

확산법칙을 이용한 착색렌즈에서의 농도분포와 확산깊이의 분석

최은정 · 이신의

건양대학교 안경광학과

투고일(2011년 10월 29일), 수정일(2011년 11월 22일), 게재확정일(2011년 12월 17일)

목적: 확산법칙을 이용하여 착색렌즈에서의 농도분포와 확산깊이에 대한 연구를 하였다. **방법:** Fick의 제2확산법칙을 바탕으로 유도된 이론적 맞춤곡선을 측정값에 맞춤한다. **결과:** 맞춤곡선은 측정값과 매우 잘 일치하였으며, 그 결과로서 착색렌즈의 내부로 확산되어 들어간 단위면적당 착색용액의 질량과 착색시간 사이의 관계, 착색렌즈 내 착색염료에 대한 농도분포, 확산깊이 등을 평가할 수 있었다. **결론:** 착색렌즈의 착색기전은 확산법칙으로 잘 설명될 수 있다.

주제어: 착색렌즈, 확산법칙, 확산계수, 농도분포, 확산깊이

서 론

현대사회에서는 산업의 다양화 및 전문화로 인해 각 산업 및 직종에 따라 그에 적합한 기능성 렌즈가 요구되고 있다. 특히, 태양광선에 대한 보건용이나 안질환 환자용, 눈부심 방지, 대비감도 향상, 안정피로 개선, 미용이나 패션용 등에 널리 사용되고 있는 착색렌즈는 외부환경이나 사용목적에 맞게 제조되어야 할 필요성이 있기 때문에, 정확한 색상 및 투과율을 갖는 렌즈의 제조가 필수적이다. 이에 착색렌즈에 대한 연구는 여러 연구팀에 의해 꾸준히 연구되어 왔다¹⁻⁵⁾.

착색렌즈를 제조하는 방법에는 염색착색법, 용착착색법, 침투착색법, 진공증착 착색법, 용융착색법 등이 있는데, 플라스틱 렌즈에는 대부분 염색착색법이 이용되고 있다⁶⁾. 착색렌즈의 내부에는 착색염료가 퍼져있다. 이때 렌즈 내 착색염료의 분포는 렌즈 표면에서 최대이고, 내부로 들어갈수록 깊이에 따라 감소할 것이다. 착색렌즈 내 착색염료의 분포는 다음과 같은 착색기전(dyeing mechanism)을 고려해보면 정성적으로 이해할 수 있다. 우선, 착색을 위해 고온으로 가열된 착색용액에 렌즈를 담그면 렌즈를 구성하는 고분자 화합물의 간격은 늘어날 것이다. 물(H₂O)을 용매(solvent)로 한 착색용액(solution) 내에 분산되어 있는 용질(solute)인 착색염료(dye)는 이 늘어난 간격 사이를 착색용액과 함께 침투해 들어갈 것이다. 이때 착색염료의 농도는 표면에서 가장 클 것이고, 표면에서 내부로 들어갈수록

낮을 것이다. 그리고 착색시간(dyeing time)이 경과할수록 착색염료는 착색용액을 따라 더 깊은 곳까지 침투해 들어갈 것이다. 착색용액은 물에 착색염료를 분산시킨 것이므로 여러 시간이 경과하면 렌즈에 흡수된 착색용액의 물 성분은 증발될 것이고, 착색렌즈 내부에는 착색염료만 분자 상태로 남게 될 것이다. 하지만 이때 남겨진 착색염료 분자들은 좁아진 렌즈의 고분자 화합물 사이에 갇혀 이동하지 못하므로 착색렌즈 제조 직후의 분포를 그대로 유지하면서 제자리에 남게 된다. 착색기전에서 물은 착색염료를 운반하는 나르개(carrier, 擔體) 역할을 하고, 결국은 증발해버리는 것이다. 따라서 착색렌즈 내 착색염료의 분포는 착색렌즈 제조 직후 렌즈 내부에 흡수되었던 착색용액의 분포와 동일할 것이다. 따라서 착색 직후 렌즈 내 착색용액의 분포가, 곧 렌즈 내부에서의 깊이에 따른 착색염료의 분포인 것이다.

이와 동일한 기전을 반도체 제조공정에서 찾아볼 수 있다. 즉, 기판(Si)이 되는 재료 표면 위에 불순물(B 또는, P)을 올려놓고 그 농도를 일정하게 유지시키면서 재료 내부로 불순물을 주입시키는 기전이다. 이러한 기전은 확산론(diffusion theory)에 의해 정량적으로 규명할 수 있다. 이에 착색렌즈의 기전도 확산론을 적용하여 분석할 수 있으리라 예상할 수 있다.

이러한 취지 하에 본 연구에서는 확산론을 이용하여 착색렌즈를 정량적으로 분석하고자 한다. 이를 위해 Fick의 제2확산법칙으로부터 착색시간에 따라 착색렌즈 내부로

확산되어 들어가는 착색용액의 질량에 대한 이론적 맞춤 곡선(theoretical fitting curve)을 유도한 후, 이를 실험으로부터 얻은 측정값에 맞춤할(fitting) 것이다. 그리고 (i) 착색렌즈 단위면적당 확산되어 들어가는 착색용액의 질량과 착색시간 사이의 관계, (ii) 확산계수, (iii) 착색렌즈 내 착색염료의 농도분포, (iv) 평균확산깊이, (v) 착색렌즈로 확산되어 들어간 착색용액의 질량과 평균확산깊이 사이의 상관관계 등, 여러 결과들을 확산론을 적용한 분석의 결과로서 제시할 것이다.

실험 및 방법

착색렌즈의 착색기전(mechanism)을 밝혀내기 위하여 확산론 즉, Fick의 제2확산법칙을 도입한 후, 착색용액과 렌즈로 구성된 계(system)에 적합한 경계조건(boundary condition)을 찾아낸다. 그리고 이 경계조건을 바탕으로 확산미분방정식을 풀어 해(solution)를 구하고, 이 해를 실험으로부터 구한 측정값에 맞춤할 수 있는 식으로 변환시킨 후, 최소자승법(least square method)으로 측정값을 맞춤한다. 그리고 그 결과로서 착색렌즈와 관련된 여러 가지 정량적 데이터 및 관계식을 도출한다.

이 연구를 위하여 CR-39 렌즈와 BPI사의 착색용액으로 착색렌즈를 제조하였고¹⁾, 전자저울(OHAUS AP2500)을 이용하여 착색 전·후 렌즈의 질량을 10^{-2} mg까지 측정하였다. 착색렌즈 제조 시, 덮개를 사용함과 동시에 동일 농도 및 온도의 착색용액을 주기적으로 서서히 보충해줌으로써 착색 중 발생할 수 있는 착색용액의 증발 및 농도의 변화를 최소화시키고자 노력하였다.

결과 및 분석

물질은 공간적으로 농도의 차이가 나면, 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동한다. 이러한 현상을 확산(diffusion, 擴散)이라고 하는데, 이는 입자들의 무작위적 운동(random motion)에 기인하는 것으로 다음과 같은 Fick의 제2확산법칙(Fick's second law of diffusion)의 지배를 받는다⁸⁾.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

여기서, C (numbers/cm³ 또는, mol/cm³)는 입자의 농도이며, 비례상수 D (cm²/sec)는 확산계수로서 입자가 매질을 통하여 이동하는 확산속도의 크기를 나타낸다.

이제, 확산미분방정식 (1)로부터 얻어진 이론적인 해를 착색렌즈의 정량적 분석에 적용하여, 착색렌즈 내부로 확산되어 들어간 착색용액의 양과 착색시간 사이의 관계, 착

색렌즈 내 착색염료의 농도분포 및 확산깊이 이외의 여러 물리량과 관련된 정량적인 분석을 시도하기로 하겠다.

미분방정식 (1)을 풀기 위해서는 경계조건(boundary conditions)이 필요하다. 따라서 우선, 착색용액과 렌즈로 이루어진 계(system)의 경우에 성립하는 경계조건을 찾아내야 한다. 확산론에 따르면, 경계조건은 크게 유한계, 준무한계, 무한계로 나뉜다^{9,10)}. 유한계(finite system)란 확산의 바탕이 되는 재료의 길이가 짧거나 혹은 확산시간이 길어서 재료의 끝에서의 경계조건이 시간에 따라 변하는 경우를 말한다. 준무한계(semi-infinite system)란 계의 한 끝에서는 확산이 일어나지만, 다른 끝에서는 확산깊이(diffusion depth)에 비해 재료의 길이가 길어 농도의 변화가 감지되지 않는 경우를 말한다. 무한계(infinite system)란 재료의 내부에서 확산이 시작되어 점차 양 끝의 경계 쪽으로 확산이 일어나지만 재료의 길이가 길어 경계에서는 농도의 변화가 감지되지 않는 경우를 말한다. 이와 같은 세 가지 경계조건과 비교할 때, 렌즈 내부로 흡수되어 들어가는 착색용액의 확산은 분명히 내부에서 시작되는 확산은 아니므로 경계조건이 무한계가 아닌 것은 명백하다. 따라서 본 연구에서의 경계조건은 유한계 아니면 준무한계이다. 여기서 다음의 두 가지 가정을 한다.

- (ㄱ) 렌즈 내부로 확산되어 들어가는 착색용액의 확산깊이는 렌즈 두께에 비해 상대적으로 매우 적다고 가정한다. 그러면, 본 연구에서의 착색용액과 렌즈로 이루어진 계의 경계조건은 준무한계라 할 수 있다.
- (ㄴ) 렌즈가 담겨 있는 착색용액의 농도는 일정하게 유지되며, 렌즈 내부로 확산되어 들어가는 착색용액의 양은 전체 착색용액의 양에 비해 적은 양이라고 가정한다. 그러면 착색용액과 렌즈 경계면에서의 착색용액의 농도는 일정하게 유지된다고 할 수 있다.

위의 두 가정을 바탕으로 하여 착색용액과 렌즈로 이루어진 계에 대한 준무한계 경계조건을 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$t = 0 \text{ 일때, } \begin{cases} C = C_0 & (x \leq 0) \\ C = 0 & (x > 0) \end{cases}$$

$$t > 0 \text{ 일때, } \begin{cases} C \cong C_0 & (x \leq 0) \\ C = C(x, t) & (x > 0) \end{cases} \quad (2)$$

여기서, t 는 착색시간이고, C_0 는 착색용액의 농도이며, $x < 0$ 은 착색용액이 있는 영역, $x = 0$ 은 착색용액과 렌즈의 경계면, $x > 0$ 은 렌즈 경계면에서 렌즈 내부로의 깊이(depth)를 나타낸다. 이러한 경계조건은, 기판이 되는 재료 표면 위에 불순물을 올려놓고 그 농도를 일정하게 유지시키면서 재료의 내부로 불순물을 확산시키는 과정에서 불

수 있는 경계조건과 동일하다. 반도체 제조공정의 경우를 예로 든다면, 착색용액이 렌즈로 확산되어 들어가는 과정은, Si 기판의 표면 위에 B원소(P형)나 P원소(N형) 등의 불순물을 일정한 농도로 유지시키면서 확산을 통해 불순물인 B원소나 P원소(착색용액)를 Si 기판(렌즈) 내부로 주입시키는 소위 “pre-deposition” 과정과 동일한 과정이다^[10].

확산론에 따르면 위와 같은 경계조건 (2)를 만족하는 확산미분방정식 (1)에 대한 해(solution)는 다음과 같이 기술되는 것으로 알려져 있다^[10].

$$C(x, t) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right] = C_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (3)$$

여기서, $\operatorname{erf}(z)$ 은 오차함수(error function)로서 $\operatorname{erf}(z) = (2/\sqrt{\pi}) \int_0^z e^{-\eta^2} d\eta$ 으로 정의되며, $\operatorname{erfc}(z)$ 은 상보적 오차함수(complementary error function)로서 $\operatorname{erfc}(z) = 1 - \operatorname{erf}(z)$ 으로 정의된다. $C(x, t)$ 는 착색시간을 t 로 하여 제조된 착색렌즈의 표면으로부터 내부로 깊이 x 되는 위치에서의 농도이다. 하지만, 본 연구에서와 같은 착색용액과 렌즈로 이루어진 계에 식 (1)을 적용하려면 $C(x, t)$ 을 농도가 아닌 밀도(mg/cm^3)의 개념으로 취급하는 것이 편리하다.

한편, 실험으로부터 측정되는 양은, 착색 전·후 렌즈의 질량차로부터 구해지는, 착색시간 t 로 제조된 착색렌즈 내로 확산되어 들어간 단위면적당 착색용액의 질량 $Q_{\text{exp}}(t)$ 이다. 그런데 맞춤을 위해 확산미분방정식 (1)로부터 유도된 식 (3)의 $C(x, t)$ 은 착색렌즈의 단위면적당 확산되어 들어간 착색용액의 질량(mg/cm^2)이 아닌 착색렌즈 내 깊이 x 인 위치에서의 밀도(mg/cm^3)를 나타내므로, 식 (3)으로는 측정값 $Q_{\text{exp}}(t)$ 를 맞춤할(fitting) 수 없다. 따라서 측정값과의 적절한 맞춤을 위해서는, 식 (3)으로부터 착색렌즈의 내부로 확산되어 들어간 단위면적당 착색용액의 질량에 대한 식을 유도해야 한다. 이는 식 (3)을 렌즈 두께에 대하여 적분함으로써 이루어질 수 있다. 그런데 앞서 (1)에서 렌즈 두께는 렌즈 내부로 확산되어 들어가는 착색용액의 확산깊이와 비교할 때 상대적으로 매우 크다 하였으므로, 실제 적분 계산과정에서의 적분의 상한값은 렌즈 두께 대신, $x = \infty$ 를 사용하여도 무방하다. 이러한 전제 하에 적분을 수행하면 다음과 같은 이론적 관계식을 얻을 수 있다.

$$Q_{\text{th}}(t) = \int_0^\infty C(x, t) dx = 2C_0 \sqrt{\frac{D}{\pi}} t \quad (4)$$

이 유도된 식 $Q_{\text{th}}(t)$ 가 바로 측정값 $Q_{\text{exp}}(t)$ 의 분석을 위한 이론적 맞춤곡선(theoretical fitting curve)으로 적합한 식이다. Fig. 1에는 실험으로부터 측정된, 착색시간 t 로 제조된 Green색 착색렌즈의 내부로 확산되어 들어간 단위면적당 착색용액의 질량 $Q_{\text{Green}}(t)$ 을 ●으로 나타내었다. 식 (4)에서의 C_0 는 Green색 착색용액의 밀도로서 측정값은 $1,004 \text{ mg}/\text{cm}^3$ 이다.

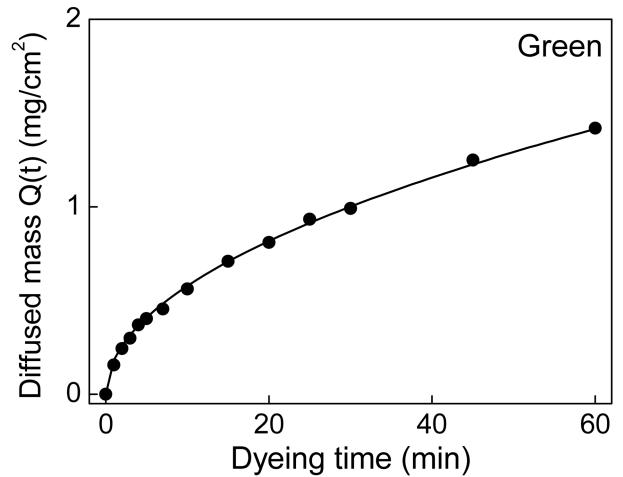


Fig. 1. Relationship between mass of dye solution diffused into the lens per unit area of tinted lens, $Q(t)$ and dyeing time t . $Q(t)$ is proportional to \sqrt{t} .

본 연구에서는, 식 (4)를 이용하여 최소자승법(least square method)으로 Fig. 1의 측정값을 맞춤하였다. 분석 결과로부터 식 (5)와 같은 Green색 착색렌즈의 내부로 확산되어 들어간 단위면적당 착색용액의 질량 $Q_{\text{Green}}(t)$ 와 착색시간 t 사이에 성립하는 관계식, 그리고 확산계수 D_{Green} 을 얻었다.

$$Q_{\text{Green}}(t) = 0.1827\sqrt{t}, \quad D_{\text{Green}} = 2.601 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{min} \quad (5)$$

Fig. 1에서의 실선은 분석을 통하여 얻은 맞춤곡선(fitting curve)을 나타낸다. 그림에서 보듯이 맞춤은 매우 성공적이었다. 이 결과로부터 착색렌즈의 내부로 확산되어 들어가는 단위면적당 착색용액의 질량 $Q(t)$ 는 착색시간의 제곱근 \sqrt{t} 에 비례한다는 사실이 밝혀졌다.

이제, 식 (5)에서 구해진 확산계수를 이용하여 착색렌즈

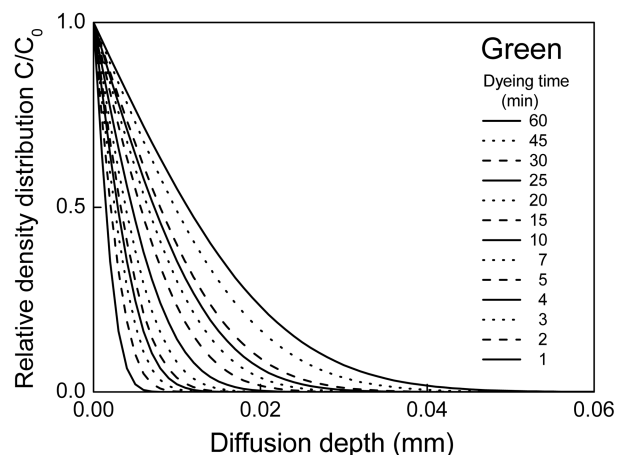


Fig. 2. Relative density distribution C/C_0 of dyeing solution in tinted lens according to diffusion depth. This distribution is just the relative concentration distribution of dye in tinted lens.

내 착색용액의 밀도분포(density distribution)를 구하고, 확산깊이(diffusion depth)에 대한 정량적인 평가를 하기로 한다. Fig. 2는 Green색 착색용액의 밀도 C_0 와 Green색 착색용액의 확산계수 D_{Green} 을 식 (3)에 대입하여 구한 착색렌즈 내 착색용액의 상대밀도분포(relative density distribution) C/C_0 을 여러 착색시간에 대하여 시뮬레이션 한 것이다. 앞서 서론에서 언급한 논리에 의하면, 이 분포가 곧 렌즈 내 착색염료(dye)의 농도분포라는 사실을 알 수 있다. 결과로부터 착색렌즈 내 착색용액의 밀도(또는 착색염료의 농도)는 표면에서 최대이며, 깊이에 따라 상보적 오차함수(complementary error function)적으로 감소한다는 사실을 알 수 있다.

한편, 착색시간이 경과함에 따라 착색용액(착색염료)은 점차 내부로 확산되어 더 깊은 곳까지 스며들어 들어간다. 그런데 이때 착색렌즈 내 착색용액의 밀도는 깊이에 따라 지속적으로 감소하므로 착색용액이 어디까지 확산되어 들어간 것으로 평가해야 될지 애매하다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 확산론에서의 일반적인 평가방법인 평균 확산깊이(average diffusion depth)의 개념을 도입하여 착색렌즈 내 착색용액의 확산깊이를 평가하기로 하였다. 이를 Fig. 3을 이용하여 설명하면, 착색시간 t 에서의 평균 확산깊이 $\delta(t)$ 는 Fig. 3의 (A) 부분의 면적과 (B) 부분의 면적을 같게 하는 1차 직선의 x 축 절점으로 정의된다. 따라서 $Q(t)$ 와 $\delta(t)$ 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$Q(t) = \frac{C_0}{2} \delta(t) \tag{6}$$

그러므로,

$$\delta(t) = \frac{2}{C_0} Q(t) \tag{7}$$

또는, 식 (4)으로부터

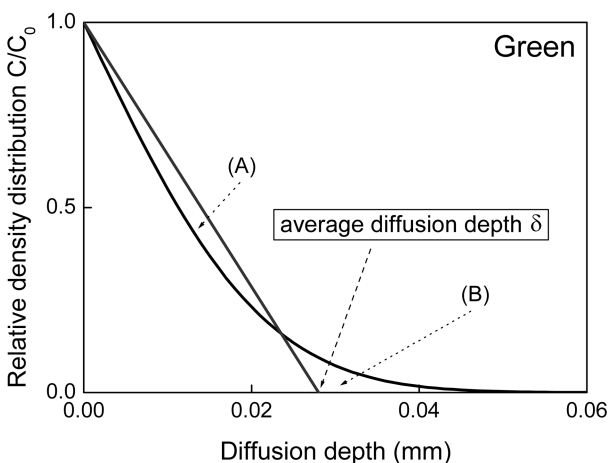


Fig. 3. Relationship between relative density distribution in tinted lens and average diffusion depth.

Table 1. Average diffusion depth calculated from eq. (8) in green tinted lenses

Dyeing time (min)	Average diffusion depth (mm)	Dyeing time (min)	Average diffusion depth (mm)
1	0.0036	15	0.0141
2	0.0051	20	0.0163
3	0.0063	25	0.0182
4	0.0073	30	0.0199
5	0.0081	45	0.0244
7	0.0096	60	0.0282
10	0.0115		

$$\delta(t) = 4 \sqrt{\frac{D}{\pi}} \sqrt{t} \tag{8}$$

이다. 식 (6)에 따르면 착색렌즈의 내부로 확산되어 들어간 단위면적당 착색용액의 질량 $Q(t)$ 는 착색용액의 밀도 C_0 와 평균확산깊이 $\delta(t)$ 에 비례한다. 식 (7)에 따르면 렌즈로 확산되어 들어가는 착색용액의 평균확산깊이 $\delta(t)$ 는 렌즈로 확산되어 들어간 착색용액의 질량 $Q(t)$ 에 비례한다. 또한, 식 (8)에 따르면 확산깊이는 착색시간의 제곱근에 비례한다. 이 식 (8)의 방법으로 평가된 여러 착색시간에 대한 Green색 착색렌즈의 이론적 평균확산깊이를 Table 1에 제시하였다. 착색시간 60 min인 Green색 착색렌즈의 평균확산깊이는 약 0.0282 mm로, 이 값은 본 연구에서 사용된 CR-렌즈의 평균 두께 2.07 mm와 비교하면 불과 1.36% 밖에 되지 않는 미미한 값이다. 이는 앞서의 가정 (1), (2)이 타당하였음을 입증하는 결과이기도 하다. Fig. 4는 평균확산깊이와 착색시간 사이의 관계를 나타내

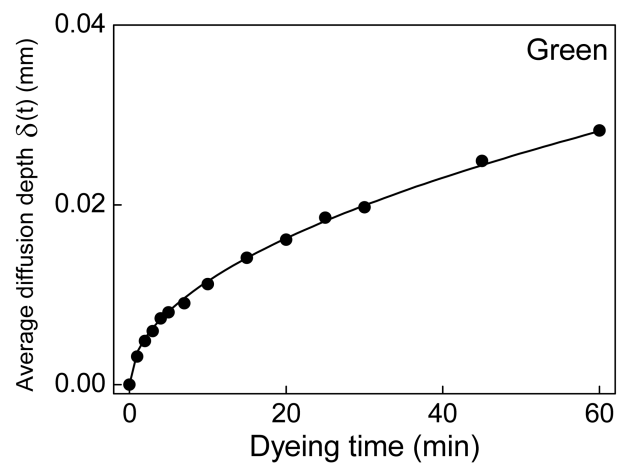


Fig. 4. Relationship between average diffusion depth, $\delta(t)$ and dyeing time t . $\delta(t)$ is proportional to \sqrt{t} .

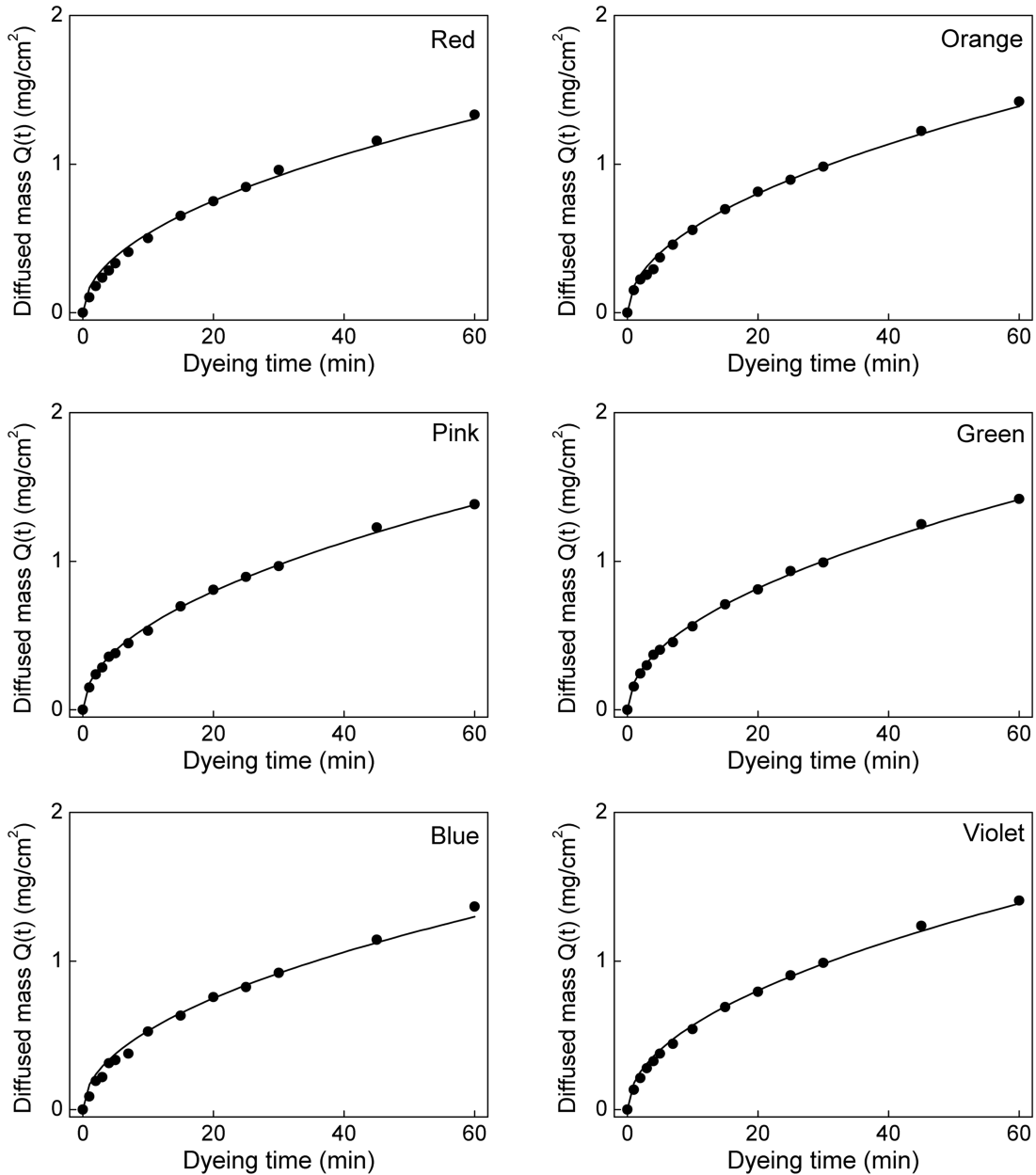


Fig. 5. Relationship between mass of dyeing solution diffused into the lens per unit area of tinted lens, $Q(t)$ and dyeing time t for various tinted lenses. In all cases, $Q(t)$ is proportional to \sqrt{t} .

는 그림이다. 그림에서 ●은 식 (7)을 이용하여 $Q_{Green}(t)$ 의 측정값과 C_0 를 이용하여 구한 확산깊이이고, 실선은 식 (8)을 이론적 맞춤곡선으로 이용하여 맞춤한 곡선이다. Fig. 4로부터 확산깊이 $\delta(t)$ 는 착색시간 t 의 제곱근에 의존함을 분명히 알 수 있다.

이제, 마지막으로 확산론에 의한 착색렌즈의 분석이 보편적으로 성립된다는 점을 입증하기 위하여 여러 가지 색상의 착색렌즈에 대한 착색렌즈 내부로 확산되어 들어간 단위면적당 착색용액의 질량 $Q(t)$ 와 착색시간 t 와의 관계를 Fig. 5에, 그리고 각 색상에 대한 확산계수 D 와 평균 확산깊이를 Table 2에 각각 제시하였다. 그림에서 알 수

Table 2. Diffusion coefficients and average diffusion depth for various tinted lenses prepared with dyeing time of 60 min

Color	Diffusion coefficient ($\times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{min}$)	Average diffusion depth (mm)
Red	2.396	0.0271
Orange	2.553	0.0279
Pink	2.537	0.0278
Green	2.601	0.0282
Blue	2.385	0.0270
Violet	2.551	0.0279

있듯이 제조된 모든 색상에 대하여 확산이론에 의한 맞춤 결과는 매우 성공적이었다. 결국, 확산론에 의한 착색렌즈의 분석은 매우 타당하다는 결론을 내릴 수 있다.

결 론

Fick의 제2확산법칙을 이용하여 착색렌즈에서의 농도분포와 확산깊이에 대한 연구를 하였다. 착색렌즈는 CR-39 렌즈와 BPI 용액을 이용하여 염색착색법으로 제조하였다. 착색 전·후 렌즈의 질량차를 측정하여 단위면적당 착색렌즈로 확산되어 들어간 착색용액의 질량을 구한 후, 이를 Fick의 제2법칙으로부터 유도한 이론적 맞춤곡선에 맞춤하였다. 맞춤은 매우 잘 일치하였으며, 그 결과로 도출된 확산계수를 이용하여 착색시간에 따른 착색렌즈 내 착색염료의 농도분포를 기술해주는 상보적 오차함수를 구하였고, 그리고 착색시간에 따른 착색염료의 평균확산깊이를 평가할 수 있는 정량적인 관계식도 도출하였다. 이로부터 평가된 착색시간을 60 min으로 하여 제조된 착색렌즈 내 착색염료의 평균확산깊이는 Red: 0.0271 mm, Orange: 0.0279 mm, Pink: 0.0278 mm, Green: 0.0282 mm, Blue: 0.0270 mm, Violet: 0.0279 mm 이었다. 또한, 착색렌즈 내부로 확산되어 들어간 단위면적당 착색용액의 질량과 평균확산깊이 사이에 비례관계가 성립한다는 것도 규명하였다. 이상의 결과로부터 착색렌즈의 착색기전은 확산법칙에 의해 명확히 기술될 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

본 연구에서의 결과를 착색렌즈 제조공정에 활용하면, 지금까지 숙련공의 경험이나 육안비색법에 의존하던 착색 방식을 체계적이면서 과학적인 방법으로 개선할 수 있는 계기가 마련되리라 사료된다.

참고문헌

- [1] 마기중, “안경용 플라스틱 착색렌즈의 시감투과율 측정”, 서울보건대학 논문집, 12(1):165-170(1992).
- [2] 임현선, 지택상, 김봉환, “선글라스 렌즈의 광학적 성능”, 한국안광학회지, 5(1):193-198(2000).
- [3] 박문찬, 정부영, “착색렌즈의 UV 차단 효과와 UV TESTER 평가 분석”, 한국안광학회지, 7(2):129-134(2002).
- [4] 정병만, 박광호, 김용근, “착색시간에 따른 칼라렌즈 색좌표 이동”, 한국안광학회지, 8(1):53-57(2003).
- [5] 이원진, 성덕용, 육도진, 강성수, 장윤석, 박상철 등, “국내에서 시판되고 있는 선글라스에 관한 연구”, 한국안광학회지, 9(1):125-134(2004).
- [6] 정주현, “착색렌즈의 최적화에 관한 연구”, 전남대학교 석사학위논문, 1-54(2002).
- [7] 최은정, 정주현, 김현정, 서원, 주영준, 양계탁, “CR-39 플라스틱 칼라렌즈에서 착색시간에 따른 총분광투과율”, 새물리, 59(3):272-277(2009).
- [8] Jost W., “Diffusion in Solids, Liquids, Gases”, Academic, New York, Chap. 1(1970).
- [9] Crank J., “The mathematics of Diffusion”, 2nd ed., Oxford Science Publications, New York, Chap. 3(1990).
- [10] Park J. W., Lee W. J. and La S. K., “Diffusion in Solid”, KAIST, Daejeon, Chap. 1(2003).

Analysis of Concentration Distribution and Diffusion Depth in Tinted Lenses Using the Law of Diffusion

Eun Jung Choi and Sin Ui Lee

Department of Optometry, Konyang University

(Received October 29, 2011: Revised November 22, 2011: Accepted December 17, 2011)

Purpose: To study the concentration distribution and diffusion depth in tinted lenses using the law of diffusion.

Methods: The measured values taken from experiments were fitted with the theoretical fitting curve induced on the basis of Fick's second law of diffusion. **Results:** The fitting curves were in very good agreement with the measured values. As the results, we found the quantitative relationship between mass of dye solution diffused into the tinted lens per unit area and dyeing time, and evaluated concentration distribution of dye in tinted lens, diffusion depth, etc. **Conclusions:** The dyeing mechanism of tinted lenses can be well described by diffusion theory.

Key words: Tinted lens, The law of diffusion, Diffusion coefficient, Concentration distribution, Diffusion depth