Journal of the Korean Chemical Society
2017, *Vol. 61, No. 6*
Printed in the Republic of Korea
https://doi.org/10.5012/jkcs.2017.61.6.352

알긴산에 의한 콘택트렌즈의 습윤성과 단백질 흡착 효과

고나영[†] · 이경문[‡] · 이현미[†,*]
[†]대구가톨릭대학교 안경광학과
[‡](주)비젼사이언스
(접수 2017. 9. 11; 게재확정 2017. 10. 17)

The Effect of Wettability and Protein Adsorption of Contact Lens by Alginic Acid

Na Young Ko[†], Kyung Mun Lee[‡], and Hyun Mee Lee[†,*]
[†]*Department of Optometry & Vision Science, Catholic University of Daegu, Gyeongsan 38430, Korea.*
[*]*E-mail: hmlee@cu.ac.kr*
[‡]*Vision Science CO. LTD, Daegu 41059, Korea.*
(Received September 11, 2017; Accepted October 17, 2017)

요 약. 하이드로겔 콘택트렌즈의 습윤성 향상과 단백질 흡착량 감소을 위해 천연다당류인 알긴산을 첨가하였다. 하이드로겔 콘택트렌즈는 2-Methacryloyloxyethyl phosphorylcholine(MPC)와 NVP(*N*-Vinyl-2-pyrrolidone)와 같은 다양한 단량체를 이용하여 제작하였다. 알긴산 첨가방법은 초기 혼합 방법과 IPN (Interpenetrating Polymer Network) 방법을 사용하였다. 콘택트렌즈의 특성 평가를 위해 접촉각, 산소 투과도 및 단백질 흡착 량 등을 측정하였다. 산소 투과도와 습윤성 등 물리적 특성이 알긴산으로 IPN으로 처리 한 시료가 IPN으로 처리하지 않은 시료보다 높았다. 단백질 흡착은 알긴산의 첨가에 의해 감소되었고 IPN처리를 통해 더욱 감소되었다. 특히, MPC 및 NVP를 함유한 콘택트렌즈는 단백질 흡착을 상당히 감소시켰다. 따라서 알긴산이 콘택트렌즈의 기능 향상에 미치는 영향을 확인 하였다.

주제어: 알긴산, 습윤성, 산소투과성, 단백질 흡착, IPN

ABSTRACT. The addition of alginic acid, a natural polysaccharide, to improve the wettability and the reduction of protein adsorption of hydrogel contact lenses. Hydrogel contact lenses were manufactured with various monomers such as 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC) and NVP (*N*-Vinyl-2-pyrrolidone). Alginic acid was added by by the initial mixing method and the interpenetrating polymer networks(IPN) method. Properties of contact lens such as contact angle, oxygen permeability, and protein adsorption amount were evaluated. The oxygen permeability and wettability of the IPN-treated alginate samples were higher than those of the samples that were not treated with IPN. The physical properties were improved as the concentration of IPN-treated alginic acid increased. Protein adsorption decreased by the addition of alginic acid and further decreased with IPN. In particular, contact lenses containing MPC and NVP significantly decreased protein adsorption. Therefore, the effect of alginate on the functional improvement of contact lens was confirmed.

Key words: Alginic acid, Wettability, Oxygen permeability, Protein adsorption, IPN

서 론

콘택트렌즈의 사용 빈도수는 지난 수 십 년 동안 급속히 증가하였으며[1] 시력교정용, 노안교정용, 치료용뿐만 아니라 미용의 목적으로 낮은 연령층부터 높은 연령층의 착용이 증가하고 있다. 그러나 착용시간과 착용주기를 지키지 않거나 잘못된 관리 방법으로 인해 눈 건강에 많은 문제점들이 발생하고 있다.[2] 콘택트렌즈는 각막 위 눈물층에 놓여있어 눈물 속 성분에 의해 칼슘, 지방, 단백질 등 많은 침착물이 침전되며,[3] 이들은 착용감 저하, 시력저하, 건성안, 세균감염, 거대유두각막염 등 여러 가지 안질환을 유발시키고, 심할 경우 합병증을 유발시킨다.[4] 특히 단백질 중 구조적 안정성이 낮은 성질의 알부민과 양전하를 띄어 내부적으로 결합력이 강한 성질의 라이소자임이 콘택트렌즈 침전물 중 약 60~90%의 많은 양을 차지하고 있으며[5] 이러한 단백질의 침착으로 인해 습윤성과 산소투과율에 영향을 미치며 단백질의 흡착은 렌즈의 재질이나 물리적 특성에 많은 영향을 받는다.[6] 습윤성은 콘택트렌즈 표면에 누액의 젖음 양상을 결정하여 눈물층 유지를 하며 함수율과 밀접한 관계를 가지고 습윤성과 산소투과율이 낮을 경우 저산소증에 의한 각막부종, 각막지각 소실 등이 있으며, 눈물 층의 변화로 인해 건성안 현

상이 나타날 수 있다.[7] 콘택트렌즈의 물리적 특성으로는 굴절률, 함수율, 습윤성, 광투과율 및 산소투과 등이 요구되며, 이러한 콘택트렌즈의 물리적 특성을 높이기 위해 친수성 물질을 사용한다. 친수성 모노머로는 MPC(2-Methacryloyloxyethyl phosphorylcholine), NVP(*N*-Vinyl-2-pyrrolidone), AA(Acrylic acid), MA(Methacrylic acid) 등이 있으며, 천연 다당류는 알긴산(Alginic acid), 키틴(Chitin), 푸코이단(Fucoidan), 갈락토만난(Galactomannan) 등이 있다.

알긴산(Alginic acid)은 미역, 다시마 등의 갈색 해조류에서 얻어지는 자연 발생적인 음이온 성 중합체로 산소투과성이 좋고 습윤성이 높아지도록 하는 성질을 가진다.[8] 또한 알긴산은 낮은 독성과 면역 반응을 유발하지 않는 것으로 보고되고 있으며,[9] 겔화의 용이성, 생체적합성으로 인해 약물 전달 및 조직공학을 비롯한 광범위한 의료 응용 분아야 많이 사용되고 있다.[10] 하지만 천연 고분자의 사용은 다른 모노머와 잘 섞이지 않고 상 분리를 일으키며, 반응성 및 가공성에 한계를 나타낸다.[11]

MPC(2-Methacryloyloxyethyl phosphorylcholine)는 생체적합성으로 박테리아 부착과 세포부착을 억제시키고 단백질 흡착을 감소시키며, 흡습성을 가지고 있어 표면의 윤활층 형성을 용이하게 하는 것으로 알려져 있다.[12–14] NVP(*N*-Vinyl-2-pyrrolidone) 또한 함수율을 증가 시키며, 단백질 흡착을 억제시켜준다.[15]

고분자 중합시 크게 화학적 결합과 물리적 결합으로 분류되는데 콘택트렌즈의 중합에서는 둘 이상의 서로 다른 모노머 간에 상호 결합으로 전자쌍이 공유되는 화학적 공유결합이 있으며, 물리적 결합은 Interpenetrating polymer networks(IPN)이 있다. Interpenetrating polymer networks 방법은 두 개의 서로 다른 고분자 네트워크 조합으로 구성되어 있으며 이들 사이에는 공유 결합이 없다. 이러한 방식으로 가교 결합된 중합체를 함유하는 물리적 혼합물이 생긴다.[16] IPN은 각각의 개별 네트워크가 개별 속성을 유지함으로 강도 또는 인성과 같은 속성의 시너지 향상이 가능하며, 광범위하게 제어 가능한 물리적 특성을 제공한다.[17,18]

본 연구에서는 천연 생체 고분자인 알긴산을 이용하여 콘택트렌즈 착용시 눈 건강과 직결되는 습윤성과 산소투과율을 높여주며, 단백질 흡착양을 줄여서 콘택트렌즈의 기능을 향상시키고자 하였다.

실험방법

시약 및 시료 제작

본 실험의 주재료인 2-Hydroxyethylmethacrylate(HEMA), 알긴산(Alginic acid), 2-Methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC), *N*-Vinyl-2-pyrrolidone(NVP), 가교제인 Ethylenglycoldimethacrylate(EGDMA)은 Aldrich사 제품을 사용하였으며, 개시제인 2,2-Azobis(isobutyronitrile)(AIBN)은 JUNSEI사의 제품을 사용하였다. 알긴산의 혼합 방법은 두가지 방법으로 진행하였다. 즉, 알긴산을 초기 시료에 첨가하여 중합하는 방법과, 중합 후에 다시 알긴산을 이용하여 2차로 IPN방법을 사용하였다. 실험에 사용 할 시료는 HEMA와 AIBN, EGDMA을 기본 혼합으로 MPC와 NVP, 알긴산을 각각 첨가하여 혼합한 후 캐스트 몰드법(cast mould)으로 100 °C에서 1시간 동안 열중합하였다(*Table* 1). 제작된 시료는 Phosphate-buffered saline(PBS)용액(pH 7.4)에서 24시간 수화시켰다. 알긴산은 dd-H_20에 1%, 3%, 5%의 용액으로 제조하였으며, 각각의 농도에 시료를 담궈 24시간동안 IPN을 실시하였다. 각 시료에 대한 명명은 HEMA를 첨가하였을 경우 H, 알긴산은 A, NVP는 N, MPC는 M으로 명명하였으며, IPN한 알긴산의 농도에 따라 1%는 1, 3%는 3, 5%는 5로 명명하였다. IPN한 각 시료에 대한 명명은 *Table* 2에 나타내었으며 IPN과정을 scheme으로 나타내었다(*Fig.* 2).

물리적 특성 측정

제작된 시료의 함수율(EWC)과 굴절률, 접촉각, 산소투과율을 각각 측정하였으며, 각 측정항목에 대해 한 시료 당 5회 측정한 값을 평균하였다.

굴절률의 측정기준은 ISO 18369-4:2006을 기준으로 하였으며, PBS용액에 24시간 수화시킨 시료를 ABBE Refractometer

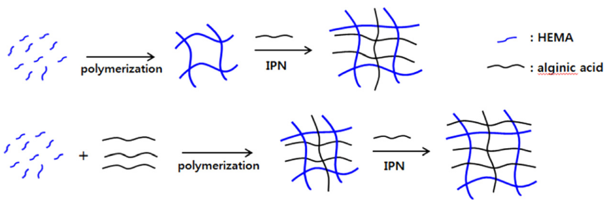

***Figure* 1.** Scheme of the sequential semi-IPN formation for H1(upper) and HA1(lower) sample.

***Table* 1.** Nomenclatures and percent compositions of sample (%)

	HEMA	Alginic acid	dd-H_2O	MPC	NVP	AIBN	EGDMA
H	99.6	-	-	-	-	0.1	0.3
HA	89.6	0.1	9.9	-	-	0.1	0.3
HMN	79.6	-	-	10	10	0.1	0.3
HMNA	69.6	0.1	9.9	10	10	0.1	0.3

***Table* 2.** Nomenclatures of sample after 24 hours IPN process*

Name	Components	Name	Components
H1	H+1% alginic acid	HMN1	HMN+1% alginic acid
H3	H+3% alginic acid	HMN3	HMN+3% alginic acid
H5	H+5% alginic acid	HMN5	HMN+5% alginic acid
HA1	HA+1% alginic acid	HMNA1	HMNA+1% alginic acid
HA3	HA+3% alginic acid	HMNA3	HMNA+3% alginic acid
HA5	HA+5% alginic acid	HMNA5	HMNA+5% alginic acid

*H: HEMA, A: alginic acid, M: MPC, N: NVP, concentration of alginic acid by IPN; 1: 1%, 3: 3%, 5: 5%

(ATAGO DR-A1)을 사용하여 측정하였다.

함수율은 ISO 18369-4:2006의 중량측정법을 사용하였으며 아래 식을 사용하여 함수율을 산출하였다.

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

EWC는 평형상태의 함수율을 나타내고, W_{swell}은 PBS에 24시간 함수된 된 시료의 무게이며 W_{dry}은 오븐에서 16시간 건조된 시료의 무게를 나타낸다. 접촉각 측정은 Kruss GMBH사의 DSA30을 사용하여 24시간 수화 된 시료를 Captive bubble 방법으로측정하였다.

산소투과율(DK/t)은 ISO 18369-4:2006을 기준으로 측정하였으며, 폴라로그래픽 방법으로 Rehder사의 201T를 사용하였다. 사용된 폴라로그래픽 셀(polarographic cell)의 곡률반경은 8.7 mm를 사용하였으며, 35 °C ± 0.5 °C의 온도를 유지하였다.

단백질 정량

단백질은 인간의 알부민과 형상 및 화학적 성질이 유사한 Bovine Sailne Albumin(BSA)로 실험을 하였으며 Aldrich사 제품을 사용하였다. 단백질의 흡착은 BSA를 PBS에 5 mg/ml의 용액으로 제조하여 바이알에 2 ml씩 넣고 각각의 시료를 BSA 용액에 넣어 37 °C에서 24시간동안 incubation하여 단백질을 흡착시킨다. 단백질 흡착된 각 시료를 PBS로 2회 세정 후 Sodium Dodecyl Sulfate(SDS)를 dd-$H_2$0에 3%로 녹인 용액에 넣고 오븐에서 15분간 95 °C로 가열한 후 vortex로 3분간 천천히 흔들어 시료에 붙은 단백질을 탈착시킨다. Agilent사의 Cary 60 UV-vis를 사용하여 흡광도를 측정하였으며, 단백질의 최대 흡수 파장인 280 nm에서 흡광도 값을 확인하였다. 몰 흡광계수 ε은 3.35(mg-cm/g)이며, 단백질 흡착량은 아래 식[19]을 사용하여 계산하였다

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

Q는 단백질 흡착량을 나타내며, V는 용액의 양, C는 단백질 농도, m은 수화된 시료의 무게를 나타낸다.

결과 및 고찰

함수율과 굴절률

알긴산으로 IPN 하기 전의 시료 H, HA, HMN, HMNA에 대해 함수율을 측정하였으며, 각 알긴산의 농도에 따라 시료를 24시간동안 IPN 한 후의 함수율을 구하였다. 각 시료에 대한 함수율은 *Fig.* 2에 제시하였다.

초기 중합 시에도 알긴산을 첨가하지 않았고 추가적인 IPN을 하지 않은 시료인 H의 함수율은 35.9%로 나타났다. HA와 같이 중합 시 알긴산을 넣었을 경우에는 함수율이 38.4%로 H시료에 비해 2.5% 증가하였다. 또한 MPC와 NVP를 첨가한 경우에도 HMN의 함수율은 58.7%인 반면 알긴산으로 추가적인 IPN 한 HMNA는 61.3%로 나타났다. 이와 같은 결과로 보아 알긴산의 첨가는 함수율을 증가시키는데 기여함을 알 수 있었다. 특히 고습윤 단량체인 MPC와 고함수 단량체인 NVP의 첨가는 함수율 향상에 크게 기여함을 알 수 있다.

알긴산 농도별로 IPN한 결과 H1의 시료가 37.48%로 가장 낮은 함수율을 나타내었고, HMNA5의 함수율이 61.61%로 가장 높게 나타났다.

알긴산을 초기에 첨가한 시료와 IPN를 거친 시료 모두 함수율의 변화는 거의 없었다. 그러나 MPC와 NVP가 포함된 시료와 그렇지 않은 시료에서는 많은 함수율의 차

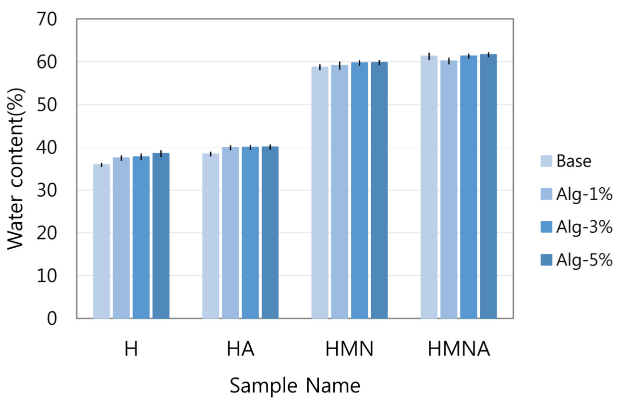

***Figure* 2.** Water contents distribution of sample.

이가 있다. 이는 고함수 단량체인 NVP와 고습윤 단량체인 MPC가 포함됨으로써 함수율이 크게 향상되었으며, 상대적으로 알긴산에 의한 함수율의 변화는 낮은 것으로 나타났다.

기본 HEMA인 시료 H의 굴절률은 1.435로 나타났으며 알긴산을 첨가한 HA의 굴절률은 1.433으로 시료 H의 굴절률보다 낮게 나타났다. MPC와 NVP를 첨가한 시료 HMN의 굴절률은 1.399으로 나타났고, HMN에 알긴산을 첨가한 HMNA의 굴절률은 1.384로 가장 낮게 나타났다. MPC와 NVP의 첨가로 인해 굴절률은 현저하게 감소되었으며, 알긴산 첨가에 의한 굴절률은 감소되는 경향을 보였으나 큰 변화는 없었다. 굴절률과 함수율의 결과 값을 살펴보면 반비례 관계에 있음을 알 수 있다. 치환율이 높은 가교결합에서는 밀도가 높아짐으로 인해 팽윤현상이 거의 없다고 보고되며[20] 따라서 굴절률이 가장 높은 시료 H에서 가장 낮은 함수율이 나타난 것임을 알 수 있다. 시료 H를 IPN 한 시료의 굴절률은 알긴산 농도를 1%에서 5%로 변화시 거의 변화 없었으며, IPN 한 시료 HA도 알긴산 농도가 1%에서 5%로 변화시에 거의 변화가 없었다. MPC와 NVP가 포함된 시료인 HMN을 알긴산에 1%에서 5%로 IPN 하였을 때 굴절률은 MPC와 NVP가 포함되지 않은 H에 IPN한 시료의 굴절률 보다 0.044에서 0.055의 차이로 감소하였고, 알긴산에 IPN을 하지 않은 H와 HMN의 차이는 0.036으로 알긴산에 IPN을 하였을 때의 굴절률이 더 감소하였다. 모든 시료에서 IPN을 하지 않은 시료 보다 약간 감소하는 경향성은 보이나 감소폭이 매우 적었다(*Table* 3).

습윤성

습윤성은 콘택트렌즈를 착용 시 눈의 편안함을 결정하는 요인으로 접촉각을 통해 알 수 있으며, 접촉각이 클수록 소수성을 나타내고 접촉각이 작을수록 친수성을 나타낸다. 본 연구에서는 액체 속에 있는 시료 아래로 공기 방울을 주입하여 액체와 고체 사이의 접촉각을 측정하는 방식인 captive bubble method[21]을 사용하여 습윤성을 알아보았으며, 1%, 3%, 5% 알긴산에 24시간 IPN 한 시료의 접촉각을 *Fig*. 3에 나타내었다.

HEMA로만 이루어진 시료인 H의 접촉각은 48.4°로 가장 높게 나타났으며, 알긴산이 포함된HA는 45.7°, MPC와 NVP가 포함된 HMN과 HMNA는 37.8°와 36.5°로 각각 나타났다.

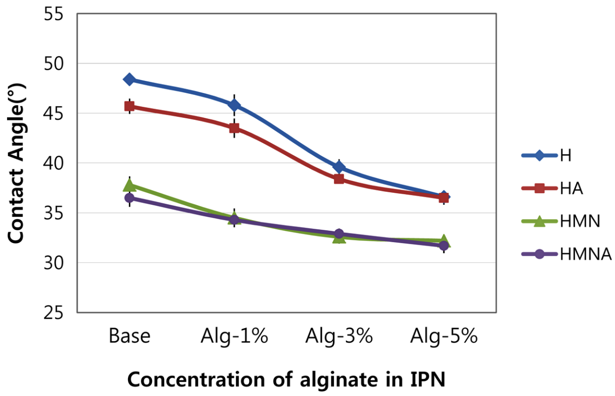

***Figure* 3.** Contact angle of sample.

H와 HA 그리고 HMN와 HMNA를 비교했을 때 알긴산이 첨가된 시료의 접촉각이 낮아졌으며, 고함수성과 고습윤성을 지닌 MPC와 NVP를 첨가한 HMN와 HMNA는 H와 HA보다 접촉각이 약 10° 가량 낮아졌다. 또한 함수율이 가장 높은 HMNA의 접촉각이 가장 낮게 나타났으며, 이는 함수율이 높을수록 습윤성이 증가한다는 기존 연구와 일치함을 알 수 있었다.[22]

IPN 하였을 때와 IPN하지 않았을 때의 접촉각을 알긴산 농도에 따라 비교하였다. H보다 H1의 접촉각은 5.4% 감소하였고 H5는 27.3% 만큼 감소하였다. HA의 접촉각에 비해 HA1은 4.8%, HA5는 20.1% 감소하였다. 한편 HMN의 접촉각은 알긴산 농도에 따라 최소8.7%에서 최고 14.6% 감소하였으며 HMNA의 접촉각의 경우에는 알긴산의 농도에 따라 HMNA1는 5.5%, HMNA5는 13.2%로 각각 나타났다. 본 연구에 사용한 시료 중에서 HMNA5는 접촉각이 31.7°로 가장 낮은 값을 나타냄으로써 습윤성이 가장 좋다는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 습윤성을 가진 MPC와 알긴산이 함량이 증가됨으로써 콘택트렌즈의 표면에 윤활층 생성하고[14] 알긴산의 농도가 증가 됨으로 써 접촉각의 감소가 더욱 두드러진 것으로 본다. 또한 알긴산의 보습 특성이 하이드로겔의 표면에 충분한 막을 형성하여 표면 안정화가 이루어지며,[23] IPN 시 알긴산의 농도가 증가함에 따른 함수율의 증가로 접촉각이 낮아지는 것으로 판단된다.

***Table* 3.** Refractive index (RI) of sample

Name	H	H1	H3	H5	HA	HA1	HA3	HA5
RI	1.435	1.434	1.434	1.433	1.433	1.432	1.431	1.431
Name	HMN	HMN1	HMN3	HMN5	HMNA	HMNA1	HMNA3	HMNA5
RI	1.399	1.390	1.380	1.378	1.384	1.383	1.376	1.376

***Table* 4.** Oxygen permeability (OP) of sample Unit : 10^{-9} (cm/sec) (mlO_2/ml×mmHg)

Name	H	H1	H3	H5	HA	HA1	HA3	HA5
OP	5.34	6.78	7.64	8.42	5.43	8.34	8.79	8.82
Name	HMN	HMN1	HMN3	HMN5	HMNA	HMNA1	HMNA3	HMNA5
OP	13.42	14.88	15.21	16.68	15.02	17.10	17.31	17.34

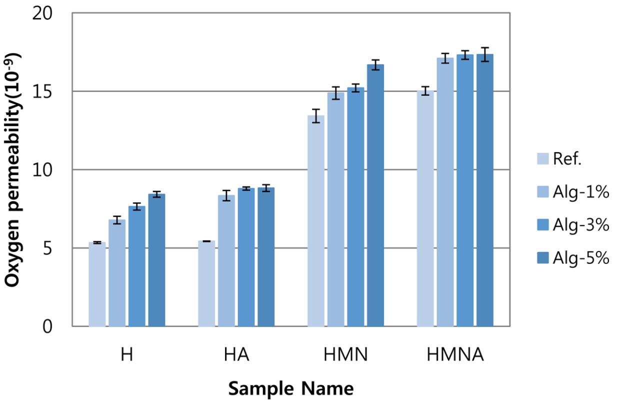

***Figure* 4.** Oxygen permeability of sample.

산소투과율(DK/t)

산소투과율(DK/t)은 콘택트렌즈를 통해 전달되는 산소량을 나타내며 혈관이 없어 대기 중의 산소를 공급받는 각막에 있어서 중요한 물성이다. 산소투과율의 단위는 10^{-9}(cm/sec)(mlO_2/ml×mmHg)이며 측정한 각 시료의 산소투과율(DK/t)은 *Table* 4와 *Fig.* 4에 나타내었다.

알긴산에 IPN 하지 않은 H의 산소투과율(DK/t)은 5.34×10^{-9}로 가장 낮은 산소투과율을 나타냈으며, HA는 5.43×10^{-9}, HMN은 13.42×10^{-9}, HMNA는 15.02×10^{-9}로 나타났다. MPC와 NVP를 첨가한 시료 HMN의 산소투과율(DK/t)이 H에 비해 60.2% 증가 하였으며, 알긴산을 첨가한 시료 HMNA의 산소투과율이 HMN에 비해 10.6% 증가하였다.

IPN 시, 알긴산농도를 1%에서 5%로 증가시켰을 때에 산소투과율의 경우, H1은 21.2%, H5는 36.6%만큼 증가하였고 HA1와 HA5는 34.9%, 38.4%만큼 각각 증가하였다. 또한 HMN1은 9.8%, HMN5는 19.5% 각각 증가하였고 HMNA는 알긴산의 농도 에 따라 12.2%에서 13.4%로 증가되었다. 초기 시료에 알긴산을 첨가하지 않은 시료 H와 HMN은 IPN 하였을 때 알긴산에 농도에 따라 산소투과율은 크게 증가하였으나 초기 시료에서 알긴산이 첨가된 HA와 HMNA은 IPN 하였을 때 알긴산의 농도에 따라 산소투과율이 증가하는 경향을 보였으나 큰 변화는 나타나지 않았다.

본 연구에서 IPN을 하지 않은 시료 중 함수율이 가장 높은 HMNA의 산소투과율이 가장 높은 것으로 보아 산소투과율은 함수율의 영향을 받으며, 함수율이 증가하면 산소투과도 또한 증가함을 알 수 있었다.[24] 따라서 함수율을 증가시키는 알긴산의 첨가가 산소투과율에 영향을 준다고 판단된다.

초기 중합 시 알긴산을 포함한 콘택트렌즈인 HA와 MNNA의 경우 알긴산의 농도를 변화시키면서 IPN과정을 거쳐도 알긴산의 농도가 1%일때에만 산소투과율이 증가하였고 3% 이상에서는 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이것은 알긴산의 농도가 증가되어도 중합체 내부로 알긴산이 더 이상 네크워크를 형성하지 못한 것으로 판단된다. IPN 과정에서 1% 정도의 알긴산은 중합체인 콘택트렌즈 내부로 들어가서 네트워크를 형성하지만 더 이상의 알긴산은 내부로 들어가지 못하고 콘택트렌즈 외부에 흡착된 상태로 존재하기 때문에 알긴산의 농도 증가가 산소투과율에 별 영향을 미치지 못한 것으로 보인다.

단백질 흡착량

콘택트렌즈의 단백질 흡착은 여러 가지 안질환을 유발할 수 있으며[4] 콘택트렌즈의 수분 함량과 산소투과율을 감소시켜 콘택트렌즈의 성능에 심각한 영향을 미칠 수 있다고 보고되었다.[25,26]

본 연구에서는 알긴산을 첨가하여 중합한 시료의 단백질 흡착량과 알긴산의 농도별로 IPN을 한 각 시료의 단백질 흡착량을 알아보았으며, 단백질 흡착량에 대한 결과는 *Table* 5와 *Fig.* 5에 나타내었다.

알긴산에 IPN하지 않은 시료 H, HA, HMN, HMNA의 단백질 흡착량은 각각 10.10 mg/g, 9.84 mg/g, 7.95 mg/g, 7.43 mg/g로 MPC, NVP, 알긴산을 모두 첨가한 HMNA가

***Table* 5.** Amount of protein absorption of sample Unit: mg/g

Name	H	H1	H3	H5	HA	HA1	HA3	HA5
Protein	10.104	7.194	5.459	5.424	9.843	7.148	7.212	5.155
Name	HMN	HMN1	HMN3	HMN5	HMNA	HMNA1	HMNA3	HMNA5
Protein	7.946	6.868	6.356	4.324	7.430	6.463	5.957	4.751

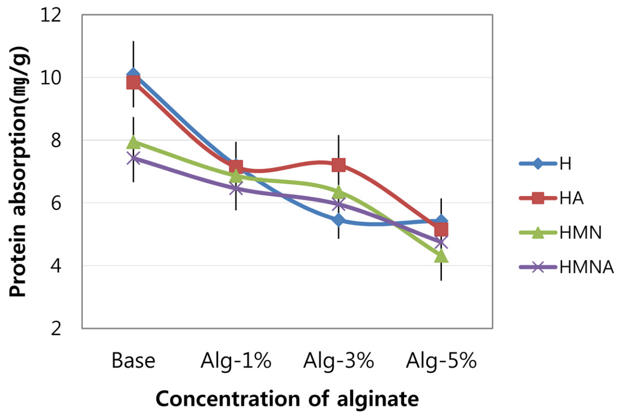

***Figure* 5.** The amount of protein adsorption.

가장 낮게 나타났다. 이는 렌즈의 물리적 특성에 영향을 받음으로[6] 친수성에 따라 단백질의 흡착을 감소시키며[27] 이 등[28]의 연구에서 HEMA와 알긴산을 공중합한 하이드로겔의 단백질 부착이 감소된다는 결과로 본 연구에서도 확인 할 수 있었다.

24시간동안 IPN 한 H의 단백질 흡착량은 1% 알신산 사용 시에는 28.8%, 5% 알긴산을 사용하였을 때에는 46.3%로 크게 감소하였다. HA는 IPN하는 알긴산의 농도에 따라 단백질 흡착량이 27.3%에서 최고 47.6%만큼 감소하였으며 HA5 시료가 가장 감소율이 크게 나타났다. 또한 HMN의 경우, 5% 알긴산으로 IPN하였을때에 45.7%의 단백질 흡착량 감소를 보였으며, HMNA는 36.1%만큼 감소하였다. HA3을 제외한 모든 시료의 단백질 흡착량은 알긴산의 농도가 높아짐에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 일반적으로 단백질은 소수성 표면이 친수성 표면보다 더욱 친화력을 가진다고 알려져 있다.[29] 본 연구에서도 알긴산의 농도에 따라 함수율이 높아지며 접촉각이 낮아짐으로 인해 단백질의 흡착량이 감소되었다는 것을 알 수 있다.

초기에 알긴산을 첨가한 시료에 알긴산 농도를 변화시키며 IPN 과정을 거친 시료의 경우에 산소투과율에는 거의 변화가 없으나 단백질 흡착량과 접촉각에 많은 영향을 주는 이유는 초기에 알긴산을 첨가하였을 때에는 IPN 과정에서 알긴산이 1% 까지만 고분자 중합체인 콘택트렌즈 내부로 들어가고 나머지는 콘택트렌즈 외부에 존재하는 것으로 볼 수 있다. 그리하여 콘택트렌즈 내부 구조에 영향을 많이 받는 산소투과율에는 많은 변화를 보이지 않지만 콘택트렌즈의 외부적 특성인 단백질 부착과 접촉각에는 영향을 준 것으로 파악된다.

결 론

하이드로겔 콘택트렌즈에 알긴산을 첨가하여 물성을 평가하고, 알긴산으로 IPN을 실시하여 알긴산 농도에 따른 물성 변화를 살펴보았다. 초기 시료에 알긴산을 첨가 시에는 콘택트렌즈의 물리적 특성을 약간 향상시켰으며, 단백질의 흡착량은 많이 감소되었다. 2차로 알긴산을 이용한 IPN을 거친 시료는 함수율, 습윤성, 산소투과율은 높아져 콘택트렌즈가 갖추어야 할 특성이 크게 향상되었으며, 단백질의 흡착 또한 감소하였다. 또한 IPN하는 알긴산의 농도가 높을수록 물리적 성질이 향상되었다.

따라서 알긴산이 콘택트렌즈의 기능 향상에 도움이 됨을 확인하였다.

Acknowledgments. 본 연구는 2015~2017년 중소기업정보진흥원 과제로 수행하였다(S2296170).

REFERENCES

1. Bruinsma, G. M.; van der Mei, H. C.; Busscher, H. J. *Biomaterials* **2001**, *22*, 3217.
2. Boost, M.; Poon, K. C.; Cho, P. *Optom. Vis. Sci.* **2011**, *88*, 1409.
3. Brennan, N. A.; Coles, M. C. *Int. Contact Lens Clin.* **2000**, *27*, 75.
4. Lord, M. S.; Stenzel, M. H.; Simmons, A.; Milthorpe, B. K. *Biomaterials* **2006**, *27*, 1341.
5. Keith, D.; Hong, B.; Christensen, M. *Curr. Eye Res*. **1997**, *16*, 503.
6. Garrett, Q.; Laycock, B.; Garrett, R. W. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* **2000**, *41*, 1687.
7. Woodward G. *Optometry Today* **1999**, *2*, 27.
8. Smidsrød, O.; Skjåk-Bræk, G. *Trends Biotechnol.* **1990**, *8,* 7,78.
9. Mumper, R. J.; Huffman, A. S.; Puolakkainen, P. A.; Bouchard, L. S.; and Gombotz, W. R. *J. Controlled Release.* **1994**, *30*, 241.
10. Goh, C. H.; Heng, P. W. S.; Chan, L. W. *Carbohydrate Polymers* **2012**, *88,* 1.
11. Kim, S. J.; Park, S. J.; Kim, S. I. *React. Funct. Polym.* **2003**, *55*, 53.
12. Hirota, K.; Murakami, K.; Nemoto, K.; Miyake, Y. *FEMS Microbiol. Lett.* **2005**, *248*, 37.
13. Lewis, A. L. *Colloids Surf. B.* **2000**, *18*, 261.
14. Goda, T.; Matsuno, R.; Konno, T.; Takai, M.; Ishihara, K. *Colloids Surf. B* **2008**, *63*, 64.
15. Kharas, G. B. *J. Appl. Polym. Sci.* **1988**, *35*, 733.
16. Garcíaa, J.; Ruiz-Durántezb, E.; Valderrutena, N. E. *React. Funct. Polym.* **2017**, *117*, 52.
17. Ignat, L.; Stanciu, A. Advanced polymers: interpenetrating polymer networks. In *Handbook of Polymer Blends and Composite;* Kulshreshtha, A. K., Vasile, C. Eds.; iSmithers Rapra Publishing: **2003**, *3*, 275.
18. Lohani, A.; Singh, G.; Bhattacharya, S. S.; Verma, A. *J. Drug Deliv.* **2014**, *583612*, 11.

19. Gao, B.; Hu, H.; Guo, J.; Le, Y. *Colloids Surf. B* **2010**, *77*, 206.
20. Hennink, W. E.; Talsma, H.; Borchert, J. C. H.; De Smedt, S.C.; Demeester, J. *J. Controlled release.* **1996**, *39*, 47.
21. Cheng, L.; Muller, S. J.; Radke, C. J. *Curr. Eye Res.* **2004**, *28*, 93.
22. Cho, S. A.; Kim, T. H.; Sung, A. Y. *Bull. Korean Chem. Soc.* **2011**, *55*, 283.
23. Park, S. U.; Lee, B. K.; Kim, M. S.; Park, K. K.; Sung, W. J.; Kim, H. Y.; Kim, P. C.; Shim, J. S.; Lee, Y. J.; Kim, S. H.; Kim, I. H. *J. Korean Soc. Plast. Reconstr. Surg.* **2011**, *38*, 733.
24. Nicolson, P. C.; Vogt J. *Biomaterials* **2001**, *22*, 3273.
25. Morgan, P. B.; Efron, N. *Eye & Contact Lens.* **2003**, *29*, 173.
26. Lee, J. Y.; Lee, J. I.; Kim, S. R.; Park, M. J. *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc*. **2017**, *22*, 97.
27. Bae, S. E.; Park, K. D.; Han, D. K. *Biomaterials Research* **2008**, *12*, 167.
28. Lee, H. M.; Kim, J. K.; Cho, T. S. *Bull. Korean Chem. Soc.* **2011**, *32*, 4239.
29. Prime, K. L.; Whitesides, G. M. *Science* **1991**, *252*, 1164.