

## 온도 및 습도 노출에 따른 안경렌즈의 표면 및 특성 변화

- 고온 환경에서 습도의 고저에 따른 코팅막 특성 변화
- 고온 다습한 환경에 장시간 노출 시 안경렌즈의 안정성 점검 필요

기사 입력 2023-01-31 17:01:02

목적 : 온도와 습도 변화가 안경렌즈의 안정성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

방법 : 온도 35℃와 80℃, 상대습도 30%와 85%를 조합한 4가지 조건 하에 -1.00, -5.00 및 -8.00 D의 고굴절률( $n=1.60$ ) 안경렌즈를 24시간, 72시간 및 120시간 동안 노출시킨 후 파라미터 및 코팅막의 변화를 비교하였다.

결과 : 낮은 온도조건인 35℃에 노출시킨 렌즈는 습도에 관계없이 표면 및 특성의 변화가 관찰되지 않았으나, 높은 온도조건인 80℃에 노출시킨 렌즈는 구면 및 난시 굴절력의 변화, 최대 약 5%의 접촉각 감소 및 부착력 등급 감소와 더불어 중심부에서 주변부로 갈수록 더 깊고 큰 코팅막 표면 균열이 관찰되었다. 이러한 변화는 노출시간의 증가에 따라 커졌으며, 높은 습도 조건일 때 낮은 습도 대비 더 크게 나타났다. 한편 동일한 온도 및 습도 조건 하에서 굴절력에 따른 안경렌즈의 변화를 비교한 결과, -1.00 D 대비 -5.00 D와 -8.00 D에서 큰 변화가 관찰되었다.

결론 : 본 연구결과, 고온 환경에서는 습도의 고저가 안경렌즈의 코팅막 및 특성에 더 크게 영향을 미침을 알 수 있었다. 따라서 안경렌즈가 고온 다습한 환경에 장시간 노출된다면 제조사의 권장 교체주기로는 안정성이 보장되지 않을 수 있으므로 이를 고려한 안경렌즈 사용 및 점검의 필요성을 제안할 수 있겠다.

### 서론

굴절 이상 교정을 위하여 사용되는 안경렌즈의 대부분은 유리 렌즈에 비하여 가공성이 좋은 플라스틱 소재로 제조된다.

그러나 굴절력이 커질수록 (-)렌즈의 가장자리와 (+)렌즈의 중심두께가 두꺼워지기 때문에 미용 상 좋지 않고 무겁다는 단점을 보완하기 위하여 가장자리와 중심부의 두께 차이가 비교적 적은 고굴절률의 렌즈가 사용된다.

고굴절률 렌즈는 렌즈 표면 반사율이 중/저굴절률의 렌즈보다 높아 투과율을 높이는 반사방지막 코팅(Anti-reflection coating)이 필요하다.

이 외에도 표면 경도를 높이고 렌즈 재질과의 응력 완충작용을 하는 하드코팅(Hard coating), 먼지나 이물질 부착을 방지하는 발수 코팅 및 각종 스마트 기기 사용 증가에 따른 청광 차단 코팅 등을 여러 가지 목적에 따라 추가하

여 제작된다.

이러한 기술적 보완에도 불구하고 플라스틱 렌즈는 열에 의해 팽창이나 변형이 쉬워 렌즈 자체의 변화뿐만 아니라 코팅막에도 영향을 받을 수 있다.

열에 의한 코팅막의 변화는 보고된 바 있으나, 온도 및 습도를 모두 고려한 환경조건을 고려한 연구는 미비하다.

따라서 본 연구에서는 사우나, 여름철 차 안 등과 같이 고온다습한 환경조건을 반영하기 위하여 습도 조건을 추가로 설정하였다.

실제로 2012년부터 지난 10년간 우리나라 여름철 월별 최고 기온은 평균  $37.9 \pm 4.6^\circ\text{C}$ 이었으며, 동 기간 동안의 7월 평균 습도는  $79.9 \pm 3.0\%$ , 가장 높은 평균 상대습도는 2020년 7월에 85%, 최저 습도는 평균  $32.5 \pm 5.6\%$ 로 나타났다.

또한 여름철 밀폐된 자동차 실내 온도는 오후 2시 기준  $75^\circ\text{C}$ 로 측정되었고, 사우나의 온도는 열원체 가열 직후 약  $79 \sim 90^\circ\text{C}$ 로 측정되었으며, 습도는 건식사우나의 경우 10~20%, 습식사우나의 경우 80% 이상으로 나타났다.

이에 본 연구에서는 고굴절률 안경렌즈를 다양한 온도 및 습도 조건에 일정기간 동안 노출시킨 후 국제표준기구 (ISO) 평가 기준에 따라 안경렌즈의 물리적 성질을 평가하고, 코팅막의 변화를 알아보고자 하였다.

### 대상 및 방법

#### 1. 실험재료

하드코팅, 자외선 차단코팅, 멀티코팅, 발수코팅이 적용된 고굴절률의 구면 안경렌즈( $n=1.60$ )를 사용하였다.

굴절력에 따른 차이를 관찰하기 위하여 제조회사, 재질 및 코팅 등 특성이 모두 동일하고, 굴절력만  $-1.00\text{ D}$ ,  $-5.00\text{ D}$  및  $-8.00\text{ D}$ 로 상이한 안경렌즈를 사용하였다.

**Table 1. Clear ophthalmic lenses tested in the study**

Material	Thiourethane
Refractive index ( $n_d$ )	1.60
Abbe number	40
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.30
Refractive power (D)	-1.00, -5.00, -8.00

#### 2. 실험방법

온도와 습도가 모두 높은 6~9월의 실내외 조건을 고려하여 온도는  $35^\circ\text{C}$ 와  $80^\circ\text{C}$ , 습도는 30%와 85%로 설정하고 총 4가지 노출조건이 되도록 하였으며, 안경렌즈의 교체주기를 고려하여 24시간, 72시간 및 120시간으로 설정하

였다.

노출조건은 온도 35℃와 습도 30%를 조건 1, 온도 35℃와 습도 85%를 조건 2, 온도 80℃와 습도 30%를 조건 3, 온도 80℃와 습도 85%를 조건 4로 설정하고 안경렌즈를 각 조건에 일정시간 동안 노출시킨 후 ISO 기준 및 ASTM D3359 방법에 따라 광투과율, 접촉각, 부착력을 관찰하였고, 주사전자 현미경으로 표면 변화를 확인하였다.

결과 및 고찰

1. 온습도 변화에 의한 안경렌즈의 파라미터 변화

1.1 굴절력

**Table 2.** Changes in the refractive power of ophthalmic lenses according to the exposure conditions to temperature and humidity

Exposure condition	Refractive power	Exposure time to temperature and humidity (h)		
		24	72	120
Case 1	-1.00 D	-1.00 D	-1.00 D	-1.00 D
	-5.00 D	-5.00 D	-5.00 D	-5.00 D
	-8.00 D	-8.00 D	-8.00 D	-8.00 D
Case 2	-1.00 D	-1.00 D	-1.00 D	-1.00 D
	-5.00 D	-5.00 D	-5.00 D	-5.00 D
	-8.00 D	-8.00 D	-8.00 D	-8.00 D
Case 3	-1.00 D	-1.00 D	-1.00 D	-1.00 D
	-5.00 D	-5.00 D	-5.00 D	-5.00 D
	-8.00 D	-8.00 D	-8.00 D	-8.00 D
Case 4	-1.00 D	-1.00 D	-1.00 D	-1.00 D
	-5.00 D	-5.00 D	-5.00 D	S-5.00 D, C-0.25 D, Ax 160°/ S-5.00 D, C-0.50 D, Ax 125°
	-8.00 D	-8.00 D	S-8.00 D, C-0.25 D, Ax 125°	S-8.50 D / S-8.00 D, C-0.25 D, Ax 125°

모든 조건에서 24시간 노출된 안경렌즈들은 변화가 없었던 반면, 72시간 노출된 경우 -8.00D 안경렌즈에서 난시도수의 발생이 관찰되었으며, 120시간 노출된 경우에는 -1.00D 굴절력에서는 변화가 없었으나, -5.00D와 -8.00D 렌즈에서 구면도수가 증가하거나 난시도수가 발생함을 확인하였다.

조건 4의 노출조건에서 안경렌즈의 굴절력이 높아질수록 굴절력의 변화 또한 커짐을 알 수 있었다.

1.2 광투과율

UV-A 투과율은 노출조건, 노출시간, 굴절력에 관계없이 모두 1%로 나타났으며, UV-B와 가시광선 투과율의 경우 약간의 감소나 증가하는 결과를 보였으나 모든 노출조건에서 통계적으로 유의한 변화는 아니었다.

## 2. 온습도 변화에 의한 고굴절 안경렌즈의 코팅막 특성 변화

### 2.1 접촉각

각 굴절력의 안경렌즈는 노출시간이 증가할수록 모든 노출조건에서 접촉각이 통계적으로 유의하게 감소하였으며, 상대적으로 낮은 온도 조건인 조건 1,2의 경우를 제외하고 각 조건 별로 통계적으로 유의한 변화가 있음을 확인하였다.

특히 고온에서 습도가 다른 조건을 비교하였을 때, -5.00 D의 경우 각각 최대 1.01%와 3.34%의 감소를, -8.00 D의 경우 각각 1.21% 및 6.18%의 감소를 나타내어 상대습도가 높을 때 더 큰 접촉각의 감소가 나타났으므로 코팅막의 변화가 클 것임을 예상할 수 있었다.

### 2.2 부착력 평가

온도와 습도가 모두 가장 높은 조건 4의 경우, 다른 조건에 비해 코팅막 손상이 확연하게 나타났을 뿐만 아니라 노출시간의 증가에 따라 코팅막 손상의 정도가 커짐을 알 수 있었다.

또한 동일한 높은 온도인 조건 3과 4에서 습도가 높아질수록 코팅막의 손상이 심해짐을 알 수 있었다.

### 2.3 표면 변화

낮은 온도 조건인 35°C에서는 습도에 관계없이 코팅막의 균열이 나타나지 않았으나 높은 온도 조건에서 표면의 균열이 관찰되었다.

또한 동일한 높은 온도 조건이더라도 습도가 높을수록 코팅막의 균열이 크고 깊어지는 것을 알 수 있었다.

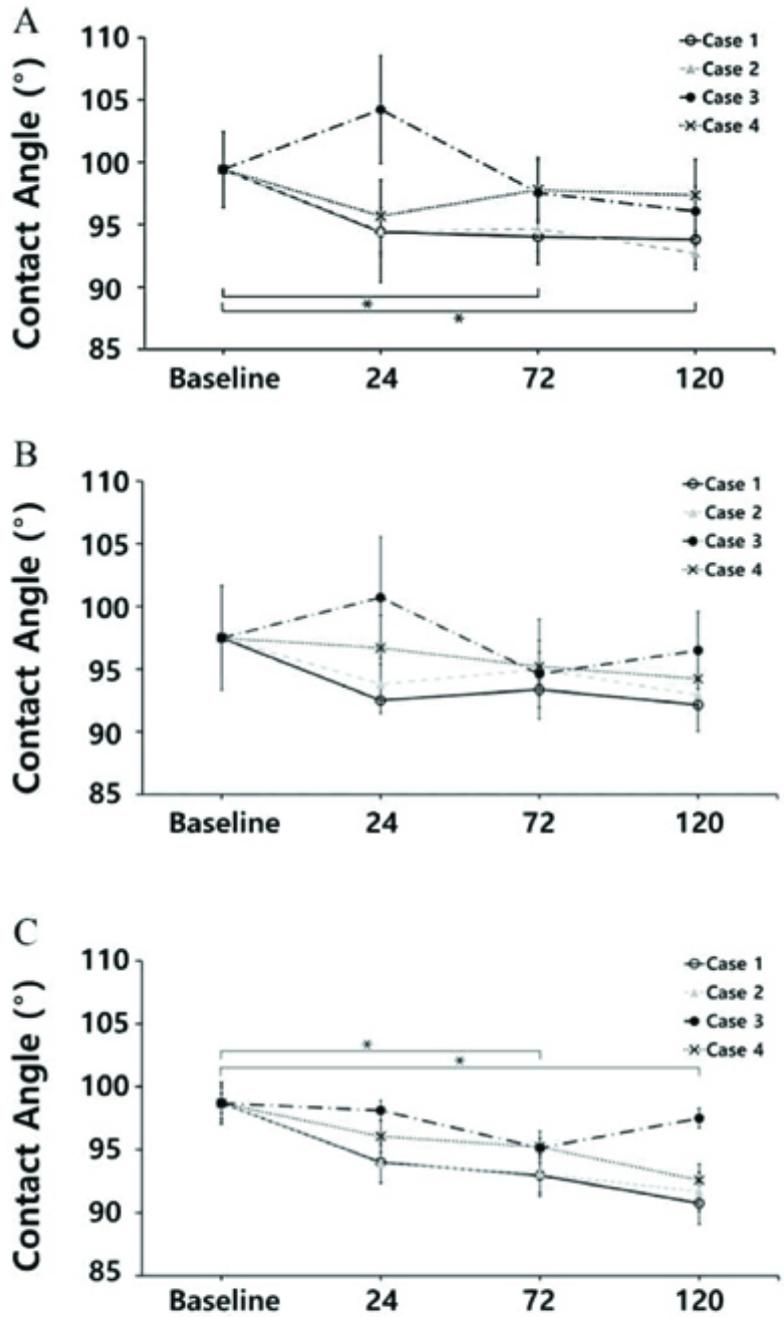


Fig. 1. Changes in the contact angle of ophthalmic lenses with different refractive powers according to the exposure conditions.

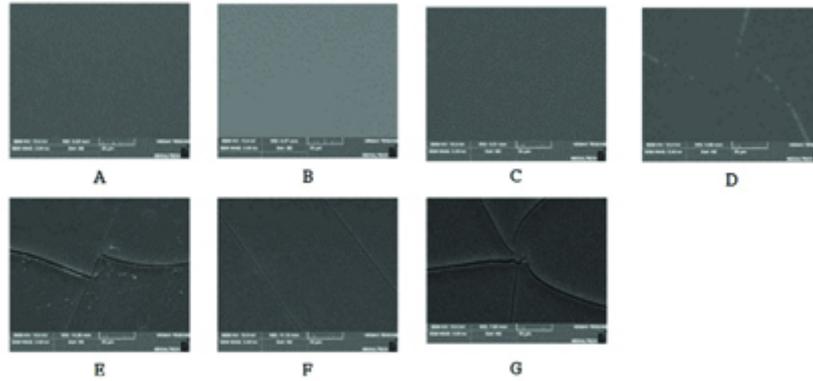


Fig. 2. Representative surface image of ophthalmic lenses after 120h-exposure to temperature and humidity taken using a scanning electron microscope ( $\times 2000$ ). A. Baseline, B. Case 1,  $-8.00$  D, C. Case 2,  $-8.00$  D, D. Case 3,  $-8.00$  D, E. Case 4,  $-1.00$  D, F. Case 4,  $-5.00$  D, G. Case 4,  $-8.00$  D

본 연구 결과, 온도와 습도가 높아질수록 접촉각이 점차 감소하는 경향을 보였으므로, 발수 코팅층이 손상됨을 알 수 있었다.

또한 렌즈의 굴절력 변화는 티오우레탄 렌즈 재료의 변화에 기인한 결과로 생각된다.

부착력 등급이 낮아짐을 확인하여 안경렌즈의 하드코팅의 손상을 알 수 있었으며 고온, 고습의 조건에서 가장 큰 표면의 균열이 확인되었으므로, 고온으로 인해 손상된 코팅층의 균열로 수분이 침투하여 반사방지 코팅층과 하드코팅 영역에서 렌즈 변형 및 균열이 확대된 것으로 생각된다.

## 결론

우리나라에서 실제 접할 수 있는 온도와 습도에 기반한 환경 조건 하에서 고굴절률의 안경렌즈와 이의 코팅막에 나타날 수 있는 변화 정도를 실험적으로 증명하였다.

온도 및 습도조건을 변화시키면서 안경렌즈를 일정시간동안 연속적으로 노출시켰을 때 굴절력 변화뿐만 아니라 접촉각, 부착력 및 표면에도 변화가 야기됨을 확인하였다.

낮은 습도보다 높은 습도 조건에서 안경렌즈의 파라미터 및 코팅막의 변화가 더 크게 나타나며, 높은 습도에 높은 온도까지 더해진 고온다습한 환경에 안경렌즈가 반복적으로 혹은 지속적으로 노출될 경우 그 변화 정도가 더욱 커짐을 확인하였다.

따라서 고온다습한 환경에 자주 노출된 안경렌즈일 경우 점검과 교체주기 단축이 필요할 것으로 생각된다.

[참고문헌] Samson F. Ophthalmic lens coatings. Surf Coat Technol. 외 11건

원문 참조: 「한국안광학회지」 제27권 4호, 239~246쪽. 2022년

논문의 판권은 한국안광학회지에 있으며 저자의 동의하에 요약본을 게재함.

저자: 황소담(서울과학기술대학교 석박사통합과정 대학원생), 강  
지애, 허수연, 박미정, 김소라\*  
(서울과학기술대학교 안경광학과, 서울)

옵틱위클리

[http://www.opticweekly.com/news/view.php?  
idx=17008](http://www.opticweekly.com/news/view.php?idx=17008)



▲ 황소담(서울과학기술대학교 석박사통합과정 대학원생)