

분광광도법에 의한 칼라 렌즈 내 염색제에 대한 흡광도 분석

최은정* · 정주현

건양대학교 안경광학과

(접수 2009. 8. 31; 수정 2009. 10. 15; 게재확정 2009. 10. 28)

Analysis of Absorbance for Tinted Dye Absorbed into Tinted Lenses by Spectrophotometric Method

Eun Jung Choi* and Ju-Hyun Jung

Department of Ophthalmic Optics, Konyang University, Daejeon 302-718, Korea

(Received August 31, 2009; Revised October 15, 2009; Accepted October 28, 2009)

요약. 분광광도법으로 칼라렌즈 내 염색제에 대한 흡광도를 연구하였다. 사용된 렌즈와 염색제는 각각 CR-39 플라스틱 광학렌즈와 Ons & Lavas[®]의 Blue 1800 이다. 칼라렌즈 내 염색제의 흡광도는 칼라렌즈와 CR-39 렌즈의 흡광도의 차를 이용하여 구하였으며, 염색제의 평균농도는 칼라렌즈와 CR-39 렌즈의 질량차로부터 구하였다. 칼라렌즈에 침투된 염색제에 대하여도 흡광도와 평균농도 사이에 Beer 법칙이 성립하였고, 검정선의 기울기로부터 흡광계수는 $a = 0.983 \text{ Lg}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 임을 알아내었다.

주제어: 착색염료, 칼라렌즈, 흡광도, 흡광계수, 분광광도법

ABSTRACT. We studied absorbance of tinted dye absorbed into tinted lenses by Spectrophotometric method. Used lenses and tinted dye were CR-39 plastic optical lenses and Ons & Lavas[®]의 Blue, respectively. Absorbance values of tinted dye absorbed into tinted lenses were obtained from the differences of absorbance values between tinted lenses and CR-30 lenses. Average concentrations of tinted dye absorbed into tinted lenses were obtained from the mass differences between tinted lenses and CR-30 lenses. The relationship between absorbance and average concentration for tinted dye absorbed into tinted lenses was also confirmed to follow Beer's law. The absorption coefficient calculated from the tangent of the calibration curve was determined to be $a = 0.983 \text{ Lg}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

Keywords: Tinted dye, Tinted lens, Absorbance, Absorption coefficient, Spectrophotometry

서론

현대사회에서는 산업의 다양화 및 전문화로 인해 각 산업 및 직종에 따라 그에 적합한 기능성 광학렌즈가 많이 요구되고 있다. 특히, 강렬한 태양광선에 대한 보건용이나 안질환 환자용, 눈부심 방지, contrast 향상, 안정피로 개선, 미용이나 패션 용 등으로 널리 사용되는 광학적 필터용 플라스틱 칼라렌즈¹는 그 사용목적에 따라 색조나 질기를 외부 환경에 맞게 적절히 제작해야 할 필요성

이 있기 때문에 여러 연구팀에 의해 꾸준히 연구되고 있다.

정 등²은 광흡수율 분석에 의한 플라스틱 렌즈의 착색 연구에서 현재 광범위하게 이루어지고 있는 착색렌즈의 검사법인 비색법(visual colorimetry)의 문제점을 지적하고, 이에 대한 표준화의 필요성을 제기하였다. 이 등³은 국내에서 시판되고 있는 선글라스들에 대한 광학적 및 역학적 조사를 통하여 각 렌즈들의 한국산업규격에 대한 적합성 여부를 조사하였다. 박 등⁴은 혼합색 착색렌즈를

제조하여 이에 대한 광흡수 특성과 칼라분석을 통하여 혼합색 렌즈 제조의 표준화 가능성을 제시하였다. 김 등⁵은 렌즈 염색에 사용되는 렌즈 염색제 분말 및 그 용액, 그리고 이를 이용하여 제조된 칼라렌즈에 대한 가시광선 영역에서의 흡수스펙트럼을 측정하여 각각이 갖는 광흡수 특성을 비교분석을 하였다. 임 등⁶은 제조사별로 선글라스 렌즈의 광학적 특성 및 그 차이점을 비교 조사를 하였다. 박 등⁷은 착색렌즈의 UV 차단효과를 분광광도계로 조사한 후, 이를 기준으로 시판되고 있는 UV 차단기(UV Tester)의 성능평가를 하였다. 정 등⁸은 칼라분석 이론을 통하여 칼라렌즈 제작 시 착색시간에 따른 색차표 이동의 분광학적 특성을 조사하였다. 그러나 이러한 많은 연구에도 불구하고 아직까지 칼라렌즈에 대한 흡광도 분석과 관련된 연구는 이루어진 바가 없다.

본 연구에서는 CR-39 플라스틱 광학렌즈를 칼라렌즈 제조에 널리 사용되는 Ons & Lavas[®]의 Blue 1800으로 착색시켜 렌즈에 침투된 염색제에 대한 흡광도와 농도 사이에도 Beer 법칙이 성립하는지의 여부와 그 검정선 및 흡광계수를 알아내는데 있다.

실험

착색을 위해 사용된 렌즈인 CR-39 플라스틱 광학렌즈는 피츠버그 플레이트 글라스(Pittsburgh Plate Glass Co.)사의 콜롬비아(Columbia) 연구소에서 개발된 열경화성수지로 가공된 중심두께 1.9 mm, 굴절률 1.498, 굴절력 0.00 Dptr인 플라스틱 광학렌즈로 흔히, CR-39(Columbia Resin-39)로 불리며, 플라스틱 칼라렌즈 제조에 널리 쓰이는 광학렌즈이다. 이 플라스틱 광학렌즈에 대한 합성수지의 화학식 이름은 아릴디글리콜카보네이트(allyldiglicolcarbonate)이다. 착색에 사용된 염색제는 칼라렌즈 제조에 널리 사용되는 착색용액 중의 하나인 Ons & Lavas[®]의 Blue 1800이다. 착색은 플라스틱 광학렌즈에 가장 널리 이용되는 염색착색법을 이용하였다.

우선, CR-39 렌즈를 초음파 세척기로 깨끗이 세척한 후, 제조사에서 지정한 비율(염색제 : 물 = 1 : 10)에 맞추어 착색용액을 제조하였다. 제조된

착색용액을 착색용 항온조에 넣고 90 °C로 일정하게 유지시키고, 착색시간은 30초, 1분, 2분, 3분, 4분, 5분, 10분, 20분, 30분, 45분, 60분으로 설정하여 칼라렌즈를 제조하였다. 흡광도 측정은 Shimadzu사의 UV-Vis Spectrophotometer(UV-2450)를 사용하였으며, 파장 범위는 가시광선에 해당하는 380 ~ 780 nm에서 실시하였다.

결과 및 논의

Fig. 1은 CR-39 렌즈와 칼라렌즈 제조에 널리 사용되는 염색제 중의 하나인 Ons & Lavas[®]의 Blue 1800을 이용하여 제조한 칼라렌즈에 대한 여러 시간에서의 파장에 따른 흡광도를 측정한 결과이다. 가장 강한 흡수는 599 nm에서 일어나고 있으며, 그 다음으로 강한 흡수는 647 nm와 549 nm 순으로 일어나고 있다. 이러한 흡수선들은 전이금속 이온의 외곽에 있는 d-전자가 착화합물을 형성하면서 결정장(crystal field)의 영향을 받아 이온 단독 상태일 때와는 달리 에너지 준위가 갈라지면서 형성된 에너지 준위들을 가시광선이 흡수되면서 나타나는 흡수선들이다⁹. 위 세 549, 599, 647 nm에서의 강한 흡수가 일어나는 흡수선들을 기준으로 한 전체적인 FWHM(full width at half maximum)는 약 120 nm로, 540 ~ 660 nm에 걸쳐 일어난다. 한편, 460 nm를 중심으로 한 약 400 ~ 500 nm 범위의 가시광선 영역에서는 상대적으로 흡수가 매우 적게 일어나고 있다. 사람의 눈이 가시광선을

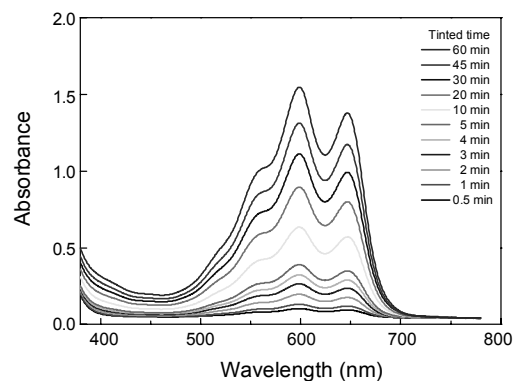


Fig. 1. Absorption spectra of tinted lenses at various tinted times.

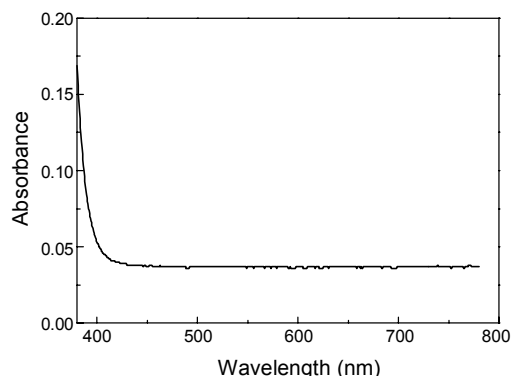


Fig. 2. Absorption spectrum of CR-39 lens.

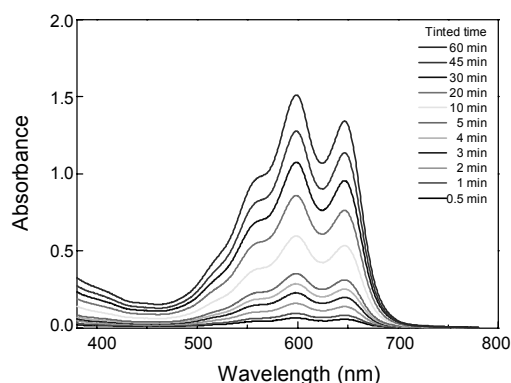


Fig. 3. Absorption spectra of tinted dyes in tinted lenses at various tinted times.

파장에 따라 다음과 같은 색상 즉, Violet(400 nm), Blue(460 nm), Blue-Green(507 nm), Green(530 nm), Green-Yellow(555 nm), Yellow(590 nm), Orange(600 nm), Red(650 nm)와 같이 느낀다는 점을 고려할 때, 현재 CR-39 렌즈와 칼라렌즈 염색제 Ons & Lavas®의 Blue 1800으로 제조한 칼라렌즈가 Blue 색상을 띠는 이유는 Green-Yellow~Red 대역의 가시광선은 강하게 흡수하는 반면, Blue 대역의 가시광선은 흡수가 미약한데 기인하는 것임을 알 수 있다.

이제 칼라렌즈 내에 침투된 염색제에 의한 흡광도를 구해 보기로 한다. 이를 위해 다음과 같은 두 가지 가정을 한다. 만일, 칼라렌즈 내로 침투된 염색제 분자가 렌즈를 구성하고 있는 고분자와 강한 상호작용을 일으키지 않는다고 가정하면, 그리고 렌즈 내의 염색제는 렌즈 표면으로부터 깊이에 따라 그 농도가 달라지겠지만 이를 염색

제가 렌즈 내부에 고루 퍼져 일정한 농도를 이룬다고 가정하면, 칼라렌즈는 렌즈와 염색제로 이루어진 2성분계의 혼합물이라고 생각할 수 있다. 그러면 이 2성분계에 해당하는 칼라렌즈의 흡광도 A_{cl} 는 염색제의 흡광도 A_c 와 렌즈 자체의 흡광도 A_l 과의 합으로 표현될 수 있다. 즉,

$$A_{cl} = A_c + A_l \quad (1)$$

따라서, 염색제에 의한 흡광도는 칼라렌즈의 흡광도와 착색 전 렌즈의 흡광도의 차 $A_c = A_{cl} - A_l$ 로부터 구할 수 있다.

Fig. 2는 착색시키지 않은 CR 렌즈 만에 의한 흡광도를 나타내는 그림이다.

CR 렌즈의 흡광도는 단파장인 450 nm 이하일 때를 제외하고는 가시광선 전 파장에 걸쳐 거의 일정한 값인 0.037(투과율로 환산하면 91.8%)이다. 가시광선 영역에서 가장 짧은 파장인 380 nm에서의 흡광도는 0.169(투과율로 환산하면 67.8%)이다. 착색시간이 짧아 농도가 얇은 칼라렌즈의 경우는 흡광도가 작아서 CR 렌즈 자체 흡광도의 영향을 크게 받지만, 착색시간이 길어 농도가 짙은 칼라렌즈의 경우에 있어서는 그 영향이 크지 않다. 예를 들어, 착색시간 0.5 min의 경우, 최대 흡수가 일어나는 599 nm에서의 칼라렌즈의 흡광도는 0.102인데, 이 값에서 CR 렌즈 자체의 흡광도인 0.037을 빼면 염색제의 흡광도는 0.065로 칼라렌즈 전체의 흡광도의 64%에 불과하지만, 착색시간 60 min의 경우에는 칼라렌즈의 흡광도는 1.547이므로 0.037을 빼면 1.510으로, 불과 2.4%만 감소한다. 이는 착색시간이 짧아서 렌즈에 침투된 염색제의 양이 적은 경우에는 렌즈 자체의 흡광도가 큰 영향을 미침을 뜻하는 것이다.

Fig. 3는 식 (1) 즉, Fig. 1에서 Fig. 2를 빼서 구한 칼라렌즈 내 침투된 염색제에 의한 흡광도를 나타내는 그림이다. 염색제에 의한 흡광도의 패턴은 단파장에서의 경우를 제외하고는 칼라렌즈의 흡광도의 패턴과 동일함을 알 수 있다.

이제 칼라렌즈 내 염색제에 의한 흡광도를 구하였으므로 흡광도 분석을 할 수 있게 되었다. 우선, 극대흡수파장인 599 nm에서의 흡광도를 착색시간을 기준으로 그려보기로 한다. Fig. 4는 Fig. 3

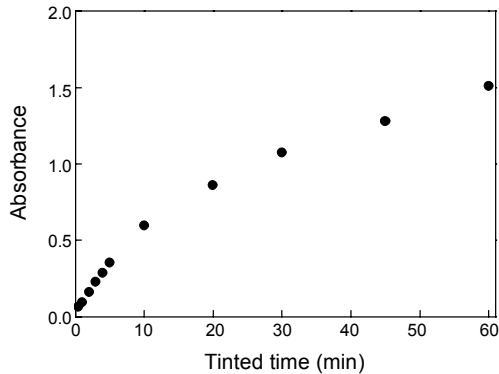


Fig. 4. Relationship between tinted time and absorbance for tinted dyes in tinted lenses.

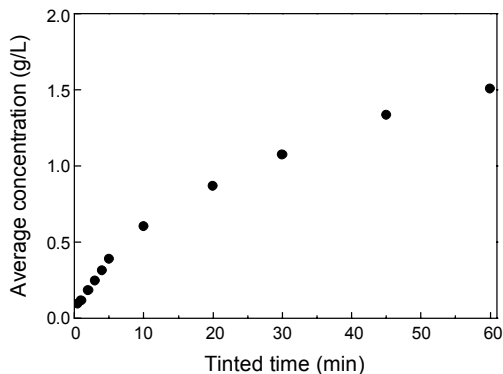


Fig. 5. Relationship between tinted time and average concentration for tinted dyes in tinted lenses.

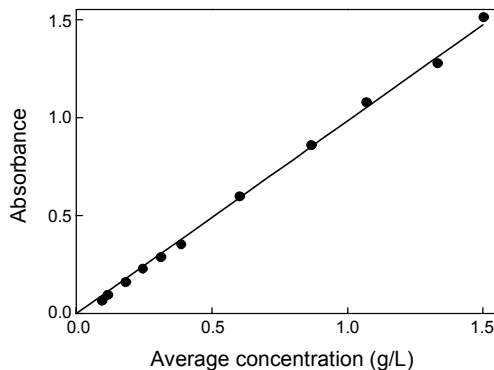


Fig. 6. Relationship between average concentration and absorbance for tinted dyes in tinted lenses.

으로부터 구한 것으로 칼라 렌즈에 침투된 염색제에 의한 착색시간에 따른 극대흡수파장에서의 흡광도를 나타내는 그림이다. 흡광도는 착색시간 5

min까지는 비교적 빠르게 증가하다가 10 min 정도 부터는 점차 흡광도의 증가율이 감소하고 있다. 착색시간 60 min에서도 포화상태에 이르지 않고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 칼라 렌즈에 침투된 염색제의 질량과 렌즈의 부피를 측정하여 구한 칼라 렌즈 내 염색제의 평균농도(average concentration, g/L)를 착색 시간에 대하여 나타낸 그림이다. 이 평균농도의 의미는 앞서 서술하였던 바와 같이 칼라 렌즈 내에 염색제가 고루 퍼져 일정한 농도를 이룬다고 가정한 상태에 해당하는 농도이다. 이때, 칼라 렌즈에 침투된 염색제의 질량은, 각 렌즈를 착색하기 전과 착색한 후의 질량을 측정한다음, 그 차로 부터 구하였다. 이렇게 구한 농도-착색시간의 관계 Fig. 5와 흡광도-착색시간 사이의 관계 Fig. 4을 비교해 보면 그래프의 변화 패턴이 매우 일치하고 있음을 알 수 있다. 이러한 일치성에 대한 원인은 흡광도-농도의 그래프를 그려보면 이해할 수 있다.

Fig. 6은 칼라 렌즈에 침투된 염색제의 흡광도와 평균 농도에 대한 관계를 나타내는 그림이다. 그림에서 보듯이 흡광도와 농도의 착색시간에 따른 변화 패턴의 일치성은 흡광도와 농도 사이에 정비례 관계가 성립하는 데 기인한 것임을 알 수 있다. 이러한 비례 관계는 흡광도와 농도 사이에 성립하는 Beer 법칙을 의미하는 것이다. 결국, 이러한 결과로부터 칼라 렌즈 내부로 침투된 염색제에 대한 흡광도와 농도 사이의 관계를 설명하고자 할 때, 칼라 렌즈는 렌즈와 일정한 농도로 렌즈 전체에 걸쳐 고루 퍼져있는 염색제로 이루어진 2 성분계 혼합물이라는 가정 하에서의 분석이 유효하다는 결론을 내릴 수 있다.

이제 칼라 렌즈 내에 침투된 염색제에 의한 흡광계수를 구할 수 있다. Beer 법칙에 의하면, 흡광도 A 는 복사선이 용액을 통과하는 경로길이(path length) b 와 흡광화학종의 농도 c 에 정비례¹⁰하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$A = abc \quad (2)$$

여기서, a 는 흡광계수(absorption coefficient)이다. 경로길이 b 의 단위를 cm로, 흡광화학종 농도 c 의 단위를 g/L 로 하면 흡광계수 a 의 단위는 $\text{Lg}^{-1}\text{cm}^{-1}$

로 표현된다. 식 (2)를 이용한 검정선(calibration curve)의 기울기로부터 구한 칼라렌즈 내 염색제의 흡광계수는 $a = 0.983 \text{ Lg}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 이었다. 그림에서 검정선은 실선으로 나타내었다.

결론

칼라렌즈 내 염색제에 대한 연구를 위하여 가시선 흡수분광법 실험을 하였다. 착색을 위해 사용된 렌즈는 CR-39 플라스틱 광학렌즈이었으며, 착색에 사용된 염색제는 칼라렌즈 제조에 널리 사용되는 염색제 중의 하나인 Ons & Lavas®의 Blue 1800 이었다. 칼라렌즈와 CR-39 렌즈의 흡광도의 차를 이용하여 칼라렌즈 내 염색제의 흡광도는 구하였으며, 칼라렌즈와 CR-39 렌즈의 질량차로부터 염색제의 평균농도를 구하였다. 칼라렌즈 내에 침투된 염색제에 대한 흡광도와 평균농도 사이에도 정비례 즉, Beer 법칙이 성립하고 있음을 확인하였고, 수치해석 분석을 통한 검정선의 기울기로부터 흡광계수는 $a = 0.983 \text{ Lg}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 이었다.

REFERENCES

1. KS P4404 (Korean Industrial Standard, Seoul, 1989).
2. Jung, M.; Lee, H.; Won, W.; Kwon, Y. *Korean J. Vis. Sci.* **2000**, 2, 211.
3. Lee, W. J.; Sung, D. Y.; Youk, D. J.; Kang, S. S.; Jang, Y. S.; Park, S. C.; Park, H. J.; Shin, H. S.; Jeon, Y. K. *J. Korean Oph. Opt. Soc.* **2004**, 9, 125.
4. Park, S. A.; Kim, Y. G. *Korean Oph. Opt. Soc.* **2000**, 5, 201.
5. Kim, Y.; Park, S. J. *Korean Oph. Opt. Soc.* **1999**, 4, 65.
6. Lim, H.; Ji, T.; Kim, B. *Korean Oph. Opt. Soc.* **2000**, 5, 193.
7. Park, M. C.; Jung, B. Y. *Korean Oph. Opt. Soc.* **2002**, 7, 129.
8. Jung, B.; Park, K.; Kim, Y. *Korean Oph. Opt. Soc.* **2003**, 8, 53.
9. Nassau, K. *The Physics and Chemistry of Color*; John Wiley & Sons: New York, **1983**; Chap. 5.
10. Skoog, D. A.; Leary, J. J. *Principles of Instrumental Analysis*; Harcourt Brace College Publishers, San Diego, **1971**; Chap. 5.