

Characteristics of Porous Contact Lenses according to Type of Foaming Agent

Chul Min Woo^{1,a} and Hyun Mee Lee^{2,b,*}

¹Hanbit Eye Clinic, Optometrist, Daegu 41943, Korea

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

Received September 02, 2024; Revised September 13, 2024; Accepted September 20, 2024)

Purpose: To investigate the effects of the type of foaming agents on the characteristics of porous contact lenses. **Methods:** Hydroxyethyl methacrylate (HEMA), methacrylic acid (MAA), and styrene monomers were used as porous hydrogels, and ammonium carbonate and sodium carbonate were used as foaming agents. To evaluate contact lenses, their physical properties, such as oxygen permeability, wettability, moisture content, and mechanical strength, as well as their protein adsorption and antibacterial properties, were assessed. **Results:** Porous contact lenses exhibited significantly improved oxygen permeability, moisture content, and protein adsorption compared with non-porous contact lenses, while the tensile strength was reduced. Comparing the different foaming agents revealed that sodium carbonate increased oxygen transmission more than ammonium carbonate and that ammonium carbonate improved wettability and reduced protein adsorption. Ammonium carbonate exhibited the strongest antibacterial effect among the samples tested. **Conclusions:** Porous contact lenses using foaming agents contributed to improved physical properties and reduced protein adsorption compared with hydrogel contact lenses, and this was affected by the presence and type of foaming agent.

Key words: Porous contact lens, Hydrogel, Forming agent, Oxygen transmissibility, Wettability

서 론

하이드로겔 콘택트렌즈는 사용상의 편리함, 비교적 저렴한 비용과 미용효과 등으로 인해 착용자가 지속적으로 증가하고 있다. 하이드로겔 콘택트렌즈는 유연하고 흡수율이 높아 착용감이 우수하지만 장시간 착용 시 낮은 산소투과성으로 인해 각막의 저산소증, CO₂ 축적에 의한 내피 다형화, 각막 부종, 각막염 유발, 충혈, 건조안, 각막의 신생혈관과 같은 부작용들을 유발할 수 있다.^[1]

실리콘 하이드로겔 콘택트렌즈의 습윤성과 착용감은 하이드로겔 콘택트렌즈에 비해 떨어지는 것으로 보고 되고 있다.^[2,3] 흡수율 향상을 위해 methacrylic acid(MAA)를 사용한 렌즈는 카르복시기의 부착으로 인해 흡수율은 증가되지만 pH변화가 동반되었으며,^[4] 표면의 단백질 침착으로 인한 렌즈 변성이 나타났다.^[5-7] N-Vinyl-2-pyrrolidone (NVP)가 함유된 고흡수 렌즈는 초기 착용감은 좋으나 탄성이 약하며, 렌즈의 표면 탈수가 빨라 각막 상피결손과 안구건조증 유발 등의 문제가 발생하였다.^[8]

최근 실리콘 하이드로겔 콘택트렌즈는 기존에 비해 하

이드로겔 콘택트렌즈가 가지는 편안한 착용감, 유연성 등 유지하면서 산소투과성이 매우 향상되었다. 하지만 실리 콘 모노머로 인한 소수성 표면으로 인해 낮은 습윤성, 착용감 저하, 그리고 단백질, 지방과 같은 침전물의 침착으로 인해 안질환을 유발하는 문제점이 제기되었다.^[9,10] 따라서 산소투과성과 습윤성이 우수하며 단백질 침착 저하와 착용감이 좋은 콘택트렌즈 소재 개발을 위한 연구가 많이 진행되고 있다.^[11,12]

기포형성제를 사용한 다공성 하이드로겔은 중합체 내에 기공을 생성시킴으로써 단시간에 많은 양의 물을 흡수할 수 있으며, 열린 기공을 통해 산소 투과성과 흡수율이 향상된다. 하지만 다공성으로 인한 기계적 강도가 약해지는 단점이 있다. 이러한 다공성 하이드로겔의 장점을 최대한 유지시키며 기계적 강도를 보완하기 위해 다당류나 천연 고분자 등을 첨가하기도 한다.^[13,14] 또한 다공성 하이드로겔은 약물전달 및 상처 드레싱 등 의약 및 생체 의학 등 많은 분야에서 사용되고 있다.^[15]

본 연구는 기존의 하이드로겔 및 실리콘 하이드로겔 콘택트렌즈의 문제점을 해결하기 위하여 기포형성제인 암모

*Corresponding author: Hyun Mee Lee, TEL: +82-53-850-2552, E-mail: hmlee@cu.ac.kr
Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0009-0002-9785-2156>, ^b<https://orcid.org/0000-0001-6668-5864>

늄 카보네이트(sodium carbonate; AC), 소듐 카보네이트(Sodium carbonate; SC)를 사용한 다공성콘택트렌즈를 제작하고 거품형성제의 유무와 종류에 따른 특성을 평가하고 비교 분석하고자 한다.

대상 및 방법

1. 시약 및 재료

본 연구에 사용된 시약 중 하이드로겔 콘택트렌즈의 주원료인 2-Hydroxyethyl methacrylate(HEMA)는 Vision Science co., LTD에서 제공한 ultra HEMA를 사용하였으며, 개시제로 azobisisobutyronitrile(AIBN, JUNSEI), 교차결합제로 ethyleneglycoldimethacrylate(EGDMA, Sigma-aldrich)를 사용하였다. 또한 하이드로겔 콘택트렌즈의 기능 향상을 위해서 친수성 모노머인 methacrylic acid(MAA, JUNSEI)와 소수성 모노머인 styrene(Sigma-aldrich)를 모든 시료 제작에 사용하였다. 그리고 다공성 하이드로겔 콘택트렌즈 제작을 위해서 기포형성제인 탄산나트륨(sodium carbonate, Na_2CO_3)와 탄산암모늄(ammonium carbonate, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)는 sigma-aldrich의 제품을 사용하였다. 또한 기포형성제 사용에 따른 특성 변화를 살펴보기 위해 동일 조건에서 기포형성제 대신 같은 양의 순수 물(distilled water; DW)를 사용하여 기포형성제 유무와 기포형성제 종류에 따른 물성비교 분석을 위해 시료를 제작하였다.

콘택트렌즈 제작을 위해 사용한 플라스틱 주형틀은 굴절력 -3.00 D , base curve 8.6 mm 을 사용하였다. 접촉각과 인장강도 측정을 위해 두께 0.5 mm 의 실리콘 주형틀을 사용하여 필름을 제작하였다. 제작된 콘택트렌즈는 미반응 물질을 제거한 후에 실험을 진행하였다.

비다공성 하이드로겔 콘택트렌즈는 발포제 없이 기본 HEMA에 MAA, Styrene을 5%씩 넣고 교차결합제인 EGDMA를 0.3%씩 사용하였으며 시료의 구성비는 Table 1에 제시하였다.

시료명은 HEMA를 기본으로 제작한 비다공성 하이드로겔 콘택트렌즈인 polymacon은 REF, 거품형성제인 암모늄 카보네이트와 소듐카보네이트를 사용한 시료는 각각 APH와 SPH로 나타내었으며, 거품형성제 대신에 순수물을 사용한 시료는 WPH로 명명하였다.

2. 콘택트렌즈의 물리적 특성 평가

광투과율은 Agilent 사의 Cary 60 UV-vis을 사용하여 ISO 기준 가시광선($380\sim 780\text{ nm}$)영역에 대한 투과율을 측정하였다.

함수율은 중량측정법(gravimetric method)으로 산출하였으며, 24시간 동안 함수된 시료와 건조된 시료의 무게를 METTLER TOLEDO사의 XS205 dual range를 사용하여 각각 10회 측정 후 평균한 값으로 산출하였다.

산소투과율은 polarographic method를 사용하였으며, Rehder사의 201T로 측정된 전류값으로 Dk/t 값을 계산하였다. 시료의 두께는 low pressure dial-gauge(Mitutoyo, VL-50-B)를 사용하였다.

접촉각은 sessile drop 방법을 사용하였고, Kruss GMBH사의 DSA30을 사용하였으며, 김테크 사이언스 와이퍼로 시료의 물기를 제거한 후 실온에서 증류수 $2\ \mu\text{l}$ 를 시료 표면에 떨어뜨린 뒤 생긴 물방울의 생성된 각을 측정하였다. 시료 당 0.5초당 2회씩 10초 동안 측정하여 평균값을 내었다.

3. 단백질 흡착성 평가

단백질 흡착 정도를 알아보기 위해서 인간 혈청 알부민(human serum albumin; HSA)과 형상과 물리화학적 성질이 유사한 소 혈청 알부민(Bovine serum albumin; BSA)을 사용하였다.

BSA를 인산완충용액에 5 mg/ml 로 녹인 후 vial에 2 ml 씩 주입 후 각 시료의 무게를 측정하고, BSA용액이 담긴 vial에 넣고 Incubator를 이용해서 37°C 에서 24시간 동안 단백질을 흡착시켰다. Sodium dodecyl sulfate(SDS)를 DW에 3% 용액으로 제조하여 vial에 옮겨 담은 후 단백질이 흡착된 시료를 2회 세정하여 SDS 3% 용액이 담긴 바이알에 넣는다. 시료가 담긴 바이알을 95°C 에서 15분간 가열한 후 흡광도를 측정하였으며, 흡광도는 Agilent사의 Cary 60 UV-Vis를 사용하여 단백질의 최대 흡수 파장인 280 nm 의 값을 확인하였다. BSA의 몰 흡광계수는 $3.34\text{ (mg/ml)}^{-1}\text{(cm)}^{-1}$ 로 계산하였으며, 콘택트렌즈에 흡착된 단백질량은 다음의 식을 사용하였다.^[16]

Table 1. Compositions of samples fabricated via thermal polymerization (wt%)

Sample	HEMA	10% SC	10% AC	DW	MAA	Styrene	EGDMA	AIBN
REF	89.4	-	-	-	5	5	0.3	0.3
APH	59.4	-	30	-	5	5	0.3	0.3
SPH	59.4	30	-	-	5	5	0.3	0.3
WPH	59.4	-	-	30	5	5	0.3	0.3

*SC; sodium carbonate, AC; ammonium carbonate, DW; distilled water, MAA; methacrylic acid

$$Q = \frac{vc}{m}$$

Q: protein adsorption amount

v: volume of solution

c: protein concentration in solution

m: mass of the hydrated test specimens

4. 항균성 평가

비다공성 하이드로겔 렌즈와 거품형성제가 포함된 다공성 콘택트렌즈, 그리고 거품형성제와 동일량의 물이 포함된 렌즈의 항균성을 살펴보았다. 균주는 한국 미생물 보존 센터에서 분양 받은 *E-Coli*(ATCC 10536)와 *Staphylococcus aureus*(ATCC 12692)를 Mueller Hinton broth를 이용하여 35°C Incubator에서 24시간 동안 배양하였다. 배양된 균주를 각각의 시료가 담긴 바이알에 넣고 다시 24시간 동안 배양하여 UV-Vis Spectrometer를 이용하여 흡광도를 측정하여 항균성을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 광투과율

광투과율 실험 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 가시광선 영역인 380~780 nm 파장에서의 광투과율은 REF 92.44%에 비해, APH와 SPH는 94.41%와 94.42%로 높게 나타났으며 WPH는 REF와 비슷하게 나타났었다. 발포제가 함유된 시료는 광투과율이 높게 나오는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 사용된 시료는 콘택트렌즈로서 요구되는 광투과율 조건인 ANSI Z80.20의 기준인 88% 이상임으로 콘택트렌즈로 모두 활용 가능함을 확인하였다.

2. 함유율 및 굴절률

함수율과 굴절률의 실험 결과는 Fig. 2에 나타내었다. HEMA를 기본으로 만들어진 REF의 경우 전통적인 하이

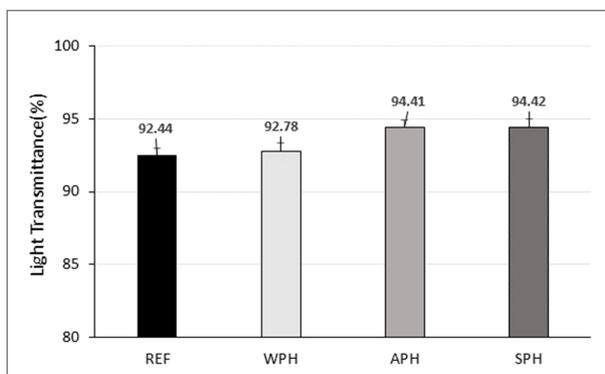


Fig. 1. Visible-ray transmittance according to the type of foaming agent.

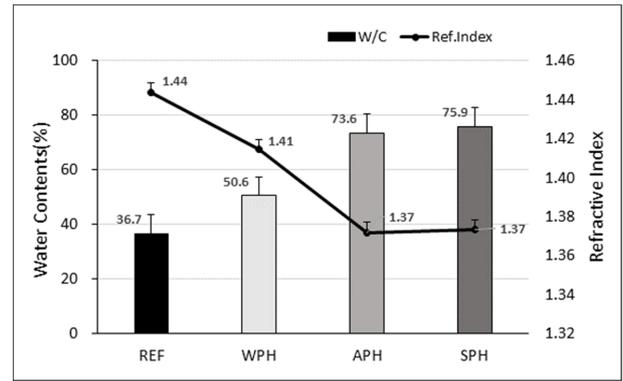


Fig. 2. Water content and refractive index of the contact lens according to the type of foaming agent.

드로겔의 함유율과 유사한 36.73%의 저함수율을 나타내었다. 탄산나트륨과 탄산암모늄을 첨가한 SPH와 APH는 함유율이 75.86%와 73.63%로 각각 나타났으며, REF에 비해 향상되었다. 거품형성제 대신 물을 사용한 WPH는 50.60%로 거품형성제를 사용했을 때 보다 함유율이 낮아졌지만, REF보다는 약 38% 이상 높아졌다.

하이드로겔의 수분 흡수 능력을 나타내는 함유율은 친수성기의 성질, 교차결합정도, 기공의 크기와 온도 등의 영향을 받는다. 특히 함유율은 렌즈 착용 시 착용감과 굴절률, 산소투과성 및 단백질 흡착에 영향을 미치게 된다.^[17] 또한 거품형성제는 하이드로겔의 함유율을 높인다는 기존 연구와 일치한다.^[18,19]

굴절률은 굴절력에 직접적인 영향을 미치는 인자로서 콘택트렌즈 내부의 분자배열 및 밀도와 같은 구조적인 부분에 연관되어 있으므로 함유율과 굴절률은 반비례 관계에 있다. 함유율 측정 결과 비다공성 콘택트렌즈인 REF는 36.73%로 저함수로 나타났으며, 발포제를 사용한 다공성 콘택트렌즈는 함유율이 70% 이상으로 고품수로 나타났다. 발포제 대신 물을 사용하면 거품형성제 사용 시 보다 낮은 함유율을 보였다. 따라서 발포제 포함 여부에 따라 함유율의 차이가 많은 것을 확인하였다.

3. 팽윤

시료로 제작한 콘택트렌즈의 시간대 별 팽윤상태 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 발포제가 함유된 APH와 SPH의 경우 60초까지 급격하게 함유율이 증가하여 90초에서 평행상태에 도달하였다.

APH의 팽윤비는 팽윤전인 0초에 비해 90초에서 73.02% 팽윤되었으며, SPH의 경우 74.52%의 팽윤을 확인하였다. APH와 SPH는 300초에 도달하였을때 75.20%, 76.43%로 각각 나타내서 최대 팽윤이 일어났다. 하지만 거품형성제가 함유되지 않은 WPH는 APH, SPH와 달리 REF와 비슷

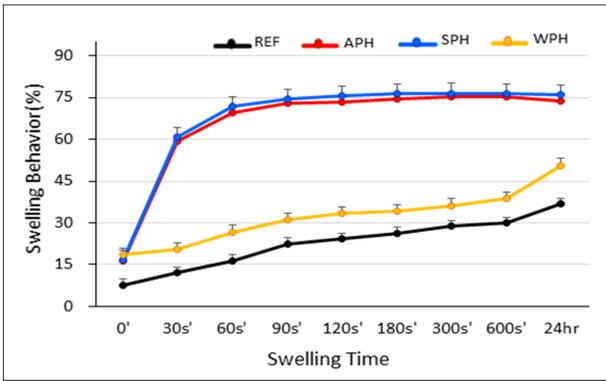


Fig. 3. Swelling behavior of the contact lens according to the type of foaming agent.

한 거동으로 천천히 팽윤이 일어났다. 거품형성제가 포함된 다공성 하이드로겔 콘택트렌즈의 경우, 팽윤속도가 일반 하이드로겔에 비해 매우 빠르다는 것을 알 수 있으며, 거품형성제 종류에는 영향을 받지 않았다. 이와 같이 거품형성제를 사용한 콘택트렌즈의 팽윤속도가 빠른 것은 콘택트렌즈 내에 생긴 기공으로 인한 열린채널이 물을 빠르게 흡수하기 때문이다.

4. 표면 접촉각

콘택트렌즈의 습윤성 정도를 확인하기 위해서 콘택트렌즈 표면과 물방울이 이루는 접촉각을 측정하여 Fig. 4에 나타내었다.

거품형성제를 사용하지 않은 REF는 접촉각이 65.30로 나타났으나 거품형성제를 사용한 APH와 SPH에서는 접촉각이 각각 49.40°, 57.75로 각각 나타났다. 거품형성제 대신에 물을 첨가한 WPH의 접촉각도 51.47로 REF 보다 낮게 나타났다. 거품형성제를 사용한 콘택트렌즈는 거품형성제를 사용하지 않은 렌즈에 비해 접촉각이 낮아 습윤성 높았다. 또한 탄산나트륨보다 탄산암모늄을 사용한 APH의 접촉각이 더 낮았다. 한편 다공성 콘택트렌즈 제작에 거품형성제 대신 물을 사용한 WPH의 접촉각도 REF

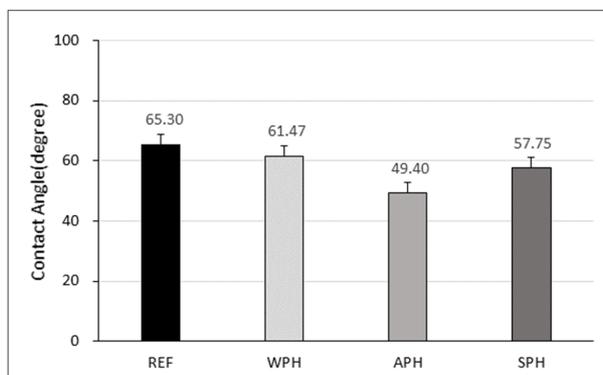


Fig. 4. Contact angle of the contact lens according to the type of foaming agent.

보다 낮게 나타나 습윤성이 좋음을 알 수 있다. 이로써 거품형성제인 탄산나트륨이나 물을 사용할 때보다 탄산암모늄을 사용하였을 때의 접촉각이 가장 낮게 나타나 습윤성이 가장 좋았으며, 거품형성제가 아닌 물을 사용해도 습윤성 향상에 도움이 되었다.

5. 산소전달성

산소는 각막대사에서 매우 중요한 역할을 하기 때문에 콘택트렌즈에서 중요한 물리적 특성 중의 하나이다. 본 연구를 위해 제작한 다공성하이드로겔 콘택트렌즈에 대한 산소전달률($10^{-9}(\text{cm} \times \text{mLO}_2)/(\text{sec} \times \text{mL} \times \text{mmHg})$, Dk/t)과 산소투과율($10^{-11}(\text{cm}^2 \times \text{mLO}_2)/(\text{sec} \times \text{mL} \times \text{mmHg})$, Dk)은 Fig. 5에 나타내었다.

비다공성 콘택트렌즈인 REF는 7.37Dk/t, 4.70Dk로 나온 반면, 거품형성제가 함유된 다공성 하이드로겔인 SPH 렌즈는 32.50Dk/t, 27.09Dk, APH 렌즈는 28.36Dk/t, 18.15Dk로 각각 나타났다. 거품형성제를 대신하여 물이 함유된 WPH 렌즈에서는 24.36Dk/t, 16.15Dk로 각각 나타났다.

발포제를 첨가한 시료는 REF보다 산소전달률이 매우 증가하였으며, 특히 SPH는 산소전달률이 4.5배 향상되었다. 거품형성제인 탄산나트륨이 함유된 SPH는 다른 시료에 비해 산소전달성이 가장 높았으며 탄산암모늄이 함유된 APH 보다 약 15% 더 높게 나타났다. 거품형성제를 첨가한 다공성 렌즈 중합 시 생성된 기공에 의해서 흡수율이 증가하게 되고 증가된 수분을 통해 산소투과율 또한 증가한 것으로 판단된다.^[20] 한편 거품형성제 없이 물을 사용한 WPH의 산소전달률도 REF에 비해 3.3배 향상되었다. 이는 콘택트렌즈 제작 시에 거품형성제 대신에 같은 양의 물을 사용함으로써 콘택트렌즈의 고분자 중합 밀도가 낮아지면서 산소전달률이 높게 나온 것으로 파악된다.

6. 기계적 강도

다공성 하이드로겔 렌즈의 내구성을 알아보기 위해서

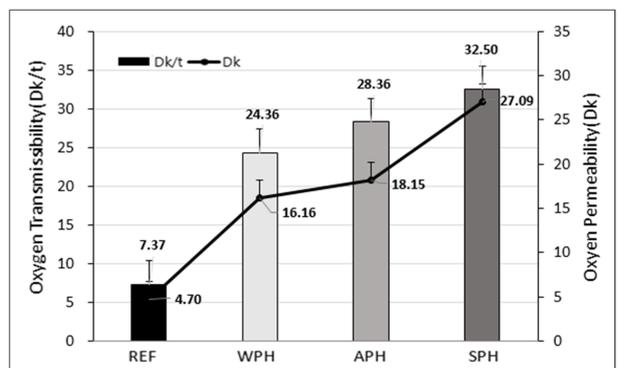


Fig. 5. Oxygen transmissibility and permeability of the contact lens according to the type of foaming agent.

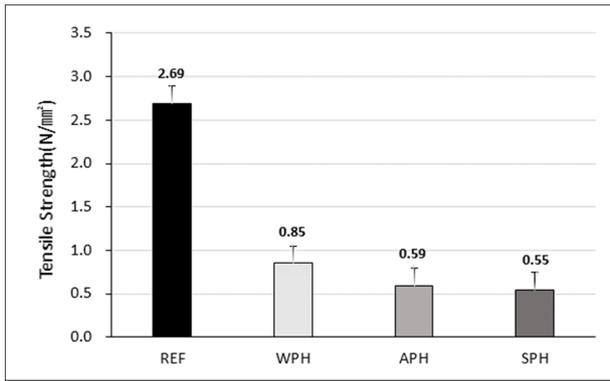


Fig. 6. Tensile strength of the contact lens according to the type of foaming agent.

인장강도를 측정하였으며 결과는 Fig. 6에 나타내었다.

탄산암모늄과 탄산나트륨이 함유된 다공성 하이드로겔 렌즈는 0.5914 N/mm²와 0.5458 N/mm²로 각각 측정되었으며 비다공성렌즈에 비해 강도가 약 4.5배 약하다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 거품형성제로 인해 렌즈 내에 기공이 많이 생기면서 밀도가 감소되어 인장강도가 감소되었다. 또한 물이 첨가된 WPH보다 약 1.5배 낮은 인장강도를 나타내어 기공의 형성에 따른 결합 약화에 기인됨을 알 수 있다.

7. 단백질 부착성

눈물 속 단백질은 콘택트렌즈에 부착되어 착용감 저하와 시력저하 등 많은 문제를 야기 시키고 있다.^[21] 단백질 흡착 정도를 파악하기 위해서 소혈청 단백질인 BSA를 사용하여 단백질 흡착량을 실험하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

REF에서 27.4449 mg/g이었으며, 발포제인 탄산암모늄과 탄산나트륨이 함유된 다공성 하이드로겔 렌즈에서의 흡착 양은 8.2843 mg/g과 12.8139 mg/g로 측정되었다.

REF와 비교해서 약 2~3배가량 감소한 수치로 발포제가

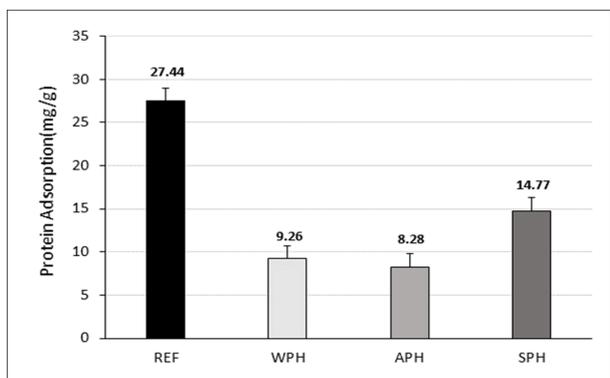


Fig. 7. Protein adsorption of the contact lens according to the type of foaming agent.

Table 2. Antimicrobial properties of porous and non-porous hydrogels (Abs.)

	REF	WPH	APH	SPH
<i>E-Coli</i>	0.8005	0.7620	0.7479	0.7752
<i>S.aureus</i>	0.5609	0.5389	0.5397	0.5790

첨가된 다공성하이드로겔과 물을 첨가한 렌즈 모두에서 단백질 흡착이 저하되었다. 특히 탄산나트륨보다는 탄산암모늄의 첨가가 단백질 흡착을 많이 감소시킨다는 것을 알 수 있다. 하이드로겔 콘택트렌즈는 소수성 또는 친수성 특성, 그리고 단량체가 가지는 음전하 및 양전하 등의 재질적 특성에 따라 단백질 침착량에 상당한 영향을 미친다. 하이드로겔의 성질이 친수성과 음이온성을 띠는 경우, 알부민의 흡착을 감소시킬 수 있다.^[21] 또한 표면 습윤성이 높을수록 단백질과 같은 침전물의 흡착을 감소시킬 수 있다.^[22] 본 연구에서는 다공성 콘택트렌즈 제작 시 음이온성인 MAA를 단량체로 사용하여 제작하였기 때문에 음이온성 소혈청알부민인 BSA단백질과 정전기적 반발력으로 인해 단백질 흡착이 저하된 것으로 판단된다.

8. 항균성

다공성 콘택트렌즈의 항균성을 알아보기 위해서 *E-Coli*와 *S. aureus*를 배양하여 항균성을 평가하기 위해서 흡광도를 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다.

*E-Coli*를 대상으로 한 실험에서 모든 다공성 시료는 REF보다 흡광도가 낮게 나타나서 항균 효과가 있음을 알 수 있었다. *E-Coli*에 대한 APH의 흡광도는 0.7479로 SPH의 0.7752보다 낮아서 균이 덜 자란것으로 확인되었다. 또한 물을 첨가한 다공성렌즈에서도 *E-Coli*와 *S. aureus* 모두 성장 억제 효과가 있었다.

*S. aureus*를 대상으로 한 실험에서는 발포제인 탄산암모늄가 첨가된 시료에서 0.5397로 가장 효과가 좋았다. 탄산나트륨이 첨가된 시료에서 0.5790로 REF보다 균이 더 많이 성장하였다. 따라서 *S. aureus* 대상의 SPH를 제외하고는 모든 시료에서 비다공성 렌즈에 비해 다공성 렌즈의 항균성이 있었다.

결론

다공성 콘택트렌즈 제작에 사용하는 각기 두 종류의 거품형성제를 사용하였으며 거품형성제 종류에 따른 콘택트렌즈의 특성 변화를 살펴보았다. 거품형성제를 사용한 다공성 콘택트렌즈는 비다공성 콘택트렌즈에 비해 흡수율, 습윤성, 산소전달성 등 모든 물리적 특성이 향상되었으며, 단백질 흡착 저하 효과도 있다는 것을 확인하였다. 거품형

성제에 따른 특성을 비교하면, 탄산암모늄을 사용한 렌즈는 습윤성과 단백질 흡착저하 효과가 있었으며 틴산소다를 사용한 렌즈는 산소전달률 향상 효과가 더 높았다. 팽윤속도는 일반 하이드로겔에 비해 매우 빠르며 거품형성제 종류에는 영향을 받지 않았다. 따라서 거품형성제의 존재 유무와 종류에 따라 다공성 콘택트렌즈의 특성에 영향을 미친다는 것을 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업(No. 2021R1F1A106332211)으로 연구되었습니다.

참고문헌

- [1] Nichols JJ, Ziegler C, Mitchell GL, et al. Self-reported dry eye disease across refractive modalities. *Investig Ophthalmol Vis Sci.* 2005;46(6):1911-1914. DOI: <https://doi.org/10.1167/iavs.04-1294>
- [2] Jones LW, Dumbleton KA. Silicone hydrogel lenses: fitting procedures and in-practice protocols for continuous wear lenses. *Optician.* 2002;223(5840):37-45. DOI: <https://doi.org/10.3109/9780203427583-13>
- [3] Carney FP, Nash WL, Sentell KB. The adsorption of major tear film lipids in vitro to various silicone hydrogels over time. *Investig Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49(1):120-124. DOI: <https://doi.org/10.1167/iavs.07-0376>
- [4] Ahn J, Choi M. The pH-induced physical properties of ionic contact lens material. *Heliyon.* 2023;9:e12996. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12996>
- [5] Suwala M, Glasier MA, Subbaraman LN, et al. Quantity and conformation of lysozyme deposited on conventional and silicone hydrogel contact lens materials using an in vitro model. *Eye Contact Lens.* 2007;33(3):138-143. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.icl.0000244155.87409.f6>
- [6] Sack RA, Jones B, Antignani A, et al. Specificity and biological activity of the protein deposited on the hydrogel surface. relationship of polymer structure to biofilm formation. *Investig Ophthalmol Vis Sci.* 1987;28(5):842-849.
- [7] Maissa C, Franklin V, Guillon M, et al. Influence of contact lens material surface characteristics and replacement frequency on protein and lipid deposition. *Optom Vis Sci.* 1998;75(9):697-705. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-199809000-00026>
- [8] Jones L, Macdougall N, Sorbara LG. Asymptomatic corneal staining associated with the use of balafilcon silicone-hydrogel contact lenses disinfected with a polyaminopropyl biguanide-preserved care regimen. *Optom Vis Sci.* 2002;79(12):753-761. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-200212000-00007>
- [9] Bontempo AR, Rapp J. Protein-lipid interaction on the surface of a hydrophilic contact lens in vitro. *Curr Eye Res.* 1997;16(8):776-781. DOI: <http://doi.org/10.1076/ceyr.16.8.776.8985>
- [10] Nichols JJ. Deposition on silicone hydrogel lenses. *Eye Contact Lens.* 2013;39(1):20-23. DOI: <http://doi.org/10.1097/ICL.0b013e318275305b>
- [11] Kusuma VA, Gunawan G, Smith ZP, et al. Gas permeability of cross-linked poly (ethylene-oxide) based on poly(ethylene glycol) dimethacrylate and a miscible siloxane comonomer. *Polymer.* 2010;51(24):5734-5743. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2010.09.069>
- [12] Murakami K, Aoki H, Nakamura S, et al. Hydrogel blends of chitin/chitosan, fucoidan and alginate as healing-impaired wound dressings. *Biomaterials.* 2010;31(1):83-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.09.031>
- [13] Lei K, Li Z, Zhu D, et al. Polysaccharide-based recoverable double-network hydrogel with high strength and self-healing properties. *J Mater Chem B.* 2020;8(4):794-802. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9TB01679A>
- [14] Gemeinhart RA, Park H, Park K. Pore structure of superporous hydrogels. *Polym Adv Technol.* 2000;11(8-12):617-625. DOI: [https://doi.org/10.1002/1099-1581\(200008/12\)11:8/12<617::AID-PAT12>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/1099-1581(200008/12)11:8/12<617::AID-PAT12>3.0.CO;2-L)
- [15] Ahmed JA, Chatterjee A, Chauhan BS, et al. A conceptual overview on superporous hydrogels. *Int J Pharm Sci Rev Res.* 2014;25(2):166-173.
- [16] Pace CN, Vajdos F, Fee L, et al. How to measure and predict the molar absorption coefficient of a protein. *Protein Sci.* 1995;4(11):2411-2423. DOI: <https://doi.org/10.1002/pro.5560041120>
- [17] 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>
- [18] Hu X, Cheng W, Shao Z. Novel autigenic gas foaming hydrogels for preventing coal spontaneous combustion. *e-Polymers.* 2015;15(5):361-368. DOI: <https://doi.org/10.1515/epoly-2015-0156>
- [19] Oh CH, Bae JH, Lee HM. Preparation of porous hydrogels using blowing agents and application to contact lenses. *Polym(Korea).* 2022;46(1):47-55. DOI: <https://doi.org/10.7317/pk.2022.46.1.47>
- [20] Pozuelo J, Compañ V, González-Méjome JM, et al. Oxygen and ionic transport in hydrogel and silicone-hydrogel contact lens materials: an experimental and theoretical study. *J Membr Sci.* 2014;452:62-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.10.010>
- [21] Luensmann D, Jones L. Albumin adsorption to contact lens materials: a review. *Contact lens Anterior Eye.* 2008;31(4):179-187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2008.05.004>
- [22] Ahn J, Choi M. The ionization of polymeric materials accelerates protein deposition on hydrogel contact lens material. *Materials.* 2023;16(5):2119. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16052119>

기포형성제 종류에 따른 다공성 콘택트렌즈의 특성

우철민¹, 이현미^{2,*}

¹한빛안과, 검안사, 대구 41943

²대구가톨릭대학교 안경광학과, 교수, 경산 38430

투고일(2024년 9월 2일), 수정일(2024년 9월 13일), 게재확정일(2024년 9월 20일)

목적: 거품형성제의 종류에 따른 다공성 콘택트렌즈의 특성에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. **방법:** 다공성 하이드로젤은 Hydroxyethyl methacrylate(HEMA), Methacrylic acid(MAA), Styrene의 단량체를 사용하고 거품형성제로서 탄산암모늄과 탄산나트륨을 사용하였다. 콘택트렌즈의 특성 평가를 위해 산소투과성, 습윤성, 흡수율, 기계적강도 등의 물리적 특성과 단백질 흡착성, 항균성을 평가하였다. **결과:** 다공성 콘택트렌즈는 비다공성 콘택트렌즈에 비해 산소투과도, 흡수율, 그리고 단백질 흡착정도는 매우 개선되었으며, 인장강도는 저하되었다. 거품형성제 종류를 비교하면 탄산나트륨은 탄산암모늄보다 산소전달성을 높였으며, 탄산암모늄은 습윤성 향상과 단백질 흡착을 감소하였다. 탄산암모늄은 다른 시료에 비해 항균 효과가 가장 높았다. **결론:** 거품형성제를 사용한 다공성 콘택트렌즈는 하이드로젤 콘택트렌즈에 비해 물리적 특성 향상 및 단백질 흡착저하에 기여하였으며, 거품형성제의 유무와 종류에 영향을 받는 것으로 나타났다.

주제어: 다공성 콘택트렌즈, 하이드로젤, 거품형성제, 산소전달성, 습윤성