

Temperature and Humidity-Associated Surface and Characteristic Changes of Ophthalmic Lenses

So Dam Hwang^{1,a}, Ji-ae Kang^{1,b}, Su-yeon Hur^{1,c}, Mijung Park^{2,d}, and So Ra Kim^{2,e,*}

¹Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Student, Seoul 01811, Korea

²Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Professor, Seoul 01811, Korea

(Received November 10, 2022: Revised December 6, 2022: Accepted December 15, 2022)

Purpose: This study aimed to investigate the effect of changes in temperature and humidity on the stability of ophthalmic lenses. **Methods:** Combining temperatures of 35°C and 80°C, and relative humidity of 30% and 85% under four conditions, ophthalmic lenses of -1.00, -5.00, and -8.00 D with high refractive index (n=1.60) were exposed for 24, 72, and 120 h and the changes in parameters and coating films were compared. **Results:** Lenses exposed to a low temperature (35°C) exhibited no change of surfaces and characteristics regardless of humidity; however, lenses exposed to a high temperature (80°C) exhibited changes in spherical and cylindrical refractive powers, a decrease in contact angle by up to approximately 5%, a decrease in adherence grade, and deeper and larger surface cracks appearing from the center to the periphery. These changes were larger with an increase in exposure time, and a greater change was observed under high humidity conditions compared to that under low humidity. Meanwhile, under the same conditions of temperature and humidity, the degree of changes in ophthalmic lenses according to the refractive power was larger at -5.00 D and -8.00 D compared to -1.00 D. **Conclusions:** High- or low humidity had a greater influence on the coating film and characteristics under a high-temperature environment. Thus, if an ophthalmic lens is exposed to a high temperature and humidity environment for prolonged periods, stability may not be guaranteed even if the replacement cycle recommended by the manufacturer is followed; therefore, considering these conditions and inspecting the ophthalmic lenses may be suggested.

Key words: Temperature, Humidity, Ophthalmic lens, Lens coating film

서 론

굴절이상을 교정하기 위하여 사용되는 안경렌즈의 대부분은 유리 렌즈에 비하여 가공성이 좋은 플라스틱 소재로 제조되는데 이의 얇은 두께와 가벼운 무게로 인하여 소비자들의 선호도 또한 높은 편이다. 그러나 굴절력이 커질수록 (-)렌즈의 가장자리와 (+)렌즈의 중심두께가 두꺼워지기 때문에 미용상 좋지 않고 무겁다는 단점을 가진다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 가장자리와 중심부의 두께 차이가 비교적 적은 고굴절률의 렌즈를 사용한다. 고굴절률 렌즈는 렌즈 표면 반사율이 일반 굴절률 렌즈보다 높아 반사광선으로 소실되는 빛의 양이 15~20% 정도 많으므로 투과율을 높이는 반사방지막 코팅(Anti-reflection coating)이 필요하다.^[1] 이 외에도 표면 경도를 높이고 렌

즈 재질과의 응력 완충작용을 하는 하드 코팅(Hard coating), 먼지나 이물질 부착을 방지하는 발수 코팅 및 각종 스마트 기기 사용 증가에 따른 청광 차단 코팅 등을 여러 가지 목적에 따라 추가하여 제작된다.

이러한 기술적인 보완에도 불구하고 플라스틱 렌즈는 열에 의해 팽창이나 변형이 쉬워 렌즈 자체의 변화 뿐만 아니라 코팅막에도 영향을 받을 수 있다. 투명 안경렌즈에 70°C 이상의 열을 가했을 때 표면의 균열과 투과율의 감소가 보고된 바 있으며,^[2] 80°C 이상의 가열 시에는 중굴절률, 고굴절률, 초고굴절률 렌즈의 코팅 박막이 손상되는 것으로 알려졌다.^[3] 착색 렌즈 또한 고온 환경에 노출되었을 때 코팅막 안정성에 문제가 생길 수 있고 코팅막의 특성 변화가 투명렌즈보다 더 크게 나타나는 것으로 보고된 바 있다.^[4] 그러나 안경렌즈의 표면은 온도의 변화뿐만 아

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

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0000-0003-2198-4232>, ^b<https://orcid.org/0000-0001-9160-1685>, ^c<https://orcid.org/0000-0003-0757-3488>, ^d<https://orcid.org/0000-0002-4645-7415>,

^e<https://orcid.org/0000-0001-8786-2815>

본 논문의 일부내용은 「2022 대한시각학회·한국안광학회 공동학술대회」에서 포스터로 발표되었음

나라 공기 중의 수분, 이물질 등과 같은 여러 주위 환경에 노출되어 있다. 열에 의한 코팅막의 변화는 위와 같이 보고된 바 있으나, 온도 및 습도 두 가지 이상의 환경조건을 고려한 연구는 미비하다. 따라서 본 연구에서는 일상생활에서 렌즈 자체의 변형이나 코팅막의 변화를 유발하기 쉬운 온도 조건 이외에 사우나, 여름철 차 안 등과 같이 고온다습한 환경조건을 반영하기 위하여 습도 조건을 추가 설정하고자 하였다. 2012년부터 2022년까지 지난 10년간 우리나라 여름철 월별 최고 기온은 평균 $37.9 \pm 4.6^\circ\text{C}$ 로 나타났으며, 가장 낮은 여름철 최고기온은 2020년 7월에 35°C 로 조사되었다. 한편, 지난 10년간 7월 평균 습도는 $79.9 \pm 3.0\%$ 로 나타났으며, 가장 높은 평균 상대습도는 2020년 7월에 85%로 나타났고, 최저 습도는 평균 $32.5 \pm 5.6\%$ 로 나타났다.^[5] 또한 여름철 밀폐된 자동차 실내 온도는 오후 2시 기준 75°C 로 측정되었으며, 최고 기온이 80°C 이상까지 상승하는 것으로 보고되었다.^[6] 한편 사우나의 온도는 열원체 가열 직후 약 $70\sim 90^\circ\text{C}$ 로 측정되었으며,^[7] 습도는 건식사우나의 경우 10~20% 정도로, 습식사우나의 경우는 80% 이상으로 설정된다.

이에 본 연구에서는 고굴절률 안경렌즈를 다양한 온도 및 습도 조건에 일정기간 동안 노출시킨 후 국제표준기구(ISO) 평가 기준에 따라 안경렌즈의 물리적 성질을 평가^[8] 하고, 코팅막의 변화^[9]를 알아보하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에서는 하드코팅, 자외선 차단 코팅, 멀티 코팅, 발수 코팅이 적용되어 있는 고굴절률 구면 안경렌즈($n=1.60$, Daemyung Optical, Korea)를 사용하였다(Table 1). 안경렌즈의 굴절력에 따른 차이를 관찰하기 위하여 제조회사, 재질 및 코팅 등의 특성이 모두 동일하고, 굴절력만 -1.00 D , -5.00 D 및 -8.00 D 로 상이한 안경렌즈를 사용하였다. 육안검사를 통하여 렌즈 표면의 이상 여부를 확인한 후 실험에 사용하였으며, 모든 실험군 당 각각 3개의 안경렌즈를 사용하였으며, 동일 실험을 3회 반복하였다.

2. 실험 방법

온도와 습도가 모두 높은 6~9월의 실내외 조건을 고려하여 온도는 35°C 와 80°C , 습도는 30%와 85%로 설정하고 총 4가지 노출조건이 되도록 하였으며, 안경렌즈의 교체주기를 1~2년으로 가정하고 4개월(6~9월)간 1주일에 4일, 하루 2시간씩 노출될 것을 가정하여 노출조건을 3주, 9주 및 15주 노출에 해당되는 24시간, 72시간 및 120시간으로 설정하였다. 항온항습조(WTH-E155, DAIHAN Scientific, Korea)

Table 1. Clear ophthalmic lenses tested in the study

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

를 이용하여 온도와 습도를 조정된 상태에서 고굴절률 플라스틱 렌즈를 넣고 각각 24, 72 및 120시간 동안 처리하고 렌즈의 표면 및 특성을 평가하였다.

노출조건은 온도 35°C 와 습도 30%를 조건 1, 온도 35°C 와 습도 85%를 조건 2, 온도 80°C 와 습도 30%를 조건 3, 온도 80°C 와 습도 85%를 조건 4로 설정하였다.

2.1. 굴절력 측정

자동렌즈미터(CL-100, Topcon, Japan)를 이용하여 0.25 D 단위로 측정하였고, 각 렌즈 당 3번씩 측정 후 평균값을 사용하였다.

2.2. 광투과율 측정

렌즈의 광투과율은 광투과율 측정기(TM-1, Topcon, Japan)를 사용하였으며 UV-B(280~315 nm), UV-A(315~380 nm), 가시광선(380~780 nm) 범위로 나눠 각 렌즈 당 3번씩 측정 후 평균내었다.

2.3. 접촉각 측정

마이크로 피펫을 이용하여 $1\ \mu\text{l}$ 의 물을 중심부로부터 2 cm 떨어진 부위의 렌즈표면에 떨어뜨린 후 DSLR 카메라(Canon SX50 HS, Canon, Japan)로 촬영하여 분석하였다.

2.4. 부착력 평가

안경렌즈의 부착력 평가는 ASTM D3359(American Society for Testing and Materials D3359) 방법^[10]을 응용하여 1 mm 격자 간격으로 6×6 로 십자형으로 칼집을 내어 일차적 손상을 유도한 후 손상 부분의 코팅 박리정도를 관찰하였다. 코팅의 박리정도에 따라 등급을 총 6등급으로 나누어 부착력을 평가하였다.

2.5. 표면 관찰

안경렌즈의 표면 변화는 주사전자현미경(VEGA3, TESCAN, Czech)을 이용하여 120시간 동안 노출된 -8.00 D 굴절력의 렌즈와 대조군 렌즈를 관찰하였으며 각 렌즈마다 2개 지점을 500배와 2,000배로 촬영하여 비교하였다.

2.6. 통계 분석

3회 반복한 실험의 결과는 평균 \pm 표준편차로 나타내었으

며 IBM SPSS Statistics(ver 23.0 for Window)를 사용하여 통계적인 유의성을 분석하였다. 각 조건과 시간에 따른 광투과율과 접촉각 변화 분석은 two-way ANOVA를 사용하였고, $p < 0.05$ 일 때 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 온·습도 변화에 의한 안경렌즈의 파라미터 변화

1.1. 굴절력

조건 1, 2 및 3에서는 노출시간에 관계없이 안경렌즈의 굴절력 변화는 관찰되지 않았다. 조건 4(온도 80°C, 습도 85%)에서는 노출시간에 따라 굴절력의 변화가 상이하였다. 즉, 24시간 노출된 안경렌즈들은 변화가 없었던 반면, 72시간 노출된 경우에는 -8.00 D 안경렌즈에서 난시 도수의 발생이 관찰되었으며, 120시간 노출된 경우에는 -1.00 D 굴절력에서는 변화가 없었으나, -5.00 D와 -8.00 D 렌즈에서 구면도수가 증가하거나 난시도수가 발생함을 알 수 있었다(Table 2). 조건 4의 노출조건에서 안경렌즈의 굴절력이 높아질수록 굴절력의 변화 또한 커짐을 알 수 있었다.

1.2. 광투과율

UV-A 투과율은 온도 및 습도에 대한 노출조건, 노출시간 및 검사한 안경렌즈 굴절력에 관계없이 모두 1%로 나타났다. UV-B와 가시광선 투과율의 경우는 약간의 감소나 증가하는 결과를 보였으나 모든 노출조건에서 통계적으로 유의한 변화는 아니었다(Table 3).

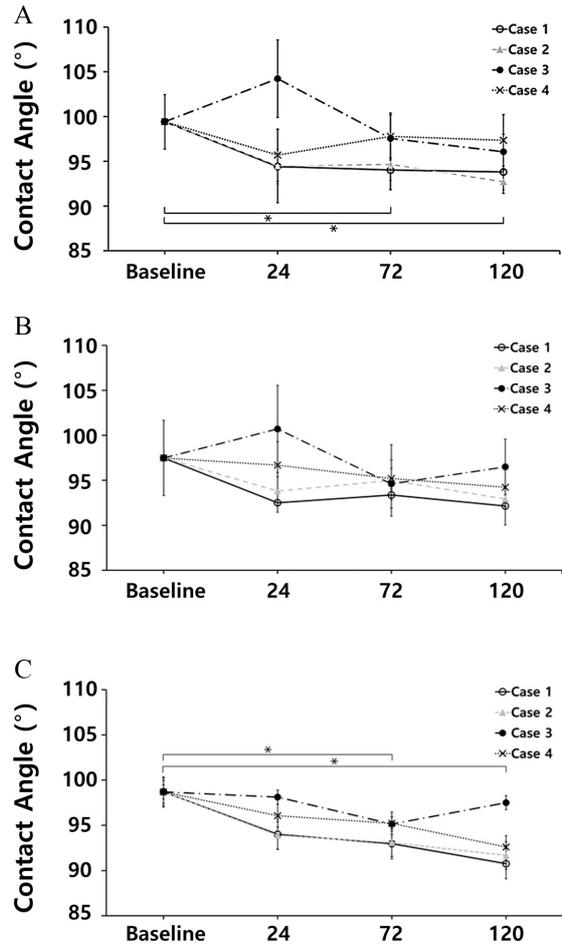


Fig. 1. Changes in the contact angle of ophthalmic lenses with different refractive powers according to the exposure conditions.

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°

Table 3. Changes in the ultraviolet(UV)- and visible light transmittance of ophthalmic lenses according to the exposure conditions to temperature and humidity

Exposure condition	Refractive Power	Exposure time to temperature and humidity (h)				
		0	24	72	120	
UV-B	Case 1	-1.00 D	7.33±0.57	7.00±0.00	7.50±1.05	6.83±0.75
		-5.00 D	7.67±1.15	7.17±0.41	7.67±0.52	7.17±0.75
		-8.00 D	7.00±1.00	7.33±0.52	7.33±0.52	7.50±0.55
	Case 2	-1.00 D	7.33±0.57	7.83±0.75	7.00±0.89	7.00±0.00
		-5.00 D	7.67±1.15	7.50±0.84	7.50±1.05	6.83±0.41
		-8.00 D	7.00±1.00	7.67±0.52	7.33±0.52	6.67±0.52
	Case 3	-1.00 D	7.33±0.57	7.50±0.84	7.17±0.75	7.00±0.63
		-5.00 D	7.67±1.15	7.33±0.82	7.00±0.63	6.83±0.75
		-8.00 D	7.00±1.00	7.00±0.63	7.33±0.52	6.83±0.98
	Case 4	-1.00 D	7.33±0.57	7.00±0.00	7.33±0.52	6.83±0.41
		-5.00 D	7.67±1.15	6.83±0.75	7.00±0.00	7.17±0.75
		-8.00 D	7.00±1.00	7.33±0.52	7.33±0.52	7.67±0.52
UV-A	Case 1	-1.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
		-5.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
		-8.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
	Case 2	-1.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
		-5.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
		-8.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
	Case 3	-1.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
		-5.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
		-8.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
	Case 4	-1.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
		-5.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
		-8.00 D	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
Visible light	Case 1	-1.00 D	99.00±0.00	98.83±0.41	99.00±0.00	98.00±0.63
		-5.00 D	99.00±0.00	98.83±0.41	99.00±0.00	98.00±0.89
		-8.00 D	99.00±0.00	99.00±0.00	99.00±0.00	98.50±0.55
	Case 2	-1.00 D	99.00±0.00	97.83±1.47	98.83±0.41	98.83±0.41
		-5.00 D	99.00±0.00	98.33±1.21	98.83±0.41	99.00±0.00
		-8.00 D	99.00±0.00	99.00±0.00	98.50±0.55	99.00±0.00
	Case 3	-1.00 D	99.00±0.00	99.00±0.00	99.00±0.00	97.17±0.98
		-5.00 D	99.00±0.00	99.00±0.00	98.33±0.82	98.00±1.10
		-8.00 D	99.00±0.00	98.83±0.41	98.83±0.41	98.33±0.82
	Case 4	-1.00 D	99.00±0.00	98.17±0.75	98.83±0.41	99.00±0.00
		-5.00 D	99.00±0.00	98.50±0.84	98.67±0.52	98.67±0.52
		-8.00 D	99.00±0.00	98.50±0.84	98.67±0.82	99.00±0.00

2. 온-습도 변화에 의한 고굴절 안경렌즈의 코팅막 특성 변화

2.1. 접촉각

온도 및 습도조건에 안경렌즈를 노출시켰을 때 표면 코팅층의 손상 정도를 알아보기 위하여 접촉각을 측정하였

다(Fig. 1). 그 결과 각 굴절력의 안경렌즈는 노출시간이 증가할수록 모든 노출조건에서 접촉각이 통계적으로 유의하게 감소하는 변화를 나타냈었으며($p < 0.05$ by two-way ANOVA), 상대적으로 낮은 온도의 조건인 조건 1과 2의 경우를 제외하고, 각 조건 별로 통계적으로 유의한 변화가

있음을 확인하였다(Fig. 1). 특히 고온 조건에서 습도가 다른 조건 3과 4를 비교하였을 때, -5.00 D의 경우에는 각각의 조건에서 최대 1.01%와 3.34%의 감소를, -8.00 D의 경우는 각각 1.21% 및 6.18%의 감소를 나타내어 동일한 80°C 라 하더라도 상대습도가 높을 때 더 큰 접촉각의 감소를 나타내어 코팅막의 변화가 클 것임을 예상할 수 있었다.

2.2. 부착력 평가

각 조건에서 노출시킨 안경렌즈의 코팅막에 대한 부착력을 평가하였다(Table 4). 온도와 습도 조건에 노출시키

지 않은 대조군의 부착력 등급은 굴절력에 관계없이 모두 5B로 나타났으며, 가장 낮은 온도 및 습도조건인 1에서 24 및 72시간 동안 노출시킨 안경렌즈의 부착력 또한 5B 등급으로 나타났다. 그러나 120시간 동안 조건 1에 노출시킨 -1.00 D 안경렌즈의 부착력 등급은 5B이었으나, -5.00 D의 경우는 4.83±0.37B이었고, -8.00 D의 경우는 4.67±0.47B로 측정되었다. 한편, 조건 2에 노출시킨 -1.00 D 렌즈의 경우는 노출시간에 관계없이 4.67±0.47B로 부착력 등급이 일정하였으나, -5.00와 -8.00 D 렌즈의 경우에는 노출시간이 증가함에 따라 부착력 등급이 낮아지는 경향을 나타내

Table 4. Adherence grade of the coating film on 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	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
	-5.00 D	5.00±0.00	5.00±0.00	4.83±0.37
	-8.00 D	5.00±0.00	5.00±0.00	4.67±0.47
Case 2	-1.00 D	4.67±0.47	4.67±0.47	4.67±0.47
	-5.00 D	5.00±0.00	4.33±0.47	4.50±0.50
	-8.00 D	5.00±0.00	4.33±0.47	4.33±0.47
Case 3	-1.00 D	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00
	-5.00 D	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00
	-8.00 D	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00
Case 4	-1.00 D	4.67±0.47	3.67±0.47	3.67±0.47
	-5.00 D	4.33±0.47	3.83±0.37	2.67±0.47
	-8.00 D	4.33±0.75	3.67±0.47	3.67±0.47

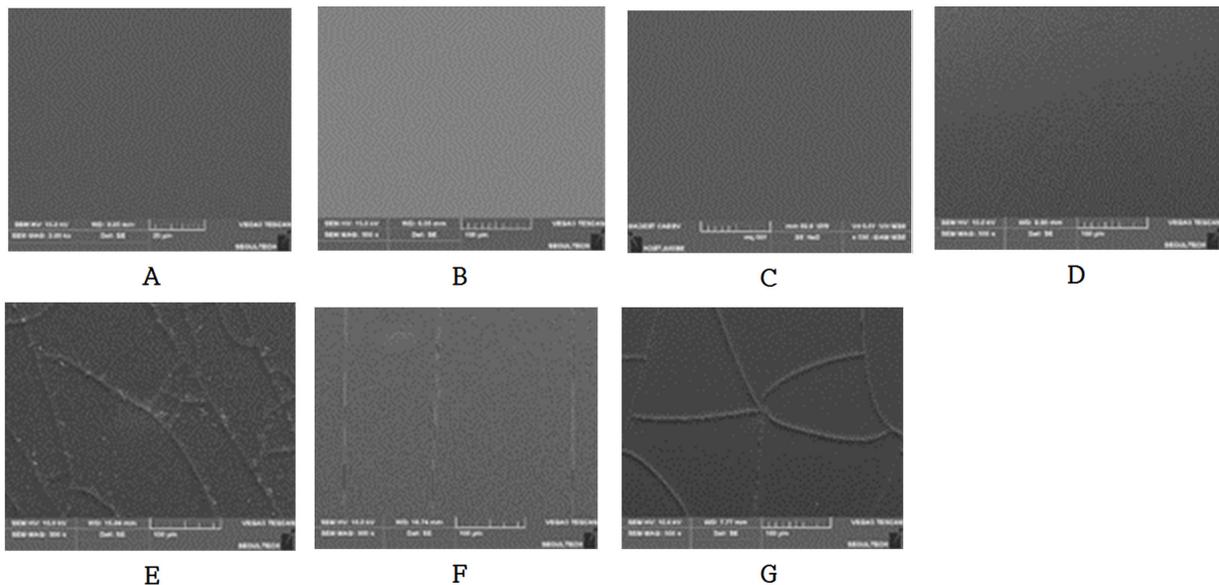


Fig. 2. Representative surface of ophthalmic lenses after 120h-exposure to temperature and humidity visualized using a scanning electron microscope (×500). A. Baseline, B. Case 1, -8.00 D, C. Case 2, -8.00 D, D. Case 3, -8.00 D, E. Case 4, -1.00 D, F. Case 4, -5.00 D, G. Case 4, -8.00 D

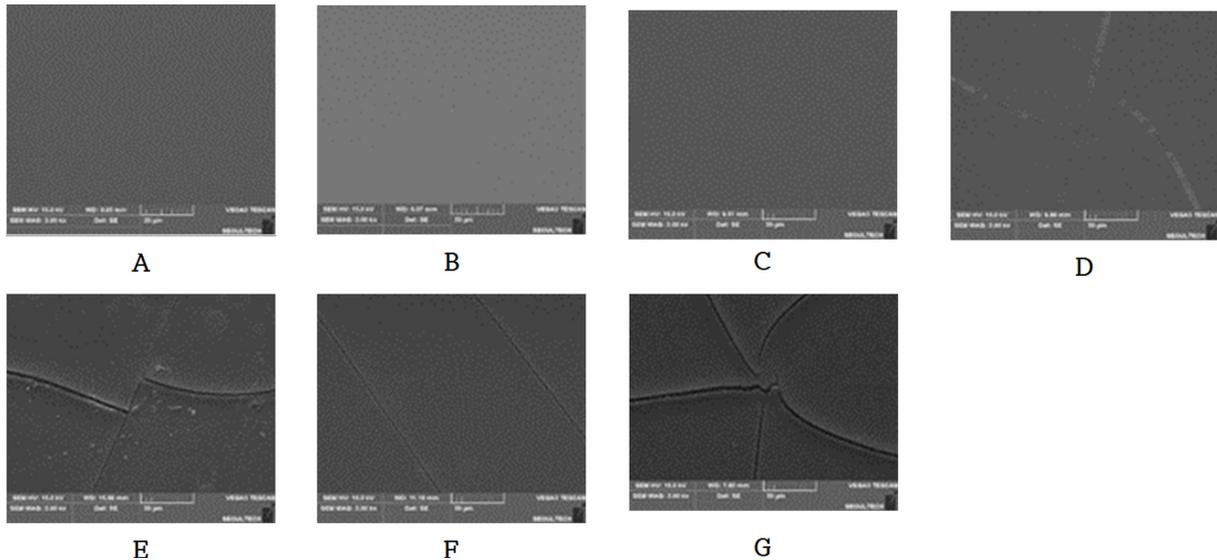


Fig. 3. Representative surface image of ophthalmic lenses after 120h-exposure to temperature and humidity taken using a scanning electron microscope ($\times 2000$). A. Baseline, B. Case 1, -8.00 D, C. Case 2, -8.00 D, D. Case 3, -8.00 D, E. Case 4, -1.00 D, F. Case 4, -5.00 D, G. Case 4, -8.00 D

었다. 조건 3에 노출시킨 안경렌즈의 부착력은 노출시간과 굴절력에 관계없이 모두 4B 등급으로 나타났다. 설정 노출조건 중 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. 즉, 조건 4에서 120시간 동안 노출시켰을 때 -1.00 D 안경렌즈의 부착력 등급은 3.67 ± 0.47 B이었고, -5.00 D 렌즈의 부착력 등급은 2.67 ± 0.47 B, -8.00 D 렌즈의 경우는 3.67 ± 0.47 B로 나타났다.

낮은 온도 조건인 1, 2와 높은 온도 조건 3, 4에서의 안경렌즈의 부착력 등급을 비교하였을 때, 상대적으로 높은 온도 조건인 조건 3과 4에서의 부착력 등급은 4B 이하로 나타나 온도가 높을수록 코팅막의 손상이 더 커짐을 알 수 있었다. 또한 동일한 높은 온도인 조건 3과 4에서는 습도가 높아질수록 코팅막의 손상이 심해짐을 알 수 있었다.

2.3. 표면 변화

온도와 습도 노출조건에 따른 안경렌즈의 파라미터 및 표면의 변화에서 변화를 보였던 120시간의 조건에서 노출된 안경렌즈 표면을 주사전자현미경으로 관찰하여 코팅막의 안정성을 평가하였다. 그 결과, 조건 1과 조건 2에서는 120시간 노출되더라도 대조군과 동일하게 코팅막에 균열이 없는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 낮은 온도 조건인 35°C 에서는 습도에 관계없이 코팅막의 균열이 나타나지 않음을 알 수 있었다.

높은 온도 조건인 3과 4에서 120시간 노출된 안경렌즈의 표면에서는 균열이 관찰되었다. 조건 3에 노출시킨 안

경렌즈의 표면에서는 육안으로는 균열이 잘 확인되지 않으나, 500배율로 확대하였을 때 미세한 균열이 관찰되었으며(Fig. 2), 같은 부분을 2000배로 확대하여 관찰하였을 때에는 표면의 균열과 함께 이물질의 존재를 관찰할 수 있었다(Fig. 3). 한편 높은 온도와 습도 조건인 4의 경우는 육안으로 관찰하였을 때에도 표면이 거칠고 이물질이 잘 세척되지 않았으며 균열이 있음을 관찰할 수 있었다. 특히 주변부로 갈수록 코팅막의 균열이 심하게 나타났으며, 조건 3에 노출시킨 렌즈의 경우보다 더 크고 깊은 균열을 관찰할 수 있었다. 따라서 동일한 높은 온도 조건이라면 습도가 높을수록 코팅막의 균열이 크고 깊어지는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 동일 재질 및 코팅막을 가진 안경렌즈가 온도와 습도가 상이한 조건에 노출되었을 때, 렌즈의 굴절력 및 광투과율의 변화가 발생하며, 노출시간 경과에 따른 접촉각과 부착력의 감소를 통하여 코팅막의 손상을 예상할 수 있었으며, 주사전자현미경을 통한 표면 관찰을 통하여 이를 확인할 수 있었다.

Cho 등^[2]은 70°C 에서 1시간 동안 렌즈 가열하였을 때 표면의 균열을 확인하였고, 이는 온도가 높을수록 더 심해진다고 보고하였는데, 본 연구에서도 고온 노출 시 이와 유사한 양상을 보였다. 또한 고온에 가열된 렌즈의 코팅막의 변화를 관찰한 연구^[3]에서 고온 노출 시 접촉각이 감소한다는 결과를 보고한 바 있는데, 본 연구에서도 동일한 양상이 관찰되었다. 접촉각은 발수 코팅층의 소수성 성질로 인하여 표면에 접촉하는 물과의 표면장력 차에 의해서 결정되며 코팅층이 손상될수록 접촉각이 감소하게 된

다.^[10] 본 연구 결과, 온도와 습도가 높아질수록 접착각이 점차 감소하는 경향을 보였으므로, 발수 코팅층이 손상됨을 알 수 있었다. 또한 렌즈의 굴절력 변화는 코팅층의 손상과 함께 티오우레탄 렌즈 재질의 변화^[3,11]에 기인한 결과로 생각되었다. 또한 부착력 등급으로 안경렌즈를 평가하였을 때, 조건 2, 조건 3, 조건 4의 순서대로 부착력 등급이 낮아짐을 확인하였고, 이를 통하여 안경렌즈 하드코팅의 손상을 알 수 있었다. 특히 고온, 고습인 조건 4에서 가장 큰 표면의 변화가 확인되었으므로, 이는 고온으로 인하여 손상된 코팅층의 균열로 수분이 침투하여 반사방지 코팅층과 하드코팅 영역에서 렌즈 변형 및 균열이 확대된 것으로 생각되었다.^[12]

선행연구에서 고온의 환경 조건에서 안경렌즈와 코팅의 변화 정도를 연구한 사례는 있으나 습도까지 고려된 환경에 안경렌즈가 노출되었을 때 렌즈와 코팅의 변화 정도를 연구한 사례는 미미한 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구는 우리나라에서 실제 접할 수 있는 온도와 습도에 기반한 환경 조건 하에서 고굴절률의 안경렌즈와 이의 코팅막에 나타날 수 있는 변화 정도를 실험적으로 증명하였다는 것에 의의를 가진다고 할 수 있겠다.

결 론

본 연구에서는 온도 및 습도조건을 변화시키면서 고굴절의 안경렌즈를 일정시간동안 연속적으로 노출시켰을 때 안경렌즈의 굴절력 변화뿐만 아니라 접착각, 부착력 및 표면에도 변화가 야기됨을 확인하였다. 즉, 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. 이로써 제조사 제시의 교체주기 이내의 안경렌즈라 하더라도 실생활에서의 노출 환경에 따라 파라미터나 코팅막의 안정성이 보장되지 않을 수 있음을 알 수 있다. 따라서 고온다습한 환경에 자주 노출된 안경렌즈일 경우 점검과 교체주기의 단축이 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- [1] Samson F. Ophthalmic lens coatings. *Surf Coat Technol.* 1996;81(1):79-86. DOI: [https://doi.org/10.1016/0257-8972\(95\)02532-4](https://doi.org/10.1016/0257-8972(95)02532-4)
- [2] Cho HG, Moon BY. Study on the changes of ophthalmic plastic lens due to heating. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2011;16(3):247-253.
- [3] Noh H. Changes of thin film coating on polymer lenses with varying temperature. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2014.19.1.1>
- [4] Lee SS, Kim J, Kim SR, et al. Characteristic change of coating films on tinted spectacle lenses by thermal stress. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2018;23(4):467-476. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2018.23.4.467>
- [5] Korea Meteorological Administration. Climate Statistics, 2022. [https://data.kma.go.kr/climate/RankState/selectRankStatisticsDivisionList.do?pgmNo=179\(7 August 2022\)](https://data.kma.go.kr/climate/RankState/selectRankStatisticsDivisionList.do?pgmNo=179(7 August 2022)).
- [6] KBS News. The temperature inside the vehicle in the summer is 75 degrees: How do you prevent fires, 2022. [https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=5517938\(8 August 2022\)](https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=5517938(8 August 2022)).
- [7] Korea Consumer Agency. A survey on the safety conditions of the kiln steamer, 1999. [https://www.kca.go.kr/kca/sub.do?menukey=5084&mode=view&no=1000077259\(8 August 2022\)](https://www.kca.go.kr/kca/sub.do?menukey=5084&mode=view&no=1000077259(8 August 2022)).
- [8] ISO(International Organization for Standardization). Ophthalmic optics-spectacle lenses-fundamental requirements for uncut finished lenses, 2013. [https://www.iso.org/standard/58078.html\(6 December 2022\)](https://www.iso.org/standard/58078.html(6 December 2022)).
- [9] ASTM International(American Society for Testing and Materials). D3359-22: Standard test methods for rating adhesion by tape test, 2022. [https://www.astm.org/d3359-22.html\(8 August 2022\)](https://www.astm.org/d3359-22.html(8 August 2022)).
- [10] Park MC, Kim DJ. The composition and characteristic of water-repellent films coated on an ophthalmic lens. *Korean J Vis Sci.* 2014;16(4):536-571.
- [11] Li Q, Zhou H, Wicks DA, et al. Comparison of small molecule and polymeric urethanes, thiourethanes, and dithiourethanes: hydrogen bonding and thermal, physical, and mechanical properties. *Macromolecules.* 2009;42(6):1824-1833. DOI: <https://doi.org/10.1021/ma802848t>
- [12] Tadokoro N, Jaisupap K, Sukbumperng A, et al. Investigation of shrinkage and cracking of ophthalmic lens coating by a cycle test of UV radiation and high humidity. *Thin Solid Films.* 2012;520(12):4169-4173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2011.04.097>

온도 및 습도 노출에 따른 안경렌즈의 표면 및 특성 변화

황소담¹, 강지애¹, 허수연¹, 박미정², 김소라^{2,*}

¹서울과학기술대학교 안경광학과, 학생, 서울 01811

²서울과학기술대학교 안경광학과, 교수, 서울 01811

투고일(2022년 11월 10일), 수정일(2022년 12월 6일), 게재확정일(2022년 12월 15일)

목적: 본 연구에서는 온도와 습도 변화가 안경렌즈의 안정성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. **방법:** 온도 35°C와 80°C와, 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 온도인 35°C와에 노출시킨 렌즈는 습도에 관계없이 표면 및 특성의 변화가 없었으나, 높은 온도인 80°C와의 조건에 노출시킨 렌즈들은 구면 및 난시 굴절력 변화, 최대 약 5%의 접촉각 감소 및 부착력 등급 감소가 나타났으며, 중심부에서 주변부로 갈수록 더 깊고 큰 표면 균열이 나타남을 확인하였다. 이러한 변화는 노출시간의 증가에 따라 커졌으며, 높은 습도 조건일 때 낮은 습도 대비 더 큰 변화를 나타내었다. 한편 동일한 온도 및 습도 조건 하에서 굴절력에 따른 안경렌즈의 변화 정도를 비교한 결과, -5.00 D와 -8.00 D에서 -1.00 D 대비 큰 변화를 나타내었다. **결론:** 본 연구결과, 고온 환경에서는 습도의 고저가 안경렌즈의 코팅막 및 특성에 더 크게 영향을 미침을 알 수 있었다. 따라서 안경렌즈가 장시간 고온 다습한 환경에 노출된다면 제조사에서 권장하는 교체주기로는 안정성이 보장되지 않을 수 있으므로 이를 고려한 안경렌즈 사용 및 점검의 필요성을 제안할 수 있다.

주제어: 온도, 습도, 안경렌즈, 코팅막