

ortho-Benzoquinone을 기반으로 하는 청색광 차단 수화젤 콘택트렌즈 제조

원희재 · 김병선* · 조병기†^{ORCID}

단국대학교 화학과, *호서대학교 화학공학과

(2020년 7월 8일 접수, 2020년 8월 4일 수정, 2020년 8월 24일 채택)

Blue-Light Blocking Hydrogel Contact Lenses Based on *ortho*-Benzoquinone

Hee Jae Won, Byung Sun Kim*, and Byoung-Ki Cho†^{ORCID}

Department of Chemistry, Dankook University, Cheonan 31116, Korea

*Department of Chemical Engineering, Hoseo University, Cheonan 31499, Korea

(Received July 8, 2020; Revised August 4, 2020; Accepted August 24, 2020)

초록: Catechol 단량체를 dopamine과 methacrylic anhydride와의 반응을 통해 합성하였다. 이후, 2-hydroxy ethylmethacrylate(HEMA), ethylene glycol dimethacrylate(EGDMA), 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC)과 공중합한 후, 염기 조건에서 산화반응을 수행하여 *ortho*-benzoquinone을 기반으로 하는 갈색 투명한 청색광 차단 수화젤 렌즈를 제조하였다. 제조 시, catechol 단량체의 첨가량에 따라, 청색광 차단 정도를 조절할 수 있었으며, 최대 38%까지 청색광을 차단하였다. 또한 UV-A 및 UV-B 영역도 차단하는 효과를 보였다. 제조된 렌즈들은 87% 이상의 평균 가시광선 투과율을 보였다. 흡수율과 접촉각은 각각 60% 이상, 60° 미만의 수치를 나타내어, 렌즈 내부 및 표면에서의 친수성이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

Abstract: Catechol monomer was synthesized by the reaction of dopamine and methacrylic anhydride. Then, it was copolymerized with 2-hydroxy ethylmethacrylate (HEMA), ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA), 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC). Subsequent oxidation reaction under a basic condition produced transparent and brownish blue-light blocking hydrogel contact lenses (BB Lenses) based on *ortho*-benzoquinone. Degree of the blue-light blocking could be controlled depending on the amount of catechol monomer at the initial mixing step of monomers. The maximum blue light blocking ratio was determined to be 38%, and the BB lenses also blocked UV-A and UV-B. The BB lenses exhibited high luminous transmittances more than 87%. The water content and contact angle values were more than 60% and less than 60°, respectively, indicating excellent hydrophilicity both interior and surface of lenses.

Keywords: hydrogel, contact lenses, blue-light blocking, *ortho*-benzoquinone, hydrophilicity.

서 론

가시광선은 사람이 인지할 수 있는 빛으로, 파장영역이 대략 380~780 nm에 해당된다. 가시광선 중, 청색광으로 분류되는 빛은 380~500 nm의 파장을 갖는데, 짧은 파장으로 인하여, 망막 앞쪽에서 상이 형성되는 색수차가 발생되어 망막에 맺히는 상의 질을 저하시키는 영향이 있다.¹ 또한 유해광으로 알려져 있는 자외선의 경우, 대부분 각막에서 흡수되는 반면, 청색광은 자외선보다 긴 파장으로 인해 망막까지 도달되어, 활성산소를 발생, 망막세포 손상 가능성이 제기된 바 있다.^{2,3} 이러한 청색광 문제를 해결하기 위해, 안구와 직접적인

접촉이 필요없는 일반 플라스틱 렌즈의 경우, 갈색을 갖는 염료를 착색제로 첨가, 렌즈 전체에 분산하여 청색광을 흡수시키는 제조방법이 이용되고 있다.^{4,5} 그러나 이 같은 접근법을 안구와 접촉이 필요한 수화젤 콘택트렌즈에 적용할 경우, 유해 염료 방출 문제 등이 발생할 수 있기 때문에, 직접적으로 응용할 수 없는 실정이다. 따라서 청색광 차단 콘택트렌즈를 제조하기 위해서는 단량체로 잘 알려진 하이드록시에틸 메타크릴레이트(2-hydroxyethyl methacrylate, HEMA)와 공중합이 가능한 청색광 차단 물질 개발이 요구된다. 이 경우, 청색광 차단 물질은 가교된 polyHEMA와 공유결합으로 연결되기 때문에, 염료 방출 등의 문제 해결이 가능하다. 그러나 현재 청색광 차단 기능을 갖는 수화젤 콘택트렌즈를 공중합을 통해 제조된 사례는 극히 미미하다.

한편, catechol 화합물들은 염기 수용액 조건하에서, *ortho*-benzoquinone으로 산화가 일어나는 것으로 알려져 있다(Figure

†To whom correspondence should be addressed.
chobk@dankook.ac.kr, ORCID[®]0000-0002-2297-7707
©2020 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

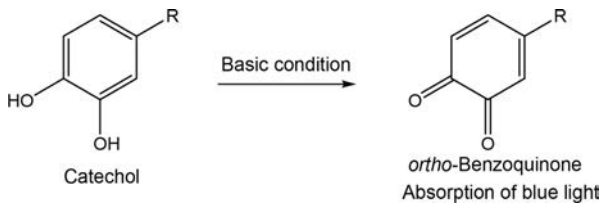


Figure 1. Transformation of catechol into *ortho*-benzoquinone under basic condition.

1). 이러한 산화 과정을 통해, 형성된 *ortho*-benzoquinone은 갈색으로 색변화가 일어나게 되는데, 이는 청색광에 해당하는 380~450 nm의 빛을 흡수하는 것을 의미한다.⁶ 따라서 청색광을 흡수하는 *ortho*-benzoquinone을 polyHEMA에 공유결합을 통해 도입시킬 경우, 청색광 차단 기능을 갖는 수화젤 콘택트렌즈(blue-light blocking hydrogel contact lens, BB lens)를 제조할 수 있게 된다. 본 연구에서는, catechol 그룹을 함유하는 dopamine 화합물에 중합가능한 methacrylic 그룹을 도입한 후, HEMA, ethylene glycol dimethacrylate(EGDMA, 가교제)와의 별크상 공중합을 통해 hydrogel 렌즈를 제조하였다. 이후, tris(hydroxymethyl)aminomethane buffer(Tris)를 사용하여, pH=9 염기조건에서 *ortho*-benzoquinone으로 변환시켜,^{7,8} 청색광 차단 수화젤 콘택트렌즈를 제조하였다. 현재까지, 몇몇의 청색광 차단 유기 염료들이 알려져 있지만, 대부분의 경우 복잡한 합성경로가 요구될 뿐만 아니라, 관련된 논문이 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서 제시한 방법은 가격적으로 저렴한 catechol 유도체의 간단한 산화 과정을 통해 청색광 차단 기능을 수화젤 렌즈에 도입할 수 있다는 점에서 장점이 있다. 현재까지 본 연구에서 제시된 *ortho*-benzoquinone을 청색광 차단렌즈에 도입한 예는 보고된 바가 없다.

본 연구에서는 catechol 단량체의 중량%를 0.5%(0.5%-BB lens), 1.0%(1.0%-BB lens), 1.5%(1.5%-BB lens)로 변화시켜 가며 렌즈를 제조하였고, 중량%에 따른 청색광 차단율을 조사하였다. 또한 렌즈 착용감 향상을 위해 생체적합성이 뛰어난 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine(MPC)의⁹⁻¹¹ 중량%를 7%로 고정하여 공중합을 수행하였다. 제조된 렌즈들의 청색광 차단율 및 흡수율, 접촉각, 평균 가시광선 투과율 등과 같은 렌즈 특성들을 비교 분석하였다.

실 험

재료. 본 연구에 사용된 시약들인 HEMA, dopamine hydrochloride, sodium tetraborate decahydrate($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 99.5%), methacrylic anhydride(94%), sodium carbonate (Na_2CO_3), EGDMA, 2,2-azobis(2-methylpropionitrile)(AIBN), Tris, 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine(MPC)를 Sigma-

Aldrich 한국지사로부터 구입하여 정제 없이 사용하였다.

N-(3,4-Dihydroxyphenethyl)methacrylamide(catechol 단량체) 합성.¹² 5 g의 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 와 2.5 g의 Na_2CO_3 을 탈염수 300 mL를 이미 넣은 500 mL 플라스크에 첨가한 후, 2.5 g의 dopamine hydrochloride를 넣고 30분간 교반하였다. 본 용액과 따로, 2 mL의 methacrylic anhydride를 5 mL의 tetrahydrofuran(THF)에 넣어 또 다른 용액을 제조하였다. Dopamine을 함유하는 용액에 methacrylic anhydride를 함유하는 용액을 가한 후, NaOH 용액을 이용하여 염기조건을 유지하면서, 12시간 동안 교반하였다. 이후, HCl 용액을 이용하여 산성으로 만들고, 1시간 동안 교반하였다. 다음으로 ethyl acetate로 추출하고, 컬럼 크로마토그래피를 이용하여 catechol 단량체를 정제하였다. 수율: 60%. ¹H NMR(500 MHz, DMSO-d₆, δ , ppm): 8.64(s, 2H, -OH), 7.92(t, 1H, -NHC=O), 6.43-6.64(m, 3H, Ph), 5.62(s, 1H, $\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_3$), 5.30(s, 1H, $\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_3$), 3.22(m, 2H, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-$), 2.55(t, 2H, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-$), 1.85(s, 3H, $\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_3$). ¹³C NMR (125 MHz, DMSO-d₆, δ , ppm): 167.34, 145.06, 143.50, 140.09, 130.31, 119.22, 118.79, 115.99, 115.49(aromatic), 40.97, 34.61, 18.65. $M_w/M_n=1.01$. High-resolution 질량분석 결과, 계산값: 221.11, 측정값: 221.11 [M]⁺, 222.11 [M+H]⁺. 원소분석결과, 계산값: C, 65.14; H, 6.83; N, 6.33, 측정값: C, 65.17; H, 6.85; N, 6.33.

청색광 차단 콘택트렌즈 제조. 중합에 사용할 시료 혼합은 Table 1에 나타내었다. 개시제인 AIBN 0.012 g과 가교제인 EGDMA 0.012 g, MPC 0.21 g(7 wt%)으로 고정하였다. Catechol 단량체의 중량%는 0.5%, 1.0%, 1.5%로 변화시켜 가며 3종의 렌즈 시료를 제조하였다. 각 시료들을 바이알에 정량한 후, 각 혼합용액을 30분 동안 초음파 처리하였다. 준비된 혼합시료를 암형 몰드에 주입한 후, 수형 몰드로 덮는다. 이후, 온도를 135 °C로 유지한 채, 25분 동안 공중합을 수행하였다. 공중합 종결 후, 제조된 catechol 렌즈(catechol-lens)들을 실온으로 냉각시킨 다음, 공중합된 렌즈를 몰드로부터 분리하였다. 렌즈 내에 공유결합으로 연결된 catechol 그룹은 염기성 Tris buffer 용액 하에서, *ortho*-benzoquinone으로 전환하였다. 이 경우, pH=9 조건은 탈염수 50 mL에 Tris 5 g을

Table 1. Amounts of Added Reactants for Copolymerization (unit: g)

	0.5%-BB Lens	1.0%-BB Lens	1.5%-BB Lens
HEMA	2.751	2.736	2.721
EGDMA	0.012	0.012	0.012
AIBN	0.012	0.012	0.012
Catechol monomer	0.015	0.030	0.045
MPC	0.210	0.210	0.210

용해시켜 얻을 수 있었고, 준비된 염기성 Tris buffer에 이미 제조된 렌즈를 첨가하여 산화반응을 24시간 동안 진행하였다. 반응 과정 중, pH를 측정, 추가로 Tris를 첨가하여, pH=9를 유지시켰다.

시각 투과율 결정.^{13,14} 가시광선에 해당하는 파장영역인 380-780 nm에서 측정된 투과율을 평균하여 계산하였다. 제조된 수화젤 콘택트렌즈를 투명 유리판 사이에 삽입하여 평면 시료를 제작하였으며, 구면 수차 및 색수차를 살펴보기 위해, 곡면 렌즈시료도 제작하였다. UV-vis spectrophotometer (SHIMADZU UV-2600, 일본)를 사용하여 측정하였다. 렌즈들의 두께는 사용한 몰드 종류에 따라, 0.27±0.02 mm와 0.32±0.02 mm로 측정되었다.

평균 청색광 차단율 결정. 청색광 파장영역은 380~500 nm에 해당되나, 안구에 유해한 청색광 파장영역은 380~450 nm로 구분한다. 460~500 nm에 해당하는 청색은 생체주기와 관련된 필요한 청색광으로 구분하고 있다.¹⁵ 따라서 본 논문에서 제시한 평균 청색광 차단율에 해당하는 파장은 380~450 nm 영역에서 계산된 값이다. 가시광선 투과율 측정법과 동일한 방법을 통해 측정하였다.

흡수율 측정.¹⁶ 우선 수화시키기 전 건조된 렌즈 무게를 측정하였다. 다음으로, 24시간 동안 렌즈를 물 속에서 수화시킨 후, 렌즈 표면 수분만을 제거하였다. 이후, 수화된 콘택트렌즈의 질량을 측정하여, 식 (1)을 통해 흡수율(percentage of water content, PWC)을 얻었다. 각 렌즈 별로 3차례 실험하여 얻은 결과를 평균하여, 평균값을 표시하였다.

$$\text{흡수율(\%)} = \frac{(\text{수화된 렌즈 무게} - \text{건조된 렌즈 무게})}{\text{수화된 렌즈 무게}} \times 100 \quad (1)$$

접촉각(Contact Angle) 측정. 평평한 형태로 제조된 콘택트렌즈 표면에 5 µL인 물방울을 놓은 후, 3분 후에 HI-SCOPE/HS-300U(하나비전, 대한민국)를 이용하여 접촉각을 측정하였다.

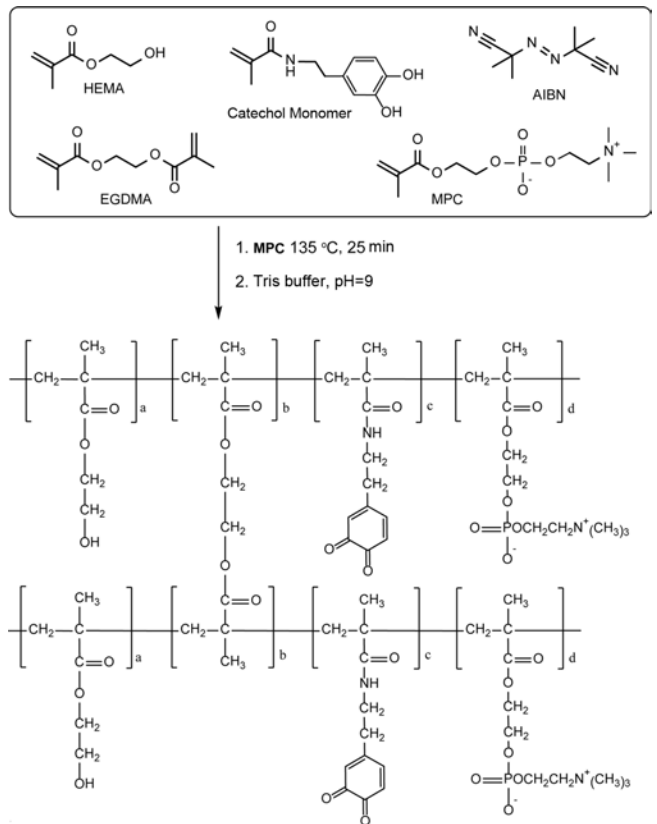
결과 및 토론

청색광 흡수 가능한 *ortho*-benzoquinone을 가교 polyHEMA에 연결하기 위해, 우선 catechol을 함유하는 dopamine에 중합기인 methacrylic 그룹을 도입시켰다. Catechol 단량체 합성 시, 우선 sodium tetraborate decahydrate을 이용하여 catechol 그룹을 protection시킨 후, methacrylic anhydride와 아미드화 반응을 진행하였다. 반응 종결 후, 산 첨가를 통해 protecting 그룹을 제거함으로써, 최종 catechol 단량체를 합성하였다. 합성된 catechol 단량체와, AIBN(개시제), EGDMA(가교제), HEMA, MPC를 Table 1에 제시된 중량비에 맞게 혼합한 후, 135°C에서 25분간 공중합하여, catechol 그룹 함

량을 달리하는 무색 투명한 3종의 렌즈(catechol-lens)를 우선적으로 제조하였다(Scheme 1).

Tris로 산화하기 전, catechol-lens의 흡수 및 투과도를 UV-vis spectroscopy를 이용하여 조사하였다. 측정은 렌즈를 평면 형태(렌즈두께: 0.27 mm)로 만들어 측정하였다. 예상한 바와 같이, catechol의 흡수 피이크가 282 nm에서 관찰되었고,¹⁷ catechol 함량이 증가함에 따라, 흡수 피이크의 세기가 커지는 것을 확인할 수 있었다(Figure 2(a)). Figure 2(b)에서 나타난 투과도를 살펴보면, UV-B(파장범위: 290~320 nm)의 일부만을 차단하고 있고, UV-A(파장범위: 320~380 nm)와 가시광선은 대부분 투과하고 있음을 알 수 있었다. 즉, 청색광 차단 효과는 아직 없음을 알 수 있다. Catechol-lens의 가시광선 영역에서의 투과도는 모든 렌즈에서 97% 이상의 높은 값을 나타내었다.

다음 과정으로, 청색광 차단 기능을 부여하기 위해, 염기성인 Tris buffer 용액(pH=9)에 앞서 제조된 catechol-lens를 넣어 산화과정을 수행하였다(Scheme 1). 이미 언급한대로, catechol은 산화를 통해 *ortho*-benzoquinone으로 변환되고, 청색광 영역에서 흡수가 일어난다. 산화 정도는 UV-vis spectroscopy를 이용한 흡수 스펙트럼을 조사함으로써, 확인



Scheme 1. Synthesis of blue-light blocking contact lenses via copolymerization of HEMA, EGDMA, catechol monomer and MPC and subsequent oxidation at pH=9.

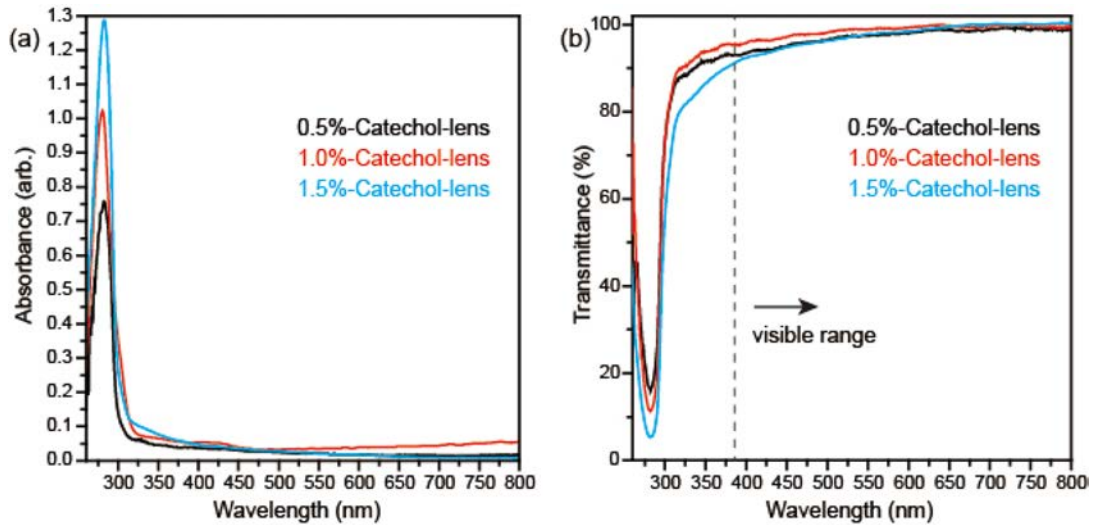


Figure 2. (a) Absorption; (b) transmittance spectra of catechol-lenses.

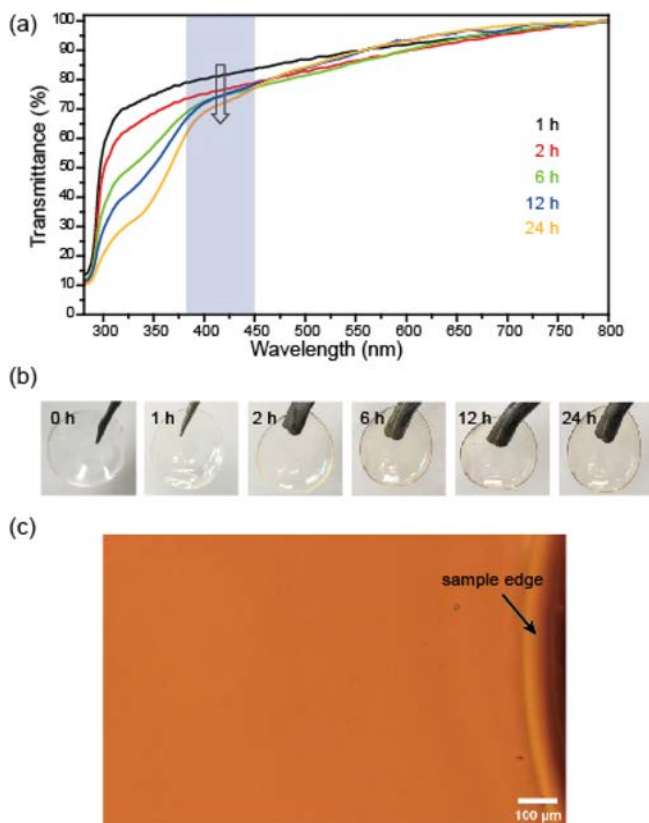


Figure 3. (a) Transmittance spectra; (b) photos as a function of oxidation time during the synthesis of 1.0%-BB lens (lens thickness: 0.27 mm). (c) Optical microscope image of 1.0%-BB lens.

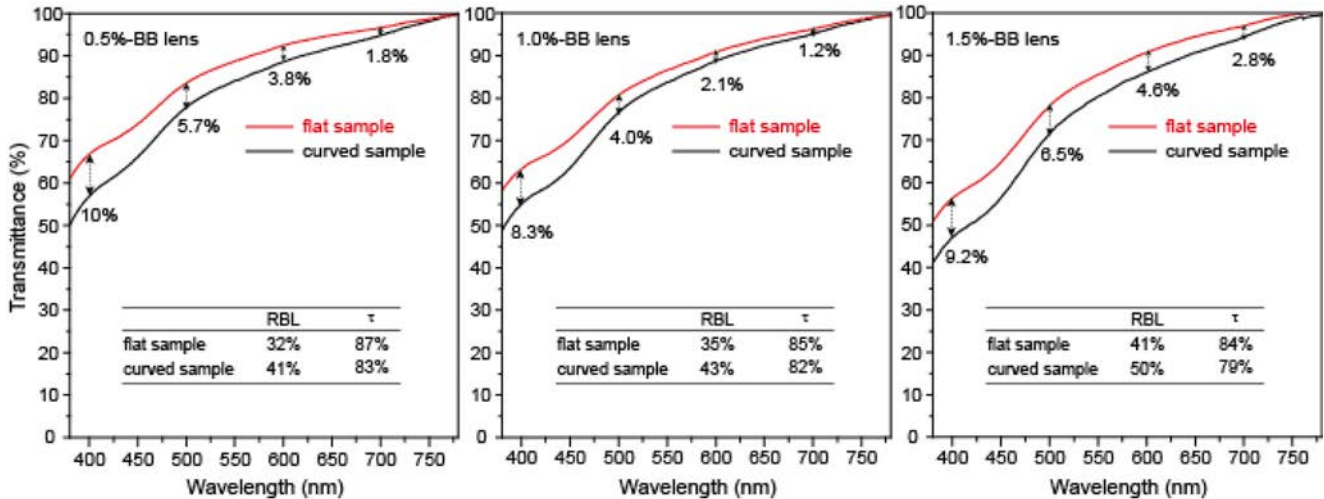
할 수 있었다. Figure 3(a)은 1.0%-BB lens 제조 시, 산화 시간에 따른 투과 스펙트럼을 조사한 결과이다. 24시간 후, 스펙트럼에서 더 이상의 변화가 일어나지 않았기 때문에, 산화

가 종결되었음을 알 수 있었다. *ortho*-Benzoquinone으로 산화가 진행됨에 따라, 흡수 시그널의 폭이 증가하는 것을 알 수 있고, 장파장 영역의 세기가 증가함을 관찰할 수 있었다. 흥미롭게도, catechol-lens와 비교 시, 청색광 차단과 더불어, 이전단계에서 차단할 수 없었던 UV-A 일부와 UV-B의 대부분이 산화가 일어나면서 차단되는 점이다. 물론, 본 연구가 청색광 차단을 목적으로 수행되었지만, 유해광인 UV-A와 UV-B의 많은 부분을 동시에 차단할 수 있다는 사실은 부가적인 장점으로 여겨진다. 24시간 동안 산화된 1.0%-BB lens의 UV-B, UV-A 평균 차단율은 각각 78%와 58%로 측정되었다(Table 2). 물론, catechol 단량체의 사용 정도에 따라, 본 차단율 조절이 가능함을 알 수 있었다(Table 2). 한편, 산화 과정을 통해 형성된 *ortho*-benzoquinone이 안구와 비슷한 환경에서 환원되는지 여부를 살펴보았다. 안구와 비슷한 환경인 pH=7인 수용액에 제조된 1.0%-BB lens를 넣은 다음, 24시간 후 transmittance 스펙트럼을 측정한 결과, 용액에 넣기 전 렌즈 시료의 스펙트럼과 동일함을 확인할 수 있었고, 이를 통해 환원이 일어나지 않음을 알 수 있었다.

스펙트럼을 통한 분석뿐만 아니라, 육안으로도 산화과정의 진행을 확인할 수 있었다. Figure 3(b)에서 볼 수 있듯이, 산화가 진행됨에 따라, 수화젤 콘택트렌즈가 점점 갈색으로 변화되는 것을 확인할 수 있다. 한편, 갈색으로 색 변화가 있음에도, 렌즈 전체 면적에서 혼탁해지는 현상은 관찰할 수 없었다. 또한 광학 현미경을 통해 렌즈 표면을 살펴본 결과, 전체적으로 매끈한 형태를 알 수 있었다(Figure 3(c)). 즉, 공중합 및 산화과정 중에, catechol 단량체와 기타 반응물간의 상분리가 일어나지 않음을 의미한다. 따라서 본 연구에서 제시한 *ortho*-benzoquinone을 이용한 방법이 콘택트렌즈 제조에 매우 적합하다고 평가할 수 있다.

Table 2. Characterization of Blue-light Blocking Hydrogel Contact Lenses (unit: %, lens thickness: 0.27 mm)

Lens sample	UV B blocking ratio (290~320 nm)	UV A blocking ratio (320~380 nm)	RBL (380~450 nm)	Luminous Transmittance (τ)	Water content
0.5%-BB lens	63	44	23	90	64.8
1.0%-BB lens	78	58	29	89	66.4
1.5%-BB lens	87	68	38	87	65.9

**Figure 4.** Transmittance spectra of BB-lenses depending on the lens shape (lens thickness: 0.32 mm).

청색광 차단 렌즈의 성능을 결정하는 중요한 2가지 요인으로 청색광 차단 비율(blue-light blocking ratio, RBL, blocking ratio in 380~450 nm)과 가시광선 전 영역(380~780 nm)에서의 평균 투과율인 시감 투과율(luminous transmittance, τ)을 동시에 고려해야 한다. RBL을 너무 증가시킬 경우, 시감 투과율이 너무 낮아질 수 있기 때문이다. 따라서 렌즈 개발 시, 목적에 맞게, RBL과 시감 투과율의 적절한 균형을 유지하는 것이 바람직하다. 24시간 동안 산화과정을 거쳐 얻은 평면형태의 BB lens 샘플의 RBL 및 시감 투과율의 수치를 흡수 및 투과 스펙트럼을 통해 조사하여, Table 2에 표시하였다. RBL 값은 첨가된 catechol 단량체 증량비가 증가함에 따라, 23%에서 38%까지 증가됨을 알 수 있었고, 시감 투과율은 90%에서 87%까지 감소됨을 알 수 있었다. 즉, RBL의 증가율보다 시감 투과율의 감소율이 작다는 것을 알 수 있고, 이는 본 연구에서 제조한 렌즈가 가시광선 영역에서 청색광 부분만을 효과적으로 차단하고 있음을 알려준다.

다음으로 렌즈형태에 따른 구면수차 및 색수차 발생 여부를 살펴보기 위해, 렌즈를 평면 및 곡면 형태로 준비하여(렌즈 두께: 0.32 mm), transmittance 실험을 수행하였다. 평면 시료와 곡면 시료의 RBL 및 시감 투과율을 각각 계산하여 살펴보니, RBL의 경우, 곡면 시료가 약 8~9% 큰 값을 나타내었고, 시감 투과율은 약 3~5% 정도 낮은 값을 갖는 것을 알

수 있었다(Figure 4). 즉, 렌즈의 형태가 투과도에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 한편, 파장에 따른 투과도 차이를 통해 렌즈 형태에 따른 색수차를 살펴볼 수 있는데(Figure 4), 파장이 증가함에 따라, 투과도 차이가 현저하게 줄어드는 것이 관찰되었다. 이는 파장이 짧은 빛의 굴절률이 커서 더 큰 색수차를 발생시키기 때문으로 해석될 수 있다.

콘택트렌즈의 함수율과 표면 친수성은 수화젤 콘택트렌즈의 착용감 측면에서 중요한 지표들이다. 본 연구에서 청색광 차단 렌즈의 함수율 측정은 수화시킨 렌즈와 건조한 렌즈의 무게를 각각 측정 후, 계산하였다. 렌즈 당 각각 3차례 측정된 값을 평균하여, 얻어진 함수율을 Table 2에 나타내었다. 측정된 결과, 3종의 BB lens들은 평균적으로 65%에 가까운 함수율을 나타내는 것으로 확인되었다. 이 같은 수치는 이미 잘 알려진 polyHEMA 수화젤 렌즈의 함수율 38%보다¹⁸ 15% 이상 향상된 수치이다.

이와 더불어, 렌즈와 안구 사이에서 윤활제 역할을 수행하는 수분 층 형성과 관련있는 표면 친수성 특성을 접촉각 측정을 통해 살펴보았다. 측정 결과, 렌즈들의 접촉각이 모두 60° 미만으로 측정되었다(Figure 5(a)). 일반적으로 polyHEMA 수화젤 렌즈의 접촉각이 80° 정도로 알려져 있기 때문에,¹⁹ 본 접촉각 결과는 상대적으로 작은 값으로 평가될 수 있고, 따라서 렌즈 표면 친수성이 높다는 것을 의미한다. 이처럼,

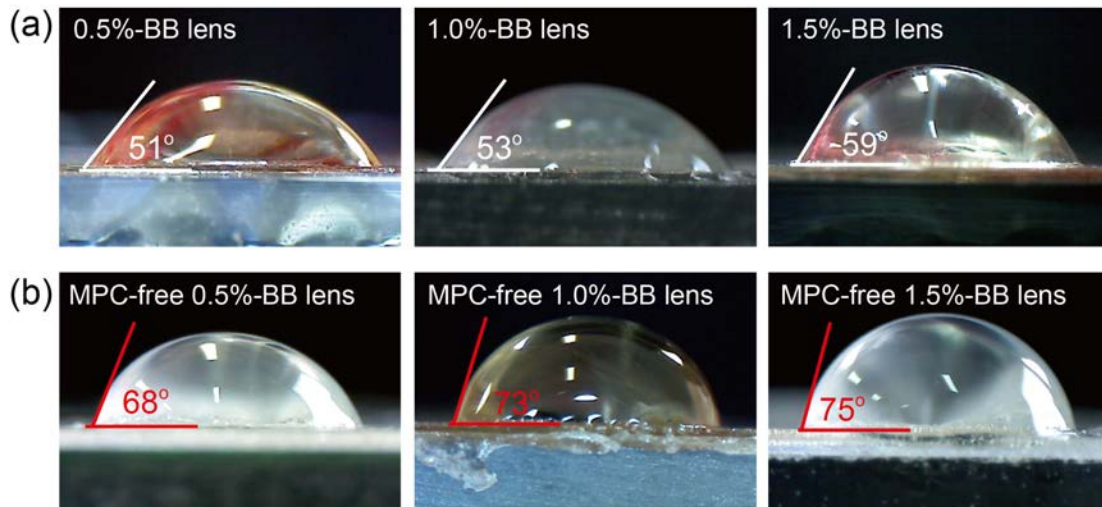


Figure 5. Contact angles of water droplets on (a) MPC-incorporated; (b) MPC-free BB lenses.

높은 흡수율과 향상된 렌즈 표면 친수성은 본 연구에서 렌즈 제조 시 사용한 쌍이온 화합물인 MPC의 친수성에 기인한 것으로 해석할 수 있다. 이를 확인하기 위해서, 앞선 렌즈 방법과 동일한 과정으로 MPC만을 제외한 청색광 차단렌즈를 제조하여, 접촉각 실험을 수행하였다. 측정 결과, 상대적으로 높은 68~75°의 접촉각 수치가 관찰되었다(Figure 5(b)). 결과적으로, 공중합 시, 쌍이온 MPC의 도입이 렌즈 친수성에 기여하고 있음을 결론지을 수 있었다.

위 결과를 바탕으로, 주성분인 HEMA와 분자수준에서 혼합될 수 있는 중합 가능한 기능성 화합물을 적절히 선택할 수 있다면, 간단한 공중합 과정을 거쳐, 다중의 기능성을 구현할 수 있는 수화젤 렌즈를 제조할 수 있다는 측면에서, 본 연구에서 제안하는 렌즈 제조 방법은 매우 효과적이라고 사료된다.

결 론

본 연구에서는 catechol 그룹이 염기성 수용액에서 산화되어 형성되는 ortho-benzoquinone 그룹이 청색광 영역을 흡수하는 특성을 청색광 차단 렌즈 제조에 적용하였다. 이를 위해, catechol 단량체를 합성하여 HEMA, 가교제, 개시제, MPC와 혼합하고, 공중합 및 산화반응을 수행하였다. 공중합 시 MPC 중량%를 7%로 고정시키고, catechol 단량체 중량%를 0.5%, 1.0%, 1.5%로 변화시켜 3종의 투명한 청색광 차단 수화젤 콘택트렌즈를 제조하였다. Catechol 단량체의 첨가량이 증가함에 따라 청색광 차단 비율을 23~38%까지 조절할 수 있었고, 시각 투과율이 90~87%까지 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 청색광 차단율이 증가 정도가 시각 투과율 감소 비율보다 현저하게 높기 때문에 제조된 렌즈들은 가시광선

중 청색광을 선택적으로 흡수한 것을 알 수 있다.

흡수율 및 접촉각 측정을 통해 렌즈 내부 및 표면에서의 친수성을 조사하였다. 모든 렌즈에서 60%를 초과하는 흡수율을 나타내었는데, 이는 일반적인 polyHEMA 수화젤 렌즈에 비해 20% 이상 높은 수치이다. 또한 측정된 접촉각이 60° 미만으로 일반렌즈의 접촉각 80°보다 상당히 낮은 값을 나타내어 렌즈 표면에서의 친수성이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 이 같은 친수성 특성은 렌즈 제조 시 첨가한 쌍이온 MPC의 역할 때문이다. 현재까지 ortho-benzoquinone 그룹을 이용한 청색광 차단 기능을 갖는 수화젤 렌즈는 보고된 바가 없다. 또한 이러한 방법을 통해 제조된 콘택트렌즈는 광학적으로 투명하고 높은 친수성을 갖기 때문에 청색광 차단 콘택트렌즈로의 상용화가 기대된다.

참 고 문 헌

1. M. Park, *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.*, **24**, 301 (2019).
2. S. Kang, J. E. Hong, and E. J. Choi, *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.*, **21**, 69 (2016).
3. D. H. Sliney and B. C. Freasier, *Appl. Opt.*, **12**, 1 (1973).
4. C. J. Kim, S. W. Choi, S. J. Yang, S. Y. Oh, and E. J. Choi, *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.*, **19**, 135 (2014).
5. M.-S. Jung and E. J. Choi, *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.*, **23**, 57 (2018).
6. T. Madrakian, A. Afkhami, L. Khalafi, and M. Mohammadnejad, *J. Braz. Chem. Soc.*, **17**, 1259 (2006).
7. Y. Zhao, Y. Gan, L. Zhang, Z. Chu, F. Liu, and W. Zhang, *Anal. Methods*, **10**, 775 (2018).
8. R. Liu, S. M. Mahurin, C. Li, R. R. Unocic, J. C. Idrobo, H. Gao, S. J. Pennycook, and S. Dai, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **50**, 6799 (2011).

9. K. Hirota, K. Murakami, K. Nemoto, and Y. Miyake, *FEMS Microbiol. Lett.*, **37**, 248 (2005).
10. A. L. Lewis, *Colloids Surf. B*, **18**, 261 (2000).
11. T. Goda, R. Matsuno, T. Konno, M. Takai, and K. Ishihara, *Colloids Surf. B*, **63**, 64 (2008).
12. N. Patil, C. Falentin-Daudré, C. Jérôme, and C. Detrembleur, *Polym. Chem.*, **6**, 2919 (2015).
13. K.-H. Ye and A.-Y. Sung, *J. Korean Chem. Soc.*, **54**, 460 (2010).
14. H.-J. Kim, G.-C. Ryu, K.-S. Jeong, and J. Jun, *Macromol. Res.*, **23**, 74 (2015).
15. F. M. Cuthbertson, *J. Cataract Refract. Surg.*, **35**, 1281 (2009).
16. T. H. Song, C. K. Cho, S. E. Lee, S. R. Kim, and M. Park, *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.*, **24**, 29 (2019).
17. Q. Wei, F. Zhang, J. Li, B. Li, and C. Zhao, *Polym. Chem.*, **1**, 1430 (2010).
18. K.-S. Song, T.-H. Kim, and A.-Y. Sung, *J. Korean Chem. Soc.*, **57**, 300 (2013).
19. C.-H. Lin, H.-L. Cho, Y.-H. Yeh, and M.-C. Yang, *Colloids Surf. B Biointerfaces*, **136**, 735 (2015).