

<연구논문(학술)>

CCM을 이용한 변퇴색 견뢰도 등급의 판정 및 New Fastness Formula에 관한 연구

홍민기 · 박주영 · 박영미* · 구 강 · 허만우** · 김삼수¹

영남대학교 섬유패션학부, *영남대학교 공업기술연구소, **경일대학교 섬유패션학과

A Study on the Measurement of Colour Fastness by CCM and New Fastness Formula

Min Gi Hong, Ju Young Park, Yong Mi Park*, Kang Koo, Man Woo Huh**
and Sam Soo Kim¹

School of Textiles, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

*Institute of Industrial Technology, Yeungnam Univ., Gyeongsan, Korea

**Department of Textile & Fashion Technology, Kyungil University, Gyeongsan, Korea

(Received December 1, 2005/Accepted January 26, 2006)

Abstract— A new fastness formula based on CIEDE2000 color-difference formula is developed by B. Rigg and his coworkers. It is very simple to calculate fastness grade for color change than ISO 105-A05 fastness formula based on CIELAB color-difference formula. Sample pair sets which cover a wide range color space were accumulated from NCS(Natural Color System) color book. For those sample pair sets, visual measurement experiment and instrument measurement experiment of fastness grade were carried out and each performance of ISO 105-A02 fastness formula and newly developed fastness formula was compared through degree of agreement for visual measurement result. Newly developed fastness formula indicated improved performance for measuring fastness grade but current ISO fastness formula for assessing change in color, ISO 105-A05, was confirmed that it's performance is inadequate to measure fastness grade. Then fastness formulae were examined more closely according to particular color spaces and the correlation of hue, lightness and chrom for measuring fastness grade was also considered in this study.

Keywords : fastness formula, color-difference formula, gray-scale, CIELAB, CIEDE2000

1. 서 론

최근 과학기술분야에서 IT산업의 발전은 모든 산업영역에서의 digital화와 data base화를 가속화, 체계화하게 되었고, 섬유·염색산업에 있어서도 색채관리 등 이러한 접근의 중요성이 부각되고 있다. 국내의 염색산업에서 색채관리는 지난 20년 전부터 CCM(Computer Color Matching) 및 측색기(Spectrophotometer)의 도입으로 시작

되었으나, 이는 해외 바이어가 국내 염색업체에 주문시 요청에 의해 이루어진 것으로 국내 염색산업의 자발적 투자에 의한 색채관리가 이루어진 것은 아니었다. 염색 산업에 있어 CCM을 도입하는 주된 목적은 원하는 color로 염색하기 위한 염료처방을 제시하는 기능(color matching)과 염색물과 원하는 컬러의 일치정도를 수치적으로 확인하기 위한 QC(Quality Control) 기능을 사용하기 위해서이다. 특히 모든 산업분야에 있어서 CIM (Computer Integrated Manufacturing ; 컴퓨터에 의한 통합생산)의 시대가 도래함에 따

¹Corresponding author. Tel.: +82-53-810-2784; Fax : +82-53-810-4684; e-mail: sskim@ynu.ac.kr

라, 염색산업에 있어서 경쟁력으로 직결되는 색채의 정확한 수치화에 대한 측면에 따른 QC기능의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

이러한 QC기능의 software로 사용되며, 색차를 수치적으로 표현 가능하게 하는 것이 색차식이다. 색차식을 사용하는 주된 목적은 관측자가 시각적으로 지각하는 색차와 기기 측정 후 색차식으로 계산한 색차간에 되도록 높은 상관관계를 얻기 위함이다. 그러나 색의 차이를 정확히 표현한다는 것은 아무리 색상에 경험이 많은 사람이라도 무척 어려운 일이며, 각 개인마다 색의 허용범위에 대한 견해가 다르기 때문에, 한정된 관측자들의 시각평가 data를 기초로 하여 얻어진 여러 색차식들의 정확성에 대한 측면과, 개발되어진 여러 색차식 중 표준화된 색차식을 얻는데 있어서 적잖은 문제점을 가지고 있다. 즉, 섬유·염색산업의 제품 경쟁력은 정확한 색상재현과 색상관리에 직결되어 있지만, 국내에서는 색채에 관한 공학적 연구가 미흡하여 염색물의 재현성 불량뿐만 아니라 완전하지 못한 기존 색차식의 잘못된 적용으로 인해 오차가 큰 데이터가 산출되는 등 많은 문제점을 안고 있다¹⁴⁾. 따라서 여러 선진국과 CIE(Commission Internationale de L'eclairage ; 국제조명위원회)에서는 색차식에 대한 많은 연구를 수행해 왔고, 표준 색차식을 제안하기 위한 노력으로 CIELAB^{5,6)} 색차식을 비롯하여 CMC⁷⁾, BFD^{8,9)}, CIE94¹⁰⁾, LCD^{11,12)} 및 최근 CIE에서 제안한 CIEDE2000¹³⁾ 식이 개발되었다.

색차식에 대한 오랜 연구와 성과를 바탕으로 발전된 색차식은 섬유 염색물의 중요한 물성 중 하나인 견뢰도를 수치적으로 판정 가능케 하는 영역으로 까지 적용되었다.

기존의 섬유 염색물의 견뢰도 판정방법은 ISO와 AATCC(American Association of Textile Chemistry and Colourists ; 미국섬유공학회)에서 표준화하고 제공한 변퇴색 gray-scale(ISO 105-A02)과 오염도 gray-scale(ISO 105-A03)을 이용하여 규정된 시험을 거친 뒤 사람의 눈으로 판정 샘플과 실제 염색물을 비교함으로써 견뢰도 등급을 판정하였다. 그러나 이는 관측자 각 개인에 따라 지극히 주관적인 방법으로써 그 신뢰도는 매우 낮을 수밖에 없다^{14,15)}.

이러한 섬유 염색물의 견뢰도 판정에 대한 문제점을 해결하기 위해 선진국과 CIE 등에서 색차식의 응용 이라는 측면으로부터 많은 연구를

수행하고 있는데, 그 중의 하나로 'ISO 105-A05 Fastness Formula(변퇴색견뢰도 판정 관련식)'와 'ISO 105-A04 Fastness Formula(오염견뢰도 판정 관련식)'가 1996년 ISO(International Organization for Standardization ; 국제표준제정기구)에 의해 제안되었다. 이 견뢰도 관련식은 CIELAB 색차식을 기반으로 하여 견뢰도 등급을 나타내는 gray-scale의 색차를 수치화하고 각 견뢰도 등급의 허용범위를 설정한 뒤 그 색차를 비교함으로써 견뢰도 등급을 수치화하는 원리로서, 기존의 gray-scale에 의한 판정에서의 명도뿐만 아니라, 색상과 채도를 다각도의 측면에서 고려하여 견뢰도 등급을 판정하고 있다. 이러한 견뢰도 관련 식의 적용은 CCM을 이용한 측색만으로 견뢰도 판정을 가능하게 하고 제품관리의 효율성을 제공한다¹⁶⁻¹⁸⁾.

그러나 CCM의 점진적인 보급과 컬러에 관한 체계적인 분석과 정확한 컬러 매칭을 위한 기기의 이용 등이 보편화되면서 ISO 105-A05 Fastness Formula의 문제점이 나타나게 되었다. 변퇴색 견뢰도 등급 판정식의 기본이 된 CIELAB 색차식이 1976년 이후 연구된 여러 시관측 평가 결과와 많은 불일치를 보이는 것으로 평가되어졌고^{5,6)}, 특히 명도와 채도가 낮은 영역인 dark color에서 시관측 결과와 많은 오차를 가지는 문제점을 나타내고 있다. 또한 ISO 105-A05 Fastness Formula가 변퇴색 견뢰도 등급 판정에 있어서 명도, 채도, 색상이 미치는 영향에 대해 다각도로 고찰한 결과라고 하지만, 실제 염색산업에서는 이 등급 판정식의 적용으로 인한 오차로 불만을 토로하고 있는 실정이므로 이 견뢰도 등급 판정식이 상용화되기 위해서는 여전히 문제점이 있는 것으로 여겨진다.

따라서 본 연구에서는 색상, 명도, 채도가 변퇴색 견뢰도 등급의 판정에 미치는 영향을 확인하고 이를 ISO 105-A05 Fastness Formula와 최근 CIEDE2000 Colour-difference Formula를 기초로 하여 소개되어진 newly developed Fastness Formula²⁰⁾에 적용하여 두 관련식의 변퇴색 견뢰도 등급판정의 성능에 대해 비교해 보았다. 또한 가중함수를 변화시키는 방법으로 변퇴색 견뢰도 판정식 수정의 가능성을 확인해 볼 것이며, CIELAB 색공간에서의 색상각을 비롯하여 명도, 채도의 각 영역에서의 오차 범위를 확인하여 정확한 견뢰도 평가를 위한 Fastness Formula의 수

정 방법에 대해 연구해 보고자 한다.

2. 실험

2.1 Sample pair sets의 선정

실제 염색을 통한 샘플 제작시 실험과정에서의 약간의 오차가 측색 및 견뢰도 등급의 판정에 있어서 매우 큰 오차를 가져올 수 있으므로, sample pair의 선정을 위해 Munsell 표색계와 함께 전 세계적으로 널리 쓰이고 있는 NCS 표색계를 사용하였다. NCS 색표집(Natural Color System, Scandinavian Colour Institute AB, Stockholm, Sweden 2004)의 colour sample들은 측색기(CCM, X-Rite8200, U.S.)를 이용하여 측색하였고, 측색결과와 ΔE 값을 이용하여 각각 색상, 명도, 채도 만에 의해 변퇴색 견뢰도 등급 차이가 발생하는 sample pair를 선정하였다.

앞서 설명한 바와 같이 NCS 색표집을 사용함으로써 실제 염색과정에서의 오차를 배제할 수 있었으며, 보다 광범위한 색공간 영역을 포함하고 색상·명도·채도의 각 관점에서 상관성을 가지는 객관적인 sample pair를 얻을 수 있었다.

2.2 Instrumental Assessment

NCS 색표집의 1949ea colour sample들은 측색기(CCM, X-Rite8200, U.S.)를 이용하여 다음의 조건으로 정확하게 측색하였다.

- D₆₅ 표준광원
- 10° 표준관측각
- 경면반사포함 (SCI)
- UV 포함

NCS 색표집의 sample들은 측색기의 CIELAB 색차식으로 판정하였고, 색의 3속성 중 색상, 명도, 채도 각각이 변퇴색 견뢰도 등급차이를 발생시키는 sample pair, 즉 sample 간의 ΔE_{CIELAB} 값이 Table 1에 나타난 gray-scale의 각 등급에 대한 ΔE_{CIELAB} 차이와 일치하는 sample pair들을 각 60 개씩(총 180쌍) 선정하였다.

2.3 Gray-scale for Color Change

시각판정, sample pair sets의 선별 및 변퇴색 견뢰도 등급 판정식에 대한 적용을 위해 ISO규격(ISO 105-A02)의 gray-scale을 측색하였다.

Table 1. Instrumental assessment of the gray-scale for color change

Grade	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{CIELAB}
5	-0.03	-0.01	-0.02	0.03
4-5	0.93	0.23	-0.09	0.96
4	1.78	-0.14	-0.02	1.78
3-4	2.47	0.15	0.53	2.53
3	3.13	0.21	0.43	3.16
2-3	5.05	0.35	0.13	5.06
2	6.69	0.39	-0.26	6.70
1-2	9.73	0.2	0.28	9.73
1	13.78	0.61	-0.66	13.80

ISO 105-A02에 의하면 gray-scale의 ΔE_{CIELAB} value는 sample pair간의 견뢰도 등급을 판정하는데 사용되지 않는다고 명시하고 있다¹⁴⁾. 그러나 이 연구에서는 gray-scale과 같이 단지 명도 차에 의한 견뢰도 등급 판정시의 ΔE_{CIELAB} value와, 색상과 채도만의 차에 의한 등급 판정시 ΔE_{CIELAB} value와의 상관성을 확인하기 위하여, 위의 Table 1에 나타난 ΔE_{CIELAB} value와 같은 값의 차이를 갖는 sample pair sets을 선정하였다.

2.4 Visual Assessment

NCS 색표집으로부터 선별되어진 sample pair에 대한 시각판정은 라이트 박스(Light box, The Judge II, Macbeth, U.S.)에서 다음의 조건으로 판정하였다.

- D₆₅ 표준광원
- 45/0 기하구조
- gray-scale 방법 (ISO 105-A02)
- 색채에 대해 민감한 섬유염색 전공의 20명의 관측자에게 시각판정 실시

Sample pair sets에 대한 시각평가 결과 data는 기기에 의한 측색 data를 바탕으로 산출되어진 각 fastness formula의 변퇴색 견뢰도 등급 판정 결과와 비교하였다.

2.5 Application of the Fastness Formula for Change in Color

Sample pair 간의 색차(ΔE)를 각 fastness formula에 적용하여 변퇴색 견뢰도 등급을 판정하였다.

2.5.1 ISO 105 - A05 Fastness Formula¹⁸⁾

CIELAB 색차식을 기반으로 하여 변퇴색 견뢰도 등급을 나타내는 gray-scale의 색차를 수치화 하고, 각 견뢰도 등급의 허용범위를 설정한 뒤 그 색차를 비교함으로써 견뢰도 등급의 수치화를

가능하게 하는 ISO 105-A05 Fastness Formula (Eqn. 1-3)에 측정되어진 각sample pair set 사이의 색차(ΔE_{CIELAB}), 명도차(ΔL^*), 채도차(ΔC_{ab}^*), 색상차(ΔH_{ab}^*)를 적용하여 기기의 측색을 통한 변퇴색 견뢰도 등급 판정 data를 산출하였다.

$$\Delta E_F = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta C_F^2 + \Delta H_F^2} \quad (1)$$

where)

$$\begin{aligned} \Delta H_F &= \Delta H_K / [1 + (10 \cdot C_M / 1000)^2] \\ \Delta C_F &= \Delta C_K / [1 + (20 \cdot C_M / 1000)^2] \\ \Delta H_K &= \Delta H_{ab}^* - D \\ \Delta C_K &= \Delta C_{ab}^* - D \\ D &= (\Delta C_{ab}^* \cdot C_M \cdot e^{-x}) / 100 \\ \Delta C_M &= (C_{ab,t}^* + C_{ab,u}^*) / 2 \\ \Delta H_{ab}^* &= [(\Delta E_{ab}^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C_{ab}^*)^2]^{1/2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= [(h_M - 280) / 30]^2, & \text{IF) } |h_M - 280| \leq 180 & \text{ or} \\ x &= [(360 - |h_M - 280|) / 30]^2, & \text{IF) } |h_M - 280| > 180 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_M &= (h_{ab,t} + h_{ab,u}) / 2 & \text{IF) } |h_{ab,t} - h_{ab,u}| \leq 180 & \text{ or} \\ h_M &= (h_{ab,t} + h_{ab,u}) / 2 + 180 & \text{IF) } |h_{ab,t} - h_{ab,u}| > 180 \text{ and } |h_{ab,t} + h_{ab,u}| < 360 & \text{ or} \\ h_M &= (h_{ab,t} + h_{ab,u}) / 2 - 180 & \text{IF) } |h_{ab,t} - h_{ab,u}| > 180 \text{ and } |h_{ab,t} + h_{ab,u}| \geq 360 \end{aligned}$$

- ※ $L_{t,u}^*$, $C_{ab,t,u}^*$, $h_{ab,t}$ = CIELAB lightness, chroma and hue of tested sample.
 $L_{u,u}^*$, $C_{ab,u,u}^*$, $h_{ab,u}$ = CIELAB lightness, chroma and hue of untested sample.
 $\Delta L^* = L_t^* - L_u^*$
 $\Delta C_{ab}^* = C_{ab,t}^* - C_{ab,u}^*$
 sign of $\Delta H_{ab}^* = \text{sign of } (h_{ab,t} - h_{ab,u})$
 $\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$
 $h_M = \text{the mean CIELAB hue angle of the tested and untested samples.}$

Eqn.1에서 산출되어진 ΔE_F 는 아래의 Eqn.2와 3을 통하여 변퇴색 견뢰도 등급(gray-scale rating for change in color ; GSR)으로 전환되어 질 수 있다.

$$GSR = 5.0 - \Delta E_F / 1.7 \quad \text{if) } \Delta E_F \leq 3.4 \quad (2)$$

$$GSR = 5.0 - \text{Log}(\Delta E_F / 0.85) / \text{Log}2 \quad \text{if) } \Delta E_F > 3.4 \quad (3)$$

※ GRS are rounded to the nearest half step, e.g. 1.0, 1.5, 2, ..., 4.5, 5.0 (totally 9 steps)

2.5.2 New Fastness Formula²⁰⁾

최근 CIELAB 색차식의 색차판정 오차에 대해 수정 · 발전된 색차식으로 제안된 CIEDE2000 색차식으로부터 유도되어진 newly developed fastness formula(Eqn. 4)에 측정 data를 적용하여(ΔE_{00} , ΔL_{00}) 기기의 측색에 의한 변퇴색 견뢰도 등급

(gray-scale rating for change in color ; GRC) 판정 data를 산출하였다.

$$GRC = 0.88 + 3.89 e^{-0.2 \Delta E_{GRC}} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{GRC} &= \Delta E_{00} - 0.52 \sqrt{\Delta E_{00}^2 - \Delta L_{00}^2} \\ (\Delta E_{00} \text{ Computed With } k_L = 1.0, k_C = 0.5) \end{aligned}$$

2.6 RMS(Root Mean Square)¹⁶⁾ 값에 의한 견뢰도 판정식의 성능 검증

Sample pair sets의 견뢰도 등급 판정에 대한 시각 평가 결과와 각 변퇴색 견뢰도 판정식에 의한 결과와의 불일치 정도는 RMS(Root Mean Square) 값(Eqn. 5)의 오차 정도로 확인되었다.

$$RMS = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 / n} \quad (5)$$

X_i : instrumental assessment result of fastness grade unit for sample i .

Y_i : visual assessment result of fastness grade unit for sample i .

견뢰도 등급판정에 대한 시각평가 결과와 각 변퇴색 견뢰도 판정식에 의한 결과 사이의 완벽한 일치를 위해서는 RMS 값이 '0'이 되어야 한다. 즉 RMS 값이 작을수록 변퇴색 견뢰도 등급 판정식의 성능이 우수하다고 할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Measurement errors

실험결과 data의 신뢰성을 확인하기 위해 획득되어진 시각평가 data에 대한 각 관측자 사이의 판정 오차를 비교하고, 기기판정 결과 data에 있어서 각 측색결과 오차를 비교하여 RMS 값으로 평가하였다.

관측자 사이의 오차는 한 관측자의 판정결과에 대해 다른 19명의 관측자 시각판정 결과를 비교하는 방법으로 RMS 값을 계산하였는데, 이 오차의 평균 RMS 값은 0.59로 나타났고, 오차의 범위는 최소 0.00에서 최고 1.54의 RMS 값으로 나타났다.

선별되어진 각 sample pair들에 대한 기기의 측색은 실험과정에 있어서 모두 5번 시행하였다. 이 5 set의 각 측색결과는 Eqn. 2와 Eqn. 3을 통해 ISO GSR grades로 변환하였고, 이렇게 계산된 각 grade set에 대한 RMS 값을 비교함으로써 기기판정 결과 data의 오차가 평가되었다. 기기판정 결과의 오차범위는 최소 0.00에서 최고 0.76의 RMS 값을 나타냈고 평균 오차는 0.31 RMS 값을 나타냈다. 기기에 의한 판정 결과의 오차가 관측자 사이의 판정 오차(mean 0.59) 보다 현저하게 낮다는 것이 확인되었고, 그 평균 오차의 R

MS 값이 0.31 로 매우 작은 값을 가진다는 측면에서 이 기기에 의한 측색 및 판정이 만족할 만한 성능을 나타낸다고 평가하였다.

3.2 Fastness Formula에 따른 gray-scale의 견뢰도 등급 판정

선정되어진 sample pair sets의 변퇴색 견뢰도 등급판정에 있어서 시각평가와 변퇴색 견뢰도 등급 판정식의 일치 정도를 확인하여, 그 판정식들의 성능을 판정하기 이전에 gray-scale(ISO 105-A02)의 측색을 통하여, 변퇴색 견뢰도 판정식에 의해 산출되어진 결과와 변퇴색 견뢰도를 나타내는 gray-scale의 실제 각 등급들과의 일치 여부를 확인할 필요가 있다. 기존의 견뢰도 등급으로 규정되어진 gray-scale과의 일치 정도는 보다 적합한 견뢰도 판정식 도출의 기본이 된다고 할 수 있기 때문이다.

Fig. 1에 gray-scale의 각 변퇴색 견뢰도 등급에 대해 ISO 105-A05 fastness formula와 CIEDE-2000 색차식으로 부터 유도되어진 newly developed fastness formula의 일치 정도를 나타내었다. Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 gray-scale의 각 견뢰도 등급에 대해서 ISO 105-A05 fastness formula는 완벽하게 일치하고 있지만, 105-A05 fastness formula를 수정함으로써 최근 제안되어진 newly developed fastness formula는 약간의 오차(RMS value = 0.14)를 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

그러나 ISO 105-A05 fastness formula는 변퇴색 견뢰도 등급을 나타내는 gray-scale의 색차를 수치화하고 각 견뢰도 등급의 허용범위를 설정한 뒤 그 색차를 비교함으로써 견뢰도 등급을 수치화하는 원리로서 개발되어진 견뢰도 판정식이므로 gray-scale의 각 견뢰도 등급과 완벽하게 일치하는 것은 이미 예상되어진 결과라고 할 수 있다. 또한 0.5의 RMS 값은 data간의 불일치 정도가 각 견뢰도 등급 사이의 절반등급 정도를 나타내는 것으로서 두 data 간의 수용할 만한 일치 정도를 나타내는 허용치라는 관점에서 newly developed fastness formula의 견뢰도 판정결과와 gray-scale의 견뢰도 등급 사이의 RMS 값이 '0.14'로 매우 작은 값이라는 것을 주목할 필요가 있다. 즉 견뢰도 등급의 판정에 있어서 보다 정확한 판정식들의 성능평가는 선별되어진 sample

pair sets와의 RMS 값을 통하여 평가할 수 있으며, newly developed fastness formula가 gray-scale에 대해서 만족할 만한 수준의 일치 정도를 나타내는 것을 확인하였다.

3.3 sample pair sets에 대한 견뢰도 등급의 판정

3.3.1 명도에 의한 색차로 선정된 sample pair sets에 대한 견뢰도 등급의 판정

색의 3속성 중 명도만에 의한 색차로 변퇴색 견뢰도 차이가 발생하는 sample pair sets에 대

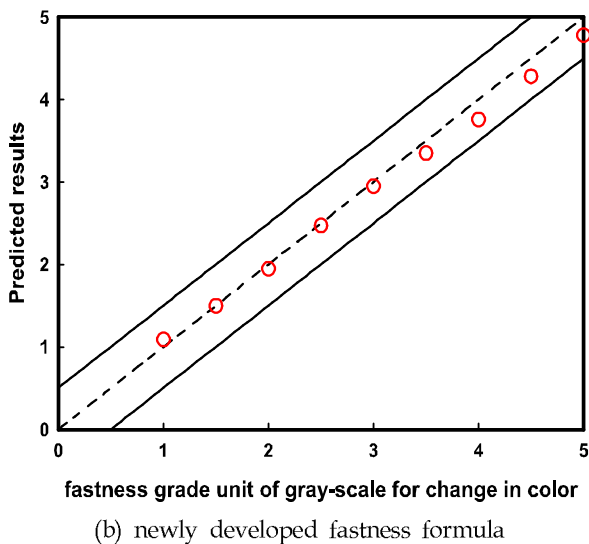
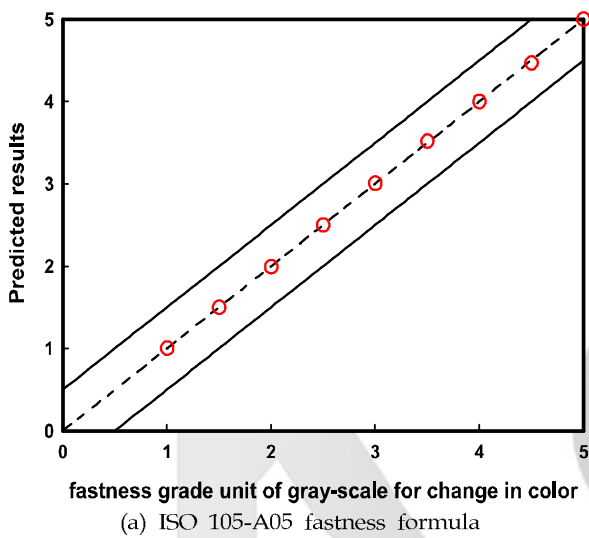


Fig. 1. Predictions of fastness formula plotted against fastness grade of gray-scale for change in color. (For a perfect agreement between the instrumental prediction and visual result, all points should fall on the 45° dashed line. Points outside the two solid-lines gave predictions disagreeing by over 0.5 of the grade)

해서 fastness formula에 의한 견뢰도 등급판정 결과와 20명의 관측자에 의한 시각 평가 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2를 통해 추측 할 수 있듯이 이 sample pair sets에 있어서 시각평가 결과와 ISO 105-A05 fastness formula에 의한 견뢰도 판정결과 사이의 RMS 값은 0.721로 매우 높은 수치가 나타났고, newly developed fastness formula에 의해 산출되어진 견뢰도 판정결과와는 그 보다 낮은 0.473의 RMS 값을 나타냈다. 이 RMS 값을 통해서 newly developed fastness formula가 ISO 105-A05 fastness formula보다 시각판정 결과와 보다 일치하는 성능을 나타냄을 확인할 수 있지만, 0.5의 RMS 값이 판정결과 data 사이의 일치 정도를 나타내는 허용치라는

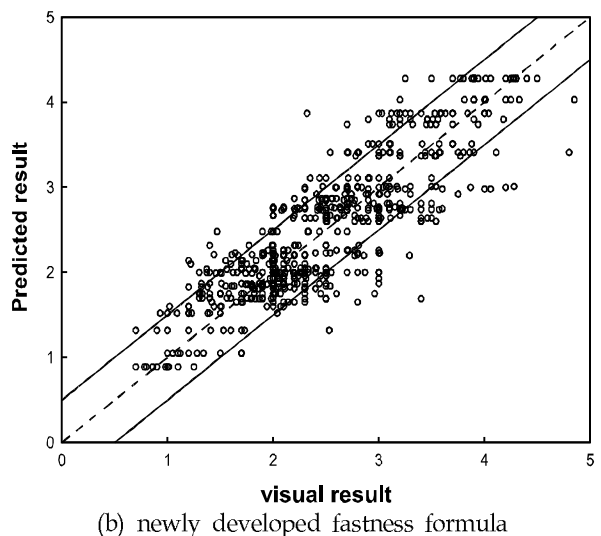
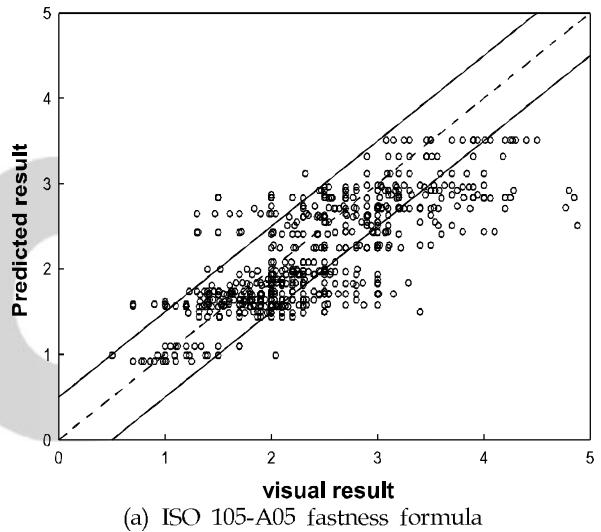


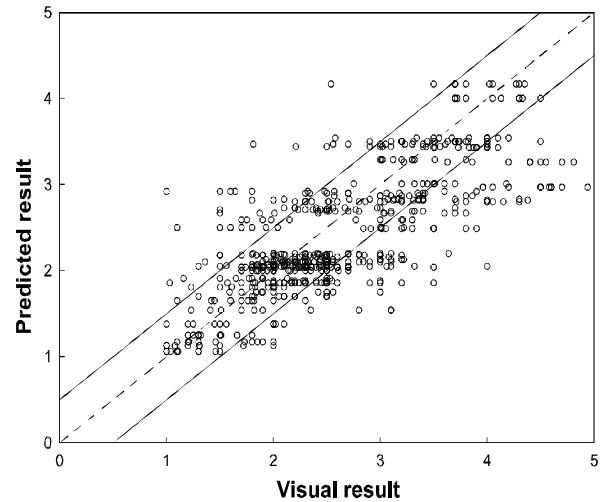
Fig. 2. Predictions of fastness formula plotted against visual data sets according to the lightness difference.

관점에서 시각판정 결과에 대한 newly developed fastness formula의 판정결과가 만족할만한 적합성을 가진다고는 볼 수 없다.

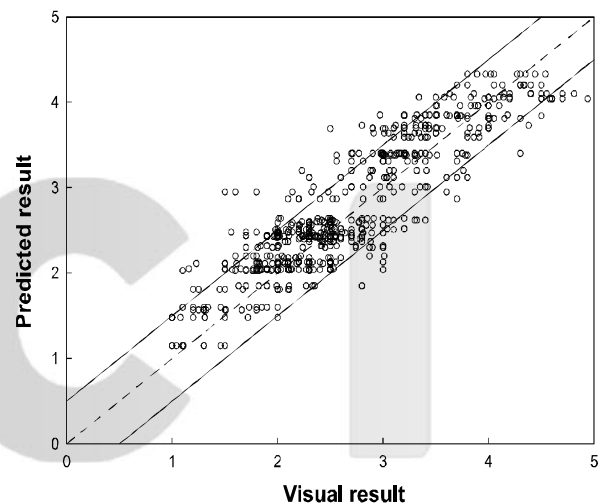
이 결과 data들의 분석을 통해 획득되어진 주목할 만한 사실은, CIELAB 색차식을 비롯한 여러 색차식들이 시관측 결과와 많은 불일치를 나타내어 문제시 되었던 dark color 영역에서의 견뢰도 판정 결과는 newly developed fastness formula를 통해 크게 개선되어졌다는 것이다. 즉, 저명도의 sample pair에 대해 CIELAB 색차식을 기반으로 유도되어진 ISO 105-A05 fastness formula는 시각평가 결과와 0.793의 매우 높은 RMS 값을 가지는 반면, CIELAB 색차식을 수정·발전시켜 최근 제안되어진 CIEDE 2000 색차식으로부터 유도되어진 newly developed fastness formula는 0.384의 만족할 만한 RMS value를 나타내었다. 이것은 실제 염색산업에서 큰 불만을 토로하고 있는 dark color 영역에서 기존 색차식의 불일치가 CIEDE2000 색차식에 의해 일부 개선되어진 결과라고 예상할 수 있다.

3.3.2 채도에 의한 색차로 선정된 sample pair sets에 대한 견뢰도 등급의 판정

색의 3속성 중 채도만에 의한 색차로 변퇴색 견뢰도 차이가 발생하는 sample pair sets에 대한 fastness formula의 견뢰도 등급 판정결과와 시각평가 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 이 sample pair sets에 대한 시각평가 결과와 ISO 105-A05 fastness formula에 의한 견뢰도 판정결과 사이의 RMS 값은 역시 0.572로 높은 수치가 나타났고, newly developed fastness formula에 의해 산출되어진 견뢰도 판정 결과와는 0.382의 RMS 값을 나타내었다. 이 RMS 값을 통해 확인할 수 있듯이 시각 평가 결과에 대하여 newly developed fastness formula가 ISO 105-A05 fastness formula 보다 약 40% 정도로 현저하게 우수한 성능을 나타내며, 앞서 설명한 바와 같이 기존에 많은 문제점이 제기되었던 dark color 영역에서의 저채도 sample pair sets에 관한 견뢰도 판정은 CIELAB 색차식을 기반으로 유도되어진 ISO 105-A05 fastness formula가 0.602의 매우 높은 RMS 값을 가지는 반면, CIELAB 색차식을 수정·발전시켜 최근 제안되어진 CIEDE2000 색차식으로부터



(a) ISO 105-A05 fastness formula



(b) newly developed fastness formula

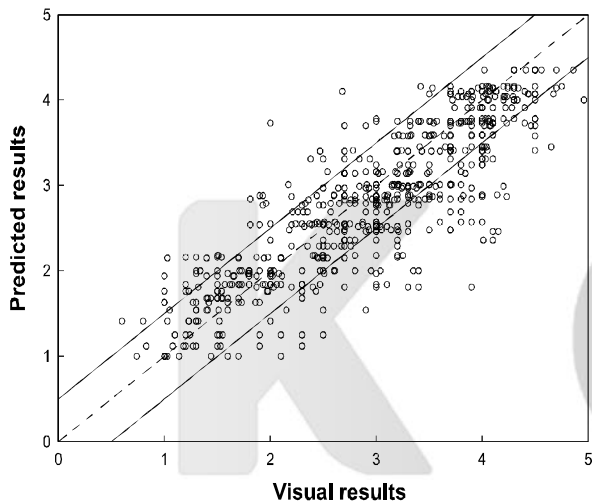
Fig. 3. Predictions of fastness formula plotted against visual data sets according to the chroma difference.

유도되어진 newly developed fastness formula는 0.347의 RMS 값을 가지는 매우 고무적인 결과를 얻을 수 있었다.

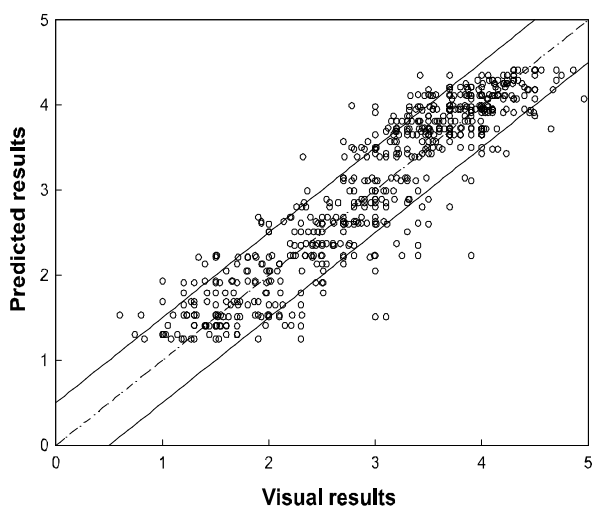
3.3.3 색상에 의한 색차로 선정된 sample pair sets에 대한 견뢰도 등급의 판정

색의 3속성 중 색상만에 의한 색차로 변퇴색 견뢰도 차이가 발생하는 sample pair sets에 대한 fastness formula의 견뢰도 등급 판정결과와 시각평가 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 색상만의 차이로 색차를 가지는 이 sample pair sets에 대한 시각평가 결과와 ISO 105-A05 fastness formula에 의한 견뢰도 판정 결과 사이의 RMS 값은

0.633을 나타내었고, newly developed fastness formula에 의해 산출되어진 견뢰도 판정 결과와는 0.321의 RMS 값을 나타내었다. 오직 색상에 의한 차이로 색차를 가지고 견뢰도 등급의 차이가 발생하는 이 sample pair sets에 대해서 newly developed fastness formula는 ISO 105-A05 fastness formula 보다 매우 향상되어진 성능을 나타내며, 광범위한 색공간 영역을 포함하는 다양한 sample pair set에 대해서도 평균적인 RMS 값을 가지는 것을 확인하였다. 즉, newly developed fastness formula가 견뢰도 등급의 판정에 있어서 색상차이에 대한 적용이 크게 개선되었다고 고찰할 수 있었다.



(a) ISO 105-A05 fastness formula



(b) newly developed fastness formula

Fig. 4. Predictions of fastness formula plotted against visual data sets according to the Hue difference.

4. 결 론

색상·명도·채도에 따라 각기 분류, 선별되어진 sample pair sets과 gray-scale에 대한 시각판정 결과와 fastness formula에 의해 산출되어진 변퇴색 견뢰도 판정결과 사이의 불일치 정도를 RMS 값으로써 Table 2에 나타내었다. Table 2의 RMS 값을 통해 CIEDE2000 색차식을 기반으로 유도되어진 newly developed fastness formula가 gray-scale에 대해서 만족할 만한 적합성을 가지며, ISO 규격으로써 CIELAB 색차식으로부터 유도되어진 ISO 105-A05 fastness formula 보다 변퇴색 견뢰도 등급의 판정에 있어 색상·명도·채도, 즉 색채 및 색차의 판정기준이 되는 색의 3속성 모두의 적용에 대해 향상되어진 성능을 가진다는 것을 확인 할 수 있다. 또한 저명도와 저채도 영역의 sample pair sets에 대한 판정결과의 분석을 통하여 기존의 CIELAB 색차식을 비롯한 여러 색차식들이 시관측 결과와 많은 불일치를 나타내어 문제시되었던 dark color 영역에서의 견뢰도 판정결과가 newly developed fastness formula를 통해 일부 개선되었다는 주목할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

Table 2. Root Mean Square(RMS) errors between visual results and predicted results by the fastness formula

Samples	Fastness formula	
	newly developed fastness formula	ISO 105 - A05 fastness formula
Gray-scale	0.145	0.012
Hue difference	0.321	0.633
Lightness difference	0.473	0.721
Chroma difference	0.382	0.572
Total	0.392	0.642

newly developed fastness formula가 선별되어진 모든 sample pair sets의 색상·명도·채도차이에 의한 변퇴색 견뢰도 등급 판정에 있어서 뛰어난 성능을 나타내는 것은 아니다. 그러나 Eqn. 1에서 3에 걸친 복잡한 연산과정을 통해 견뢰도 등급을 수치화 한 ISO 105-A05 fastness formula에 비해 비교적 간단한 과정을 통해 견뢰도 등급의 판정이 가능한 newly developed fastness formula의 효율성뿐만 아니라, 각 개인

마다 허용범위에 대한 견해 차이가 매우 큰 색의 차이에 대한 표준화를 위해, 오랜 기간동안 연구, 노력이 진행 되어 오고 있다는 점에서 newly developed fastness formula의 개선·향상되어진 성능은 충분히 그 가치를 인정받을 만하다.

따라서 본 연구의 다음 과제로 newly developed fastness formula의 수정, 특히 명도차에 대한 견뢰도 판정에 있어서 시관측 결과와의 보다 향상된 일치율을 위한 가중함수의 변화 등의 방법을 통해 더욱 우수한 성능을 나타내는 fastness formula를 도출해 볼 것이며 도출되어진 견뢰도 등급 판정식을 실제 섬유·염색물에 적용하여 그 성능을 검증해 보고자한다.

감사의 글

이 논문은 2006학년도 영남대학교 학술연구 조성비와 (재)한국산업기술재단의 지역혁신인력 양성사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. F. W. Billmeyer and M. Saltzman, "Principles of Color Technology", 2nd ed., Wiley, 1981.
2. F. Grum, C. J. Bartleson(Ed.), "Optical Radiation Measurements. Vol.2 : Color Measurement", Academic, London, 1980.
3. R. McDonald, A Review of the Relationship between Visual and Instrumental Assessment of Color-difference, *J Oil Col Chem Assoc.*, **65**, 43-53, 93-106(1982).
4. R. S. Hunter, R. W. Harold, "The Measurement of Appearance.", 2nd ed., Wiley 1987.
5. CIE Colorimetry., 2nd ed., CIE Publ. No.15.2., Vienna : Central Bureau of the CIE, 1986.
6. K. McLaren, B. Rigg, The SDC recommended colour-difference formula: change to CIELAB, *J. S. D. C.*, **92**, 337-338(1976).
7. F. J. J. Clarke, R. McDonald, B. Rigg, Modification to the JPC79 colour-difference formula, *J S. D. C.*, **100**, 128-132, 281-282(1984).
8. M. R. Luo, B. Rigg, BFD(l:c) colour-difference formula Part I-Development of the formula, *J. S. D. C.*, **103**, 86-94(1987).
9. M. R. Luo, B. Rigg, BFD(l:c) colour-difference formula. Part II-Performance of the formula, *J. S. D. C.*, **103**, 126-132(1987).
10. R. McDonald, K. J. Smith, CIE94-a new colour-difference formula. *J. S. D. C.*, **111**, 376-379(1995).
11. D. H. Kim, J. H. Nobbs, New weighting functions for the weighted CIELAB colour difference formula, *Proc Colour 97 Kyoto*, **1**, 446-449(1997).
12. D. H. Kim, Ph. D. Thesis, Univ. of Leeds, 1997.
13. M. R. Luo, G. Cui, B. Rigg., The Development of the CIE 2000 Colour-Difference Formula : CIEDE2000, *Color Res Appl.*, **26**, 340-350(2001).
14. ISO 105-A02:1996 Textiles - Test for Colour Fastness, Part A02: Grey scale for assessing change in color(Geneva:ISO,1996).
15. ISO 105-A03:1996 Textiles - Test for Colour Fastness, Part A03: Grey scale for assessing srainning(Geneva:ISO,1996).
16. G. Cui, M. R. Luo, P. A. Rhodes, B. Rigg and J. Dakin, Grading textile fastness. Part. 1 : Using a digital camera system, *Coloration Technology*, **119**, 212-218(2003).
17. ISO 105-A04:1996 Textiles - Test for Colour Fastness, Part A04: Method for instrumental assessment of degree of staining of adjacent fabrics(Geneva:ISO,1989).
18. ISO 105-A05:1996 Textiles - Test for Colour Fastness, Part A05: Method for instrumental assessment of the change in colour of a test specimen(Geneva:ISO,1996).
19. G. Cui, M. R. Luo, P. A. Rhodes, B. Rigg, and J. Dakin, Grading textile fastness. Part. 2 : Development of a new staining fastness formula, *Coloration Technology*, **119**, 219-224 (2003).
20. G. Cui, M. R. Luo, B. Rigg, M. Butterworth and J. Dakin, Grading textile fastness. Part. 3 : Development of a new fastness formula for assessing change in color, *Coloration Technology*, **120**, 226-230(2004).