

Changes in Physical Properties Depending on the Type of Surfactant in the Manufacture of Energy-saving Contact Lenses

Seong In Heo^{1,a} and Hyun Mee Lee^{2,b}

¹Yeil Glasses, Optometrist, Masan 51304, Korea

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

(Received December 16, 2021; Revised January 11, 2022; Accepted January 12, 2022)

Purpose: To examine the effect of the types and contents of surfactants on the physical properties of contact lenses manufactured via polymerization at room temperature without using additional energy in the form of heat or ultraviolet radiation. **Methods:** 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA), ammonium persulfate (APS), and N,N,N',N'-tertamethylethylenediamine (TMEDA) were used as the hydrophilic monomer, initiator, and initiation reaction accelerator, respectively, to fabricate the contact lenses. The physical properties of contact lenses manufactured at room temperature using four types of non-ionic surfactants were evaluated. **Results:** The transmittance of contact lenses was observed to depend heavily on the type and contents of the surfactant-samples using the poloxamer series exhibited relatively high transmittance, while those using the tween series exhibited low transmittance, indicating their unsuitability for use in lenses. The moisture content followed a pattern similar to that of the thermally polymerized lens. The use of surfactants improved the oxygen transfer rate of all the samples, with the maximum improvement corresponding to 10% concentration. **Conclusions:** During the manufacture of energy-saving contact lenses, the use of 10% poloxamer-based surfactant yielded the best physical properties.

Key words: Contact lens, Room temperature polymerization, Surfactant, Water contents, Oxygen permeability

서 론

콘택트렌즈 제조 방법은 다양한 방법들이 있지만 소프트 콘택트렌즈의 대량 생산에 사용되는 방법은 주형주조법을 주로 사용하고 있다.^[1] 주형주조법을 이용한 콘택트렌즈 제작을 위해서는 몰드에 액체 단량체를 주입한 후 열, 자외선, 방사선 등의 에너지를 사용하여 중합을 한다.^[2] 현재 대부분의 콘택트렌즈 제조업체에서는 열을 이용한 열중합법을 이용하여 콘택트렌즈를 생산하고 있다.

열중합법은 열에 의해 발생하는 프리라디칼을 이용하여 중합되는 형태로서 공정이 매우 단순하며 순도가 높은 화합물을 얻을 수 있다. 그러나 반응온도에 따라 중합도가 달라지고 중합 시 기포 발생으로 인한 불량률이 높으며 높은 온도가 요구되기 때문에 에너지의 소모가 많다. 자외선을 이용하는 광중합법은 자외선 파장과 광조사 시간 등에 따라 중합 속도가 달라지며 시료의 두께와 시료의 균질성이 부족하다는 단점이 있다.^[3] 광중합의 공정에 관한 많은 연구가 진행되고 있지만 아직까지 만족할 만한 수준은 아니다.^[4,5]

고분자 중합은 고분자를 얻기 위해 단량체를 활성화하는 반응으로 라디칼 중합, 양이온 중합, 음이온 중합 등을 사용한다. 라디칼 중합은 라디칼 생성을 위해 열 개시제, 광 개시제, 그리고 산화환원 개시제 등이 사용되고 있다. 열 개시제를 사용한 중합은 개시제의 종류에 따라 라디칼을 생성 온도가 다르다. 개시제의 분해속도는 온도에 의존하며 하이드로겔 콘택트렌즈 제조에 주로 사용하는 개시제인 AIBN(2,2'-azobisisobutyronitrile)의 경우 50°C와 70°C 사이에서 분해되기 시작한다.

산화환원 개시제를 사용한 고분자 중합은 낮은 온도에서도 라디칼 생성이 가능하기 때문에 열을 사용하지 않아도 상온에서도 중합이 가능하다. 상온 중합한 콘택트렌즈 제조에 대한 기존 연구 결과에서는 섭씨 25도에서 중합한 렌즈가 가장 투광성이 좋은 것으로 나타났다.^[6]

콘택트렌즈의 물리적 특성은 렌즈의 편안함, 시력의 질, 피팅의 특징, 생리적인 영향, 내구성, 렌즈 관리 등에 관련되기 때문에 기본적으로 중요하다. 콘택트렌즈 제조에는 다양한 단량체와 개시제, 교차결합제가 사용되며 이들의 구성성분과 함량이 렌즈의 물리적 특성에 영향을 미치게 된다.^[7]

*Corresponding author: Hyun Mee Lee, TEL: +82-53-850-2552, E-mail: hmlee@cu.ac.kr

Authors ORCID: ^ahttps://orcid.org/0000-0002-2637-4110, ^bhttps://orcid.org/0000-0001-6668-5864

하이드로겔 콘택트렌즈 중합 시 첨가하는 교차결합제의 종류와 양에 따라서 하이드로겔 네트워크의 교차결합 밀도는 증가하게 되고 이것은 하이드로겔의 물리적인 특성과 관련이 있다.^[8] 하이드로겔의 팽윤은 교차결합 밀도가 증가하면 감소하고 산소투과도 또한 감소한다.

콘택트렌즈 중합에 있어서 상온중합법에 의한 렌즈 제조방법에는 주로 계면활성제와 물이 사용된다. 이때 사용되는 계면활성제의 종류와 양은 고분자의 중합속도, 입자 크기 그리고 물성에도 영향을 미친다.^[9]

계면활성제는 주로 pHEMA재질에서 약물전달에 적용되고 있으며,^[10,11] 콘택트렌즈의 물리적 성질 개선에 대한 연구는 부족하다. 안과 분야에 사용되는 Brij 계면활성제와 구조가 유사한 Noigen과 Hitenol 종류의 중합성 계면활성제를 pHEMA에 첨가한 연구를 보면, 습윤성 및 윤활성이 증가하여 콘택트렌즈의 표면 특성을 개선하였다고 보고하고 있다.^[12]

계면활성제를 이온성으로 분류하면 음이온성, 양이온성, 양쪽성, 그리고 비이온성 계면활성제로 분류한다. 음이온성과 양이온성 계면활성제는 주로 세정제로 사용되며 양쪽성 계면활성제는 분자내의 친수성기가 양이온과 음이온으로 해리되는 부분을 가지고 있어서 알칼리성 용액에서는 음이온으로 해리되며, 산성용액에서는 양이온으로 해리되어 양이온이나 음이온성 계면활성제의 부족한 점을

보완할 수 있고 자극성과 독성이 낮은 장점이 있다. 비이온성 계면활성제는 이온으로 해리되지 않고 물에 녹기 쉬운 원자단으로 구성된다.

본 연구에서는 기존의 중합방식인 열과 자외선 등의 에너지를 사용하지 않고 상온중합 방식으로 콘택트렌즈를 제조하며 중합에 사용되는 계면활성제의 종류에 따른 콘택트렌즈의 물리적 특성 및 단백질 흡착량 등을 측정하고자 한다.

대상 및 방법

본 연구에 사용한 하이드로겔 콘택트렌즈 제조와 물성 평가를 위하여 친수성 단량체인 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA), 교차결합제인 ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA), 개시제인 ammonium persulfate(APS), 개시반응 촉진제인 N,N,N',N'-tertamethylethylenediamine(TMEDA)를 사용하였다. 에너지 없이 실온 중합으로 콘택트렌즈를 제조하는 데는 계면활성제가 필요하며 Tween 20(T20), Tween 80(T80), Poloxamer 188(P188), and Poloxamer 407(P407)인 4종의 비이온성 계면활성제를 사용하였다(Fig. 1).

콘택트렌즈의 제작은 단량체 적정, 질소 버블링, 균질화, 상온 중합, 미반응 물질 제거 등 5단계에 걸쳐서 다음과 같이 제작하였으며 3회 실험한 결과를 평균하여 제시하였

Surfactant	Chemical Structure of Surfactants
Tween 20	<p style="text-align: right;">$a + b + c + d = 20$</p>
Tween 80	<p style="text-align: right;">$a + b + c = 20$</p>
Poloxamer 407, 188	<p style="text-align: center;"> Hydrophilic Hydrophobic Hydrophilic </p> <p style="text-align: center;"> P188: a = 79, b = 28 P407: a = 101, b = 56 </p>

Fig. 1. Chemical Structures of Surfactants.

Table 1. Compositions by concentration of surfactant (wt %)

Sample	HEMA	Water	Surfactant
	HEMA : Water=2 : 1		
S05	63.0	31.5	5
S10	60.0	30.0	10
S15	56.7	28.3	15

다. 시료의 구성비는 HEMA와 물의 비율을 2:1로 고정된 후 계면활성제의 함량을 5%, 10%, 15%로 정하였고, 교차결합제인 EGDMA와 개시제인 APS의 양은 각각 0.5%씩 사용하였다. 비교군으로 열에너지를 사용한 열중합 콘택트렌즈인 polyacon렌즈는 HEMA 99%를 사용하였으며 EGDMA와 열 개시제인 AIBN을 각각 0.5%씩 사용하였다(Table 1).

용액 내의 산소를 제거하기 위해 10분 동안 질소로 기포를 주입하였다. 지속적으로 질소를 공급하면서 용액을 균일하게 섞기 위해서 2분 동안 균질기를 사용하였다. 용액이 안정화되면 TMEDA를 용액 1g당 2 μ l를 넣은 후 주형주조법으로 1시간 동안 상온 중합하였다. 중합된 콘택트렌즈에서 미반응을 물질을 제거하기 위하여 몰드에서 분리하여 50°C 초순수에 넣어 2회 세척 후 사용하였다.

물리적 특성 평가에서 굴절률은 인산완충용액(phosphate buffer solution; PBS)에 24시간 동안 시료를 수화 시킨 후 ABBE Refractometer(ATAGO DR-A1)을 사용하여 측정하였다.

흡수율은 중량측정법으로 PBS 용액에 24시간 수화 후 무게를 측정하고(W_{swell}), 100°C에서 16시간 건조 후 무게(W_{dry})를 측정하여 아래 식을 사용하여 흡수율을 산출하였다.

$$EWC (\%) = \frac{W_{swell} - W_{dry}}{W_{swell}} \times 100$$

투광도는 시료를 24시간 수화 시킨 후 분광광도계(Cary 60)를 사용하여 ISO 기준인 280-780 nm 범위에서 측정하였다.

산소투과도 평가를 위하여 폴라로그래픽 방법으로 Rehder사의 201T를 사용하며 사용된 폴라로그래픽 셀(polarographic cell)의 곡률반경은 8.7 mm를 사용하고, 98%의 습도와 35°C \pm 0.5°C의 온도를 유지하면서 전류를 측정하였으며, 렌즈의 두께를 고려하여 계산하였다.

습윤성은 sessile drop 방법으로 접촉각을 측정하여 평가하였다. 압축강도는 만능시험기(AGS-X20N, SHIMADZU)를 사용하여 시험속도 10 mm/min 상태에서 측정하였다.

콘택트렌즈의 시료명은 사용한 계면활성제의 영문 첫 글자와 숫자를 붙이고, S뒤의 숫자는 계면활성제 사용 농도를 표시하여 명명하였다. 예를 들어 Tween 80 계면활성

제가 5% 사용하면 T80S05로 명명하였고 계면활성제 함량이 10%이면 T80S10으로 명명하였다.

결과 및 토의

에너지를 사용하지 않고 상온에서 중합하는 콘택트렌즈 제조 시에 사용하는 계면활성제의 종류와 함량에 따라서 콘택트렌즈의 물리적 특성 변화를 살펴보았다.

사용하는 계면활성제는 피부 자극이 적은 4종의 비이온계 계면활성제인 Tween 20(T20), Tween 80(T80), Poloxamer 188(P188), Poloxamer 407(P407)를 사용하였다. 계면활성제는 양이온성이나 음이온성 보다는 비이온성이 피부자극이 가장 낮은 것으로 알려져 있다.^[13] 콘택트렌즈 제조에 사용되는 계면활성제는 물 함량을 30%로 고정시킨 상태에서 계면활성제의 함량을 5~15%로 변화시키면서 물성 변화를 살펴보았다.

투광도는 T20과 T80을 이용한 렌즈에서는 투광도가 매우 낮으며 빛이 거의 투과되지 않을 정도로 낮은 투광도를 보여 콘택트렌즈로 활용 가능한 투명도를 얻지는 못하였다. Poloxamer 계열의 콘택트렌즈에서는 polyacon에 비해 다소 낮은 값을 보이나 P40S15를 제외하고는 모두 투광도가 높게 나타나 콘택트렌즈로서 충분히 활용 가능하다. P407에 비해 P188이 첨가된 시료에서 평균 7% 가량 높은 투광도를 나타내었다. Poloxamer 계열의 투광도가 높은 것은 입자의 크기가 작아서 형성된 기공의 크기와 개수가 Tween 계열보다 작은 것이 원인으로 판단된다(Fig. 2).

계면활성제 종류에 따라 투광성의 차이를 보이는 것은 각 계면활성제가 가지는 친수성지용성균형(hydrophilic lipophilic balance; HLB)의 영향으로 볼 수 있다. 4종류의 계면활성제의 HLB값은 T80(15), T20(16.7), P407(22), P188(29) 순으로 커지는데 계면활성제의 친수성이 높을수록 가용화 능력이 증가하여 상대적으로 투명한 콘택트렌즈를

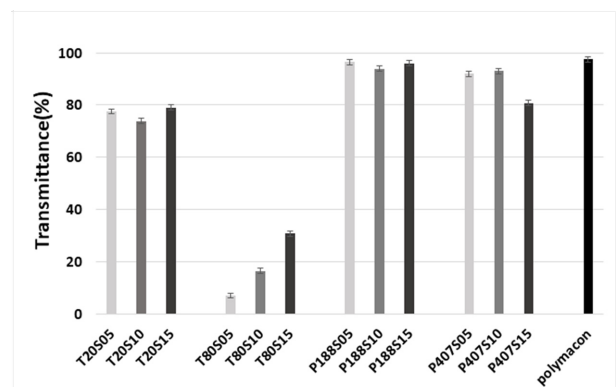


Fig. 2. Transmittance of contact lenses with respect to varying surfactant concentration.

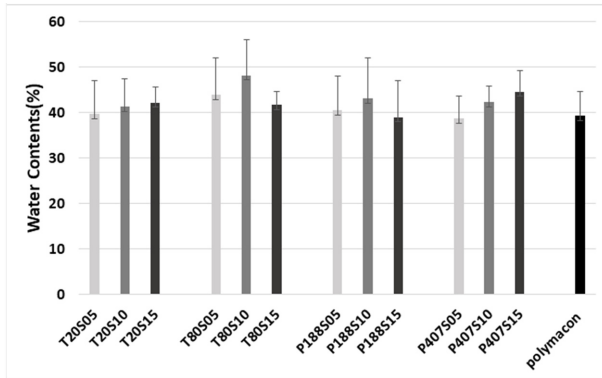


Fig. 3. Water content of contact lens according to surfactant concentration.

얻을 수 있었다.

Poloxamer 계열 계면활성제를 사용하였을 때가 Tween 계열 계면활성제를 사용하였을 때 보다 투광도가 높았으며 Tween 계열은 콘택트렌즈의 투광도를 많이 저하시켜 콘택트렌즈로서의 활용성이 낮은 것으로 보인다. Poloxamer 계열은 소수성을 띠는 폴리옥시프로필렌을 중심으로 친수성을 띠는 2개의 폴리옥시에틸렌이 공유 결합된 비이온성 트리 블록 공중합체이다. 수용액 상태에서 50 nm에서 100 nm의 미셀을 형성^[14]하므로 가용화 능력이 좋아서 Tween 계열보다는 투명한 특징을 보였다.

콘택트렌즈의 물리적 특성에 많은 영향을 미치고 있는 함수율은 모두 polymacon 보다 증가되었다(Fig. 3). T20과 P407을 사용한 렌즈에서는 계면활성제가 증가함에 따라 함수율도 증가하였으나 T80과 P188을 사용한 렌즈에서는 계면활성제가 15% 함유되었으나 증가하지 않고 오히려 감소하였다. 이는 계면활성제의 양이 함수율에 직접적으로 영향을 미치지 않는 것은 계면활성제의 경우 임계미셀 농도(critical micelle concentration; CMC)농도에서 미셀이 형성되며, 농도가 그 이상 증가하면 다양한 형태의 구조체가 만들어지기 때문에^[15]중합체의 구조 형태에 따라 함수율이 달라진 것으로 판단된다. T80S10의 함수율은 48.14%로 가장 높게 나타났으며 열중합한 polymacon에 비해 22.6% 증가하였다. Tween 계열과 Poloxamer 계열간의 차이는 거의 없었다.

친수성 고분자의 수분 흡수 특성은 친수성 그룹의 성질, 교차결합의 밀도, 중합체의 구조, 소수성 그리고 온도 등과 관련이 있다.^[16] 함수율의 변화는 계면활성제의 친수성과 연관성이 없으므로 계면활성제와 물 농도에 따른 연구의 결과^[17]와 같이 물 함량 변화에 따라 달라진 중합체의 구조가 원인으로 판단된다.

함수율의 증가는 모듈러스, 산소 및 이온투과성과 같은 특성에 영향을 줄 수 있다. 또한 콘택트렌즈가 수화되면

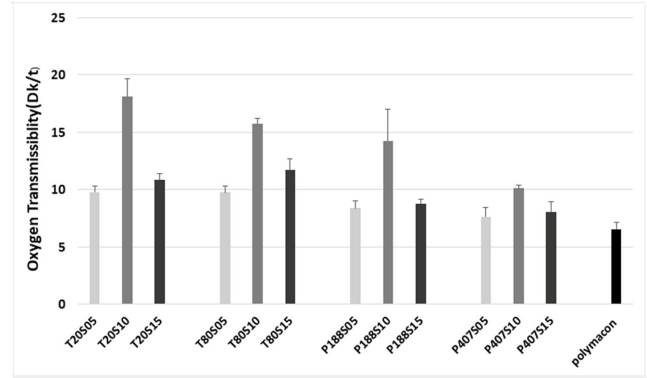


Fig. 4. Oxygen Transmissibility of contact lens according to surfactant concentration.

계면활성제의 친수성기가 표면에 존재하기 때문에 습윤성이 향상될 수 있다. P188과 P407의 함수율 측정값과 접촉각 측정값의 상관성이 없는 것으로 보아 단순히 함수율 증가에 의한 요인보다는 계면활성제의 친수성기 도입으로 접촉각이 낮아진 것으로 볼 수 있다.

산소전달률은 전체 시료 중에서 T20S10 시료가 18.11 DK/t로 가장 높은 값으로 나타났으며 동일 성분의 열중합체인 polymacon에 비해 약 2.8배 향상되었다(Fig. 4). Poloxamer 계열의 계면활성제 사용 시, P188S10과 P407S10의 산소전달률은 14.24 DK/t와 10.10 DK/t로 각각 나타났으며 polymacon에 비해 2.18배, 1.54배로 높았다.

산소전달률은 각막 건강에 직접적인 영향을 미치는 인자로서 콘택트렌즈의 경우 고산소투과 재질이 필요하다. P188S10의 경우 polymacon에 비해 2.18배 높은 수치를 보임으로써 콘택트렌즈의 기능 향상에 기여할 수 있을 것으로 보인다. 일반적으로 함수율이 증가하면 산소전달률이 증가하는데 반해 본 연구에서의 P188과 P407은 함수율과 산소전달률의 연관성이 없는 결과를 보이는 것으로 볼 때 계면활성제 사용으로 중합체에 형성된 기공 때문에 산소전달률이 증가한 것으로 판단된다.

특히 계면활성제 함량이 10%일 때 산소전달률이 가장 높게 나타난 것을 볼 때 함량이 5%나 15%일 때 보다 기공의 배열이 연속적으로 형성되었을 것으로 생각되며, 산소전달률을 증가하기 위한 poloxamer 계열 계면활성제의 함량은 10%가 적절한 것으로 생각된다.

일반적으로 산소전달률은 함수율과 밀접한 관계가 있으며 하이드로겔의 경우 함수율이 증가함에 따라 산소전달률은 증가하고 실리콘 하이드로겔의 경우는 함수율이 증가함에 따라 산소전달률은 감소한다. 이러한 결과는 재질의 특성과 구조 등에 따라 다르게 나타난다.^[18] 본 연구에서는 함수율 증가에 따라 산소전달률이 증가하는 일반적인 하이드로겔과는 다르게 P188과 P407의 산소전달률은 함수율과

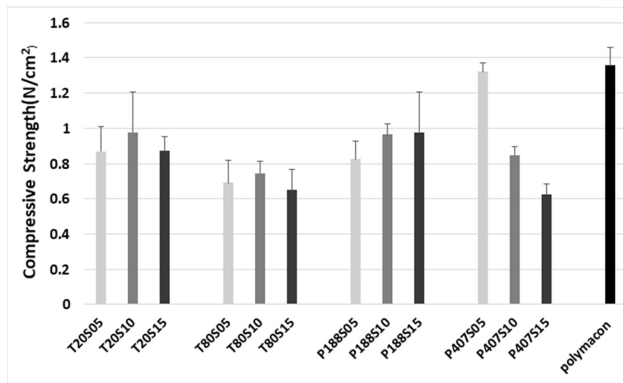


Fig. 5. Compressive strength of contact lens according to surfactant concentration.

비교했을 때 관련성이 없는 것으로 보아 Poloxamer도 Tween과 같이 산소전달률은 중합체의 구조적 차이와 관련이 있는 것으로 판단된다. 산소전달률은 중합체에 형성된 기공의 크기, 개수가 증가하면 물을 많이 함유 할 수 있으므로 함유율은 증가하게 된다. 그리고 기공의 배열이 연속성을 띄게 되면 물의 흐름이 좋아져 산소전달률이 증가하게 되므로 중합체 내부 구조 또한 함께 고려해야 할 사항으로 보인다.

압축강도는 하이드로겔 내의 고분자 밀도가 높으면 굴절률이 높아지고 강도가 높아져 압축강도도 높아진다(Fig. 5). 따라서 압축강도는 함유율에 반비례한다.

콘택트렌즈 재료의 강도는 렌즈 취급하는 동안 렌즈의 손상 및 내구성과 관련된 중요한 고려 사항이다. 콘택트렌즈의 강도를 알아보기 위하여 압축강도를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 5에 제시하였다. 계면활성제를 사용한 모든 시료는 polymacon의 1,357 N/cm²보다 압축강도가 낮게 나타났다. 그리고 T20의 압축강도가 T80보다 높게 나타났다. P188은 계면활성제 함량 증가에 따라 압축강도가 0.826 N/cm²에서 0.977 N/cm²로 증가하였다. P407은 계면활성제 함량 증가에 따라 압축강도가 1.321 N/cm²에서 0.623 N/cm²로 감소하였다.

계면활성제 함량 변화에 따라 상온 중합한 콘택트렌즈의 접촉각을 측정한 결과는 Fig. 6에 제시하였다. 모든 시료에서 polymacon보다 접촉각이 낮게 나타났다. T20S10 시료의 접촉각은 5.6°로 매우 낮으며 polymacon에 비해 10%의 값을 나타낼 정도로 습윤성이 매우 좋았다. T80의 접촉각은 계면활성제 함량이 5%, 10%에서는 거의 비슷한 값을 나타내었으며, 함량이 15%인 T80S15 시료에서 25.4%로 가장 낮았다. T80보다는 T20을 첨가했을 때의 접촉각이 훨씬 낮은 값을 보여 더 좋은 습윤성을 나타내었다. Poloxamer 계열이 포함된 콘택트렌즈에서 P18815가 가장 낮은 값을 나타내었다. 계면활성제를 첨가한 콘택트렌즈는 계면활성제의 친수성기 도입으로 인해 polymacon보다

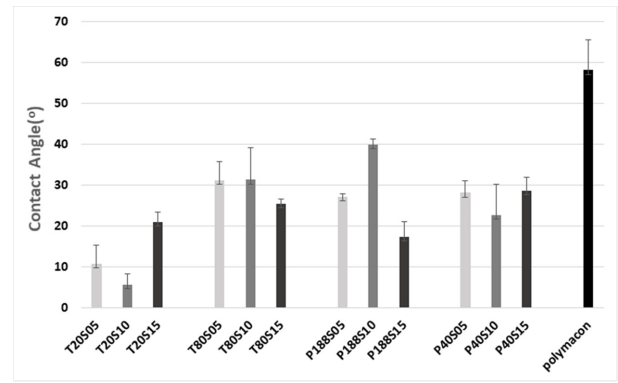


Fig. 6. Contact angle of contact lens according to surfactant concentration.

접촉각이 모두 낮아서 습윤성이 더 좋은 것으로 나타났다. 특히 Tween 계열 계면활성제 중에서는 T20S10이 가장 낮고 Poloxamer계열을 사용한 렌즈에서는 P188S15가 가장 낮은 것으로 나타났다. 모든 시료에서 계면활성제 함량변화에 따른 접촉각 변화에 대한 특별한 경향성은 나타나지 않았다.

계면활성제는 습윤성을 높이는 핵심인지만 연구에 사용한 4종 중에서 T20의 경우가 가장 습윤성이 좋은 것으로 나타났다. HEMA재질의 사슬은 회전하는 특성이 있어서 렌즈의 표면이 물과 접하게 되면 친수성기가 표면으로 향하고, 렌즈의 표면이 건조하게 되면 소수성기가 표면으로 향하게 된다. 미셀을 형성하는 계면활성제의 성질 때문에 수용액상태에서 HEMA의 소수성기는 미셀 내부로 향하게 되는데 T20의 결합력이 가장 좋은 것으로 판단된다. 또한 T20이 T80보다 접촉각이 낮아 습윤성이 좋은 것은 T20의 HLB가 T80보다 높아서 친수성 표면을 형성하였기 때문이다.

T20과 T80의 구조 차이를 살펴보면 T80은 T20보다 분자량이 크고 T80의 올레인산이 가진 이중결합으로 분자가 차지하는 면적이 크다. T20은 상대적으로 분자량이 작고 흡수면적이 작기 때문에 기질의 습윤성이 향상된 것으로 보인다. 특히 Tween 계열 계면활성제는 친수기 구조가 동일한 경우 소수기 길이가 짧거나 소수기가 불포화 구조인 경우 접촉각이 낮다.^[19]

표면에 계면활성제 분자가 포화상태가 되면 접촉각은 더 이상 감소하지 않으므로 이 시점에서는 계면활성제 농도의 증가되어도 접촉각에 미치는 영향을 거의 없다.^[20] 본 연구 결과에서 계면활성제 함량의 증가에 따라 접촉각이 감소하지 않는 것은 중합체 표면에서 습윤성은 고분자 사슬 길이, 분자 크기, 긴 사슬분자의 느린 움직임,^[21] 그리고, 표면의 거칠기와 관련이 있다.^[22] 이런 여러 가지 원인의 복합적인 작용에 의해 접촉각이 낮게 나타난 것으로 보인다.

결 론

에너지를 사용하지 않고 상온에서 중합을 진행한 콘택트렌즈에서 계면활성제 종류와 함량에 따른 물리적 특성을 평가하였다.

상온 중합으로 제작한 콘택트렌즈의 여러 물리적 특성을 분석하면, 특정 성분과 양에 의존하지 않고 복합적인 원인으로 각기 독립적인 특성을 보인다. 콘택트렌즈로서의 가장 기본적인 특성인 투광도는 계면활성제 종류와 함량에 따라 많이 달랐으며 poloxamer 계열을 사용한 시료에서 비교적 높은 투광성을 나타내었다. 그리고 흡수율이 증가할수록 굴절률과 압축강도는 감소하였다.

산소전달률은 모든 시료에서 비교군에 비해 높은 값을 보이며, 계면활성제 종류에 상관없이 함량이 10%일 때에 가장 높았다.

Poloxamer 계열 계면활성제를 포함한 콘택트렌즈는 광투과성, 습윤성, 산소전달률, 그리고 단백질 흡착저하 등과 같은 콘택트렌즈가 갖추어야 할 특성에서 모두 높은 값을 보였다.

따라서 에너지를 사용하지 않은 콘택트렌즈 제작에서 계면활성제의 종류와 함량이 콘택트렌즈의 성능에 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 대구가톨릭대학교 교내연구비의 지원에 의하여 진행된 연구입니다.

REFERENCES

- [1] Efron N. Contact lens practice, 2nd Ed. St. Louis: Butterworth Heinemann, 2010;67-83.
- [2] Musgrave CSA, Fang F. Contact lens materials: a materials science perspective. *Materials*. 2019;12(2):261. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12020261>
- [3] Roorda WE, Bodde HE, de Boer AG, et al. Synthetic hydrogels as drug delivery systems. *Pharm Weekbl*. 1986; 8(3):165-189. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01959775>
- [4] Tanabe M, Vandermeulen GWM, Chan WY, et al. Photo-controlled living polymerizations. *Nat Mater*. 2006;5(6): 467-470. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmat1649>
- [5] Sangermano M, Razza N, Crivello JV. Cationic UV-curing: technology and applications. *Macromol Mater Eng*. 2014; 299(7):775-793. DOI: <https://doi.org/10.1002/mame.201300349>
- [6] Bae JH, Ko NY, Lee HM. Physical properties of contact lens according to room temperature polymerization conditions. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2019;24(3):231-237. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2019.24.3.231>
- [7] Park H, Lee HM. Changes in drug elution concentration and physical characteristics of soft contact lenses depending on the initiator and crosslinker. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2014;19(2):145-151. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2014.19.2.145>
- [8] Lee PH, Lee HM. Effect of crosslinking agent structure on drug release and antibacterial effect of contact lenses, *J Korean Chem Soc*. 2021;65(5):320-326. DOI: <https://doi.org/10.5012/jkcs.2021.65.5.320>
- [9] Lovell PA, Schork FJ. Fundamentals of emulsion polymerization. *Biomacromolecules*. 2020;21(11):4396-4441. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c00769>
- [10] Kapoor Y, Chauhan A. Drug and surfactant transport in Cyclosporine A and Brij 98 laden p-HEMA hydrogels. *J Colloid Interface Sci*. 2008;322(2):624-633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.02.028>
- [11] Kapoor Y, Thomas JC, Tan G, et al. Surfactant-laden soft contact lenses for extended delivery of ophthalmic drugs. *Biomaterials*. 2009;30(5):867-878. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.10.032>
- [12] Bengani LC, Scheiffele GW, Chauhan A. Incorporation of polymerizable surfactants in hydroxyethyl methacrylate lenses for improving wettability and lubricity. *J Colloid Interface Sci*. 2015;445:60-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.12.061>
- [13] Jahan K, Balzer S, Mosto P. Toxicity Of nonionic surfactants. *WIT Trans Ecol Environ*. 2008;110:281-290. DOI: <https://doi.org/10.2495/ETOX080301>
- [14] Chiappetta DA, Sosnik A. Poly(ethylene oxide)-poly(propylene oxide) block copolymer micelles as drug delivery agents: improved hydrosolubility, stability and bioavailability of drugs. *Eur J Pharm Bioparm*. 2007;66(3):303-317. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2007.03.022>
- [15] Zhou Z, Chu B. Anomalous micellization behavior and composition heterogeneity of a triblock ABA copolymer of (A) ethylene oxide and (B) propylene oxide in aqueous solution. *Macromolecules*. 1988;21(8):2548-2554. DOI: <https://doi.org/10.1021/ma00186a039>
- [16] Tranoudis I, Efron N. Water properties of soft contact lens materials. *Cont Lens Anterior Eye*. 2004;27(4):193-208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2004.08.003>
- [17] Lunkad R, Srivastava A, Debnath A. Influence of water concentrations on the phase transformation of a model surfactant/co-surfactant/water system. *Chem Phys*. 2017;483-484: 103-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2016.11.014>
- [18] 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>
- [19] Kim C. Detergency and water wetting/retention properties of soiled cotton cloths in nonionic surfactant solutions. *J Korean Soc Cloth Text*. 2007;31(3):433-439. DOI: <https://doi.org/10.5850/JKSCT.2007.31.3.433>

- [20] Nascimento AEG, Neto ELB, Moura MCPA, et al. Wettability of paraffin surfaces by nonionic surfactants: evaluation of surface roughness and nonylphenol ethoxylation degree. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp.* 2015;480: 376-383. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.11.003>
- [21] Geoghegan M, Krausch G. Wetting at polymer surfaces and interfaces. *Porg Polym Sci.* 2003;28(2):261-302. doi: [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(02\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(02)00080-1)
- [22] Gu H, Wang C, Gong S, et al. Investigation on contact angle measurement methods and wettability transition of porous surfaces. *Surf Coat Technol.* 2016;292:72-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.03.014>

에너지 저감형 콘택트렌즈 제조 시 계면활성제 종류에 따른 물성 변화

허성인¹, 이현미^{2,*}

¹예일안경, 안경사, 마산 51304

²대구가톨릭대학교 안경광학과, 교수, 경산 38430

투고일(2021년 12월 16일), 수정일(2022년 1월 11일), 게재확정일(2022년 1월 12일)

목적: 열과 자외선 등 에너지를 사용하지 않고 상온에서 중합하는 방법을 채택한 콘택트렌즈를 제조 시 계면활성제 종류와 함량이 콘택트렌즈의 물리적 특성에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. **방법:** 콘택트렌즈 제작은 친수성 단량체인 2-hydroxyethyl methacrylate(HEMA), 개시제인 ammonium persulfate(APS), 개시반응 촉진제인 N,N,N',N'-tertamethylethylenediamine(TMEDA)를 사용하였다. 4종의 비이온성 계면활성제를 사용하여 상온에서 콘택트렌즈를 제조한 콘택트렌즈의 물성을 평가하였다. **결과:** 콘택트렌즈의 투광도는 계면활성제 종류와 함량에 따라 매우 달랐으며 poloxamer 계열을 사용한 시료에서 비교적 높은 투광성을 나타내었으며 Tween 계열은 투광도가 낮아 렌즈 사용에 적합하지 않았다. 함수율은 열중합 렌즈와 비슷한 양상을 나타내었다. 계면활성제는 모든 시료의 산소전달률을 향상시켰으며, 특히 10%의 함량을 사용하였을 때가 가장 높았다. **결론:** 에너지 저감형 콘택트렌즈를 제작시, 10% poloxamer 계열의 계면활성제를 사용하면 가장 좋은 물성을 가진다는 것을 확인하였다.

주제어: 콘택트렌즈, 상온중합, 계면활성제, 함수율, 산소전달률