

## 유리의 주파장과 자극 순도의 계산 정확도 향상

김형준 · 최성철

한양대학교 무기재료공학과  
(1999년 3월 22일 접수)

### Improvement of Calculation Accuracy of Dominant Wavelength and Excitation Purity for Glass Product

Hyeong Jun Kim and Sung Churl Choi

Department of Inorganic Material Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea  
(Received March 22, 1999)

#### 초 록

본 연구는 유리 제품 색조 분석시 일반적으로 사용되는 주파장과 순도의 계산에 있어서 정확한 결과를 얻을 수 있는 방법을 제시하고자 하였다. 기존에 계산에 사용해 왔던 자와 확대된 색도 좌표도에 의한 방법 대신, 측정된 색도 좌표값이 무채색 자극치와 만드는 직선의 기울기와 단색광 자극치와 무채색 자극치가 나타내는 직선의 기울기 간의 상관관계를 이용하여 주파장 및 순도의 계산방법을 찾았다. 이를 실제 제품에 적용하였을 때, 기존 방법 보다 정확한 결과를 얻었다.

#### ABSTRACT

This study suggests the accurate method to calculate dominant wavelength and excitation purity which are used for analyzing color of glass product. Instead of ruler and magnified chromaticity diagram, by using the slope of lines by tristimulus measured and achromatic stimulus and by monochromatic stimulus and achromatic stimulus, calculating method of dominant wavelength and excitation purity was acquired with the relation between them. When it was applied to products, the obtained results were more accurate than those from existing methods.

**Key words :** Glass, Color, Chromaticity, Dominant wavelength, Excitation purity

#### 1. 서 론

물체의 색을 규정하는 규격은 Commission Internationale de l'Eclairage(CIE)가 1931년 2도 시야에 기초한 XYZ 색 표시계와 1964년 10도 시야에 기초한  $X_{10}$ - $Y_{10}$ - $Z_{10}$  색 표시계가 있다.<sup>1,2)</sup> 이 규격은 전세계 공통 규격으로 어느 나라에서도 이 표시계에 의해 나타내어진 색 표시에 따라 색을 표현하고 있다. 색을 나타내는 규정이라 함은 일반적인 사람들이 표현하는 '노랑다,' '푸르다' 등의 애매 모호한 색에 대한 감각적 표현을 수치화 한 것이라 하겠다.

색 표시에 있어서 XYZ 색 표시계 외에  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  및  $L^*$ ,  $u^*$ ,  $v^*$ 와 주파장, 순도가 있다.  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  및  $L^*$ ,  $u^*$ ,  $v^*$ 의  $L^*$ 는 명도,  $a^*$ ,  $b^*$  및  $u^*$ ,  $v^*$ 는 색상과 채도를 나타내는 색좌표 값이다.  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  및  $L^*$ ,  $u^*$ ,  $v^*$ 에 의한 물체색의 표현법은 조명의 조도가 올라가면 심리적인 신선함이 증가한다는 지각 효과까지 포함시킨

신선함 또는 색의 심리량을 나타낸다.<sup>4)</sup> 한편 주파장과 순도는  $x$ ,  $y$  색도 좌표상에서 계산되어 나타내는 것이지만  $x$ ,  $y$  만으로 표시하는 것에 비하여 수치적 의미 외에 햇빛에 의해 관찰되는 일반적인 색조에 대한 의미를 갖는다.<sup>6)</sup> 따라서 주파장이 장파장쪽이면(800 nm에 가까워지면) 붉은색 계통으로, 단파장쪽이면(360 nm 쪽) 청색 계통이 되며, 순도가 낮아지면 백색으로, 높아지면 색이 짙어지는 것을 나타낸다.

유리 제조사는 위와 같은 심미적인 감각을 수치화하기 위하여 유리 제품의 색조에 대한 규격으로  $x$ ,  $y$  값으로 규격을 정하지 않고,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  및  $L^*$ ,  $u^*$ ,  $v^*$  또는 주파장, 순도 및 3자극치 Y로서 유리 제품의 규격을 정하고 있다.

그러나 유리의 색 측정에 사용되는 UV-spectrophotometer와 colorimeter를 제조하는 회사들은 color의 측정 결과로서 ASTM E308-85<sup>5)</sup>에서 규정하고 있는 3자극치인 X, Y, Z와  $x$ ,  $y$  및  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  및  $L^*$ ,  $u^*$ ,  $v^*$  만

을 제공하는 프로그램만을 제공하고 특별하게 주파장과 순도를 계산하는 software는 제공하지 않는다.

또한 일부 유리 회사 및 연구소에서 software의 존재조차 모르는 경우도 많기 때문에 아직도 x, y 색도 좌표를 확대한 그림과 지를 이용하여 부정확한 색조 data를 얻고 있다. 이로 인하여 유리제품의 품질 관리에 부정확성이 문제가 될 뿐만 아니라 국내 주파장과 순도 data를 신고 있는 논문에서도 부정확한 data를 나타내는 경우가 있었다.

본 연구는 유리 제품의 색조 분석시 일반적으로 사용되는 주파장과 순도의 정확한 결과를 얻기 위하여 기존의 방법이 아닌 측정된 색도 좌표값이 무채색 자극치와 이루는 직선의 기울기와 단색광 자극치와 무채색 자극치가 나타내는 직선의 기울기간의 상관관계를 이용한 계산 방법을 도출하고자 하였다.

## 2. 이 론

### 2.1. x-y 색도그림(Chromaticity diagram)

색의 표시함에는 원칙적으로 색도 좌표(chromaticity coordinate) x, y 및 3자극치의 Y 또는 색도 좌표  $x_{10}$ ,  $y_{10}$  및 3자극치의  $Y_{10}$ 을 사용한다. 3자극치인 X, Y, Z에 대한 자세한 설명은 각국의 색에 대한 규정 또는 color에 대한 참고 문헌을 참고로 하길 바란다.<sup>1,3)</sup> 위의 x, y는 색도 좌표로서 다음의 식과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} & y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} = 1-x-y \end{aligned} \quad (1)$$

$x_{10}$ ,  $y_{10}$ ,  $z_{10}$ 은 식 (1) 3자극치 X, Y, Z 대신  $X_{10}$ ,  $Y_{10}$ ,  $Z_{10}$ 을 사용하면 된다. z 값은 x, y 값에 의해 고정되기 때문에 실제 x, y 만으로 색을 표시하는 것이 가능하다. 이렇게 얻어진 색도 좌표는 Fig. 1과 같이 나타내어진다.

일반적으로 물체색을 나타낼 때는 이를 색 관측에 사용되는 표준광의 종류에 따라 표시되는 색도 좌표 값이 변하게 된다. 일반적인 표준광으로 사용되는 광원들은 백열전구에 의한 표준광 A, 일광(日光)에 해당하는 C와 일광 및 자외영역을 포함하는  $D_{65}$ 를 사용하며, 보조광으로서  $D_{50}$ ,  $D_{55}$ ,  $D_{75}$ , B를 사용하고 있다.

물체색은 일반적으로 반사색과 투과색으로서 구분할 수 있다. 본 연구에서 대상이 되는 유리의 경우는 투과색을 기준으로 한다. 유리의 색에 대한 측정은 일반적으로 표준광 A, C 또는  $D_{65}$ 를 사용하는데, 규격을 사용하는 회사마다 그 기준은 서로 다르지만, 주로 C와  $D_{65}$ 를 선택하고 있다.<sup>6,7)</sup>

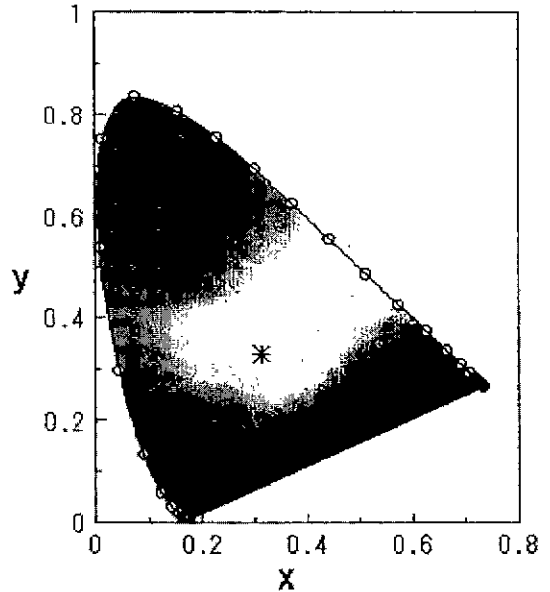


Fig. 1. (x,y)-chromaticity diagram and hue.

CIE와 KS 0061에 따르면, 색도 좌표의 x, y에 의한 색의 표현 방법 외에, 주파장과 순도에 의한 방법도 있다. 주파장이란 특정 무채색 자극과 임의의 단색광 자극이 적당한 비율의 가법 혼합에 의해 시료색 자극과 등색이 되는 단색광 자극의 파장이며,  $\lambda_d$ 로 표시된다. 순도는 특정 무채색 자극과 임의의 단색광 자극(또는 순자주 궤적 위의 색자극)을 가법 혼합하여 시료색 자극과 등색이 될 때, 그 혼합비율을 나타내는 값이다. 이 두가지 값이 있으면 시료색의 자극의 색도를 나타낼 수 있게 된다.<sup>1)</sup> 이를 그림으로 설명하면 매우 쉽게 이해할 수 있으며, 이를 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에서 x, y 색도 좌표상의 N점은 무채색의 색도 좌표로, A, C, 또는  $D_{65}$  등과 같은 CIE 표준광원(standard illuminant)으로 규정되는 색도 좌표이다. 이는 물체색의 관측에 사용한 표준광의 색도 좌표를 나타낸다. Fig. 2의 경우는 광원 C에 대한 색도 그림 이다. 각각의 표준광원에 대한 색도 좌표 값을 Table 1에 나타냈다.

Fig. 2에 나타낸 바와 같이 점  $S_1(x_0, y_0)$ 는 주어진 색의 색도 좌표 값을 나타낸다. 점  $S_1$ 과 점 N을 연결한 연장선이 단색광 궤적(spectrum locus)의 색도 좌표와 만나는 단색광 자극(monochromatic stimulus; 점  $\lambda_j$ )에 해당하는 파장이 주파장이다.

주파장을 갖지 못하는 색(점  $S_2$ )에 대하여 주어진 자극과 단색 자극의 혼합으로써 특정 무채색을 대응시키는 것이 가능하며, 이 파장을 보색주파장(complementary wavelength)라 한다. 이것은 Fig. 2의  $-\lambda_d$  또는  $\lambda_c$ 로 표시된 점이다.

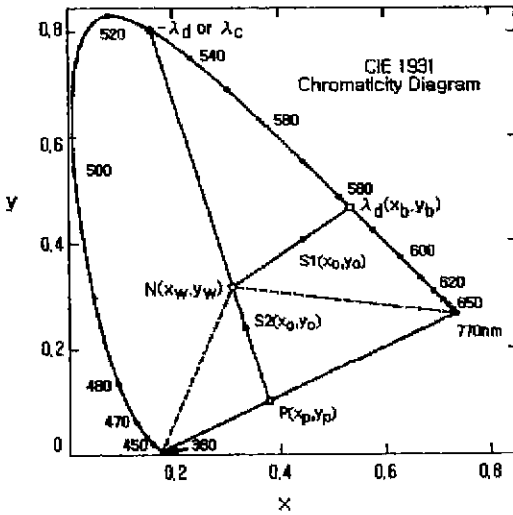


Fig. 2. CIE 1931 (x, y)-chromaticity diagram showing the dominant wavelength  $\lambda_d$  ( $x_b, y_b$ ) of a color stimulus  $S_1$  with a chromaticity point  $S_1(x_0, y_0)$  and the complementary wavelength  $\lambda_c$  of a color stimulus  $S_2$  with a chromaticity point  $S_2(x_0, y_0)$ .<sup>6,7)</sup>

Table 1. Chromaticity Coordinates of Standard Source A, C and D<sub>65</sub><sup>3)</sup>

Type of Standard Source	XYZ Chromaticity	X <sub>10</sub> Y <sub>10</sub> Z <sub>10</sub> Chromaticity
A	x = 0.4476 y = 0.4074	x = 0.4512 y = 0.4059
C	x = 0.3101 y = 0.3162	x = 0.3104 y = 0.3191
D <sub>65</sub>	x = 0.3127 y = 0.3290	x = 0.3138 y = 0.3310

다음 식 (2)는 자극 순도를 구하기 위한 식이다.

$$P_c = \frac{x_0 - x_w}{x_b - x_w} \text{ or } P_c = \frac{y_0 - y_w}{y_b - y_w} \quad (2)$$

2.2. 계산방법

주파장의 이해와 순도의 계산은 2.1절의 Fig. 2에서 설명하였듯이 원리는 간단해 보이지만, 실제 주파장에 해당하는 정확한 단색광 궤적의 좌표를 계산해내는 것은 생각외로 쉬운 작업이 아니며, 이러한 작업을 쉽고, 정확히 하는 것이 본 연구의 목적이다.

계산방법의 기술에 앞서 상기하여야 할 것은 색도 좌표도는 기본적으로 단색광 자극치의 (x, y) 좌표로 이루어져 있으며, 해당 파장에 대한 단색광 자극치는 1 nm 단위로 상세히 제공된다는 점이다.<sup>3)</sup> 그러나 1 nm 사이의 보다 세부적인 data는 어느 참고 서적에서도 구할 수 없

기 때문에 자와 색도 좌표도의 확대도 만으로는 정확한 계산이 어렵게 되는 것이다.

주파장 와 순도를 계산하기 위한 기본적 개념은 다음과 같다.

1) 제공되는 파장과 단색광 자극치의 data base에서 측정된 색도 좌표에 해당하는 가장 근접한 단색광 자극치 값을 찾는다.

2) 측정된 색도 좌표에 해당하는 파장값을 결정하기 위하여 찾아진 단색광 자극치와 인접 자극치간의 비례값을 구한다.

이와 같은 개념을 구체화 시키면 다음과 같다.

제공되는 파장과 단색광 자극치의 data base에서 측정된 색도 좌표에 해당하는 가장 근접한 단색광 자극치 값을 찾기 위해 선택한 방법은 측정된 색도좌표와 무채색 자극치 간의 기울기와 주파장에 해당하는 단색광 자극치의 색도좌표와 무채색 자극치(Fig. 2의 점 N)가 만드는 직선의 기울기를 비교하는 것이다. Table 2와 같이 단색광 자극치와 무채색 자극치간의 기울기 data를 만들어 비교함으로써 쉽게 찾을 수 있다.

그러나 무채색 자극치 x 값보다 측정된 색도좌표 값의 x 값이 큰 경우와 작은 경우, 동일한 경우에 대하여 구분 지어야 하는데, 이는 x 값을 기준으로 동일한 기울기에 두개의 주파장이 나오는 경우가 생기기 때문이다. 이러한 관계로 인하여 Table 2의 data base는  $x > x_w$ 와 반대의 경우, 2부분으로 나누어 주어야 한다.

Fig. 3은 Fig. 2를 단순화 시켜 주파장을 계산의 이해에 도움을 주고자 하였다. 그림에서도 볼 수 있듯이 측정된 색도좌표(S<sub>1</sub>)가 포함된 직선(I<sub>S</sub>)은 단색광 궤적상의 임의의 두 색도 좌표(λ<sub>A</sub>, λ<sub>A-1</sub>)와 무채색 자극치(N)가 만드는 두 직선들(I<sub>A</sub>, I<sub>A-1</sub>) 사이에 놓이게 된다.

단색광 궤적상의 두 점이 만드는 직선(I<sub>A</sub>)과 측정된 색도 좌표가 포함된 직선(I<sub>S</sub>)의 이원 일차 연립방정식이 얻어지면, 두 직선간이 교점의 좌표(Fig. 3의 점 λ<sub>0</sub>)를 구하고 단색광 궤적상에서 얻어진 인접한 두 점 사이의 거리에 대하여 교점과 한 점간의 거리를 구하여 비례 값을 계산한다. 단색광 궤적상의 좌표들은 1 mm 단위로 만들어지기 때문에 측정값보다 긴 파장쪽에서 비례 값만큼 빼주면 주파장이 얻어진다.

위에서 언급한 내용을 간단한 식으로 표현을 하면 다음과 같으며, I<sub>S</sub>에 해당하는 직선의 방정식은 식 (3)에 나타냈다.

$$y = m(x - x_0) - y_0 \quad (3)$$

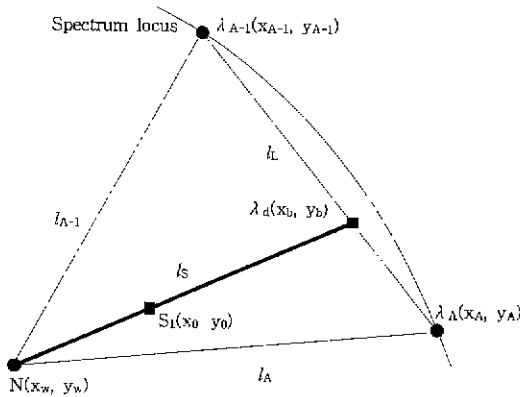
여기서,  $m = \frac{y_0 - y_w}{x_0 - x_w}$

S<sub>1</sub>(x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>): 측정된 3자극치

N(x<sub>w</sub>, y<sub>w</sub>): 무채색 좌표

**Table 2.** A part of Data Base of Tristimulus Values, Slope between Achromatic Stimulus and Monochromatic Stimulus and so on.

Slope between Achromatic Stimulus and Monochromatic Stimulus	Mono-chromatic Stimulus Wavelength	x	y	Slope between Two neighboring Monochromatic Stimuli on Spectrum Locus	Distance between Two Neighboring Monochromatic Stimuli on Spectrum Locus
:	:	:	:	.	:
-275.753	551	0.30876	0.68571	-0.9218	0.0097378
-44.248	550	0.30160	0.69231	-0.9132	0.0096831
-24.449	549	0.29445	0.69884	-0.9050	0.0096569
-17.059	548	0.28729	0.70532	-0.8939	0.0096034
-13.197	547	0.28013	0.71172	-0.8842	0.0095710
.	:	:	.	.	:



**Fig. 3.** Schematic diagram for calculating dominant wavelength  $l_S$ : eq.(3) and  $l_L$ : Eq.(4).

$l_S$ ,  $l_A$ ,  $l_{A-1}$  간의 기울기 값의 비교에 의해 얻어진 두 개의 인접 단색광 자극치중 기울기의 절대값이 작은 쪽을  $\lambda_A(x_A, y_A)$ . 그 절대값이 큰 쪽(단색광 파장이 1 nm 작은 쪽)을  $\lambda_{A-1}(x_{A-1}, y_{A-1})$ 라 하면 직선  $l_L$ 은 식 (4)와 같은 직선의 방정식이 얻어진다.

$$y = \frac{y_A - y_{A-1}}{x_A - x_{A-1}}(x - x_A) - y_A \quad (4)$$

식 (3)과 (4)의 연립방정식을 풀면 교점  $\lambda_d(x_b, y_b)$ 가 얻어지며, 주파장  $\lambda_d$ 는 식 (5)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$\lambda_d = \lambda_d - R \quad (5)$$

$$\text{여기서, } R = \frac{\sqrt{(x_b - x_A)^2 + (y_b - y_A)^2}}{\sqrt{(x_A - x_{A-1})^2 + (y_A - y_{A-1})^2}}$$

한편 위 과정에서 얻어진 교점의 좌표로부터 식 (2)를 사용하여 순도값을 계산한다.

보색 주파장도 식 (5)를 사용하면 되지만, 표현에 있어서  $-\lambda_d$  또는  $\lambda_c$ 로 하여 주파장과 구분한다. 순도는 식 (2)을 이용하여 계산을 하는데, 주파장과 보색 주파장에 대하여 계산하는 방법이 각기 다르다. 주파장의 경우 식 (2)를 바로 사용하면 되고, 보색 주파장의 경우 380 nm 와 780 nm에서의 좌표간의 직선과 식 (3)의 직선간의 교점인  $P(x_b, y_b)$ 를 식 (2)의  $\lambda_d(x_b, y_b)$  대신 사용하여 계산을 한다.

본 제안 방법은 Fig. 3에서도 볼 수 있듯이 단색광 궤적이 일부 구간(500 nm 근방)에서  $l_L$  직선과 미세한 차이가 날 것으로 판단되지만, 단색광 자극치의 값을 1 nm 간격으로 좁게 한 경우, 그 오차는 크지 않을 것으로 예상되었다.

### 3. 실 험

UV-Spectrophotometer(Shimadzu UV 3100 PC)를 이용하여 측정된 유리의 3자극치로부터 제안된 방법에 따라 주파장과 순도를 계산하여 보았고, 또한 실제 공장이 나 연구소등에서 시행되고 있는 자 또는 버니어캘리퍼스 와 확대된 색좌표도를 이용하는 방법을 5명에게 시행토록 하여 얻어진 값과 비교를 행하였다

측정에 선택된 유리는 국내외에서 가장 많이 생산되고 있는 대표적인 4가지 유리 종류를 선택하였다. 이와 같은 유리를 선택한 이유는 standard reference material 목록(SRM, National Institute of Standards and Technology service program)에 표준 색유리가 아직 포함되어 있지 않아 기준 물질을 구할 수 없었기 때문이고, 또한 본 연구의 목적이 이미 측정하여 얻어진, 3자극치 값으로부터 정확한 주파장과 순도값을 계산하는 것이기 때문에 특별히 SRM을 필요로 하지는 않았다.

4. 결과 및 고찰

Table 3은 유리 용기로 사용되는 4종류의 색유리의 측정된 3자극치의 x, y 및 제인된 방법을 적용하여 계산된 주파장과 순도를 나타냈다(표준광 C. 측정두께 10 mm) 각각의 유리는 갈색, 무색, 녹색, 황녹색 유리에 대한 것이다.

Table 3. Tristimulus Values, x, y, λ<sub>d</sub> and Pe of Various Glasses

	Amber	Flint	Emerald Green	Yellow Green
X	5.5059	82.2471	19.1072	56.0654
Y	3.9289	84.2700	31.1486	62.6463
Z	0.0179	96.9827	10.6445	66.0418
x	0.5825	0.3121	0.3137	0.3035
y	0.4156	0.3198	0.5117	0.3391
λ <sub>d</sub>	591.43	570.03	552.13	532.08
Pe	99.65	1.52	53.94	4.77

갈색 유리의 경우 측정된 3자극치의(x,y) 값은 (0.5825, 0.4156)이다. 표준광원 C의 무채색 좌표는 (0.3101, 0.3162)이므로 측정치와 무채색 좌표간의 기울기는 0.3649 이므로, 아래 Table 4에 나타낸 바와 같이 주파장이 591과 592 nm에 해당하는 기울기 사이에 측정치로부터 구한 기울기가 놓인다.

Table 4의 data를 이용하여 3절의 식 (5)을 이용하여 계산한 것이 Table 3의 주파장과 순도의 결과로, 기존의 자와 확대된 색도 그림을 이용한 방법에 비하여 매우 정확한 결과를 얻을 수 있다. Table 3의 나머지 유리의 경우도 마찬가지로의 방법으로 계산된 것이다.

한편 Table 5는 실제 공장이나 연구소에서 행하는 방법인 자와 확대된 색도 좌표도(Fig. 2)를 이용하여 얻어진 분석 결과로, 5명의 분석자가 Table 3의 4가지 시료에 대하여 분석한 것이다. Table 3과 비교하여 보면 제인된 방법에 의한 계산치와 비슷한 결과를 얻는 것처럼 보이지만, 각각의 유리 시료에 대하여 자세히 보면 측정자마다 유리의 주파장과 순도의 계산치가 상당히 차이가 나고 있다. 특히 무색과 황녹색 유리의 경우 주파장에 대한 개인적 편차가 매우 크고, 갈색 유리와 녹색유리는

Table 4. Data for Calculating λ<sub>d</sub> and Pe of Amber Glass

Slope between Achromatic Stimulus and Monochromatic Stimulus	Mono-chromatic Stimulus Wavelength	x	y	Slope between Two neighboring Monochromatic Stimuli on Spectrum Locus	Distance between Two Neighboring Monochromatic Stimuli on Spectrum Locus
:	:	:	:	:	:
0.34916	592	0.58665	0.41276	-0.9982	0.00807
0.37757	591	0.58094	0.41846	-0.9965	0.00817
0.40758	590	0.57515	0.42423	-0.9966	0.00831
:	:	:	:	:	:

Table 5. Dominant Wavelength and Excitation Purity Obtained by Using Ruler and Magnified Chromaticity Diagram

	Amber		Flint		Emerald Green		Yellow Green	
	λ <sub>d</sub>	Pe	λ <sub>d</sub>	Pe	λ <sub>d</sub>	Pe	λ <sub>d</sub>	Pe
#1	592.28	99.08	577.67	3.07	552.00	54.45	545.89	5.75
#2	591.00	100.00	569.00	1.06	552.00	51.51	521.00	2.97
#3	591.00	99.53	576.00	2.87	552.00	53.40	541.00	5.63
#4	591.50	100.00	576.00	2.96	552.00	52.70	553.00	5.00
#5	592.50	98.30	587.40	2.68	552.40	53.40	543.50	5.23
Average	591.66	99.38	577.21	2.53	552.08	53.09	540.88	4.92
Std. Deviatton	0.7048	0.7155	6.6026	0.8334	0.1789	1.0829	11.9801	1.1289

제안된 방법에 의한 계산치와 다소의 차이를 나타내고 있다.

무색과 황녹색 유리의 공통점은 표준 광원의 좌표와 두 시료가 갖는 좌표가 근접하여 존재한다는 것이다 즉 순도가 영에 가까울수록(무색에 가까울수록) 색도 분석시 자와 확대된 색좌표도로는 분석 오차가 매우 큼을 알 수 있다. 녹색유리의 경우도 제안된 방법에 의한 계산에서 얻은 주파장 값은 거의 일치하지만, 순도에 있어서 2% point 정도 까지 차이를 나타내고 있다.

이와 같은 자와 확대된 색도좌표도에 의해 얻어지는 분석의 오차는 실제 공장에서 사용할 수 없을 정도의 큰 오차이며, 이 오차는 유리의 생산시 경제적 손실이 발생하거나, 제품 출하후의 품질 보증면에서 매우 위험한 정도이다.

Appendix에는 이와 같은 단순한 작업을 쉽게 행할 수 있도록 전산화 시키는 방법에 대하여 기술하였으며, Appendix A는 전체 계산 방법에 대한 흐름도를, B는 PC용 응용프로그램을 사용한 실제적인 방법이다.

## 5. 결 론

본 연구는 유리 제품 색조 분석시 일반적으로 사용되는 주파장과 순도에 계산에 있어서 정확한 결과를 얻을 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

측정한 색도 좌표값이 무채색 자극치와 만드는 직선의 기울기는 단색광 자극치와 무채색 자극치가 나타내는 직

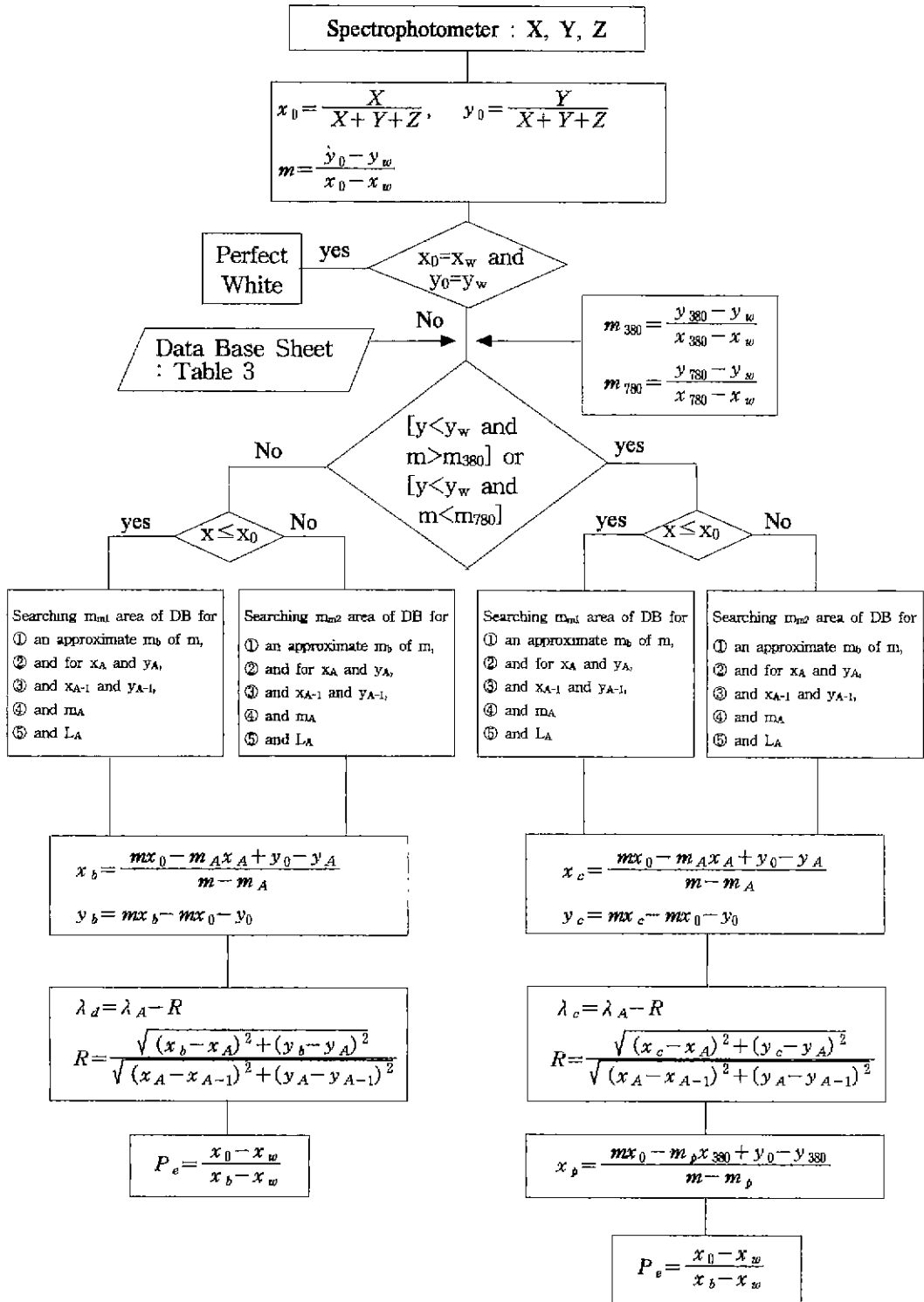
선의 기울기와 1:1 대응한다는 상관관계를 이용하여 주파장 및 순도의 계산방법을 찾았다.

기존에 계산에 사용해 왔던 자와 확대된 색도 좌표도에 의한 방법과 비교하였을 때, 순도가 낮은 유리(무색과 황녹색)에 있어서는 측정자 개인별 분석 결과의 차가 매우 컸다. 제안된 방법에 의한 계산치의 경우 항상 일정하고 정확한 결과를 얻을 수 있었기 때문에, 기존 방법에 비하여 오차 범위가 줄어든 개선된 방법으로 판단된다.

## REFERENCES

1. KS A 0061-Specification of colors according the CIE 1931 standard colorimetric system and the CIE 1964 supplementary standard colorimetric system (1983).
2. KS A 0064 Glossary of colour terms (1989).
3. JIS Z 8701 Colour specification-the CIE 1931 standard colorimetric system and the CIE 1964 supplementary standard colorimetric system (1995).
4. KS A 0067 Color specification CIE LAB and CIE LUV color spaces (1996).
5. ASTM E308-85 Computing the colors of objects by using the CIE system.
6. Gunter Wyszecki. Color science : Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. pp 175-176, 487, 143-145, Wiley, New York, 1982.
7. D.L. MacAdam, Color Measurement-Theme and Variations, pp. 29-31, Springer-Verlag, New York, 1981.

Appendix A  
Flow chart of Calculating  $\lambda_d$ ,  $\lambda_c$  and  $P_e$



Appendix B

- The example of spread sheet

3절의 내용을 실제 spread sheet에 요약하면 Table 2 를 확장한 형태가 된다 Table 6의 A~D column까지는 Table 2와 유사하다. 위에 기술한 각각의 식들을 일련의 계산이 자동적으로 이루어지도록 하였다.

Table 3의 각각의 cell은 다음과 같이 설정한다. 우선 계산을 위해 주파장과 단색광 자극치 및 무채색 자극치와 단색광이 이루는 기울기를 포함하는 data base table과 무채색 자극치( $x_w, y_w$ )를 일정한 cell에 넣는다 (A4~F\*\*와 G2와 H2). E열은 식 (4)에서 나타난 두개의 인접한 파장의 두 단색광 자극치간의 기울기( $m_A$ )이며, F 열은 두 단색광 자극치간의 거리( $L_A$ )이다.

A1, A2, A3는 spectrophotometer나 colorimeter에서 측정된 3자극치이다 B1과 B2는 각각 식 (1)부터 얻어진다.

D1은 식 (3)에서 얻어진다. G1과 H1의 채위질 ( $x_b, y_b$ ) 값은 식 (3)과 (4)의 연립방정식으로 계산되며, 이에 필요한 값들인  $x_A, y_A, m_A$ 는 A4~F\*\*과 A201~F\*\* 영역의 data base table에서 찾아져 각각 E1, F1 and E2에 표시된다.

찾는 방법은 상용화된 spread sheet의 VLOOKUP 함수

를 사용한다: =VLOOKUP (D1, A4:F\*\*, 3), =LOOKUP(D1, A4:F\*\*, 4) and =VLOOKUP(D1, A4:F\*\*, 5). 여기서 주의해야 할 것은  $x_w$  값을 기준으로  $x_0$ 가  $x_w$ 보다 작은 쪽과 큰 쪽에서 동일한 기울기를 가질 수 있기 때문에 IF function을 이용하여 찾는 영역을  $m_{m1}$ 과  $m_{m2}$ 의 영역으로 구분 지어야 한다; 예, =IF(B1<G2, VLOOKUP (D1,A4 F\*\*, 3), VLOOKUP(D1, A201:F\*\*, 3)).

식 (3)과 (4)의 연립방정식에 의해 얻어진( $x_b, y_b$ ) 좌표

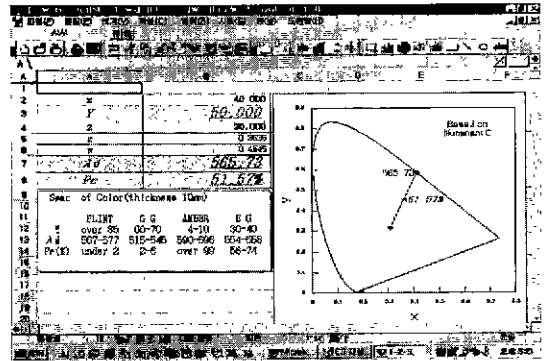


Fig. 4. The example of Lotus 123™ work sheet.

Table 6. The Example of Spread Sheet

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X	$x_0$	$\lambda_d$	m	$x_A$	$y_A$	$x_b$	$y_b$
2	Y	$y_0$	Pe	$\lambda_A$	$m_A$	$L_A$	$x_w$	$y_w$
3	Z							
4	$m_{m1}$ list	Mono-chromatic Stimulus Wavelength ( $\lambda_A$ )	$x_A$ list	$y_A$ list	$m_A$ list	$L_A$ list	} $m_{m1}$ Area	
5	Data	Data	Data	Data	Data	Data		
6	Data	Data	Data	Data	Data	Data		
	.	:	:	:	:	:		
200	$m_{m2}$ list	Mono-chromatic Stimulus Wavelength ( $\lambda_A$ )	$x_A$ list	$y_A$ list	$m_A$ list	$L_A$ list	} $m_{m2}$ Area	
201	Data	Data	Data	Data	Data	Data		
202	Data	Data	Data	Data	Data	Data		
	.	:	:	:	:	:		
401	Data	Data	Data	Data	Data	Data		
402	.	:	:	:	:	:		

$$m_A = \frac{y_A - y_{A-1}}{x_A - x_{A-1}}, L_A = \sqrt{(x_A - x_{A-1})^2 - (y_A - y_{A-1})^2}$$



값은 주파장과 순도를 식 (5)과 식 (2)에 의해 계산할 수 있으며, 이는 C1 and C2에 표시된다.

또한 보색 주파장을 구하는 방법도 이와 유사하며, 조건식을 약간 변경함으로써 해결할 수 있다.

Lotus 123™를 이용한 실제 예를 Fig. 4에 나타냈다. 이 그림에서 나타낸 것처럼 sheet 외에도 chart로도 표시가 가능하기 때문에 시각적 효과를 내는 것도 의미가 있다.