

## 한국안광학회 – 이달의 학술논문 소개

- \* 본 논문은 한국안광학회지 제22권 1호(2017년 3월 31일 발행) 게재 논문으로 저자는 학회의 동의하에 요약 발췌본을 제출하였습니다.
- \* 논문의 판권은 한국안광학회에 있습니다.

# 국내 유통 광변색렌즈의 퇴색속도 평가

유동식(강원대학교 안경광학과) · 조현국(강원대학교 안경광학과) · 문병연(강원대학교 안경광학과)

◆**목적:** 광변색렌즈의 성능에 영향을 주는 퇴색속도와 요인들을 평가하고자 하였다.

방법: 국내에 유통되는 광변색렌즈 36개 제품을 수집하였고, 자외선 조사로 변색시킨 후 가시광선 영역에서 시간에 따른 투과율을 측정하였다. 퇴색속도는 반감기( $t_{1/2}$ )와 투과율 80%까지 퇴색되는 시간( $T_{80\%}$ )으로 평가하였다.

◆**결과:** 광변색렌즈의 성능은 광밀도 변화와 광 차단율보다 투과율 차이( $\Delta T\%$ )에서 더 잘 드러났다.  $t_{1/2}$ 에서 코팅법이 침투법과 캐스팅법보다 빨랐다. 광변색렌즈의  $T_{80\%}$ 은 중굴절보다 고굴절에서, 갈색보다 회색에서 유의하게 빨랐다. 광변색 작용은  $\Delta T\%$ 에서 14.9~48.9%,  $t_{1/2}$ 에서 44~217sec,  $T_{80\%}$ 에서 127(2' 07")~3,523sec(58' 43")로 다양하게 나타났다.

◆**결론:** 퇴색속도에 근거한 광변색렌즈의 성능은 각 제품마다 큰 차이를 보였다. 따라서 제조사들은 퇴색속도와 관련된 정확한 광변색의 정보( $\Delta T\%$ ,  $t_{1/2}$ ,  $T_{80\%}$ )를 소비자와 취급자에게 제공해야 할 것이다.

## - 서론 -

광변색렌즈는 야외에서 선글라스로, 실내에서는 무색 안경 렌즈로 사용할 수 있기 때문에 편리하다. 여름 휴가철이나 야외 활동이 증가하는 시기에 선글라스 수요가 많아지고 이와 더불어 광변색렌즈의 수요도 늘어난다. 이에 광변색렌즈 제조사들은 시장 공략을 위한 저마다의 기술력을 강조해 왔다. 제조사들이 강조하는 비교 대상의 기술력의 항목은 변색속도(darkening rate), 퇴색속도(fading rate), 실내 투명도 등이다. 이러한 항목에 대한 제조사들의 평가는 자체 브랜드 제품이 우수하다는 것이다. 그러나 유통되고 있는 광변색렌즈는 안경 렌즈의 광학적 특성, 즉 굴절력, 굴절률, 중심 두께, 투과율과 색상에 대한 정보 외에 광변색에 대한 특성을 파악하기 힘들다. 이러한 상황에서 유통되고 있는 수종의 광변색렌즈에 대한 광변색 특성을 비교할 필요가 있다.

현재 유통되고 있는 광변색렌즈는 변색속도보다 느린 퇴색속도, 즉 실내에서 무색으로 되돌아가는 속도가 느리다. 이러한 느린 퇴색속도는 광변색렌즈의 일반 안경렌즈나 선글라스 기능으로서 장점을 약하게 하는 요인이다. 이러한 관점에서 광변색렌즈는 유통 과정에서 광변색렌즈의 특성, 특히 퇴색속도에 관한 정보를 제공할 필요가 있을 것이다.

따라서 본 연구의 방향은 국내 유통되는 광변색렌즈를 중심으로 제품별 퇴색속도와 제조 방법, 색상, 굴절률 차이에 따른 퇴색속도를 중심으로 퇴색의 특성을 파악하고자 하였다.

## - 대상 및 방법 -

국내에 유통되는 14개 사 36개 광변색렌즈를 수집하였으며 색상은 회색과 갈색 렌즈가 각각 19개와 17개, 중굴절 렌즈 22개와 고굴절 렌즈 14개, 렌즈 중심 두께는 1.92~2.53 mm, 광변색렌즈의 제조법은 캐스팅 12개, 침투법 10개 및 코팅법 14개 제품으로 구성하였다.

광변색렌즈의 투과율(transmittance, T)은 UV/Vis 분광광도계를 사용하여 1nm간격으로 380~780nm까지 측정하였고, 흡광도(absorbance, A)는 일반적으로 알려진 투과율

과의 관계식, 즉  $A=2-\log(T)$ 으로 환산하여 사용하였다. 반감기(half-life time,  $t_{1/2}$ )는 비가역 단분자형 1차 반응으로 속도상수(k)와 관련된 식  $t_{1/2}=\ln 2/k$ 로 평가하였다. 퇴색속도는 가시광선 영역에서 최대 흡광도를 갖는 파장( $\lambda_{max}$ ) 기준의 반감기( $t_{\lambda 1/2}$ )와 380~780nm의 평균 흡광도를 기준한 반감기( $t_{m1/2}$ )로 결정하였다.

## - 결과 및 고찰 -

### 1. 광변색렌즈의 광학적 성능

광변색렌즈에 대한 광학적 변화의 특성은 표 1과 같다. 광변색렌즈의 선글라스 기능으로서 광 차단율은 무색 상태의 투과율에 대한 가시광선 영역에서 광차단율( $\Delta T\%$ )을 나타낸 것이다.

평가 대상의 광변색렌즈는  $\lambda_{max}$ 가 442~610nm에서 나타났으며 회색에서 543~610nm, 갈색에서 442~601nm였다. OTS6 gray와 OTS6 brown를 제외하고 동일회사 제품에서 회색이 갈색 광변색렌즈보다 긴 파장을 보였다. 유색과 무색의 투과율 차이, 즉 광변색렌즈의 특성을 나타내는  $\Delta T\%$ 는 14.9(JAP5 brown)~48.6%(CMT6 gray)로 나타났다.

### 2. 광변색렌즈의 퇴색속도 평가

광변색렌즈의 반감기( $t_{\lambda 1/2}$ )는 45(CZP6 brown)~195sec(SWG5 gray),  $t_{m1/2}$ 는 44(HYS5 brown)~217sec(SWG5 gray)로  $t_{\lambda 1/2}$ 보다  $t_{m1/2}$ 가 넓은 범위의 분포도를 보였다. 이러한 분포의 차이는  $t_{\lambda 1/2}$ 의 경우 단일 파장을 반영한 것이며,  $t_{m1/2}$ 는 가시영역 전체를 반영한 것으로 투과율(흡수도)의 차이에서 나타난 결과로 생각한다. 또한, 광변색렌즈의 퇴색 과정에서 일정 시간 경과 후의 무색 상태를  $\lambda_{max}$ 에서 투과율이 80%까지 이르기까지의 시간(T80%)으로 측정하였다. 짧게는 JAP5 brown에서 127 sec(2' 07")부터 길게는 JAP5 brown에서 3,523 sec(58' 43")까지 다양하였다. 위 결과에서 보듯이 반감기와 T80%는 광변색렌즈에 따라 차이를 보였다(표 1).

퇴색속도에 영향을 주는 요인을 분석한 결과, 반감기 기준

표 1. 광변색렌즈의 광학적 성능과 반감기

광변색렌즈*	$\lambda_{max}$	무색 상태, %	유색 상태, %	$\Delta T\%$	$t_{\lambda 1/2}$ , sec	$t_{m1/2}$ , sec	T80%, sec (min sec)
SWG5 gray	598	83.6	60.7	22.9	195	217	695 (11' 35")
SWG5 brown	502	86.5	64.3	22.2	190	179	2344 (39' 40")
NKT5 gray	590	86.9	51.0	35.9	70	73	222 (3' 42")
NKT5 brown	580	88.0	55.9	32.1	79	85	224 (3' 44")
RDP5 gray	596	84.5	61.5	23.0	114	122	207 (3' 27")
RDP5 brown	572	85.2	62.0	23.2	140	147	232 (3' 52")
CVS5 gray	610	80.4	61.0	19.4	117	152	387 (6' 27")
CVS5 brown	601	85.0	60.8	24.2	136	158	155 (2' 35")
JAP5 gray	587	88.1	59.4	28.7	103	105	254 (4' 14")
JAP5 brown	484	83.3	68.4	14.9	91	90	3523 (58' 43")
DMP5 gray	591	88.1	59.7	28.4	92	105	181 (3' 01")
DMP5 brown	584	88.1	64.1	24.0	81	120	146 (2' 26")
DMT5 gray	596	86.2	41.6	44.6	82	85	253 (4' 13")
DMT5 brown	570	88.2	47.9	40.3	83	88	270 (4' 30")
DMT6 gray	593	85.3	42.3	43.0	82	83	262 (4' 22")
DMT6 brown	569	85.7	48.3	37.4	69	69	225 (3' 45")
CMT6 gray	597	86.2	37.6	48.6	148	164	272 (4' 32")
CMT6 brown	442	88.2	44.2	44.0	113	128	263 (4' 23")
TOA5 gray	583	84.2	48.5	35.7	89	80	209 (3' 29")
YJG6 gray	596	85.9	57.6	28.3	126	133	191 (3' 11")
YJG6 brown	444	89.0	65.0	24.0	172	150	572 (9' 32")
OTS6 gray	579	84.2	51.9	32.3	65	65	162 (2' 42")
OTS6 brown	582	84.3	60.5	23.8	57	74	127 (2' 07")
HYS5 gray	595	85.3	39.4	45.9	76	77	265 (4' 25")
HYS5 brown	462	86.5	45.9	40.6	62	44	275 (4' 35")
HYS6 gray	598	84.2	40.7	43.5	74	76	251 (4' 11")
HYS6 brown	577	86.4	47.2	39.2	71	72	228 (3' 48")
CZP5 gray	582	86.1	46.9	39.2	81	88	160 (2' 40")
CZP5 brown	575	86.4	54.3	32.1	82	98	138 (2' 18")
CZP6 gray	586	84.9	55.8	29.1	63	65	168 (2' 48")
CZP6 brown	584	84.9	63.6	21.3	45	68	137 (2' 17")
SMS5 gray	597	85.1	40.9	44.2	149	161	257 (4' 17")
SMS5 brown	568	86.4	45.1	41.3	122	133	211 (3' 31")
SMS6 gray	599	83.8	37.8	46.0	129	141	261 (4' 21")
SMS6 brown	570	84.5	46.4	38.1	92	99	213 (3' 33")
Glass gray	643	92.4	57.0	35.4	132	164	233 (3' 53")
평균±표준편차	-	85.9±2.1	52.6±9.0	33.2±9.2	102±37	110±40	393±650

\*1~3번째 문자는 임의로 부여한 회사와 제품 코드, 4번째 문자는 굴절률로서 5는 중굴절, 6은 고굴절이고 마지막 단어는 변색의 색깔을 의미한다.

으로 광변색렌즈의 퇴색속도를 평가한 결과는 코팅법이 침투법과 캐스팅법보다 빨랐고, 굴절률, 색상에 따른 차이는 없었다(표 2).

광변색렌즈 36개 제품 중에서 두 반감기( $t_{\lambda 1/2}$ ,  $t_{m1/2}$ )와 T80%에서 각각의 퇴색속도가 빠른 것 5개 제품과 느린 것 5개 제품을 선정하고 그 요인을 분석한 결과는 표 3과 같으며,  $t_{\lambda 1/2}$ 은 코팅법, 고굴절에서 빨랐고, 캐스팅법에서 느린 경향을 보였다.  $t_{m1/2}$ 은 코팅법과 고굴절에서 빨랐고, 중굴절과

회색에서 느린 경향을 보였다. T80%에서 코팅법과 갈색에서 빨랐고, 캐스팅법, 중굴절에서 느린 경향을 보였다. CZP6 brown과 OTS6 brown이 퇴색속도가 빨랐고, SWG5 gray와 SWG5 brown이 속도가 느렸다. Klukowska 등은 코팅법에 의해 제조한 광변색 물질의 반감기 속도는 코팅에 사용된 하이브리드(hybrid)의 구조, 즉 광변색 물질의 이동성(mobility)이 클수록 빠르다고 하였다. 이러한 해석은 광변색 물질의 구조, 제조 방법, 굴절률에 따른 변색속도의 변화에

표 2 퇴색속도의 요인

요인		$t\lambda 1/2$ , sec	$t_{m1/2}$ , sec	T80%, sec	Pearson 상관관계(r)	
굴절률	중굴절	108±37	117±42	493±819	$t\lambda 1/2 : t_{m1/2} = 0.946$ ( $p=0.000$ )	
	고굴절	93±38	99±36	238±108		
	Student's t-test	$p=0.783$	$p=0.619$	$p=0.034$		
색상	회색	105±35	113±43	257±118		$t_{m1/2} : T80\% = 0.175$ ( $p=0.308$ )
	갈색	99±41	106±38	546±928		
	Student's t-test	$p=0.574$	$p=0.524$	$p=0.005$		
제조법	캐스팅	130±37a	142±35a	702±1038	$t\lambda 1/2 : T80\% = 0.277$ ( $p=0.102$ )	
	침투	91±25b	95±31b	244±24		
	코팅	83±30c	90±33c	394±550		
	one-way ANOVA (Bonferroni Post-hoc)	$p=0.001$ (a) b ≈ c)	$p = 0.001$ (a) b > c)	$p = 0.098$		
Total (N=36)		102±37	110±40	394±650		
	Paired t-test	$p = 0.001$ (t = -3.653)				

데이터: 평균±표준편차, p-values <0.05: 유의성 있음.

표 3. 광변색렌즈의 퇴색속도 비교

	$t\lambda 1/2$ , sec	광변색렌즈	요인	$t_{m1/2}$ , sec	광변색렌즈	요인	T80%, sec	광변색렌즈	요인
빠름	45	CZP6 brown	co h b	44	HYS5 brown	co m b	127	OTS6 brown	co h b
	57	OTS6 brown	co h b	65	CZP6 gray	co h g	137	CZP6 brown	co h b
	62	HYS5 brown	co m b	65	OTS6 gray	co h g	138	CZP5 brown	co m b
	63	CZP6 gray	co h g	68	CZP6 brown	co h b	146	DMP5 brown	ca m b
	65	OTS6 gray	co h g	69	DMT6 brown	im h b	155	CVS5 brown	ca h b
느림	148	CMT6 gray	im h g	161	SMS5 gray	co m g	387	CVS5 gray	ca m g
	149	SMS5 gray	co m g	164	Glass gray	ca m g	572	YJG6 brown	ca h b
	172	YJG6 brown	ca h b	164	CMT6 gray	im h g	695	SWG5 gray	ca m g
	190	SWG5 brown	ca m b	179	SWG5 brown	ca m b	2344	SWG5 brown	ca m b
	195	SWG5 gray	ca m g	217	SWG5 gray	ca m g	3523	JAP5 brown	ca m b

co: 코팅법, im: 침투법, ca: 캐스팅법, m: 중굴절, h: 고굴절, b: 갈색, g: 회색.

적용할 수 있을 것이다. 이를 적용하면 광변색렌즈의 퇴색속도는 코팅법, 침투법, 캐스팅법의 순으로 빠른 이유를 설명할 수가 있으나 제품별 분석에서 고굴절 광변색렌즈가 중굴절보다 빠른 이유는 설명되지 않는다. 그러나 앞서 전체분석에서 반감기를 기준으로 한 퇴색속도는 굴절률과 무관한 것으로 확인되었고, 렌즈 재질 내의 침투법과 캐스팅법보다 표면 위의 코팅된 광변색렌즈의 퇴색속도가 굴절률과 무관하게 대부분 빠르게 나타났다.

- 결론 -

개별 제품의 퇴색속도를 평가한 결과는 코팅법, 고굴절렌

즈, 갈색의 변색렌즈가 빨랐고, 색상에 관계없이 캐스팅법이 느렸다. 또한, 변색 후 무색 상태를 평가하는 항목, 즉  $\lambda_{max}$ 에서 투과율이 80%에 도달하는 시간(T80%)은 회색이 갈색보다 빠른 것으로 나타났다.

국내 유통되고 있는 광변색렌즈의 변색특성, 특히 퇴색속도에서 변동 범위가 넓었다. 이는 제품에 따라 성능의 차이가 다양하다는 의미이다. 따라서 제조사들은 유통 과정에서 광변색렌즈의 특성, 즉 유무색의 투과율 차이, 반감기 및 특정 투과율에 도달하는 시간을 표기하여 렌즈 취급자와 소비자에게 정확한 정보를 제공해야 할 것이다. ☞

논문 원문보기: 한국안광학회 홈페이지

(<http://www.koos.or.kr>) 또는 (<https://koos.jams.or.kr>)