

하드코팅에 의한 광변색 플라스틱 렌즈의 제조 및 특성

유동식^{1*}, 하진욱², 문병연¹
¹경운대학교 안경광학과, ²순천향대학교 에너지환경공학과

Preparation and Characteristics of Photochromic Plastic Lenses by Hard Coatings

Dong-Sik Yu^{1*}, Jin-Wook Ha² and Byeong-Yeon Moon¹

¹Department of Visual Optics, Kyungwoon University

²Department of Environment Engineering, Soonchunhyang University

요약 하드코팅에 의해 광변색과 경성의 성질을 갖는 플라스틱 렌즈를 제조하고, 그것들의 광학적 성질과 표면 특성을 평가하였다. 무색 상태의 자외선 스펙트럼과 유색 상태의 가시광선 스펙트럼에서 광변색 효과를 관찰할 수 있었다. 광변색 렌즈의 가시광선 투과율은 무색 상태에서 83.44%(검정)에서 87.15%(청)였으며, 유색 상태에서 71.10%(적)에서 79.98%(황)이었다. 적색 광변색 렌즈는 다른 렌즈에 비해 광학 밀도(ΔOD)와 색차(ΔE_{ab}^*)가 컸다. 하드코팅을 적용한 광변색 렌즈는 부착성, 내온수성, 내약품성 및 표면 현상이 우수하였으며, 또한 경도와 내마모성은 무코팅 렌즈에 비하여 증가하였다. 따라서 이와 같은 코팅 시스템으로 광변색과 하드코팅 성질과 같은 기능성을 안경렌즈에 부여할 수 있었다.

Abstract In this study, we have prepared plastic lenses with both photochromic and hard properties by hard coating, and evaluated their optical properties and surface characteristics. Photochromic effects could be observed on the UV spectra of the closed forms and the visible spectra of the open forms. Visible light transmittance of photochromic lenses was from 83.44% for graphite(GP) to 85.15% for blue(BL) in colourless state and from 71.10% for red(RE) to 79.98% for yellow(YE) in colour state. Red photochromic lens was higher in optical density(ΔOD) and color difference(ΔE_{ab}^*) than the others. Photochromic lenses applied by hard coating showed good adhesion, hot water resistance, chemical resistance and surface appearance. Also, compared to the uncoated lens, hardness and abrasion resistance were increased. Consequently, this coating system could impart functional properties such as photochromic and hard coating property onto ophthalmic lenses.

Key Words : Photochromic lens, Hard coating, Transmittance

1. 서론

광변색 렌즈(photochromic lens)란 자외선과 같은 특정 파장을 갖는 빛에 노출되면 색을 띠게 되고, 빛이 차단되면 투명하게 되는 안경렌즈(이하 렌즈라고 칭한다.)를 말한다. 따라서 이러한 렌즈는 실외에서는 선글라스 렌즈로, 실내에서는 시력보정용 렌즈로 이용하고 있다[1]. 초창기의 광변색 렌즈는 할로젠은(AgX, X=Cl, Br, I)이 들어 있는 유리 렌즈였으나 최근에는 광변색 물질

(photochromic materials 또는 photochromic dyes)이 들어 있는 플라스틱 렌즈가 주를 이룬다. 최초의 광변색 플라스틱 렌즈(이하부터 광변색 렌즈라 칭한다.)는 1982년 American Optical의 PhotoliteTM였으며, 1990년대에 들어 Essilor, Rodenstock과 Sola 등에서 본격적으로 개발하였다[2]. 현재 국내에서 10 여 개 업체가 광변색 렌즈를 생산하고 있으나 광변색 물질과 광변색 렌즈에 대한 기초 연구가 미비한 실정이다.

광변색 렌즈의 제조는 렌즈 중합과정에서 렌즈의 모노

*교신저자 : 유동식(yds@ikw.ac.kr)

접수일 09년 02월 25일

수정일 09년 07월 06일

게재확정일 09년 07월 22일

며와 광변색 물질을 혼합시키는 body casting(또는 in-mass)공법[3]이 주를 이루고 있다. 이 공법은 변색의 최고 농도가 70-80%를 이룰 만큼 우수한 공법으로 평가되고 있다. 그러나 렌즈 제조 공정 전반부의 광변색 물질 혼합 공정과 후반부의 하드코팅 공정의 분리에 따른 광변색 물질의 스트레스 증가와 렌즈의 불량률 증가와 같은 약점이 있다. 광변색 물질을 침투(imbibition)시키는 방법[4]은 착색렌즈를 만드는 공정을 그대로 적용 가능한 장점이 있으나 광변색 물질을 침투시키는 추가 공정이 필요하며 이에 따른 환경오염, 광변색의 농도 조절을 위한 온도 및 용액의 농도 통제의 어려움 및 렌즈 기공에 침투 가능한 광변색 물질 선택의 어려움이 있다. 표면 코팅에 의한 광변색 렌즈를 제조하는 방법[5]이 있으나 변색의 농도가 낮은 이유로 잘 적용하지 않았다. 그러나 플라스틱 렌즈는 표면의 경도가 약함으로 이를 보완하기 위해 하드코팅[6]을 하여야 하므로, 따라서 하드코팅 공정에 광변색 물질을 접목한다면 캐스팅 공법이나 침투법과 달리 추가적인 공정이 필요하지 않으며, 환경의 오염성이 적고, 또한 균일한 코팅 표면으로 광변색 농도가 균일할 것이다.

지난 연구에서 플라스틱 렌즈의 하드코팅과 이를 이용한 자외선 차단 코팅을 진행한 바가 있다[7, 8]. 따라서 본 연구는 이전의 연구를 기반으로 하드코팅 액에 광변색 물질을 배합하여 다양한 색상의 광변색 렌즈를 제조하고, 이에 따른 광변색 렌즈의 광학적 특성과 표면 물성을 평가하여 광변색 렌즈의 기초자료를 확보하고자 한다.

2. 실험

2.1 시약 및 재료

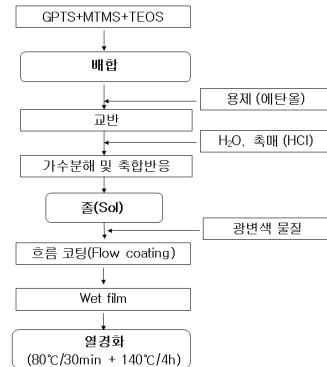
하드코팅에 사용한 실란계열의 화합물로서 methyltrimethoxysilane(MTMS)은 Lancaster제품, 3-glycidoxypropyltrimethoxysilane(GPTS 또는 GLYMO)은 Dow Corning제품, tetraethyl orthosilicate(TEOS)는 Junsei Chemical제품을 사용하였다. James Robinson사에서 구입한 광변색 물질은 청(blue, BL), 적(red, RE), 황(yellow, YE) 및 검정(graphite, GP)색상의 spironaphthoxazines 및 naphthopyranes 화합물을 사용하였다.

그 밖에 석산화제품의 에탄올, 염산, 아세톤, 메틸 에틸 케톤(MEK) 및 톨루엔, 그리고 탈이온화된 증류수를 사용하였다. 플라스틱 안경렌즈는 굴절률이 1.55인 allyl diglycol carbonate(ADC)계열의 소재로 직경 72mm,

두께 2.02-2.12mm인 평면렌즈(0 diopter)로 국산 D사 제품을 사용하였다.

2.2 광변색 물질의 코팅

광변색 코팅 공정은 그림 1과 같이 실시하였다.



[그림 1] 광변색 코팅 공정

코팅 전구체로 사용되는 실란 화합물 GPTS, MTMS 및 TEOS의 몰 비를 1 : 1 : 2로 하여 에탄올에 혼합 교반하고, 여기에 탈이온화된 증류수와 염산을 상온에서 적가하면서 교반하였다. 하드코팅 액 제조에 사용된 실란 화합물, 에탄올, 증류수 및 염산의 몰 비를 1 : 4 : 4 : 0.03로 하였다. 한편, 광변색 물질, 하드코팅 액 및 배합 용제(MEK)는 3 : 40 : 57의 비율(w/w %)로 배합하여 혼합 교반하였다. 안경렌즈는 코팅하기 전에 에탄올과 탈지면을 이용하여 렌즈 표면에 먼지나 자국이 없도록 깨끗이 닦고, 상온에서 건조한 후 사용하였다. 코팅은 스포이트(sput)로 상단에서 아래로 45도 각을 유지하면서 코팅액이 흐르도록 하였다(flow coating). 코팅된 렌즈는 상온에서 30분 안치시킨 다음, 80°C에서 30분간 예비경화를 하고 140°C에서 4시간 경화하였다.

2.3 광학적 특성과 표면 물성 평가

광변색 물질의 광학적 특성은 3.75×10^{-3} wt. % 톨루엔 용액 상태에서 광도가 10mm인 석영셀에 넣어 측정하였고, 광변색 유도를 위한 UV 램프는 315-400nm의 광을 방출하는 특성을 지닌 Sankyo Denki의 UV black light blue lamp(F4T5BLB, 4W, 134.5×15.5)를 사용하였다. UV 램프에서 10cm거리에 측정할 시료를 두고 30초 동안 자외선을 조사한 후 목적에 따라 즉시 측정하거나, 일정 시간 동안 어두운 곳에 방치한 후 퇴색 정도를 측정하였다.

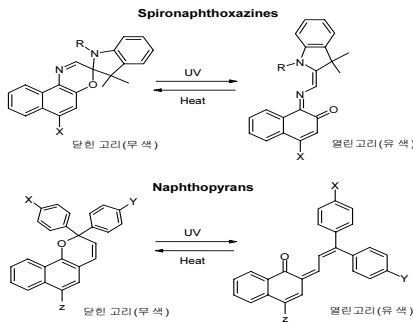
광변색 렌즈의 광학적 특성은 자외선을 조사하거나,

조사 후 어두운 상태에서 일정시간 통제한 다음, UV/VIS spectrophotometer(일본산, Shimadzu 1650PC)로 측정하였으며, 표면의 특성 평가에서 내마모성과 경도는 각각 내마모성 측정기(한국산, K사), 연필경도 측정기(한국산, S사)로 하였고, 부착력 평가는 ASTM D 3359 방법으로 하였다[9]. 그 외 내온수성과 내약품성을 측정하였고, 표면의 형상은 육안, 휴대용 확대경(loupe×10, PEAK사, 일산) 및 주사전자현미경(SEM; scanning electron microscopy, Hitachi, Ltd., S-4100)으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 광변색 물질의 광학적 특성

광변색 물질이 자외선(ultraviolet, UV)을 흡수하게 되면 그림 2와 같이 화합물의 고리 구조가 열린 고리(개환) 상태로 되어 유색을 나타내게 되며, 자외선 조사를 중지하거나 실내에서는 닫힌 고리(폐환) 상태로 되어 무색으로 된다[10].



[그림 2] 광변색 물질의 거동(R, X, Y, Z=H 또는 알킬 그룹)

광변색 물질인 BL, RE, YE 및 GP을 상온에서 자외선에 노출시켜 광변색 물질의 흡광도 스펙트럼을 얻어 결과 표 1과 같다.

[표 1] 광변색 물질의 흡광도

광변색 물질	λ max (nm)			OD
	폐환(무색)		개환(유색)	
BL(청)	320	350*	600	0.003
RE(적)	320	370*	490	0.404
YE(황)	317	362*	416	0.337
GP(검정)	311	391*	593	0.731

*가시광선 근접 영역(380nm)에서의 최대 흡광도

UV 조사 이전의 폐환 상태에서의 최대 흡광도(λmax)는 대부분 UV-A(380-315nm)영역에서 나타났으며, 가시광선 근접 영역 즉 380nm부근에서의 최대 흡광도는 350-391nm 사이에 분포하였다. UV 조사 직후의 가시광선 영역에서의 최대 흡광도는 416-600nm영역에서 나타났다. 특히 BL의 경우 광 조사 전후의 흡광도 형태가 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서 BL의 경우 조사 후의 최대 흡광도를 측정할 수 없을 정도로 아주 빠르게 폐환 형태(무색)의 분자 모양으로 되돌아가는 것으로 생각되며, 이 증거로 실제 육안으로도 다른 변색 화합물 용액보다 빨리 퇴색되는 현상을 관찰할 수 있었다. 자외선이 조사된 모든 광변색 물질의 흡수대는 조사 전의 흡수대에 비하여 장파장 쪽으로 이동하는 적색이동효과(bathochromic effect)와 흡수대의 세기가 증가하는 농색효과(hyperchromic effect)를 확인하였다.

광밀도 변화(change in optical density, ΔOD)[11]는 광조사 후 변색이 일어났을 때 투과율과 일정 시간 경과 후 퇴색이 되었을 때 투과율 변화를 표현하는 것으로 ΔOD가 높을수록 유색과 무색 상태의 농도 차이가 확실하여 명확한 변색 효과를 볼 수 있다. ΔOD는 대개 최대의 흡광도를 나타내는 파장에서 투과율을 log함수로 표현하며 식 (1)로 구할 수 있다.

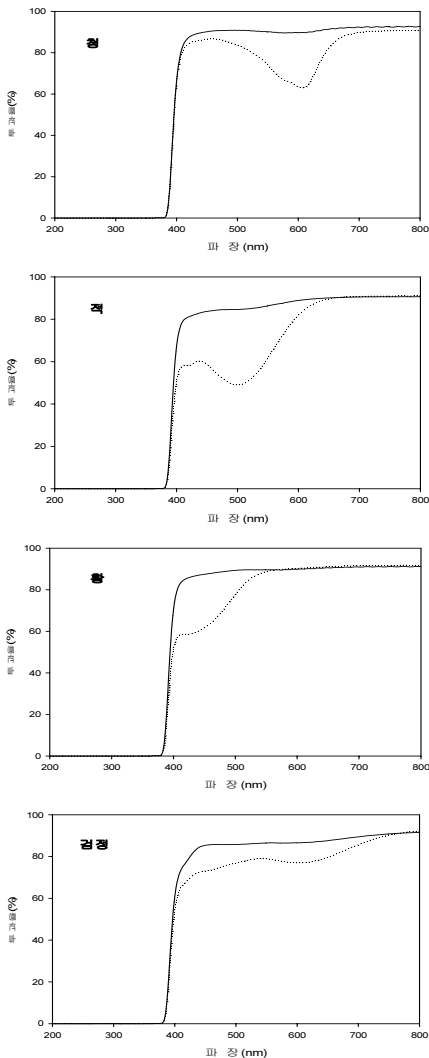
$$\Delta OD = \log_{10} \frac{\text{무색 상태 } T\%}{\text{유색 상태 } T\%} \quad (1)$$

코팅에 적용되는 광변색 화합물에 대한 ΔOD를 결정 한 결과 0.003에서 0.731이었다. 특히 BL의 경우 ΔOD 0.003으로 극히 낮았으며 GP의 경우가 0.731로 가장 높았고 RE와 YE의 경우는 각각 0.404와 0.337이었다. 본 연구에 사용된 스펙트럼 측정 장비는 투과율이나 흡광도 측정에서 주사 시간(scan time)이 최대 30초로 변색을 위한 자외선 조사 후 1분 이내에서 측정이 가능하였다. 하지만 BL의 경우 측정이 힘들 정도로 퇴색 시간이 너무 짧아 광밀도 변화가 낮게 측정된 것으로 보인다.

3.2 광변색 렌즈의 광학적 특성

광변색 렌즈에 대해 광학적 특성을 조사한 결과 그림 3과 표 2와 같다. 가시 영역 범위에서 광변색 렌즈의 최대 흡광도는 418-606nm에서 나타났으며, 광흡수 조건이 같지 않은 용액 상태에서의 최대 흡광도와 다르게 나타났다. 그 차이는 2-9nm정도로 광변색 렌즈 모두 장파장 쪽으로 이동하는 특징을 보였다. 380-780nm에서 폐환 형태를 갖는 무색의 광변색 렌즈의 투과율은 청색 광변색 렌즈에서 87.15%로 가장 높았으며 검정색 광변색 렌즈의

경우 83.44%로 가장 낮게 나타났다. 자외선 조사 후의 투과율은 황색의 광변색 렌즈에서 79.98%로 가장 높게 나타났고 적색 광변색 렌즈의 경우 71.10%의 투과율로 가장 낮게 나타났다. 가시영역에서 투과율 변화(ΔT%)를 보면 6-13%정도의 변화가 나타났으며 적-청-검정-황색 렌즈 순으로 나타났다. 이 결과는 최대 흡수대 파장에서의 광밀도 변화의 크기 순서인 적-황-청-검정과 다르게 나타났다.



[그림 3] 광변색 렌즈의 스펙트럼(실선: 변색 전, 점선: 변색 후)

[표 2] 광변색 렌즈의 흡광도와 투과율

렌즈	흡광도(λ max, nm)		투과율(T%, 380-780nm)		
	가시영역	ΔOD	광변색 전	광변색 후	ΔT%
청	606 (600)	0.154	87.15	78.61	8.54
적	499 (490)	0.237	84.26	71.10	13.16
황	418 (416)	0.162	86.34	79.98	6.36
검정	602 (593)	0.051	83.44	76.48	6.96

(): 톨루엔 용액 상태에서의 흡광도.

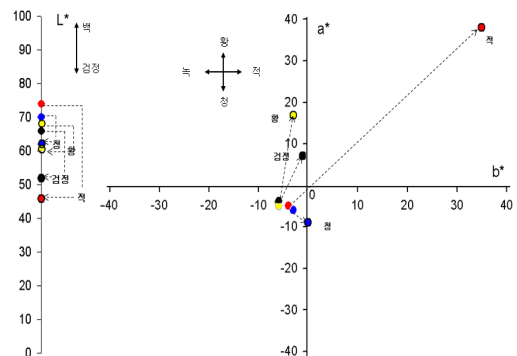
광변색 물질 BL, RE, YE 및 GP를 하드코팅 공정으로 제조한 광변색 렌즈의 색상을 보다 구체적으로 파악하기 위하여 1976년 국제조명위원회(CIE, Commission Internationale d'Eclairage)에서 제정하여 가장 널리 이용되고 안경렌즈에 적절한 것으로 판단되는 CIELAB 표색계(L*a*b*표색계)를 적용하였다[12].

측정 방법은 색상 분석이 가능한 분광광도계를 이용하는 방법도 있으나 본 논문에서는 보다 간편한 방법으로 Photoshop 7.0의 color picker로 색차를 분석하였다.

CIELAB 표색계는 채도를 a*와 b*, 명도를 L*로 표시하여 L*a*b*의 입체좌표로서 색상을 표시한다. 이 표색계에서 두 색 간의 색차(ΔE*ab)는 식 (2)로 계산된다.

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

이것을 기본으로 청색, 적색, 황색 및 검정색 광변색 렌즈에 대하여 색상 분석한 결과는 그림 4와 표 3과 같다. 색차 분석에서 색차의 크기순서는 적-황-검정-청 렌즈로 나타났다.



[그림 4] CIELAB 표색계에 의한 광변색 렌즈의 색 변화 (변색 전 → 변색 후)

[표 3] 광변색 렌즈의 CIELAB표색계 데이터

렌즈	파라미터	청(BL)	황(YE)	적(RE)	검정(GP)
광변색 전	L*	70	66	74	68
	a*	-3	-6	-4	-6
	b*	-6	-5	-5	-4
광변색 후	L*	62	61	46	52
	a*	0	-3	35	-1
	b*	-9	17	38	7
ΔE^*_{ab}		9.06	22.76	64.45	21.21

광변색 렌즈의 색상 분석에서 변색 후의 색상은 적색 또는 황색 쪽으로 이동하는 적색이동효과(bathochromic effect)와 명도가 낮은 쪽으로 이동하는 농색효과(hyperchromic effect)를 확인할 수 있었다. 이 결과는 용액 상태의 광변색 물질의 성질과 같은 효과를 보여준다. 그러나 청색의 광변색 렌즈의 경우 색상차가 9.06으로 다른 색상에 비해 작았으며, 이는 광변색 렌즈의 색차측면에서 좋은 상태는 아닌 것으로 판단된다. 적색의 광변색 렌즈의 경우 색상차가 64.45로 다른 것에 비해 높은 것으로 색차를 쉽게 느낄 수 있는 것으로 여겨진다.

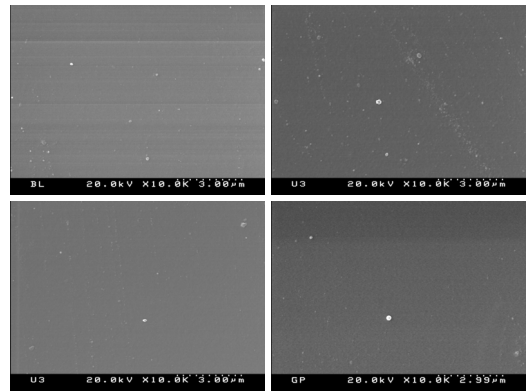
3.3 광변색 렌즈의 표면 물성 평가

광변색 렌즈의 표면 물성을 평가한 결과는 표 4와 같다. 대부분의 변색 렌즈의 경우 부착력, 내약품성 및 내온수성은 좋은 것으로 평가되었으며 연필경도는 하드코팅 렌즈에서 나타난 경도 5H로 보다 다소 낮은 4H로 나타났다. 내마모성 평가에서는 청색 또는 황색 변색 렌즈의 경우 1등급으로 우수하였으며 그 외의 경우는 2등급으로 나타났다.

[표 4] 광변색 렌즈의 표면 물성 평가

렌즈	부착력	연필경도	내마모성	내약품성	내온수성	표면현상	
	cross-cut	1kg 하중	400g 하중	아세톤, 에탄올	95-100℃	배율 ×10	
무 코팅*	-	3H	3등급	-	-	-	
하드코팅	5B	5H	1등급	적합	적합	균일	
광변색 코팅	청	5B	4H	1등급	적합	적합	균일
	적	5B	4H	2등급	적합	적합	잔금
	황	5B	4H	1등급	적합	적합	균일
	검정	5B	4H	2등급	적합	적합	균일

*무 코팅렌즈에서 일부 항목은 평가하지 않음.



[그림 5] 광변색 렌즈의 SEM사진(좌상: 청, 우상: 적, 좌하: 황, 우하: 검정)

표면 현상 평가에서는 육안이나 확대경에 의한 검사에서 적색 변색 렌즈의 경우 약간의 균열을 보였지만 그 외의 경우 표면은 매끄러운 것으로 평가되었다. 보다 더 정밀한 표면 검사를 위해 SEM에 의해 분석한 결과 그림 5와 같다. 청색 광변색 렌즈의 경우 표면은 미세한 입자가 산재되어 있으나 flow coating에 따른 줄무늬 현상을 제외하고 비교적 균일하였다. 적색 광변색 렌즈의 코팅 표면은 아주 미세한 줄무늬(또는 잔금)를 보였다. 황색 광변색 렌즈와 검정 색상의 광변색 렌즈는 코팅 표면에 작은 입자들이 산재하고 있으나 표면은 균일한 것으로 평가된다. SEM에 의한 렌즈 표면의 특성을 관찰한 결과 렌즈의 표면 균질성은 좋으나 렌즈 표면에 여러 형태와 크기를 갖는 입자가 나타났다. 렌즈의 표면의 입자의 크기와 형태는 코팅 공정에 적용되는 광변색 물질의 용해도에 따라 다양한 것으로 판단되며 보다 매끄러운 렌즈 표면을 유지하기 위해서는 렌즈 코팅 공정에서 변색물질의 용해도가 무엇보다 중요한 것으로 판단된다.

4. 결론

렌즈에 적용 가능한 광변색 물질의 성질을 조사하고, 이 물질과 하드코팅 액을 배합하여 제조한 광변색 렌즈에 대한 광학적 특성과 표면 물성을 평가하였다. 본 연구에 적용된 광변색 물질은 대부분 UV-A(380-315nm)영역에서 흡수가 일어났다. 이 결과로 미루어 볼 때 대부분의 광변색 물질은 이 영역의 빛을 흡수하여 변색되는 것으로 생각된다. 모든 광변색 물질에서 적색이동효과(bathochromic effect)와 농색효과(hyperchromic effect)를 확인할 수 있었다. 광밀도 변화(ΔOD)는 GP의 경우가

0.731로 가장 높아 유색과 무색 상태의 농도차가 뚜렷하였다.

광변색 렌즈의 가시영역 범위에서 최대 흡광도를 나타내는 파장은 418-606nm 범위이며 용액 상태의 최대 흡광도와 다르게 2-9nm정도 장파장 쪽으로 이동하는 특징을 보였다. 가시영역의 투과율은 무색을 띠는 폐환 상태에서 83.44%부터 87.15%까지였으며 청색 광변색 렌즈가 87.5%로 가장 투명한 것으로 나타났다. 유색을 띠는 개환 상태에서 투과율은 71.10%와 79.98%사이였으며 적색 광변색 렌즈가 71.10%로 뚜렷한 색을 보였다. 유무색의 변화 정도를 나타내는 광밀도 변화(ΔOD)는 적색 광변색 렌즈가 0.237로 가장 높았고 검정 광변색 렌즈가 0.051로 가장 낮았다. 그러나 CIELAB 표색계로 본 색차 (ΔE^*_{ab})는 적색 광변색 렌즈가 가장 뚜렷한 것으로 평가되었고 청색 광변색 렌즈가 가장 낮았다.

광변색 렌즈의 표면 물성을 평가한 결과 부착력, 내약 품성 및 내온수성은 적합하였고, 연필경도와 내마모성 각각 4H, 1-2등급으로 하드코팅(5H, 1등급)과 동등하거나 약간 낮았으나 무코팅 렌즈(3H, 3등급)보다 우수하였다. 육안, 확대경 및 SEM에 의한 표면 상태 평가에서 미세한 줄무늬를 보인 적색 광변색 렌즈를 제외하고 균일한 표면으로 평가되었다.

참고문헌

[1] Stephen J Dain, "Sunglasses and sunglass standards", Clin. Exp. Optom., 86(2), pp. 77-90, 2003.

[2] Optische Werke G. Rodenstock, "Neutral-colored gray photochromic plastic object", United States Patent, US006373615B1, 2002.

[3] Kabushiki Kaisha Suwa Seikosha, "Photochromic coating composition and photochromic synthetic resin ophthalmic lens", United States Patent, US4556605, 1985.

[4] American Optical Corporation, "Stabilized photochromic materials", United States Patent US4367170, 1983.

[5] M. Menning, K. Fries, M. Lindenstruth, H. Schmidt, "Development of fast switching photochromic coatings on transparent plastics and glass", Thin Solid Films, 351, pp. 230-234, 1999.

[6] F. Samson, "Ophthalmic lens coating", Surface and Coatings Technology, 81, pp. 79-86, 1996.

[7] 유동식, 이지호, 하진욱, "졸-겔법에 의한 안경렌즈의 열경화형 유-무기 하이브리드 코팅", 한국산학기술학회논문지, 제7권, 제3호, pp. 465-479, 2006.

[8] 유동식, 이지호, 하진욱, "유-무기 하이브리드 재료와 자외선 흡수제의 배합에 의한 자외선 차단 코팅", 한국산학기술학회논문지, 제7권, 제6호, pp. 1296-1301, 2006.

[9] 유동식, 문병연, 하진욱, "안경렌즈 코팅의 평가 방법에 관한 비교 연구", 한국안광학회지, 제11권, 제1호, pp. 7-15, 2006.

[10] L. Hou, H. Schmidt, "Photochromic properties of a silylated spirooxazine in sol-gel coatings", Materials Letters, 27, pp. 215-218, 1996.

[11] Transitions Optical, Inc., "Substituted naphthopyrans", United States Patent US5458814, 1995.

[12] CIE, Colorimetry - Recommendations on uniform colour spaces, colour differences equations. Psychometric terms. Publication No. 15-2(2nd ed.), Central Bureau of the CIE, Vienna, 1986.

유 동 식(Dong-Sik Yu)

[정회원]



- 1984년 2월 : 동아대학교 화학과 (이학사)
- 1986년 2월 : 부산대학교 화학과 (이학석사)
- 2007년 8월 : 순천향대학교 화학공학·환경공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 안경광학과 전임강사

<관심분야>

기능성 코팅, 광촉매, 안경재료

하 진 욱(Jin-Wook Ha)

[종신회원]



- 1986년 2월 : 연세대학교 화학공학과 (공학사)
- 1990년 8월 : (미)Univ. of Illinois 화학공학과 (공학석사)
- 1993년 5월 : (미)Univ. of Illinois 화학공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 에너지환경공학과 교수

<관심분야>

광촉매, 기능성 코팅, 대질·수질 정화, 친환경소재, 대체 에너지 분야

문 병 연(Byeong-Yeon Moon)

[정회원]



- 1991년 2월 : 경희대학교 물리학과 (이학사)
- 1994년 8월 : 경희대학교 물리학과 (이학석사)
- 1998년 8월 : 경희대학교 물리학과 (이학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 안경광학과 조교수

<관심분야>

기능성 코팅, 안경재료, 태양전지