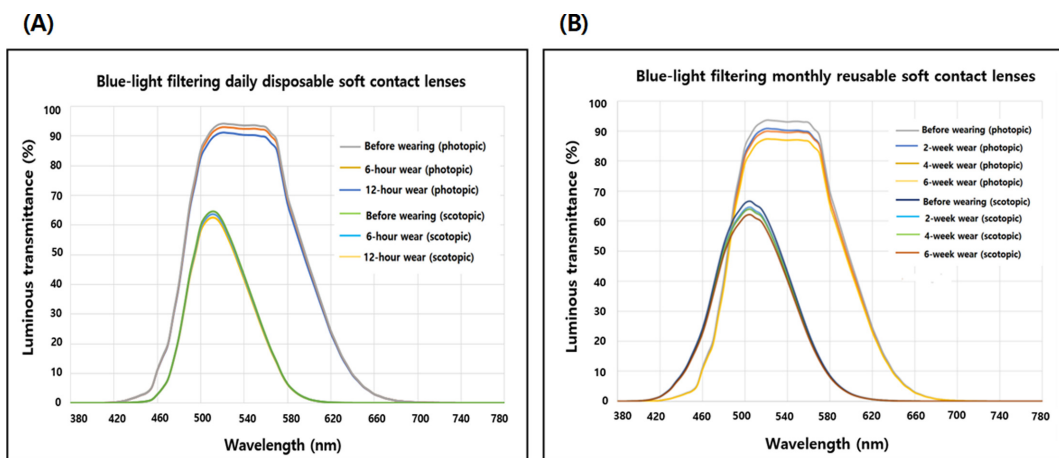


Fig. 3. The graphs illustrate luminous transmittance from 380 to 780 nm under photopic and scotopic conditions. (A) 1-Day A lenses for new before wearing, 6-h and 12-h wear conditions, (B) Monthly B lenses from new lens to 6 weeks of wear.

주차 착용 렌즈에서 최고점 시감투과율이 새 렌즈와 비교하여 약 5% 감소가 관찰되었으며, 특히 500~570 nm의 시감도 중추 영역에서 감소 폭이 가장 크게 나타났다. 이는 장기 착용이 명소시 조건에서 영향을 미친다는 점을 보여준다. 암소시 시감투과율에서도 6주차 렌즈의 감소가 관찰되었으나 명소시 조건과 비교하여 상대적으로 감소 폭이 작게 나타났다(Fig. 3). 이러한 결과는 장기 착용에 따른 시감도 변화가 명소시 조건에서 더 크게 나타나며, 암소시 조건에서는 청색광 차단 변화에 상대적으로 덜 민감함을 보여준다. 선행 연구에서 청색광 차단 인공수정체 삽입이나 콘택트렌즈 착용이 암소시의 시감도와 색 지각에 미미한 영향을 준다는 보고도 있어,<sup>[20]</sup> 본 연구의 암소시 조건에서 시감도 변화가 비교적 작았던 결과는 막대세포 반응의 시감도에 대한 필터링 후 변화의 민감도가 낮음을 시사할 가능성이 있다.

## 2.2. 청색광 차단 렌즈의 시감투과율 특성

Fig. 4에서 확인되는 바와 같이, 명소시 조건의 시감도 곡선은 12시간 착용한 일회용 렌즈와 4주간 착용한 한 달 착용 렌즈에서 거의 유사하여 동일한 파장대에서 최대 시감도가 관찰되었다. 반면에 암소시 조건에서는 12시간 착용한 일회용 렌즈의 최고점 파장은 약 515 nm이고 4주간 착용한 한 달 착용 렌즈의 최고점 파장은 약 505 nm로 단축되어 더 짧은 파장에 민감하게 이동하였고, 일회용 렌즈의 암소시 투과 영역이 한 달 착용 렌즈보다 좁게 나타났다.

본 연구는 청색광 차단 기능을 갖는 실리콘 하이드로겔 렌즈의 착용 시간 및 누적 착용 기간에 따른 분광학적 변화 경향을 평가하였다. 그 결과, 1일 착용 렌즈는 단기 착용(6~12시간) 후에도 광투과율 및 시감투과율의 변화가 미미하였다. 이는 단시간 착용 시 색소 기반 청색광 필터링 특성 자체는 안정적인 것으로 추정된다. 한 달 착용 렌

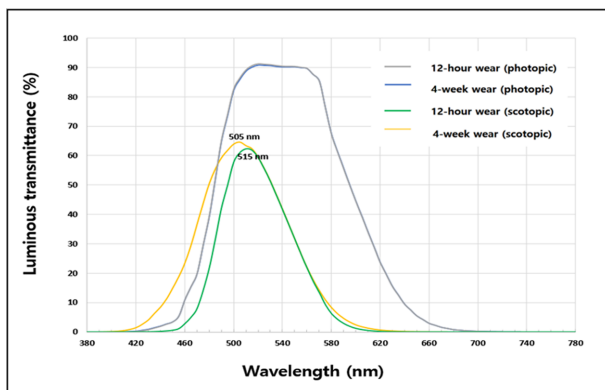


Fig. 4. The graphs illustrate the luminous transmittance properties of 1-Day A lenses (12-hour wear) and Monthly B lenses (4-week wear) under photopic and scotopic conditions.

즈의 경우 착용 기간이 증가할수록 청색광 영역뿐 아니라 가시광선 전반에서 투과율이 점진적으로 감소하는 경향을 보였으나 교체 기간에 따른 렌즈 재질의 광학적 특성 변화에는 크게 부합되지 않았다. 반면에 시감투과율의 의미 있는 감소가 6주 착용한 렌즈에서 관찰되었다. 실리콘 하이드로겔 렌즈는 구조적 특성상 소수성으로 지방 침전물이 빈번하게 발생하며, 이러한 침전물 축적은 렌즈 표면에 불균일한 층을 형성하여 빛의 직진성을 감소시키고 표면 난반사를 증가시켜 시감투과율 감소로 이어질 수 있다.<sup>[21,22]</sup> 또한 중심부에서 표면으로 갈수록 수분의 분포가 다름(water gradient) 구조를 가진 한 달 착용 렌즈의 재질인 Lehighfilcon A의 경우, 표면은 80~90% 이상의 고흡수율을 유지하도록 설계되었으나 실제 착용 환경에서는 눈물 지질 및 단백질의 지속적 접촉으로 인해 표면 수분층의 안정성이 변할 수 있음이 보고된 바 있다.<sup>[23,24]</sup> 이러한 특성을 고려하면, 장기 착용 시 실리콘 하이드로겔 렌즈에서 표면 침전물의 축적, 수분 구조의 변화, 표면 친수성 저하, 광학적 산란 증가 등으로 투과율 저하를 유발할 수 있으며, 특히, 청색 차단 필터링 기능과 결합될 경우 전체 광량 감소가 가중될 수 있다.<sup>[21]</sup>

본 연구에서 6주 착용 렌즈의 경우 명소시와 암소시의 시감투과율의 변화가 눈에 띄게 나타났다. 청색광 차단 콘택트렌즈 자체가 일부 파장을 줄이면서 전체 광량도 약간 줄이는 효과를 갖는데 여기에 장기 착용으로 렌즈 상태가 저하되면 추가 광 손실과 산란이 발생하여 유효 시감도가 더 낮아져서 대비감도 감소 및 어두운 환경에서의 시감도 저하로 이어질 수 있다.<sup>[7,25]</sup> 반면에 1일 착용(daily disposable) 렌즈는 침전물 축적이 최소화되므로 광학적 성능이 상대적으로 안정적이라는 장점이 있다.

또한, 본 연구에서 관찰된 투과율 감소는 시각계 특성과 결합될 경우 실제 착용자의 시각 경험에도 영향을 미칠 수 있다. 시지각 밝기(brightness)는 물리적 휘도(luminance)가 아닌 시지각 특성으로, 특정 파장의 투과율 변화가 곧바로 밝기 지각의 변화로 이어질 수 있다.<sup>[26,27]</sup> 더불어 시감도는 파장 의존적이며, 명소시와 암소시의 시감도 중추 영역(각각 555 nm와 507 nm)에서는 상대적으로 작은 투과율 변화라도 지각적으로 증폭될 가능성이 있다.<sup>[28]</sup> 따라서 한 달 착용 렌즈에서 교체 주기를 초과하는 장기 착용 시 관찰된 시감투과율 감소는 실제 임상 환경에서 밝기 지각 저하, 대비감도 감소, 눈부심 증가 등을 유발할 가능성이 있음을 고려해야 한다.

본 연구에서 6주 착용 조건에서만 분광학적 변화가 뚜렷하게 관찰된 점은 장기 착용에 따른 성능 저하가 특정 시점 이후 비선형적으로 나타날 수 있음을 시사한다. 이는 청색광 차단 콘택트렌즈의 광학적 안정성이 초기에는 유

지되다가 일정 기간이 지나면 급격히 감소할 가능성을 제시해 주고 있다. 또한 실제 렌즈 착용자들이 권장 교체 주기(4주)를 초과하여 렌즈를 착용하는 현실을 고려할 때, 6주 착용 데이터는 실제 사용 패턴에서 발생할 수 있는 분광학적 특성 변화를 조기에 확인할 수 있는 임상적 자료가 될 수 있다고 생각한다. 특히 렌즈 착용 6주 시점에서 명소시의 시감투과율 감소는 대비감도 저하 및 밝기 지각 변화와 관련될 수 있어, 교체 주기 준수의 중요성을 뒷받침하는 근거로 활용될 수 있다. 이러한 결과는 향후 후속 연구에서 4-6주 구간을 좀 더 촘촘히 분석할 필요성을 제기하며, 장기 착용으로 인한 침전물 축적, 표면 수분층 불안정성 등의 렌즈 재질의 변화가 광학적 질의 저하에 어떻게 영향을 미치는지 평가하기 위한 연구 설계의 방향성도 제시된다.

본 분광학적 특성 연구는 다음과 같은 제한점을 가진다. 그러나 이러한 한계는 후속 연구 설계를 위한 중요한 방향을 제공한다는 점에서 의미가 있다고 생각한다. 첫째, 렌즈 착용자 한 명을 대상으로 수행된 기초 연구이므로 결과의 일반화에는 제한이 있으며, 향후 다수의 대상자를 포함한 임상 연구가 필요함을 시사한다. 둘째, 렌즈 표면의 미세 구조 변화를 직접 관찰할 수 있는 광학현미경 분석이 포함되지 않아, 장기 착용에 따른 분광학적 변화에 영향을 줄 수 있는 물리적인 미세 변화를 정량적으로 규명하지 못하였다. 이러한 한계는 후속 연구에서 물리적인 미세 변화의 분석이 반드시 필요함을 강조한다. 셋째, 한 달 착용 렌즈의 6주 사용은 제조사 권장 교체 주기를 초과한 조건으로, 실제 착용 패턴과 차이가 있을 수 있지만, 장기 착용 시 발생 가능한 분광학적 변화를 추적하는 데는 유용하였다. 넷째, 표본 수가 제한되어 통계적 유의성 검정을 수행할 수 없기 때문에, 본 연구의 결과는 분광학적 변화의 경향을 관찰하는 수준으로 해석되어야 한다. 마지막으로 본 연구는 분광학적 평가에 초점을 맞추었고, 대비감도, 눈부심, 색지각 변화 등 실제 착용자가 경험하는 시기능 변화의 평가가 이루어지지 않아, 광투과율 변화와 임상적 증상 사이의 상관성을 제시하지 못하였다.

본 분광학적 연구는 향후 후속 임상 연구의 방향에 다음과 같은 네 가지 관점에서 영향을 줄 수 있다고 판단된다. 첫째, 청색광 차단 렌즈를 실제 착용한 상태에서 분광학적 특성 변화를 정량적으로 측정할 수 있음을 확인하였으며, 이는 향후 대규모 임상 연구 설계에서 실질적 적용 가능성을 제시한다. 둘째, 한 달 착용 렌즈에서 6주차 착용 시 명소시의 시감도 투과율 감소가 나타난 것은 장기 착용에 따른 광학적 성능 저하 가능성을 시사한다. 셋째, 명소시의 시감투과율 감소는 실제 대비감도 저하, 밝기 지각 변화, 눈부심 증가로 이어질 수 있으므로, 청색광 차단

렌즈 사용자 교육 및 교체 주기 준수에 대한 근거 자료로 활용될 수 있다. 넷째, 명소시의 암소시 시감투과율 분석이 청색광 차단 렌즈의 성능 변화를 민감하게 반영하는 지표임을 확인하여 향후 연구에서 사용될 수 있음을 제시하였다. 그리고, 후속 임상 연구에서는 본 연구에서 확인된 분광학적 변화가 렌즈 표면 구조 분석 및 시기능 평가에 어떤 영향을 주는지에 대한 통합적 연구도 필요할 것으로 판단된다.

## 결 론

본 연구는 청색광 차단 콘택트렌즈의 착용 시간 및 누적 착용 기간에 따른 분광학적 변화를 평가하였다. 연구 결과, 1일 착용(daily disposable) 렌즈는 6시간과 12시간 착용에 따른 광투과율 변화가 거의 없어 청색광 차단 기능 및 시감투과율의 광학적 특성이 안정적으로 유지되는 것을 관찰하였다. 한 달 착용 렌즈는 장기 착용 기간에 따라 청색광 영역뿐 아니라 가시광선 파장 범위의 전반에서 투과율이 점진적으로 감소하여 특히 6주 착용 렌즈의 경우 시감투과율의 변화가 크게 나타나 광학적 성능 저하 가능성을 보여주고 있다. 따라서 향후 다수의 착용자를 포함한 반복 측정 연구를 통해 본 연구에서 확인된 분광학적 변화의 경향이 다양한 렌즈 착용 집단에서 재현되는지 확인할 필요가 있다고 생각된다.

## REFERENCES

- [1] Jaiswal S, Asper L, Long J, et al. Ocular and visual discomfort associated with smartphones, tablets and computers: what we do and do not know. *Clin Exp Optom.* 2019;102(5):463-477. DOI: <https://doi.org/10.1111/cxo.12851>
- [2] da Costa B, Lopes MVV, de Mello GT, et al. Changes in screen time behaviors from before (2019) to after (2022) the COVID-19 pandemic among brazilian adolescents. *Acad Pediatr.* 2025;25(8):102885. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.acap.2025.102885>
- [3] O'Hagan JB, Khazova M, Price LLA. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye.* 2016;30(2):230-233. DOI: <https://doi.org/10.1038/eye.2015.261>
- [4] Vagge A, Ferro Desideri L, Del Noce C, et al. Blue light filtering ophthalmic lenses: a systematic review. *Semin Ophthalmol.* 2021;36(7):541-548. DOI: <https://doi.org/10.1080/08820538.2021.1900283>
- [5] Mainster MA. Violet and blue light blocking intraocular lenses: photoprotection versus photoreception. *Br J Ophthalmol.* 2006;90(6):784-792. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjo.2005.086553>
- [6] Cougnard-Gregoire A, Merle BMJ, Aslam T, et al. Blue

- light exposure: ocular hazards and prevention-a narrative review. *Ophthalmol Ther.* 2023;12(2):755-788. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40123-023-00675-3>
- [7] Tavazzi S, Ponzini E, Caridi A, et al. Does blue-violet filtering in contact lenses improve contrast sensitivity?. *Cont Lens Anterior Eye.* 2022;45(4):101558. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2021.101558>
- [8] Singh S, Keller PR, Busija L, et al. Blue-light filtering spectacle lenses for visual performance, sleep, and macular health in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2023;8(8):CD013244. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.cd013244.pub2>
- [9] Cajochen C, Frey S, Anders D, et al. Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *J Appl Physiol.* 2011;110(5):1432-1438. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00165.2011>
- [10] Downie LE. Blue-light filtering ophthalmic lenses: to prescribe, or not to prescribe? *Ophthalmic Physiol Opt.* 2017;37(6):640-643. DOI: <https://doi.org/10.1111/opo.12414>
- [11] Ali A, Roy M, Alzahrani HS, et al. The effect of blue light filtering lenses on speed perception. *Sci Rep.* 2021;11(1):17583. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96941-0>
- [12] di Mutalib HA, Sharanjeet-Kaur, Keu LK, et al. Special tinted contact lens on colour-defects. *Clin Ter.* 2012;163(3):199-204.
- [13] Shaik M, Majola PD, Nkgare LM, et al. The effect of tinted spectacle lenses on contrast sensitivity and colour vision. *Afr Vis Eye Health.* 2013;72(2):61-70. DOI: <https://doi.org/10.4102/aveh.v72i2.51>
- [14] Kanazawa M, Uozato H. Relationship between absorptive lenses and contrast sensitivity in healthy young subjects with glare under photopic- and mesopic-vision conditions. *Opt Rev.* 2013;20(3):282-287. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10043-013-0051-0>
- [15] Lai CF, Li JS, Fang YT, et al. UV and blue-light anti-reflective structurally colored contact lenses based on a copolymer hydrogel with amorphous array nanostructures. *Rsc Adv.* 2018;8(8):4006-4013. DOI: <https://doi.org/10.1039/c7ra12753g>
- [16] Osuagwu UL, Ogbuehi KC, Almubrad TM. Changes in ultraviolet transmittance of hydrogel and silicone-hydrogel contact lenses induced by wear. *Eye Contact Lens.* 2014;40(1):28-36. DOI: <https://doi.org/10.1097/icl.00000000000007>
- [17] Lira M, dos Santos Castanheira EM, Santos L, et al. Changes in UV-visible transmittance of silicone-hydrogel contact lenses induced by wear. *Optom Vis Sci.* 2009;86(4):332-339. DOI: <https://doi.org/10.1097/oxp.0b013e318198d047>
- [18] Laube T, Apel H, Koch HR. Ultraviolet radiation absorption of intraocular lenses. *Ophthalmology.* 2004;111(5):880-885. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2003.08.031>
- [19] Nguyen DCT, Dowling J, Ryan R, et al. Pharmaceutical-loaded contact lenses as an ocular drug delivery system: a review of critical lens characterization methodologies with reference to ISO standards. *Cont Lens Anterior Eye.* 2021;44(6):101487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2021.101487>
- [20] Greenstein VC, Chiosi F, Baker P, et al. Scotopic sensitivity and color vision with a blue-light-absorbing intraocular lens. *J Cataract Refract Surg.* 2007;33(4):667-672. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.12.012>
- [21] Maziarz EP, Stachowski MJ, Liu XM, et al. Lipid deposition on silicone hydrogel lenses, part I: quantification of oleic acid, oleic acid methyl ester, and cholesterol. *Eye Contact Lens.* 2006;32(6):300-307. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.icl.0000224365.51872.6c>
- [22] Nichols JJ. Deposition on silicone hydrogel lenses. *Eye Contact Lens.* 2013;39(1):20-23. DOI: <https://doi.org/10.1097/icl.0b013e318275305b>
- [23] Wesley G, Giedd B, Hines B, et al. Safety and efficacy of a new water-gradient biomimetic monthly replacement spherical contact lens (lehfilcon A). *Clin Ophthalmol.* 2022;16:2873-2884. DOI: <https://doi.org/10.2147/oph.s362926>
- [24] Capote-Puente R, Sanchez-Gonzalez JM, Sanchez-Gonzalez MC, et al. Evaluation of Celligent® biomimetic water gradient contact lens effects on ocular surface and subjective symptoms. *Diagnostics.* 2023;13(7):1258. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13071258>
- [25] Leung TW, Li RW, Kee C. Blue-light filtering spectacle lenses: optical and clinical performances. *PLoS One.* 2017;12(1):e0169114. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169114>
- [26] Kingdom FAA. Lightness, brightness and transparency: a quarter century of new ideas, captivating demonstrations and unrelenting controversy. *Vision Res.* 2011;51(7):652-673. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.09.012>
- [27] Perna A, Morrone MC. The lowest spatial frequency channel determines brightness perception. *Vision Res.* 2007;47(10):1282-1291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.01.011>
- [28] Schlangen LJM, Price LLA. The lighting environment, its metrology, and non-visual responses. *Front Neurol.* 2021;12:624861. DOI: <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.624861>

## 청색광 차단 소프트 콘택트렌즈의 분광학적 변화에 관한 연구

김정미\*

극동대학교 안경광학과, 교수, 음성 27601

투고일(2025년 12월 3일), 수정일(2025년 12월 13일), 게재확정일(2025년 12월 15일)

**목적:** 본 연구는 청색광 차단 소프트 콘택트렌즈의 착용 시간 및 누적 착용 기간에 따른 분광학적 변화를 평가하고, 실제 착용 환경에서 청색광 차단 성능의 광학적 특성을 확인하기 위한 기초 자료를 얻고자 하였다. **방법:** 청색광 차단 기능을 갖는 실리콘 하이드로겔 렌즈(Oasys MAX 1-Day와 TOTAL 30)를 대상으로 UV-Vis 분광광도계를 이용하여 분광투과율을 측정하였다. 일회용 렌즈는 새 렌즈, 6시간과 12시간 착용 조건에서 분석하였으며, 한 달 착용 콘택트렌즈는 새 렌즈, 2주, 4주, 6주 착용 후 상태를 비교하였다. 명소시 및 암소시 시감투과율은 CIE  $V(\lambda)$ ,  $V'(\lambda)$  함수를 이용하여 계산하였다. **결과:** 일회용 콘택트렌즈는 6시간 및 12시간 착용 후에도 청색광 투과율과 시감투과율은 최소한의 변화만 나타났다. 한 달 착용 콘택트렌즈는 4주까지는 광학적 특성 변화가 안정적으로 나타났으나 6주 착용 시 광투과율과 시감투과율이 감소하는 경향이 관찰되었다. **결론:** 일회용 콘택트렌즈는 단기 착용에 대해 광학적 안정성이 매우 높았으나, 한 달 착용 콘택트렌즈는 장기 착용에 따라 광학적 성능 저하의 가능성이 나타났다. 이러한 결과는 향후 시기능 평가와 렌즈 착용 대상자의 모집단 확대를 포함한 대규모 연구의 필요성을 뒷받침해주고 있다.

**주제어:** 청색광 차단 콘택트렌즈, 컷-오프 파장, 시감투과율, 분광투과율