



Physical and Optical Properties of Polarized Lenses

Ha-Rim Kim¹ and Ju-Hyun Jeong^{2,*}

¹Dept. of Optometry, Konyang University, Student, Daejeon 35365, Korea

²Dept. of Optometry, Konyang University, Professor, Daejeon 35365, Korea

(Received August 12, 2019; Revised September 9, 2019; Accepted September 18, 2019)

Purpose: The purpose of this study was to investigate the optical and physical properties of different polarized lenses commercially available in Korea. **Methods:** Optical (transmittance and reflectance) and physical (heat- and wear-resistance) properties were evaluated for six different polarized lenses. Transmittance was measured and divided into three blue-light regions. Heat-resistance was evaluated using the time taken by the coating layer to crack. Lenses were placed in a heater, which was pre-heated to 80°C, and the presence of cracks was assessed every 10 min. The wear-resistance test was performed with a pen scratch. **Results:** All six samples showed a high ultraviolet (UV) blocking ratio in UVC (200-280 nm) and UVB (280-320 nm) regions, with transmittance of 0. Transmittance increased to 1.63% in the UVA (320-380 nm) region and gradually to 17.39% in the visible spectrum (VIS, 380-750 nm) region. Spectral luminance in the VIS (380-750 nm) region was 16.73-24.45%. Average reflectance in the VIS region (380-750 nm) was 4%. Time taken for the coating layer to crack was 120 min in the heat-resistance test. **Conclusions:** All polarized lenses included in this study completely blocked UVC and UVB light. Average reflectance in the VIS region (380-750 nm) was 4.4%. Average pencil hardness was 6H, containing 250 g of graphite.

Key words: Polarized lens, Transmittance, Blue light, Heat resistance, Wear resistance

서 론

시생활에 필요한 가시광선을 많이 통과하게 하고 각막과 망막에 손상을 입히는 유해광선인 자외선을 차단할 수 있는 역할을 하는 것이 안경렌즈, 콘택트렌즈 등이다.^[1] 안경렌즈의 종류에는 자외선 차단렌즈, 변색렌즈, 편광렌즈 등이 있다. 그동안에는 자외선 차단렌즈, 변색렌즈에 관한 광학적 특성에 관한 연구는 많이 보고되었다. 그러나 편광렌즈에 대한 연구는 거의 없는 상황이다.

빛은 맥스웰 방정식에서 알 수 있듯이 서로 직각을 이루고 있는 전기장(E)과 자기장(M)의 진동으로 이루어지며, 매질에서 항상 일정 속도로 이동하는 전자기파이다. 편광은 특정한 방향으로 진동하는 현상을 의미하는데 이러한 빛은 특정한 광물질이나 광학 필터를 사용해 편광된 상태의 빛을 얻을 수 있다. 이때 편광필터를 통과한 빛의 진동 방향을 편광필터의 축(axis)이라고 하며, 편광필터를 내장한 편광렌즈에서는 편광렌즈의 축이 된다.^[2]

자연물에 반사되어 난반사와 굴절을 거둬하는 자연광이 그대로 눈에 들어오게 되면 눈부심 현상을 일으키게 되는

데, 편광(偏光)의 원리를 응용한 편광렌즈를 착용하면 눈부심을 줄일 수 있다.^[3] 일반적으로 눈부심을 방지하기 위해서는 착색렌즈를 통해 빛 투과율을 줄여 눈부심을 완화시키지만 물체에 반사되어 들어오는 반사광에서 눈부심을 더 크게 느끼기 때문에 완벽한 눈부심 방지 렌즈라고 할 수 없다. 그러나 편광렌즈는 모든 방향으로 반사와 굴절을 거둬하는 자연광을 한 방향으로만 투과시켜 눈부심을 감소시키고 사물을 볼 수 있는 가시거리를 길어지게 해준다. 편광렌즈는 자외선뿐만 아니라 난반사까지 차단하는 렌즈인데, 편광필터를 통해 시야에 방해가 되는 반사광을 제거한 렌즈로 나뭇잎, 유리, 수면 위 등의 반사광이 강한 곳에서는 일반 선글라스보다 더 선명하고 맑게 볼 수 있게 해준다.

편광선글라스는 아스팔트 반사광이나 야간 운전 시 여러 종류의 반사광을 획기적으로 줄일 수 있다. 편광필름을 렌즈에 결합시키는 방법은 접착제를 사용하는 경우가 있으나 투과도를 많이 떨어뜨리는 단점이 있다. 개량된 방법으로 편광필름을 가열하여 부착시키는 방법이 있는데, 투과도에는 문제가 없지만 편광필름이 쉽게 파손되는 문제

*Corresponding author: Ju-Hyun Jeong, TEL: +82-42-600-8426, E-mail: jerngju@konyang.ac.kr

점이 있다. 단량체 내에 편광필름을 위치시키는 방법이 있는데 그 중 개스킷(Gasket) 금형을 이용하여 금형 내부에 편광필름을 위치시키고 단량체가 금형 내에 주입되어 편광필름 내외부에 플라스틱이 성형되어 렌즈를 만드는 방법이 수작업은 많은 숙련도가 필요하기 때문에 이를 보완하여 공압장치를 이용하여 상하부 지그를 조정하는 기술이 사용되기도 한다. 하지만 근본적으로 지그를 사용하게 되면 편광필름의 앞쪽 두께를 1 mm 정도로 줄이는 것은 불가능하기 때문에 렌즈의 두께가 필요 이상으로 두꺼워지는 단점을 가지고 있다. 따라서 개스킷(Gasket) 금형을 사용하지 않는 새로운 방법이 필요하다.^[4-6]

290 nm보다 짧은 파장의 자외선 영역에서는 UV가 미생물을 죽이는 살균력이 있으며 파장이 짧아질수록 입자성이 강해진다. 사람 눈으로 UV를 볼 수 없는 이유는 수정체가 UV를 흡수하기 때문이다. 특히 UVA(320-380 nm)는 눈에 수정체 색소를 변화시켜 황색 및 일광 백내장을 유발하고 앞서 설명한 기타 각막 황반부 질환들을 동반한다. 이러한 자외선을 차단하기 위하여 플라스틱 안경렌즈에서는 TiO₂와 ZnO를 사용하고 유리렌즈에서는 CeO₂를 사용하고 있다.^[7] 하지만 편광렌즈에서는 이렇다할만한 보고가 알려진 것도 없고 다만 몇몇 회사에서 자외선 차단효과가 있다고 말하는 것이 전부이다. 본 연구에서는 현재 시중에 판매되는 편광렌즈의 광학적 특성인 투과율과 반사율 그리고 물리적 특성인 내열성, 연필경도에 대해 연구하였다.

대상 및 방법

본 실험에서는 서로 다른 6개의 편광렌즈를 대상으로 광학적으로는 투과율, 반사율 그리고 물리적으로는 내열성과 연필경도를 측정하였다. 측정 전 편광렌즈는 계면활성제로 세척 후 2차 증류수로 헹군 다음 UV-VIS Spectrophotometer(SolidSpec-3700, SHIMADZU, Japan)를 이용하여 투과율을 측정하였다. 측정된 편광렌즈의 투과율 데이터로 자외선 및 청광 파장을 David L.의 기준에 따라 샘플영역을 나누어 분석하였다. David L.의 기준에 따라 빛의 영역을 분류하면 200-280 nm UVC 영역, 280-320 nm UVB 영역, 320-380 nm UVA 영역, 380-450 nm Blue Light1 영역, 450-470 nm Blue Light2 영역, 470-500 nm Blue Light3 영역, 380-750 nm 가시광선 영역, 750-900 nm 근적외선 영역으로 분류된다.^[8] 편광렌즈의 물리적 특성인 내열성 실험은 80°C로 예열한 건조기(H-5000A, HanShin medical, Korea)에 편광렌즈를 넣어 10분 단위로 편광렌즈 코팅막의 크랙 유무를 관찰하였다. 연필경도 시험은 렌즈의 코팅과 관련해서 자주 이용되는 방법으로, 코팅된 렌즈의 내마모성과 경도를 평가하는데 이용된다. 이 연필경도

실험은 비용이 적게 들고 편리하기 때문에 광학 플라스틱의 소재나 코팅 분야에서 표면의 경도를 평가하는데 유용하다. 본 연구에서는 ISO규격을 바탕으로 연필경도계(S8KA25B, SPG, Korea)를 사용해 연필 각도를 90°로 하고 250 g, 500 g, 750 g의 하중으로 초당 0.5-1 mm 속도로 약 7 mm 정도 길이로 렌즈 표면을 20회 왕복하여 측정하였다.

결과 및 고찰

총 6개의 편광렌즈를 대상으로 실험을 하였고 일반 투명렌즈의 경우에는 가시광선 영역에서 투과율이 높을수록 좋은 렌즈라 볼 수 있지만 편광렌즈의 경우 사용목적에 따라 가시광선 영역에서 적정 투과율의 기준이 다를 수 있으므로 투과율이 높고 낮은 정도에 따라 렌즈를 평가하는 것은 무의미하다. 그러나 자외선 영역에서는 투과율이 낮을수록 자외선 차단 효과가 높으므로 좋은 렌즈라 볼 수 있다.^[9] 본 연구에서 측정된 안경렌즈는 자외선을 차단함으로써 안질환 예방 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 송^[10] 등의 연구에서는 염화불화탄소(chlorofluorocarbons, CFS)에 의해 오존층 파괴가 심각히 대두되면서 UV에 관한 관심이 높아지는 지금 자외선의 양이 증가하면 백내장, 근시, 각막 이영양증, 황반부 변성 등의 질환이 증가하는 것으로 보고 하였다. 자외선 UVA(320-380 nm)는 눈의 수정체 색소를 변화시켜 황색 및 일광백내장을 유발하고 앞서 설명한 기타 각막 황반부 질환들을 동반한다.

본 연구에서 측정된 편광렌즈는 UVC(200-280 nm) 영역과 UVB(280-320 nm) 영역에서는 6개의 샘플렌즈에서 모두 투과율 값이 0으로 높은 차단율을 보였으며, UVA(320-380 nm)에서 6개의 sample 렌즈가 1.63%의 아주 낮은 투과율을 나타내었고, 점진적 투과율이 증가하며 660 nm 이상의 파장부터 급격히 투과율이 증가하였다. 측정된 편광렌즈들은 가시광선 영역에서 최소 12.95%, 최대 23.14%로 평균 약 17.39%로 측정되었다. 적외선 영역에서는 편광 렌즈의 투과율은 높게 측정되었으며 Sample 6에서 가장 높은 84.86%의 투과율이 측정되었다(Table 1). 송^[10] 등의 연구에 의하면 415 nm에서 측정된 안경렌즈에서는 0.00 D에서 국내 D사의 제품은 청광 차단율이 19.7%, C사의 제품은 54.9%로 측정되었고, 외국계회사인 N사의 제품은 29.4%로 측정되었다. -3.00 D에서 국내 D사의 제품은 청광 차단율이 20.9%, C사의 제품은 55.2%, 외국계회사인 N사의 제품은 33.2%로 측정되었다. -5.00 D에서 국내 D사의 제품은 청광 차단율이 28.3%, C사의 제품은 73.1%, 외국계회사인 N사의 제품은 36.1%로 보고하였다. David L.은 청광영역을 3가지로 분류하여 청광영역1(380-

Table 1. Transmittance value of polarized lenses

Sample	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
UVC (200-280 nm)	(0.01)	(0.00)	0.02	(0.01)	(0.00)	(0.00)
UVB (280-320 nm)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)
UVA (320-380 nm)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	1.63
Blue Light (380-500 nm)	4.40	16.02	4.23	13.46	8.42	6.23
Blue Light1 (380-450 nm)	3.17	11.58	3.10	9.96	6.72	4.50
Blue Light2 (450-470 nm)	4.88	21.94	4.66	17.93	10.05	7.96
Blue Light3 (470-500 nm)	6.93	22.54	6.56	18.71	11.35	9.14
VIS (380-750 nm)	13.88	21.75	13.64	19.00	12.95	23.14
NIR (750-900 nm)	78.58	68.39	78.62	71.55	78.22	84.86

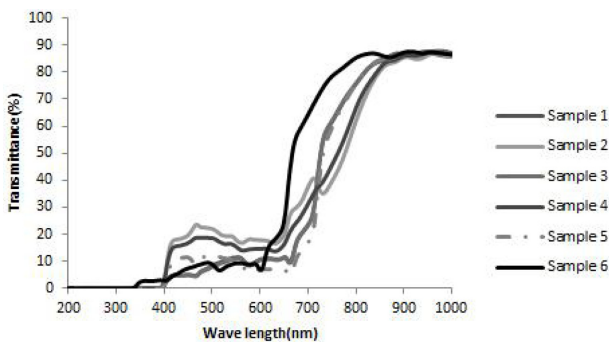


Fig. 1. Transmittance of polarized lenses.

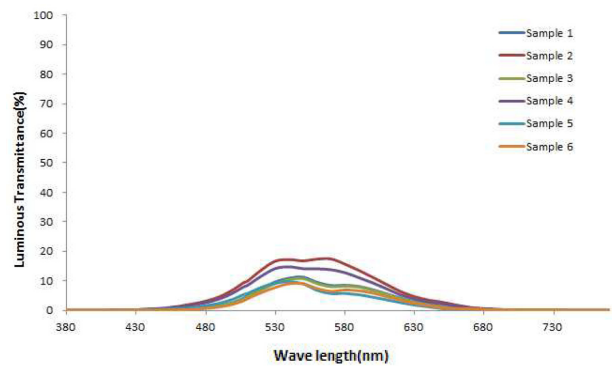


Fig. 2. Luminous transmittance of polarized lenses.

450 nm, Blue Light1), 청광영역2(450-470 nm, Blue Light2), 청광영역3(470-500 nm, Blue Light3)으로 나타내었으며, 청광영역1은 망막 손상 및 세포를 파괴하는 영역, 청광영역2는 눈분심과 멜라토닌 생성 억제 영역, 청광영역3은 수면장애 및 우울증 등의 치료를 위해 사용한 영역으로 분류하였다.^[8] 본 연구에서 청광영역1(380-450 nm, Blue Light1)의 평균 투과율은 약 6.5%, 청광영역2(450-470 nm, Blue Light2)의 평균 투과율은 약 11.24%, 청광영역3(470~500 nm, Blue Light3)의 평균 투과율은 약 12.53%로 측정되었다 (Table 1).

시중에서 판매되고 있는 서로 다른 6개의 편광렌즈로 측정된 투과율과 표준 시감도 데이터 수치들을 같은 과정에서 곱하여 최종 분광 시감도를 구하였다. 투과율이 높고 시감도 크기가 모두 클 때 최종 시감도의 세기를 100으로 하여 계산하였다. 투과율의 스펙트럼 세기와 시감도 크기가 모두 클 때 최종 분광 비시감도 $Pf(\lambda)$ 의 세기가 100으로 가장 크다. 편광렌즈에 대한 380-750 nm 영역의 시감도의 계산 결과 그래프를 Fig. 2에 나타내었다. 측정된 편광렌즈에서는 Sample 2가 24.45%로 가장 높은 값을 얻었고 Sample 6이 16.73%로 가장 낮은 값을 얻었다. Blue Light 영역에서는 Sample 2가 15.67%로 가장 높은 값을

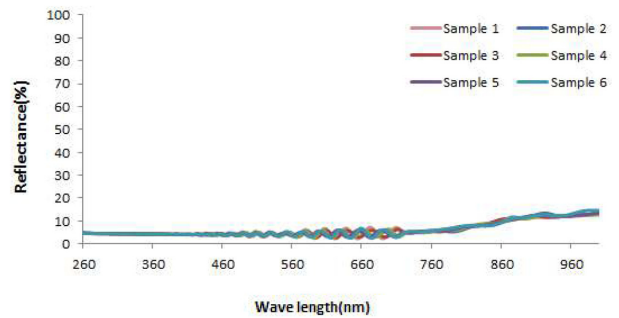


Fig. 3. Reflectance of polarized lenses.

얻었고 Sample 6이 2.83%로 가장 낮은 값을 얻었다.

편광렌즈의 반사율은 UV-VIS Spectrometer로 측정하였다. 편광렌즈의 가시광선 영역(380-750 nm)에서의 평균 반사율은 4.4%로 측정되었다. 청광영역에서의 평균 반사율 4.2%로 측정되었다(Table 3). 사람의 시신경은 빛의 파장에 따라 반응하는 민감도가 다르다. 사람의 시신경에서 민감도가 높은 명소시 반응(photopic response) 대역인 460-660 nm에 대해서는 평균반사율이 4.3%로 분석되었다. 2016년 김^[12] 등은 가시광선 전체 영역에 대하여 UV 흡수제 및 AR 코팅이 없는 경우와 UV 흡수제는 없지만 AR 코팅이 있는 경우, 그리고 UV 흡수제와 AR 코팅 모두가 적용된 안경렌

Table 2. Luminous transmittance of polarized lenses

Sample	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
Blue Light (380-500 nm)	4.39	15.67	4.22	13.17	8.26	2.83
VIS (380-770 nm)	18.59	24.45	18.45	22.30	17.71	16.73

Table 3. Reflectance of polarized lenses

Sample	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
Blue Light (380-500 nm)	4.25	4.17	4.24	4.21	4.25	4.21
VIS (380-750 nm)	4.55	4.29	4.42	4.37	4.43	4.40
IR (750 mm~)	9.79	9.77	9.84	9.81	9.85	10.19



Fig. 4. Heat resistance of polarized lenses at 80°C.

즈에 대한 각각의 평균 반사율은 7.6%, 3.4%, 1.6%로 보고 하였다. 측정된 편광렌즈는 UV 흡수제는 없지만 AR 코팅이 있는 경우보다 조금 높은 반사율이 측정되었다.

렌즈의 내열성은 렌즈에 열을 가했을 때 분해되거나 변형되지 않고 재료의 물성을 그대로 유지하는 특성을 말한다. 내열성 실험은 디지털 가열기를 사용하였으며, 80°C의 조건에서 10분 간격으로 균열을 확인하였으며, 120분에 첫 균열이 발생하였다(Fig. 4). 2011년 조^[13] 등은 70°C의 끓는 물에 렌즈(Index 1.55)를 담가 실험한 결과 1시간이 경과된 후 코팅 막의 균열이 시작되었다고 하여 본 연구와는 차이를 보였다. 이것은 렌즈의 내온수성에 대한 평가 결과로 건열 손상에 대한 평가를 실시한 본 실험과는 실험 과정의 차이에 따른 다름이라 판단한다. 유기물인 렌즈 소재와 하드코팅에 비해 반사방지막 코팅은 열팽창계수가 작아서 멀티코팅에서 흔히 균열이 발생된다. 그러나 멀티코팅에서 발생된 균열은 하드코팅에 직접적인 영향을 미친다.^[14,15] 균열이 있는 편광렌즈를 착용하면 난반사가 발생되어 렌즈를 통해 들어오는 상의 선명도가 저하되어 교정시력의 저하가 유발되고, 눈의 피로도 역시 나타날 수 있다. 굴절 교정렌즈는 포장지에 고온에 주의할 것을 권장하고 있지만 아직까지 편광렌즈, 광변색렌즈 등 기능성 렌즈들에는 고온 주의에 대해 정확한 안내가 없으므로 안경사는 안경 착용자에게 열에 의한 렌즈의 변형에 대한 내



Fig. 5. Pencil hardness tester for polarized lenses.

용을 주지시킬 필요가 있을 것이다.

본 연구에서는 사용한 연필경도 검사는 안경렌즈의 전면을 측정하였으며 연필의 경도와 검사하는 추의 무게의 하중을 250 g, 500 g, 750 g으로 변화시키며 렌즈 표면에 스크래치가 발생할 때 까지 시행하여 발생하기 바로 직전의 연필경도 값과 추의 무게로 데이터값을 얻었다. 측정된 편광렌즈는 평균 6H 250 g에서 스크래치가 발생하였다(Fig. 5). 현재 쓰이고 있는 대부분의 플라스틱 렌즈는 경도가 3H, 4H 정도로 낮아 흠집이 생기기 쉬우므로 반사방지막 코팅 전에 먼저 하드코팅을 하여 내마모성을 증가시키고 있다.

결론

본 연구에서는 6개의 편광렌즈를 대상으로 광학적으로는 투과율, 반사율 그리고 물리적으로는 내열성, 내마모성을 측정하였다.

1. 측정된 편광렌즈들은 눈에 해로운 UVC, UVB를 100% 차단하였다.
2. 청광영역에서는 청광영역1, 청광영역2, 청광영역3 순으로 투과율이 증가하였다.
3. 가시광선 영역의 평균 반사율은 4.4%로 측정되었다.
4. 내열성 실험 결과는 120분부터 균열이 발생했다.
5. 측정된 편광렌즈의 연필경도는 평균 6H 250 g로 측정되었다.

REFERENCES

- [1] Lim HS, Ji TS, Kim BH. A study on the optical properties of eye-glasses. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 1997; 2(1):31-43.
- [2] Kang SS, Doo HY, Park SH, Park JS, Bae HJ, Seo JM et al. Eyeglasses materials, 1st Ed. Seoul: Haejin Media, 2017; 161-167.
- [3] Song BG, Cho MR, Park YS, Kim YT. Method for manufacturing polarizing lens. Korea Patent 1020110092535, 2011.
- [4] Kim SI. Polarized lens manufacturing method. Korea Patent 1009645790000, 2010.
- [5] Han DH. Contrast response characteristics of the refractive index 1.60 light and shade lens. Proceedings of the KAIS(Korea Academia Industrial Cooperation Society) spring conference. 2017;1:147-152.
- [6] Han DH. Eyeglass lenses which protect UV and blue light. International Journal of Applied Engineering Research. 2015;10(90):763-765.
- [7] American National Standards Institute. ANSI Z80.3, 2009: Ophthalmics non prescription sunglass and fashion eyewear requirements, 2009. [https://webstore.ansi.org/standards/vc%20\(asc%20z80\)/ansiz802009\(19 September 2019\)](https://webstore.ansi.org/standards/vc%20(asc%20z80)/ansiz802009(19%20September%202019)).
- [8] Kodak Lens. Research on blue light and the affects to your eyes, 2016. [https://www.eyetrusteyecare.ca/research-on-blue-light-and-the-affects-to-your-eyes\(19 September 2019\)](https://www.eyetrusteyecare.ca/research-on-blue-light-and-the-affects-to-your-eyes(19%20September%202019)).
- [9] Yu DS, Lee JH, Ha JW. UV blocking coatings by combination of organic-inorganic hybrid materials and UV absorbers. J Korea Acad Industr Coop Soc. 2006;7(6): 1296-1301.
- [10] Song KS, Joo SH. Study on the blue light hazard protection rate of blue light coated lenses. Korean J Vis Sci. 2016;18(4):525-533.
- [11] Lim YM, Shim MS, Sim HS, Kim SM. Properties of sunglass lenses by non-destructive test for the sunglass standards. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2001;6(1):125-131.
- [12] Kim KC. Anti-reflection coating technology based high refractive index lens with ultra-violet rays blocking function. J Korea Acad Industr Coop Soc. 2016;17(12):482-487.
- [13] Cho HG, Moon BY. Study on the changes of ophthalmic plastic lens due to heating. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2011;16(3):247-253.
- [14] Yu DS, Moon BY, Ha JW. A comparative study on test methods for ophthalmic lens coatings. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2006;11(1):7-15.
- [15] Brooks CW, Borish IM, Choi HJ. System for ophthalmic dispensing, 1st Ed. Seoul: Daihakseolim, 2004;392-401.

편광렌즈의 광학적 · 물리적 특성에 관한 연구

김하림¹, 정주현^{2,*}¹건양대학교 안경광학과, 학생, 대전 35365²건양대학교 안경광학과, 교수, 대전 35365

투고일(2019년 8월 12일), 수정일(2019년 9월 9일), 게재확정일(2019년 9월 18일)

목적: 본 연구는 현재 시중에 판매되고 있는 편광렌즈의 광학적 특성과 물리적 특성에 대해 연구하였다. **방법:** 6개의 편광렌즈를 대상으로 광학적으로는 투과율, 반사율, 그리고 물리적으로는 내열성, 내마모성을 측정하였다. 측정된 투과율 데이터는 청광영역을 청광영역1, 청광영역2, 청광영역3으로 세분화하여 분석하였다. 내열성 실험은 80°C로 예열한 건조기에 편광렌즈를 넣어 10분 단위로 코팅막의 크랙 유무를 관찰하며 코팅막에 균열이 생길 때까지 실시하였다. 내마모성 실험은 연필경도기를 이용하여 측정하였다. **결과:** UVC(200-280 nm) 영역과 UVB(280-320 nm) 영역에서는 6개의 샘플렌즈 모두 투과율 값 0으로 높은 차단율을 보였다. UVA(320-380 nm)에서 1.63%, VIS(380-750 nm) 영역에서 평균 약 17.39%로 측정되었다. VIS(380-750 nm) 영역의 분광 시감도를 계산한 결과, 가장 높은 시감도는 24.45%, 가장 낮은 시감도는 16.73%였다. 편광렌즈의 가시광선 영역(380-750 nm)에서의 평균 반사율은 평균 약 4.4%로 측정되었다. 내열성 실험 결과, 실험 시작 후 120분이 되는 시점부터 코팅막에 균열이 일어나기 시작하였다. **결론:** 편광렌즈들은 눈에 해로운 UVC, UVB를 100% 차단하였으며, 가시광선 영역의 평균 반사율은 4.4%로 측정되었다. 연필경도는 평균 6H 250 g으로 측정되었다.

주제어: 편광렌즈, 투과율, 청광, 내열성, 내마모성