

탄닌산과 해조다당류가 포함된 콘택트렌즈의 항산화 특성 분석

안희경[✉] · 이현미[†]

대구가톨릭대학교 안경광학과

(2022년 6월 29일 접수, 2022년 8월 30일 수정, 2022년 9월 13일 채택)

Antioxidant Properties and Characterization of Contact Lenses Containing Tannic Acid and Seaweed Polysaccharides

Hee Gyeong An[✉] and Hyun Mee Lee[†]

Department of Optometry & Vision Science, College of Bio and Medical Science, Daegu Catholic University,
Hayang-Ro 13-13, Gyeongsan, Gyeongbuk 38430, Korea

(Received June 29, 2022; Revised August 30, 2022; Accepted September 13, 2022)

초록: 천연 항산화제인 탄닌산과 해조다당류인 카라기난, 알지네이트를 이용하여 항산화 콘택트렌즈를 제조하여 특성을 평가하고 항산화 지속시간을 개선하고자 한다. 콘택트렌즈는 친수성 단량체들과 탄닌산을 포함하도록 제조하였으며 알지네이트 및 카라기난으로 이중 네트워크화하였다. 탄닌산 함량이 높을수록 항산화성이 증가되었으며, 카라기난과 알지네이트로 이중 네트워크화함으로써 항산화 지속시간이 증가하였다. 탄닌산 함량이 증가할수록 함수율, 산소투과도, 항균효과가 증가하였으며 단백질 흡착이 감소되었다. 탄닌산이 함유된 콘택트렌즈에 해조다당류로 이중 네트워크화함으로써 물리화학적 특성이 개선되고 항산화 지속시간도 연장됨을 확인하였다.

Abstract: This study evaluated the characteristics and improved antioxidant duration by manufacturing antioxidant contact lenses using tannic acid, a natural antioxidant, and carrageenan and alginate, which are seaweed polysaccharides. Contact lenses were prepared to contain hydrophilic monomers and tannic acid and were double-networked with alginate and carrageenan. As the tannic acid content increased, the antioxidant activity increased, and the antioxidant duration was increased by the double-network of carrageenan and alginate. As the tannic acid content increased, the water contents, oxygen permeability, and antibacterial effect increased, and protein adsorption decreased. It was confirmed that the physical and chemical properties were improved and the antioxidant duration was extended by double-network of seaweed polysaccharides in contact lenses containing tannic acid.

Keywords: contact lens, tannin acid, polysaccharide, alginate, carrageenan, double-network.

서 론

콘택트렌즈는 화학적 또는 물리적 가교 결합을 통해 안정적인 3차원 네트워크를 형성하고 있는 그물망 구조의 중합체이다.¹ 최근들어 하이드로젤 콘택트렌즈는 굴절교정 및 미용 목적 이외에 약물 방출에 의한 치료용, 안과 진단용, 그리고 안질환 예방용 등으로 사용 목적이 다양화되고 있다.^{2,3} 따라서 이와 관련된 스마트 콘택트렌즈에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며 관련 시장이 지속적으로 성장하고 있다.⁴

하이드로젤 콘택트렌즈는 물리적, 화학적 특성 조절이 용이하여 원하는 기능 도입이 가능하며 이를 위해 천연 및 합

성 단량체 그리고 고분자를 이용한 고기능성에 대한 연구가 진행되고 있다.⁵

천연 다당류를 이용한 하이드로젤도 생체 의학 및 약학 분야 등에서 많은 관심을 받고 있으며⁶ 천연 다당류를 기반으로 한 하이드로젤은 생분해성, 생체적합성, 자극 반응 특성 및 생물학적 기능과 같은 고유한 특성을 나타내어 여러 가지 분야에 사용되어지고 있다.⁷ 천연 다당류는 생체친화적이고 독성이 낮고 부작용이 적기 때문에 다양한 분야에 많이 사용되고 있으며, 카복실산 및 히드록실기 등의 친수성 작용기를 가지고 있어서 함수성과 흡윤성이 좋아서 콘택트렌즈에 이용되고 있다.^{8,9} 하이드로젤 콘택트렌즈에 주로 사용되는 천연 다당류는 알지네이트, 카라기난, 키토산, 아가로오스, 히알루론산 등이 있다.^{10,11}

해조다당류인 알지네이트와 카라기난 등은 젤성, 흡윤성, 그리고 항균성이 있어서 콘택트렌즈의 기능 향상에 도움이

[†]To whom correspondence should be addressed.
hmlee@cu.ac.kr, ORCID[®]0000-0001-6668-5864
©2022 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

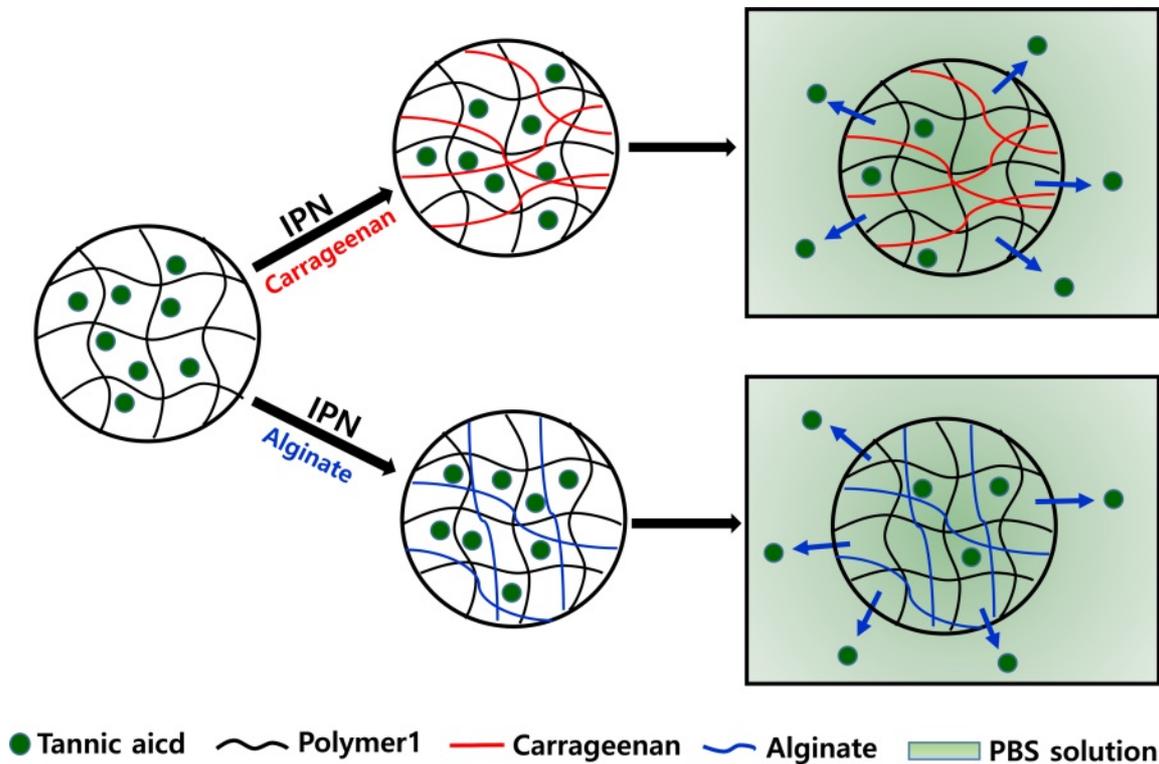


Figure 1. Schematic diagram of tannic acid eluting of contact lenses containing tannic acid and interpenetrating polymer network (IPN) with seaweed polysaccharides.

된다.^{12,13} 하지만 이들 고분자들은 콘택트렌즈 제조 시 친수성 단량체들과 섞임성이 좋지 못하다는 단점이 있다.

콘택트렌즈에 천연 다당류를 적용하기 위해선 상호침투 고분자 네트워크(interpenetrating polymer network, IPN) 방법을 활용한다.^{14,15} IPN은 고분자 블렌드의 한 형태로 하나의 네트워크 구조에 속한 고분자 사슬이 물리적으로 다른 네트워크와 서로 얽혀서 각 네트워크의 구조 분리가 어려운 고분자 혼합구조이다. 따라서 IPN을 사용하여 콘택트렌즈를 제조하면 혼합성이 좋지 않은 다당류를 콘택트렌즈 내부로 침투시킬 수 있고, IPN 구조를 형성하게 된 콘택트렌즈는 서로의 네트워크 특성을 공유하게 되므로 시너지 효과를 창출할 수 있게 된다.^{16,17}

안구는 강한 자외선 노출과 청색광 노출 같은 조건 하에서 활성산소가 비이상적으로 증가되기도 하며 수정체 상피 세포의 사멸 유도 및 염증반응을 야기한다. 콘택트렌즈를 장시간 착용하게 되면, 렌즈 근처에서 생성되는 활성산소가 안구에 축적되고, 시력을 담당하는 황반 주변 세포가 파괴될 수 있다.^{18,19}

최근에는 녹내장, 백내장과 같은 안구 질환의 원인이 될 수 있는 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)들의 생성 및 축적으로 백내장, 녹내장, 황반변성 등의 각종 안질환을 유발하게 된다고 알려져 있다.²⁰

활성산소에 의한 안질환 예방을 위해 천연 항산화제인 퀘르세틴, 갈산, 도파민 등을 이용한 항산화 기능성 콘택트렌즈에 대한 연구들도 있다.²¹⁻²³

활성산소를 제거시켜 주는 항산화제에는 합성 항산화제와 천연 항산화제가 있다. 합성 항산화제의 경우 질병예방과 치료를 위해 개발되었지만 여러 가지 부작용과 독성 문제가 있어서 천연 항산화제에 대한 사용되어지고 있다.²⁴

식물성 폴리페놀 계열의 천연 항산화 물질 중 하나인 탄닌산은 유해산소를 제거하는 항산화 기능과 항균작용, 항바이러스작용, 항종양작용 및 항알러지 등의 건강을 증진시키는 다양한 작용과 기능을 한다.²⁵

지금까지 항산화 콘택트렌즈에 대한 연구는 일부 진행되고 있지만 항산화 물질의 용출 지속시간, 항균 작용 등에 관한 연구는 아직까지 거의 이루어지지 않은 상태이다. 그러므로 콘택트렌즈의 항산화성 뿐만 아니라 항산화 지속시간의 연장 및 콘택트렌즈가 지녀야 할 고산소투과성, 고습윤성 등의 기능을 함께 지닌 고기능성 콘택트렌즈에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 생체적합성이 우수한 천연 항산화제인 탄닌산과 천연 해조 다당류인 카라기난과 알지네이트를 이용하여 용출 속도를 제어하고 항산화 기능의 지속시간을 향상시키고자 한다. 또한 산소투과성 및 습윤성 등 콘택트렌즈의 물리적 특성뿐만 아니라 항균성을 높이고자 한다.

실 험

시약 및 콘택트렌즈 제조. 하이드로젤 콘택트렌즈 제조를 위한 친수성 단량체는 2-hydroxy ethyl methacrylate(HEMA, JUNSEI, Japan), methacrylic acid(MAA, JUNSEI, Japan), *N,N*-methylenebisacrylamide(MBAA, Aldrich, Korea)를 사용하였고, 라디칼을 생성하기 위한 개시제로 2,2-azobisisobutyronitrile (AIBN, JUNSEI)를 사용하였다. 항산화제는 탄닌산(TA, Aldrich)을 사용하였다. 콘택트렌즈의 성능향상을 위해 천연 다당류인 *K*-carrageenan(Aldrich)과 sodium alginate(Aldrich)를 사용하여 IPN화하였다. 또한 IPN을 형성하기 위해 개시제는 ammonium persulfate(APS, Aldrich)를 사용하였다(Figure 1).

콘택트렌즈는 1시간 동안 100 °C에서 주형틀을 이용하여 열중합하였으며 제조에 사용한 단량체의 양은 Table 1에 제시하였다. 콘택트렌즈를 천연 다당류로 이중네트워킹하기 위하여 1% 농도의 카라기난과 알지네이트에 개시제인 APS를 0.3% 넣고 교반 후, 앞서 제작한 렌즈를 24시간 동안 37 °C로 유지하면서 IPN화하였다.

각 시료의 명명 체계는 Figure 2에 제시하였으며 기본 콘택트렌즈를 R, 카라기난과 알지네이트로 IPN화한 콘택트렌즈는 CAR, ALR로 각각 명명하였다. 예를 들어 0.3%의 탄닌산이 포함된 콘택트렌즈를 카라기난으로 IPN화한 경우에는 CA03T로 명명하였다.

콘택트렌즈 성능 평가. 콘택트렌즈 성능은 항산화성, 광투과율, 흡수율, 산소투과율, 습윤성, 단백질 흡착성, 항균성 등으로 평가하였다. 먼저 항산화 기능의 측정은 DPPH 용액 (0.2 mM)의 시간에 따른 라디칼 소거 정도를 UV-vis spectrophotometer(Agilent사(USA), Cary 60 UV-vis)를 통하여 517 nm에서 용액의 흡광도 변화를 측정하여 평가하였다.

Table 1. Percent Composition of Hydrogel Contact Lens (%)

Nomenclature	HEMA	MAA	MBAA	5% AIBN	TA
R	90.0	5	3	2	-
01T	89.9	5	3	2	0.1
03T	89.7	5	3	2	0.3
05T	89.5	5	3	2	0.5

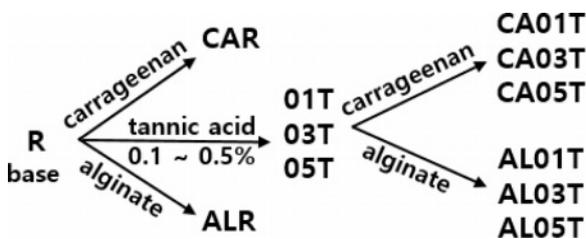


Figure 2. Nomenclature system for manufactured contact lenses.

DPPH 라디칼소거능(%)=

$$100 \times \frac{(\text{최소흡광도} - \text{항산화렌즈의 흡광도})}{\text{최소흡광도}} \quad (1)$$

광투과율은 ISO 기준 가시광선(380 nm-780 nm) 영역에 대한 투과율을 Cary 60 UV-vis를 사용하여 측정하였다.

흡수율은 ISO 18369-4:2017, 안과 광학 콘택트렌즈-4부: 콘택트렌즈 재료의 물리 화학적 특성에 명시된 중량측정법을 사용하였다.

산소투과율은 polarographic method를 사용하였으며, Rehder(USA)사의 201T로 전류 값을 측정하여 Dk/t 값을 계산하였다. 시료의 두께는 low pressure dial-gauge(Mitutoyo사(Japan), VL-50-B)를 사용하여 측정하였고, 사용된 polarographic cell의 곡률반경은 8.7 mm이었다. IPN화하지 않은 콘택트렌즈는 실온에서 PBS에 24시간 수화시켰고, 천연 다당류로 IPN화한 시료는 PBS에 2회 세척한 뒤 눈의 온도와 같은 35±0.5 °C로 최소 1시간 안정화시킨 후 전류 값을 측정하였다.

렌즈의 습윤성 측정은 sessile drop 방법으로 접촉각을 측정하였고, 측정 장비는 Kruss GMBH사의 DSA30을 사용하여 한 시료 당 10초 동안 측정하여 평균하였다.

단백질 흡착성은 분자량이 66.4 kDa인 소 혈청 알부민 (bovine saline albumin, BSA, Aldrich, USA)을 5 mg/mL로 PBS에 녹여서 사용하였다. 녹인 BSA 용액 2 mL와 각 시료를 바이알에 넣고, 37 °C에서 24시간 동안 인큐베이션하여 단백질을 흡착시켰다.

단백질이 흡착된 시료는 PBS로 2회 세척한 뒤, 3% sodium dodecyl sulfate(SDS, Aldrich, USA) 용액에 시료를 넣고 15분간 95 °C로 가열 후 3분간 천천히 교반기로 흔들어 시료에 붙어있는 단백질을 탈착시킨다. 그 후 단백질의 최대 흡수 파장인 280 nm에서 Agilent사의 Cary 60 UV-vis를 사용하여 흡광도 값을 확인하여 콘택트렌즈의 단백질흡착량(Q)을 계산하였다.

$$Q = (C_0 - C_t)V/m \quad (2)$$

$C_0 - C_t$: 단백질의 초기 농도와 24시간 후 용액에 남아있는 단백질 농도의 차

V : 용액의 총 부피

m : 수화된 시료의 질량

탄닌산이 포함된 콘택트렌즈와 천연 다당류로 IPN화한 콘택트렌즈의 항균성을 알아보았다. 균주는 *E. Coli*(ATCC10536)를 한국 미생물 보존센터에서 분양받아 사용하였다. 항균성 실험에 사용된 액체 배지는 증류수 200 mL에 beef 0.6 g, peptone 1 g을 혼합하고 pH를 7.2로 맞춰 멸균 처리하였으며, *E. Coli*는 액체 배지에서 1차 배양 후 사용하였다. 각 시료를

5 mL의 액체 배지가 담긴 바이알에 넣고 배양시킨 *E. Coli* 를 1 μ L 넣어 37 °C에서 3시간 동안 배양한 후 식염수로 10000배 희석하였다. 희석한 용액은 *E. Coli* 3 M Petrifilm™ 건조필름 배지에 도달하고 37 °C에서 24시간 동안 항균시험을 진행하였다.

결과 및 토론

탄닌산이 포함된 콘택트렌즈의 라디칼 소거율. DPPH 방법을 이용한 흡광도 그래프를 보면 517 nm에서 탄닌산이 포함되지 않은 콘택트렌즈 R은 DPPH 용액(0.2 mM)과 흡광도 차이가 거의 없다. 반면 탄닌산이 포함된 렌즈의 경우 탄닌산의 양이 많으면 많을수록 DPPH 용액에 비해 흡광도가 더욱 많이 저하되어 탄닌산이 가장 높게 포함된 05T의 경우 R에 비해 흡광도가 약 0.1 정도로 매우 낮아졌다(Figure 3).

또한 항산화 콘택트렌즈의 활성산소 소거정도를 파악하기 위해 라디칼 소거율을 계산한 결과를 살펴보았다. 이때 300-400 nm 지점에 나타나는 높은 피크 때문에 517 nm에서 흡광도가 0이 될 수 없다. 그러므로 대조군을 설정하여 라디칼 소거율을 계산해야 하는데, 본 연구에서는 3 mL DPPH 용액

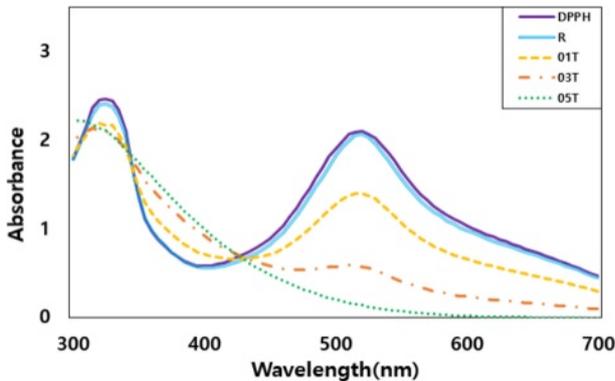


Figure 3. Absorbance of contact lens according to concentration of tannic acid.

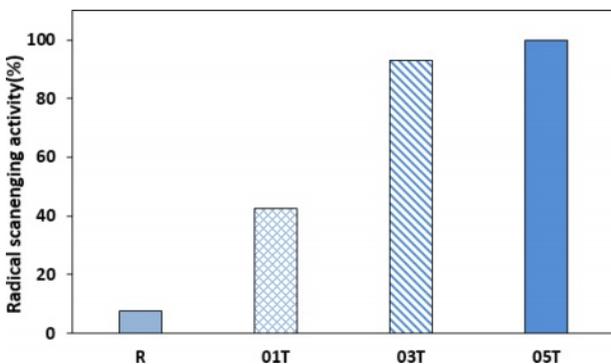


Figure 4. Relative radical scavenging capacities of lenses with tannic acid using DPPH method.

에 1% 탄닌산 원액을 9 μ L 넣고 1시간 경과한 후 측정된 흡광도 값으로 기준점을 잡아 라디칼 소거율을 계산하였다. 탄닌산이 포함되지 않은 렌즈는 라디칼 소거를 거의 하지 못하였고, 탄닌산이 포함된 콘택트렌즈의 경우 탄닌산 함량이 0.1, 0.3, 0.5%일 때 42.61, 93.16, 100% 각각 나타났다. 항산화성의 결과로 탄닌산이 라디칼 소거능력과 항산화성이 우수하며,²⁶ 탄닌산 함량이 많을수록 라디칼 소거율이 더욱 높았다(Figure 4).

IPN 콘택트렌즈의 시간에 따른 항산화성. 천연해조다당류인 카라기난과 알지네이트를 이용하여 IPN화한 콘택트렌즈의 시간에 따른 항산화성을 측정된 결과를 Figure 5(a)와 (b)에 각각 나타내었다. IPN화하지 않은 콘택트렌즈는 탄닌산의 농도가 0.1, 0.3, 0.5%일 때, 항산화 지속시간이 8, 3, 1시간으로 각각 나타났다.

0.1%의 탄닌산을 포함하고, IPN으로 이중 네트워크화된 렌즈의 경우 다당류 종류에 상관없이 48시간 이상으로 항산화가 지속되었다. 반면 탄닌산 농도가 0.3%와 0.5%일 경우에는 항산화 지속시간이 1-3시간 정도이며 시간에 따른 라디칼 소거율이 거의 비슷하였다. 탄닌산 농도가 가장 낮은 0.1%인 렌즈가 탄닌산의 용출이 서서히 지속적으로 이루어지며 오랜

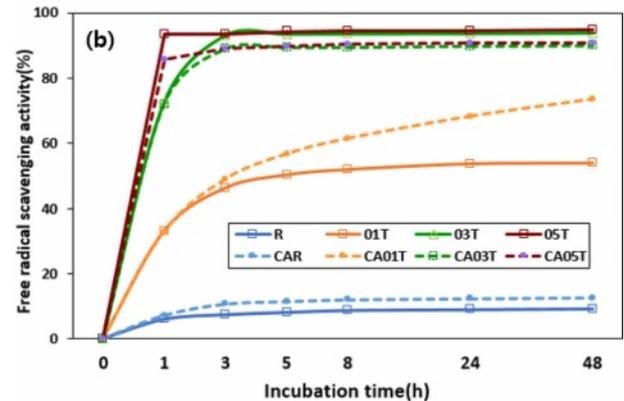
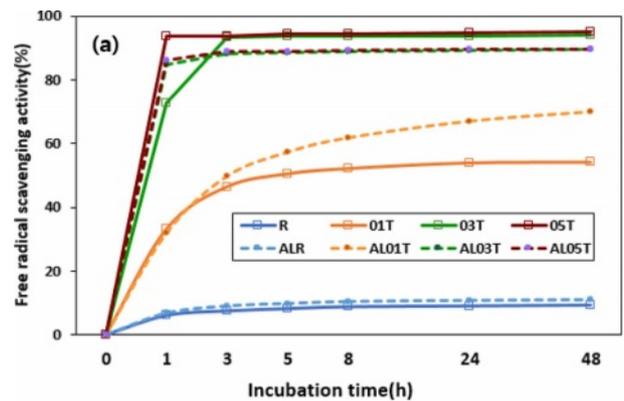


Figure 5. Changes in radical scavenging ability of contact lenses according to tannic acid concentration and seaweed polysaccharide types: (a) carrageenan; (b) alginate.

시간동안 항산화성을 유지하고 있다.

또한 해조 다당류가 네트워크화된 콘택트렌즈의 항산화성을 비교하면, 탄닌산의 농도가 높을수록 라디칼 소거율이 높고, 단시간에 평형 상태에 도달하였으나 탄닌산의 농도가 낮은 렌즈는 초반기엔 라디칼 소거율이 낮지만 시간이 점차 경과함에 따라 지속적으로 라디칼 소거율이 증가하는 것을 확인하였다.

콘택트렌즈 내부에 이중 네트워크를 구성하는 해조다당류인 카라기난과 알지네이트간의 항산화성 차이는 거의 없었다.

천연 다당류로 이중 네트워크화된 콘택트렌즈의 물리적 특성. 광투과율: 광투과율의 경우 탄닌산이 포함되지 않은 콘택트렌즈는 모두 96% 이상의 높은 광투과율을 보였고, 알지네이트와 카라기난으로 IPN화한 렌즈는 IPN화하지 않은 렌즈와 비교하여 투광도 차이는 거의 없었다. 탄닌산 함유량이 높을수록 투광도가 점차 감소하는 경향을 보이긴 했지만 탄닌산의 포함 여부나 IPN 중합 유무에 상관없이 모든 콘택트렌즈의 광투과율이 90% 이상으로 높은 투명도를 보였다 (Figure 6).

흡수율: 흡수율을 측정된 결과, Figure 7에서 보는 바와 같이 탄닌산이 포함된 콘택트렌즈가 그렇지 않은 렌즈에 비해

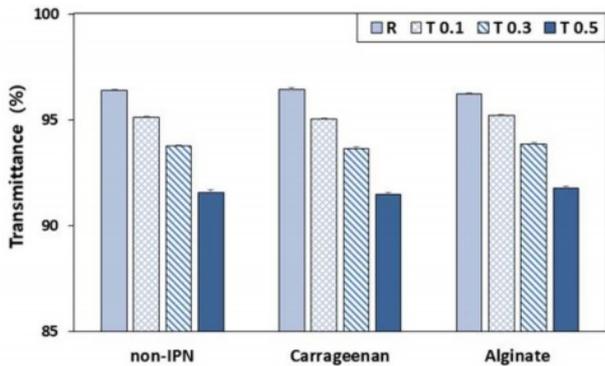


Figure 6. Optical transmittance of dual-networked contact lenses using carrageenan and alginate.

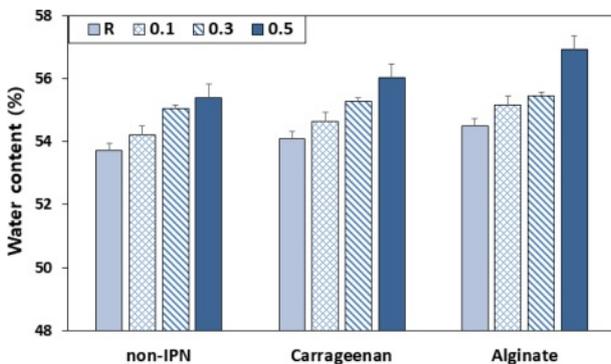


Figure 7. Water content of dual-networked contact lenses using carrageenan and alginate.

흡수율이 높게 나타났다. 탄닌산이 가장 낮은 01T는 54.2%, 탄닌산이 가장 많이 포함된 05T는 55.4%로 탄닌산 함유량이 많을수록 흡수율이 향상되었다. 이는 탄닌산이 친수성이기 때문에 탄닌산 포함 여부와 탄닌산의 함량에 따라 흡수율이 영향을 받게된 것이다.

천연 다당류로 IPN화한 콘택트렌즈는 IPN화하지 않은 렌즈에 비해 흡수율이 향상된 것을 알 수 있었으며, 카라기난 보다는 알지네이트로 네트워크된 렌즈의 흡수율이 약간 더 높게 나타났다. 동일 농도의 탄닌산을 가진 렌즈들을 비교하면 해조 다당류에 의한 흡수율 변화는 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 친수기를 가진 해조다당류가 콘택트렌즈 내부에 추가로 네트워크화되어 내부 공간은 줄어들었지만 친수성 다당류에 의해 흡수율 변화는 거의 없다.²⁷

산소투과율: 콘택트렌즈에서 산소투과도는 각막대사에 중요한 영향을 미치는 물리적 특성으로 렌즈의 성능평가에 중요한 요소가 된다.

콘택트렌즈에 포함된 탄닌산의 함량과 네트워크화에 사용된 다당류 종류에 따른 산소투과도를 측정하여 Figure 8에 제시하였다. 기본렌즈인 R은 산소투과율이 12.2 Dk/t인데 비해 탄닌산이 0.5% 함유된 05T는 14.5 Dk/t로 탄닌산이 포함된 렌즈는 모두 산소투과율이 높았으며 탄닌산의 농도가 증가함에 따라 함께 산소투과율도 향상되었다. 또한 IPN화에 사용된 해조다당류의 종류에 따른 산소투과율을 비교하면, 0.5% 탄닌산이 함유된 렌즈에 카라기난으로 네트워크화된 CA05T는 15.1 Dk/t인데 비해 알지네이트로 네트워크화된 AL05T는 18.9 Dk/t이다. 다른 농도의 탄닌산 함유 렌즈에서도 알지네이트를 사용한 렌즈가 카라기난을 사용하였을 때 보다 약 23-27% 향상된 산소투과율을 나타내었다. 이러한 결과는 친수기를 많이 가지고 있는 탄닌산의 함량이 높을수록 콘택트렌즈의 산소투과율이 높아졌다. 또한 알지네이트와 카라기난 둘 다 친수성 작용기인 하이드록시기(-OH)를 다량으로 함유하고 있지만 알지네이트가 더 많이 함유되고 있기 때문에 흡윤성과 산소투과율이 더욱 증가하는 것으로 나타났다.²⁸

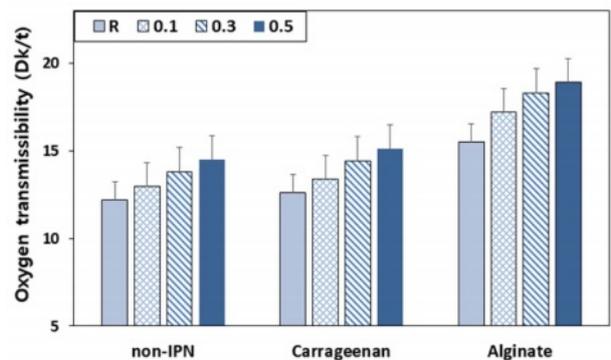


Figure 8. Oxygen transmissibility of dual-networked contact lenses using carrageenan and alginate.

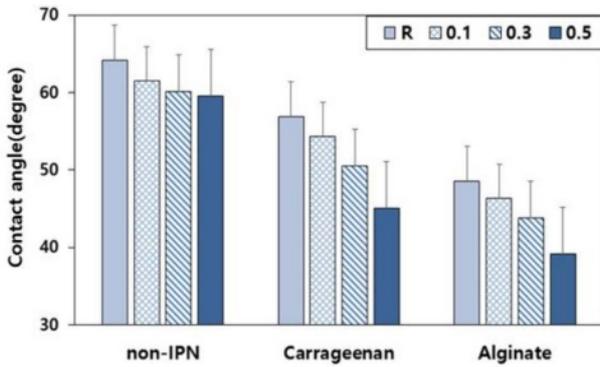


Figure 9. Contact angle of dual-networked contact lenses using carrageenan and alginate.

습윤성: 콘택트렌즈의 습윤성은 접촉각으로 측정되며, 접촉각이 낮을수록 습윤성이 높다. 다당류로 네트워크화하지 않은 콘택트렌즈에 비해 탄닌산이 포함된 콘택트렌즈의 접촉각이 낮았으며 탄닌산의 함유량이 높을수록 더욱 낮아지면서 습윤성이 증가되었다(Figure 9). 해조다당류로 IPN화한 콘택트렌즈는 그렇지 않은 렌즈보다 접촉각이 낮다. 이는 카라기난과 알지네이트는 습윤성이 높은 다당류로 알려진 물질이며 콘택트렌즈에서도 동일한 효과를 나타낼 수 있다는 것을 확인하였다.²⁹ IPN화하지 않은 렌즈에 비해 탄닌산의 농도가 증가할수록 접촉각이 더욱 더 낮아졌다. 해조다당류 종류에 따른 접촉각을 비교하면, 카라기난보다 알지네이트가 네트워크화 되었을 때의 접촉각이 더 낮아졌다. 0.5% 탄닌산이 포함되었을 때의 콘택트렌즈의 접촉각을 비교해 보면, 05T, CA05T, 그리고 AL05T는 69.5, 45.1, 39.2°로 각각 나타났다. 따라서 본 연구에서 진행된 시료 중에서 0.5%의 탄닌산이 포함된 렌즈를 알지네이트로 이중 네트워크화한 시료가 가장 습윤성이 높게 나타났다.

단백질 흡착성: 콘택트렌즈는 각막 위의 눈물층에 놓이기 때문에 눈물의 영향을 많이 받는다. 또한 장시간 렌즈 착용 시 눈물에 포함된 단백질, 지방, 칼슘 등의 침전물이 콘택트렌즈 표면에 침착된다. 일반적으로 하이드로젤 렌즈는 단백질 흡착이 많이 이루어지며 이로 인해 시야흐림 및 산소투과성 등 물리적 특성에 영향을 미치기도 한다.

탄닌산이 포함된 콘택트렌즈는 포함되지 않은 R렌즈에 비해 흡착량이 감소되었다(Figure 10). 탄닌산의 함유량이 높을수록 더욱 더 감소하는 경향성을 가진다. 탄닌산 함유량이 낮은 01T에 비해 높은 함량의 03T와 05T렌즈의 단백질 흡착량이 01T렌즈들에 비해 더욱 더 많이 감소하였다.

카라기난과 알지네이트로 네트워크화한 렌즈에서는 네트워크화 하지 않은 렌즈에 비해 흡착량이 적었다. 이는 음이온성인 카라기난과 알지네이트가 음전하를 띤 BSA 사이의 전하 반발로 인해 단백질 흡착이 감소된 것으로 판단된다.

네트워크화에 사용된 다당류의 종류에 따른 단백질 흡착

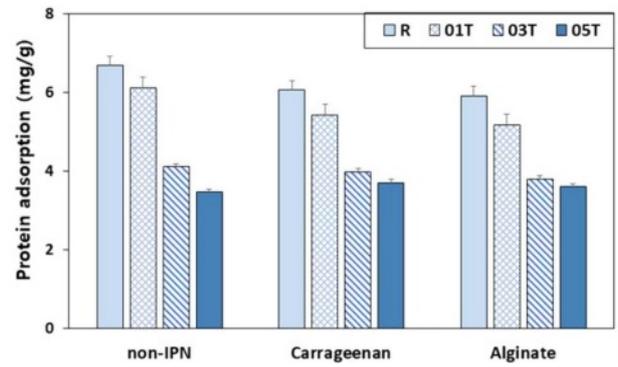


Figure 10. Protein adsorption of dual-networked contact lenses using carrageenan and alginate.

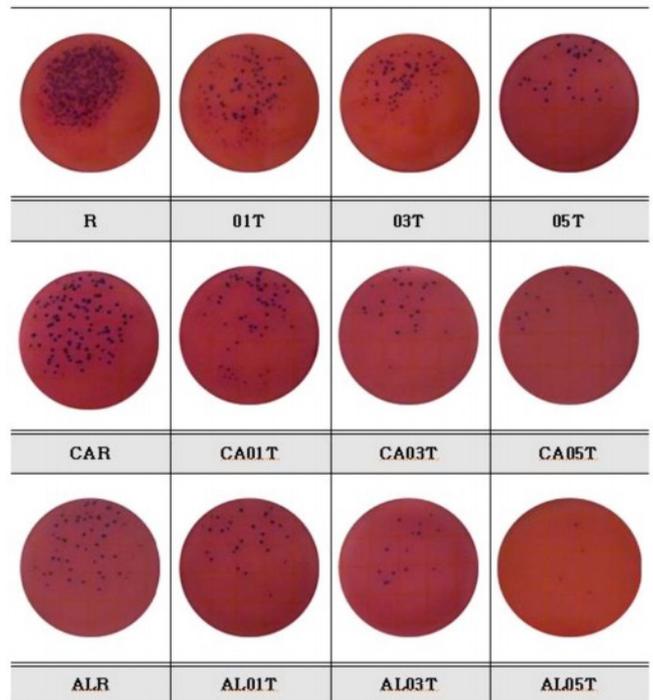


Figure 11. *E. Coli* 3 M Petrifilm™ photograph of samples.

을 비교하면, 알지네이트가 네트워크된 렌즈에서 단백질 흡착량이 좀 더 감소되었다.

항균성: 탄닌산이 첨가되지 않은 렌즈의 항균성을 살펴보면 무수히 많은 균들(too numerous to count, TNTC)이 자란 것으로 보아 항균성이 거의 없었다. 반면 탄닌산이 포함된 렌즈인 01, 03, 05T는 탄닌산의 농도가 높을수록 대장균 발생수가 점차 감소하였다(Figure 11).

카라기난과 알지네이트를 이용하여 IPN화를 진행하였을 때에도 탄닌산의 농도가 높아질수록 균의 수가 더욱 줄어드는 것을 확인하였다. 탄닌산은 항산화제인 동시에 항균성도 가지고 있기 때문에 탄닌산 농도가 증가할수록 항균 효과도 증

가되는 것으로 판단된다.

동일 농도의 탄닌산을 가진 렌즈도 다당류로 IPN화합으로써 대장균의 수가 감소되었다. 이는 탄닌산의 항산화 기능과 해조 다당류인 카라기난과 알지네이트가 자체적으로 가지고 있는 항균성이 더욱 효과를 증대시킨 것으로 볼 수 있다. 알지네이트는 음이온화된 카복실 그룹(-COO)에 의해 발생하는 항균성으로 인하여 *S. aureus* 및 *E. Coli*에 대한 항균 효과를 가지는 것으로 입증된 바 있으며 카라기난도 뛰어난 항균 효과를 가지는 것으로 입증되었다.^{12,30}

천연 다당류의 종류에 따른 항균성을 비교하면 카라기난보다 알지네이트로 네트워크화된 렌즈의 대장균 수가 감소한 것으로 보아 알지네이트가 항균성이 더욱 뛰어나다는 것을 알 수 있다.

결 론

천연 항산화제인 탄닌산이 포함된 콘택트렌즈를 천연 다당류인 카라기난과 알지네이트로 이중 네트워크화된 콘택트렌즈를 제작하였다. 탄닌산이 포함된 콘택트렌즈는 라디칼 소거능이 있었으며, 함량이 높을수록 항산화 효과가 더 크게 나타났다.

또한 탄닌산이 함유된 콘택트렌즈는 천연 다당류인 카라기난과 알지네이트로 이중 네트워크화 과정을 거침으로 콘택트렌즈의 물리적 특성과 생화학적 특성이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글: 본 연구는 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업(No. 2021R1F1 A106332211)으로 연구되었습니다.

이해상충: 저자들은 이해상충이 없음을 선언합니다.

참 고 문 헌

- Singh, S. K.; Dhyani, A.; Juyal, D. Hydrogel: Preparation, Characterization, and Applications. *J. Pharm. Innov.* **2017**, *6*, 25-32.
- Song, S. C.; Jo, J. K.; Jeon, C. S. Drug Delivery Technology Using Hydrogel. *NICE.* **2010**, *28*, 171-177.
- Hoffman, A. S. Hydrogels for Biomedical Applications. *Adv. Drug Deliv. Rev.* **2012**, *64*, 18-23.
- Kim, J. H.; Park, J.-U. Recent Advances in Smart Contact Lenses. *Adv. Mater. Technol.* **2020**, *5*, 1900728.
- Wang, K.; Hao, Y.; Wang, Y.; Chen, H.; Mao, L.; Deng, Y.; Chen, J.; Yuan, S.; Zhang, T.; Ren, J.; Liao, W. Functional Hydrogels and Their Application in Drug Delivery, Biosensors, and Tissue Engineering. *Int. J. Polym. Sci.* **2019**, *2019*, 3160732.
- Kumari, M.; Chauhan, G. S. Adsorption Capacity, Kinetics, and

- Mechanism of Copper(II) Uptake on Gelatin Base Hydrogels. *J. App. Polym. Sci.* **2011**, *119*, 363-370.
- Thakur, V. K.; Thankur, M. K. Recent Trends in Hydrogels Based on Psullium Polysaccharide: A Review. *J. Clean. Prod.* **2014**, *82*, 1-15.
- Lee, H. M.; Kim, J. K.; Cho, T. S. Antimicrobial Hydrogel Contact Lens Containing Alginate. *B. Korean Chem. Soc.* **2011**, *32*, 4239-4243.
- Liu, Y.; Duan, L. J.; Kim, M. J.; Kim, J. H.; Chung, D. J. In situ Sodium Alginate-hyaluronic Acid Hydrogel Coating Method for Clinical Applications. *Macromol. Res.* **2014**, *22*, 240-247.
- Jayawardena, B.; Pandithavidana, D. R.; Sameera, W. M. C. Polysaccharides in Solution: Experimental and Computational Studies. In *Solubility of Polysaccharides*; Z. Xu, Ed.; IntechOpen: London, 2017; pp 683-789.
- Zhao, Y.; Yan, B.; Wang, Z.; Li, M. Natural Polysaccharides with Immunomodulatory Activities. *Mini-Rev. Med. Chem.* **2020**, *20*, 96-106.
- Ko, N. Y.; Lee, P. H.; Sung, A. Y.; Lee, H. M. Study on Characteristic Changes of Contact Lenses According to Interpenetrating Polymer Network Time and Method Using Seaweed Polysaccharid. *Polym. Korea* **2021**, *45*, 775-782.
- Ko, N. Y.; Lee, H. M. Effect of Ionic Natural Polysaccharides on the Functional Enhancement of Porous Hydrogel Contact Lenses. *Polym. Korea* **2020**, *44*, 625-632.
- Lohani, A.; Singh, G.; Bhattacharya, S.; Verma, A. Interpenetrating Polymer Networks as Innovative Drug Delivery Systems. *J. Drug. Deliv.* **2014**, *2014*, 583612.
- Qadri, M. F.; Malviya, R.; Sharma, P. K. Biomedical Applications of Interpenetrating Polymer Network System. *Open Pharm. Sci. J.* **2015**, *2*, 21-30.
- Ekici, S.; Saraydin, D. Synthesis, Characterization and Evaluation of IPN Hydrogels for Antibiotic Release. *Drug Deliv.* **2008**, *11*, 381-388.
- Sangermano, M.; Cook, W. D.; Papagna, S.; Grassini, S. Hybrid UV-cured Organic-Inorganic IPNs. *Eur. Polym. J.* **2012**, *4*, 1796-1804.
- Yang, J. M.; Kim, H. J.; Cho, B. K. Preparation of Antioxidant Hydrogel Contact Lenses Based on Hindered Amine Light Stabilizer. *Polym. Korea* **2019**, *43*, 694-699.
- Nita, M.; Grzybowski, A. The Role of the Reactive Oxygen Species and Oxidative Stress in the Pathomechanism of the Age-related Ocular Diseases and Other Pathologies of the Anterior and Posterior Eye Segments in Adults. *Oxid. Med. Cell Longev.* **2016**, *2016*, 3164734.
- Nakanishi-Ueda, T.; Majima, H. J.; Watanabe, K.; Ueda, T.; Indo, H. P.; Suenaga, S.; Hisamitsu, T.; Ozawa, T.; Yasuhara, H.; Koide, R. Blue LED Light Exposure Develops Intracellular Reactive Oxygen Species, Lipid Peroxidation, and Subsequent Cellular Injuries in Cultured Bovine Retinal Pigment Epithelial Cells. *Free Radic. Res.* **2013**, *47*, 774-780.
- Yang, J. M.; Kim, H. J.; Cho, B. K. Preparation of Antioxidant Hydrogel Contact Lenses Based on Interpenetrating Hyaluronic

- Acid Network. *Polym. Korea* **2020**, 44, 21-29.
22. Kang, B. M.; Vales, T. P.; Cho, B. K.; Kim, J. K.; Kim, H. J. Development of Gallic Acid-modified Hydrogels Using Interpenetrating Chitosan Network and Evaluation of Their Antioxidant Activity. *Molecules*. **2017**, 22, 1976.
 23. Yang, J. M.; Kim, H. J.; Cho, B. K. Preparation of Antioxidant Hydrogel Contact Lenses Based on Hindered Amine Light Stabilizer. *Polym. Korea* **2019**, 43, 694-699.
 24. Dinte, E.; Vostinaru, O.; Samoila, O.; Sevastre, B.; Bodoki, E. Ophthalmic Nanosystems with Antioxidants for the Prevention and Treatment of Eye Diseases. *Coating* **2020**, 10, 36-50.
 25. Kaczmarek, B. Tannic Acid with Antiviral and Antibacterial Activity as A Promising Component of Biomaterials-A Minireview. *Materials* **2020**, 13, 3224.
 26. Ilhami, G.; Zübeyr, H.; Mahfuz, E.; Hassan, Y. A.-E. Radical Scavenging and Antioxidant Activity of Tannic Acid. *Arabian J. Chem.* **2010**, 3, 43-53.
 27. Ko, N. Y.; Lee, K. M.; Lee, H. M. The Effect of Wettability and Protein Adsorption of Contact Lens by Alginic Acid. *J. Kor. Chem. Soc.* **2017**, 61, 352-358.
 28. Lee, S. B.; Chung, H. Y.; Chung, D. J.; Choe, J. H.; Kim, W. K.; Lee, B. H. Effect of Calcium Alginate Dressings on Wound Healing. *Biomater. Res.* **2009**, 13, 65-69.
 29. Kim, S. J.; Park, S. J.; Kim, S. I. Swelling Behavior of Interpenetrating Polymer Network Hydrogels Composed of Poly(vinyl alcohol) and Chitosan. *React. Funct. Polym.* **2003**, 55, 53-59.
 30. Prasetyaningrum, A.; Utomo, D. P.; Raemas, A. F. A.; Kusworo, T. D.; Jos, B.; Djaeni, M. Alginate/ κ -Carrageenan-Based Edible Films Incorporated with Clove Essential Oil: Physico-Chemical Characterization and Antioxidant-Antimicrobial Activity. *Polymers* **2021**, 13, 353-369.

출판자 공지사항: 한국고분자학회는 게재된 논문 및 기관 소속의
관할권 주장과 관련하여 중립을 유지합니다.