

## The pH-induced Change in Oxygen Transmissibility of Clear and Circle Soft Contact Lenses

Seung-hye Choi<sup>1,a</sup>, Ji-Yeon Park<sup>1,b</sup>, Mijung Park<sup>2,c</sup>, and So Ra Kim<sup>2,d,\*</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 November 23, 2020: Revised December 14, 2020: Accepted December 15, 2020)

**Purpose:** This study aimed to analyze the change in oxygen transmissibility of soft contact lenses made of the same material based on pigmentation and material characteristics. **Methods:** Oxygen permeability in central and peripheral areas of clear and circle lenses made of nelfilcon A, hilafilcon B, and etafilcon A was measured by the polarographic method after incubation in phosphate buffer solutions with pHs of 6.6, 7.4, and 7.8, respectively, for 24 hours. Oxygen transmissibility was calculated after measuring the thickness of the central and peripheral areas of the soft lenses. **Results:** The oxygen transmissibility of the clear central area without pigmentation showed an increasing tendency with increasing pH, except in the nelfilcon A circle lens. On the other hand, the oxygen transmissibility of the peripheral area, which differs in pigmentation, showed an increasing tendency with increasing pH, except in the nelfilcon A clear lens. In addition, the degree of change in the oxygen transmissibility of the soft lenses made of the same material was greater in the central area of the clear lenses than in the circle lenses. For the peripheral area, the degree of change was tended to be greater in the circle lenses than in the clear lenses. **Conclusions:** From these results, it was revealed that the changes in oxygen transmissibility of soft lenses induced by pH changes depended on the pigmentation and the lens location. The change in oxygen transmissibility of circle lenses appeared to be primarily affected by oxygen permeability or lens thickness. Therefore, pH changes can result in changes of comfort and vision correction or the occurrence of complications in clinical trials, depending on the materials and pigmentation of soft lenses.

**Key words:** Soft contact lenses, pH, Oxygen transmissibility in central area, Oxygen transmissibility in peripheral Area, Pigmentation

### 서 론

콘택트렌즈는 굴절이상 교정의 기능적 목적뿐만 아니라 외관상의 심미적 이유 및 약물전달시스템으로써 치료 목적으로 사용되고 있다.<sup>[1,2]</sup> 최근 외모에 대한 관심이 높아지면서 눈동자를 보다 크고 또렷하며 매력적으로 보이게 하는<sup>[3]</sup> 원고리(circle)의 착색부위를 가지는 써클 콘택트렌즈(이하 써클렌즈)의 판매가 증가하게 되었고<sup>[4]</sup> 이로 인해 국내외 콘택트렌즈 제조회사들은 소비자의 취향을 반영한 다양한 색상의 써클렌즈를 개발하게 되었다. 초기의 써클렌즈는 이러한 외관상 이유가 아닌 홍채의 결손 또는 소실이 있거나 소안구증, 색소결핍 등을 치료하고자 하는 목적으로 개발되었으나 점차 외관상 심미성을 위한 사용이 증가하게 되었으며,<sup>[5]</sup> 써클렌즈의 착용 연령대 또한 낮아

져 10대의 이용이 증가하게 되어 최초 착용연령은 만13세가 가장 많은 것으로 나타났다.<sup>[4]</sup>

렌즈 재질 및 파라미터가 동일한 투명 소프트콘택트렌즈(이하 소프트렌즈)와 써클렌즈를 각각 착용한 후 그 차이를 비교한 선행연구에서 써클렌즈의 착용 시 렌즈 마름현상이 더 크게 나타났으며, 착용자의 눈물막파괴시간에 차이가 나타남을 보고한 바 있다.<sup>[6]</sup> 이처럼 동일 재질의 콘택트렌즈라고 하더라도 써클렌즈에는 착색을 위한 염료가 포함되어 있어 렌즈 두께, 산소투과율 등의 파라미터가 영향을 받을 수 있으므로 투명 소프트렌즈(이하 투명렌즈)와 써클렌즈는 완벽히 동일한 렌즈 파라미터를 가졌다고 보기 어렵다. 또한 박 등<sup>[7]</sup>은 선행연구에서 착색공법이나 착색공정, 재질 특성의 차이가 써클렌즈의 산소투과율 변화에 영향을 미친다고 하였고, 써클렌즈의 재질 및 착색공법이 동일

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

Authors ORCID: <sup>a</sup><https://orcid.org/0000-0002-7215-7424>, <sup>b</sup><https://orcid.org/0000-0003-0957-4855>, <sup>c</sup><https://orcid.org/0000-0002-4645-7415>, <sup>d</sup><https://orcid.org/0000-0001-8786-2815>

하다 하더라도 제조사가 상이하면 사용된 염료, 착색공정 등의 차이로 인하여 중합된 렌즈의 특성이 달라져 산소투과율의 차이가 유발될 수 있다고 하였다.

각막은 필요한 산소의 대부분을 대기로부터 공급받으나 콘택트렌즈 착용 시에는 렌즈 재질의 산소침투성과 두께에 따라 각막으로 전달되는 산소의 양이 충분하지 않을 수 있고, 이는 각막 형태의 변화를 초래할 수 있다.<sup>[8]</sup> 콘택트렌즈 착용으로 인한 각막의 산소부족 정도에 따라 각막부종 및 선조(striae)에서 신생혈관생성에 이르기까지 다양한 부작용이 유발될 수 있다.<sup>[9,10]</sup> 이렇듯 렌즈의 산소투과율은 건강한 콘택트렌즈 착용을 위한 중요한 요인 중 하나이므로 이와 관련된 연구결과가 지속적으로 발표되고 있다.

이 등<sup>[11]</sup>은 콘택트렌즈 착용자의 눈물 삼투압과 pH 등이 개인별로 다를 수 있고, 동일 착용자라 하더라도 생리적, 병리적 및 심리적 요인 등에 따라 변할 수 있다는 점에서 렌즈 착용 시의 산소투과율 또한 콘택트렌즈 제조회사에서 제공하는 값과 다를 수 있다고 하였다. 눈물 pH는 평균적으로는 pH 7.0~7.5이나 실제로는 pH 5.2~8.6로 평균 수치보다 상대적으로 넓은 범위로 측정되며, 삼투압은 정상 임계수치가 약 308 mOsm/L이다.<sup>[10,12]</sup> 그러나 외부적 요인에 의하여 눈꺼풀염 또는 마이봄샘 기능부전과 같은 안질환이 발생할 수 있으며 이는 눈물의 삼투압과 pH 변화를 초래할 수 있는 것으로 보고된 바 있다.<sup>[13]</sup> 또한 박 등<sup>[14]</sup>은 pH를 달리한 인산완충용액에서 소프트렌즈는 재

질적 특성 및 착색여부에 따라 pH에 의한 중심부와 주변부의 두께 변화가 상이하게 나타남을 보고한 바 있다.

이에 본 연구에서는 콘택트렌즈 착용 시 안구 건강상태에 영향을 미치는 주요 파라미터인 산소투과율이 pH 변화에 따라 어떠한 변화를 보이는가를 렌즈중심부와 주변부로 나누어 알아보고자 하였으며, 착색여부만 다른 동일 재질 소프트렌즈의 산소투과율을 pH 변화에 따라 비교하여 착색여부가 각막 산소상태에 유의미한 영향을 미칠 수 있는가를 알아보고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 실험 대상

하이드로겔인 HEMA를 기본 모노머로 하는 동일 재질 및 파라미터의 소프트렌즈 가운데 착색 유무만이 상이한 투명 및 써클렌즈를 실험대상으로 선정하였다. 즉, nelfilcon A 재질의 투명 및 써클렌즈, hilafilcon B 재질의 투명 및 써클렌즈, etafilcon A 재질의 투명 및 써클렌즈를 최종 실험대상으로 선정하였다(Table 1).

### 2. 실험방법

#### 1) 소프트렌즈의 노출 조건

본 연구에서는 0.2 M dibasic sodium phosphate와 0.2 M monobasic sodium phosphate, 0.15 M NaCl(Sigma Aldrich,

Table 1. Specifications of soft contact lenses tested

USAN*	nelfilcon A		hilafilcon B		etafilcon A	
Manufacturer	CIBA		Bausch+Lomb		ACUVUE	
Monomer	pHEMA <sup>a</sup> +PVA <sup>b</sup>		pHEMA <sup>a</sup> +NVP <sup>c</sup>		pHEMA <sup>a</sup> +MA <sup>d</sup>	
Water Content (%)	69		59		59	
FDA Group	II		II		IV	
Oxygen permeability ×10 <sup>-11</sup> (cm <sup>2</sup> /sec)(mlO <sub>2</sub> /ml×mmHg)	26		22		28	
Oxygen transmissibility ×10 <sup>-9</sup> (cm/sec)(mlO <sub>2</sub> /ml×mmHg)	26		22		33	
Base curve at -3.00 D (mm)	8.6		8.6		8.5	
Total diameter (mm)	13.8		14.2		14.2	
Central thickness at -3.00 D (mm)	0.10		0.09		0.084	
Dye	Clear	Circle	Clear	Circle	Clear	Circle
	None	Iron oxide black, Carbazole violet	None	Iron oxide	None	Blue hema, Iron oxide, Titanium dioxide etc
Pigmentation method	Clear	Circle	Clear	Circle	Clear	Circle
	None	Dual layer printing	None	Microencapsulation	None	Beauty-Wrap- In- Comfort
Packing buffer system	Phosphate		Phosphate		Borate	

\*USAN: United States Adopted Names

<sup>a</sup> pHEMA: Poly-2-hydroxyethyl methacrylate; <sup>b</sup> PVA: Polyvinyl alcohol; <sup>c</sup> NVP: N-ninyl pyrrolidone; <sup>d</sup> MA: Methacrylic acid;

<sup>e</sup>Not provided by manufacturer

USA)를 이용하여 인산완충용액(phosphate buffer saline)를 제조하였다. pH 미터(TW/SP-701, Sun-tex, Taiwan)로 확인하여 인산완충용액의 pH가 각각 6.6, 7.4 및 7.8이 되도록 하였는데, 이는 안구 자극감을 일으키지 않는 pH 범위인 6.6~7.8에서<sup>[15,16]</sup> 최저 및 최고에 해당하는 pH인 6.6과 7.8을 선정하고, 이를 눈물의 평균 pH인 7.4<sup>[17]</sup>와 비교하고자 함이었다. 이후 -3.00D의 동일 재질 투명 및 써클렌즈 각 3종을 4개씩 각기 다른 pH의 인산완충용액에 담구어 24시간동안 노출시켰다.

2) 산소침투성 측정 및 산소투과율 결정

항온습습기(WTH-E 155, Wisecube, 대한민국)를 사용하여 95% 이상의 습도와 35°C 이상의 온도조건이 유지되게 한 후 pH 7.4의 인산완충용액에 넣은 소프트렌즈를 4시간 이상 평형상태가 유지되도록 하였다. 플라로그래픽 셀과 O<sub>2</sub> permeometer(Model 201T, Createch, USA)를 이용하여 평형상태의 소프트렌즈 산소침투성을 수정된 플라로그래픽 방법으로 측정하였다.<sup>[11]</sup> 동일 재질 렌즈의 산소침투성은 측정 간 10분 이상의 재수화 과정을 가지도록 한 후 4 번씩 반복 측정하였으며, 국제표준화기구(International Organization for Standardization)의 허용오차 범위인 ±10% 이내 포함되는 조화 평균값 만을 결과값으로 사용하였다. 투명 및 써클렌즈의 중심부와 주변부 산소투과율은 측정된 산소침투성을 각각의 두께(Model ET-3, Chreatch, USA)로 나누어 계산하였다.

3. 통계처리

모든 결과는 평균±표준편차로 나타내었으며, SPSS 통계 프로그램(SPSS 18.0 for window)을 사용하여 통계적 유의성을 검증하였다. 즉, 각 pH에서 재질 특성이 다른 3종의 투명 및 써클렌즈에서 중심부와 주변부 산소투과율 간 차이는 one-way ANOVA로 유의성을 검증하였으며, 동일 재질 렌즈에서 pH에 따른 중심부와 주변부의 산소투과율 차이는 independent t-test로 알아보았다. 이 때 유의수준 값이 p<0.05 일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

1. pH에 따른 동일 재질 투명 및 써클렌즈의 중심부 산소투과율 비교

동일 재질의 투명 및 써클렌즈에서 착색이 없는 투명한 중심부의 산소투과율이 pH 변화에 어떠한 영향을 받는가를 알아보려고 하였다.

Nelfilcon A 재질 투명렌즈의 중심부 산소투과율(단위:

×10<sup>-9</sup>(cm/sec)(mlO<sub>2</sub>/ml×mmHg), 이하 단위 생략)은 pH 6.6, 7.4 및 7.8에서 각각 25.28±0.30, 25.53±0.44 및 25.81±0.33로 측정되어 pH가 증가함에 따라 산소투과율이 증가하는 경향을 나타내었으나 그 정도는 크지 않았던 반면(p=0.196), 써클렌즈의 중심부 산소투과율은 순서대로 각각 24.93±0.18, 25.06±0.46 및 24.34±0.16으로 측정되어 투명렌즈의 중심부와는 달리 pH 증가에 따라 산소투과율은 감소하는 경향을 나타내었다(p=0.017, Fig. 1). 각 pH에서 투명렌즈의 중심부 산소투과율이 써클렌즈의 값보다 높게 나타났으며 pH 6.6 및 7.4에서는 통계적으로 유의한 차이는 아니었으나(각각 p=0.092, p=0.190), pH 7.8에서는 유의한 차이를 나타내었다(p<0.001). 이를 pH 7.4에서 각 렌즈의 중심부 산소투과율을 100%로 하여 pH에 따른 상대적인 변화로 비교한 결과, 투명렌즈의 경우는 pH 순서대로 각각 99.0%, 100.0% 및 101.1%이었으며, 써클렌즈의 경우는 순서대로 99.5%, 100.0% 및 97.1%에 해당되었다.

한편 nelfilcon A와 동일한 FDA군인 hilafilcon B 재질 투명렌즈의 중심부 산소투과율은 pH 6.6, 7.4 및 7.8에서 각각 19.54±0.44, 20.11±0.28 및 20.02±0.19로 측정되었으며(p=0.072), 써클렌즈의 경우는 순서대로 19.90±0.25, 20.30

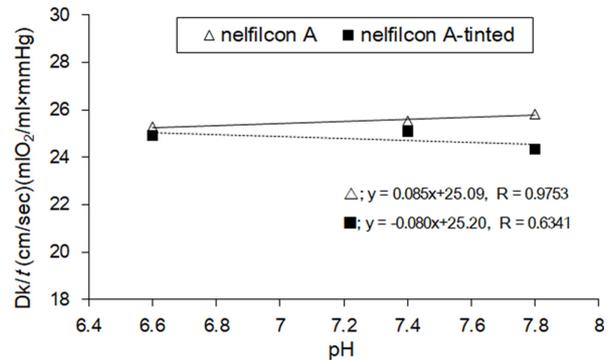


Fig. 1. Change in oxygen transmissibility in the central area of clear and circle contact lenses made of nelfilcon A according to pH change.

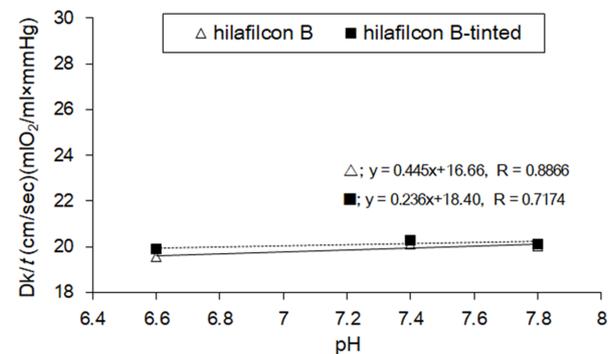


Fig. 2. Change in oxygen transmissibility in the central area of clear and circle contact lenses made of hilafilcon B according to pH change.

$\pm 0.38$  및  $20.13 \pm 0.24$ 로 나타나 pH의 증가에 따라 두 렌즈 모두 중심부 산소투과율이 증가하는 추세를 보였으나 통계적으로 유의한 변화는 아니었다( $p=0.216$ , Fig. 2). pH 7.4에서의 중심부 산소투과율이 착색 여부에 관계없이 약산성과 약알칼리 pH에서 측정된 값보다 높은 경향을 나타내었으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었으며( $p=0.452$ ), 이를 pH 7.4에서의 중심부 산소투과율을 100%로 하여 pH에 따른 상대적 변화를 알아본 결과, 투명렌즈의 경우는 pH 순서대로 각각 97.2%, 100.0% 및 99.6%이었으며, 씨클렌즈의 경우는 순서대로 98.0%, 100.0% 및 99.2%에 해당되었다. 또한 투명렌즈의 중심부 산소투과율이 높게 나타난 nelfilcon A 재질의 경우와는 달리 hilafilcon B 재질은 씨클렌즈에서의 중심부 산소투과율이 투명렌즈보다 모든 pH 조건 하에서 높은 경향을 나타내었으나 pH 6.6, pH 7.4 및 pH 7.8에서 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(순서대로  $p=0.250$ ,  $p=0.452$ ,  $p=0.499$ ).

고함수 이온성인 FDA 4군의 etafilcon A 재질 투명렌즈의 중심부 산소투과율은 pH 6.6, 7.4 및 7.8에서 순서대로 각각  $21.53 \pm 0.12$ ,  $23.56 \pm 0.29$  및  $24.40 \pm 0.62$ 로 측정되었으며( $p < 0.001$ ), 씨클렌즈의 경우는  $24.40 \pm 0.39$ ,  $25.06 \pm 0.24$  및  $27.52 \pm 0.34$ 로 나타나( $p < 0.001$ ) 두 경우 모두 pH 증가에 따라 산소투과율이 증가하는 양의 상관관계를 보였다(Fig. 3). 또한 각 pH에서 씨클렌즈의 중심부 산소투과율이 투명렌즈의 경우보다 통계적으로 유의하게 높음을 알 수 있었다( $p < 0.001$ ). 이를 눈물 pH에서의 중심부 산소투과율을 100%로 하여 상대적 변화로 알아본 결과, 투명렌즈의 경우는 pH 순서대로 각각 91.4%, 100.0% 및 103.6%이었으며, 씨클렌즈의 경우는 순서대로 97.4%, 100.0% 및 109.8%에 해당되어 분석한 재질 가운데 pH에 의해 산소투과율의 변화율이 가장 큰 것으로 나타났다.

pH 변화에 따른 소프트렌즈 중심부 산소투과율의 변화 정도를 기울기의 절대값(|a|)으로 비교하면 etafilcon A 투명( $|a|=2.413$ )  $\geq$  etafilcon A 씨클( $|a|=2.346$ )  $\gg$  hilafilcon B

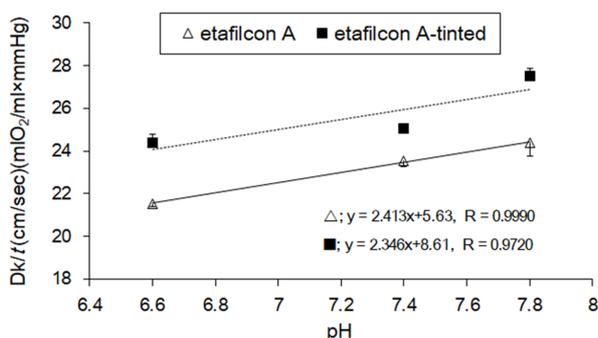


Fig. 3. Change in oxygen transmissibility in the central area of clear and circle contact lenses made of etafilcon A according to pH change.

투명 ( $|a|=0.445$ )  $\geq$  hilafilcon B 씨클( $|a|=0.236$ )  $\gg$  nelfilcon A 투명( $|a|=0.085$ )  $\approx$  nelfilcon A 씨클( $|a|=0.080$ )렌즈의 순으로 나타났다(Fig. 1~3). 이러한 pH에 따른 각 렌즈의 중심부 산소투과율의 차이는 pH에 따른 투명 및 씨클렌즈의 중심 두께의 변화 양상과 관련이 있을 것으로 생각되었다. 본 연구와 동일 연구조건으로 수행된 선행연구 결과<sup>[14]</sup>에 따르면 FDA그룹 2인 nelfilcon A 재질의 중심두께는 투명렌즈의 경우는 pH인 7.4에서, 씨클렌즈의 경우는 pH 7.8에서 가장 두꺼운 경향을 나타내었고, hilafilcon B 재질 투명 및 씨클렌즈의 중심두께는 모두 pH 6.6에서 가장 두꺼운 경향을 나타내는 것으로 보고되었다. 한편 etafilcon A 재질의 투명 및 씨클렌즈의 중심두께는 pH 6.6과 7.4에서는 차이가 없었으나 pH 7.8에서는 두 렌즈의 중심두께 모두 다소 감소되는 경향을 나타낸 바 있다.<sup>[14]</sup> 산소투과율은 산소침투성과 렌즈 두께에 의해 결정되는 값으로 산소침투성의 변화가 없다면 두께가 얇을수록 높은 값을 가지게 되나 본 연구에서는 중심두께의 변화 양상과 산소투과율의 변화 양상이 일치하지 않았다. 즉, nelfilcon A 재질의 투명 및 씨클렌즈 중심부는 두께가 가장 두꺼웠던 pH인 7.4와 7.8에서<sup>[14]</sup> 가장 낮은 산소투과율을 보이지 않았던 반면, hilafilcon B 재질의 경우는 투명 및 씨클렌즈 모두 가장 두꺼운 중심두께를 보인 pH 6.6에서 가장 낮은 산소투과율을 나타내었으며(Fig. 1 and 2), etafilcon A 재질의 투명 및 씨클렌즈는 중심두께의 변화가 없었던 pH 6.6 및 7.4에서 모두 상이한 산소투과율을 나타내었다(Fig. 3). 따라서 본 연구결과와 선행연구 결과<sup>[14]</sup>를 종합하면, pH에 따른 소프트렌즈의 산소투과율의 변화는 중심두께의 변화에만 기인한 것이 아니며, 눈물의 pH보다 낮거나 높은 pH에서 렌즈재질의 고유한 성질인 산소침투성 자체가 달라졌을 것이라 생각되었다. 실제로 pH 변화에 따른 콘택트렌즈 중심부의 산소침투성 변화를 알아본 선행연구에서, 인산완충액에서 nelfilcon A 렌즈는 pH와 산소침투성 사이에 미미한 음의 상관관계를 나타내었고, etafilcon A 렌즈는 pH와 산소침투성은 양의 상관관계를 나타내어 pH에 의해 렌즈의 산소침투성이 달라짐이 보고된 바 있다.<sup>[11]</sup> 본 연구에서는 nelfilcon A 투명 및 씨클렌즈는 각각 미미한 양과 음의 상반된 상관관계를 나타내었으며, etafilcon A 투명 및 씨클렌즈는 모두 양의 상관관계를 나타내어 렌즈 재질의 이온성이 산소투과율에도 영향을 미침을 확인할 수 있었으나 pH 변화에 따라 두께 또한 영향을 받게 되므로 산소침투성의 변화와 동일한 양상을 보이지는 않았다.

## 2. pH에 따른 동일 재질 투명 및 씨클렌즈의 주변부 산소투과율의 비교

동일 재질의 투명 및 씨클렌즈에서 착색여부의 차이가

존재하는 주변부의 산소투과율에 pH변화가 어떠한 영향을 미치는가를 알아보았다.

Nelfilcon A 재질 투명렌즈의 주변부 산소투과율은 pH 6.6, 7.4 및 7.8에서 각각 순서대로 29.38±0.54, 29.11±0.75 및 29.40±0.52로 측정되었으며, 써클렌즈의 경우는 순서대로 28.17±0.60, 29.75±0.94 및 28.52±0.99로 측정되어 두 렌즈 모두 주변부 산소투과율은 눈물의 정상 pH 7.4에서 가장 높았으나, 투명렌즈는 pH가 증가할수록 산소투과율은 감소하는 추세를( $p=0.762$ ), 써클렌즈는 pH가 증가할수록 산소투과율이 증가하는 추세( $p=0.066$ )를 나타내었으나 상관관계는 높지 않았다(Fig. 4). 이를 눈물 pH에서의 주변부 산소투과율을 100%로 하여 상대적 변화로 알아본 결과, 투명렌즈의 경우는 pH 순서대로 각각 100.9%, 100.0% 및 101.0%로 거의 변화가 없었던 반면, 써클렌즈의 경우는 순서대로 94.7%, 100.0% 및 95.9%에 해당되었다. 각 pH에서의 주변부 산소투과율을 비교하여 보면, pH 7.4에서는 써클렌즈가 높게 나타났고( $p=0.328$ ), pH 6.6 및 7.8에서는 투명렌즈가 높게 나타났으나 pH 7.8에서는 통계적인 유의성이 나타나지 않았으며( $p=0.167$ ), pH 6.6에서만 통계적인 유의성이 나타났다( $p=0.024$ , Fig. 4).

Hilafilcon B 재질 투명렌즈의 주변부 산소투과율은 pH 6.6, 7.4 및 7.8에서 각각 순서대로 17.87±0.30, 18.91±0.37 및 18.69±0.14로 측정되었고( $p=0.002$ ) 써클렌즈의 경우는 순서대로 18.86±0.29, 19.95±0.74 및 19.79±0.16로 측정되어( $p=0.019$ ) 각 pH에서 착색부위가 존재하는 써클렌즈의 주변부 산소투과율이 착색부위가 없는 투명렌즈에 비해 다소 높음을 알 수 있었다(Fig. 5). 동일 pH에서 투명 및 써클렌즈의 주변부 산소투과율의 차이는 pH 7.4( $p=0.056$ )를 제외한 pH 6.6과 pH 7.8에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(각각  $p=0.003$ ,  $p<0.001$ ). 이를 pH 7.4에서 주변부 산소투과율을 100%로 하여 비교한 결과, 투명렌즈의 경우는 pH 순서대로 각각 94.5%, 100.0% 및 98.8%이었으며, 써클렌즈의 경우는 순서대로 94.5%, 100.0% 및 99.2%

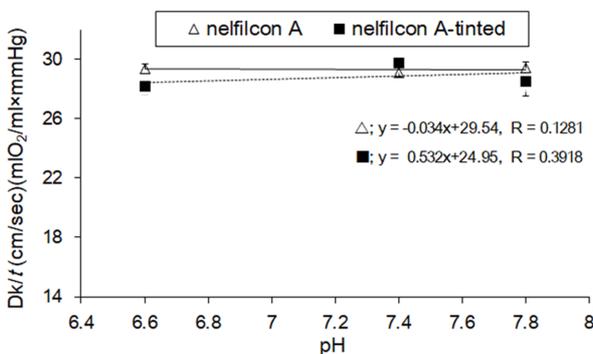


Fig. 4. Change in oxygen transmissibility in the peripheral area of clear and circle contact lenses made of nelfilcon A according to pH change.

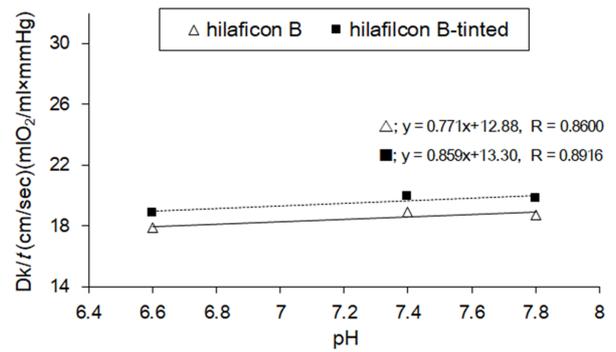


Fig. 5. Change in oxygen transmissibility in the peripheral area of clear and circle contact lenses made of hilafilcon B according to pH change.

에 해당되었으므로 hilafilcon B 재질 렌즈의 경우는 착색 여부에 따른 주변부 산소투과율의 상대적 변화는 차이가 없는 것으로 생각되었다.

Etafilcon A 재질 투명렌즈의 주변부 산소투과율은 pH 6.6, 7.4 및 7.8에서 각각 순서대로 16.39±0.04, 17.85±0.80 및 18.9±0.64로 측정되었으며( $p<0.001$ ), 써클렌즈의 경우는 순서대로 20.72±0.64, 22.30±0.33 및 24.67±0.21로 측정되어( $p<0.001$ ) 착색여부와 관계없이 pH 증가와 함께 투명 및 써클렌즈의 주변부 산소투과율이 증가함을 알 수 있었다(Fig. 6). 이를 pH 7.4에서 주변부 산소투과율을 기준으로 하여 상대적 변화로 분석한 결과, 투명렌즈의 경우는 pH 순서대로 각각 91.8%, 100.0% 및 105.9%이었으며, 써클렌즈의 경우는 순서대로 92.9%, 100.0% 및 110.6%에 해당되었다. 동일 pH에서 써클렌즈의 주변부 산소투과율은 투명렌즈의 경우보다 통계적으로 유의하게 높았다( $p<0.001$ ).

pH 변화에 따른 소프트렌즈 주변부의 산소투과율 변화 정도는 etafilcon A 써클( $|a|=3.104$ ) > etafilcon A 투명( $|a|=2.054$ ) ≫ hilafilcon B 써클( $|a|=0.859$ ) ≧ hilafilcon B 투명( $|a|=0.771$ ) > nelfilcon A 써클( $|a|=0.532$ ) ≫ nelfilcon B 투명( $|a|=0.034$ ) 렌즈의 순으로 나타났고, 이는 중심부 산소투

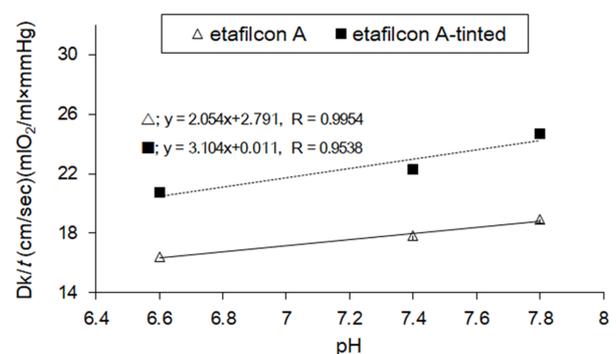


Fig. 6. Change in oxygen transmissibility in the peripheral area of clear and circle contact lenses made of etafilcon A according to pH change.

과울 변화 정도의 순서와는 달랐다(Fig. 4~6). 따라서 pH에 따른 투명 및 씨클렌즈의 주변부 산소투과율의 차이는 착색부위가 존재하지 않는 중심부와는 달리 pH에 따른 주변부 두께의 변화뿐만 아니라 주변부의 착색여부에 의해서도 나타날 것으로 생각해 볼 수 있다. 본 연구에서 측정된 pH에 따른 주변부 산소투과율의 변화를 선행연구에서의 주변부 두께 변화 양상<sup>[14]</sup>과 비교 분석해 보면, FDA그룹 2인 nelfilcon A 재질 투명렌즈의 주변부 두께는 씨클렌즈보다 두꺼운 경향을 나타내었으나 pH에 따른 주변부 변화는 없었고, 주변부 산소투과율 또한 거의 변화가 없었던 반면, 씨클렌즈의 경우는 눈물 pH에서 가장 얇은 주변부 두께를 나타내었고, pH에 따른 주변부 두께 변화보다 주변부 산소투과율의 변화가 상대적으로 큰 것으로 나타났으므로 pH 변화에 따라 착색부위의 산소침투성이 우선적으로 영향을 받는 것으로 생각되었다. 한편 hilafilcon B 재질 투명 및 씨클렌즈의 경우 pH 6.6에서 주변부 두께는 투명렌즈 0.150 mm, 씨클렌즈 0.157 mm로 nelfilcon A 재질의 투명렌즈 0.151 mm, 씨클렌즈 0.148 mm 경우와는 달리 씨클렌즈보다 투명렌즈에서 얇게 측정되었으나, 두 렌즈 모두 pH에 따른 두께 변화는 크지 않았고 주변부 산소투과율은 착색유무에 관계없이 pH 6.6에서만 동일하게 다소 감소한 경향을 보였으므로 nelfilcon A 재질과는 달리 착색유무에 따른 영향이 크지 않은 것으로 생각되었다. 이는 씨클렌즈에서의 염료용출에 대한 선행연구에서 제기되었던 바 동일 FDA그룹이라 하더라도 함유된 습윤성분과 착색제 및 착색공법의 차이에 기인하였을 가능성이 있다고 생각되었다.<sup>[18]</sup> 즉, nelfilcon A 및 hilafilcon B 재질 씨클렌즈의 기본 모노머는 동일하나 습윤성분으로 각각 polyvinyl alcohol과 N-vinyl pyrrolidone을 가지며, 공통 염료성분으로는 iron oxide을 가지나 nelfilcon A 재질 렌즈의 경우는 carbazole violet이 추가적으로 함유되어 있다(Table 1). 또한 제조사에서 제공한 두 씨클렌즈의 착색공법은 nelfilcon A 씨클렌즈는 dual layer printing이었던 반면, hilafilcon B 씨클렌즈는 micro-encapsulation으로 렌즈 표면에서 염료패턴이 관찰되어 착색성분의 공중합으로 인한 내부 매트릭스의 변화가 nelfilcon A 재질 씨클렌즈보다 작아 pH에 의한 변화 또한 nelfilcon A 재질 씨클렌즈에 비해 적었던 것으로 생각해 볼 수 있으나 이를 뒷받침할 추가 연구가 필요하다. 한편 etafilcon A 재질의 경우는 비이온성인 나머지 두 렌즈의 재질과 다르게 이온성을 띠기 때문에 투명과 씨클렌즈에서 pH 변화에 더 크게 변화가 나타났던 것으로 생각된다(Table 1).<sup>[11]</sup> 또한 모든 pH에서 착색이 되지 않은 투명렌즈의 주변부 두께가 씨클렌즈에 비해 얇은 것으로 나타났고, pH 7.8에서 두 렌즈 모두 주변부 두께가 다소 감소되는 경향을 나타내었다.<sup>[14]</sup> FDA그

룹 IV의 etafilcon A 투명렌즈의 주변부 두께는 씨클렌즈보다 얇게 측정되었으나 주변부 산소투과율은 pH에 관계없이 씨클렌즈에서 높은 것으로 나타나 주변부의 착색 유무는 샌드위치 공법의 일환으로 제조된 nelfilcon A 씨클렌즈의 경우와 유사하게 산소침투성이 변화에 우선적으로 영향을 미치는 것으로 생각되었다. 착색공법에 따른 산소투과율 차이에 대한 이러한 예측은 선행연구<sup>[14]</sup>에서도 확인된 바 있으며, 렌즈 전면에 착색된 씨클렌즈의 경우는 후면의 표면조도는 투명렌즈와 동일하나 전면 요철로 인하여 차이가 나며,<sup>[6]</sup> 내부에 착색부위를 가진 씨클렌즈의 경우는 표면조도는 투명렌즈와 동일하다 하더라도 내면 거칠기로 염증이 증가된다<sup>[19]</sup>는 선행연구 결과들로부터 착색부위의 위치에 따라 내외부 환경 변화에 대하여 상이한 결과를 보일 것을 예측할 수 있다. 따라서 생리적 또는 병리적 원인에 따라 착용자의 눈물 pH가 변하게 될 때 또는 소프트렌즈의 관리 및 보관 중에 pH가 변하게 될 때<sup>[20]</sup> 기본 모노머, 습윤제 유무 및 착색 여부 등 렌즈의 재질적 특성에 따른 파라미터의 변화 가운데 산소투과율은 렌즈 내부 또는 표면에 적용되는 착색공법의 종류에 따라 산소침투성이 영향을 받을 수 있을 것이라 판단되었다.

## 결론

본 연구는 렌즈 파라미터에 영향을 줄 수 있는 외부 요인으로 pH의 변화를 선정하여 이에 따른 소프트렌즈의 산소투과율을 동일 재질의 투명 및 씨클렌즈를 대상으로 착색부위가 없는 중심부와 착색부위가 존재하는 주변부로 나누어 측정하고 비교하였다. 그 결과, 착색부위가 없는 중심부 산소투과율은 nelfilcon A 씨클렌즈를 제외하고는 모두 pH 증가에 따라 증가하는 추세를, 착색부위가 있는 주변부 산소투과율의 경우는 nelfilcon A 투명렌즈를 제외하고 모두 pH 증가에 따라 증가하는 추세를 보임을 밝혔다. 또한 동일 재질의 소프트렌즈의 중심부와 주변부에서 산소투과율의 변화 정도는 착색이 없는 투명한 중심부에서는 투명렌즈의 변화 정도가 씨클렌즈의 경우보다 더 컸으며, 착색부위가 있는 주변부에서는 씨클렌즈의 변화 정도가 투명렌즈의 경우보다 더 큰 경향을 보임을 밝힘으로써 착색여부에 따라 산소투과율 변화 양상이 달라짐을 알 수 있었다. 또한 씨클렌즈에서 pH 변화에 따른 산소투과율의 변화는 착색공법에 따라서 산소침투성에 우선적으로 영향을 받는 경우와 렌즈두께에 우선적으로 영향을 받는 경우로 나눌 수 있음을 제안하였으나 동일 착색공법으로 분류되는 경우라 하더라도 콘택트렌즈 회사마다 세부 공정, 착색 성분의 적용 등이 상이할 수 있으므로 pH 변화에 따른 산소투과율 변화가 달라질 가능성을 배제할 수 없다.

또한 본 연구에서는 3종류의 재질로 제조된 소프트렌즈를 선정하여 연구를 진행하였으므로 동일 FDA군이라 하더라도 다양한 차이 요건들을 모두 반영하지 못하였다는 한계를 가지므로 이를 고려한 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- [1] Kobashi H, Ciolino JB. Innovative development of contact lenses. *Cornea*. 2019;37(suppl 1):S94-S98. DOI: <http://doi.org/10.1097/ICO.0000000000001725>
- [2] Kim DH, Kim JS, Mun JH. The status of soft contact lens wear in college students in Korea. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2004;9(2):233-239.
- [3] Kim BJ. Effects of pupil size on the perception of attraction: gender difference. *Korea J Woman Psychol*. 2009;14(2):199-218. DOI: <https://doi.org/10.18205/kpa.2009.14.2.001>
- [4] Ko M, Kim SR, Park M. The actual state of wearing and caring for cosmetic colored soft contact lens in female high school students. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2017;22(1):11-21. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2017.22.1.11>
- [5] Korean Optometric Association. Risks of color and circle lenses and the role of opticians, 2018. [http://www.optic.or.kr/Cate\\_03/eOpticnews.asp?nmode=view&OnsSeq=3951&search\\_what=&keyword=&search\\_type=3%20%20%20%20%20%20%20%20%20&page=1\(20 May 2020\)](http://www.optic.or.kr/Cate_03/eOpticnews.asp?nmode=view&OnsSeq=3951&search_what=&keyword=&search_type=3%20%20%20%20%20%20%20%20%20&page=1(20 May 2020)).
- [6] Park SH, Kim SR, Park M. The effect of circle lens and soft contact lens with identical material in clinical application on the eyes. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2011;16(2):147-157.
- [7] Park K, Kim SR, Park M. Correlation between protein deposition and oxygen transmissibility in circle contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2019;24(1):21-28. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2019.24.1.21>
- [8] Woo CM, Lee HM. Change of corneal shape with soft contact lens type. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2014;19(1):111-120. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2014.19.1.111>
- [9] Cho CK, Song TH, Lee SE, et al. Effect 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] Lee JY, Lee JI, Kim SR, et al. Correlation between tear proteins deposition and oxygen transmissibility of soft contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2017;22(2):97-103. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2017.22.2.97>
- [11] Lee SE, Kim SR, Park M. Oxygen permeability of soft contact lenses in different pH, osmolarity and buffering solution. *Int J Ophthalmol*. 2015;8(5):1037-1042. DOI: <https://doi.org/10.3980/j.issn.2222-3959.2015.05.33>
- [12] Kang H, Seong S, Choe CM, et al. The effect of topical cyclosporine 0.05% on tear osmolarity for dry eye syndrome. *J Korean Ophthalmol Soc*. 2015;56(2):174-179. DOI: <http://doi.org/10.3341/jkos.2015.56.2.174>
- [13] Choi SY, Eom Y, Song JS, et al. Find dust and eye health. *J Korean Med Assoc*. 2019;62(9):486-494. DOI: <https://doi.org/10.5124/jkma.2019.62.9.486>
- [14] Park JY, Hwang SD, Kim SR, et al. The effect of pH on the thickness of soft contact lenses. 2020;25(3):257-263. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2020.25.3.257>
- [15] Meyer DR, McCulley JP. Differential effect of chelation on the pH tolerance of corneal epithelium in tissue culture. *Ophthalmic Res*. 1991;23(4):204-212. DOI: <http://doi.org/10.1159/000267104>
- [16] Carney LG, Hill RM. Human tear pH: diurnal variations. *Arch Ophthalmol*. 1976;94(5):821-824. DOI: <http://doi.org/10.1001/archophth.1976.03910030405011>
- [17] Yamada M, Mochizuki H, Kawai M, et al. Fluorophotometric measurement of pH of human tears in vivo. *Curr Eye Res*. 1997;16(5):482-486. DOI: <https://doi.org/10.1076/ceyr.16.5.482.7050>
- [18] Kim SR, Kang U, Seo BM, et al. A study on dye elution from the circle contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2014;19(2):171-177. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2014.19.2.171>
- [19] Song JS, Lee H, Kim JW, et al. The effects of cheap tinted contact lenses on corneal swelling and ocular surface inflammation. *J Korean Ophthalmol Soc*. 2008;49(12):1888-1893. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2008.49.12.1888>
- [20] Park M, Ha JR, Lee YM, et al. Changes of multi-purpose solutions for soft contact lens depending on using period or keeping temperature. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2004;9(2):381-389.

## pH에 따른 투명 및 씨클 소프트콘택트렌즈의 산소투과율 변화

최승혜<sup>1</sup>, 박지연<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(2020년 11월 23일), 수정일(2020년 12월 14일), 게재확정일(2020년 12월 15일)

**목적:** 본 연구에서는 pH 변화에 의한 동일 재질 소프트렌즈의 산소투과율 변화를 착색 여부와 재질 특성에 따라 분석하고자 하였다. **방법:** Nelfilcon A, hilafilcon B 및 etafilcon A 재질의 투명 및 씨클렌즈를 pH 6.6, 7.4 및 7.8의 인산완충용액에 24시간 동안 처리한 후 전기분해자동분석법으로 각 렌즈의 중심부와 주변부의 산소침투성을 측정하였다. 소프트렌즈의 중심부 및 주변부 두께를 측정하고 부위 별 산소투과율을 계산하였다. **결과:** 착색이 없는 투명한 중심부 산소투과율은 nelfilcon A 씨클렌즈를 제외하고는 모두 pH 증가에 따라 증가하는 추세를 나타내었다. 반면, 착색여부가 상이한 주변부 산소투과율은 nelfilcon A 투명렌즈를 제외하고 모두 pH 증가에 따라 증가하는 추세를 보였다. 또한 동일 재질 소프트렌즈의 중심부 및 주변부 산소투과율의 변화 정도는 중심부에서는 투명렌즈의 변화 정도가 씨클렌즈의 경우보다 더 컸으며, 주변부에서는 씨클렌즈의 변화 정도가 투명렌즈의 경우보다 더 큰 경향을 나타내었다. **결론:** 본 연구에서는 소프트렌즈의 산소투과율은 착색여부와 착색부위에 따라 pH에 대하여 상이한 변화 양상을 보임을 밝혔으며, 씨클렌즈의 산소투과율 변화는 착색공법에 따라 산소침투성 또는 렌즈두께에 우선적으로 영향을 받는 경우로 나뉘는 경향을 제안하였다. 따라서 pH 변화 시 소프트렌즈의 재질과 착색공법에 따라 임상에서는 착용감 및 시력교정 변화의 경우와 부작용 발생의 경우가 나타날 것이라 생각된다.

**주제어:** 소프트콘택트렌즈, pH, 중심부 산소투과율, 주변부 산소투과율, 착색