

## Changes in Soft Contact Lens Parameters according to Exposure Time to Blue Light

So Joung Lee<sup>1,a</sup>, Hyun Dong Choi<sup>1,b</sup>, Min Ji Kim<sup>1,c</sup>, Yu Jin Yang<sup>1,d</sup>, Mijung Park<sup>2,e</sup>, and So Ra Kim<sup>2,f,\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Student, Seoul 01811, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Professor, Seoul 01811, Korea

(Received August 12, 2023; Revised August 28, 2023; Accepted August 30, 2023)

**Purpose:** This study aimed to investigate whether the parameters of soft contact lenses (hereinafter “soft lenses”) change due to exposure to blue light. **Methods:** A total of six lenses available on the domestic market were selected including four hydrogel lenses from FDA groups 2 and 4 and two silicone hydrogel lenses in FDA group 5, and exposed to emissions from blue light-emitting diodes for 10, 20, and 30 min, respectively. The back vertex power, total diameter, base curve, center thickness, and water content of the lenses were measured before and after blue light exposure, and the degree of change was analyzed according to the tolerance of Korean standards (KS). **Results:** Hilafilcon B showed the most significant changes after blue light exposure, whereas senofilcon A showed the least significant changes. Changes in total diameter, base curve, and water content exceeded the KS tolerance in hilafilcon B and B-t lenses regardless the blue light-exposure time. The back vertex power was only altered in hilafilcon B lenses after 20 min of blue light exposure. Methafilcon A and A-b lenses only exhibited changes in water content after 20 to 30 min of blue light exposure. Changes in water content were found in narafilcon A and senofilcon A lenses regardless of blue light-exposure time. Narafilcon A lenses also exhibited changes in total diameter after 10 to 20 min of blue light exposure; however, no change in the center thickness exceeded the KS tolerance. **Conclusions:** The parameters that changed significantly differed for each material when soft lenses were exposed to blue light, and some parameters exhibited changes exceeding the KS tolerance. Since changes in water content were detected in all soft lenses tested regardless of the exposure time, soft lens wearers frequently exposed to blue light should consider reducing their wearing time and lens replacement cycle.

**Key words:** Blue light, Soft contact lenses, Lens parameter, Korean standards

## 서 론

한국지능정보사회진흥원의 2021년 인터넷이용실태조사에 따르면 만 3세 이상의 인구 중 스마트폰 이용자 비율은 92.2%이었고, 10대에서 50대까지 98% 이상이 스마트폰을 이용하는 것으로 나타났다.<sup>[1]</sup> 만 3세 이상 최근 1개월 이내 스마트폰을 사용한 이용자는 주 당 평균 12.1시간 이용하는 것으로 나타났는데, 이는 2016년에 조사된 인터넷이용실태조사에서 만 3세 이상 스마트폰 이용자의 주 평균 스마트폰 사용시간이 8.5시간인 것에 비해 1.4배 증가에 해당된다.<sup>[2]</sup> 한편 주 평균 스마트폰 이용시간이 가장 길었던 20대의 경우는 2016년 12.7시간에서 2021년에는 16.3시간으로 1.3배 증가하여 스마트폰 이용시간이 증가하고

있음을 알 수 있다. Contact Lens Spectrum의 2022년도 조사에 따르면 콘택트렌즈 착용자의 평균 연령이 33.7±15.9세로 조사된 바 있고<sup>[3]</sup>, 스마트폰 이용률 및 이용시간 또한 증가하고 있으므로 콘택트렌즈를 착용한 상태에서 디스플레이에서 방출되는 청색광에 대한 노출시간 증가를 예상할 수 있다.

청색광은 400~500 nm 파장의 가시광선으로 알려져 있으며, 주 발생 요인은 햇빛이지만 부수적인 요인으로는 디지털 기기의 화면에서 방출되는 청색광 노출을 들 수 있다.<sup>[4]</sup> Kuse 등<sup>[5]</sup>에 따르면 청색광은 450~495 nm의 단파장 가시광선으로 다른 색과 달리 높은 에너지를 가지며, 청색 LED 빛이 망막 원뿔 광수용체 세포를 손상시킬 수 있음을 보고하였다. Tosini 등<sup>[6]</sup>은 실험적 증거를 통해 스펙트럼의

본 내용의 일부 내용은 2020 한국안광학회 동계학술대회에서 구연으로 발표되었음.

\*Corresponding author: So Ra Kim, TEL:+82-2-970-6264, E-mail: srk2104@seoultech.ac.kr

Authors ORCID: <sup>a</sup><https://orcid.org/0000-0001-6538-500X>, <sup>b</sup><https://orcid.org/0000-0003-0947-888X>, <sup>c</sup><https://orcid.org/0009-0007-0447-6152>, <sup>d</sup><https://orcid.org/0009-0006-9174-2000>,

<sup>e</sup><https://orcid.org/0000-0002-4645-7415>, <sup>f</sup><https://orcid.org/0000-0001-8786-2815>

청색광장(400~490 nm)은 망막에 손상을 유발할 수 있고 청색광 노출 후 초기 손상은 망막색소상피세포에 국한될 수 있으나 결국 광수용체의 사멸로 이어질 수 있다고 하였다. 이렇듯 청색광이 안구에 미치는 영향은 연구된 바가 많지만 시력교정을 위해 사용되는 콘택트렌즈에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

콘택트렌즈의 파라미터에는 전체직경, 중심부 두께, 베이스커브, 함수율, 산소투과율 등이 있으며, 이와 관련된 국가표준(Korean standards, KS)은 ‘KS B ISO8321-2 안광학 - 콘택트렌즈의 재료, 광학적 및 치수 특성에 대한 명세 - 제2부: 단일시 하이드로겔 콘택트렌즈’이며, 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)의 ‘ISO 18369-4: 2006 Ophthalmic optics-Contact lenses-Part 4: Physicochemical properties of contact lens materials’와 동일한 허용오차 기준을 가진다.<sup>[7]</sup> 소프트렌즈 파라미터의 측정방법에 대한 ISO의 표준은 ‘ISO 18369-3 Ophthalmic optics-Contact lenses-Part 3: Measurement methods’이며, 관련 국가표준은 ‘KS B ISO8599 광학 및 광학기기 - 콘택트렌즈 - 분광 및 시감 투과율 결정’, ‘KS B ISO9338 광학 및 광학 기기 - 콘택트렌즈 - 지름의 결정’, ‘KS B ISO9339-2 광학 및 광학기기 - 콘택트렌즈 - 두께결정 - 제2부: 하이드로겔 콘택트렌즈’, ‘KS B ISO10338 광학 및 광학기기 - 콘택트렌즈 - 곡률 결정’이다. 이렇듯 콘택트렌즈 파라미터의 평가 기준과 허용오차는 표준으로 제시되어 있고, 이에 영향을 줄 수 있는 요인으로 유통 시의 노출 온도, 온도변화의 반복, 아이라이너 침착, 땀 및 자외선 조사 등이 다양하게 연구되었으나 청색광에 노출되었을 때의 파라미터 연구는 부족한 실정이다.<sup>[8-12]</sup>

이에 본 연구는 소프트콘택트렌즈(이하 소프트렌즈)가

청색광에 노출되었을 때 렌즈 파라미터의 변화가 유발되는지와 그 변화가 국가표준의 허용오차 이내인가를 알아보고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 사용 소프트렌즈

소프트렌즈(실리콘 하이드로겔 포함)의 착색 유무, 청색광 차단 유무 및 재질 차이에 따른 렌즈 파라미터 변화를 비교하기 위하여 국내 시판 중인 6종의 일일 일회용 콘택트렌즈(daily disposable contact lens)를 연구에 사용하였다. 즉, 착색 유무에 따른 비교를 위한 FDA 2군의 hilafilcon B 재질, 청색광 차단 유무에 따른 비교를 위한 4군의 methafilcon A 재질, 재질 차이에 따른 비교를 위한 5군의 narafilcon A 및 senofilcon A 재질의 -3.00 D렌즈를 선정하였다. FDA 2군의 렌즈 중 착색이 없는 경우는 hilafilcon B, 착색된 경우는 hilafilcon B-t로 표시하였고, FDA 4군의 렌즈 중 청색광 차단이 되지 않는 경우는 methafilcon A, 청색광 차단이 되는 경우는 methafilcon A-b로 표시하였다. Methafilcon A-b는 Blue light Blocking Yellow Layer(BBYL) 기술이 적용된 렌즈로 렌즈 표면층에만 Yellow 색소로 착색하여 청색광만을 선택적으로 차단하도록 제조된 렌즈이다.<sup>[13]</sup>

### 2. 실험 방법

#### 1) 청색광 노출 조건

청색광 조사 시 발생가능한 발열의 전달을 최소화하기 위하여 소프트렌즈로부터 상방 15 cm 간격에 발광 다이오드의 청색광원(420-470 nm, 94 mW/cm<sup>2</sup>, 가로 90 mm, 세로 148 mm)을 둔 상태로 각각 10분, 20분 및 30분 동안 렌

Table 1. Specification of the contact lenses evaluated in this study

| USAN                  | Hilafilcon B | Hilafilcon B-t | Methafilcon A       | Methafilcon A-b | Narafilcon A           | Senofilcon A                                |
|-----------------------|--------------|----------------|---------------------|-----------------|------------------------|---|
| Manufacturer          | Bausch+Lomb  |                | INTEROJO            |                 | Johnson&Johnson Vision |   |
| FDA classification    | Group II     |                | Group IV            |                 | Group V                |   |
| Total diameter (mm)   | 14.2         |                | 14.2                |                 | 14.2                   | 14.3  |
| Base curve (mm)       | 8.6          |                | 8.6                 |                 | 8.5                    |   |
| Center thickness (mm) | 0.090        |                | 0.100               | 0.080           | 0.085                  |   |
| Water content (%)     | 59           |                | 55                  |                 | 46                     | 38  |
| Dk/t (Fatt unit)      | 24           |                | 18                  | 20              | 118                    | 121   |
| Replacement schedule  | Daily Wear   |                |                     |                 |                        |   |
| Monomer               | HEMA + NVP   |                | Unpublished         |                 | HEMA + PVP + siloxane  | HEMA + PVP + siloxane + DMA + mPDMS + EGDMA |
| Feature               | Tinted       |                | Blue light blocking |                 | Generation             |   |
|                       | ×            | ○              | ×                   | ○               | 2                      | 2   |

즈에 조사하였다. 전체직경, 베이스커브 측정과 청색광 노출 전후 및 노출 시 소프트렌즈 보관에는 인산완충용액 (PBS, pH 6.6, ISO18369)이 사용되었다. 시간 별 청색광 노출 전후 각 소프트렌즈의 직경, 베이스커브, 중심두께, 굴절력 및 함수율을 측정하였다.

2) 렌즈 파라미터 측정<sup>[14]</sup>

수동 렌즈미터(LM-8, Topcon, Japan)를 이용하여 렌즈 후면의 정점굴절력을 0.125 D 단위로 측정하였으며, 직경 및 곡률반경 측정 장치(Model TC20, Optimec, England)를 이용하여 소프트렌즈의 직경 및 베이스커브를 측정하였다. 전자 두께 측정 장치(Model ET-3, Createch, USA)에 소프트렌즈의 중심을 맞추고 렌즈 후면이 위로 가게 한 다음 중심 두께를 0.001 mm 단위로 측정하였다. 모든 파라미터는 3회 측정하여 평균값을 사용하였다.

함수율 측정을 위하여 전자저울(MW-120, CAS, Korea)을 이용해 건조 전 렌즈의 무게를 0.0001 g 단위로 측정하였고, 이후 건조기(WOF-105, Daihan, Korea)에서 65°C 온도에서 24시간 동안 건조시킨 후 렌즈의 무게를 0.0001 g 단위로 다시 측정하여 건조 전후의 렌즈 무게로부터 함수율을 계산하였다.

3. 통계처리

본 연구의 실험결과는 평균±표준편차로 표시하였으며, IBM SPSS Statistics(ver 23.0)을 이용하여 유의수준을 결정하였다. 청색광 노출시간에 따른 소프트렌즈의 파라미터 변화는 one-way ANOVA test를 통하여 분석하였고, 청색광 노출시간 간 파라미터 변화의 유의성은 Bonferroni test로 검증하였다. 이 때 유의확률이  $p < 0.05$ 인 경우 통계적 유의성이 있다고 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 청색광 노출에 의한 소프트렌즈의 굴절력 변화

소프트렌즈의 제조사 표기값과 청색광 조사 후 측정된 굴절력의 변화를 차이값으로 나타내었다(Fig. 1). 청색광 노출시간에 따른 각 렌즈 별 굴절력 변화의 통계적 유의성을 one-way ANOVA로 분석한 결과, hilafilcon B 렌즈에서만 통계적으로 유의한 차이를 보임을 알 수 있었다(Table 2).

즉, FDA 2군인 hilafilcon B 렌즈의 굴절력은 청색광 노출시간이 10분, 20분 및 30분일 때 각각  $-3.13 \pm 0.08$  D,  $-3.26 \pm 0.11$  D 및  $-3.15 \pm 0.07$  D로 나타났으며, 10분과 20분의 노출시간 사이에서 굴절력 차이값의 통계적 유의성이 확인되었다( $p=0.011$  by Bonferroni). 동일한 청색광 노출시간에서 hilafilcon B-t 렌즈의 굴절력은 순서대로  $-3.21 \pm 0.16$  D,

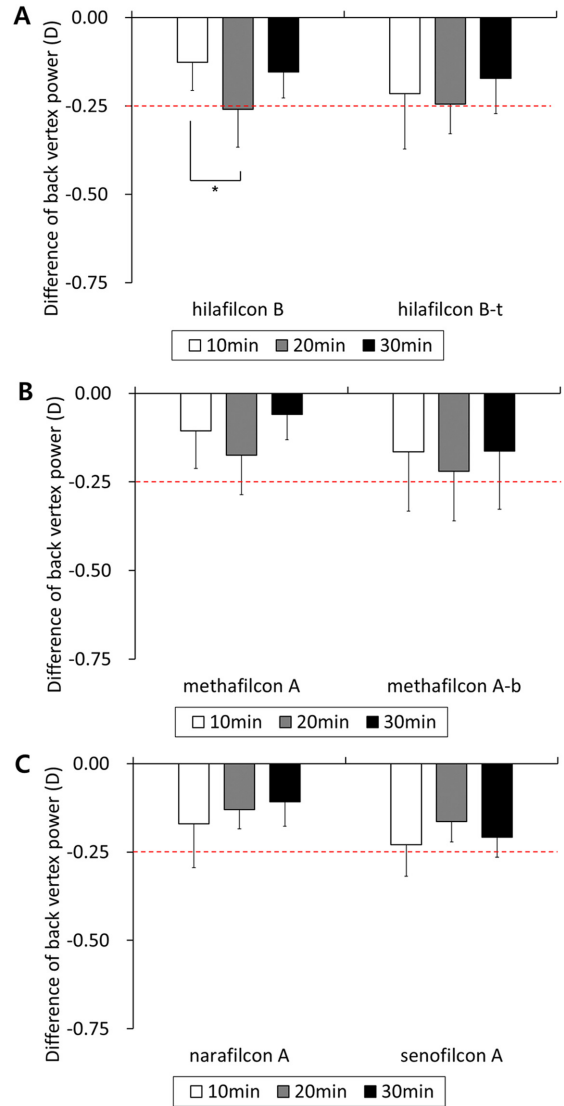


Fig. 1. Differences in back vertex power between labelled and measured values of soft contact lenses after blue light irradiation. A. FDA Group II, B. FDA Group IV, C. FDA Group V. The dotted line corresponds to the permissible tolerance in accordance with Korean standards.

\*: statistical significance value between the measured values at each exposure time at the level of  $p < 0.05$  by Bonferroni.

$-3.24 \pm 0.08$  D 및  $-3.17 \pm 0.10$  D로 나타났으나 노출시간 사이의 통계적 유의성은 없었다. FDA 4군인 methafilcon A 및 methafilcon A-b 렌즈의 굴절력은 청색광 노출시간이 10분, 20분 및 30분일 때 각각 순서대로  $-3.11 \pm 0.11$  D,  $-3.17 \pm 0.11$  D 및  $-3.06 \pm 0.07$  D와  $-3.16 \pm 0.17$  D,  $-3.22 \pm 0.14$  D 및  $-3.16 \pm 0.16$  D로 나타났으나 노출시간 사이의 통계적 유의성이 확인되지 않았다. 한편, FDA 5군인 narafilcon A와 senofilcon A 렌즈가 청색광에 10분, 20분 및 30분간 노출되었을 때 굴절력은 각각  $-3.11 \pm 0.11$  D,  $-3.17 \pm 0.11$  D 및  $-3.06 \pm$

Table 2. Statistical analyses of changes in the measured parameters of soft contact lenses after blue light irradiation using one-way ANOVA

| Lens parameters   | USAN         |                |               |                 |              |              |
|-------------------|--------------|----------------|---------------|-----------------|--------------|--------------|
|                   | Hilafilcon B | Hilafilcon B-t | Methafilcon A | Methafilcon A-b | Narafilcon A | Senofilcon A |
| Back vertex power | 0.009*       | 0.435          | 0.063         | 0.692           | 0.330        | 0.146        |
| Total diameter    | 0.013*       | 0.018*         | 0.020*        | 0.000*          | 0.519        | 0.052        |
| Base curve        | 0.006*       | 0.434          | 0.718         | 0.017*          | 0.586        | 0.225        |
| Center thickness  | 0.576        | 0.744          | 0.301         | 0.652           | 0.019*       | 0.603        |
| Water content     | 0.000*       | 0.078          | 0.088         | 0.001*          | 0.279        | 0.196        |

\*: \*: statistical significance value of the difference between the measured at each exposure time at the level of  $p < 0.05$ .

0.07 D와  $-3.23 \pm 0.09$  D,  $-3.16 \pm 0.06$  D 및  $-3.21 \pm 0.06$  D로 나타났고 노출시간 사이의 통계적 유의성이 확인되지 않았다. 따라서 청색광 노출에 의한 굴절력 변화의 통계적 유의성은 hilafilcon B 렌즈에서 일부 시간 대에 나타났으며, 청색광에 20분간 노출되었을 때 굴절력 변화값은  $-0.26 \pm 0.11$  D으로 국가표준의 허용오차 기준인 ‘표기값  $\pm 0.25$  D 이내’를 초과한 변화임을 알 수 있었다.

2. 청색광 노출에 의한 소프트렌즈의 전체직경 변화

소프트렌즈의 제조사 표기값과 청색광 조사 후 측정된 전체직경 사이의 차이값을 비교하였다(Fig. 2). 청색광 노출시간에 따른 각 렌즈의 전체직경 변화에 대한 통계적 유의성을 one-way ANOVA로 분석한 결과, 실리콘 하이드로겔 렌즈인 narafilcon A와 senofilcon A를 제외한 나머지 소프트렌즈의 전체직경은 통계적으로 유의한 변화를 보임을 알 수 있었다(Table 2).

청색광에 10분, 20분 및 30분 노출되었을 때 hilafilcon B 렌즈의 전체직경은 각각  $13.79 \pm 0.02$  mm,  $13.74 \pm 0.01$  mm 및  $13.76 \pm 0.03$  mm로 나타났으며 10분과 20분의 노출시간 사이의 통계적 유의성이 확인되었다( $p=0.011$  by Bonferroni). 동일한 노출시간에서의 hilafilcon B-t 렌즈의 전체직경은 순서대로  $13.80 \pm 0.02$  mm,  $13.79 \pm 0.05$  mm 및  $13.74 \pm 0.05$  mm로 측정되었으며, 10분과 30분 노출시간 사이의 전체직경에서 통계적 유의성이 확인되었다( $p=0.021$  by Bonferroni). Hilafilcon B 렌즈와 hilafilcon B-t 렌즈에서의 전체직경의 변화는 노출시간에 관계없이 모두 국가표준의 허용오차인 ‘표기값  $\pm 0.2$  mm 이내’를 초과한 변화를 나타내었다. Methafilcon A 렌즈의 전체직경은 동일한 조건에서 순서대로  $14.20 \pm 0.02$  mm,  $14.20 \pm 0.00$  mm 및  $14.18 \pm 0.03$  mm로 측정되었으며, 노출 10분과 30분 사이에서 통계적 유의성이 확인되었고( $p=0.03$  by Bonferroni), methafilcon A-b 렌즈의 전체직경은  $14.14 \pm 0.03$  mm,  $14.14 \pm 0.03$  mm 및  $14.08 \pm 0.03$  mm이었으며, 청색광 노출 10분과 30분( $p=0.001$  by Bonferroni), 20분과 30분( $p=0.003$  by Bonferroni) 사이의

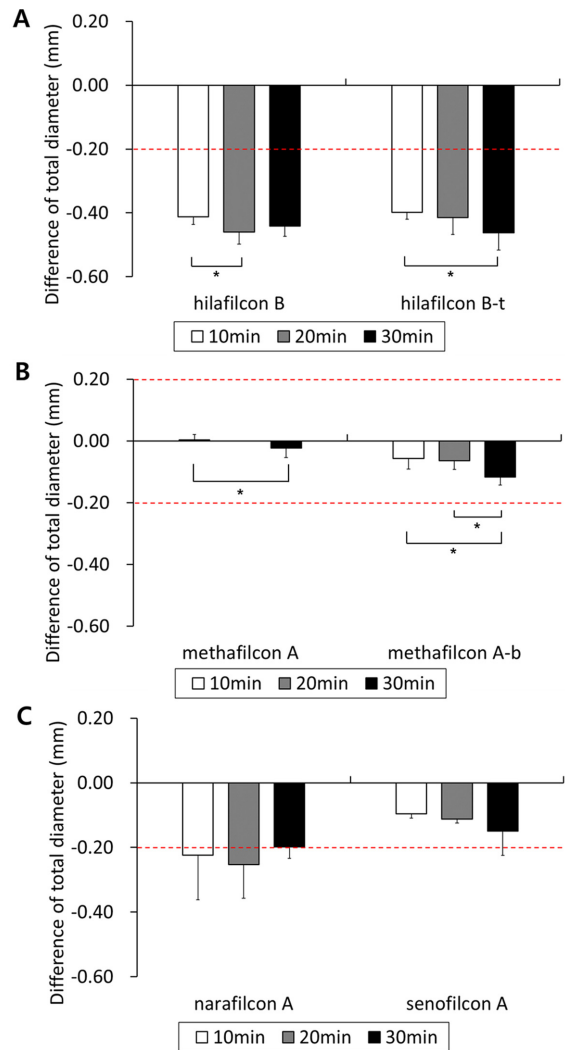


Fig. 2. Differences in diameter between labelled and measured values of soft contact lenses after blue light irradiation. A. FDA Group II, B. FDA Group IV, C. FDA Group V, The dotted line corresponds to the permissible tolerance in accordance with Korean standards.

\*: statistical significance value between the measured values at each exposure time at the level of  $p < 0.05$  by Bonferroni.

전체직경에서 통계적 유의성이 확인되었으나 국가표준 허용오차를 초과한 변화는 아니었다. 한편, narafilcon A와 senofilcon A 렌즈가 청색광에 10분, 20분 및 30분간 노출되었을 때 전체직경은 각각  $13.98 \pm 0.14$  mm,  $13.95 \pm 0.10$  mm 및  $14.00 \pm 0.04$  mm와  $14.20 \pm 0.01$  mm,  $14.19 \pm 0.01$  mm 및  $14.15 \pm 0.08$  mm로 나타났고 두 렌즈 모두 노출시간 간 전체직경 차이에서 통계적 유의성이 확인되지 않았다. 그러나 narafilcon A 렌즈가 청색광에 10분 및 20분 노출되었을 때 나타난 전체직경의 변화는 국가표준 허용오차를 초과한 변화이었다.

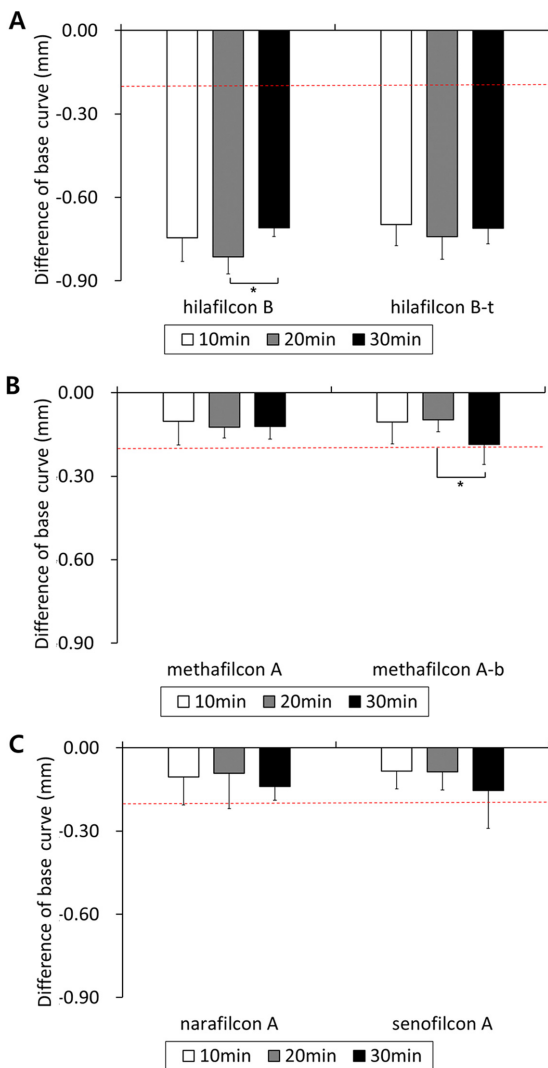


Fig. 3. Differences in base curve between the labelled and measured values of soft contact lenses after blue light irradiation. A. FDA Group II, B. FDA Group IV, C. FDA Group V. The dotted line corresponds to the permissible tolerance in accordance with Korean standards.

\*: statistical significance value between the measured values at each exposure time at the level of  $p < 0.05$  by Bonferroni.

### 3. 청색광 노출에 의한 소프트렌즈의 베이스커브 변화

소프트렌즈의 표기값과 청색광 조사 후 측정된 베이스커브의 차이값을 비교하였다(Fig. 3). 청색광 노출시간에 따른 각 렌즈의 베이스커브 변화에 대한 통계적 유의성을 one-way ANOVA로 분석한 결과, hilafilcon B와 methafilcon A-b 렌즈에서 베이스커브가 통계적으로 유의하게 변화하였음을 알 수 있었다(Table 2).

청색광에 10분, 20분 및 30분 노출되었을 때 hilafilcon B 렌즈의 베이스커브는 각각  $7.85 \pm 0.09$  mm,  $7.79 \pm 0.06$  mm 및  $7.89 \pm 0.03$  mm이었으며 20분과 30분의 노출시간 간 베이스커브 차이는 통계적으로 유의하였다( $p=0.005$  by Bonferroni). 동일한 노출시간에서의 hilafilcon B-t 렌즈의 베이스커브는 각각  $7.90 \pm 0.07$  mm,  $7.86 \pm 0.08$  mm 및  $7.89 \pm 0.06$  mm로 나타났으나 노출시간에 따른 베이스커브의 변화는 통계적으로 유의한 차이는 아니었다. 그러나 hilafilcon B와 hilafilcon B-t 렌즈 모두 청색광 노출시간에 관계없이 국가표준의 허용오차인 ‘표기값 $\pm 0.2$  mm 이내’를 초과한 베이스커브의 변화를 나타내었다. Methafilcon A 렌즈의 베이스커브는 동일한 조건에서 순서대로  $8.50 \pm 0.08$  mm,  $8.48 \pm 0.04$  mm 및  $8.48 \pm 0.05$  mm로 측정되었으나 노출시간에 따른 통계적으로 유의한 차이는 아니었다. 한편, methafilcon A-b 렌즈의 베이스커브는 순서대로  $8.49 \pm 0.08$  mm,  $8.50 \pm 0.04$  mm 및  $8.41 \pm 0.07$  mm로 나타났으며, 20분과 30분의 노출시간 간 베이스커브의 차이는 통계적으로도 유의한 차이로 확인되었으나( $p=0.029$  by Bonferroni) 국가표준의 허용오차를 초과하는 변화는 아니었다. Narafilcon A와 senofilcon A 렌즈의 경우는 청색광에 10분, 20분 및 30분간 노출되었을 때 베이스커브가 각각  $8.40 \pm 0.10$  mm,  $8.41 \pm 0.13$  mm 및  $8.36 \pm 0.05$  mm와  $8.42 \pm 0.06$  mm,  $8.41 \pm 0.07$  mm 및  $8.35 \pm 0.14$  mm로 측정되었으며, 노출시간 간 베이스커브 사이에서는 통계적으로 유의한 차이를 확인할 수 없었다.

### 4. 청색광 노출에 의한 소프트렌즈의 중심두께 변화

소프트렌즈의 제조사 표기값과 청색광 조사 후 측정된 중심두께의 차이값을 알아보았다(Fig. 4). 청색광 노출시간에 따른 각 렌즈의 중심두께 변화에 대한 통계적 유의성을 one-way ANOVA로 분석한 결과, narafilcon A 렌즈에서 중심두께 변화의 통계적 유의성을 확인할 수 있었다(Table 2).

청색광 노출시간에 관계없이 hilafilcon B 및 hilafilcon B-t 렌즈의 중심두께는 모두  $0.08 \pm 0.00$  mm로 측정되어 변화가 없는 것으로 나타났고, methafilcon A 렌즈의 중심두께 또한 청색광에 노출되더라도 모두  $0.10 \pm 0.00$  mm로 변하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 청색광에 10분, 20분 및 30분 노출된 methafilcon A-b 렌즈의 중심두께는 각각



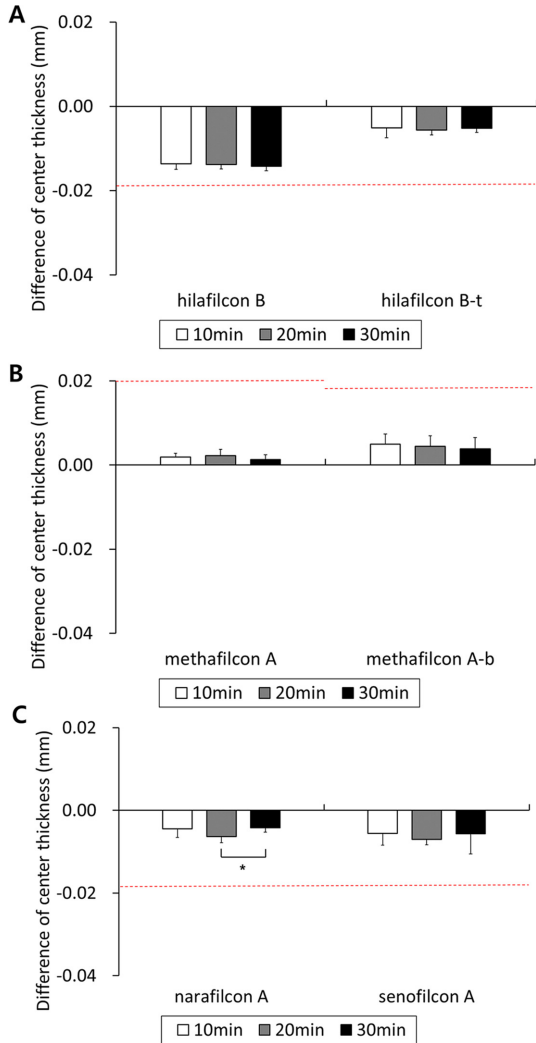


Fig. 4. Differences in center thickness between the labelled and measured values of soft contact lenses after blue light irradiation. A. FDA Group II, B. FDA Group IV, C. FDA Group V. The dotted line corresponds to the permissible tolerance in accordance with Korean standards.  
\*: statistical significance value between the measured values at each exposure time at the level of  $p < 0.05$  by Bonferroni.

0.09±0.00 mm, 0.08±0.00 mm 및 0.08±0.00 mm로 측정되었으나 노출시간 간 중심두께 차이는 통계적으로 유의하지 않는 것으로 나타났다. 청색광에 20분과 30분 사이의 노출시간 narafilcon A 렌즈의 중심두께는 통계적인 유의성이 관찰되었던 반면( $p=0.03$  by Bonferroni), 청색광 노출시간에 관계없이 senofilcon A 렌즈의 중심두께는 모두 0.08±0.00 mm로 나타났고 통계적 유의성도 관찰되지 않았다. 본 연구에서 비교한 소프트렌즈의 경우는 청색광에 노출되더라도 국가표준의 허용오차인 ‘중심두께가 0.1 mm 이하면±{0.010+(표시치0.1)} mm, 중심두께가 0.1 mm 초과면 {0.015+(표시치0.05)} mm’를 초과한 변화를 보이는 렌즈는 없었다.

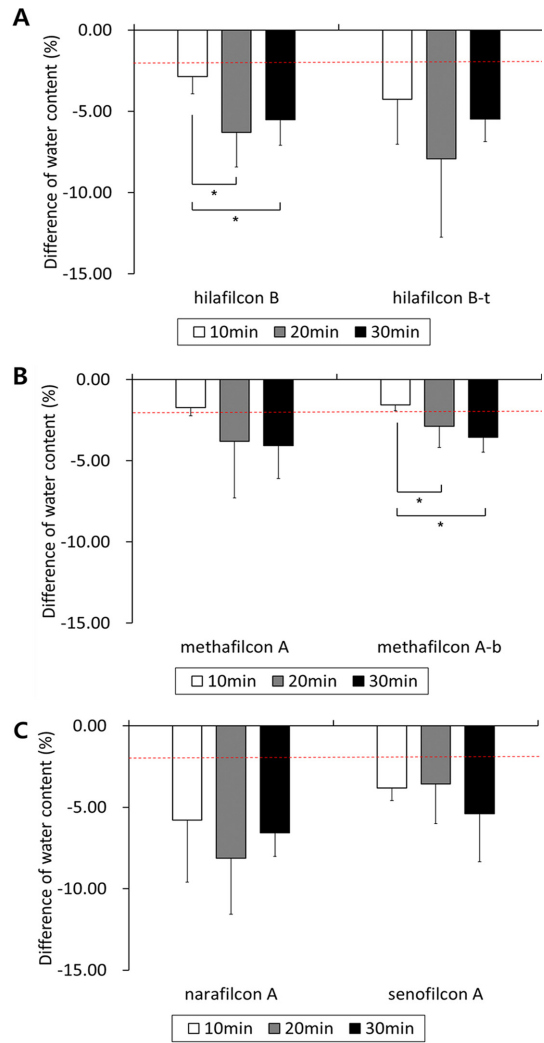


Fig. 5. Differences in water content between the labelled and measured values of soft contact lenses after blue light irradiation. A. FDA Group II, B. FDA Group IV, C. FDA Group V. The dotted line corresponds to the permissible tolerance in accordance with Korean standards.  
\*: statistical significance value between the measured values at each exposure time at the level of  $p < 0.05$  by Bonferroni.

### 5. 청색광 노출에 의한 소프트렌즈의 흡수율 변화

소프트렌즈의 제조사 표기값과 청색광 조사 후 측정된 흡수율의 차이값을 알아보았다(Fig. 5). 청색광 노출시간에 따른 각 렌즈의 중심두께 변화에 대한 통계적 유의성을 one-way ANOVA로 분석한 결과, hilafilcon B와 methafilcon A-b 렌즈에서 흡수율 변화의 통계적 유의성을 확인할 수 있었다(Table 2).

청색광 노출시간이 10분, 20분 및 30분일 때 hilafilcon B 렌즈의 흡수율은 56.1±1.1%, 52.7±2.1% 및 53.5±1.6%로 측정되었으며, 10분과 20분( $p=0.001$  by Bonferroni), 10분과 30분( $p=0.006$  by Bonferroni) 노출시간 사이에서 통계적으로 유의한 흡수율의 차이가 확인되었다. 동일한 조건에서

hilafilcon B-t 렌즈의 함수율은  $54.7 \pm 2.8\%$ ,  $51.1 \pm 4.8\%$  및  $53.5 \pm 1.4\%$ 로 나타났으나 노출시간 간 함수율에서는 통계적인 유의성을 관찰할 수 없었다. Methafilcon A 렌즈의 함수율은 동일한 순서대로  $53.3 \pm 0.5\%$ ,  $51.2 \pm 3.5\%$  및  $50.9 \pm 2.0\%$ 로 나타났으며 노출시간 사이의 통계적 유의성은 확인되지 않았다. 그러나 methafilcon A-b 렌즈의 함수율은  $53.4 \pm 0.4\%$ ,  $52.1 \pm 1.3\%$  및  $51.4 \pm 0.9\%$ 로 측정되었으며, 10분과 20분( $p=0.021$  by Bonferroni), 10분과 30분( $p=0.000$  by Bonferroni)의 노출시간 사이에서 통계적 유의성을 확인할 수 있었다. 한편 narafilcon A와 senofilcon A 렌즈의 함수율은 각각  $40.2 \pm 3.8\%$ ,  $37.9 \pm 3.4\%$  및  $39.4 \pm 1.4\%$ 와  $34.2 \pm 0.8\%$ ,  $34.4 \pm 2.4\%$  및  $32.6 \pm 2.9\%$ 로 나타났으며 노출시간 간 함수율 차이에서는 통계적인 유의성을 확인할 수 없었다. 그러나 청색광에 10분간 노출된 methafilcon A와 methafilcon A-b 렌즈를 제외한 나머지 소프트렌즈에서 국가표준의 허용오차인 ‘표기값 $\pm 2\%$  이내’를 초과한 변화가 관찰되었는데 청색광 노출에 가장 적은 수의 파라미터 변화를 보였던 2종의 실리콘 하이드로겔 렌즈에서도 임상적으로 의미를 가질 수 있는 함수율의 변화가 나타났음을 알 수 있었다.

본 연구에서 시험한 모든 소프트렌즈(실리콘 하이드로겔 포함)에서 국가표준의 허용오차를 초과한 변화를 보였던 파라미터는 함수율에 해당되었는데, 국가표준은 ISO의 표준을 채택하고 있으므로 ISO 기준도 벗어난다고 동일하게 해석할 수 있다. 또한 그 변화는 감소 경향이었으므로 청색광 노출로 소프트렌즈의 탈수가 일어났다고 생각할 수 있겠다. 그러나 본 연구는 생체 외 실험이었으므로 실생활의 경우보다 외부 환경 조건에 과하게 반응하였을 가능성이 있다. 즉, 실제 소프트렌즈 착용 시에는 렌즈의 한쪽 면만 대기에 노출되고 적절한 눈물과 눈감박임으로 렌즈 표면에서의 증발속도가 생체 외 실험의 경우보다는 감소할 것으로 예상되므로 생체 내 연구의 필요성을 생각해 볼 수 있다.<sup>[15]</sup> 그러나 청색광에 장기간 노출되면 산화 스트레스 손상, 안구 표면 염증 및 세포 사멸로 인해 안구 표면이 변화할 수 있으며, 이는 청색광의 안구 광독성의 증가 및 안구건조증의 발생이나 합병으로 이어질 수 있어 생체 내 연구에는 한계를 가진다.<sup>[16]</sup>

본 연구에서 렌즈의 재질 및 청색광 노출시간에 따라 차이는 있지만 methafilcon A 렌즈에 20분 동안 청색광을 노출시켰을 때의 전체직경을 제외하고 파라미터의 변화가 관찰되었다. 굴절력, 베이스커브 및 함수율은 모두 ‘+’ 방향으로 증가하여 굴절력의 근시성 변화, 베이스커브의 스틱한 변화, 렌즈 탈수의 가능성이 있음을 알 수 있었고, 전체직경의 경우는 methafilcon A 렌즈를 제외하고 감소하는 경향을 보여 렌즈가 청색광 노출로 스틱해졌을 가능성이 있음을 알 수 있었다. Choi 등<sup>[17]</sup>은 스틱한 각막의 경우에

도 플랫한 베이스커브가 더 좋은 피팅 상태를 보일 수 있다고 밝힌 바 있으므로, 청색광 노출에 따른 소프트렌즈 파라미터의 변화는 적절치 않은 피팅 상태의 원인이 될 것으로 생각된다. 중심두께는 methafilcon A와 methafilcon A-b 렌즈가 증가하는 경향성을 보이고 나머지는 모두 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 렌즈 파라미터의 변화는 피팅 상태를 변화시키고 근시의 과교정 상태를 유발할 수 있다. 또한 함수율의 감소는 피팅 상태의 변화와 함께 이물감 및 통증 등 여러 자각증상을 유발하여 착용감 저하로 이어질 수 있다. 따라서 청색광에 많이 노출되는 환경에 있는 사람이라면 소프트렌즈 선택 시 렌즈의 재질적 특성을 고려해야 할 것으로 생각된다.

Harris 등<sup>[18]</sup>에 따르면 자외선 영역의 빛을 FDA 1-4군의 소프트렌즈 및 RGP렌즈에 20시간 조사하였을 때 2군의 소프트렌즈 파라미터에서 가장 큰 변화를 보였다. 본 연구에서도 이와 유사하게 2군의 hilafilcon B 렌즈와 hilafilcon B-t 렌즈에서 청색광 노출로 파라미터가 다른 재질의 렌즈들에 비해 변화가 많은 것으로 나타났다. 그러나 자외선을 사용한 선행연구에서는 파라미터 변화가 증가 방향인 것과는 반대로 청색광을 사용한 본 연구에서는 감소의 경향성을 나타내었다. 이는 에너지 파장이 높은 자외선 영역이 아닌 단파장대의 가시광선인 청색광을 하여 에너지 수준이 차이가 있었다는 점, 청색광 노출시간이 자외선 노출시간이었던 20시간에 비해 짧았다는 점 등에 기인한 결과라고 생각된다. 또한 생체 외 평균로  $21^{\circ}\text{C}$ 에서  $35^{\circ}\text{C}$ 로 온도가 증가함에 따라 6종류의 렌즈(balafilcon A, comfilcon A, etafilcon A, lotrafilcon B, omafilcon A 및 senofilcon A)의 직경과 베이스커브가 감소한 연구결과<sup>[19]</sup>와 유사한 것으로 보아 본 연구 수행에서 청색광 조사 시 발생가능한 발열의 노출을 최소화하였으나 완전히 차단하지 못 하였을 가능성이 있다고 생각되었다. 특히 청색광 노출로 통계적으로 유의한 변화를 보이는 파라미터의 개수가 가장 많았던 hilafilcon B 렌즈의 경우, 이온성 고함수 재질로 모듈러스가 낮아<sup>[20]</sup> 변화가 많이 일어난 것으로 사료되며, 본 연구 조건보다 장시간의 청색광 노출조건으로 추후 연구를 수행한다면 파라미터 변화 추세에 대한 보다 명확한 결론을 도출할 수 있을 것이라 생각된다.

본 연구에서 사용한 발광 다이오드의 청색광은 일상생활에서 노출되는 청색광보다 강한 강도이므로 지속적으로 청색광에 노출되는 일상생활 조건과의 직접적인 비교에는 무리가 있다는 한계점을 가진다.

## 결 론

본 연구는 선행연구<sup>[21]</sup>에서 대조군으로 사용한 청색광과

동일한 강도의 청색광을 조사하여 소프트렌즈의 파라미터 변화를 관찰하였다. 청색광 노출로 통계적으로 유의한 변화를 보이는 파라미터의 개수가 가장 많았던 렌즈는 hilafilcon B이었으며, 가장 적었던 렌즈는 senofilcon A 렌즈이었다. 국가표준에 허용오차를 초과하는 변화가 나타난 파라미터는 굴절력, 전체직경, 베이스커브 및 함수율로 확인되었으며 중심두께는 국가표준에 허용오차를 초과하는 변화가 나타나지 않았다.

청색광 노출로 국가표준의 허용오차를 초과하는 변화를 보인 경우는 hilafilcon B 렌즈에서는 청색광 노출시간에 관계없이 전체직경, 베이스커브 및 함수율이었으며, 굴절력의 경우는 청색광에 20분 노출되었을 때에만 나타났었다. Hilafilcon B-t 렌즈에서는 청색광 노출시간에 관계없이 전체직경, 베이스커브 및 함수율이었다. Methafilcon A 및 A-b 렌즈에서는 20~30분간 청색광 노출 시 함수율에서만 나타났으며, narafilcon A 렌즈는 청색광 노출시간에 관계없이 함수율에서 확인되었고, 10~20분의 청색광 노출 시 전체직경에서도 변화가 관찰되었다. Senofilcon A 렌즈는 청색광 노출시간에 관계없이 함수율에서 확인되었다.

본 연구는 임상연구가 아닌 실험실에서 수행된 연구이므로 안구에 직접 착용한 상태로 청색광에 노출된다면 눈의 생리와 눈물로 인하여 그 영향이 달라질 수 있으며, 청색광의 조사거리 및 시간이 달라지면 그 결과 또한 달라질 것이라는 한계점을 가진다. 본 연구는 생체 외 실험이기는 하나 청색광 조사로 인한 소프트렌즈 파라미터의 유의한 변화가 확인되었으므로 소프트렌즈 착용자가 실생활에서 근접한 거리의 청색광에 노출된다거나 과도하게 반복 노출된다면 소프트렌즈 착용시간 및 소프트렌즈 교체주기의 단축을 고려해야 할 필요성을 제안할 수 있겠다.

## REFERENCES

- [1] NIA(National Information Society Agency). Survey on the Internet Usage, 2021. [https://www.nia.or.kr/site/nia\\_kor/ex/bbs/View.do?cbIdx=99870&bcIdx=24378&parentSeq=24378](https://www.nia.or.kr/site/nia_kor/ex/bbs/View.do?cbIdx=99870&bcIdx=24378&parentSeq=24378) (26 August 2023).
- [2] NIA(National Information Society Agency). Survey on the Internet Usage, 2016. [https://www.nia.or.kr/site/nia\\_kor/ex/bbs/View.do?cbIdx=99870&bcIdx=20790&parentSeq=20790](https://www.nia.or.kr/site/nia_kor/ex/bbs/View.do?cbIdx=99870&bcIdx=20790&parentSeq=20790) (26 August 2023).
- [3] Contact Lens Spectrum. International contact lens prescribing in 2022, 2023. [https://www.clspectrum.com/issues/2023/january-2023/international-contact-lens-prescribing-in-2022\(26 August 2023\)](https://www.clspectrum.com/issues/2023/january-2023/international-contact-lens-prescribing-in-2022(26 August 2023)).
- [4] Coats JG, Maktabi B, Abou-Dahech MS, et al. Blue light protection, part II-ingredients and performance testing methods. *J Cosmet Dermatol.* 2020;20(3):718-723. DOI: <https://doi.org/10.1111/jocd.13854>
- [5] Kuse Y, Ogawa K, Tsuruma K, et al. Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. *Sci Rep.* 2014;4:5223. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep05223>
- [6] Tosini G, Ferguson I, Tsubota K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Mol Vis.* 2016; 22:61-72.
- [7] Kim SA, Jung JW, Seo KY, et al. Comparison and investigation of the national standards for tinted contact lenses between various countries. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2015; 56(11):1692-1698. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2015.56.11.1692>
- [8] Song TH, Cho CK, Lee SE, et al. Changes in the surface and parameters of circle contact lenses exposed to various temperatures during distribution. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2019;24(1):29-42. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2019.24.1.29>
- [9] Cho CK, Song TH, Lee SE, et al. Effects of repeated temperature changes on soft contact lens parameters. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2018;23(3):227-239. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2018.23.3.227>
- [10] Park M, Kim SH, Ku BK, et al. Comparisons of the change in soft contact lenses parameters and the cleaning efficiency after eyeliner deposition. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2013;18(2):107-115. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2013.18.2.107>
- [11] Park SH, Park JS, Kim SR, et al. Analysis of changing pattern in parameters and surface of soft contact lenses by sweat. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2020;25(3):235-248. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2020.25.3.235>
- [12] Jeong HY, Kim HR, Jeong JH. The study on the change of luminous transmittance and contrast sensitivity by soft contact lens affected ultraviolet rays. *Korean J Vis Sci.* 2014;16(2):217-226.
- [13] Optic Weekly. Harmful blue light...with 'Freedom 380', your worries are over!, 2020. [https://www.opticweekly.com/news/view.php?idx=13403&sm=w\\_total&stx=BBYL&stx2=&w\\_section1=&sdate=&edate\(4 August 2023\)](https://www.opticweekly.com/news/view.php?idx=13403&sm=w_total&stx=BBYL&stx2=&w_section1=&sdate=&edate(4 August 2023)).
- [14] Kim CY, Kim SS, Hwang SD, et al. Effects of non-compliance in the caring count for using hydrogen peroxide-based care solution on the parameters and pigmentation of planed replacement circle soft contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2022;27(1):23-34. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2022.27.1.23>
- [15] Jones L, May C, Nazar L, et al. In vitro evaluation of the dehydration characteristics of silicone hydrogel and conventional hydrogel contact lens materials. *Cont Lens Anterior Eye.* 2002;25(3):147-156. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1367-0484\(02\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S1367-0484(02)00033-4)
- [16] Coughard-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>



- [17] Choi W, Park JE, Lee KJ. Effect of base curve on silicone hydrogel contact lens fitting characteristics and comfort. *Korean J Vis Sci.* 2019;21(2):259-269. DOI: <https://doi.org/10.17337/JMBI.2019.21.2.259>
- [18] Harris MG, Buttino LM, Chan JC, et al. Effects of ultraviolet radiation on contact lens parameters. *Optom Vis Sci.* 1993;70(9):739-742. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-199309000-00010>
- [19] Ozkan J, Ehrmann K, Meadows D, et al. Lens parameter changes under in vitro and ex vivo conditions and their effects on the conjunctiva. *Cont Lens Anterior Eye.* 2013; 36(4):171-175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2013.01.004>
- [20] Lee YJ, Park SY, Eom Y. Characteristics of silicone hydrogel contact lenses commercially available in Korea. *Ann Optom Contact Lens.* 2022;21(2):47-52. DOI: <https://doi.org/10.52725/aocl.2022.21.2.47>
- [21] Park S. Effect of photooxidation of A2E, a lipofuscin in the retina, induced by smartphone light against the photooxidation by blue light blocking lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2018;23(4):511-517. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2018.23.4.511>

## 청색광 노출시간에 따른 소프트콘택트렌즈의 파라미터 변화

이소정<sup>1</sup>, 최현동<sup>1</sup>, 김민지<sup>1</sup>, 양유진<sup>1</sup>, 박미정<sup>2</sup>, 김소라<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 안경광학과, 학생, 서울 01811

<sup>2</sup>서울과학기술대학교 안경광학과, 교수, 서울 01811

투고일(2023년 8월 12일), 수정일(2023년 8월 28일), 게재확정일(2023년 8월 30일)

**목적:** 본 연구에서는 청색광 노출로 인한 소프트콘택트렌즈(소프트렌즈)의 파라미터 변화 유무를 알아보고자 하였다. **방법:** 국내 시판 중인 FDA 2군과 4군의 하이드로겔 렌즈 4종과 및 5군의 실리콘 하이드로겔 렌즈 2종으로 총 6종을 선정한 후 청색(420~470 nm)의 발광 다이오드에 각각 10, 20 및 30분 동안 노출시켰다. 청색광 노출 전 후에 렌즈의 굴절력, 전체직경, 베이스커브, 중심두께 및 함수율을 각각 측정하여 이의 변화 정도를 국가표준의 허용오차 기준에 따라 분석하였다. **결과:** 청색광 노출로 통계적으로 유의한 변화를 보이는 파라미터의 개수가 가장 많았던 렌즈는 hilafilcon B이었으며, 가장 적었던 렌즈는 senofilcon A 렌즈이었다. 청색광 노출로 국가표준의 허용오차를 초과하는 변화를 보인 경우는 hilafilcon B 및 B-t 렌즈는 청색광 노출시간에 관계없이 전체직경, 베이스커브 및 함수율이었으며, 굴절력의 경우는 hilafilcon B 재질 렌즈가 청색광에 20분 노출되었을 때에만 나타내었다. Methafilcon A 및 A-b 렌즈에서는 20~30분간 청색광 노출 시 함수율에서만 나타났으며, narafilcon A 및 senofilcon A 렌즈는 청색광 노출시간에 관계없이 함수율에서 확인되었고, narafilcon A 렌즈는 10~20분의 청색광 노출 시 전체 직경에서도 변화가 관찰되었다. 한편 중심두께는 국가표준의 허용오차를 초과하는 변화를 보이는 경우는 없었다. **결론:** 본 연구 결과, 소프트렌즈가 청색광에 노출될 때 재질 별로 유의한 변화를 보이는 파라미터가 상이하며, 일부 파라미터는 국가표준의 허용오차를 초과하는 변화를 보임을 알 수 있었다. 특히 함수율의 변화는 모든 소프트렌즈에서 노출시간에 관계없이 나타났으므로 청색광에 노출되는 경우가 많은 소프트렌즈 착용자라면 착용시간과 렌즈 교체주기의 단축을 고려하여야 할 것으로 생각된다.

**주제어:** 청색광 노출, 소프트콘택트렌즈, 렌즈 파라미터, 국가표준