

Alginate가 포함된 하이드로겔의 물리적 특성

우철민, 허성인, 이현미*

대구가톨릭대학교 안경광학과, 시기능증진연구소, 경산 38430

투고일(2015년 11월 2일), 수정일(2015년 12월 17일), 게재확정일(2015년 12월 22일)

목적: 해조류에서 추출된 알지네이트(alginate)와 염화칼슘(CaCl_2)이 포함된 하이드로겔을 제작하여 물리적 특성을 살펴보고 콘택트렌즈로의 활용성을 파악하고자 한다. **방법:** 하이드로겔 콘택트렌즈의 재료인 2-hydroxyethylmethacrylate(HEMA)와 개시제인 azobisisobutyronitrile(AIBN), 가교제인 ethylenglycoldimethacrylate(EGDMA)를 사용하여 본 실험에 사용할 시료를 필름 형태로 제작하였다. Phosphate-buffered saline(PBS)용액에 24시간 수화시킨 후 1%, 2% 알지네이트와 1%, 3%, 5% 염화칼슘 용액에 각각 24시간씩 interpenetrating polymer network (IPN)을 실행하였으며, 물리적인 특성을 평가하기 위해 굴절률, 흡수율, 접촉각 및 인장강도를 측정하였다. **결과:** IPN후 필름의 물리적 특성을 측정한 결과 흡수율은 30.89~36.89%, 굴절률은 1.434~1.441, 접촉각은 62.98~80.45°, 인장강도는 2.378~4.215 (gf/mm^2)로 각각 나타났다. 또한 알지네이트의 함량이 증가함에 따라 물리적 특성 변화가 거의 없었으며, 염화칼슘의 함량이 증가함에 따라 흡수율은 감소하는 경향을 나타냈다. IPN 결과, HEMA를 기본으로 하는 콘택트렌즈에 비해 흡수율 및 접촉각은 감소하였으나 인장강도는 증가하는 것으로 나타났으며 1차 IPN보다는 2차 IPN에서 인장강도가 높은 것으로 나타났다. 염화칼슘을 포함하는 하이드로겔의 경우, 24시간 중합한 시료 및 2% 알지네이트와 2차 IPN한 시료에서는 염화칼슘의 함량이 증가하면 접촉각이 감소하는 것으로 나타났다. **결론:** 염화칼슘의 농도 증가는 하이드로겔 필름의 인장강도를 증가시킨다. 알지네이트와 염화칼슘이 포함된 하이드로겔은 콘택트렌즈로서의 기본적인 물리적 특성을 가지고 있으며 앞으로 콘택트렌즈 소재로 활용할 가능성이 충분히 있음을 확인할 수 있었다.

주제어: 알지네이트, 하이드로겔, IPN, 접촉각, 흡수율, 인장강도

서 론

고도화된 정보화 사회의 발달과 스마트폰의 보급으로 인해 눈의 부담이 가중되고, 미용 등 외모에 관심이 늘어남에 따라 콘택트렌즈 사용자의 증가와 더불어 눈 건강에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러나 하이드로겔 콘택트렌즈 착용에 의한 안질환의 발생^[1,3]과 각막의 두께변화,^[2,4] 저산소증에 의한 각막곡률의 변화 및 시력의 변화^[3,5] 등과 같은 문제점들도 대두되고 있다.^[1-5] 이에 콘택트렌즈 사용자들에게 보다 좋은 착용환경을 제공하기 위해 물성의 향상^[6], 치료용 렌즈, 항균성^[7,8], 칼라렌즈의 특성^[9] 등 많은 연구들이 이루어지고 있다. 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해 산소투과율이 높은 silicone hydrogel 재질의 렌즈 사용이 증가하고 있다.^[10] 산소투과성은 눈 건강에 미치는 영향이 크므로 고 산소투과성을 가지는 콘택트렌즈 재질에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이와 더불어 산소투과성과 매우 밀접한 관계가 있는 흡수율에

대한 연구도 함께 진행되고 있다. 산소투과성(Dk)은 콘택트렌즈의 두께 변화에 따라 각막에 전달되는 산소의 양이 변화되기 때문에 임상에서는 산소투과성(Dk)을 렌즈의 중심 두께로 나눈 값인 산소투과성(oxygen transmissibility; Dk/t)이 더 중요한 의미를 갖는다. Dk/t가 높을수록 각막에 전달되는 산소량이 높아지면서 저산소증의 위험성을 감소시킨다. 산소투과율을 높이기 위해 두께를 얇게 제작하면 렌즈의 관리 및 내구성 문제가 발생하므로 이를 해결할 수 있는 탄력성 있는 재질 개발이 필요하다. 해조류에서 추출되는 알지네이트는 다당류로서 칼슘이온과 반응하여 egg-box를 형성하며 탄력성이 매우 증가되는 특징을 지니고 있으며, 알지네이트와 polyacrylamide(PAA)의 두 고분자를 결합시켜 고탄력성의 새로운 고분자를 합성하여 물리적 특성을 연구한 결과 약한 결합을 하던 각기 다른 두 고분자가 결합하면서 매우 탄력성이 뛰어난 고분자로 되었다.^[11] 알긴산(Fig. 1)은 병원에서 상피세포와 육아조직의 손상을 막아주도록 알지네이트 드레싱으로 사용될 만큼

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

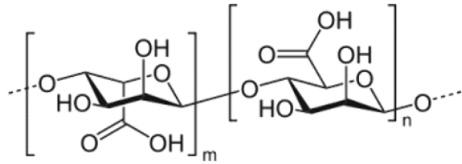


Fig. 1. Structure of alginate.

산소투과성이 좋으며 젤 상태를 형성하면서 습윤성도 높아지도록 하는 성질이 있다. 알지네이트는 젤성을 높이기 위해 egg-box구조로 만들어야하며 이러한 칼슘-알지네이트 상태는 여러 가지 전해물질들에 의해 결합되면서 반대 전하의 다중 인력으로 만들어진 하이드로젤을 이온성 하이드로젤 이라고 한다.^[12] 알지네이트와 HEMA를 공중합한 하이드로젤의 항균성과 단백질 부착이 감소된다는 연구도 있으며,^[13] 혈관 폐색증 치료를 위해 알지네이트에 Ca²⁺을 도입한 연구 사례도 있다.^[14] 하이드로젤에 알지네이트와 염화칼슘을 이용한 IPN중합을 통하여 하이드로젤의 물리적 화학적 강도를 향상시키고 이를 이용해 약물 전달 매개로 이용이 되고 있다.^[15] 또한 알지네이트와 polyacrylonitrile을 이용한 연구에서는 압축강도와 탄성을 포함한 기계적 특성이 최대 50배가량 향상되었다는 연구도 있다.^[16] 지금까지 알지네이트에 대한 연구는 많이 진행되어 왔지만, 주로 의료공학용 하이드로젤에 대한 연구가 이루어졌으며 콘택트렌즈에 적용하는 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 해조류에서 추출된 알지네이트와 염화칼슘이 함유된 하이드로젤을 중합하여 함수율, 굴절

력, 접착각 및 인장강도 등의 물리적 특성을 평가하여 콘택트렌즈로서의 가능성을 확인해보고자 한다.

대상 및 방법

1. 시약 및 시료제작 방법

본 실험의 주재료인 2-hydroxyethylmethacrylate(HEMA), 알지네이트, 가교제인 ethylenglycoldimethacrylate(EGDMA), 그리고 염화칼슘은 모두 Aldrich사 제품을 사용하였으며, 개시제인 azobisisobutyronitrile(AIBN)은 JUNSEI사의 제품을 사용하였다. 실험에 사용 할 필름은 HEMA에 AIBN, EGDMA를 혼합하여 0.5 mm 두께의 실리콘 몰드에 주입하여 제작하였다(AIBN 0.3%, EGDMA 0.1%). 중합은 80°C에서 1시간 100°C에서 1시간 동안 열중합하였다. 제작된 필름은 phosphate-buffered saline(PBS)용액(pH 7.4)에서 24시간 수화시킨 후 가로 0.5 cm, 세로 1.5 cm 크기로 잘라 실험에 사용하였다. 알지네이트 용액은 dd-H₂O를 이용하여 각각 1%, 2%의 용액으로 제조하였으며, 염화칼슘 용액은 1%, 3%, 5%의 용액으로 제조하였다. HEMA와 AIBN, EGDMA를 사용하여 제작된 필름을 알지네이트와 염화칼슘 용액에 각각 24시간에 걸쳐 1차 IPN을 실시하였다. 그리고 1%와 2% 알지네이트 용액으로 24시간 1차 IPN을 마친 시료는 PBS 용액으로 표면을 세척한 후 다시 염화칼슘 1%, 3%, 5% 용액에 각각 24시간씩 2차 IPN으로 각각 실시하였으며, 각 시료에 대한 명명과 IPN방법을 Table 1에 나타내었다. IPN 과정은 Fig. 2에 도식화시켰다.

Table 1. Nomenclatures and IPN process of samples

1st IPN		2nd IPN	
name	components	name	components
HEMA	HEMA	A1C1	HEMA+1.0% alg+1.0%CaCl ₂
A1	HEMA+1.0% alginate	A1C3	HEMA+1.0% alg+3.0%CaCl ₂
A2	HEMA+2.0% alginate	A1C5	HEMA+1.0% alg+5.0%CaCl ₂
C1	HEMA+1.0% CaCl ₂	A2C1	HEMA+2.0% alg+1.0%CaCl ₂
C3	HEMA+3.0% CaCl ₂	A2C3	HEMA+2.0% alg+3.0%CaCl ₂
C5	HEMA+5.0% CaCl ₂	A2C5	HEMA+2.0% alg+5.0%CaCl ₂

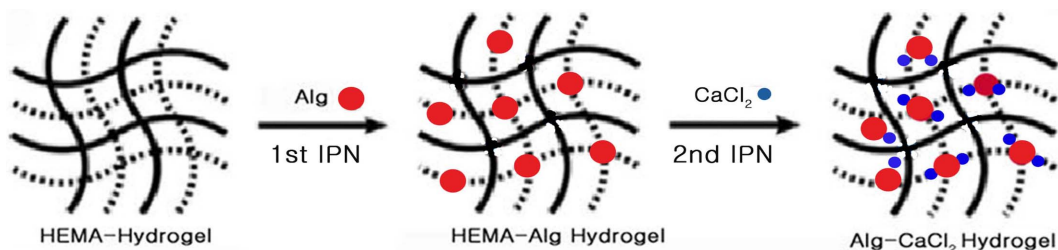


Fig. 2. The scheme of IPN process.

2. 측정기기 및 측정

제작한 필름은 PBS 용액에서 24시간 수화시킨 후 렌즈 표면의 물기를 제거한 다음 함수율, 굴절률, 인장강도, 접촉각을 각각 측정하였다. 각 측정항목에 대해 시료 당 10회 측정한 값을 평균하였다.

함수율 측정은 ISO 18369-4:2006의 gravimetric method (중량측정법)를 사용하여 아래 식을 사용하여 계산하였다.

$$W_{H_2O} = \frac{m_{hydrate} - m_{dry}}{m_{hydrated}} \times 100$$

위 식에서 W_{H_2O} 는 평형상태의 함수율을 나타내고, $m_{hydrated}$ 는 24시간 수화된 상태의 시료무게이며 m_{dry} 는 16시간 건조상태의 시료를 나타낸다. 굴절률 측정은 ISO 18369-4:2006을 기준으로 Abbe Refractometer(DR-A1, ATAGO, JAPAN)를 사용하여 24시간 동안 수화된 시료를 측정하였다. 시료의 접촉각 측정은 Goniometer OCA20(Data physics Instruments Ltd, Germany)을 사용하여 100°C에서 24시간 동안 평편하게 건조시킨 후 Sessile drop method로 측정하였다.

인장강도 측정은 PBS 용액에 24시간 수화시킨 0.5×1.5 cm의 시편을 이용하여 만능시험기(OTT-001, ORIENTAL, KOREA)를 이용하여 측정하였다. 인장강도는 시료의 양끝을 고정시킨 상태에서 잡아당겨서 시료가 파단이 날 때까지 가해진 힘을 시료의 단면적으로 나눈 값으로 구하였다. 결과에 대한 유의성 검증을 위해 SPSS 18.0을 사용하여 ANOVA test로 처리 하였으며, 95%신뢰구간에 대한 $p < 0.05$ 에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 함수율과 굴절률

HEMA를 주 재료로 제작된 하이드로겔 필름에 IPN중합 방법으로 알지네이트와 염화칼슘을 추가로 결합시킨 다음, IPN중합 용액의 종류 및 순서에 따른 함수율을 구하였으

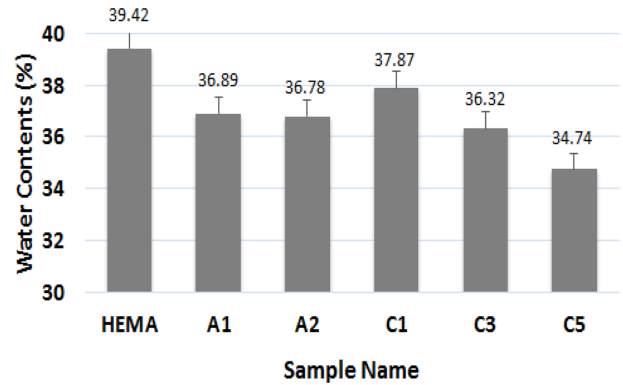


Fig. 3. Water contents of hydrogel (1st IPN).

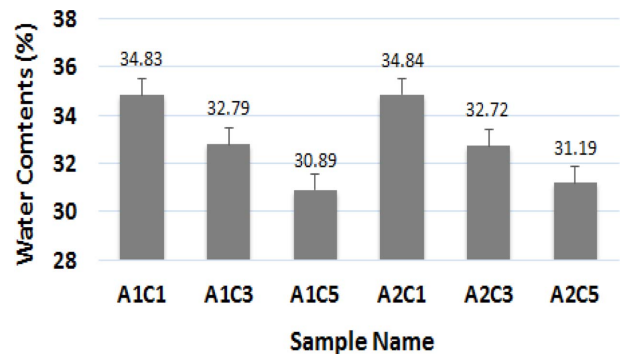


Fig. 4. Water contents of hydrogel (2nd IPN).

며 함수율의 변화량을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었으며, 굴절률은 Table 2에 제시하였다.

시료의 구성비에 따른 변화를 보면, 1%, 2% 알지네이트에 24시간 동안 1차 IPN된 시료를 측정한 결과 함수율이 36.89~36.78% ($0.11 \pm 0.41\%$, $p=0.705$)로 나타나 거의 변화가 없었다. 또한 1%, 3%, 5% 염화칼슘 용액에 24시간 IPN된 시료에서는 36.87~34.74%로 염화칼슘 함량 증가에 따른 함수율은 염화칼슘 1%에서 3%로 증가하면서 ($1.55 \pm 0.23\%$, $p < 0.000$), 3%에서 5%로 증가하면서 ($1.57 \pm 0.27\%$, $p < 0.000$)으로 통계적으로 유의한 감소가 나타났다. 한편 1%, 2% 알지네이트 용액을 이용하여 1차 IPN된 시료를

Table 2. Refractive index of hydrogel

2nd IPN						
object	A1C1	A1C3	A1C5	A2C1	A2C3	A2C5
ref.index. (ave)	1.434	1.439	1.441	1.436	1.439	1.436
SD	± 0.00084	± 0.00123	± 0.00464	± 0.00084	± 0.00015	± 0.00171
1st IPN						
object	HEMA	A1	A2	C1	C3	C5
ref.index. (ave)	1.437	1.437	1.438	1.438	1.434	1.438
SD	± 0.00132	± 0.00052	± 0.00181	± 0.00123	± 0.00123	± 0.00067

1%, 3%, 5% 염화칼슘 용액에 2차 IPN한 결과, 1% 알지네이트 용액에 IPN된 시료는 34.83~30.89%로 나타났으며 2% 알지네이트 용액으로 IPN한 시료는 Ca^{2+} 농도가 증가함에 따라 34.84~31.19%로 나타났다. 염화칼슘의 함량 증가에 따라 1차 IPN 결과의 함수율은 2.06~6.0% 감소하였으며 2차 IPN 결과 함수율의 변화는 1.94~5.59% 감소하였다. 감소량은 따라서 염화칼슘의 함량이 증가하면 함수율이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 알지네이트와 염화칼슘의 함량이 증가할수록 함수율은 유의한 수준의 감소가 나타났다($p < 0.000$). 또한 IPN중합 전·후의 굴절률은 Table 2에 제시한 바와 같이 모든 시료에서 1.434~1.441의 값으로 비슷한 값을 가지고 있다. 이러한 결과로 마무리 보아 알지네이트와 염화칼슘의 존재 유무와 함량 증가는 굴절률에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 HEMA를 주재료로 만들어진 하이드로겔 시료에 알지네이트 및 염화칼슘이 만들어진 하이드로겔의 빈공간 사이에 들어가서 고분자 내의 공백이 줄어들게 됨으로써 수분을 흡수할 수 있는 여력이 부족하기 때문에 함수율이 감소한 것으로 볼 수 있다. 각 시료에 대한 굴절력 검사 결과, 알지네이트 및 염화칼슘의 함량 변화에 따른 굴절력의 변화는 거의 없다. 그리고 알지네이트나 염화칼슘으로 1차 IPN한 시료들 간의 굴절력 변화도 없었으며 알지네이트와 염화칼슘 용액에 1차, 2차 IPN을 거친 시료에 대해서도 굴절력 변화가 나타나지 않았다. 치환율이 높은 가교결합에서는 밀도가 높아지고 하이드로겔이 딱딱해지며 팽윤현상도 거의 없다고 보고되고 있다.^[17] 본 연구에서도 기본 HEMA하이드로겔로 구성된 시료에 알지네이트와 염화칼슘을 IPN함으로써 HEMA하이드로겔 내의 공극에 알지네이트와 염화칼슘이 결합되어 기존보다 공극이 줄어들면서 밀도가 높아질 것으로 예상되며 이는 함수율저하 원인을 알 수 있다.

2. 인장강도

인장강도는 렌즈의 내구성을 평가할 수 있는 기준으로서 얇은 두께의 콘택트렌즈를 제작하여 산소공급을 향상시킬 수 있도록 하는 물리적 특성이므로 재료 평가에 있어서 중요한 항목이 된다. 따라서 알지네이트와 염화칼슘을 포함한 시료들의 탄력성 평가를 위하여 인장강도를 측정하였으며 1, 2차 IPN을 거치는 과정에서의 인장강도의 변화를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다.

1%, 2% 알지네이트 용액에서 1차 IPN된 시료에서는 각각 2.812 gf/mm^2 와 2.838 gf/mm^2 의 인장강도로 거의 같은 값을 나타내고 있다. 1%, 3%, 5% 염화칼슘 용액에서 1차 IPN된 시료는 염화칼슘의 함량에 따라 인장강도가 2.378~4.215 gf/mm^2 로 측정되어 Ca^{2+} 함량이 증가하면 인장

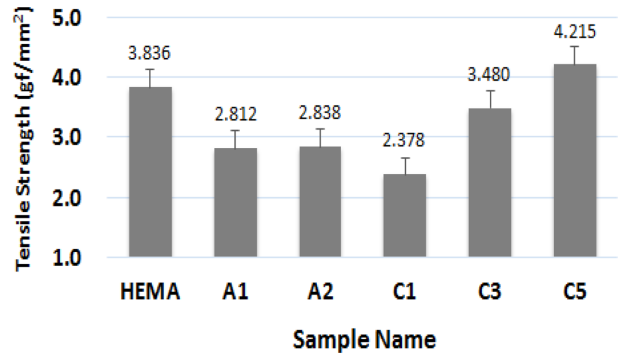


Fig. 5. Tensile strength of hydrogel (1st IPN).

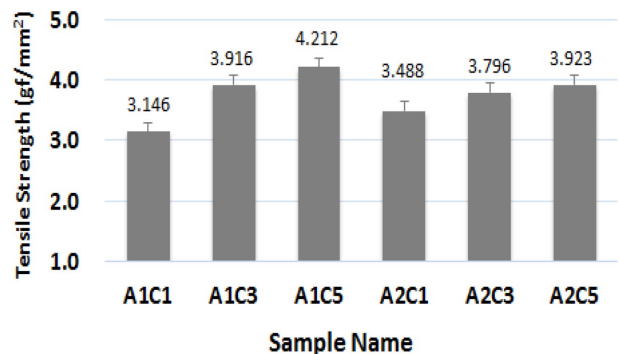


Fig. 6. Tensile strength of hydrogel (2nd IPN).

강도가 46.34~77.25% 가량 증가하는 것으로 나타났다. 1차 IPN에서는 C5를 제외한 나머지 4개의 시료 가운데 A1($1.04 \pm 0.77 \text{ gf/mm}^2$, $p < 0.006$)과 C1(평균 $1.48 \pm 0.69 \text{ gf/mm}^2$, $p < 0.001$)은 기준인 HEMA보다도 인장강도가 통계적으로 유의한 수준으로 낮게 나왔으며, 나머지는 통계적으로 유의한 수준은 아닌 것으로 나타났다. 2차에서는 1% 칼슘이온을 제외하고는 모두 HEMA보다 높았으며, 칼슘이온의 양이 증가하면 인장강도도 함께 증가되는 것으로 나타났다. Fig. 5에 제시된 1차 IPN의 인장강도를 보면 알지네이트 양을 증가시켜도 인장강도는 거의 변화가 없으나 염화칼슘의 농도 변화에 따라서는 인장강도 값이 크게 상승하였다. 이는 인장강도 변화에 알지네이트보다 칼슘이온이 더 많이 기여한 것으로 보인다. 알지네이트 1%와 2%가 각기 포함된 시료를 염화칼슘으로 2차 IPN하였으며 그 값을 Fig. 6에 제시하였다. 알지네이트 용액 1%로 1차 IPN한 시료에 염화칼슘 농도를 1~5%로 변화시켜 2차 IPN한 결과의 인장강도 값을 보면 3.146~4.212 gf/mm^2 로 나타났다. 1% 알지네이트 용액으로 1차 IPN한 시료에서는 칼슘이온 농도의 상승에 따라 인장강도의 변화가 많이 보이나 2% 알지네이트 시료의 경우는 칼슘이온 농도 증가에 따라 인장강도의 증가 폭이 작다. 이는 1차 IPN 중합 시 기존 하이드로겔에 네트워크되어 들어가는 알지네이트 농도 차이 때문일 것이다.

본 연구 결과에서 1차 IPN보다 2차 IPN 과정에서 인장 강도가 더 증가됨을 알 수 있었다. IPN 중합에서 알지네이트와 염화칼슘의 결합에 의해 만들어진 egg-box가 강도 등에 영향을 미치게 된 것으로 생각된다. 알긴산 겔은 알긴산 분자내 카르복실기와 칼슘이온이 결합하여 형성되며, 칼슘이온의 양이 상대적으로 알긴산 내의 결합자리보다 적을 경우에는 칼슘이온이 캡슐화에 참여하지 못한 알긴산 분자에 결합하는 경우가 발생되어 캡슐을 이루고 있는 알긴산 겔의 강도가 상대적으로 약화된다는 보고가 있으며,^[18] 이러한 선행연구에서 알 수 있듯이 IPN과정에서 생성된 겔의 안정화 정도는 인장 강도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3. 접촉각

접촉각은 습윤성을 나타내는 물리적 성질로 친수성(hydrophilic)이 클수록 접촉각은 작아지며, 반대로 접촉각이 커지면 소수성(hydrophobic)에 가깝다. 알지네이트와 염화칼슘의 함량 차이에 따라 IPN 과정에서의 접촉각 변화를 Fig. 7과 8에 나타내었다.

1차 IPN결과, 알지네이트 함량 1%와 2%일 때의 접촉각은 65.19°, 63.19°로 각각 나타났으며 통계처리 결과 2.00±6.66 (p=0.195)값의 차이를 보였다. HEMA 렌즈와 비교하면 알지네이트 1%일 때는 8.8±6.36(p<0.001), 2%일 때는

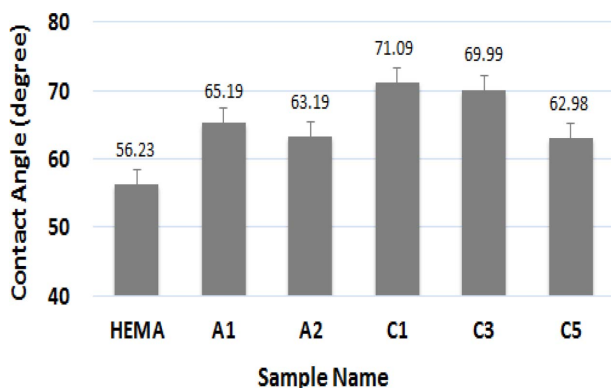


Fig. 7. Contact angle of hydrogel (1st IPN).

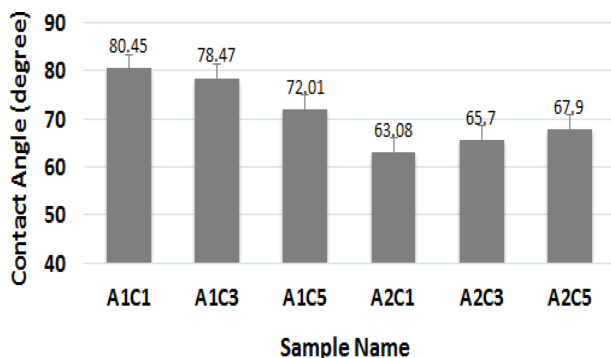


Fig. 8. Contact angle of hydrogel (2nd IPN).

7.7±4.12(p<0.000)의 차이값을 나타내었으며 알지네이트 함량 증가로 접촉각이 감소됨을 알 수 있었다. 또한 염화칼슘의 경우 1%에서 71.09°±4.60이었으나, 3%에서 69.99°±2.31, 5%에서 62.98°±5.19로 1.5~11.4% 증가되었음을 알 수 있었다(p<0.000). 1차에서 1% 알지네이트 용액에 IPN을 시행한 시료를 1%, 3%, 5% 염화칼슘 용액에 2차 IPN을 실시한 경우 80.45°~72.01°로 염화칼슘이 증가함에 따라 2.5~10.5%의 습윤성 향상을 보였다. 그러나 2% 알지네이트 용액에서 IPN을 시행한 시료는 63.08°~67.90°로 염화칼슘이 증가함에 따라 4.15~7.64% 습윤성이 감소하는 것으로 나타났다.

알지네이트의 함량이 증가하면 접촉각 3.1%의 향상을 보였으며, 염화칼슘의 함량이 1%에서 5%로 증가함에 따라 접촉각도 1.5%에서 11.4%의 향상을 보였다. 또한 2차 IPN 결과 1% 알지네이트 용액에서 IPN된 시료는 염화칼슘의 함량 증가에 따라 2.5%에서 10.5%의 향상을 보였지만, 2% 알지네이트 용액에서 IPN된 시료는 염화칼슘의 함량이 증가함에 따라 4.15%에서 7.64%의 감소를 보여준다. 하지만 A2C1에서 A2C5의 시료에서 다른 시료들에 비해 양호한 습윤성을 보여준다. 앞서 언급한 친수성 고분자인 알지네이트와 염화칼슘에 의해 만들어진 겔이 내부적으로는 공간의 제약으로 인해 불안정한 상태의 겔이 만들어져 외부적으로도 하이드로겔 표면에 충분히 막을 형성하지 못하여 표면 안정화가 이루어지지 않아 접촉각이 증가하는 것으로 나타났다.

결론

하이드로겔에 알지네이트와 염화칼슘으로 1차, 2차 IPN을 실시하여 알지네이트의 농도와 염화칼슘의 농도에 따라 렌즈의 물성 변화를 살펴보았다. 변화된 물성의 분석 결과, HEMA하이드로겔에 비해 콘택트렌즈로서 갖추어야할 특성들이 2차 IPN을 거치면서 함수율은 감소하고 굴절률은 변함 없었다. 인장강도는 1차 IPN보다는 2차 IPN을 통해서 더욱 향상되었다. 습윤성은 IPN 과정을 거치면서 알지네이트와 칼슘이온이 추가되고 고분자 네트워크가 조밀하게 이루어져 습윤성이 오히려 감소됨을 알 수 있었다. 본 연구의 결론은 알지네이트를 포함한 필름은 충분히 하이드로겔 콘택트렌즈로서의 활용이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. NRF-2014R1A1A2058664)으로 연구되었습니다.

REFERENCES

- [1] Liesegang TJ. Physiologic Changes of the Cornea with Contact Lens Wear. *CLAO J.* 2002;28(1):12-27.
- [2] Woo CM, Lee HM. Change of corneal shape with soft contact lens type. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(1):111-120.
- [3] Lee GJ, Park YJ, Park JJ. The Long-Term Effects of soft contact lens wear on corneal thickness, curvature and endothelium. *J Koeran Ophthalmol soc.* 2005;46(6):945-953.
- [4] Tyagi G, Collins M, Read S, Davis B. Regional changes in corneal thickness and shape with soft contact lenses. *Optom Vis Sci.* 2010;87(8):567-575.
- [5] Read SA, Collins MJ. Diurnal variation of corneal shape and thickness. *Optom Vis Sci.* 2009;86(3):170-80.
- [6] Kim TH, Cho SA, Sung AY. Study on the physical properties of soft contact lens materials with isocyanate group for durability improvement. *Korean J Vis Sci.* 2011;13(2): 127-137.
- [7] Lee HM, Park HJ. 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.
- [8] Jin J, Ryu GC, Jin MS, Chae SC, Kim IS. Elution properties of naringin from soft contact lens containing naringin. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2008;13(3): 45-50.
- [9] Kang U, Kim SR, Seo BM, Park M. A study on dye elution from the circle contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(2):171-177.
- [10] Nichols JJ. Contact lenses 2013. *Contact Lens spectrum,* 2014;29:22-28.
- [11] Yang CH, Wang MX, Haider H, Yang JH, Sun JU, Chen YM et al. Strengthening alginate/polyacrylamide hydrogels using various multivalent cations. *Applied Materials & Interfaces.* 2013;5(21):10418-104122.
- [12] Olav Smidsrød, Gudmund Skjåk-Brk. Alginate as Immobilization matrix for cells. *trends in biotechnology.* 1990; 8;71-78.
- [13] Lee HM, Kim JK, Cho TS. Antimicrobial hydrogel contact lens containing alginate. *Bull Kor Chem Soc.* 2011; 32(12):4239-4243.
- [14] Lee HM, Yoon YH, Lee WB, Kim JK. A gel-forming poly-L-glyuronic acid produced from no guluronate-rich marine algae using new hydrolysis method: test for endovascular emboization. *J. Mater Sci: Mater Med.* 2009;20:1917-1926.
- [15] Eiselt P, Yeh J, Latvala RK, Shea LD, Mooney DJ. Porous carriers for biomedical applications based on alginate hydrogels. *biomaterials,* 2000;21(19):1921-1927.
- [16] Goh CH, Heng PW, Huang EP, Li BK, Chan LW. Interactions of antimicrobial compounds with cross-linking agents of alginate dressings. *J Antimicrob Chemother.* 2008;62(1):105-108.
- [17] Hennink WE, Talsma H, Borchert JCH, De Smedt SC, Demeester J. Controlled release of proteins from dextran hydrogels. *Journal of controlled release.* 1996;39(1):47-55.
- [18] You BJ, Lim YS. Effect of emulsifying conditions and alginate concentration of encapsulation ester compounds on retention rate of core material in microcapsules prepared with sea tangle alginates. *J Korean Fish Soc.* 2002; 35(6):654-659.

Physical Properties of the Hydrogel Using Alginate

Woo Chul-min, Heo Seongin, and Lee Hyun Mee*

Dept. of Optometry & Vision Science, Catholic University of Daegu, Institute for
Eye-functional Promotion, Gyeongsan 38430, Korea

(Received November 12, 2015: Revised December 17, 2015: Accepted December 22, 2015)

Purpose: A hydrogel including alginate and CaCl_2 extracted from seaweed was manufactured, and their physical properties were investigated. Also, its applicability as contact lenses was examined. **Methods:** A film-type sample used in this experiment was manufactured using 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA), which is the raw material of hydrogel contact lenses; azobisisobutyronitrile (AIBN), which is an initiator and ethyleneglycoldimethacrylate (EGDMA), which is a cross-linking agent. It was hydrated in a PBS solution for 24 hours, and an interpenetrating polymer network (IPN) was formed in 1% and 2% alginate and 1%, 3%, and 5% CaCl_2 solutions for 24 hours, respectively. **Results:** The measurement of the physical properties of the film after the IPN showed that the moisture content was 30.89~36.89%, the refractive index was 1.431~1.441, the contact angle was 62.98~80.45°, and the tensile strength was 2.378~4.215 (gf/mm²). Also, the physical properties hardly changed as the content of alginate increased, and the moisture content decreased as the content of CaCl_2 increased. As a result of the IPN, the moisture content and contact angle decreased compared to those of basic HEMA, but the tensile strength increased. The tensile strength of the second IPN was higher than that of the first IPN. In the case of CaCl_2 , for the sample polymerized for 24 hours and the second IPN sample with 2% alginate, the contact angle decreased as the content of CaCl_2 increased. **Conclusions:** In this study, the tensile strength increased as the content of CaCl_2 increased, and the wettability increased as a result of IPN of alginate and CaCl_2 . The hydrogel containing the alginate and CaCl_2 was confirmed possible utilization as contact lens material.

Key words: Alginate, Hydrogel, IPN, Contact Angle, Water Contents, Tensile Strength