

〈研究論文(學術)〉

명도 수준에 따른 목표 샘플의 색차

김정렬 · 이승준 · ¹김삼수

영남대학교 섬유패션학부

Color Differences of Standard Samples according to Their Lightness Levels

Jeong Ryeol Kim, Seung Jun Lee and ¹Sam Soo Kim

School of Textiles, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

(Received January 19, 2005/Accepted February 17, 2005)

Abstract— A colour-difference formulae would be based on a colour appearance model, but, So far, most colour-difference formulae in common use are based on empirical fits to data. Therefore, of the many proposed, none are completely satisfactory but advances have been made in recent years.

A new color-difference data set has been produced with the aims of making a comparison of the advanced CIE Lab formulae as well as confirming the effect of color-difference. 416 low lightness pairs that have only lightness-difference were produced for evaluation of CIE Lab-based formulae on lightness-difference from glossy polyester fabric.

The standard color-difference pair was prepared and used. It was neutral grey sample pair that has only lightness difference. The standard pair was used to investigate lightness tolerances. And grey-scale method used to evaluate visual assessment. CIE Lab coordinates of the samples were measured using a X-Rite 8200 spectrophotometer. Visual assessments were carried out using Gretag Macbeth The Judge II Light Booth.

A study of color tolerances at low lightness was carried out and get available some results.

Keywords : *lightness, color-difference, grey-scale, CIE Lab, visual assessment*

1. 서 론

색차판 2개의 색물체를 비교하여 볼 때 눈으로 느끼는 색 차이의 크기를 말한다. 색의 차이는 색을 판정하는 사람의 주관에 의해 정해지기 때문에 판정자가 느끼는 그대로를 다른 사람에게 전달한다는 것은 거의 불가능하다. 판정자는 ‘조금 어둡다’, ‘조금 붉다’, ‘차이가 크다’라는 식의 느낌밖에 표현할 수가 없다.¹⁾ 이러한 모호함을 없애기 위해 색을 일정한 수치로 나타내고 그 수치들을 이용한 관계식을 이끌어 낸 것이 색차식이다.

지금까지 수많은 색차식이 연구되고 있지만, 충분

히 만족할 만한 단계는 이르지 못한 상태이다. 현재 섬유염색산업에서는 CMC 색차식이 많이 사용되고 있으며 CIELab 색차식, LCh색차식, Hunter Lab 색차식, CIE LUV 색차식, FMC 색차식, CIE 94 색차식, CIEDE 2000 색차식, LCD 색차식 등과 같은 여러 색차식들이 있다.²⁾⁹⁾ 색차식 (Color-difference formula)을 사용하는 주된 목적은 관측자(또는 배색자)가 시각적으로 지각하는 색차와 기기 측정 후 색차식으로 계산한 색차간의 가능한 높은 상관관계를 얻기 위함이다. 국내외적으로 가장 많이 이용되고 있는 것이 CIELab 색공간에서 ΔL^* , Δa^* , Δb^* 또는 ΔL^* , ΔC^* , ΔH^* 를 이용하여 색차 ΔE 를 구하는 방법이다.¹⁰⁾ 1976년 국제조명위원회(CIE : the Commission Internationale de l'Eclairage)는 CIELab 색차식을 표준색차식으로 제안하였으나 이후 연구된 많은 시관측 평가 결과 CIE Lab

Corresponding author. Tel. : +82-53-810-2784; Fax: +2-53-810-4684 ; e-mail : sskim@yu.ac.kr

색차식은 시판측과는 많은 불일치를 보이는 것이 알려졌다.¹²⁾ 이러한 단점을 보완하기 위하여 CIE Lab 색차식을 수정하여 좀 더 일치도가 높은 색차식을 찾으려는 연구가 다양하게 이루어졌다. 대표적인 수정 색차식으로는 CMC, BRD, CIE 94, LCD식 및 최근 국내에서 제안된 CIEDE 2000 식이 있는데, 모두 색공간을 기반으로 하고 있으며 여러 면에서 많은 유사점을 가지고 있다.¹³⁾ 이미 국내외적으로 CCM 보급이 활발하게 이루어지고 있어 컬러에 관한 체계적인 분석 및 정확한 컬러매칭 기기이용 등이 보편화되면서, 염색 업체 사용자들은 컬러 수치화를 통한 색차식의 문제점을 제시하기 시작하였다.¹⁴⁾ 그 중 가장 큰 문제는 명도가 매우 낮은 컬러인 dark color 염색물의 경우 허용 범위가 실제 시각평가 한 결과와 다소 차이가 있다.¹⁵⁾

본 연구에서는 색의 3속성 중 명도수준에 따른 색차 허용범위에 관한 내용을 중점적으로 다루고, 각 색차식의 성능을 평가하기 위해 시각관정과 기기관정 값 사이의 일치정도를 확인 하고자 한다.

2. 실험

2.1. 시약 및 실험 기구

2.1.1. 시료

실험에 사용한 시료는 국내에서 가장 많이 생산되고 있는 polyester 직물을 선정하였다. 광택이 있고, 시료의 뒷면이 비치지 않을 정도의 두께이며, 정련 표백과정을 거친 백포를 사용하였다.

2.1.2. 염료 및 시약

염료는 국내 'O'사의 분산염료 3종을 이용하였고 그 외 시약은 시판 1급 및 특급품을 그대로 사용하였다. 분산제로는 Disperse SY-992(Samyong Chemical Co., LTD.)를 사용하였다.

2.1.3. 염색기

실험용 직물의 염색은 고온고압염색기 (K.S.-Winner 24 (Perfect))를 사용하였으며, 적외선 가열방식이고, 공냉식 염색기이다.

2.1.4. 건조기

염색후 처방 수정을 위해 빠른 시간내 측색하기 위해 건조기(Drying Oven, HB-502L, Hanbeak Co., Korea)를 사용하였다. 수세후 건조는 40℃에서 실시하였다.

2.1.5. 시각관정과 기기관정

피염물의 겉보기 농도를 측정하기 위해서 CCM-(X-Rite 8200, X-Rite Co., U. S .A) 기기를 사용하여 측색

하였다. 그리고 측색기로 측정한 샘플과 실제 사람의 눈으로 측정한 값의 비교를 위하여 광원을 조절할 수 있는 라이트박스 (Lightbooth Judge 2, Macbeth, U.S.A.)를 사용하여 D65 광원에서 측정하였다

2.2 실험방법

2.2.1. 기초데이터용 샘플 제작

기초데이터는 컬러매칭 계산을 하기 위하여 각 염료의 단색 농도별로 색상데이터를 컴퓨터에 인식시키는 과정이다. 우선 염료만 제외한 blank 시료를 제작후 각 염료별 농도를 2, 1, 0.5, 0.25, 0.1, 0.05 %로 하여 샘플을 만든다. 이 때 오차를 최소화하기 위해 2%의 염액을 희석시키는 방법으로 6가지의 염액을 준비한다. 컴퓨터 컬러매칭 계산을 하기 위해서는 염료에 대한 데이터를 사전에 미리 입력해두어야 하며, 이 염료에 대한 데이터는 염료가 바뀌지 않는 한 공정이나 소재 등의 변화가 없는 한 장기간 사용되므로 매우 신중하게 다루어져야 한다. 그리고 염료의 기초데이터를 만들기 위해 일정한 농도로 염색을 해야 하는데, 염색에 사용되는 포(blank)는 변질되지 않도록 철저히 보관하여야 한다.

다음으로 체크해야 하는 것이 염색 재현성이다. 동일한 처방으로 염색을 하였을 때 동일한 염색의 결과가 나오면 좋으나 재현성이 없는 경우 동일한 색상을 얻을 수 없다. 이러한 원인은 염료의 상용성이나 용수의 문제가 대부분인데 이를 세밀히 분석해서 대처하면 실험실에서 뿐만 아니라 생산현장의 재현성까지 개선되는 경우가 많다. 염료의 상용성이 극히 나쁜 경우에는 아무리 좋은 조건에서 염색을 하더라도 염색시간, 염색조제, 용수 등의 미미한 변화에도 민감하므로 좋은 결과를 얻을 수 없다. 특히 용수가 해결되면 염색전체의 문제가 해결될 수 있다는 말이 나올 정도로 중요한 문제이기도 하다. 재현성이 확인된 후 기초데이터용 염색을 실시하게 되면 좋은 결과가 나올 수 있다.

2.2.2. 염료 처방

목표로 하는 저명도 영역의 샘플을 제작하기 위해 N.C.S.(Natural Color System) 앨범에서 측색한 데이터들 중 24개를 선정하여 염료 처방을 하였다. N.C.S.는 시대에 따라 유행색이 변하는 Trend Color가 아닌 보편적인 자연색을 기본으로 한 것이다. 이 색표집을 기준으로 하여 1,950개의 샘플 중 저명도 영역의 샘플을 목표 색상으로 정하였다. 염료의 처방은 Colorist Top 프로그램을 이용하여 산출하였다

2.2.3. 그레이스케일 제작

염색한 샘플들의 시각판정시 기준을 정하기 위해 그레이 스케일을 제작 하였다. KS K0911 법에 의하여 9등급으로 나누어진 색차쌍을 제작하였다.

2.2.4. 시각판정용 샘플제작

시각 판정시 샘플의 크기, 샘플사이 간격 등의 조건에 따라 다른 값이 나올 수 있기 때문에, 크기는 5.0×6.5cm(가로×세로)로 정하고 샘플 쌍의 사이 간격은 빈틈이 보이지 않을 만큼 밀착시켰다.

2.2.5. 표준 색차쌍 샘플 제작

그레이 스케일은 단지 명도의 차이만을 가지는 neutral gray sample pair이기 때문에 색의 3요소를 모두 반영하는 표준 색차쌍이 필요하다. L*, a*, b* 값이 모두 같은 비율로 색차가 나도록 하여 색차값이 1인 샘플쌍을 제작하였다.

2.2.6. K/S 값 측정

피염물의 겉보기 염착량 측정은 Computer Color Matching (X-Rite 8200, X-Rite사, U.S.A.)을 사용하여 각 시료의 최대 흡수파장에서의 반사율을 측정한 후, 다음의 Kubelka-Munk 식에 의해 K/S 값으로 평가하였다.

$$K/S = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

where, K : The coefficient of absorption of coloring matter at λ_{max}

S : The coefficient of scattering at λ_{max}

R : The reflected light at λ_{max}

3. 결과 및 고찰

3.1. 기초데이터용 3 가지 염료의 상용성

컬러매칭을 정확하게 하기 위해서는 컬러매칭에 사용되는 염료의 데이터베이스가 정확해야 한다. 염료의 데이터베이스란 염료의 광학적인 성질을 분석하여 컬러매칭할 경우, 사용되는 농도에 관한 데이터로서 이것의 정확도가 컬러매칭의 정확도를 좌우하게 된다. 염료 데이터베이스를 작성하기 위해서는 한가지의 염료에 대한 농도를 달리하여 염색을 하게 되는데 이를 염료의 기초데이터라 한다. Fig. 1~3 은 Suncron Navy Blue 2 GLS, Suncron Red FB 200, Suncron Yellow Brown 염료의 농도별 K/S 값을 나타낸 것이다. 기초 데이터의 상용성이 떨어진다면 컬러매칭의 정확도는 아주 떨어지는데, 실험에 사용한 염료는 직선에 가까운 높은 상관성을 나타내고 있는

것으로 보아 상용성이 높기 때문에 컬러 매칭시 정확도가 우수할 것으로 기대된다.

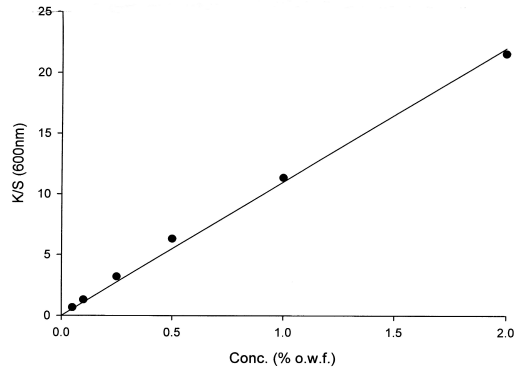


Fig. 1. Base data of polyester dyed with Suncron Navy Blue 2GLS at different dye concentration.

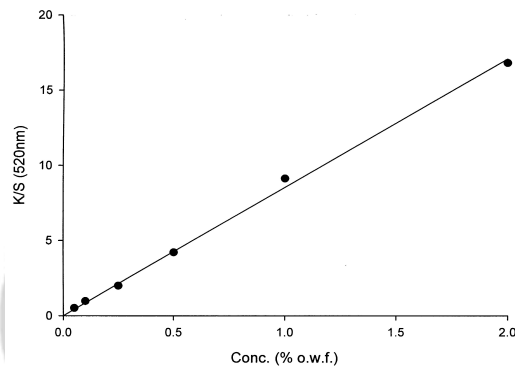


Fig. 2. Base data of polyester dyed with Suncron Red FB 200 at different dye concentration.

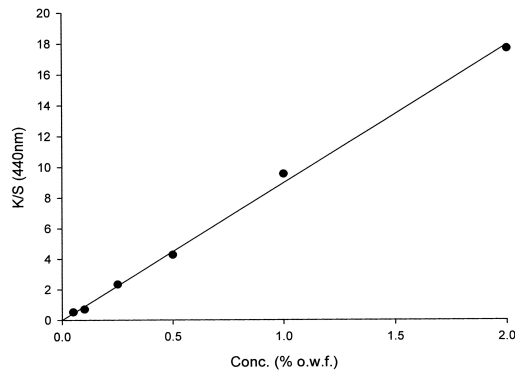


Fig. 3. Base data polyester dyed with of Suncron Yellow Brown at different dye concentration.

3.2. 염료의 농도에 따른 L^* , a^* , b^*

Fig. 4 는 Suncron Navy Blue 2GLS 염료의 염료농도에 따른 L^* , a^* , b^* 값의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 명도 값을 나타내는 L^* 값과 Yellow-Blue 축을 나타내는 b^* 값은 염료 농도가 증가함에 따라 감소하였으며, Red-Green 축을 나타내는 a^* 는 농도변화에 따라 큰 변화가 없었다. 따라서 명도 L^* 값과 Yellow-Blue 축을 나타내는 b^* 값은 Blue 계열의 염료 농도 조절로 변화가 가능함을 알 수 있다.

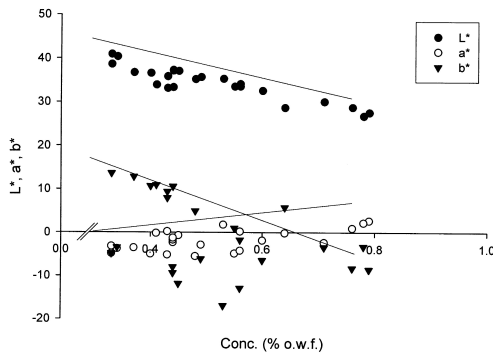


Fig. 4. Relation of Suncron Navy Blue 2GLS dye and L^* , a^* , b^* according to dye concentration.

Fig. 5 는 Suncron Red FB 200 염료의 염료 농도에 따른 L^* , a^* , b^* 값의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 명도 값을 나타내는 L^* 값은 염료 농도가 증가함에 따라 감소하고, Yellow-Blue 축을 나타내는 b^* 값은 염료 농도가 증가함에 따라 증가하고 있다. 반면에 Red-Green 축을 나타내는 a^* 값의 변화는 염료 농도 변화와 상관성이 떨어진다. 따라서 Yellow-Blue 축을 나타내는 b^* 값을 조절하고자 할 경우 Red 계열의 염료 농도를 변화시키면 가능함을 알 수 있다.

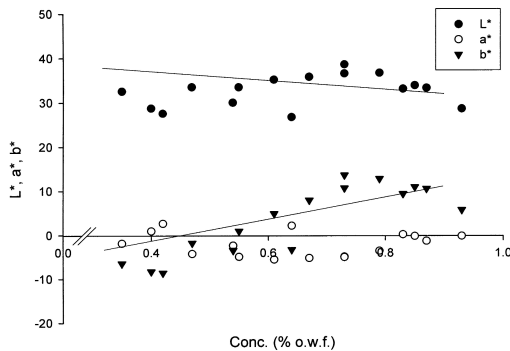


Fig. 5. Relation of Suncron Red FB 200 dye and L^* , a^* , b^* according to dye concentration.

Fig. 6 은 Suncron Yellow Brown 염료의 농도에 따른 L^* , a^* , b^* 값의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 명도 값을 나타내는 L^* 값과 Yellow-Blue 축을 나타내는 b^* 값은 염료 농도가 증가함에 따라 감소하고 있다. 반면에 Red-Green 축을 나타내는 a^* 값은 염료 농도가 증가함에 따라 조금씩 증가하고 있다. 따라서 Yellow-Blue 축을 나타내는 b^* 값을 조절하고자 할 경우 Yellow 계열의 염료 농도를 변화시키면 가능하다.

이렇게 염료의 농도 조절로 원하는 L^* , a^* , b^* 값을 가진 샘플들은 Fig. 7 에 나타나는 바와 같이 명도 범위가 20~50이고, Red-Green 축을 나타내는 a^* 의 범위가 -4~4 이고, Yellow-Brown 축을 나타내는 b^* 의 범위는 -20~20 이다. 이 범위 안에서 a^* 와 b^* 의 색차가 거의 없는 샘플들 중 명도차만 나타나는 샘플들을 대상으로 시각관정을 실시하였다.

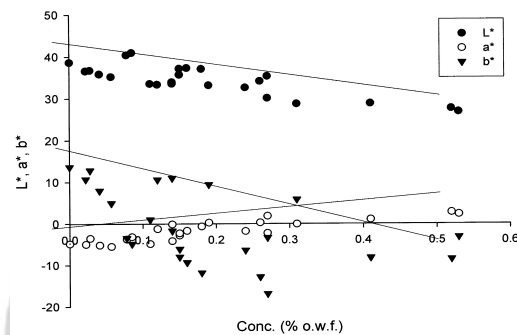


Fig. 6. Relation of Suncron Yellow Brown dye and L^* , a^* , b^* according to dye concentration.

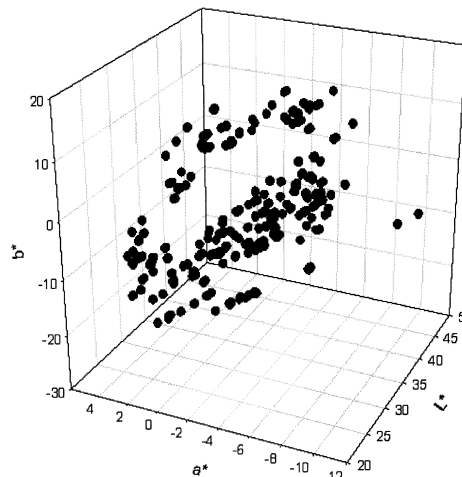


Fig. 7. Location of 416 samples in L^* , a^* , b^* space.

3.3. 광원에 따른 색차 데이터

색상이 눈에 보이기 위해서 반드시 조명이 필요하며 조명의 종류에 따라 색상이 달라 보인다. 예를 들어 두 색상이 햇빛 아래에서는 같은 색으로 보이는데 방안에 들어서면 다른 색으로 보이는 경우가 흔히 발생할 수 있으며, 이와 같이 특정한 조명 아래에서는 같게 보이고 서로 다른 조명아래에서는 서로 다르게 보이는 현상을 조건등색(metamerism)이라 한다.¹⁵⁾

조건등색을 일으키는 요인은 다음과 같은 3가지 요소가 있다. 먼저, 광원의 변화에 따른 조건등색으로 광원의 종류에 따른 변화나 시간에 따른 변화로 인해 물체를 반사하거나, 투과하는 과정에서 자극광선의 변화에 영향을 끼침으로서 색채변화가 일어난다. 광원에 따라 색차가 다르게 보이는 현상이 일어나는 경우는 두 색채의 분광반사율이 일치하지 않음에도 불구하고 어떤 광원 아래서의 삼자극치가 일치하는 것이다. 이러한 색채의 일치에 광원이 바뀌면 따라 다시 다른 색채로 보이게 된다. 이러한 경우 두 색은 특정한 광원이라는 조건 아래에서 등색을 이루는 조건등색이다. 즉 물체의 색은 조명광원의 차이에 따라 여러 가지로 변화하는 면이 있다. 어느 조명광 아래에서 2개의 물체색이 같은 색으로 보인다 해도, 이와 다른 조명광 아래에서 보면 같은 색으로 보이는 경우도 있고, 또 다른 색으로 보이는 경우도 있다.¹⁶⁾

다음으로 물체의 특성에 따른 조건등색이 있는데 형광성을 갖는 색은 광원의 적외선 성분의 변화에 아주 민감하고, 비형광성의 것과 비교하여 채도가 높은 색을 발색시키는 것이 특징이다. 형광성분의 포함여부에 따라 같은 색이라도 다르게 보인다. 형광성을 갖는 색은 주변 환경에 비해 주목성이 크며, 이러한 성질을 이용하여 안전색, 구명재킷, 교통표지, 광고 등에 많이 쓰인다. 표면이 매끄러운 물체의 색은 보는 각도가 아주 조금만 바뀌어도 물체의 반짝거림이 굴곡에 의하여 많이 변하게 된다. 또한 투명감이 있는 색과 금속감이 있는 색 등은 고유의 관측 geometry(광원의 입사각과 관측각)를 정확히 정의해야 한다. 끝으로 관찰자에 변화에 의한 조건등색은 어떤 사람에게는 일치하는 조건등색 쌍이 다른 사람이 관찰했을 때 일치하지 않는 경우에 발생한다. 즉 색을 관찰하는 관찰자 개개인의 체질적, 생리적 감각차나, 색시료의 크기와 눈과의 거리에 따른 시야의 변화 등에 의한 색각차에 따라 색이 다르게 보일 수 있다. 이러한 문제는 산업현장에서 자주 발생하게 되며, 심각한 결과를 초래할 수 있다.¹⁷⁾

따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 측색할 때 광원, 색물체, 관찰자를 일치시킨 상태에서 실시하여야 한다. 어떤 광원하에서 색물체를 관측하는가에 따라 색측정 값은 다르게 나타나기 때문에, Fig. 8 에서 표준광인 D65 광과 다른 3가지 광원과의 명도 값 차이를 비교하였다. 그래프를 통해 확인 할 수 있는 바와 같이 D65 광원하에서 명도 값이 TL84, A, CWF 광원에서 보다 높게 나타남을 알 수 있다 명도 값의 차이가 1 이 넘는 경우도 있기 때문에 색 측정 시 광원을 일치하지 않은 상태에서 실시한다면 다른 색으로 인지할 수 있다. 따라서 어떤 광원하에서 색을 측정하는 가 매우 중요한 요소이기 때문에 광원을 일치시키는 작업은 아주 중요하다.

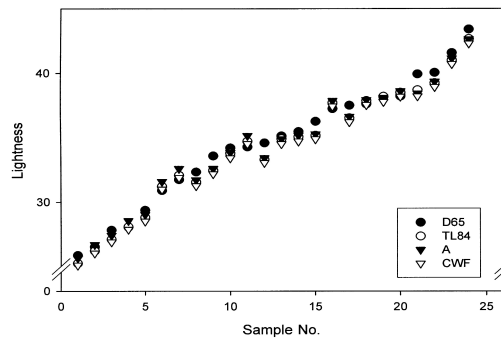


Fig. 8. Lightness difference according to light-source.

3.4. 그레이 스케일법에 의한 시각판정

Table 1 은 시각판정을 위한 그레이 스케일의 색측정 수치를 나타낸 것이다. 모든 등급에서 Δ^* 와 Δb^* 의 차이는 거의 없고 명도만의 차이로 색차를 나타내고 있어 시각판정시 적절한 기준이 될 수 있다. Fig. 9 에서도 확인할 수 있는 바와 같이 등급별로 색차 분포가 고르게 되어 있어 시각판정 시 적절한 값을 구할 수 있다.

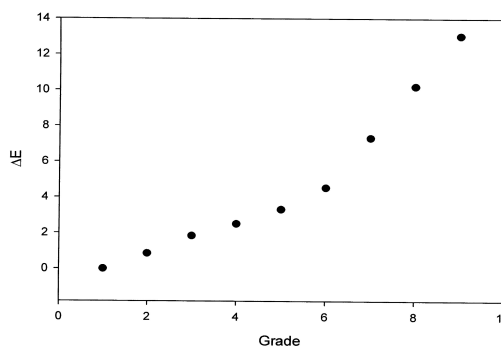


Fig. 9. Grey scale by KS K 0911 method.

Table 1. CIE Lab coordinates of the textile greyscale

Grade	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*
Stn.	41.59	-0.92	-0.93	0	0	0	0
4.5	42.45	-0.90	-0.99	0.86	0.02	-0.06	0.86
4	43.42	-0.83	-0.68	1.83	0.09	0.25	1.85
3.5	44.10	-0.82	-0.80	2.51	0.10	0.13	2.52
3	44.90	-0.69	-0.63	3.31	0.23	0.30	3.33
2.5	46.13	-0.85	-0.83	4.54	0.07	0.10	4.54
2	48.92	-0.75	-0.80	7.33	0.17	0.13	7.33
1.5	51.80	-0.87	-0.83	10.21	0.05	0.10	10.21
1	54.63	-0.76	-0.89	13.04	0.16	0.04	13.04

3.5. PF (performance factor) 에 의한 검증

PF 값은 시각판정의 색차와 기기판정의 색차간 불일치 정도를 확인하기 위해 나타내는 지표로서 Luo와 Rigg에 의해 유도되었다¹⁸⁻²⁰⁾ PF 값은 상관계수 r, 변동계수 CV, Y와 V_{AB}를 이용해서 구할 수 있다. 여기에서 Y는 시각판정과 기기판정 값 사이의 상관계수이고, N은 색차쌍들의 샘플 수, F는 기기판정과 같은 시각판정의 등급을 나타내는 지표, f는 시각판정과 기기판정간의 비례상수이다. 일반적으로 PF 값이 낮을수록 판정값 사이의 일치하는 정도가 높는데, PF 값과 PF' 값의 최대 수치는 400%와 300%이다.

이 연구에서는 r 값이 정확히 측정되지 않았기 때문에 PF' / 3 값을 사용하였다. 각 색차식의 추천되는 명도차 가중치 kL 값이 다르기 때문에 성능평가는 명도차 가중치 kL 값이 1, 1.5, 2 일 경우로 나누어서 실시하였다. Fig. 10 에서 알 수 있는 바와 같이 명도차 가중치가 2일 경우 CIE 94 색차식이 일치하는 정도가 가장 높게 나타났다. 따라서 저명도 영역에서 명도차의 허용범위를 확인하기 위해서는 CIE 94 색차식을 이용하는 것이 좋을 것으로 여겨진다.

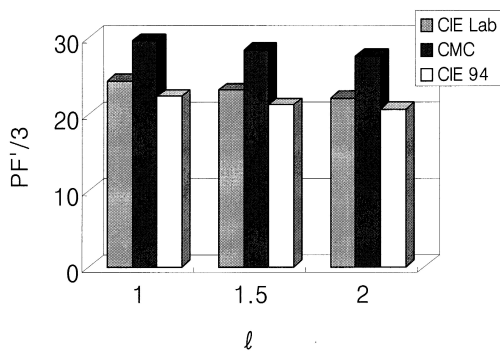


Fig. 10. PF' / 3 value of samples of lightness difference.

$$PF = 100(y + V_{AB} + (C_v/100) - r)$$

$$PF' = 100(y + V_{AB} + (C_v/100) - 1)$$

$$\log \gamma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \left[\log \left(\frac{\Delta E}{\Delta V} \right) - \log \left(\frac{\Delta E'}{\Delta V} \right) \right]^2}$$

$$V_{AB} = \left(\frac{1}{N} \sum \frac{(\Delta E - F \Delta V)^2}{\Delta E \cdot F \cdot \Delta V} \right) \quad \text{where} \quad F = \left(\frac{\sum \frac{\Delta E}{\Delta V}}{\sum \frac{\Delta V}{\Delta E}} \right)^{1/2}$$

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (\Delta E - f \Delta V)^2}}{\Delta E} \times 100 \quad \text{where} \quad f = \frac{\sum \Delta E \cdot \Delta V}{\sum (\Delta V)^2}$$

$$r = \frac{N(\sum \Delta E \cdot \Delta V) - \sum \Delta E \cdot \sum \Delta V}{\sqrt{N \sum \Delta E^2 - (\sum \Delta E)^2} \cdot \sqrt{N \sum \Delta V^2 - (\sum \Delta V)^2}}$$

3.6. 저명도 영역에서 적합한 색차식으로의 수정

시각판정에 의한 색차 ΔV와 기존의 여러 색차식에 의한 색차 ΔE 값 사이의 일치정도를 비교해 보았을 때, 일치정도가 가장 높은 색차식은 CIE 94 색차식이었다. 그러나 저명도 영역의 샘플을 통해 비교해 본 결과 이 역시 많은 오차를 나타내므로 수정이 필요함을 알 수 있다. 명도 허용치를 고려하여 수정해야하므로 CIE 94 색차식 중 명도 허용치에 영향을 미치는 인자인 상대허용치 kL을 변화시키면서 PF' / 3 값을 비교해 보았다.

Fig. 11 에서 나타나는 바와 같이 상대허용치 kL을 변화시킨 색차식의 ΔE 값과 ΔV 값 사이의 PF' / 3 값은 CIE 94 색차식에서 원래 2 로 정한 것 보다 1.7 로 수정하였을 경우 14.29 로 더 우수한 성능을 보였다. 이 결과들로부터 저명도 영역에서는 상대허용치 kL 값을 1.7 로 수정하였을 경우 시각판정과 기기판정 사이의 일치정도가 높기 때문에 kL 값을 1.7로 수정하는 우수한 일치도를 나타낼 수 있다. 따라서 저명도 영역에서는 다음에 나타낸 식과 같이

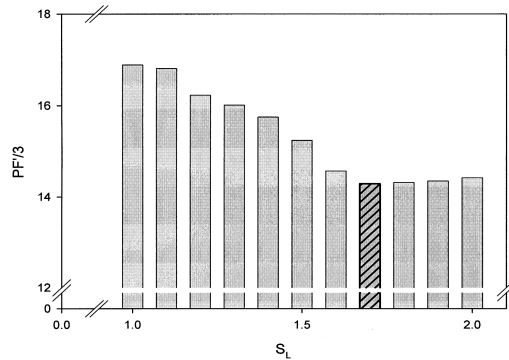


Fig. 11. PF' / 3 value of samples according to weighting value for lightness difference.

$$\Delta E_{*w} = \left(\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta L^*}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{k_H S_H} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\begin{aligned} S_L &= 1 \\ S_C &= 1 + 0.045 C^* \\ S_H &= 1 + 0.015 C^* \\ k_L &= 1.7 \\ k_C &= k_H = 1 \end{aligned}$$

Revised CIE 94 formula

명도 상대허용치를 수정한 CIE 94 색차식이 더 적합함을 알 수 있다.

4. 결 론

이 연구는 저명도 영역에서 색차 허용 범위에 관한 것으로 색차쌍들의 시각관정 값과 기기관정 값을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 컬러매칭의 색상 수정에서 L^* , a^* , b^* 값 중 a^* 값은 Red 계열의 염료, b^* 값은 Blue 혹은 Yellow 계열의 염료 농도를 변화시켜 조절할 수 있다. 그리고 각 염료의 농도가 높아질수록 명도 수치는 감소한다.
2. 광원에 따른 측색 결과에서 D65 광원일 경우 다른 광원에 비해 높은 명도 값이 측정되었고, 명도 차이가 크게는 1 이상 나타나기 때문에 색을 관측평가시 광원설정이 매우 중요하다.
3. 색차식의 일치 정도를 나타내는 PF 값의 비교를 통해 CIE 94 색차식이 CMC 색차식이나 CIE Lab 색차식에 비해 우수한 성능을 나타내었고, 명도 가중치 l 이 1보다 2 일 경우 상대적으로 시각관정과 기기관정간의 일치정도가 높게 나타났다.
4. 가장 우수한 성능을 보인 CIE 94 색차식은 저명도 영역에서 명도 상대허용치 k_L 값이 1.7에서 최적의 성능을 나타내었다.

감사의 글

이 연구는 (재)한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업의 연구비지원으로 수행되었음을 밝혀 두며 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

1. Roy S. Berns, "Principles of Color Technology", John

& Wiley & Sons, New York, 1981.

2. Y. S. W. Li., C. W. M. Yuen, K. W. Yeung and K. M. sin, Prediction of the best-fit regression model to correlate instrumental colour measurement and visual assessment, *J. S. D. C.*, **115**, 22(1999).

3. W. Chou, H. Lin, M. R. Luo, S. Westland, B. Rigg, J. Nobbs, Performance of lightness difference formulae, *J. S. D. C.*, **117**, 19-29(2001).

4. R. W. G. Hunt, "Measuring of Colour", Ellis Horwood, England, 1992.

5. D. Heggie, R. H. Wardman, M. R. Luo, A comparison of the colour differences computed using the CIE94, CMC(l:c) and BFD(l:c) formulae, *J.S.D.C.*, **112**, 264(1997).

6. Xu H., M. R. Luo, B. Rigg, Evaluation of daylight simulators. Part 2 : Assessment of the quality of daylight simulators using actual metameric pairs, *Coloration technology*, **119**, 253-263(2003).

7. R. McDonald, K. J. Smith, CIE94 - a new colour-difference formula, *J.S.D.C.*, **111**, 376(1995).

8. W. G. Kuo, M. R. Luo, Methods for quantifying metamerism. Part 1 - Visual assessment, *J.S.D.C.*, **112**, 312(1997).

9. D. H. Kim, Modified CIELAB Colour-Difference Formulae, *J. of the Korean Soc. of Dyers and Finishers*, **9**, 51-57(1997).

10. R. S. Berns, D. H. Alman, L. Reniff, G. D. Snyder and M. R. Balonon-Rosen, *Col. Res. Appl.*, **16**, 297(1991).

11. McLaren K., Rigg B., The SDC recommended colour-difference formula : change to CIELAB, *J.S.D.C.*, **92**, 337-338(1976).

12. M. R. Luo and B. Rigg, *Col. Res. Appl.*, **11**, 25(1986).

13. F. J. J. Clarke, R. McDonald and B. Rigg, Modification to the JPC79 colour-difference formula, *J.S.D.C.*, **103**, 128(1984).

14. R. McDonald and K. J. Smith, CIE 94 - a new colour-difference formula, *J.S.D.C.*, **111**, 376-379(1995).

15. E. Coates, K. Y. Fong and B. Rigg, Uniform lightness scales, *J.S.D.C.*, **97**, 179(1981).