

Temperature-related Changes in the Parameters of Soft Contact Lenses after Repeated Exposure to Airflow

Na Hyun Kim^{1,a}, Na lim Kim^{1,b}, Yae lim Hong^{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 February 17, 2025: Revised February 28, 2025: Accepted March 4, 2025)

Purpose: This study investigated differences in the parameters of soft contact lenses (hereinafter soft lenses) repeatedly exposed and hydrated in warm vs. cold airflow conditions. **Methods:** Two hydrogel (FDA groups II and IV), and two silicone hydrogel lenses were placed on a mold simulating corneal environment. The lenses were exposed to warm or cold airflow for two minutes, and then re-hydrated in phosphate buffered saline for 10 minutes. The lens parameters were respectively measured after dehydration and rehydration. This process was repeated 10 times. **Results:** The base curves of nesofilcon A and senofilcon A lenses showed significant changes after rehydration, under warm airflow. The base curve of the nesofilcon A lens showed significant change after rehydration, under cold airflow. The total diameter was significantly different after dehydration, except for comfilcon A lens under cold airflow. Significant changes were observed in the central thicknesses of senofilcon A and etafilcon A lenses upon dehydration and rehydration, respectively, under warm airflow; and of senofilcon A upon rehydration between the comparison of each point, under cold airflow. **Conclusions:** When soft lenses are repeatedly exposed to airflow at various temperatures, parameter changes may be induced, and not be recovered to the value before airflow exposure. In the case of reusable soft lenses, it suggests that the lens stability may not be sustained even if the lenses are re-hydrated after dehydration by various kinds of airflow.

Key words: Warm airflow, Cold airflow, Dehydration, Rehydration, Lens parameters

서 론

전 세계 콘택트렌즈 시장 수익은 2024년 약 191억 달러에 이를 것으로 예상되었고, 이후 2029년까지의 연평균 시장 성장률 또한 3.81%로 예상되어 콘택트렌즈 시장은 꾸준히 성장할 것으로 기대되고 있다.^[1] 콘택트렌즈 시장의 성장과 함께 소프트콘택트렌즈(이하 소프트렌즈)의 처방률 또한 증가하고 있는 추세이다.^[2]

소프트렌즈는 한 번 착용하고 교체하는 일회 착용 방식과 2주, 한 달, 6개월 등 일정 기간동안 세척과 살균의 관리를 하면서 착용하는 다회 착용 방식으로 나뉜다. 일회 착용 소프트렌즈는 관리가 필요치 않다는 장점이 있으나 가격이 비싸다는 단점이 있어 소프트렌즈를 자주 착용하는 경우나 난시를 가진 사람의 경우 다회 착용 소프트렌즈를 선호하기도 한다.^[3]

소프트렌즈 파라미터의 안정성은 정확한 시력 교정과 우수한 착용감을 제공하기 위한 중요한 요소 중 하나이다. 그러나 다회 착용 소프트렌즈는 반복적인 착용과 관리에 따른 물리적, 화학적 및 환경적 요인 등에 의하여 파라미터의 변화가 유발될 수 있다. 선행 연구들에 따르면 소프트렌즈가 안구세안액^[4], 다양한 미세먼지 농도,^[5] 저온^[6] 등과 같은 다양한 외부요인들에 반복적으로 노출되었을 때 소프트렌즈의 전체직경, 베이스커브, 중심두께 및 흡수율 등의 파라미터 변화가 유발되는 것으로 밝혀진 바 있다. 소프트렌즈를 착용한 상태에서 에어컨이 있는 사무실과 같은 환경^[7]이나 선풍기^[8] 등에 노출되면 착용자는 안구 건조감과 불편감을 느끼는 것으로 보고된 바 있으며, 이러한 불편감은 바람의 환경에 노출된 소프트렌즈의 파라미터 변화에 기인하였을 가능성이 있다. 선행 연구^[7,9,10]에서는 다양한 온도, 습도, 또는 바람의 환경에 노출된 소프트

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

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0009-0009-2874-8030>, ^b<https://orcid.org/0009-0004-5045-602X>, ^c<https://orcid.org/0009-0006-7618-9892>, ^d<https://orcid.org/0000-0002-4645-7415>,

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

본 논문의 일부내용은 2024 한국안광학회·대한시과학회 공동 하계학술대회에서 구연으로 발표되었음.

렌즈에서 나타나는 탈수율의 변화에 관한 연구가 수행되었으나 파라미터 변화에 관한 연구는 미흡한 실정이며, 냉난방 시설 외에도 일상에서 빈번하게 노출될 수 있는 헤어드라이어의 온도와 바람의 복합 조건에 의한 파라미터의 변화 연구 또한 미미한 실정이다. 이에 본 연구에서는 소프트렌즈가 헤어드라이기와 같은 온도와 바람의 복합 조건에 반복적으로 노출될 때 이의 파라미터에는 어떠한 영향이 나타나는가를 확인하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 사용 소프트렌즈

소프트렌즈는 재질적 특성에 따라 파라미터의 변화가 다르게 나타날 수 있으므로 국내 시판 중인 하이드로겔 재질 중 고풍수 비이온성에 속하는 FDA group II 1종과 고풍수 이온성에 속하는 FDA group IV 1종 및 실리콘하이드로겔 재질 FDA group V 2종으로 총 4종의 소프트렌즈가 사용되었다(Table 1).

2. 실험 조건

헤어드라이기(Dyson Supersonic™, Dyson Ltd, England)는 실 사용 위치를 고려하여 20대 여성과 남성의 팔꿈치에서 주먹까지 수평 길이의 평균값인 26.5 cm와 팔의 윗부분 수직 길이의 평균값인 33.8 cm 거리에 고정시켰다.^[11] 헤어드라이기의 온도와 풍속은 해당 기기로 출력되는 최저 온도와 강속 조건인 27.4°C 및 16.05 m/s와 최고 온도와 강속 조건인 41.4°C 및 27.50 m/s의 2개의 조건이 사용되었다(Table 2).

3. 실험 방법

4종의 소프트렌즈를 인산완충용액(PBS, pH 6.6, ISO 18369)에 24시간 동안(온도 20±5°C, 습도 95±5%) 수화시

Table 2. Airflow conditions of the hair dryer used in the study

Hair dryer setting		Measured value	
Temperature	Speed of air flow	Temperature (°C)	Velocity (m/s)
Cold	level 1	30.1	12.85
	level 2	28.2	13.79
	level 3	27.4	16.05
Low	level 1	31.5	16.92
	level 2	32.6	20.77
	level 3	32.6	22.07
Warm Medium	level 1	36.5	21.24
	level 2	37.7	26.17
	level 3	37.9	28.15
High	level 1	40.8	21.02
	level 2	41.2	26.06
	level 3	41.4	27.50

킨 후 파라미터를 측정하였다. 그 후 소프트렌즈 제조 몰드에 KIMTECH Science Wipers(Yuhan-kimberly, Korea)를 사용하여 흡수율 78%, 직경 11~12 mm 및 두께 0.5 mm의 각막 조건이 구현되도록 한 후 4종의 소프트렌즈를 각각 올려놓았다. 상기 온도와 풍속 조건에 각각 2분간 노출시킨 후 파라미터를 측정하였고, 인산완충용액에서 다시 10분간 수화 후 파라미터를 측정하였다. 위와 같은 건조와 수화 과정을 총 10회 반복하며 각 반복마다 소프트렌즈의 파라미터를 측정하였다. 또한, 소프트렌즈의 파라미터는 한 번 측정할 때마다 3회 반복 측정하여 평균 및 표준편차로 나타내었다.

3.1. 베이스커브 및 전체직경 측정

베이스커브/직경 측정기기(JCF, Optimec, England)의 PBS 용액으로 채워진 wet cell에 렌즈를 넣고 온도 20±5°C에서 안정화한 후 측정하였다.^[4]

Table 1. The specifications of soft contact lenses used in the study

Brand name	Biotrue	1-DAY ACUVUE Moist	1-DAY ACUVUE Oasys	Biofinity
Manufacturer	Bausch + Lomb	Johnson & Johnson Vision		CooperVision
FDA classification	Group II	Group IV	Group V	Group V
USAN	Nesofilcon A	Etafilcon A	Senofilcon A	Comfilcon A
Wearing schedule	1 day		2 weeks	1 month
Back vertex power (D)	-3.00			
Water contents (%)	78	58	38	48
Center thickness (mm)	0.100	0.084	0.070	0.080
Total diameter (mm)	14.2	14.2	14.0	14.0
Base curve (mm)	8.6	8.5	8.8	8.6
Monomer	HEMA ^a + NVP ^b	HEMA ^a +MA ^c +PVP ^d	Silicone hydrogel+PVP ^d	Silicone hydrogel+NVP ^b

^aHEMA; hydroxyethyl methacrylate, ^bNVP; N-vinyl pyrrolidone, ^cMA; methacrylate, ^dPVP; poly-vinyl pyrrolidone

3.2 중심두께 측정

소프트렌즈 표면의 용액을 KIMTECH Science Wipers 로 제거한 후 전자 두께 측정 장치(Model ET-3, Createch, USA)에 소프트렌즈 후면을 중심에 맞추어 위로 향하도록 놓은 후 0.001 mm 단위로 측정하였다.^[4]

3.3. 가시광선 투과율 측정

가시광선 투과율 측정기(TM-1, Topcon, Japan)에 소프트렌즈의 광학부를 맞추고 380~780 nm의 가시광선 영역의 투과율을 측정하였다.^[4]

3.4. 통계 처리

IBM SPSS Statistics(ver 23.0)를 통계 분석에 사용하였다. 온풍과 냉풍 조건에서 반복적인 건조와 수화에 따른 소프트렌즈 파라미터의 변화를 반복측정 분산분석(repeated measures ANOVA, RM-ANOVA)을 사용하여 분석하였고 사후검정으로 Wilcoxon signed rank test를 사용하여 반복 시점 간 유의성을 판단하였다. 유의 확률이 $p < 0.05$ 인 경우에 유의성이 있다고 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 냉풍 및 온풍 노출에 따른 소프트렌즈의 베이스커브 및 전체직경 변화

Etafilcon A 재질 소프트렌즈의 경우 냉풍 조건 하에서 반복적인 건조에 의한 베이스커브는 유의한($p < 0.006$) 변화를 보였던 반면, 반복적 수화에 의한 베이스커브의 변화는 통계적인 유의성이 관찰되지 않았다. 한편 온풍 조건의 반복적인 건조와 수화에 따른 베이스커브의 변화는 통계적으로 유의한 변화는 아니었다. Etafilcon A 재질 소프트렌즈의 전체직경은 냉풍 조건에서 반복적인 수화($p < 0.045$)와 건조($p < 0.048$)로 인하여 통계적으로 유의한 변화가 나타났으나, 수화 시 전체직경은 각 시점 간 사후 검정에서 통계적 유의성을 보이지 않았던 반면, 건조 시 변화는 1번째(13.89 ± 0.01 mm)~4번째(13.90 ± 0.00 mm) 건조 사이의 각 시점 간 사후 검정에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며 전반적으로 감소의 추세를 나타내었다. 또한 온풍 조건에서 반복적인 건조로 인한 etafilcon A 재질 소프트렌즈 직경의 변화는 통계적 유의성이 관찰되지 않았으나 반복적인 수화에 의해서는 통계적으로 유의한 변화를 보였다($p < 0.008$).

Nesofilcon A 재질의 소프트렌즈는 냉풍 조건에서 반복적인 수화에 의해서만 통계적으로 유의한 베이스커브의 변화를 나타내었는데($p < 0.012$), 이는 7번째(8.09 ± 0.06 mm)~10번째(8.02 ± 0.02 mm) 수화 사이 각 시점 간의 사후 검

정에서 통계적으로 유의한 변화에 따른 결과이었으며 전반적으로 감소의 경향을 나타내었다. 온풍 조건에서 nesofilcon A 재질 렌즈의 베이스커브 또한 반복적인 수화에 의해서만 통계적으로 유의한 변화를 보였는데($p < 0.003$), 6번째(8.13 ± 0.10 mm)~10번째(8.09 ± 0.07 mm) 수화 사이의 각 시점 간 변화의 사후 검정에서 통계적 유의성에 따른 결과이었으며 전반적으로 증가의 추세를 나타내었다. 한편 전체직경의 경우는 냉풍 조건에서 반복적인 수화($p < 0.001$)와 건조($p = 0.000$)에서 모두 통계적으로 유의한 변화가 나타났으나, 수화의 경우 각 시점 간 사후 검정에서 통계적 유의성을 보이지 않았던 반면, 건조의 경우는 7번째(13.96 ± 0.02 mm)~10번째(13.99 ± 0.02 mm) 사이의 각 시점 간 사후 검정에서 모두 통계적으로 유의하게 증가하는 변화를 나타내었다. 온풍 조건에서는 반복적인 수화($p = 0.000$)와 건조($p = 0.000$)에서 모두 통계적으로 유의한 직경의 변화가 나타났으나 각 시점 간 사후 검정에서는 통계적 유의성을 보이지 않았다.

Senofilcon A 재질 소프트렌즈의 베이스커브는 냉풍 조건에서 반복적인 건조와 수화에 의해 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았던 반면, 온풍 조건에서는 반복적인 건조에 의해서 통계적으로 유의한 베이스커브의 변화($p = 0.000$)를 나타내었다. 온풍 조건 하에서 통계적으로 유의한 senofilcon A 재질 렌즈의 베이스커브 변화는 1번째(9.00 ± 0.16 mm)~5번째(9.00 ± 0.09 mm) 건조 사이의 각 시점 간 비교인 사후 검정에서 모두 관찰되었으며 전반적으로 증가하는 경향이였다. 한편 senofilcon A 재질 렌즈의 전체직경은 냉풍 조건에서 반복적인 수화($p < 0.010$)와 건조($p = 0.000$)에서 모두 통계적으로 유의한 변화가 나타났지만, 수화는 각 시점 간 사후 검정에서 통계적 유의성을 보이지 않았고, 건조 후 변화는 2번째(13.82 ± 0.06 mm)~6번째(13.88 ± 0.03 mm) 사이의 각 시점 간 사후 검정에서 모두 유의한 변화를 보였으며 전반적으로 증가하는 경향이였다. 반면 온풍 조건에서 전체직경의 변화는 반복적인 수화($p < 0.024$)에 의해서만 통계적으로 유의한 변화가 나타났으나 각 시점 간 사후 검정에서는 통계적 유의성을 보이지 않았다.

Comfilcon A 재질 소프트렌즈의 베이스커브는 냉풍과 온풍 조건 모두에서 반복적인 건조와 수화에 의해 통계적으로 유의한 변화가 관찰되지 않았던 반면, 전체직경은 냉풍 조건에서 반복적인 수화($p = 0.000$)와 건조($p = 0.000$)에서 모두 유의한 변화를 보였고, 온풍 조건에서는 반복적인 수화($p = 0.000$)에서만 유의한 변화를 보였으나 각 시점 간 사후 검정에서는 모두 통계적 유의성을 보이지 않았다.

추세를 살펴보았을 때, 베이스커브는 냉풍에서는 건조 조건의 etafilcon A 렌즈의 추세가, 온풍에서는 수화 조건

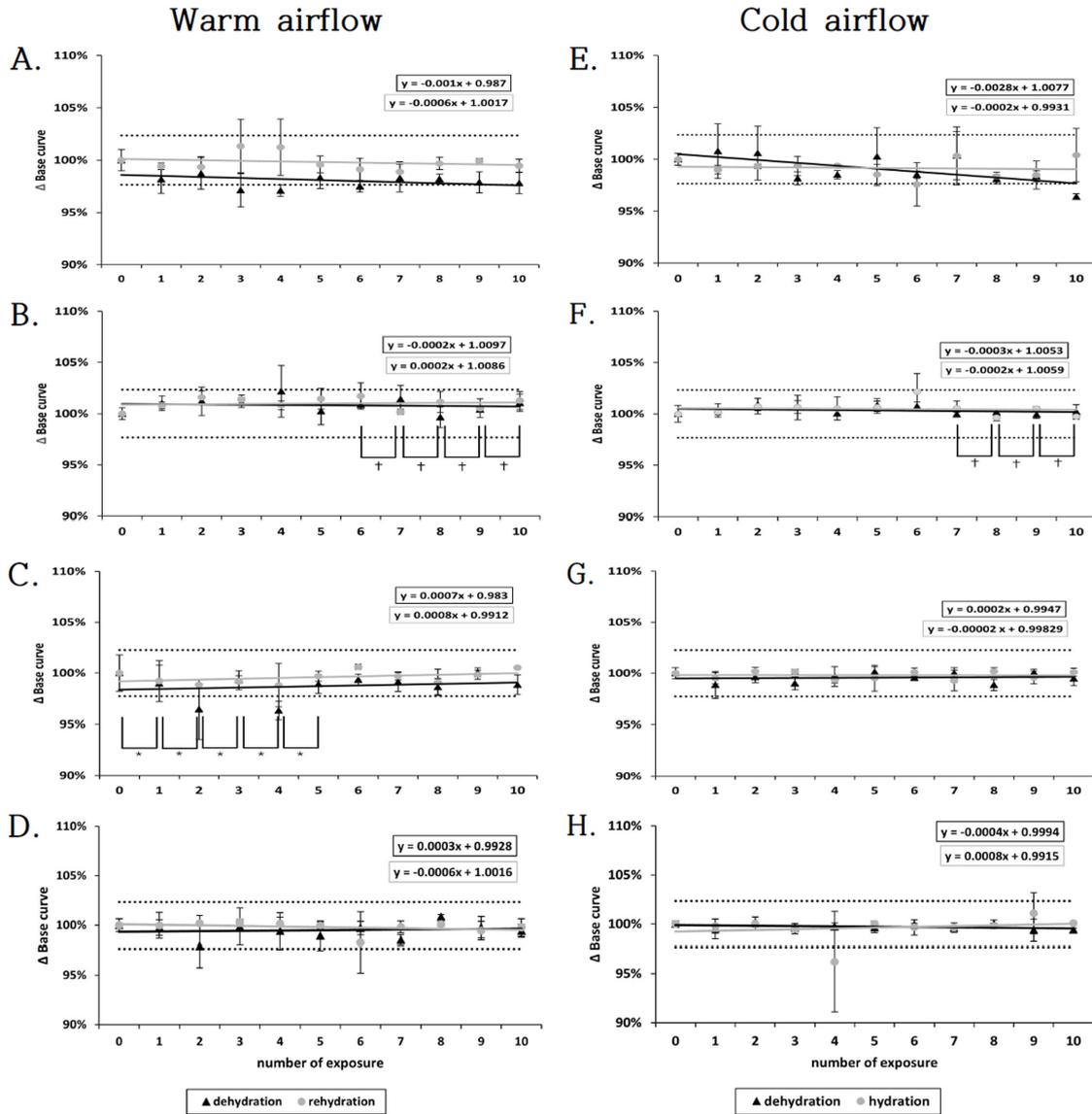


Fig. 1. Changes in base curve of the soft contact lenses after the repeated exposure to dehydration and rehydration. The dotted line indicates the allowable tolerance as specified by Korean standards.

A, E. etafilcon A lens exposed to warm and cold airflow

B, F. nesofilcon A lens exposed to warm and cold airflow

C, G. senofilcon A lens exposed to warm and cold airflow

D, H. comfilcon A lens exposed to warm and cold airflow

*: $p < 0.05$, significantly different between each time point based on the post-hoc analysis of repeated measures analysis of variance (RM-ANOVA), due to dehydration

†: $p < 0.05$, significantly different between each time point based on the post-hoc analysis of RM-ANOVA, due to rehydration

의 senofilcon A 렌즈의 추세가 가장 뚜렷한 경향을 보였다. 전체적경은 냉풍에서는 건조 조건의 senofilcon A 렌즈의 추세가, 온풍에서는 건조 조건의 nesofilcon A 렌즈의 추세가 가장 뚜렷한 경향을 보였다(Fig. 1, 2).

2. 냉풍 및 온풍 노출에 따른 소프트렌즈의 중심두께 변화

Etafilcon A 재질 소프트렌즈의 중심두께는 냉풍 조건의 반복적인 건조($p < 0.049$)에서만 통계적으로 유의한 변화를

보였으나 각 시점 간 사후 검정에서는 통계적 유의성을 보이지 않았다. 한편 온풍 조건의 반복적인 수화($p < 0.004$)와 건조($p < 0.005$) 후에서 모두 통계적으로 유의한 중심두께의 변화가 나타났으나 건조 후 변화는 각 시점 간 사후 검정에서 통계적 유의성을 보이지 않았던 반면, 수화 후에는 6번째(0.072 ± 0.002 mm)~9번째(0.072 ± 0.003 mm) 사이의 각 시점 간 사후 검정에서 모두 통계적으로 유의한 변화를 나타내었으며 전반적으로 감소의 경향을 나타내었다.

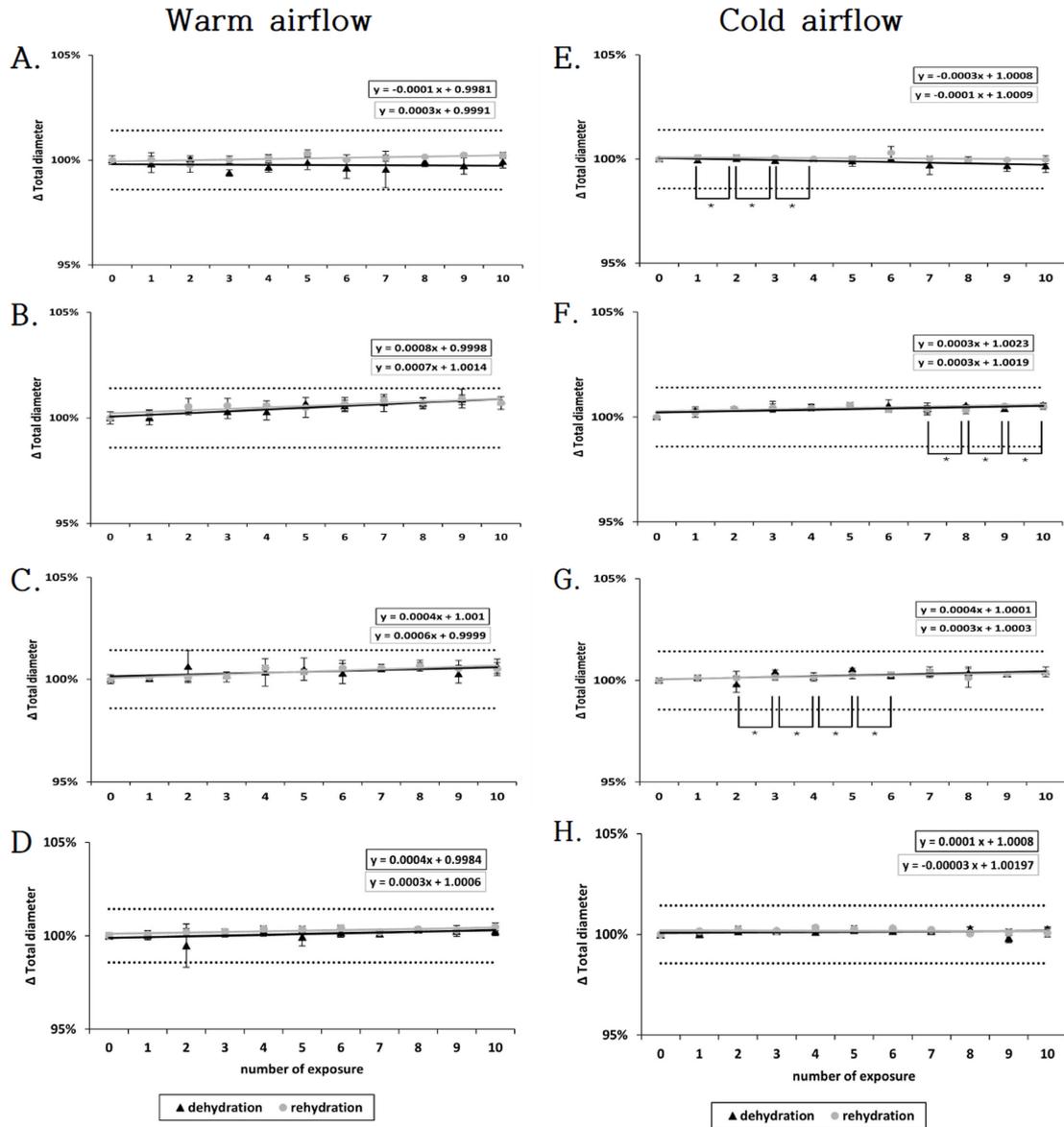


Fig. 2. Changes in total diameter of the soft contact lenses after the repeat exposure to dehydration and rehydration. The dotted line indicates the allowable tolerance as specified by Korean standards.

A, E. etafilcon A lens exposed to warm and cold airflow

B, F. nesofilcon A lens exposed to warm and cold airflow

C, G. senofilcon A lens exposed to warm and cold airflow

D, H. comfilcon A lens exposed to warm and cold airflow

*: $p < 0.05$, significantly different between each time point based on the post-hoc analysis of RM-ANOVA due to dehydration

Nesofilcon A 재질 소프트렌즈의 중심두께는 냉풍 조건에서 반복적인 수화($p < 0.019$)와 건조($p < 0.033$)에서 모두 통계적으로 유의한 변화를 내었으나 각 시점 간 사후 검정에서는 통계적 유의성을 보이지 않았으며, 온풍 조건의 반복적인 수화와 건조 후에는 유의한 변화가 관찰되지 않았다.

Senofilcon A 재질 소프트렌즈는 냉풍 조건의 반복적인 수화($p < 0.016$)에서만 통계적으로 유의한 중심두께의 변화를 보였고, 이는 3번째(0.056 ± 0.005 mm)~6번째(0.056 ± 0.004 mm) 수화 사이의 각 시점 간 비교에 따른 사후 검

정의 결과로 나타났으며 전반적으로 감소하는 경향이였다. 또한 온풍 조건에서는 반복적인 건조($p < 0.023$)에서만 통계적으로 유의한 변화가 나타났는데 이는 1번째(0.059 ± 0.001 mm)~5번째(0.059 ± 0.002 mm) 건조 사이의 각 시점 간 사후 검정에 기인한 결과이였으며 전반적으로 감소하는 경향이였다.

Comfilcon A 재질 소프트렌즈의 중심두께는 냉풍 조건과 온풍 조건에서 모두 반복적인 건조에서만 통계적으로 유의한 변화(냉풍; $p < 0.001$, 온풍; $p < 0.005$)를 나타내었으

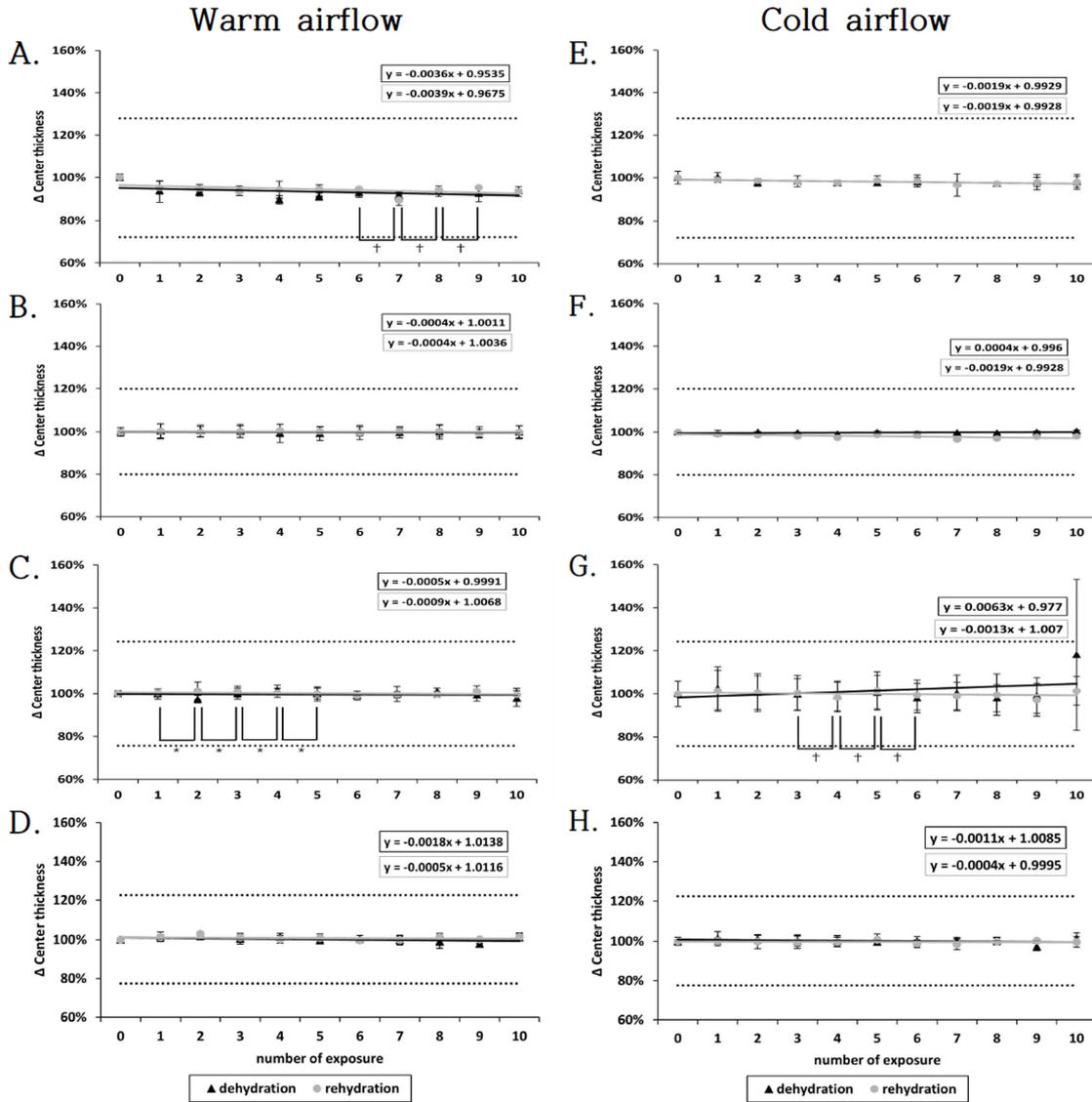


Fig. 3. Changes in center thickness of the soft contact lenses after repeated exposure to dehydration and rehydration. The dotted line indicates the allowable tolerance as specified by Korean standards.

- A, E. etafilcon A lens exposed to warm and cold airflow
- B, F. nesofilcon A lens exposed to warm and cold airflow
- C, G. senofilcon A lens exposed to warm and cold airflow
- D, H. comfilcon A lens exposed to warm and cold airflow

*: $p < 0.05$, significantly different between each time point based on the post-hoc analysis of RM-ANOVA, due to dehydration
 †: $p < 0.05$, significantly different between each time point based on the post-hoc analysis of RM-ANOVA, due to rehydration

나 두 조건에서 모두 각 시점 간 사후 검정에서는 통계적 유의성이 관찰되지 않았다.

추세를 살펴보았을 때, 냉풍에서는 건조 조건의 senofilcon A 렌즈에서, 온풍에서는 수화 조건의 etafilcon A 렌즈에서의 추세가 가장 뚜렷한 경향을 보였다(Fig. 3).

3. 냉풍 및 온풍 노출에 따른 소프트렌즈의 가시광선 투과율 변화

가시광선 투과율의 경우 실험에 사용된 소프트렌즈 중 senofilcon A 재질의 렌즈를 제외한 렌즈에서는 냉풍과 온

풍 조건의 반복적인 건조와 수화에 따른 통계적으로 유의한 변화가 관찰되지 않았으나 가장 뚜렷한 추세를 보인 렌즈는 comfilcon A 재질 소프트렌즈의 냉풍 및 온풍의 수화 조건이었다. 반면 senofilcon A 재질 소프트렌즈는 냉풍 조건의 반복적인 건조에서만 가시광선 투과율에 통계적으로 유의한 변화($p < 0.009$)가 나타났으나, 각 시점 간 사후 검정에서는 통계적 유의성을 보이지 않았으며, 식약처 허용오차 기준($\pm 5\%$) 이내의 변화이었다(Fig. 4).

조 등^[12]의 연구에 따르면 소프트렌즈가 $-20, 20, 50$ 및 80°C 에 각각 반복적으로 노출되었을 때, 습윤인자인 PVP

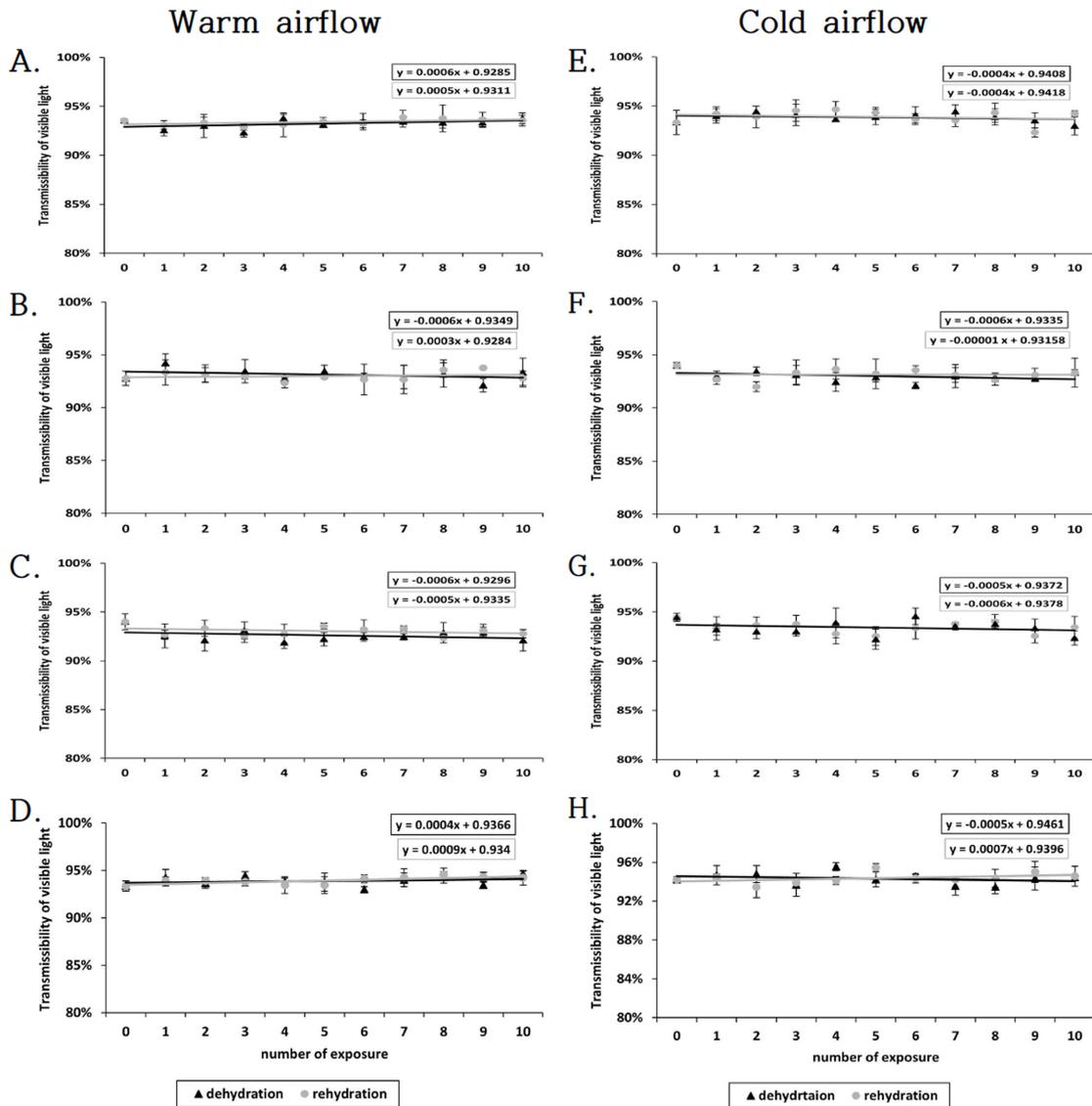


Fig. 4. Changes in visible light transmittance of the soft contact lenses after repeated exposure to dehydration and rehydration. A, E. etafilcon A lens exposed to warm and cold airflow B, F. nesofilcon A lens exposed to warm and cold airflow C, G. senofilcon A lens exposed to warm and cold airflow D, H. comfilcon A lens exposed to warm and cold airflow

가 함유된 etafilcon A 재질 렌즈에서 전체직경의 감소가 나타났고, 특히 -20°C 의 반복 노출에서는 통계적으로 유의하게 전체직경이 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서도 etafilcon A 재질의 경우 냉풍과 온풍 조건의 건조와 수화에 반복적으로 노출되었을 때 전체직경이 감소하는 결과를 나타내었고, 특히 냉풍 조건의 반복적인 건조의 경우 건조 초기인 1~4번째 사이의 각 시점 간 비교에서 모두 통계적으로 유의한 변화를 보였으며, 이후 건조에서도 지속적으로 전체직경이 감소하는 경향을 나타내었다. Etafilcon A 재질의 베이스커브의 경우 냉풍 건조에 의해 통계적으로 유의한 변화를 보였지만 각 시점 간 비교에서 통계적 유의성을 보이지 않았다. Nesofilcon A 재질의 경

우 온풍의 수화 조건을 제외한 나머지 조건에서 전체직경은 증가, 베이스커브는 감소하여 렌즈가 전반적으로 스틱해지는 경향을 나타내었으며, 특히 냉풍 조건에서는 반복적인 건조 및 수화의 후기인 7~10번째 노출까지의 각 시점 간 비교에서 전체직경과 베이스커브에서 모두 통계적으로 유의한 변화가 관찰되었다. Senofilcon A 재질의 전체직경의 경우 온풍과 냉풍 모두에서 건조와 수화의 반복적인 노출로 증가하는 경향을 보였으며, 특히 냉풍 건조의 초기인 2~6번째 노출까지의 각 시점 간 비교에서 통계적으로 유의한 전체직경의 변화가 관찰되었다. Senofilcon A 재질의 베이스커브의 경우 온풍 조건에서 건조 및 수화의 노출 초기에는 감소하였다가 지속적으로 증가하였고 반복

적인 건조의 경우 건조 초기인 1~5번째 노출까지의 각 시점 간 비교에서 통계적으로 유의한 변화가 관찰되었다. 냉풍 조건에서 베이스커브는 반복적인 건조에서는 증가, 반복적인 수화에서는 감소하는 경향을 나타내었다. Comfilcon A 재질의 전체직경의 경우 온풍 조건의 건조를 제외한 나머지 조건들에서 통계적으로 유의한 변화를 보였지만 각 시점 간 비교에서는 통계적 유의성을 보이지 않았다. 베이스커브의 경우 온풍과 냉풍 조건 모두에서 반복적인 건조와 수화에 의해 통계적으로 유의한 변화가 관찰되지 않았다. Young 등은^[13,14] 소프트렌즈를 안구 온도인 35°C의 wet cell에서 평형 상태에 도달하도록 한 후 전체직경을 측정하였을 때 모든 소프트렌즈가 높은 온도에 노출되는 경우 수축하여 전체직경이 감소하는 경향을 보였는데 이는 본 연구에서 나타난 대부분 소프트렌즈에서 온풍 조건의 노출 시 전체직경이 증가한 것과는 다른 결과이었다. 선행 연구에서는 소프트렌즈를 wet cell에 2분간 한 번만 노출시킨 실험 조건이었지만 본 연구는 소프트렌즈를 안구 모형에 놓은 후 airflow의 환경에 반복적으로 노출한 것으로 실험 조건이 달랐으며 airflow에 노출되는 동안 airflow의 세기에 영향을 받아 선행 연구와는 다른 경향을 보인 것으로 생각된다.

Chan 등은 선행 연구에서 눈 깜빡임의 안구 모델을 사용하여 소프트렌즈의 탈수 정도를 알아본 결과 사용된 모든 소프트렌즈에서 시간 경과에 따라 함수율이 의미있게 감소하였고 그 중에서도 etafilcon A의 함수율이 가장 크게 감소한다고 보고한 바 있다.^[10] 본 실험에서도 nesofilcon A와 senofilcon A 재질 렌즈에서 냉풍의 건조 조건을 제외한 나머지 조건에서 4종의 소프트렌즈 모두 냉풍 및 온풍에 반복적으로 노출됨에 따라 모두 중심두께가 얇아지는 것을 확인하였다. 이는 소프트렌즈가 반복적으로 수화와 건조에 노출되면서 소프트렌즈의 pore에 있던 수분이 빠져나가 얇아진 것으로 생각되었다.

본 연구에서는 etafilcon A 재질 렌즈의 베이스커브가 냉풍 조건의 건조 10번째 노출 후 식약처 허용오차 기준을 벗어난 값을 나타내었고, senofilcon A 재질 렌즈의 냉풍 조건의 건조와 etafilcon A 재질 렌즈의 온풍 조건의 건조 및 수화 조건 모두에서 중심두께 변화의 추세선 기울기가 컸으며, 건조 후 매번 수화가 반복적으로 이루어졌음에도 건조 노출 전 값으로 회복되지 않음을 알 수 있었다. 실제 일상생활에서 한 달 또는 그보다 장기간 착용이 가능한 소프트렌즈의 경우는 본 연구에서 사용하였던 10회의 노출 조건보다 더 많은 횟수에 노출될 가능성이 있다. 따라서 이러한 노출 조건은 소프트렌즈 파라미터의 영구적인 변화를 유발할 수 있으며 이는 정확한 시력 교정을 제공하지 못하거나 착용감 저하의 원인으로 작용할 수 있다.

가시광선 투과율의 경우 소프트렌즈에 변색이 있는 경우나^[15] 렌즈 재질, 착용자의 눈물 성분, 렌즈 관리 방법 등에 따라 달라질 수 있다.^[16] 본 연구 결과, 사용된 4종의 소프트렌즈 모두 온풍과 냉풍에 반복적으로 건조되고 수화됨에 따라 다소 감소하거나 증가하는 경향을 보였지만 모두 식약처 허용오차기준(표기값 \pm 5%) 이내의 변화이었으므로 가시광선 투과율은 크게 영향을 받지 않는 것으로 생각되었다.

결 론

본 연구에서는 온풍과 냉풍 조건에 소프트렌즈가 반복적으로 노출되고 수화되었을 때 나타나는 파라미터 변화에 대하여 알아보았다.

베이스커브는 온풍 조건에서는 nesofilcon A 재질의 수화, senofilcon A 재질의 수화에서, 냉풍 조건에서는 nesofilcon A 수화에서 통계적으로 유의한 변화가 유발되었고, 전체직경은 냉풍 조건의 etafilcon A, nesofilcon A 및 senofilcon A의 재질의 건조에서 통계적으로 유의한 변화가 유발됨을 알 수 있었다. 한편 중심두께는 온풍 조건에서는 senofilcon A 재질의 건조, etafilcon A 재질의 수화, 냉풍 조건에서는 senofilcon A 재질의 수화에서 각 시점 간 비교 시 통계적으로 유의한 변화가 유발되며 이는 10회 동안의 건조 노출 후 수화를 반복하였음에도 건조 노출 전 값으로 회복되지 않아 파라미터의 안정성이 확보되지 못 할 가능성이 있음을 알 수 있었다. 또한 본 실험에서 일회 착용 소프트렌즈였던 FDA group II, IV 및 다회 착용 소프트렌즈였던 FDA group V에 속하는 렌즈 1종에서 모두 10회의 airflow 반복 노출에 의해 유의한 변화가 나타남을 알 수 있었다.

다회 착용 소프트렌즈의 경우 본 실험에서 수행된 노출 횟수보다 airflow에 더 많은 시간과 횟수로 노출될 수 있다. 또한 일상 생활에서 사용하는 냉난방 시설은 본 실험의 조건보다 다양한 온도의 airflow를 발생시키며 특히 교체 주기가 긴 다회착용 소프트렌즈는 온풍과 냉풍에 모두 노출될 가능성이 높다. 이와 같은 다양한 온도의 airflow에 10회 이상의 반복적 노출은 소프트렌즈의 파라미터를 변화시키고 베이스라인으로 회복되지 않을 수 있으며 파라미터가 변화된 소프트렌즈는 올바른 시력 교정을 하지 못하고 착용자에게 불편감을 줄 수 있다. 특히 본 실험의 다회 착용 소프트렌즈 재질 1종에서 10회의 airflow 반복 노출만으로도 유의한 변화가 나타났으므로 본 실험 조건보다 다양한 온도의 airflow에 더 반복적으로 노출될 가능성이 있는 일상에서는 다회 착용 소프트렌즈의 사용보다는 일회 착용 소프트렌즈의 사용이 더 적합하다고 생각된다.

다. 따라서 소프트렌즈 착용자는 자신의 생활 환경에 적합한 착용 주기를 설정하고 이에 맞는 소프트렌즈를 선택하는 것이 중요하며 보다 다양한 조건의 airflow에 반복적인 노출이 소프트렌즈 파라미터에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 본 연구는 통제된 각막 모형 환경과 제한된 수화 시간에서 수행된 연구로 실제 임상에서는 결과가 다를 수 있다는 한계점이 있으므로 임상 적용에 대한 향후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Statista. Statista market insights, 2024. [https://www.statista.com/outlook/cmo/eyewear/contact-lenses/worldwide\(11 November 2024\)](https://www.statista.com/outlook/cmo/eyewear/contact-lenses/worldwide(11 November 2024)).
- [2] Morgan PB, Woods CA, Tranoudis IG, et al. International contact lens prescribing in 2024. *Contact Lens Spectrum*. 2025;40:22-24, 26, 28-30.
- [3] Fortune business insights. Contact lenses market size, Share and industry analysis, By type (reusable and disposable), By design (toric, multifocal and spherical), By material (soft, gas permeable {orthodontic and scleral} and others), By distribution channel (ophthalmologist, retail, online stores) and regional forecast (2024-2032), report no. FBI101775, 2025. [https://www.fortunebusinessinsights.com/ko/industry-reports/contact-lenses-market-101775\(10 February 2025\)](https://www.fortunebusinessinsights.com/ko/industry-reports/contact-lenses-market-101775(10 February 2025)).
- [4] Choi HD, Kim YJ, Choi S, et al. The state of eyewash solution use and parameter changes in clear soft contact lenses from repeated solution use. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2018;23(2):97-110. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2018.23.2.97>
- [5] Lee SE, Bae Y, Park JY, et al. Effects of particulate matter concentration on wearing soft contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2018;23(4):341-349. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2018.23.4.341>
- [6] Jung WY, Yoon SM, Lee JY, et al. Effects of repeated exposure to low temperatures on circle soft contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2022;27(4):253-262. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2022.27.4.253>
- [7] Morgan PB, Efron N, Morgan SL, et al. Hydrogel contact lens dehydration in controlled environmental conditions. *Eye Contact Lens*. 2004;30(2):99-102. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.ICL.00000118532.90284.09>
- [8] Kojima T, Matsumoto Y, Ibrahim OMA, et al. Effect of controlled adverse chamber environment exposure on tear functions in silicon hydrogel and hydrogel soft contact lens wearers. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011;52(12):8811-8817. DOI: <https://doi.org/10.1167/iov.10-6841>
- [9] 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)
- [10] Chan VWY, Phan CM, Walther H, et al. Effects of temperature and blinking on contact lens dehydration of contemporary soft lens materials using an in vitro blink model. *Transl Vis Sci Technol*. 2021;10(8):11. DOI: <https://doi.org/10.1167/tvst.10.8.11>
- [11] Size Korea. Korean agency for technology and standards, 2021. [https://sizekorea.kr/\(11 November 2024\)](https://sizekorea.kr/(11 November 2024)).
- [12] Cho CK, Song TH, Lee SE, et al. Effects of repeated temperature changes on soft contact lens parameters. 2018;23(3):227-239. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2018.23.3.227>
- [13] Young G, Potts M, Sulley A. The effect of temperature on soft contact lens diameter. *Eye Contact Lens*. 2016;42(5):298-302. DOI: <https://doi.org/10.1097/ICL.0000000000000202>
- [14] Young G, Garofalo R, Peters S, et al. The effect of temperature on soft contact lens modulus and diameter. *Eye Contact Lens*. 2011;37(6):337-341. DOI: <https://doi.org/10.1097/ICL.0b013e31822e8c3b>
- [15] Osuagwu UL, Ogbuehi KC. UV-vis light transmittance through tinted contact lense and the effect of color on values. *Cont Lens Anterior Eye*. 2014;37(3):136-143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2013.09.004>
- [16] Park M, Kang SY, Chang JI, et al. Changes in subjective discomfort, blinking rate, lens centration and the light transmittance of lens induced by exceeding use of daily disposable circle contact lenses in dry eyes. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2014;19(2):153-162. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2014.19.2.153>

온도 조건에 따른 Airflow 반복 노출이 소프트콘택트렌즈의 파라미터에 미치는 영향

김나현¹, 김나림¹, 홍예림¹, 박미정², 김소라^{2,*}

¹서울과학기술대학교 안경광학과, 학생, 서울 01811

²서울과학기술대학교 안경광학과, 교수, 서울 01811

투고일(2025년 2월 17일), 수정일(2025년 2월 28일), 게재확정일(2025년 3월 4일)

목적: 본 연구에서는 온풍과 냉풍 조건에 소프트콘택트렌즈(이하 소프트렌즈)가 반복적으로 노출되고 수화되었을 때 나타나는 파라미터의 변화에 대하여 알아보고자 하였다. **방법:** 국내 시판 중인 FDA 2군 및 4군의 하이드로겔 렌즈 2종과 실리콘하이드로겔 렌즈 2종을 각막 조건을 구현한 소프트렌즈 제조 몰드에 올려놓은 후 고온 및 저온의 풍속 조건에 각각 2분간 노출시켰고, 다시 인산완충용액에서 10분간 수화시켰다. 소프트렌즈의 건조와 수화 후에 파라미터를 각각 측정하여 비교하였으며, 이와 같은 과정을 10회 반복하였다. **결과:** 베이스커브는 온풍 조건에서는 nesofilcon A 재질의 수화, senofilcon A 재질의 수화에서, 냉풍 조건에서는 nesofilcon A 재질의 수화에서 통계적으로 유의한 변화가 유발되었다. 전체직경은 comfilcon A 재질을 제외한 나머지 렌즈의 냉풍 조건 건조에서 통계적으로 유의한 변화가 유발됨을 알 수 있었다. 한편 중심두께는 온풍 조건에서는 senofilcon A 재질의 건조와 etafilcon A 재질의 수화에서, 냉풍 조건에서는 senofilcon A 재질의 수화에서 각 시점 간 비교 시 통계적으로 유의한 변화가 관찰되었다. **결론:** 본 연구 결과, 소프트렌즈가 다양한 온도의 airflow에 반복적으로 노출되었을 때 파라미터 변화가 유발될 뿐 아니라 airflow 노출 전 값으로 회복되지 않을 수 있음을 확인하였다. 다회 착용 소프트렌즈의 경우, 다양한 airflow 환경에 의해 탈수된 후 렌즈를 재수화 하더라도 렌즈의 안정성이 확보되지 않을 가능성이 있음을 시사한다.

주제어: 온풍, 냉풍, 건조, 수화, 파라미터