

Contact Angle Measurement Methods for Soft Contact Lens Wettability

Hyo-Gyeong Kim^{1,a}, Byung-Ho Ha^{2,b}, Seong-Ryul Lee^{3,c}, and Ki Hong Kim^{4,d,*}

¹Dept. of Optometry & Vision Science, Daegu Catholic University, Student, Gyeongsan 38430, Korea

²Dept. of Optometry & Vision Science, Daegu Catholic University, Lecturer, Gyeongsan 38430, Korea

³Dept. of Optometry & Vision Science, Gimhae University, Professor, Gimhae 50811, Korea

⁴Dept. of Optometry & Vision Science, Daegu Catholic University, Professor, Gyeongsan 38430, Korea

(Received November 14, 2022: Revised December 16, 2022: Accepted March 20, 2023)

Purpose: This study investigated a suitable contact angle measurement method for evaluating wettability in soft contact lenses. **Methods:** Based on the method of measuring the contact angle of RGP contact lenses specified in the ANSI Z80.20-2004 standard, the contact angle between the RGP lens and the soft contact lens was compared and analyzed through the sessile drop and captive bubble methods. In addition, the suitable contact angle measurement method for soft contact lenses were confirmed by comparing the contact angle changes over time and the measurement results distribution. **Results:** In the RGP lens, the contact angle measured by the captive bubble method was lower than that measured by the sessile drop method. In the soft contact lens, the contact angle measured by the captive bubble method was lower than that of the sessile drop method in the same way as the RGP contact lens. The sessile drop method was more affected by external influences than the captive bubble method. **Conclusions:** As for the wettability measurement method of soft contact lenses, the captive bubble method, less affected by external factors like the RGP lenses, is considered more accurate than the sessile drop method.

Key words: Wettability, Contact angle, Captive bubble method, Sessile drop method

서 론

1970년대 소프트 콘택트렌즈가 시장에 출시된 이후로, 전 세계 많은 사람들이 소프트 콘택트렌즈를 착용하고 있다.^[1] 소프트 콘택트렌즈의 기본적인 물리적 특성에는 함수율, 산소투과율, 굴절률, 습윤성 등이 있고,^[2] ISO에 물리적 특성을 측정하는 방법이 명시되어 있다.

ISO 18369-4에 함수율, 굴절률과 산소투과도 측정 방법이 ISO 18369-3에는 두께 측정 방법이 명시되어 있다.^[2-3] 하지만 습윤성은 소프트 콘택트렌즈 착용 시 눈의 생리적인 적응과 편안함 및 눈물층 유지에 큰 영향을 미침에도 불구하고,^[4] 명확한 측정 방법이 정해져 있지 않다. 습윤성은 접촉각을 통해 측정하는데, 접촉각 측정 방법은 측정 결과에 많은 영향을 미치며, 현재 주로 Sessile drop과 Captive bubble 기법을 통해 연구되었다.^[5] Campbell 등^[6]은 콘택트렌즈 접촉각을 측정하기 위한 적절한 표준화된 기술이 부족하다고 말했다.

그렇기 때문에 본 연구에서는 접촉각 측정 방법인

Sessile drop 방법과 Captive bubble 방법 중 적합한 측정 방법을 알아보기 위해 RGP 접촉각 기준으로 명시된 ANSI Z80.20-2004를 기반으로 소프트 콘택트렌즈에 알맞은 접촉각 측정 방법을 알아보려 한다.

재료 및 방법

1. 재료

1) 렌즈

국내에서 시판되고 있는 -3.00 D인 소프트콘택트렌즈 5종과 RGP 렌즈 5종을 선택하였다. 소프트 콘택트렌즈는 Nefilcon A(NeF) Senofilcon A(SeF) Narafilcon A(NaF) Hilafilcon B(HiF) Somofilcon A(SoF)를 사용하였다. RGP 콘택트렌즈는 Itafocoon A(IFA) Kolfocoon A(KFA) Pasifocoon A(PFA) Pasifcon C(PFC) Silafocoon A(SFA)를 사용하였다. 소프트 콘택트렌즈와 RGP 렌즈의 정보는 각각 Table 1, 2에 나타내었다.

*Corresponding author: Ki Hong Kim, TEL: +82-53-850-2551, E-mail: kkh2337@cu.ac.kr

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0000-0003-0594-1582>, ^b<https://orcid.org/0000-0003-4825-933X>, ^c<https://orcid.org/0000-0002-9304-033X>, ^d<https://orcid.org/0000-0003-0876-6169>

Table 1. Parameter of soft contact lenses used in the study

Manufacturer	USAN	Monomer	Diameter (mm)	Base curve (mm)	Central thickness (mm)	Water content (%)	DK	FDA Group
Bausch+Lomb	nesofilcon A	HEMA+PVP	14.2	8.6	0.100	78	42	2
Johnson& Johnson	senofilcon A	Silicone hydrogel+PVP	14.3	8.5	0.085	38	121	V-Cr
Johnson& Johnson	narafilcon A	Silicone hydrogel+PVP	14.2	8.5	0.085	46	118	V-Cr
Bausch+Lomb	hilafilcon B	HEMA+NVP	14.2	8.6	0.090	59	11	2
Cooper Vision	somofilcon A	Hydrophilic copolymer of silicone containing monomers +TEGDMA	14.1	8.6	0.070	56	86	V-B

Table 2. Parameter of RGP lenses used in the study

Manufacturer	USAN	Material type	DK
Bausch & Lomb	Itafocon-A	Siloxo - methac - itaconate	13
Paragon Vision Sci	Kolfocon A	Siloxo - methac Copolymer	18
Paragon Vision Sci	Pasifocon A	Siloxo - methac Copolymer	15
Paragon Vision Sci	Pasifocon C	Siloxo - methac Copolymer	56
CIBA Vision	Silafoccon-A	Siloxo - methac Copolymer	12

2) 용액

콘택트렌즈를 ISO 18369-3 기준의 표준 생리식염수(PBS)에 수화시켜 습윤성을 평가하였다. 용액 교체는 24시간마다 한 번씩 3회 교체하여 총 72시간 동안 수화시켰다.

2. 방법

1) Sessile drop 방법과 Captive bubble 방법의 비교

접촉각 측정 시 독일 Kruss GMBH 사의 Contact Angle Instrument(DSA30)를 사용하여 접촉각을 측정하였다. 실험실 환경은 일정한 실내 조건을 온도 20°C(±2°C), 습도 55%(±5%)로 유지시킨 상태에서 각각 5회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

본 논문에서는 RGP 콘택트렌즈와 소프트 콘택트렌즈의 습윤성을 ANSI Z80.20-2004의 기준인 drop 방법과 bubble 방법으로 측정하였다. 접촉각 측정 방법에 따른 측정 결과는 RGP 렌즈를 기준으로 소프트 콘택트렌즈의 접촉각 측정 결과를 비교하였다.

Sessile drop 기법은 액체 방울을 콘택트렌즈와 같은 기판에 떨어트려 액적과 렌즈 표면 사이에 형성된 접촉각을 측정하는 방법으로 가장 간단한 형태의 광학 기반 장력 측정 기술이다.^[6] 본 논문에서는 ANSI Z80.20-2004 기준으로 표준 식염수 2 μ l 한 방울을 콘택트렌즈 표면 위에 놓

아 액적과 콘택트렌즈가 이루는 각도를 측정하였다. 본 논문에서는 drop 방법으로 표기하였다.

Captive bubble 기법은 유체에 콘택트렌즈가 잠긴 상태에서 기포를 접촉시켜 형성된 고체/액체 표면으로 접촉각을 측정하며,^[7-8] 역전된 Sessile drop 방법으로 간주할 수 있다.^[6] 본 논문에서는 ANSI Z80.20-2004 기준으로 표준

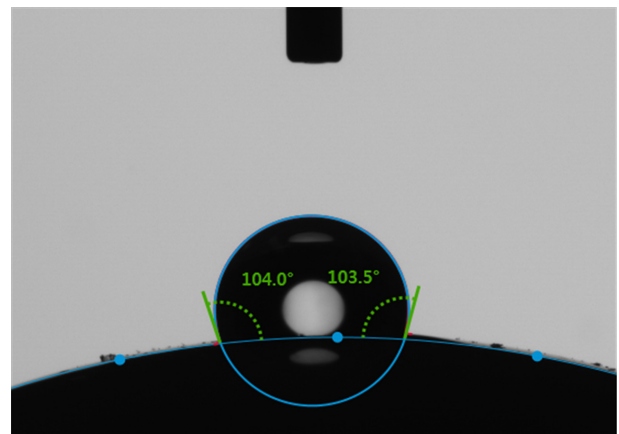


Fig. 1. Measurement of the contact angle using the Sessile drop method.

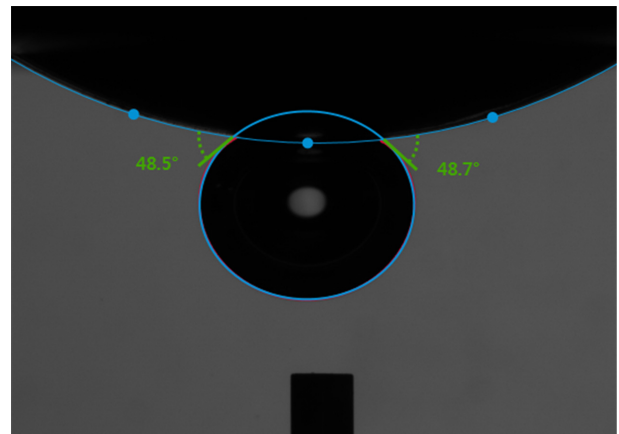


Fig. 2. Measurement of the contact angle using the Captive Bubble method.

식염수에 잠긴 콘택트렌즈 아래에 10 μl의 기포를 배치하여 기포와 콘택트렌즈가 이루는 각도를 측정하였다. 본 논문에서는 bubble 방법으로 표기하였다.

2) 소프트 콘택트렌즈에서 습윤성 측정

접촉각 측정 방법 중 소프트 콘택트렌즈에 적합한 습윤성 측정 방법을 알아보기 위해 반복 측정 및 시간에 따른 접촉각 변화를 측정하였다. 먼저 접촉각 측정 방법에 따른 정확성을 알아보기 위해 30회 반복 측정을 하여 편차량을 비교하였다. 또한 외부환경이 미치는 영향을 확인하기 위해 1분에 한 번씩 15분간 접촉각 변화율을 3회 반복 측정하여 평균값을 나타내었다. 측정 장비는 독일 Kruss GMBH사의 Contact Angle Instrument(DSA30)를 동일하게 사용하였다. 실험실은 온도 20°C(±2°C)이고 습도 55%(±5%)인 일정한 실내 조건을 유지하였다.

결과 및 고찰

1. Sessile drop 방법과 Captive bubble 방법의 비교

1) RGP 콘택트

렌즈에서 측정 방법에 따른 습윤성

RGP 렌즈를 drop 방법과 bubble 방법으로 각각 측정하여 그 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 또한 ANSI에 의해 정해진 습윤성 측정 방법인 bubble 방법을 기준으로 drop 방법의 결과를 비교 분석하였다. 그 결과 전반적으로 drop 방법으로 측정한 결과가 bubble 방법으로 측정한 결과보다 접촉각이 높게 나타나며 습윤성이 낮게 나타났다.

접촉각 측정 방법 중 가장 대표적인 방법인 drop 방법은 공기 중에 노출된 상태에서 접촉각을 측정하기 때문에 나타나는 외부 영향과 및 렌즈 표면에서 흡수하는 액체로 인하여 접촉각이 높게 측정된 것으로 사료된다.^[6] 또한 고체의 표면의 거칠기에 영향을 받은 것으로 사료된다. 액체 방울 내부 자유 에너지 변화는 표면이 거칠고 불균일할수록 영향을 받고 이러한 자유 에너지 변화가 접촉각에 영

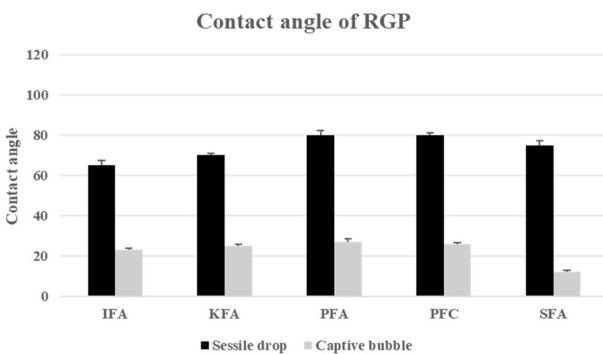


Fig. 3. Contact angle of RGP contact lens.

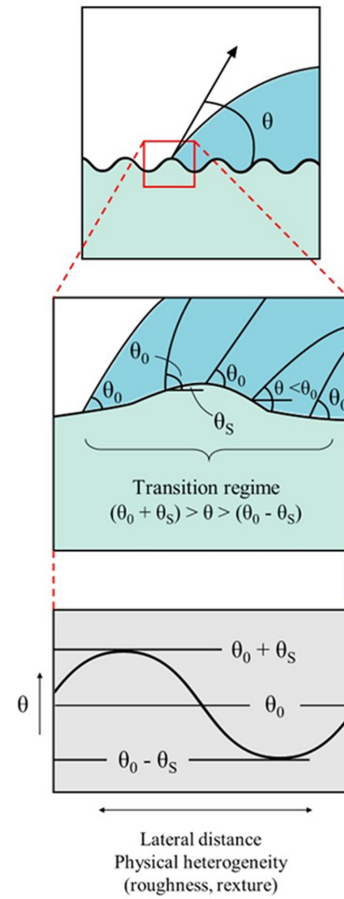


Fig. 4. Effects of surface topography on contact angles.

향을 준 것으로 사료된다.^[9] 표면이 거칠기가 접촉각에 미치는 영향은 Fig. 4를 통해 알 수 있다.^[10] 접촉각은 렌즈 표면에 따라 다르게 나타나는데, 표면의 마루 부분에서는 큰 접촉각이 골 부분에서는 낮은 접촉각이 발생한다. 이러한 접촉각의 차이는 표면의 거칠수록 더 크게 나타난다.^[10]

2) 소프트 콘택트렌즈에서 측정 방법에 따른 습윤성

소프트 콘택트렌즈는 수화시킨 용액의 영향을 받아 습윤성이 달라진다.^[11] 특히 패킹용액이 함유된 소프트 콘택트렌즈는 렌즈별로 패킹용액이 다르고, 패킹용액에 함유된 습윤제의 종류와 함유량의 차이가 콘택트렌즈의 습윤성에 영향을 미친다. 이러한 패킹용액이 미치는 영향을 배제하고, 접촉각 측정 방법에 따른 습윤성을 평가하기 위해, 소프트 콘택트렌즈를 PBS 용액에 수화시킨 후 접촉각을 측정하였다. PBS 용액에 24시간 동안 3번을 수화시켜 렌즈 안에 남은 패킹용액을 제거한 후, ANSI Z80.20-2004 기준을 따라 각각 drop 방법과 bubble 방법을 통해 습윤성을 측정하였다. 측정한 결과는 Fig. 5를 통해 나타내었다.

사용한 소재에 따라 소프트 콘택트렌즈의 물성은 영향을 받는다. 본 논문에서 사용된 소프트 콘택트렌즈의 재료

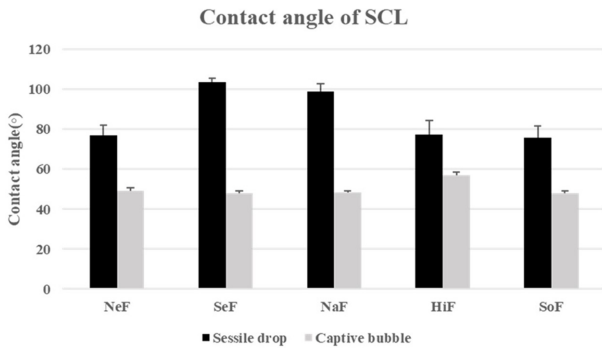


Fig. 5. Contact angle of Soft contact lens.

는 크게 Silicone 그룹과 HEMA 그룹으로 나눌 수 있다. Silicone은 소수성 소재이며, HEMA는 흡수율이 높은 소재이다. 소프트 콘택트렌즈는 산소투과도를 높이기 위해 소수성 소재나 흡수율이 높은 소재를 사용하고 있다.

특히 소수성의 대표적인 소재인 Silicone의 경우 물보다 산소가 더 잘 녹기 때문에 산소투과도가 높다.^[12] 또한 Silicone의 경우 함량이 높을수록 인장강도가 높아지고 단백질 침착물이 낮아진다.^[13-17] 하지만 소수성 물질이기 때문에 습윤성이 낮아진다는 단점이 있다.^[13,14,18-20]

흡수율이 높을수록 산소투과도가 높아지지만, 한계가 존재하고 흡수율이 클수록 인장강도가 낮아지고 단백질 침착이 증가되는 단점을 가지고 있다.^[13,21] 이러한 결과는 Silicone 소재를 사용한 SeF와 NaF 렌즈가 drop 방법으로 측정된 접촉각이 높게 나타난 본 실험 결과와 일치한다.

HEMA는 친수성 폴리머로 공기에 노출되면 메틸 그룹이 사슬 회전에 의해 소수성 계면을 향해 회전하여 표면 자유 에너지를 낮춘다.^[22] 하지만 극성 액체에 노출되면 폴리머가 회전하여 친수성 그룹이 극성을 향해 표면 습윤성을 증가시킨다.^[23] 이러한 결과는 HEMA 소재를 사용한 NeF와 HiF 렌즈의 접촉각이 낮고, drop 방법으로 측정된 결과보다 극성 액체에 노출된 bubble 방법에서 접촉각이 낮게 나타난 실험 결과와 일치한다.

또한 측정 결과 모든 렌즈에 대하여 bubble 방법을 사용한 접촉각이 drop 방법을 통해 측정된 접촉각보다 최소 20.4도에서 49.8도까지 낮게 나타났다. 그중 SeF 렌즈인 경우 방법에 따른 접촉각의 차이가 55.7도로 가장 큰 차이를 나타냈다. 이는 SeF 렌즈가 다른 렌즈들과 달리 낮은 흡수율을 가져 나타난 결과로 사료된다. Zhou 등의^[24] 선행연구에 따르면 수분 함량이 증가함에 따라 하이드로겔 내의 폴리머 네트워크의 농도가 감소하여 공기 중에서 마찰력이 감소한다. 또한 Qiao 등의^[11] 선행연구에 따르면 마찰력의 증가는 접촉각 증가시킨다고 하였다. 즉 SeF 렌즈의 경우 낮은 흡수율로 높은 마찰이 작용하여 drop 방법에서 접촉각이 크게 측정된 것으로 사료된다.

3) 접촉각 측정 방법 비교

RGP 렌즈와 소프트 콘택트렌즈에서 접촉각을 방법에 따라 측정하였다. 그 결과를 Fig. 3,5에 나타내었다. 그림과 같이 bubble 방법이 drop 방법보다 접촉각이 낮게 측정되어 습윤성이 좋은 것으로 측정되었다. 또한 두 방법에 따른 접촉각의 차이는 20.4~49.8°로 크게 나타났는데, 이는 위에서 언급한 바와 같이 drop 방법으로 측정할 시 외부 요인의 영향을 받아 나타난 결과로 사료된다.

그 외의 요인으로 drop 방법과 bubble 방법에서의 방울 크기에 대한 영향으로 사료된다. 접촉각은 측정 방법과 외부 환경 이외에도 방울의 크기에 따라 값의 차이가 나타날 수 있다.^[25] 이러한 방울 크기에 따른 접촉각의 차이는 모든 접촉각 측정 결과에서 10°에서 20°까지 다른 것으로 보고되었다.^[26] 하지만 정적 기술인 drop 방법 및 bubble 방법을 사용할 때에는 최소한의 차이가 나타난다고 보고되었다.^[27] 또 다른 선행연구 결과에 의하면 전진각은 입자 크기에 상대적으로 영향을 받지 않지만, 후진각의 경우 입자 크기에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.^[28]

이처럼 선행연구 결과 방울의 크기가 접촉각에 미치는 영향의 정도는 달랐다. 하지만 방울의 크기가 접촉각에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 그렇기 때문에 방울 크기에 따른 영향력을 최소화 하고 동일한 크기로 측정하는 것이 중요하다. 그래서 본 연구에서는 drop 방법과 bubble 방법에서 사용된 방울의 크기는 ANSI Z80.20-2004에 명시된 기준으로 측정하였다.

2. 소프트 콘택트렌즈에서 습윤성 측정

모든 소프트 콘택트렌즈에 대하여 drop 방법보다 bubble 방법을 사용한 결과에서 접촉각이 낮게 나타났다. 이는 RGP 렌즈의 결과와 마찬가지로 측정 방법에 따른 환경적 요인에 의한 결과로 사료된다. 접촉각 측정 가장 보편적으로 쓰이는 drop 방법은 콘택트렌즈의 표면 물기를 제거하는 과정에서 렌즈 표면에 변형이 일어날 수 있다.^[29] 표면과 닿아 있는 액체 방울의 접촉각은 시간이 지나감에 따라 액체의 증발 또는 표면과 액체 사이에 존재하는 힘의 변화에 의해서 변하게 된다.^[24] 또한 접촉각에 미치는 중력의 영향은 사용한 액체의 밀도와 액체 방울 체적과 밀접한 관계가 있다.^[24] Fig. 6은 표면의 증발로 인한 접촉각 변화를 나타내었다.^[22] 콘택트렌즈의 표면이 증발하면서 콘택트렌즈 공극에 들어간 액체가, 퍼지면서 증발한다.^[22] 초기에 액체가 퍼지면서 공극을 채우고, 오목한 액체 표면이 응축으로 인하여 성장하며, 볼록한 표면은 증발하면서 화살표로 표시된 방향으로 압력이 구동된다.^[22] 최종 상태는 겉보기 접촉각과 압력이 0이 된다.^[22]

이러한 결과는 Fig. 7, 8을 통해 알 수 있다. Fig. 8을 보

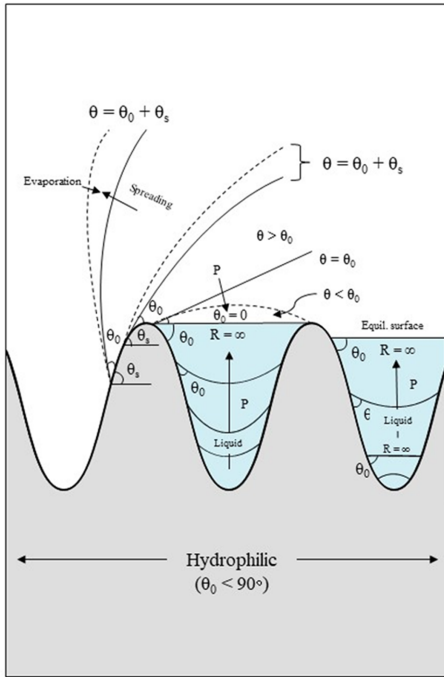


Fig. 6. Change in contact angle due to surface evaporation.

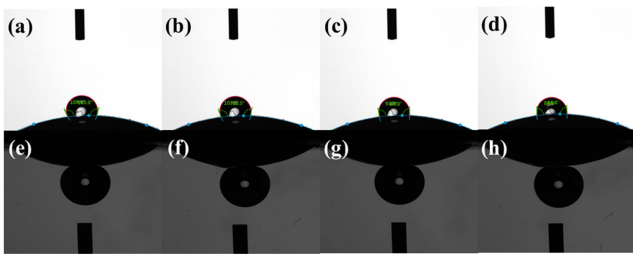


Fig. 7. Contact angle change over time. (a) Contact angle measured by the drop method (b) 5 minutes after a (c) 10 minutes after a (d) 15 minutes after a (e) Contact angle measured by the bubble method (f) 5 minutes after e (g) 10 minutes after e (h) 10 minutes after e.

면 bubble 방법과 달리 drop 방법에서는 시간에 따라 액체 방울의 크기가 감소하였다. 이는 액체 방울과 콘택트렌즈 표면의 증발로 인하여 액체의 크기와 접촉각이 감소된 결과로 나타났다. 또한 Fig. 9는 drop 방법과 bubble 방법으로 측정된 접촉각의 시간에 따른 변화율을 나타낸다. 15분 동안의 접촉각 변화가 거의 없는 bubble 방법과 달리 drop 방법에서는 15분 동안 시간이 지남에 따라 접촉각이 감소하는 모습을 볼 수 있다. 이는 PBS 용액에 수화된 상태에서 측정하는 bubble 방법과 달리 drop 방법의 경우 콘택트렌즈가 공기 중에 노출된 상태로 접촉각을 측정하기 때문이다. drop 방법은 환경적 요인을 받아 콘택트렌즈의 탈수 현상이 나타나서 습윤성이 낮고, 공기에 노출되지 않은 bubble 방법에서는 콘택트렌즈의 탈수 현상이 일어나지 않아 습윤성이 좋게 나타난 것으로 사료된다.

방법에 따라 접촉각의 분포도를 Fig. 9를 통해 알 수 있다. 소프트 콘택트렌즈에서 접촉각을 측정 한 결과 drop 방법보다 bubble 방법으로 측정된 결과의 분포도가 좁은 것으로 나타났다. 이러한 결과와 표준편차를 통해 bubble 방법이 drop 방법보다 정확도와 반복성이 높고, 외부환경의 요인을 적게 받는 것을 알 수 있다.

이러한 결과는 선행연구 결과와 일치하였다. 선행연구 결과 drop 방법의 경우 액체 방울의 증발이 일어나기 쉽고,^[23,30] 이러한 증발로 인하여 접촉각에 영향을 미치기 때문에 실험실 습도와 온도를 제어하고 액체 증발 및 콘택트렌즈의 탈수를 줄여야 한다고 말했다.^[31,32] 그에 반해 bubble 방법은 수화를 통해 증발을 방지하여 측정 결과가 일정하고,^[6] drop 방법보다 bubble 방법에서 측정 오류가 더 작다고 말하였다.^[33,34]

따라서 drop 방법의 경우 공기 중에 노출되어 콘택트렌즈의 표면에서 액체의 퍼짐과 증발로 인하여 접촉각이 변

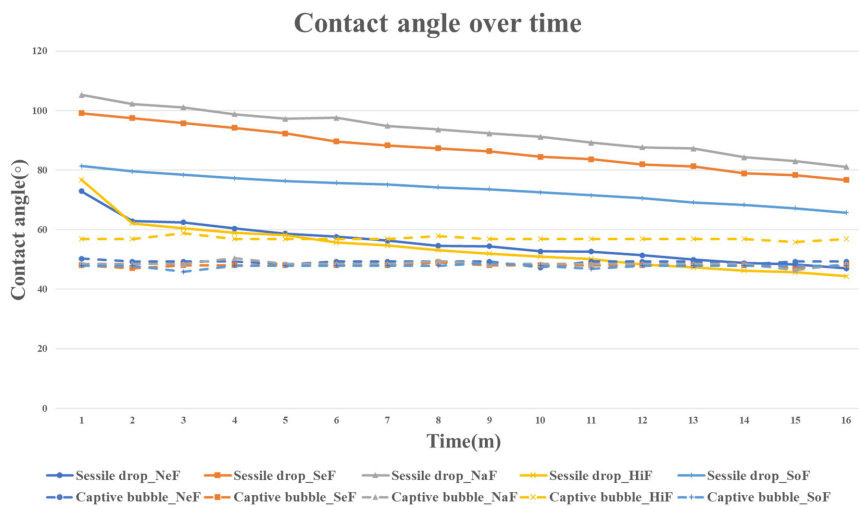


Fig. 8. Contact angle of soft contact lens over time.

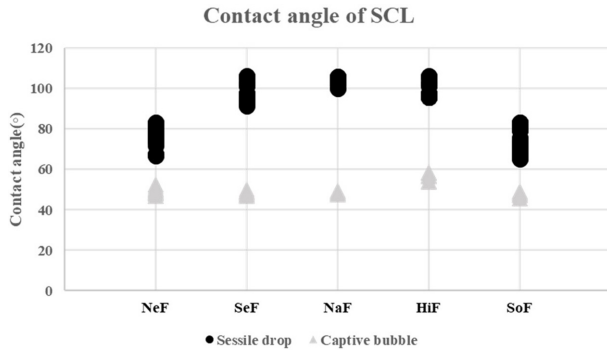


Fig. 9. Contact angle distribution according to measurement method.

화하고 bubble 방법으로 측정된 접촉각과 차이가 나타난 것으로 사료된다.

결론

현재 소프트 콘택트렌즈의 접촉각 측정 방법은 다른 소프트 콘택트렌즈의 주요 물리적 특성을 측정 방법들과 달리, 정확한 기준이 명시되어 있지 않다. 소프트 콘택트렌즈의 접촉각 측정 방법의 기준과 가장 유사한 측정 기준은 RGP 렌즈의 접촉각 측정 방법이다. 그렇기에 본 연구에서는 소프트 콘택트렌즈의 습윤성 측정 기준을 정하기 위해 RGP 렌즈의 측정 기준인 bubble 방법과 현재 접촉각 측정 방법 중 가장 많이 사용되는 drop 방법을 RGP 렌즈의 결과와 비교하여 분석하였다.

RGP 렌즈에서는 drop 방법 보다 bubble 방법에서 낮은 접촉각이 측정되어 습윤성이 좋게 나타났고 이는 RGP 렌즈의 표면 거칠기로 인하여 나타난 결과로 사료된다. 소프트 콘택트렌즈 또한 drop 방법보다 bubble 방법으로 측정된 접촉각이 낮게 측정되며 RGP 렌즈와 동일한 양상을 나타냈었다.

소프트 콘택트렌즈에서 시간에 따른 접촉각 변화를 측정할 결과 변동이 거의 없는 bubble 방법과 달리 drop에서는 액체 방울과 접촉각이 감소하는 결과가 나타났다. 이는 액체에 수화된 상태에서 접촉각을 측정하는 bubble 방법과 달리 공기 중에 노출된 상태에서 측정하는 drop 방법의 경우, 액체 방울과 렌즈 표면의 증발로 접촉각의 차이가 나타난 것으로 사료된다. 또한 소프트 콘택트렌즈의 접촉각의 표준편차가 bubble 방법보다 drop 방법에서 크게 나타난 결과를 통해 drop 방법의 경우 bubble 방법보다 정확도가 낮고 외부 환경의 영향을 많이 받을 수 있었다.

본 연구에서는 외부 환경 요소의 영향을 받는 bubble 방식이 drop 방법보다 환경적 요인의 영향을 적게 받아 더욱 정확한 측정 결과를 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 또

한 RGP 렌즈와 소프트 콘택트렌즈는 측정 방법에 따른 접촉각 결과가 동일한 양상을 나타내었기에 습윤성 평가 기준이 명시되어 있는 RGP 렌즈의 기준에 따라 소프트 콘택트렌즈의 습윤성 역시 bubble 방법을 통해 측정되어야 할 것으로 생각된다.

References

- [1] Contact Lens Spectrum. International contact lens prescribing in 2020, 2021. [https://www.clspectrum.com/issues/2021/january-2021/international-contact-lens-prescribing-in-2020\(13 October 2022\)](https://www.clspectrum.com/issues/2021/january-2021/international-contact-lens-prescribing-in-2020(13%20October%202022).).
- [2] Jung JY, Lee HM. The physical properties of contact lenses included wettability monomer. *Korean J Vis Sci.* 2015;17(4):493-501. DOI: <https://doi.org/10.17337/jmbi.2015.17.4.493>
- [3] Kim TH, Sung AY. Study on the polymerization of hydrogel polymer containing HEMA and measurement method of oxygen transmissibility. *Korean J Vis Sci.* 2009;53(6): 749-754. DOI: <https://doi.org/10.5012/jkcs.2009.53.6.749>
- [4] Cho SA, Park SY, Kim TH, et al. Characterization of physical properties of hydrogel contact lens materials containing 1,4-butanediol and (\pm)-1,2,4-butanetriol for wettability improvement. *Korean J Vis Sci.* 2012;14(1): 69-76.
- [5] Ka ra Laura Men zies. In vitro analysis of wettability and physical properties of blister pack solutions of hydrogel contact lenses. MS Thesis. University of Waterloo, Waterloo. 2010;1-23.
- [6] Campbell D, Carnell SM, Eden RJ. Applicability of contact angle techniques used in the analysis of contact lenses, part 1: comparative methodologies. *Eye Contact Lens.* 2013;39(3):254-262. DOI: <https://doi.org/10.1097/ICL.0b013e31828ca174>
- [7] Johnson RE, Dettre RH. Wettability and contact angles, 2nd Ed. New York: Surface and Colloid Science, 1969;85-153.
- [8] Andrade JD. Surface and interfacial aspects of biomedical polymers, 1st Ed. New York: Surface Chemistry and Physics Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1985;270-272
- [9] Hong SJ, Chang FM, Chou TH, et al. Anomalous contact angle hysteresis of a captive bubble: advancing contact line pinning. *Langmuir.* 2011;27(11):6890-6896 DOI: <https://doi.org/10.1021/la2009418>
- [10] Israelachvili JN. Intermolecular and surface forces, 3rd Ed. Santa Barbara: Academic press, 2011;435-438.
- [11] Lee SG, Ahn SH, Kim SR, et al. Changes in the parameters of soft contact lenses by exposure to different solutions in daily life. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2020;25(2): 119-130. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2020.25.2.119>
- [12] 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>
- [13] Tran NPD, Yang MC. Synthesis and characterization of silicone contact lenses based on TRIS-DMA-NVP-HEMA hydrogels. *Polymers*. 2019;11(6):944. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11060944>
- [14] Lin CH, Yeh YH, Lin WC, et al. Novel silicone hydrogel based on PDMS and PEGMA for contact lens application. *Colloids Surf B*. 2014;123:986-994. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2014.10.053>
- [15] Song M, Shin YH, Kwon Y. Synthesis and properties of siloxane-containing hybrid hydrogels: optical transmittance, oxygen permeability and equilibrium water content. *J Nanosci Nanotechnol*. 2010;10(10):6934-6938. DOI: <https://doi.org/10.1166/jnn.2010.2984>
- [16] Zhao Z, Xie H, An S, et al. The relationship between oxygen permeability and phase separation morphology of the multicomponent silicone hydrogels. *J Phys Chem B*. 2014;118(50):14640-14647. DOI: <https://doi.org/10.1021/jp507682k>
- [17] Zhao ZB, An SS, Xie HJ, et al. The relationship between the hydrophilicity and surface chemical composition micro-phase separation structure of multicomponent silicone hydrogels. *J Phys Chem B*. 2015;119(30):9780-9786. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b04202>
- [18] Garrett Q, Laycock B, Garrett RW. Hydrogel lens monomer constituents modulate protein sorption. *Investig Ophthalmol Vis Sci*. 2000;41(7):1687-1695.
- [19] Paterson SM, Liu L, Brook MA, et al. Poly(ethylene glycol)-or silicone-modified hyaluronan for contact lens wetting agent applications. *J Biomed Mater Res A*. 2015; 103(8):2602-2610. DOI: <https://doi.org/10.1002/jbm.a.35385>
- [20] Kim J, Somorjai GA. Molecular packing of lysozyme, fibrinogen, and bovine serum albumin on hydrophilic and hydrophobic surfaces studied by infrared-visible sum frequency generation and fluorescence microscopy. *J Am Chem Soc*. 2003;125(10):3150-3158. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja028987n>
- [21] Alvord L, Court J, Davis T, et al. Oxygen permeability of a new type of high Dk soft contact lens material. *Optom Vis Sci*. 1998;75(1):30-36. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-199801000-00022>
- [22] Holly FJ, Refojo MF. Wettability of hydrogels: I. Poly (2-hydroxyethyl methacrylate). *J Biomed Mater Res*. 1975; 9(3):315-326. DOI: <https://doi.org/10.1002/jbm.820090307>
- [23] Menzies KL, Jones L. The impact of contact angle on the biocompatibility of biomaterials. *Optom Vis Sci*. 2010; 87(6):387-399. DOI: <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181da863e>
- [24] Qiao S, Li Q, Feng XQ. Sliding friction and contact angle hysteresis of droplets on microhole-structured surfaces. *Eur Phys J E*. 2018;41(25):1-8. DOI: <https://doi.org/10.1140/epje/i2018-11631-x>
- [25] Michael JA. Contact lens surface properties and interaction. *Optometry Today*. 1999;27-35.
- [26] Li D. Drop size dependence of contact angles and line tensions of solid-liquid systems. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*. 1996;116(1-2):1-23. DOI: [https://doi.org/10.1016/0927-7757\(96\)03582-0](https://doi.org/10.1016/0927-7757(96)03582-0)
- [27] Haddad M, Maldonado-Codina C, et al. The impact of drop and bubble size on contact angle magnitude for hydrogel lens materials. *Cont Lens Anterior Eye* 2008;31: 244-273.
- [28] Drelich J. The effect of drop (bubble) size on contact angle at solid surfaces. *J Adhes*. 1997;63(1-3):31-51. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218469708015212>
- [29] Zhou B, Li Y, Randall NX, et al. A study of the frictional properties of senofilcon-A contact lenses. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2011;4(7):1336-1342. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2011.05.002>
- [30] Maldonado-Codina C, Morgan PB. In vitro water wettability of silicone hydrogel contact lenses determined using the sessile drop and captive bubble techniques. *J Biomed Mater Res A*. 2006;83A(2):496-502. DOI: <https://doi.org/10.1002/jbm.a.31260>
- [31] Cheng L, Muller SJ, Radke CJ. Wettability of silicone-hydrogel contact lenses in the presence of tear-film components. *Curr Eye Res*. 2004;28(2):93-108. DOI: <https://doi.org/10.1076/ceyr.28.2.93.26231>
- [32] Lin SY, Chang HC, Lin LW, et al. Measurement of dynamic/advancing/receding contact angle by video-enhanced sessile drop tensiometry. *Rev Sci Instrum*. 1996; 67(8):2852-2858. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1147117>
- [33] Lorentz H, Rogers R, Jones L, et al. The impact of lipid on contact angle wettability. *Optom Vis Sci*. 2007;84 (10):946-953. DOI: <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318157a6c1>
- [34] Read ML, Morgan PB, Maldonado-Codina C. Measurement errors related to contact angle analysis of hydrogel and silicone hydrogel contact lenses. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2009;91(2):662-668. DOI: <https://doi.org/10.1002/jbm.b.31442>

소프트 콘택트렌즈의 접촉각 측정 방법에 대한 연구

김효경¹, 하병호², 이성률³, 김기홍^{4,*}

¹대구가톨릭대학교 안경광학과, 학생, 경산 38430

²대구가톨릭대학교 안경광학과, 강사, 경산 38430

³김해대학교 안경광학과, 교수, 김해 50811

⁴대구가톨릭대학교 안경광학과, 교수, 경산 38430

투고일(2022년 11월 14일), 수정일(2022년 12월 16일), 게재확정일(2023년 3월 20일)

목적 : 소프트 콘택트렌즈에서 습윤성을 평가를 위한 접촉각 측정 방법 중 적합한 측정 방법을 알아보고자 한다.

방법 : ANSI Z80.20-2004 기준에 명시되어 있는 RGP 콘택트렌즈의 접촉각 측정 방법을 기반으로 하여 Sessile drop 과 Captive bubble 방법을 통해 접촉각을 RGP 렌즈와 소프트 콘택트렌즈의 접촉각을 측정 후 비교 분석하였다. 또한 시간에 따른 접촉각 변화와 측정 결과의 분포를 비교하여 소프트 콘택트렌즈에 적합한 접촉각 측정 방법을 확인하였다. **결과** : RGP 렌즈에서 Captive bubble 방법에 의해 측정된 접촉각이 Sessile drop 방법에 의해서 측정된 접촉각 결과보다 낮게 나타났다. 소프트 콘택트렌즈에서도 RGP 콘택트렌즈와 동일하게 Sessile drop 방법보다 Captive bubble 방법으로 측정된 접촉각 결과가 낮게 나타났다. 또한 Sessile drop 방법이 Captive bubble 방법보다 외부 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. **결론** : 소프트 콘택트렌즈의 습윤성 측정 방법은 RGP 렌즈와 동일하게 외부 영향이 적게 받는 Captive bubble 방법이 Sessile drop 방법보다 정확한 방법인 것으로 생각된다.

주제어 : 습윤성, 접촉각, Captive bubble 방법, Sessile drop 방법