

LED 청색광 차단용 콘택트렌즈에 관한 연구

송대규* · 이준석** · 최홍진***† · 김정구***‡

*인제대학교 의용공학부, **인제대학교 디지털 항노화헬스케어학과
(2021년 9월 6일 접수, 2021년 11월 7일 수정, 2021년 11월 23일 채택)

Study on Contact Lens That Blocks Blue Light from LED

Dae Gyu Song*, Junseok Lee**, Hong Jin Choi***†, and Jeong Koo Kim***‡

*Department of Biomedical Engineering, Inje University, Gimhae, Gyeongnam 50834, Korea

**Department of Digital Anti-Aging Health Care, Inje University, Gimhae, Gyeongnam 50834, Korea

(Received September 9, 2021; Revised November 7, 2021; Accepted November 23, 2021)

초록: 본 연구는 사람의 안구에 황반변성과 망막 손상을 일으키는 LED digital 기기의 청색광을 차단하는 콘택트렌즈를 개발하여 효과적으로 안구보호와 황반변성 발병률을 줄이기 위하여 시도하였다. 청색광 차단재와 콘택트렌즈용 재료는 각각 coumarin과 poly-methyl-methacrylate(PMMA)이다. PMMA 용해 유기용매로 dichloromethane, chloroform, ethyl acetate, acetone, toluene을 사용하였고 이중 toluene으로 녹였을 때, 시각적인 투명도가 가장 높았고, 강도 또한 가장 높았다. 제작한 렌즈 시편의 coumarin 농도별 흡광도 측정을 통해 청색광 차단율을 확인하였다. 제작한 coumarin/PMMA 콘택트렌즈 시편의 경우 coumarin의 혼합비율에 따라 1, 2.5, 5, 10 mM에 걸쳐 325 nm(UV-A) 영역에서는 99% 이상의 가장 높은 차단율을 보였고, 375 nm 영역에서는 1 mM일 때 5.69%, 2.5 mM은 43.34%, 5 mM은 56.45%, 10 mM은 66.25%의 결과를 보였다. 이는 청색광 차단을 위한 coumarin/PMMA 콘택트렌즈가 효과적으로 청색광을 차단하여 자연광 수준으로 낮출 수 있는 것을 알 수 있었다.

Abstract: This study is focused on a contact lens for shielding blue light emitted from LED digital devices, preventing macular degeneration as well as an effective protection of human eyes. For the blue light blocking lens, coumarin was used as blue light blocking material and polymethylmethacrylate (PMMA) was engaged as a material for contact lens. As a solvent for PMMA, dichloromethane, chloroform, ethyl acetate, acetone, and toluene were used and tested. Among the solvents, toluene showed the highest transparency and strength/solidity. For blue light shielding rate, coumarin was administrated with different concentration to the PMMA film, then light absorbance was measured for each specimen. In results, coumarin/PMMA films (contact lens) within 325 nm (UV-A) region, all specimens, 1 mM, 2.5 mM, 5 mM, and 10 mM of coumarin contents PMMA films, showed 99% of blue light shielding rate. In case of 375 nm region, each specimen showed shielding blue light as 5.69% at 1 mM, 43.34% at 2.5 mM, 56.45% at 5 mM, and 66.25% at 10 mM. Conclusively, PMMA contact lenses with coumarin contents reduced the intensity of blue light generated by LED digital devices to the level of natural light.

Keywords: poly-methyl-methacrylate, coumarin, contact lens, blue light, macular degeneration.

서 론

세계적으로 스마트폰 및 디지털 기기의 보급이 보편화됨에 따라 황반변성, 불면증, 망막 손상 등의 안구질환이 증가하고 있다.¹ LED를 사용한 스마트폰 및 디지털 기기는 자연광에 비하여 높은 청색광이 발생하는데, 이러한 청색광에 안구가

장시간 노출되는 경우 시각 기능의 황반변성, 불면증 및 망막 손상이 발생하는 등 최근 다양한 문제점이 인식되어 청색광을 차단하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{2,3}

청색광은 380-500 nm의 파장을 가진 파란색 계열의 가시광선이며,⁴ UV 영역을 일부 포함하기 때문에 고에너지가 시광선(HEV)으로도 불린다.⁵ 청색광으로 인한 생리적 반응은 노출량에 따라 변하는데, 적절한 양에 노출될 경우, 바이오리듬 안정화, 동공 수축 및 피로 감소와 같은 생리 반응에 중요한 역할을 한다.^{2,3} 그러나 청색광에 장시간 노출되는 경우 시각 기능의 황반변성, 불면증 및 망막 손상이 발생하는데, 이 중에서도 청색광으로 인한 황반변성은 스마트폰 출시 이

†To whom correspondence should be addressed.
hjchoi@inje.ac.kr, ORCID[®] 0000-0001-9170-2670
jkkim@inje.ac.kr, ORCID[®] 0000-0001-9898-6581
©2022 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

후 최근 10년 사이 9배 이상 증가하여 문제가 되고 있다.¹ 수면에서도 청색광으로 인한 문제점은 발생하며 장시간 노출 시 멜라토닌이 억제되어 자율신경에 혼란이 발생한다. 대표적 예로 수면방해가 있다.⁶ 또한 동물 및 신생아를 대상으로 한 연구 자료에 따르면, 눈의 색소로 작용하는 lipofuscin은 청색광의 과도한 노출에 의해 세포 사멸을 유도한다는 결과도 있다.⁶ 하지만 자연광에서 발생하는 청색광의 경우 LED에서 발생하는 복사 강도와는 달라 인체에 해로운 현상은 일어나지 않는다.⁷

망막(retina)이란 안구 가장 안쪽의 둘러싸고 있는 내벽을 구성하는 얇은 층으로 약 1억 2천 5백만 개 이상의 시세포로 이루어져 있으며, 세 종류의 시세포가 분포해 있다. M형(magno)은 전체의 5%를 차지하며 빛을 수용하는 역할을 하며 P형(parvo)은 전체의 90%를 구성하며 색상 구분의 역할을 한다.⁸ 또한 nonM-nonP 세포는 나머지 5%를 구성하고 P형 세포와 함께 색상 구분의 역할을 한다.⁸ 세 종류의 세포를 통해 빛을 감지하고 시각 정보를 처리 통합하여 시신경을 통해 뇌로 전달하여 물체를 볼 수 있게 되는 것이다.⁸

황반(macula)이란 망막의 중심부에 위치하는 신경조직을 가리키며, 시세포의 대부분이 이곳에 모여 있어 물체의 상을 맺는 것에 있어 중요한 역할을 담당한다.

시력은 물체의 형태를 인식하는 능력이며 물체의 상이 황반의 중심에 맺어질 때 가장 예민하고, 망막 주변으로 갈수록 저하된다. 이에 따라 망막의 중심부인 황반부를 통해 물체를 보게 되며 일반적으로 중심 시력을 시력이라고 한다.

황반변성(age-related macular degeneration, AMD)은 눈 조직 중 황반에 발생하는 변성으로, 시력 저하를 유발하는 퇴행성 질환이다. 황반변성의 원인은 아직 정확하게 밝혀지지는 않았으나 황반변성을 유발하는 위험 인자로는 나이, 유전적 소인, 심혈관계 질환, 흡연, 과도한 광선 노출 등이 지적되었다.⁹ 이 중, 청색광으로 인해 세포들이 산화손상(oxidative damage)을 일으켜 발생하는 것으로도 알려져 있다. 이러한 황반변성은 실명의 주요 원인 중 세 번째에 해당한다.¹⁰

poly-methyl methacrylate(PMMA)는 소수성을 가지며 빛의 약 85%를 투과하는 광투과성, 뛰어난 경도(hardness)와 내후성 및 광택 때문에 콘택트렌즈에 널리 사용되고 있다.¹¹ 또한 생체 적합성이 우수하며 독성이 없고 생분해가 쉽게 되지 않으며, 넓은 범위의 착색이 가능하고 청색광 차단물질과의 반응성이 우수하다.¹¹ PMMA는 주로 radical 중합으로 제작되며 대표적으로 현탁 중합, 분산 중합, 유화 중합 방법을 통해 제조할 수 있다.¹² 본 연구에서는 콘택트렌즈 대응으로 PMMA 필름을 사용하여 청색광 차단 효과를 검증하고자 했다.

Coumarin은 페닐기 헥테로고리 계열에 속하는 유기화합물로서 무색의 결정을 띄고 있으며, 렌즈의 물성을 유지하면서도 쉽게 용해될 수 있는 물질로 투명성, 유연성, 산소 투과성 등 필수조건을 저해하지 않는다. 또한 국제암연구소(IARC)

의 독성평가 기준, 인체에 유해성이 적은 물질이다.¹³

콘택트렌즈는 인체에 직접 착용하여 시력 교정 효과를 볼 수 있도록 만든 의료기기로서 인구 고령화와 현대인의 생활 습관으로 인해 안경과 콘택트렌즈 착용률은 1980년대부터 현재까지 지속적으로 증가해 현재 60% 이상의 사람들이 안경 또는 콘택트렌즈를 사용하고 있으며, 이중 콘택트렌즈 사용자는 전체 이용자의 20%에 달한다.^{14,15}

본 연구에서는 황반변성, 불면증, 망막손상 등의 현대인의 안구질환 문제를 효과적으로 해결하고자, LED에 의해 생성된 청색광의 복사 강도를 자연광 수준으로(흡수율을 측정하여 40% 이상 감소) 줄이고 콘택트렌즈의 필수 조건인 투명성, 유연성, 산소 투과성 등을 유지하는 coumarin을 함유한 PMMA 필름을 제작하여, LED 디지털 기기에서 발생하는 청색광을 효과적으로 차단하는 콘택트렌즈의 제작 가능성과 그 유효성을 확인하기 위해 진행되었다.

실 험

시약 및 재료. 본 연구에서는 사용한 PMMA(M_w , 120000)는 Alfa Aesar(USA)에서 구입하였으며, PMMA를 용해하기 위해 사용한 유기용매로 dichloromethane(DCM, JUNSEI, Japan), chloroform(SAMCHUN, Korea), ethyl acetate (DUKSAN, Korea), acetone(DUKSAN, Korea), toluene(DUKSAN, Korea)를 사용하였다. 사용한 PMMA는 유기용매에 쉽게 용해되는 수지 형태로 사용하였다. 청색광 차단 물질로는 coumarin(M_w , 146.14)을 Acros(France)에서 구입하였다.

PMMA를 이용한 콘택트렌즈용 필름 제작. PMMA를 이용한 필름을 제작하기 위해 유기용매에 쉽게 용해되는 수지 형태의 PMMA를 사용하였다. 콘택트렌즈의 기본 특성 중 가장 대표되는 광 투과성 및 투명성을¹⁶ 유지하는 가장 적합한 유기용매를 선정하기 위해 toluene, chloroform, ethyl acetate, acetone, dichloromethane을 사용하여 각각 14π 크기의 petri dish에 PMMA 수지 1 g을 유기용매 10 mL와 혼합하여 75 °C에서 1시간 동안 용해시켜 75 °C에서 2시간 동안 진공 건조시켰다. 추가적으로 PMMA 필름의 완전건조 및 유기용매 제거를 위해 실온(25 °C)에서 72시간 건조시켰다.

유기용매의 종류에 따른 PMMA 필름의 물성평가. 유기용매 종류에 따른 PMMA 필름의 물성평가를 위해 인장시험규격 ASTM D882-18에 따라 dry/wet 상태로 설정한 시편을 제작하였고(Figure 1), MTS(material test system, LLOYD Ins., USA)를 사용하여 극한 강도를 시간에 따라 load(N)로 측정하였다.

Coumarin을 함유한 PMMA 필름 제작. 제작 방법은 유기용매의 종류에 따른 PMMA 필름 제작 방법과 동일하며, 추가적으로 PMMA 수지를 유기용매에 용해시킬 때 coumarin을 함께 첨가하여 용해시켰다. Coumarin의 함유량은 200 μM

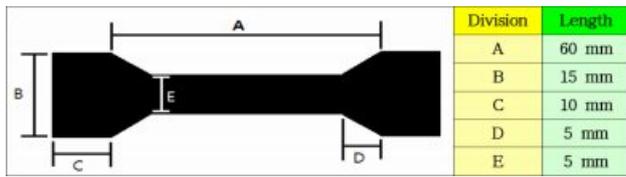


Figure 1. Specimen condition of PMMA film. Experimental group (n)=5.

이상의 농도에서 coumarin의 세포독성이 발현된다는 연구 결과가 보고되어¹⁷ 생물학적 안정성을 고려하여 각각 0(control), 30, 70, 100, 150 μM 농도로 첨가하였다. 최종적으로 coumarin의 함유량에 따라 PMMA 필름의 투명도를 관찰하였다.

UV/Vis Spectrometer를 이용한 Coumarin 흡광도 측정. Coumarin의 청색광 감소 효과를 확인하기 위해 0, 30, 70, 100, 150 μM 농도의 시편을 UV/vis spectrometer(Jasco V-550, TS science, Korea)를 사용하여 300-500 nm 영역의 청색광 흡광도를 측정하였다. 측정값을 바탕으로 Lambert-Beer 법칙을 적용하여 흡수율을 계산하였다.

Lambert-Beer 법칙은 측정할 시료를 빛이 통과할 때, 시료의 흡광계수, 시료를 빛이 통과한 거리(광로길이 l), 시료의 농도(c) 사이에 성립하는 법칙으로 식 (11)과 같다.¹⁸ 식 (1)을 UV/vis spectrometer에 적용할 수 있으며 적용한 경우 Eq. (2)와 같다.¹⁸ 흡광도를 투과율로 계산할 수 있으며, 100%에서 계산된 투과율을 빼면 흡수율을 계산할 수 있다. 이에 따라 청색광 감소 물질의 흡광도를 이용하여 흡수율을 계산하였다.

$$\log I_0/I = \epsilon cl : \text{Lambert-Beer's law} \quad (1)$$

I_0 : Light intensity before passing through the sample

I : Light intensity after passing through the sample

ϵ : Coefficient of extinction ($\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)

c : Solution concentration (M)

l : Optical path length (cm)

$$A = -\log T : \text{When applied to UV/Vis Spectrophotometer} \quad (2)$$

A : Absorbance

T : Transmittance (%)

고농도 Coumarin을 함유한 PMMA 필름 시편 제작. Coumarin을 함유한 PMMA 필름은 생분해도가 매우 낮으며¹⁹ 함유한 약물의 방출량 및 속도 또한 매우 낮아²⁰ coumarin의 농도에 따라 생물학적 안정성은 영향이 없을 것으로 사료되며, 초기 목표로 설정한 자연광 수준의 청색광 차단율을 확보하기 위해 0, 1, 2.5, 5, 10 mM 농도의 coumarin을 함유한 PMMA 필름을 제작하여 흡광도를 측정하였다.

통계학적 분석. 실험의 통계학적 분석은 Student's t-test를 시행하여 신뢰도 95%(신뢰구간, $p < 0.05$)의 경우 통계학적으로 유의한 것으로 분석하였으며 OriginPro 8(OriginLab Corporation, USA)을 이용하여 그래프를 작성하였다.

결과 및 고찰

유기용매 종류에 따른 PMMA 필름 형태학적 결과. 유기용매의 종류에 따라 PMMA를 용해시켜 제작한 필름의 형태학적 결과를 Figure 2에 나타내었다. 그 결과, 육안으로 확인하였을 때 toluene을 사용한 PMMA 필름의 투명도가 가장 높았다. 그 이외의 유기용매에서는 기포가 발생, 투명도 또한 낮았으며 파단 현상이 발견되었다. 파단 현상이 발생하는 원인은 toluene을 제외한 유기용매에서 발생하는 기포에 의한 것으로 필름의 기포 발생 부분이 주변 두께보다 상대적으로 얇아져 응력집중 현상으로 인한 파단으로 사료된다.²¹ Toluene 사용 시 기포가 발생하지 않는 이유로는 PMMA와 반응할 때 다른 유기용매에 비하여 반응속도가 느리며 계단식 반응을 하기 때문이다.

유기용매의 종류에 따른 PMMA 필름의 물성 측정 결과. 유기용매의 종류에 따라 PMMA 필름의 물성 평가 비교 결과를 Figure 3에 나타내었다. 그 결과, 유기용매의 종류에 따라 yield strength(breaking point)를 측정하였으며 ASTM D882-18의 규격에 따라 MPa 단위로 계산하였다. 비교 값에서는 toluene으로 용해하였을 때, 가장 높은 강도를 보였다. 결과의 신뢰성을 높이기 위해 반복 실험을 5회 진행하였다. dry/wet 상태에 따라 통계학적 유의성 평가를 진행한 결과 유의적 차이는 보이지 않았으며, 이를 통해 PMMA의 소수성을 확인할 수 있었다. 이는 toluene-PMMA 필름이 PMMA의

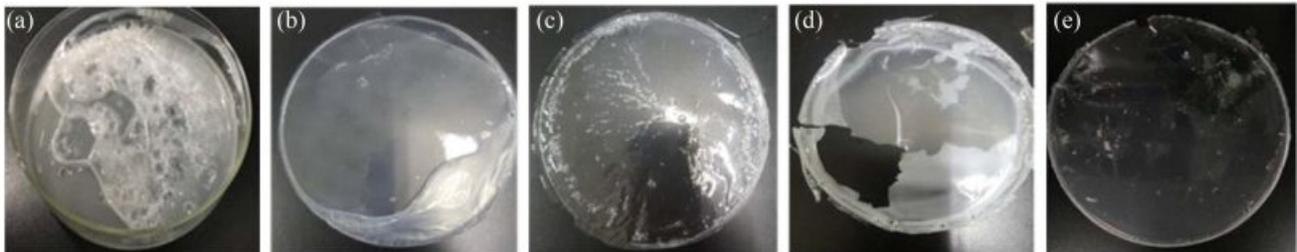


Figure 2. Morphology of prepared PMMA film with various solvents: (a) chloroform; (b) dichloromethane; (c) ethyl acetate; (d) acetone; (e) toluene, size 14π , thickness: 0.17 ± 0.011 mm.

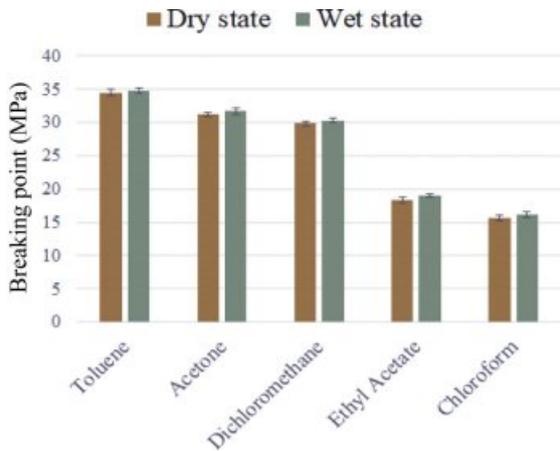


Figure 3. Comparison of breaking point of PMMA film specimens under dry/wet condition with various organic solvent (n=5, p>0.05). Width: 0.5 ± 0.01 cm, Length measurement: 5 ± 0.02 cm.

소수성 특징을 유지하였기 때문이다.

Coumarin을 함유한 PMMA 필름의 형태학적 결과. Coumarin을 함유한 PMMA 필름 시편의 형태학적 결과를 Figure 4에 나타내었다. 그 결과, 10 mM 이하의 coumarin 농도에서는 coumarin이 PMMA에 완전용해되어 육안상으로 PMMA 필름 투명성이 저하되지 않는 결과가 나타났으며 필름의 두께는 0.18 ± 0.016 mm으로 일정하였다. 이는 초기 연구 목표인 청색광 차단률 40% 이상을 유지하며 인체 사용이 가능한 렌즈 제작이 가능할 것으로 사료된다.

생물학적 안정성을 고려한 몰 농도 비율의 Coumarin 흡광도 분포 및 흡수율 결과. Coumarin의 생물학적 안정성을 고려한 상태에서 측정된 흡광도 분포 및 통계학적 유의성 평가 결과를 Figure 5, Figure 6에 나타내었다. 또한 Lambert-Beer의 법칙에 따라 흡수율을 계산한 결과를 Table 1에 나타내었다. 그 결과 청색광 325 nm 구간에서 coumarin의 농도가 30 μ M 이상일 때 유의적 차이가 나타났으며, 100 μ M 이상일 때 59% 이상의 흡수율을 보였다.

T-test 비교 결과 70, 100, 150 μ M 농도에 걸쳐 99.9% 이상 유의적 차이가 나타났다.

375 nm 구간에서는 70 μ M 이상일 때 유의적 차이가 나타

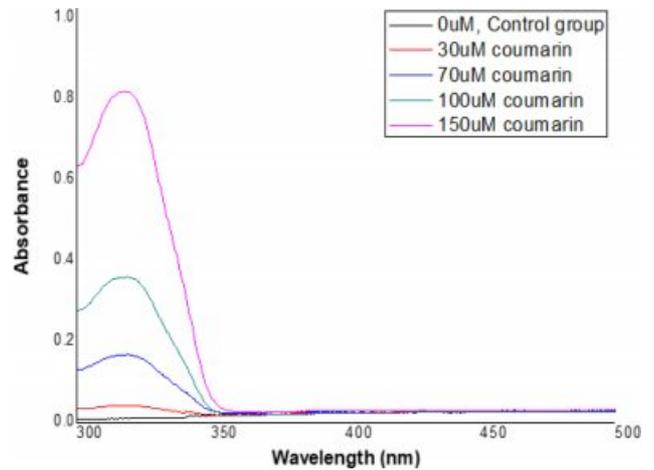


Figure 5. Light absorbance distribution of prepared specimens considering biological stability (n=5).

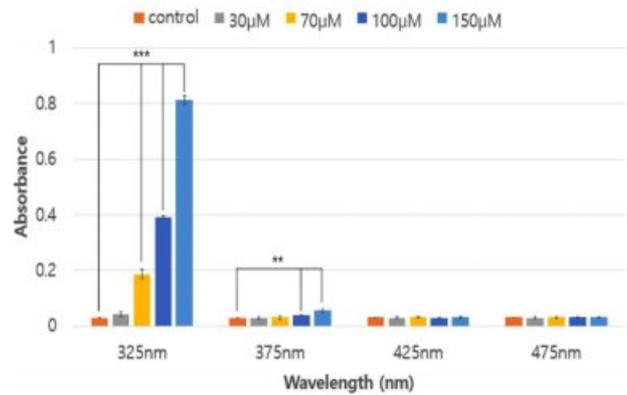


Figure 6. Light absorbance distribution of prepared specimens with respect to biological stability (n=5, ***p<0.001, **p<0.01).

났으며, T-test 비교 결과 100, 150 μ M 농도에 걸쳐 99.9% 유의적 차이가 나타났다.

나머지 구간 및 다른 몰 농도에서는 유의적 결과가 나타나지 않았다.

고농도 Coumarin의 흡광도 분포 및 흡수율 결과. Coumarin의 고농도(mM)에 따른 흡광도 분포 및 통계학적 유의성 평가 결과를 Figure 7, Figure 8에 나타내었고 도출된

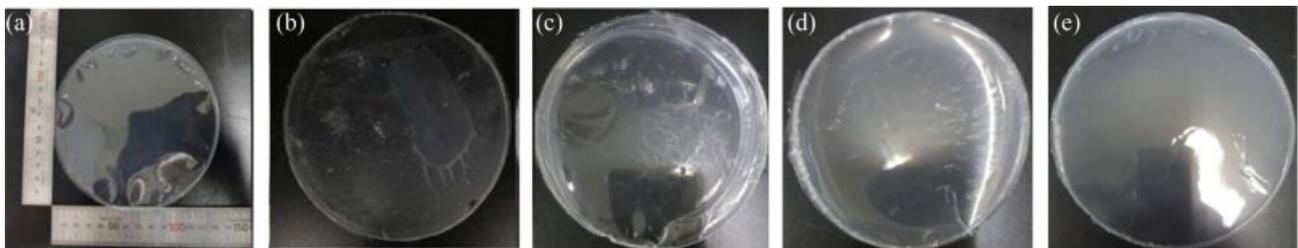


Figure 4. Morphology of PMMA film specimens incorporated with coumarin: (a) 0 mM; (b) 1 mM; (c) 2.5 mM; (d) 5 mM; (e) 10 mM, size: 14π , thickness: 0.18 ± 0.016 mm.

Table 1. Blue Light Absorption Rate by Lambert-Beer's Law of Low Concentration Coumarin Content Specimens
(Unit : %)

Wavelength (nm)	Molarity (μM)				
	Control	30	70	100	150
475 (450-500)	6.76	6.67	6.92	7.13	7.06
425 (400-450)	6.81	6.78	7.22	6.72	6.94
375 (350-400)	6.76	6.53	6.85	8.47	12.24
325 (300-350)	6.66	9.36	34.95	59.36	84.60

Table 2. Blue Light Absorption Rate by Lambert-Beer's Law of High Concentration Coumarin Content Specimens
(Unit : %)

Wavelength (nm)	Molarity (mM)				
	Control	1	2.5	5	10
475 (450-500)	6.97	6.77	7.28	7.35	7.40
425 (400-450)	6.81	6.69	7.27	7.50	7.51
375 (350-400)	6.76	5.69	43.34	56.45	66.25
325 (300-350)	6.66	99.83	99.93	99.97	99.98

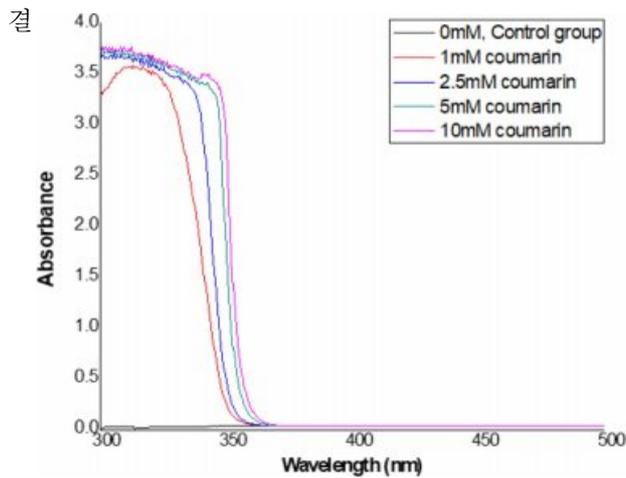


Figure 7. Light absorption distribution of prepared specimens (high concentration of coumarin contents), n=5.

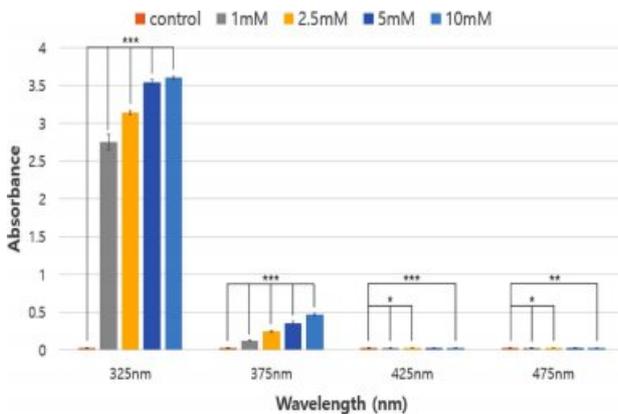


Figure 8. Results of statistical significance comparison of coumarin absorbance in the blue light region (n=5, ***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05).

과를 R Lambert-Beer의 법칙에 따라 흡수율을 계산하여 Table 2에 나타내었다. 그 결과, 청색광 영역의 300-350 nm 사이에

서 가장 큰 흡광도 값을 확인할 수 있었다. 도출된 흡수율을 325, 375, 425, 475 nm 각각 평균 4구간으로 나눠 계산한 결과 325 nm 영역에서는 99% 이상의 흡수율을 보였으며 coumarin의 몰 농도가 2.5 mM 이상일 경우 375 nm 영역에서도 40% 이상의 흡수율이 나타났다. 청색광 평균 구간에 대한 T-test 비교 결과에서는 325 nm와 375 nm의 모든 몰 농도에서 99% 이상의 정확도로 유의적 차이를 보였으며 그 이외 구간에서는 10 mM을 제외하고 유의적 차이를 보이지 않았다. 이는 필름에 함유된 coumarin이 375 nm 이하의 청색광을 흡수하고 그 이외 광원은 흡수하지 않는다는 것을 알 수 있으며 렌즈의 투명성을 유지하고 청색광만 차단하는 실험의 목적에 부합되며 초기 연구 목표로 설정한 청색광을 자연광 수준으로 줄이는 40% 이상의 흡수율이 나타나는 것을 알 수 있다.

결론

현대인의 안구질환을 예방하는데 청색광 차단은 아주 중요한 요소 중 하나이다. 이에 따라 청색광을 차단하기 위한 렌즈와 코팅에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{22,23} 본 연구의 목적은 콘택트렌즈의 제작에 사용되는 PMMA로 제작된 필름에 coumarin을 담지하여 효과적인 청색광 차단 기능의 추가 가능성과 그 유효성을 알아보는 데 있다. PMMA 필름을 제작할 때 사용한 유기용매 중 toluene을 사용하였을 때, 기포 발생량이 적었으며 투명도 및 물성이 가장 높았다. 이러한 이유는 PMMA 수지와 toluene의 용해 과정에서 MMA 형태로 사슬 구조가 저분자화 되는 과정이 다른 용매에 비해 단계적으로 이뤄져 투명도 및 기포 발생량이 적은 것으로 사료된다.²⁴

Coumarin의 생물학적 안정성을 고려하여 200 μM 이하의 농도로 제작한 PMMA 필름은 흡광도 측정 결과에서 연구 목표로 설정한 자연광 수준의 청색광 차단효과를 보이지 않았

으며, 이에 따라 coumarin 농도를 2.5 mM 이상 사용하였을 시 UV-A(320-400 nm)영역에서 99% 이상의 높은 흡수율을 보였다. 이는 LED 디지털 기기에서 발생하는 청색광을 효과적으로 흡수하여 자연광 수준으로 감소시킨 것을 확인할 수 있다.

앞서 연구된 결과에 따르면, coumarin을 함유한 PMMA 필름은 생분해도가 매우 낮으며¹⁹ 함유한 약물의 방출량 및 속도 또한 매우 낮아²⁰ coumarin의 농도에 따라 생물학적 안정성은 영향이 없을 것으로 사료되며, 추가적인 연구와 검증이 필요하다.

감사의 글: 본 연구는 한국연구재단 이공분야기초연구사업-기본연구(201902980003)에 의해 지원되었습니다.

이해상충: 저자들은 이해상충이 없음을 선언합니다.

참고 문헌

- Heo, J. Y.; Kim, K.; Fava, M.; Mischoulon, D.; Papakostas, G. I.; Kim, M. J.; Kim, D. J.; Chang, K. J.; Oh, Y.; Yu, B. H.; Jeon, H. J. Effects of Smartphone Use with and Without Blue Light at Night in Healthy Adults: A Randomized, Double-Blind, Cross-Over, Placebo-Controlled Comparison. *J. Psychiatr. Res.* **2017**, *87*, 61-70.
- Park, S. I. The Effect of Brown Tinted or UV-A blocking Ophthalmic Lens Against the Photooxidation of A2E, a Lipofuscin in Retina. *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.* **2012**, *17*, 91-97.
- Jung, M. H.; Yang, S. J.; Yuk, J. S.; Oh, S. Y.; Kim, C. J.; Lyu, J.; Choi, E. J. Evaluation of Blue Light Hazards in LED Lightings. *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.* **2015**, *20*, 293-300.
- Kirk Smick, O. D.; Villette, T. *Blue light hazard*; REPORT OF A ROUNDTABLE: New York City, 2013.
- Yu, Y. G.; Choi, E. J. A Study on Blue Light Blocking Performance and Prescription for Blue Light Blocking Lens. *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.* **2013**, *18*, 297-304.
- Park, S. I.; Jang, Y. P. The Protective Effect of Brown-, Gray-, and Blue-Tinted Lenses against Blue LED Light-Induced Cell Death in A2E-Laden Human Retinal Pigment Epithelial Cells. *Ophthalmic Res.* **2017**, *57*, 118-124.
- Lee, J. Y.; Yun, E. J.; Kim, S. M.; Hwang, H. K.; Park, G. J. The Changes of The Eye and a Correlation Depending on Watching a Smartphone and taking in Alcohol. *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.* **2013**, *18*, 473-479.
- Cajal, S. R.; Leiros, W. *Santiago Ramón y Cajal*. Prames. 2011.
- Yonekawa, Y.; Miller, J. W.; Kim, I. K. Age-Related Macular Degeneration: Advances in Management and Diagnosis. *J. Clin. Med.* **2015**, *4*, 343-359.
- Britton, G.; Liaaen-Jensen, S.; Pfander, H. *Carotenoids: Volume 5: Nutrition and Health*; Birkhäuser Basel: Basel, 2009.
- Cho, J. H. Preparation and Characterization of Biomedical Hybrid Material Using PMMA. Master's thesis, University of Inha, 2008.
- Son, E. H.; Lim, J. S.; Lee, S. J.; Hwang, S. J.; Lee, E. C.; Kim, S. S. Preparation and Characterization of Poly(methyl methacrylate) Beads for Acrylic Bone Cements; *Biomaterials Res.* **2005**, *9*, 138-144.
- Coumarin*, National Center for Biotechnology Information, PubChem Compound Summary for CID 323 [Online]; <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Coumarin> (accessed December 21, 2021).
- Moreddu, R.; Vigolo, D.; Yetisen, A. K. Contact Lens Technology: from Fundamentals to Applications. *Adv. Healthc. Mater.* **2019**, *8*, 1900368.
- Park, S. H.; Lee, Y. I.; Jeon, I. C. Vision Correction Glasses Use Status in Korea. *Korean J. Vis. Sci.* **2019**, *21*, 509-523.
- Yu, D. S.; Moon, B. Y.; Kim, D. H.; Paik, S. M. Evaluation of Transmittance Characteristics of Contact Lenses. *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.* **2007**, *12*, 37-45.
- Kienhuis, A. S.; Wortelboer, H. M.; Hoflack, J. C.; Moonen, E. J.; Kleinjans, J. C.; van Ommen, B.; van Delft, J. H.; Stierum, R. H. Comparison of Coumarin-Induced Toxicity Between Sandwich- Cultured Primary Rat Hepatocytes and Rats *in vivo*: A Toxicogenomics Approach. *Drug Metab.d Dispos.* **2006**, *34*, 2083-2090.
- Daniel, C. H. *Exploring Chemical Analysis Second Edition*; Free Academy: New York, 2004; pp 385-392.
- Cappitelli, F.; Principi, P.; Sorlini, C. Biodeterioration of Modern Materials in Contemporary Collections: Can Biotechnology Help? *Trends Biotechnol.* **2006**, *24*, 350-354.
- Lin, M.; Wang, H.; Meng, S.; Zhong, W.; Li, Z.; Cai, R.; Chen, Z.; Zhou, X.; Du, Q. Structure and Release Behavior of PMMA/Silica Composite Drug Delivery System. *J. Pharm. Sci.* **2007**, *96*, 1518-1526.
- Kim, A. K. Fracture Mechanics in Polymers. *J. KSME* **1994**, *34*, 384-391.
- Park, M. C. Design of a Coated Blue-Light Blocking Lens and Study of Its Optical Characteristics According to the Blue-Light Blocking Rate. *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.* **2009**, *24*, 301-307.
- Mainster M. A. Violet and Blue Light Blocking Intraocular Lenses: Photoprotection Versus Photoreception. *The British Journal of Ophthalmology* **2006**, *90*, 784-792.
- Ali, U.; Karim, K. J. B. A.; Buang, N. A. A Review of the Properties and Applications of Poly(methyl methacrylate)(PMMA). *Polymer Reviews* **2015**, *55*, 678-705.

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