

# 자외선 및 고에너지 가시광 차단 기능을 갖는 눈 건강을 위한 폴리머 안경렌즈

김기출  
목원대학교 신소재화학공학과

## Polymer Eyeglass Lens with Ultraviolet & High-Energy Visible Light Blocking Function for Eye Health

Ki-Chul Kim

Department of Advanced Chemical Engineering, Mokwon University

**요약** 파장 400 nm 이하의 자외선은 눈 건강에 매우 해롭다. 또한 고에너지 가시광도 망막 세포에 영향을 줄 수 있음이 최근에 밝혀졌다. 따라서 자외선 및 고에너지 가시광 차단 기능의 안경렌즈 개발이 시대적으로 요청되고 있다. 본 연구에서는 m-자일릴렌 다이소시아네이트 모노머와 2,3-bis((2-mercaptoethyl)thio)-1-propanethiol 모노머 및 벤조트리아졸 UV 흡수제, 알킬인산에스터 이형제, 안료혼합물(CI solvent violet 13), 이염화부틸주석 촉매제 등의 혼합물을 인젝션 몰드 방법으로 열중합 공정을 적용하여, 굴절률 1.67의 고굴절률 폴리머 안경렌즈를 제조하였다. 제조된 폴리머 안경렌즈의 양면에 전자빔 진공증착 시스템으로 다층 반사방지 코팅을 하였다. 제조된 안경렌즈의 자외선 및 고에너지 가시광 차단 기능을 UV-visible spectrophotometer로 분석하였다. 그 결과 UV 흡수제를 0.5wt% 첨가한 폴리머 안경렌즈가 411 nm 파장 이하의 자외선 및 고에너지 가시광을 99 % 이상 차단하였다. 또한 460 ~ 660 nm 파장의 명소시각 민감도 10% 이상의 영역에서 평균 투과율이 97.9%를 나타내어 명소시에서 선명한 상을 얻을 수 있었다.

**Abstract** Ultraviolet rays, which have wavelengths smaller than 400 nm, are very harmful to the eyes. Recently, high-energy visible light was also revealed to be harmful to retinal cells. Therefore, polymer eyeglass lenses that can block UV and high-energy visible light are needed for eye health. In this study, high-refractive-index polymer eyeglass lens,  $n=1.67$ , were manufactured using the injection-mold method with the m-xylene diisocyanate monomer, 2,3-bis((2-mercaptoethyl)thio)-1-propanethiol monomer, benzotriazole UV absorber, release of alkyl phosphoric ester, dye mixture of CI solvent violet 13, and catalyst of dibutyltin dichloride mixture. A multi-layer anti-reflection coating was applied to manufactured polymer eyeglass lenses for both sides using an E-beam evaporation system. The optical properties of the manufactured lenses with the UV and high-energy visible light-blocking function were analyzed by UV-visible spectrophotometry. As a result, the polymer eyeglass lens with a UV absorber of 0.5 wt. % blocked 99% of UV and high-energy visible light shorter than 411 nm. The average transmittance of the polymer eyeglass lens with a UV absorber of 0.5wt.% was 97.9% in the range of 460 ~ 660 nm for photopic eye sensitivity higher than 10%. Therefore, clear image acquisition in photopic vision is possible.

**Keywords** : Polymer Eyeglass Lens, Ultraviolet, Blocking, High-Energy Visible Light, Anti-Reflection Coating

---

\*Corresponding Author : Ki-Chul Kim(Mokwon University)

email: kckim30@mowkon.ac.kr

Received August 5, 2020

Revised August 27, 2020

Accepted December 4, 2020

Published December 31, 2020

## 1. 서론

태양에서 지구로 입사하는 햇빛은 다양한 파장의 전자 기파로 구성되어 있다. 대기권 상부의 진공상태에서는 50%의 적외선과 40%의 가시광선, 그리고 10%의 자외선으로 이루어져 있으며, 총 입사에너지는 1.4 kW/m<sup>2</sup> 정도이다[1]. Table 1에는 햇빛의 특성을 파장에 따라 요약하였다. 햇빛은 지구의 대기권을 통과하면서 UVC(100 ~ 280 nm)는 완전히 흡수되고 UVB(280 ~ 315 nm)의 일부와 UVA(315 ~ 400 nm)의 약 95%정도만 지표면에 도달하게 된다. 따라서 지구표면에 입사되는 태양광은 53%의 적외선과 44%의 가시광선, 3%의 자외선으로 구성된다[2]. 이러한 태양광은 지구상에 존재하는 모든 생명체들의 에너지원이지만, 파장에 따라 광자의 에너지가 다르며, 인체에 이롭기도하면서 유해하기도 하다. UVB는 인체에 꼭 필요한 비타민D를 피부에서 생성하지만, 지나친 노출은 피부화상과 피부암의 원인이 되며 결막염, 각막염 및 설안염 등을 일으킬 수 있다[2,3]. Table 2에는 사람의 눈을 구성하는 대표적인 기관들(각막, 수정체, 망막)의 햇빛에 대한 반응을 요약하였다. 자외선의 인체 유해성과 달리 가시광선의 유해성이 알려진 것은 비교적 최근이다[4,5]. 2011년에 L. Knels 등은 411 nm 파장의 청색광이 망막의 뉴런세포의 세포자멸사(apoptosis)를 유발시키는 것을 보고하였다[4]. 또한 특히 최근인 2018년에 K. Ratnayake 등은 445 nm 파장의 청색광을 망막의 광수용체 세포에 조사하였을 때 망막세포를 파괴하는 독성물질의 생성을 유발시켜서 황반변성이 일어날 수 있음을 확인하였다[5]. 황반은 망막의 중심에서 사물을 인식하여 색을 구별하는 등 시력의 90%를 담당하며, 황반변성은 65세 이상의 노령인구에서 발생하는 실명의 가장 큰 원인이다.

2019년 12월 중국의 후베이성 우한시에서 처음 확인

된 코로나바이러스감염증-19(COVID-19)는 아직 백신이 개발되지 않았고, 세계 각국에서 많은 사람을 감염시키면서 사람들의 일상을 순식간에 바꾸어 놓았다. 세계화의 기치아래 개방되었던 세계 각국은 자국민의 보호와 방역을 위해 출입국을 엄격하게 제한하고 있으며, 국민들의 생활 형태까지도 제한하고 있는 상황이다. COVID-19의 영향으로 일상생활의 가장 큰 변화는 '언택트(비대면)' 문화의 확산이다. 재택근무, 온라인 수업 등으로 인하여 실내에서 컴퓨터나 스마트폰을 사용하는 시간이 급격히 증가하였다. 특히 현대인의 삶에서 TV와 PC 및 스마트폰의 과도한 사용은 시력의 저하를 유발하여 안경착용 인구를 증가시켰는데, COVID-19의 영향으로 PC, 스마트폰의 사용시간이 더욱 증가하는 상황이다. PC모니터, 스마트폰, TV 등에서 발생하는 고에너지 청색 가시광은 사람의 눈 건강에 직접적으로 영향을 미친다[4,5]. 따라서 자외선 및 고에너지 가시광을 효과적으로 차단하는 기능성 안경렌즈의 개발이 시대적으로 요구되고 있다.

본 연구에서는 고도근시 및 고도원시인 안경 사용자의 안경렌즈 두께를 얇게 만들 수 있는 굴절률 1.67의 고품질 폴리머 안경렌즈에 자외선 흡수제 첨가 및 반사방지 코팅을 통하여 자외선 및 고에너지 가시광 차단기능을 구현하였고, 광학적 특성을 분석하여 제시하였다.

## 2. 실험방법

눈 건강에 매우 유해한 자외선을 완벽하게 차단하고, 고에너지 가시광의 일부를 차단하는 굴절률 1.67의 폴리머 안경렌즈를 인젝션 몰드 방법으로 열중합 공정으로 제조한 후, 이전에 보고한 것과 동일한 방법으로 SiO<sub>2</sub> 및 ZrO<sub>2</sub>의 5층 이상의 다층 박막을 전자빔 증착시스템으로 진공 증착하여 반사방지 코팅 기능을 구현하였다[3,6].

Table 1. Characteristics of sunlight(UltraViolet Rays, Visible Light, InfraRed Rays)

|               | Wavelength         | Energy per Photon    | Characteristics   |
|---------------|--------------------|----------------------|---|
| UVC           | 100 ~ 280 nm       | 12.40 ~ 4.42 eV      | Completely absorbed by the atmosphere   |
| UVB           | 280 ~ 315 nm       | 4.43 ~ 3.94 eV       | Mostly absorbed by the atmosphere (reached to the Earth's surface only small amount of UVB, dependent on cloud cover) |
| UVA           | 315 ~ 400 nm       | 3.94 ~ 3.10 eV       | Reached to the Earth's surface more than 95% of UVA (3% of sunlight)  |
| Visible Light | 400 ~ 760 nm       | 3.10 ~ 1.63 eV       | Reached to the Earth's surface (44% of sunlight)  |
| Infrared Rays | longer than 760 nm | smaller than 1.63 eV | Reached to the Earth's surface (53% of sunlight)  |

Table 2. Response of human ocular structures (cornea, lens, retina) to sunlight

|        | Response characteristics to sunlight  |
|--------|---|
| Cornea | Transmits radiant energy only at 295 nm or greater                            |
| Lens   | Absorbs most radiant in the wavelength range of 300 ~ 400 nm                  |
| Retina | Damaged by 411 nm blue light at higher irradiance or shorter wavelength light |

자외선 및 고에너지 가시광을 차단하는 굴절률 1.67의 폴리머 안경렌즈는 플라스틱 렌즈의 원재료인 모노머의 질량 100(m-xylylene diisocyanate 모노머 52wt%와 2,3-bis((2-mercaptoethyl)thio)-1-propanethiol 모노머 48wt%)을 기준으로 벤조트리아졸(benzotriazole)로 이루어진 UV흡수제(Mitsue Chemicals Inc, Japan)를 0.0wt%, 0.3wt%, 0.5wt%, 1.0wt%로 각각 다르게 첨가하였고, 알킬인산에스터(alkyl phosphoric ester)로 이루어진 이형제(MR inner release, Mitsui Chemicals Inc, Japan) 0.1wt%, 폴리머 렌즈를 무색으로 만드는 안료(CI Solvent Violet 13) 0.4wt%, 이염화부틸주석(dibutyltin dichloride)으로 이루어진 촉매제 0.015wt%의 혼합물을 1.0 Torr의 진공 분위기에서 교반한 후, 인젝션 몰드 방법으로 열중합 공정으로 제조하였다. 열중합 온도는 섭씨 18-30-60-90-100-120-100-120도로 변화시키면서 실시하였고, 열중합 된 렌즈는 경시변화가 발생하지 않도록 섭씨 125도에서 2시간동안 열처리하였다.

제조된 안경렌즈의 표면을 깨끗하게 세척한 후, 표면 경도를 강화하기 위해 딥 코팅(dip coating) 공정으로 실리카 성분이 녹아있는 용액에 담가서 하드코팅(hard coating)을 실시한 후, 이전의 연구결과에서 보고했던 것과 동일한 방법으로 전자빔 증착 시스템(E-beam evaporation system)을 이용하여 폴리머 안경렌즈의 양면에 다층 반사방지 코팅을 실시하였다[3,6-8]. 굴절률이 다른 매질을 통과할 때 굴절률의 차이에 의해 빛이 반사되는 것을 최소화시키기 위한 반사방지 코팅은 다양한 방법으로 구현된다. 본 연구에서 실시한 전자빔 진공 증착 외에도 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용한 진공증착이 일반적으로 사용된다[9]. 이외에도 실리카 나노입자를 이용한 나노포러스 구조의 반사방지 코팅[10], 나방 눈의 일정한 주기를 갖는 나노기둥 형태를 모사한 반사방지 구조[11] 등이 있으나, 본 연구의 진공증착 방법이 가장 일반적으로 적용되는 신뢰성이 높은 반사방지 코팅방법이다.

제조된 폴리머 안경렌즈의 광학적 특성을 UV-visible spectrophotometer로 300 ~ 900 nm 파장 영역에 대하여 분석하여, 폴리머 안경렌즈의 제조에 있어서 UV 흡수제 및 반사방지 코팅에 따른 자외선과 고에너지 가시광의 차단 효과를 조사하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

자외선 및 청색광이 눈 건강에 미치는 영향을 연구한 최근의 연구결과를 검색하면, 고에너지 청색 가시광의 망막 세포에 대한 영향을 보고한 연구결과[4,5] 외에도 콘택트 렌즈에서의 자외선 차단이 눈 건강에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구가 최근에 다수 발표되었음을 알 수 있다[12,13]. 또한 상용 선글래스 및 일반 안경렌즈의 자외선 및 고에너지 청색 가시광 차단효과를 연구한 결과도 다수 보고되고 있는데[14,15], 상당수의 상용 안경렌즈가 자외선 및 고에너지 청색 가시광 차단 기능이 미흡한 것을 확인할 수 있다[14,15]. 특히 28종의 안경렌즈(선글래스 16종, 일반 안경렌즈 11종, 실험실 안전 안경렌즈 1종)에 대하여 자외선 및 고에너지 청색 가시광 차단 효과를 조사한 연구결과에 의하면 제조사에서는 100% 자외선을 차단한다고 주장하고 있으나, 선글래스임에도 자외선을 차단하지 못하는 안경렌즈가 상당수 있었다. 또한 일반 안경렌즈로 가장 폭넓게 사용되고 있는 굴절률 1.50의 CR-39 폴리머 안경렌즈의 경우, 380 nm 파장에서 54.7 ~ 58.7% 정도의 투과율을 나타내었으며, 400 nm 파장에서는 90.7 ~ 96.8% 정도의 투과율을 나타내어 자외선 차단효과가 미흡했으며, 400 ~ 426 nm 파장 영역의 고에너지 청색 가시광 영역에서는 90 ~ 100%의 투과율을 나타냄을 보고하였다[14].

열중합 인젝션 몰드 공정으로 제조된 굴절률 1.67의 폴리머 안경렌즈에 대한 투과율 측정 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. UV 흡수제를 첨가하지 않고 열중합 공정으로 제조한 안경렌즈(without UV absorber로 표시), 다층박막으로 구성된 반사방지 코팅(with ARC로 표시, Anti-Reflection Coating)을 실시한 안경렌즈 등 다양한 조합에 대하여 300 ~ 900 nm 파장 영역에 대하여 투과율 측정 결과를 제시하였다. UV 흡수제를 첨가하지 않았지만 다층 반사방지 코팅을 실시한 안경렌즈의 경우, 340 nm 파장까지는 99% 이상 자외선을 차단하여, UVB는 완벽하게 차단하였고, UVA도 일부 차단하고 있음을 알 수 있다. UV 흡수제를 0.5wt% 첨가한 경우에

는, 411 nm 파장 이하의 빛은 99% 이상 차단하였다. 사람의 망막세포는 파장에 따라 민감도가 다르며, 411 nm 파장에서는 시각 민감도(eye sensitivity)가 1% 미만이므로 100% 차단되어도 명소시(photopic vision)에는 문제가 되지 않는다[14]. 따라서 411 nm 이하의 파장을 99% 이상 차단하는 본 연구결과는 망막 뉴런세포의 세포자멸사를 방지할 수 있음을 알 수 있다[4]. 선행연구보고에 의하면 430 nm에서 시각 민감도는 3% 미만이므로 투과도가 낮아도 명소시에 크게 영향을 미치지 않는다[14]. 따라서 본 연구의 426nm에서의 투과도 57.7%는 눈 건강과 명소시에 적당한 수준임을 알 수 있다[14]. 또한 다층 반사방지 코팅의 유무에 따라서 460 ~ 660 nm 파장의 명소시 시각 민감도 10% 이상 영역에서 평균투과율이 97.9%와 88.6%를 나타내어 약 9.3%정도 투과율의 차이가 발생하여, 반사방지 코팅 안경렌즈가 보다 선명한 상이 가능함을 알 수 있다.

Fig. 2에는 첨가한 UV 흡수제의 중량비에 따른 투과율의 차이를 비교하여 나타내었다. UV 흡수제의 중량비가 증가할수록 미미하지만 고에너지 가시광을 차단하는 파장이 길어져서 1.0wt%의 UV 흡수제를 첨가한 경우에는 415 nm 파장 이하의 빛은 99% 이상 차단하는 것을 알 수 있다. 하지만 Fig. 4 (e)에 나타난 것처럼, UV 흡수제를 1.0wt% 첨가한 경우에는 안경렌즈의 모노머에 UV 흡수제가 균일하게 분산되지 않아서 시각적으로 깨끗한 안경렌즈가 제조되지 않았다. UV 흡수제의 첨가중량이 0.3wt%인 경우에는 408 nm 파장 이하의 빛은 99% 이상 차단하였고, 가시광선 영역에서의 투과율은 0.5wt%의 투과율과 대동소이하였다. 따라서 UV 흡수제를 0.5wt%를 첨가했을 때 가장 우수한 광학적 특성을 나타내었다.

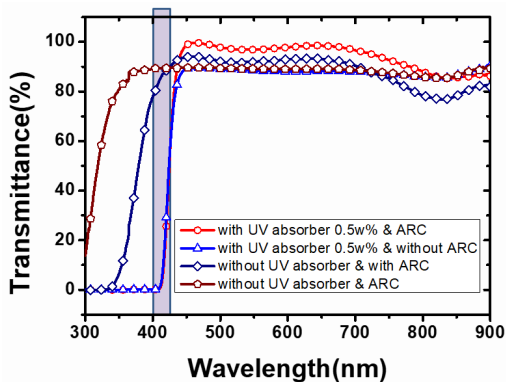


Fig. 1. Transmittance of polymer eyeglass lenses with  $n=1.67$  and UV/high energy blue light blocking function

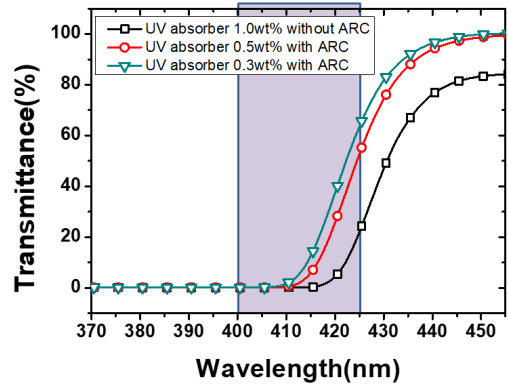


Fig. 2. Magnified transmittance of polymer eyeglass lenses with  $n=1.67$  and UV/high energy blue light blocking function

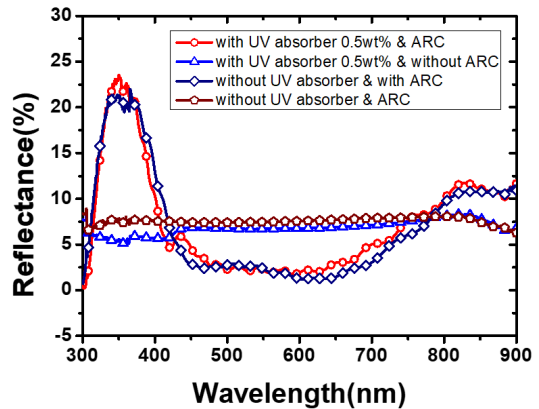


Fig. 3. Reflectance of polymer eyeglass lenses with  $n=1.67$  and UV/high energy blue light blocking function

Fig. 3에는 폴리머 안경렌즈 각각의 반사율 측정 결과를 나타내었다. 파장 460 ~ 660 nm의 명소시 시각 민감도 10% 이상의 영역에 대하여 다층 반사방지 코팅을 실시한 안경렌즈는 UV 흡수제의 첨가 유무에 따라 평균 반사율이 각각 2.4%, 2.0%를 나타내었고, 다층 반사방지 코팅을 실시하지 않은 안경렌즈도, UV 흡수제의 첨가 유무에 따라 평균 반사율이 각각 6.8%, 7.5%를 나타내어 반사율 측정오차 범위 내에서 차이를 발견할 수 없었다.

Fig. 4에는 인젝션 몰드 열중합 공정으로 제조한 폴리머 안경렌즈의 사진을 각각 나타내었다. 반사방지 코팅의 안경렌즈는 특유의 녹색광이 반사되는 것을 확인할 수 있고, UV 흡수제를 1.0wt% 첨가한 경우 외에는 시각적으로 깨끗하게 제조된 것을 확인할 수 있다.

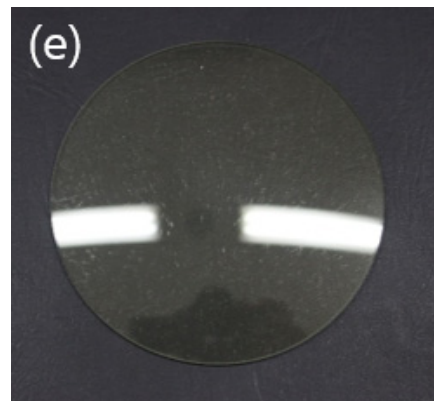
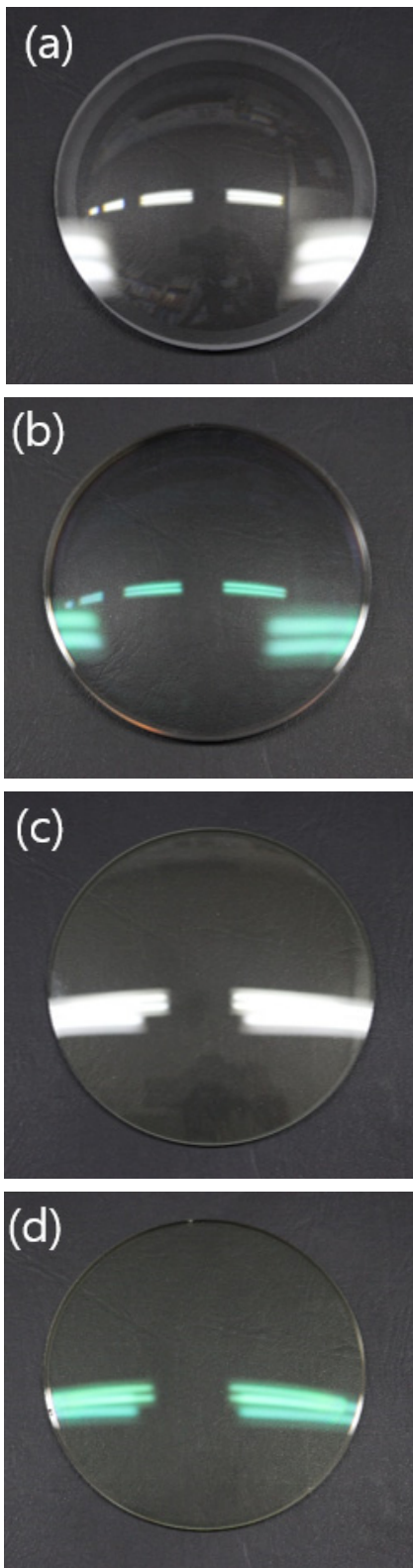


Fig. 4. Photographs of polymer eyeglass lens with various manufacturing conditions: (a) without UV absorber & ARC, (b) without UV absorber & with ARC, (c) with UV absorber 0.5wt% & without ARC, (d) with UV absorber 0.5wt% & ARC, (e) with UV absorber 1.0wt% & without ARC

#### 4. 결론

본 연구에서는 인젝션 몰드 열중합 공정으로 굴절률 1.67의 폴리머 안경렌즈를 제조하였고, UV 흡수제의 첨가량을 미미하게 조절함으로써 자외선 및 고에너지 가시광을 효과적으로 차단할 수 있음을 규명하였으며, 연구결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, UV 흡수제의 첨가 중량이 0.5wt% 일 때 파장 411 nm 이하의 자외선 및 고에너지 가시광을 99% 이상 차단하였다.

둘째, UV 흡수제의 첨가 중량이 1.0wt% 일 경우에는 깨끗한 안경렌즈를 제조할 수 없었고, 460 ~ 660 nm 파장의 명소시 시각 민감도 10% 이상 영역에서의 평균 투과율도 85.1%로 낮았다.

셋째, UV 흡수제를 첨가하지 않고, 다층 반사방지 코팅만으로도 눈 건강에 매우 해로운 파장 340 nm 이하의 빛을 99% 이상 차단할 수 있었다.

이상에서 살펴본 것처럼 폴리머 안경렌즈의 제조에 있어서 UV 흡수제를 미량만 첨가하여도 눈 건강에 매우 해로운 자외선 및 고에너지 가시광을 효과적으로 차단할 수 있었다. 실내 활동이 증가하고 '비대면' 문화가 확산되는 COVID-19 시대에는 본 연구에서 제시한 것과 같은 자외선 및 고에너지 가시광이 효과적으로 차단되는 안경렌즈의 제조와 공급이 보편화 되어야 눈 건강에 도움이 될 것으로 판단한다.

## References

- [1] Q. Fu, "Solar radiation", pp. 1859-1863, Elsevier Science, 2003.  
[http://curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter3/Ency\\_Atmos/Radiation\\_Solar.pdf](http://curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter3/Ency_Atmos/Radiation_Solar.pdf)
- [2] from Wikipedia  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet>
- [3] K-C. Kim, "Anti-reflection coating technology based high refractive index lens with ultra-violet ray blocking function", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 17, No. 12, pp. 482-487, 2016.  
 DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.12.482>
- [4] L. Knels, M. Valtink, C. Roehlecke, A. Lupp, J. Vefa, M. Mehner, R. H. W. Funk, "Blue light stress in retinal neuronal(R28) cells is dependent on wavelength range and irradiance", *European Journal of Neuroscience*, Vol. 34, pp. 548-558, 2011.  
 DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2011.07790.x>
- [5] K. Ratnayake, J. L. Payton, O. H. Lakmal, A. Karunarathne., "Blue light excited retinal intercepts cellular signaling", *Scientific Reports*, Vol. 8, p. 10207, 2018.  
 DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28254-8>
- [6] K-C. Kim, "A study on the anti-reflection coating effects of polymer eyeglasses lens", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 1, pp. 216-221, 2017.  
 DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.1.216>
- [7] K-C. Kim, "Effective graded refractive-index anti-reflection coating for high refractive-index polymer ophthalmic lenses", *Materials Letters*, Vol. 160, pp. 158-161, 2015.  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.07.108>
- [8] K-C. Kim, "Thickness effect of anti-reflection coating with graded refractive index structure", *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 10, No. 13, pp. 33671-33673, 2015.
- [9] S. Chhajed, M. F. Schubert, J. K. Kim, and E. F. Schubert, "Nanostructured multilayer graded-index antireflection coating for Si solar cells with broadband and omnidirectional characteristics", *Applied Physics Letters*, Vol. 93, p. 251108, 2008.  
 DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3050463>
- [10] J. Moghal, J. Kobler, J. Sauer, J. Best, M. Gardener, A. A. R. Watt, and G. Wakefield, "High-performance, single-layer antireflective optical coatings comprising mesoporous silica nanoparticles", *ACS Applied Materials & Interfaces*, Vol. 4, pp. 854-859, 2012.  
 DOI: <https://doi.org/10.1021/am201494m>
- [11] Y. Li, J. Zhang, and B. Yang, "Antireflective surfaces based on biomimetic nanopillared arrays", *Nano Today*, Vol. 5, pp. 117-127, 2010.  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2010.03.001>
- [12] M. Notara, S. Behboudifard, M. A. Kluth, C. Mablo, C. Ganss, M. H. Frank, B. Schumacher, C. Cursiefen, "UV light-blocking contact lenses protect against short-term UVB-induced limbal stem cell niche damage and inflammation", *Scientific Reports*, Vol. 8, p. 12564, 2018.  
 DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30021-8>
- [13] J. Depry, R. Golding, L. Szczołka-Flynn, H. Dao, F. Baron, K. Cooper, "UVB-protective properties of contact lenses with intended use in photoresponsive eyelid dermatoses", *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, Vol. 29, pp. 253-260, 2013.  
 DOI: <https://doi.org/10.1111/phpp.12064>
- [14] S. A. Giannos, E. R. Kraft, L. J. Lyons, P. K. Gupta, "Spectral evaluation of eyeglass blocking efficiency of ultraviolet/high-energy visible blue light for ocular protection", *Optom Vis Sci*, Vol. 96, No. 7, pp. 513-522, 2019.  
 DOI: <http://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001393>
- [15] C. W. Dunnill, "UV blocking glass: low cost filters for visible light photocatalytic assessment", *International Journal of Photoenergy*, Vol. 2014, p. 407027, 2014.  
 DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/407027>

김기출(Ki-Chul Kim)

[중신회원]



- 1993년 2월 : 아주대학교 물리학과 (이학사)
- 1996년 2월 : 아주대학교 물리학과 (이학석사)
- 2002년 2월 : 아주대학교 물리학과 (이학박사)
- 2002년 4월 ~ 2006년 3월 : 한국 전자통신연구원 선임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 신소재화학공학과 교수

<관심분야>

에너지 저장소재, 가스센서, 에너지 하베스팅 소재