

디지털 화상 장치를 이용한 섬유제품류 간이 색차판별에 관한 연구

박재우*, 변기식, 조성용, 김병순, 오준호
국방기술품질원 품질경영본부 전투물자센터

A Study on Rapid Color Difference Discrimination for Fabrics using Digital Imaging Device

Jae Woo Park*, Kisik Byun, Sung-Yong Cho, Byung-Soon Kim, Jun-Ho Oh
Forces Support Systems Center, Quality Management Bureau, Defense Agency for Technology and Quality
(DTaQ)

요약 섬유제품에 대한 품질관리 대상은 소재에 대한 물리적 성능 특성 이외에도 색상, 착용감 등의 주관적 판단 인자들이 있다. 색상은 소비자들이 별도의 측정 장비 없이도 주관에 따라 판단 할 수 있는 대표적인 품질인자이다. 따라서 산업 현장에서는 색상에 대한 통계적 품질관리를 위하여 색차계를 이용한 정량화를 통해 품질관리에 적용하고 있다. 하지만, 국내 섬유관련 업체는 대다수가 중소·영세업체기 때문에 육안검사에 의존한 색차관리를 수행하고 있으며, 그로 인해 검사자 개인성향 및 작업 수행방식에 따라 많은 차이를 보이게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 산업현장의 실정에 부합하는 품질관리 기법 개발을 목표로, 사무기기 중의 하나인 디지털 화상 장치를 이용한 간이 색차판별 가능성에 대한 연구를 수행하였다. 연구결과, 일반 평판 스캐너를 활용한 이미징 분석 기반의 색차판별법은 기존의 측색계를 이용한 판별법과 비교하여 높은 상관관계($R^2=0.969$)를 보여주고 있었으며, 이를 통해 공정 간 및 로트별 색차관리에 대한 현장 간이판별이 가능함을 확인하였다. 또한 색차를 구성하고 있는 각 요소(ΔL , Δa , Δb)에 대한 분석을 통해서 공정관리 요소식별이 가능함을 확인 할 수 있었다. 향후, 본 연구의 결과를 기반으로 하여 판정기법을 좀 더 정교화/최적화하게 된다면, 산업현장에서 충분히 색차계를 대체 할 수 있는 방법으로까지 발전 할 수 있으리라 판단된다.

Abstract Textile quality management targets the physical properties of fabrics and the subjective discriminations of color and fitting. Color is the most representative quality factor that consumers can use to evaluate quality levels without any instruments. For this reason, quantification using a color discrimination device has been used for statistical quality management in the textile industry. However, small and medium-sized domestic textile manufacturers use only visual inspection for color discrimination. As a result, color discrimination is different based on the inspectors' individual tendencies and work procedures. In this research, we want to develop a textile industry-friendly quality management method, evaluating the possibility of rapid color discrimination using a digital imaging device, which is one of the office-automation instruments. The results show that an imaging process-based color discrimination method is highly correlated with conventional color discrimination instruments ($R^2=0.969$), and is also applicable to field discrimination of the manufacturing process, or for different lots. Moreover, it is possible to recognize quality management factors by analyzing color components, ΔL , Δa , Δb . We hope that our rapid discrimination method will be a substitute technique for conventional color discrimination instruments via elaboration and optimization.

Keywords : Color Difference Discrimination, CIE LAB, Digital Imaging Device, Image Process, Textile

*Corresponding Author : Jae Woo Park(DTaQ)

email: nickpw@dtaq.re.kr

Received May 22, 2019

Accepted August 2, 2019

Revised July 1, 2019

Published August 31, 2019

1. 서론

색은 인간의 시각 기관을 통해서 받아들여지는 정보로서, 그 판단을 위해서는 개인의 주관이 개입될 수밖에 없다. 따라서 인류는 색상을 보다 객관적으로 표현하기 위한 정량적인 표기법을 발전시켜 왔는데, 이는 색을 구성하는 속성들을 기반으로 이루어져 왔다[1].

색을 표현하는 3가지 속성은 색상(Hue), 명도(Value) 그리고 채도(Saturation)로 구성된다[2]. 색상은 흔히 우리가 알고 있는 빨강, 주황, 노랑 등의 “색깔”을 의미하며, 명도는 색의 어둡고 밝은 정도를, 채도는 색상의 “질은” 정도를 표현하는 의미로 사용된다. 따라서 우리가 인지하는 색은 위에서 언급한 색의 3가지 속성을 3차원 좌표계에 표현한 것이라 할 수 있으며, 이를 HSV 색공간이라고 명명한다[3]. 이 밖에도 색을 가감하여 혼합하는 RGB(Red, Green, Blue)와 CMYK(Cyan, Magenta, Yellow, Key) 색공간 그리고 데이터 기반으로 표현된 CIE 색공간 등이 있다[4].

CIE 색공간은 “국제 조명위원회(CIE: Commission internationale de l'éclairage, 이하 CIE)”에서 인간의 색 인지에 대한 연구를 기반으로 수학적으로 정의한 최초의 색공간이다[5]. 인간의 시각 수용체인 원추세포는 수용할 있는 빛의 파장대 별로 L-, M-, S-원추세포로 분류되는데, 이는 각각 장파장(빨강), 중파장(초록), 단파장(파랑)의 색을 수용하게 된다[6]. 이를 삼색 자극값(Tristimulus value)라고 하며, 이를 조합하여 여러 가지 색을 표현할 수 있게 되는데, 이는 CIE RGB를 거쳐 CIE XYZ로 발전하였다.[7].

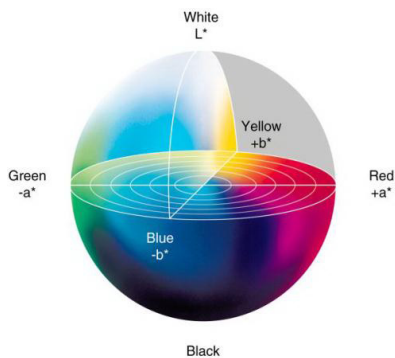


Fig. 1. CIE LAB Color space[9]

CIE LAB색 공간은 CIE XYZ 색공간을 변환하여 만들어진 것으로서, 색공간에서의 색차를 인간의 시각 기관

이 느끼는 색깔 차이와 비례하도록 설계되었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 L은 명도(Lightness), a는 적색과 녹색의 대비, b는 노랑색과 파랑색의 대비를 나타내 주는 수치로서, L의 값이 0이면 검은색을, 100이면 흰색을 나타낸다. a의 값이 음수면 초록색을, 양수면 빨간색 계열임을 나타내며, b의 값이 음수면 파랑색을, 양수면 노랑색 계열임을 의미한다[8].

색차는 색의 차이를 의미하며, 이는 통상적으로 CIE LAB 색공간에서의 거리를 뜻한다. 따라서 3차원 공간에서의 두 좌표 간 거리가 곧 색차를 의미하며, 그 값(ΔE)은 아래의 식으로 계산된다.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

$$= \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

통상적으로 제품에 대한 색차 관리 기준은 업계에서 통용되고 있는 일본 Nippon Denshoku 社の “색차 허용기준”을 적용하고 있으며, 이는 Table 1과 같다[10].

산업현장에서는 색차판별을 위하여 분광 광도계 또는 색차계를 이용한 측색을 통해 품질관리를 수행하고 있다. 하지만, 측색장비의 경우 구입 및 관리에 고가의 비용이 발생함에 따라 대다수의 중소기업에서는 육안검사에 의존하여 품질관리를 수행하고 있다. 육안검사의 대표적인 방법은 KS K ISO 105-A02: 2014[11]로서, 색표를 이용하여 색차 등급을 1급에서 5급까지 판별하는 방식이다. 하지만 대다수의 중소기업에서는 숙련도 평가를 받는 전문검사인력의 육안검사법이 아닌, 현장작업자를 통한 육안검사를 수행하고 있다. 이때의 육안검사 방식은 표준 원단(견본)과 공정 간 생산된 원단 사이의 직접비교 방식을 적용하고 있는데, 색차판정 시 전문검사인력에 의한 판정보다는 작업자 개인의 성향 혹은 작업 수행방식에 따라 다르게 판정 될 수 있다. 이러한 점은 색상으로부터 기인하는 품질문제에 대한 잠재적 위험요인이 된다.

따라서 측색장비가 부재한 산업현장에서 육안에 따른 색차판정에서 기인하는 오류를 줄이기 위해 많은 방법들이 논의되어 왔는데, 그 해결책으로서 디지털 화상 장비를 활용하여 생산현장 내에서 PVC 컬러용지의 인쇄색상에 대한 색차판별 가능성을 확인하기도 하였다[12].

섬유제품의 색은 주변의 조명환경에 의해 영향을 받기 때문에, 외부환경에 대한 영향성을 줄이는 것이 명확한 색차판별의 필수요소이다. 따라서 다른 화상장비에 비해서 외부환경의 영향이 가장 적은 스캐너는 인공 신경망

Table 1. Example of Allowance by Color[10]

Color Tolerance	Color Difference (ΔE)	The extend of color difference	Standard
Avaluative Level	0 ~ 0.2	The extent that Human can't discriminate. It is impossible to measure the color differences using the special adjusted measuring instruments.	-
The limit of discrimination	0.2 ~ 0.4	It is possible to measure the color differences in the range of 0.2 ~ 0.4, using the special adjusted measuring instruments. The people who was trained can distinguish.	JIS L 0804/0805
Grade AAA color tolerance	0.4 ~ 0.8	This is the limit to set up the strict color difference standards with the decision of the human visual.	The particular strict standards stipulated between the persons concerned
Grade AA color tolerance	0.8 ~ 1.6	People can tell the color differences, if samples are put side by side.	The standard of the Defense Agency and National Police Agency. The standard of general ship inspection.
Grade A color tolerance	1.6 ~ 3.2	In color comparison, this level is regarded as unrecognized and same color in general.	JIS Z 8721 JIS L 0809 The color tolerance of general color chips.
Grade B color tolerance	3.2 ~ 6.5	Each colors of this range are regarded as the same colors. But the clients concerning paints and inks industry will make complaints about the color difference.	The allowable color difference in color management in general.
Grade C color tolerance	6.5 ~ 13.0	This color tolerance corresponds to the color difference of JIS standard color chips.	JIS S 6006/6007/6016/6020/6028
Grade D color tolerance	13.0 ~ 25.0	Each colors over ΔE 13 are not same color anymore.	JIS D 0202 JIS E 3701 JIS Z 8102/9101/9102/9107

(NN, Neural Network) 모델과의 결합을 통해서 섬유 제품의 RGB 이미지를 CIE XYZ 색공간으로 변환하여 영상처리 기반의 색상 검사에 활용되기도 하였다[13].

또한 디지털 화상장비와 색차 판별 관련 영상처리 기법은 섬유제품의 품질 및 결점 검사에 적용되었으며, 이를 통해서 이미지 처리를 위한 간이 화상 장비의 활용 가능성이 확인되었다[14,15].

이에, 본 연구에서는 디지털 화상 장비인 스캐너를 활용하여 섬유 제품의 색차판정 가능성에 대한 연구를 수행하였으며, 간이 색차분석 기법 최적화를 통해서 섬유산업에 종사하는 중소기업체의 품질관리 기법에 대한 새로운 방향성을 제시하고자 하였다.

2. 본론

2.1 연구방법

2.1.1 기구

본 연구에 사용된 디지털 화상 장비는 평판스캐너이며 대상 모델은 CANON 사의 MF8240CW 모델과 EPSON 사의 DS-5500 모델을 사용하였다. 색상분석은 측색기인 Konica Minolta사의 CM-700D를 사용하였다. 획득한

이미지 처리에는 Java 기반의 오픈소스 이미지 처리 프로그램인 Image J(NIH, USA)를 사용하였다.

2.1.2 이미지 변환

디지털 화상 장비를 이용하여 획득한 이미지 정보는 RGB색공간으로 저장되므로, 색차분석을 위한 CIE LAB 값으로 변환하기 위해서 Fig. 2와 같은 변환과정을 거쳤다.

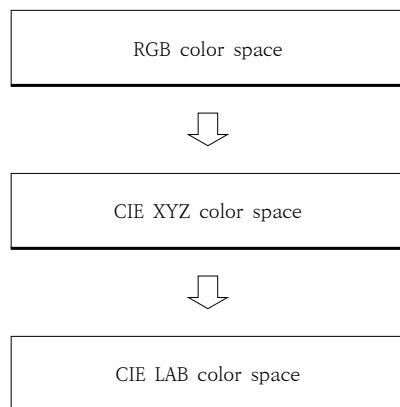


Fig. 2. Color space transformation from RGB to CIE LAB color space

RGB 정보를 CIE XYZ 색공간으로의 변환 시에는 디지털 화상 장치를 통해서 획득한 이미지의 색 정보를 아래의 계산식을 통해 선형적으로 변환하였다[7].

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

인간의 색인지는 빛의 파장에 따라 비선형적인 관계를 갖기 때문에, 선형적인 CIE XYZ 색공간을 인간의 시각 특성을 반영하여 설계된 비선형적 CIE LAB 색공간으로 전환하였다. 색공간의 전환에는 아래의 계산식을 이용하였다[8].

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \text{if } t > (\frac{6}{29})^3 \\ \frac{1}{3}(\frac{29}{6})^2 t + \frac{4}{29} & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기에서 X_n, Y_n, Z_n 은 CIE XYZ의 X, Y, Z를 표준화된 색에 대해 정규화한 값이다.

디지털 화상장치를 이용한 이미지 획득에서부터 각각

의 색공간으로의 변환과정에 대한 실 적용사례는 Fig. 3과 같았다.

2.1.3 이미징 조건 최적화

디지털 화상 장비를 통한 이미지 획득 시, 이미지의 품질은 설정된 해상도에 따라 달라지는데, 해상도의 단위는 dpi(dots per inch)로 표현된다. dpi는 1 inch² 안에 표현되는 화소수를 말하며, 높은 값을 가질수록 저장되는 이미지에서 표현되는 화소수가 더 많음을 의미한다. 평판 스캐너를 통해 획득한 해상도별 이미지는 Fig. 4와 같다.

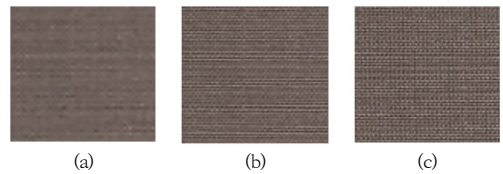


Fig. 4. Acquired RGBs images of Beige Gray colored fabric from flatbed scanner with different DPIs. (a) 75 dpi, (b) 150 dpi and (c) 300 dpi, respectively.

색차 판별을 위한 이미징 조건 최적화를 위해서 3가지 색상(베이지그레이, 포레스트그린, 초콜릿색)을 대상으로 하여 각각의 해상도별 획득 이미지에 대한 정량분석을 수행하였다. 분석에 사용된 이미지 정보는 Fig. 2와 3의 변환과정을 통해 RGBs에서 CIE LAB 색공간으로 Fig. 5와 같이 변환하였다.

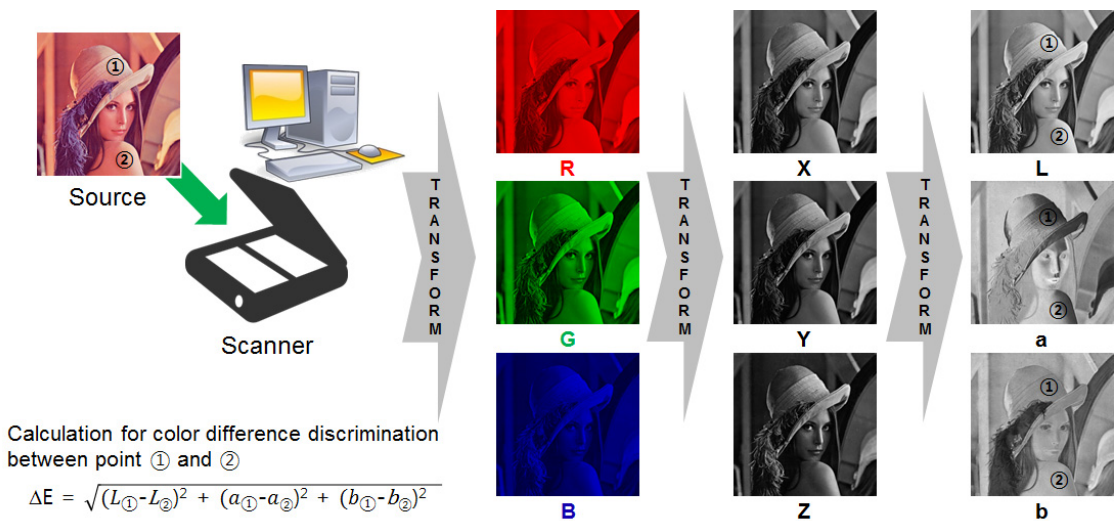


Fig. 3. The entire process of color difference discrimination using digital imaging device.

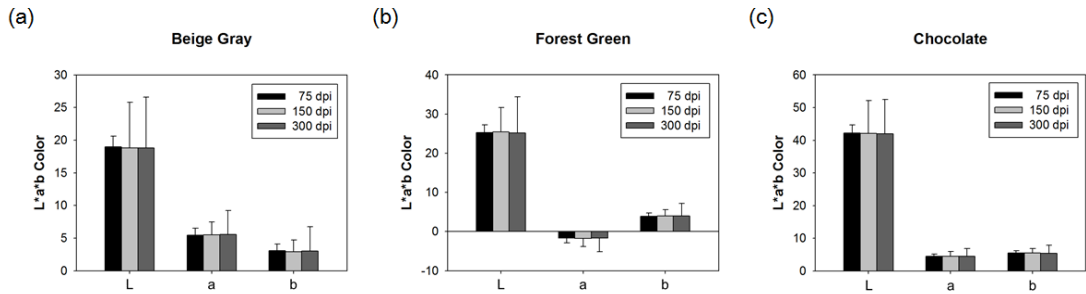


Fig. 5. Calculated CIE LAB values of (a) beige gray, (b) forest green and (c) chocolate colored fabric with 75 dpi images.

분석결과, 각각의 색상에서 해상도별 L, a, b 평균값은 유사하게 나타났으나, 해상도가 증가할수록 표준편차가 크게 증가하는 경향을 보이고 있었다.

이러한 경향은 해상도가 증가 할수록 표현되는 화소수가 늘어나게 되면서 직물의 패턴에 기인한 음영차 등에 따른 외부요인의 증가로 픽셀 간 편차가 크게 증가하기 때문으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 색상이외의 외부요인에 대한 영향력을 최소화하기 위하여 분석에 사용되는 모든 이미지는 75 dpi를 적용하였다.

2.2 이미징 기반의 색차 분석

2.2.1 상관관계 분석

이미징 기반의 색차분석이 간이 판별법으로 적용 가능함을 확인하기 위해 실제 측색계를 통해 측정된 색차 (ΔE)와의 상관관계를 파악하였다.

상관관계 분석에 사용된 색상은 군용 디지털 무늬에 사용되는 5가지 색상인 베이지그레이, 포레스트그린, 올리브그린, 초콜릿, 목탄색이며, 사용된 디지털무늬 원단 4종의 재질은 P/C 94급 2종(면, 레이온), N 80급 2종(170D, 1000D)을 사용하였다.

각 원단 별 색상의 색차 조합 40개($4 \times 5 \times C_2$)와 각 색상 별 원단의 색차 조합 30개($5 \times 4 \times C_2$)를 획득하여 총 70개의 실측값과 계산값 간의 상관관계를 회귀분석 하였다.

회귀분석 결과, 측색계에 의한 색차의 실측값과 이미징 기반의 계산값은 선형관계를 따르고 있었으며, 통계분석 결과 상관계수는 $R^2=0.969$ 및 유의한 F-값은 0에 수렴하고 있어 해당 회귀식은 유의할 뿐만 아니라 강한 상관관계를 보여주고 있었음을 정량적으로 확인 할 수 있었다. (Fig. 6 and Table 2)

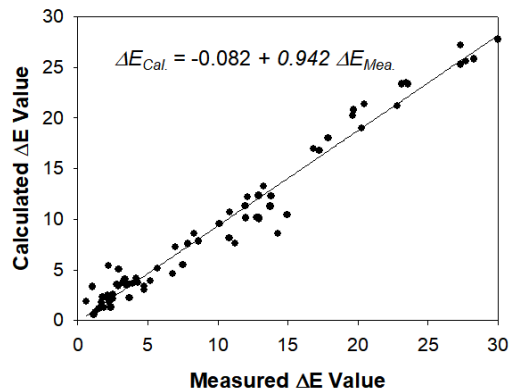


Fig. 6. Regression result from correlation between measured and calculated ΔE .

Table 2. Summary output for estimation of simple regression in Fig. 6.

SUMMARY OUTPUT			
Regression Statistics	R Square	0.969	
	Significance F of Regression	$5.12e^{-53}$	
ANOVA	Intercept	t Stat	-0.310
		P-value	0.758
	X1	t Stat	46.083
		P-value	$5.12e^{-53}$

따라서 상관관계 분석결과는 이미징 기반의 색차 분석법이 간이 색차 판정을 위한 도구로서 충분히 활용 가능하다는 것을 의미한다.

2.2.2 공정 간 색차분석

직물류의 경우 통상 롤 단위로 생산하여 로트를 구성하게 되는데, 간이 색차 판별법을 적용하여 공정 간 생산

되는 원단에 대한 색차 모니터링 기법으로서의 적용 가능성을 확인하였다.

이미징 단위를 100 × 100 mm으로 하여 하나의 롤을 대상으로 전체 원단의 19개 영역에서 색차판정을 진행하였으며, 표준색상과의 색차를 확인한 결과는 Fig. 7, Fig. 8과 같았다.

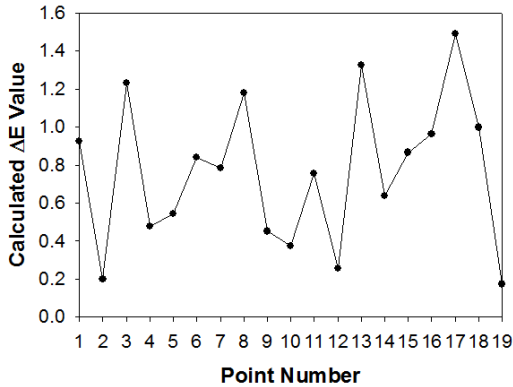


Fig. 7. Result of the rapid color difference discrimination from single fabric roll.

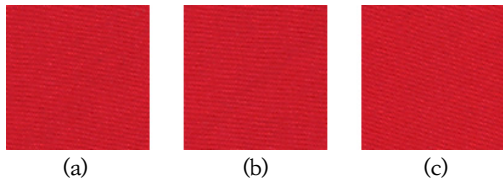


Fig. 8. Acquired RGBs images of fabric from flatbed scanner with different color tolerance. (a) Standard, (b) Avaluative Level($\Delta E=0.17$, Point No. 19) and (c) Grade AA color tolerance($\Delta E=1.49$, Point No. 17), respectively.

확인결과, 측정된 19개소에 대한 색차는 최저 0.17 (19번)에서 최대 1.49 (17번)에 이르는 것으로 나타났으며, 이는 해당원단이 Table 1에서 언급한 “Grade AA color tolerance” 이상으로 생산 중임을 확인 할 수 있었다.

아울러 우리는 공정 간 이미징 기반의 색차분석을 통해서 색차판별에 국한되지 않고 색차에 영향을 주는 색인자까지 분석 가능함을 확인 할 수 있었다. Fig. 9에서는 각 측정 부위별 색차를 구성하는 ΔL^2 , Δa^2 , Δb^2 값의 경향을 보여주고 있으며, 색차에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 Δb 임을 직관적으로 확인할 수 있었다. 이

를 통해서 우리는 해당 공정의 관리 대상은 Δb 영역임을 파악 할 수 있었다.

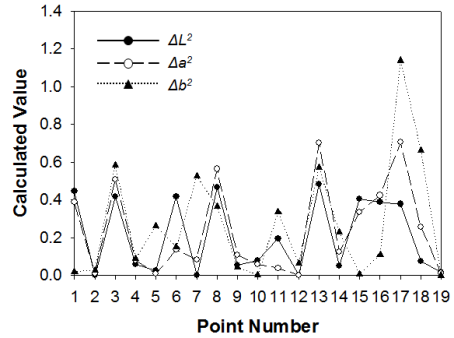


Fig. 9. Analysis result for the component of ΔE . Dot and line indicates ΔL^2 . Open dot and dashed line indicates Δa^2 . Triangle and dotted line indicates Δb^2 .

2.2.3 로트 간 색차 분석

피복제품은 다른 공산품과 마찬가지로 대량으로 생산되기 때문에 로트 별 품질 편차를 최소화 하는 것이 필수로 요구된다. 특히, 색상의 경우에는 소비자들이 별도의 측정 장비 없이도 육안 확인이 가능하기에 이에 대한 품질관리는 중요한 요소이다.

따라서 간이 색차 판별법을 통해서 제품의 로트별 색차분석 가능 여부를 확인하였다.

시험에 사용된 원단 및 색상은 군용 피복류에서 흔히 사용되는 N66 500D 디지털 무늬 원단을 대상으로 2개 업체에서 생산되는 원자재를 사용한 동일 품목에 대한 색차 분석을 수행하였고, 그 결과는 Fig. 10과 같았다.

분석결과, 베이지그레이, 포레스트그린, 목탄색 3종의 색차등급은 “Grade AA color tolerance (0.8~1.6)” 수준을 보여주었으며, 올리브그린, 초콜릿색의 경우에는 그 보다 낮은 “Grade A color tolerance (1.6~3.2)” 수준을 보이고 있었다.

올리브그린과 초콜릿색의 경우 다른 색상에 비해서 다소 색차가 큰 것을 확인 할 수 있었는데, 구성요소 별 분석을 통해서 확인한 결과는 Fig. 11과 같았다. 올리브그린 색상에서는 Δb 영역이, 초콜릿 색상에서는 ΔL 영역이 각각의 색차 등급을 결정하는 중요한 요소임을 알 수 있었으며, Fig. 12를 통해서 해당 색상 별 시각적 차이를 육안으로 확인 할 수 있었다.

3. 결론

본 연구는 중소·영세 업체들이 대다수인 섬유 산업군에 속해 있는 업체들을 대상으로 품질관리 능력 향상을 위한 방법론을 제시하고자 디지털 화상장비를 활용한 간이 색차 판별법에 관한 연구를 수행하였다.

섬유제품에서 색상은 소비자가 단순히 육안만으로도 품질을 판단 할 수 있는 요소로서, 생산업체에서는 공정 간 품질 편차를 최소화 하는 것이 무엇보다 중요한 사항이다. 하지만, 색상관리를 위해서는 고가의 측색계를 이용하기 때문에 대다수의 중소·영세업체들은 사실상 색상에 대한 정량적 품질관리가 취약한 실정이다.

이에, 본 연구에서는 우리가 주변에서 흔히 이용할 수 있는 디지털 화상 장비를 활용하여 간이 색차판별법을 적용하였고, 그 활용 가능성을 확인하였다.

이미징 프로세스 기반의 간이 색차판별법은 실제 측색계를 이용한 색차 결과와 비교 했을 때 높은 상관계수를 갖는 다는 것을 회귀분석을 통해서 확인 가능하였다. 또한 생산현장에서 해당 방법에 대한 실제 적용을 통해 공정 간 및 로트 별 색상 관리법으로의 활용 가능성을 확인 하였을 뿐만 아니라, 색차를 구성하는 3개 요소인 ΔL , Δa , Δb 중 어떠한 요소가 가장 큰 영향을 끼치는 품질인자 인지 동시에 파악 할 수 있었다.

본 방법은 일반 상용 평판 스캐너를 통해 얻어진 단순한 이미지만을 사용하여 적용하였는데, 만약 이미지 보정 등의 전처리 과정을 추가로 연구하여 포함 시키게 된다면, 보다 정밀한 색차 판별이 가능해 지리라 판단하며 더 나아가 측색계를 대체 할 수 있는 방법론으로 적용가능 하리라 판단된다.

아울러 KS K ISO 105-A02[11]의 국가표준에서는 전문가 집단의 육안검사를 통해서 색차 등급을 판정하고 있는데, 본 연구에서 제안하는 이미징 기반의 정량적 판별법과 전문가 집단의 육안판별 결과를 비교/분석한다면, 본 연구에서 제안하는 색차 판별법을 좀 더 정교화 할 수 있으리라 기대한다.

References

[1] S. Seo, "A Study on 3D Visualization for Color Analysis of Multimedia Data", *Journal of Digital Contents Society*, Vol.19, No.8, pp.1463-1469, Aug. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.9728/dcs.2018.19.8.1463>

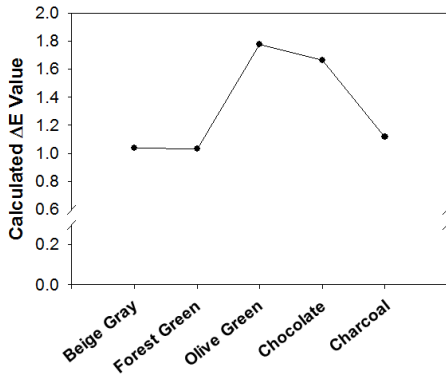


Fig. 10. Result of the rapid color difference discrimination between different fabric supplier.

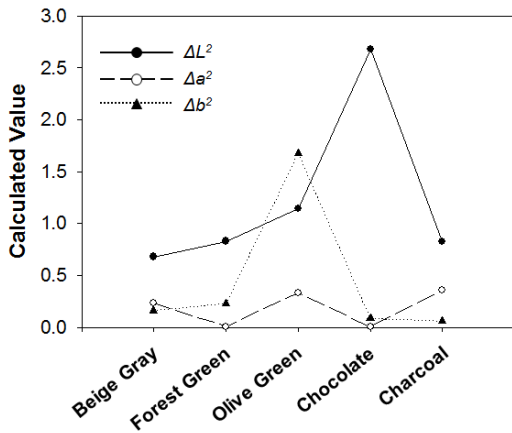


Fig. 11. Analysis result for the component of ΔE . Dot and line indicates ΔL^2 . Open dot and dashed line indicates Δa^2 . Triangle and dotted line indicates Δb^2 .



Fig. 12. Acquired RGBs images of "Grade A color tolerance" fabrics from flatbed scanner.

[2] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Imaging Process 4th Ed.*, Pearson, 2017.

[3] A. R. Smith, "Color Gamut Transform Pairs", *Computer Graphics*, Vol.12, No.3, pp.12-19, Aug. 1978.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1145/965139.807361>

[4] R. W. G. Hunt, *The Reproduction of Colour 6th Ed.*, Wiley, 2004.

[5] T. Smith, J. Guild, "The C.I.E. Colorimetric Standards and their Use", *Transactions of the Optical Society*, Vol.33, No.3, pp.73-134, 1931.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1088/1475-4878/33/3/301>

[6] J. W. Kimball, *Biology 6th Ed.*, Wesley Publishing Company, 1993.

[7] H. S. Fairman, M. H. Brill, H. Hemmendinger, "How the CIE 1931 Color-Matching Functions were Derived from the Wright-Guild Data", *Color Research and Application*, Vol.22, No.1, pp.11-23, Dec., 1998.
DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6378\(199702\)22:1<11::AID-COL4>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6378(199702)22:1<11::AID-COL4>3.0.CO;2-7)

[8] M. Tkalcic, J. F. Tasic, "Colour Spaces: Perceptual, Historical and Applicational Background", *The IEEE Region 8 EUROCON 2003. Computer as a Tool*, IEEE, Ljubljana, Slovenia, pp.304-308, September 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1109/EUROCON.2003.1248032>

[9] R. Kusumaningrum1, H. M. Manurung, A. M. Arymurthy, "CIELab Color Moments: Alternative Descriptors for LANDSAT Images Classification System", *Journal of Informatics, Control Systems and Computers*, Vol.8, No.2, pp.111-116, Nov., 2014
DOI: <https://dop.org/10.14203/j.inkom.409>

[10] Nippon Denshoku Industries Co., LTD., Examples of Allowance by color, http://nippondenshoku.co.jp/web/english/colorstory/08_allowance_by_color.htm, 2007.

[11] Korea Agency for Technology and Standards, KS K ISO 105-A02 Textiles-Test for colour fastness-Part A02: Grey scale for assessing change in colour, 2014.

[12] H. Im, M. Kim, "A Sstudy on Color Difference Discrimination for PVC Deco-Film using Entry-level Digital Device", *The Journal of Society for e-Business Studies*, Vol.22, No.1, pp.01-13, Feb. 2017.
DOI: <https://doi.org/107838/jsebs.2017.22.1.001>

[13] B.-M. Chung, C-S Cho, M.-J. Park, "Color Inspection of Printed Texture using Scanner and NN model", *2004 IEEE International Conference on Industrial Technology(ICIT)'04. 2*, IEEE, Kuming, China, pp.1100-1105, December 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICARCV.2004.1469436>

[14] K. Kim, C. J. Lee, P. Y. Cheol, J. Kim, "A Real-Time Inspection System for Digital Textile Printing", *Textile coloration and finishing*, Vol.20 No.1, pp.48-56, Feb. 2008.
DOI : <http://dx.doi.org/10.5764/TCF.2008.20.1.048>

[15] H.-J. Lee, E-J. Kim, Y-B. Lee, "Automatic Recognition

of Local Wrinkles in Textile Using Block Matching Alorithm", *The KIPS Transactionsty*, Vol.6, No.11, pp.3165-3177, Dec. 1999.

박 재 우(Jae Woo Park)

[정회원]



- 2009년 8월 : 서울대학교 화학생물공학부 (공학석사)
- 2015년 2월 : 서울대학교 멀티스케일기계설계전공 (공학박사)
- 2015년 3월 ~ 8월 : 서울대학교 정밀기계설계연구소 박사 후 연구원
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

국방품질경영(화학/화학방 분야)

변 기 식(Kisik Byun)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한양대학교 전자통신 컴퓨터공학부 (공학사)
- 2015년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

마이크로파 회로, 국방품질경영(전자/통신 분야)

조 성 용(Sung-Yong Cho)

[정회원]



- 2011년 2월 : 인하대학교 식품영양학과 (이학사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

품질경영, 식품공학, 식품영양

김 병 순(Byung-Soon Kim)

[정회원]



- 2008년 9월 : 충남대학교 유기소재·섬유시스템 공학 (공학석사)
- 2011년 9월 : 요코하마국립대학교 환경공학부 환경생명학전공 (공학박사)
- 2011년 10월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

〈관심분야〉

국방품질경영, 유기소재, 환경공학

오 준 호(Jun-Ho Oh)

[정회원]



- 2014년 2월 : 건국대학교 자연과학대학 화학과 (이학사)
- 2013년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

품질경영, 화학공학