

염색공정 색상관리를 위한 디지털 응용기술

박성수 · 전두환¹

1. 서론

노동 집약적이며 대량 생산체제인 섬유산업 중에서도 가장 대표적인 염색산업은 최근, 다품종 소량 생산, 고부가가치 제품의 단납기 생산, 품질 표준화 및 균일화 등의 실현이라는 현실에 직면해 있다. 나일론, 폴리에스테르가 처음 개발되고 양산이 되던 시대와는 달리 지금은 화학 섬유의 신소재 개발과 제직기술 등, 일부 산업용 특수섬유를 제외한 일반 제품에 있어 소비자에게 충격을 줄 수 있는 획기적인 신소재, 신제품 개발에 한계성을 드러내고 있다. 의류의 경우, 지금은 제품의 브랜드, 스타일, 색상 등이 제품의 가치를 결정하는 기준이 되고 있다. 특히 제품이 고급화될수록 색상 표현을 위한 염색기술의 수준은 매우 중요하다. 고급 제품의 대표적인 생산국인 이태리의 경우, 염색에 적당한 물과 색상 감각에 기반한 뛰어난 염색기술을 바탕으로 초일류 섬유대국이 될 수 있었으며, 베네통과 같이 색상 표현 자체의 특징만으로도 브랜드 가치를 엄청나게 높일 수 있는 회사를 탄생시킬 수 있었다. 지금의 섬유제품은 색상의 선택과 이에 따른 염색기술의 수준이 곧 고부가가치 제품 개발에 가장 기본이 되고 있다.

2. 색상관리 현황

2.1. 색상관리의 필요성

일반적인 염색공정의 색상관리를 살펴보면, 먼

저 염색을 의뢰할 원단 디자이너가 색상 견본을 염색공장에 보내면 염색공장의 실험실에서는 색상 견본을 바탕으로 시험 생산을 하게 된다. 디자이너는 시험 생산된 샘플로 최종 제품 생산자와의 상담을 통하여 색상 결정을 하고, 최종적으로 염색공장에 본 생산의뢰를 하면 염색공장에서는 시험생산 색상과 그들의 색상견본에 근간하여 제품을 생산한다.

한편, 일부 선도적인 공장을 제외하고는 이러한 과정에서의 색상 관리를 대부분 육안으로 하고 있다. 때로는 의뢰한 색상과 시험 생산한 색상 그리고, 시험 생산한 색상과 본 생산한 색상, 반복 생산을 의뢰한 색상과 이에 따른 재생산 시 발생한 색상의 차이 때문에 최종 제품 생산자와 의뢰인 그리고, 염색공장과의 마찰과 충돌이 발생하여, 이로 인해 법정까지 가는 경우도 있다. 그러나 색상이란 사람에 따라 그리고, 조명 등 주위 환경에 따라 다르게 보인다. 염색 공정에서도 염료 제작사의 생산 단위 룩트와 전후 공정의 조건에 따라 색상이 다르게 생산되므로, 어떠한 경우든 의뢰인의 요구와 반복생산시 그 색상을 100% 맞출 수 없는 것이 현실이다. 그러나, 소비자들의 고급품에 대한 선호의 증가와 고부가가치 염색제품을 생산하기 위해 각각의 과정에서 발생하는 색상의 차이를 최소화하는 방법을 연구하여야 한다. 그 필요성은 염색공장뿐 아니라 제품의 색상을 선택하는 최종 제품 생산자와 염색 의뢰자까지 연계된 통합적 관리가 필수적이다.

Digital Technology for Color Management in Dyeing Process/Seong Soo Park and Du Hwan Chun¹

(주)앞선사람들 대표이사, 경북 경산시 대동 214-1 경북테크노파크, Tel: 053)356-5663 Fax: 053)355-5663

e-mail: sspark@upsonkorea.com

¹영남대학교 섬유패션학부

2.2. 체계적인 색상관리의 기본 요소

염색공정에 있어 체계적인 색상 관리를 위한 기본적인 요소는 다음과 같다.

- 기본 색상(color DB)
- 색상 배합 및 처방
(color matching & recipe)
- 색상 모사(color simulation)
- 색차관리(color difference management)

견본색상은 의뢰한 색상을 빠른 시간에 정확하게 처방하기 위해서 그 공장에서 사용하는 염료와 생산 조건에 맞게 가장 기본적인 색상에 대한 배합을 DB화 한 것이다. 의뢰된 색상은 견본색상을 기본으로 배합의 정도가 첨삭되어 다시, 색상 합이 되고 이에 대한 염료의 배합 처방을 내려 시험생산을 통한 색상모사를 한다. 이 과정에서 발생하는 색상의 차이를 줄이기 위해 나름대로의 경험적인 방법으로 색차관리를 한다.

3. 색상관리를 위한 디지털 응용기술

3.1. 디지털 색상의 본질

여기에서는 일반적인 디지털 색상의 본질에 대하여 설명한다.

색과 반사율 : 우리의 눈에 들어오는 광선은 약 380~780 nm에 이르는 파장에 속하는 부분이며 이를 가시광선 영역이라 한다. 우리가 흔히 말하는 무지개빛이란, 이 가시영역의 광선이 분광된 것으로서 780 nm부터 380 nm까지 7가지 색상으로 보이게 된다. 그리고, 이 파장범위를 약간 벗어나는 부분은 우리의 눈에는 보이지 않지만 친숙한 것으로서 780 nm에 이웃하면서 780 nm보다 파장이 큰 빛을 적외선, 380 nm에 이웃하면서 380 nm보다 짧은 파장의 빛을 자외선이라고 한다.

우리의 눈에 들어오는 빛은 물체에서 반사되는 광이며 흡수되는 광은 보이지 않게 된다. 즉, 400 nm 근처에서 많이 반사되고 높은 파장범위에서 적게 반사되며 흡수가 많은 물체는 붉은 색상으로 느껴지고, 700 nm 근처에서 반사율이 많고 다른 파장영역에서 적게 반사되고 흡수가 많

은 물체는 푸른색으로 감지가 된다. 일반적으로 반사율은 %로 표시되며, 전파장에 걸쳐 반사율이 낮으면 검은색, 전 파장에 걸쳐 반사율이 높으면 흰색으로 보이고, 100%가 넘는 반사율은 형광색으로 나타난다.

색을 측정한다는 것은 각각 감각이 다른 수많은 사람들에 대하여 각자 색이 어떻게 보이냐를 측정하는 것은 아니다. 어떤 규정을 설계하여 표준화된 인간의 색감각이라고 하는 것을 규정해 놓고 이와 같은 색감각의 기준으로 어떻게 색이 보이는가 하는 것을 예측하는 것이다. 그러므로 측색이라고 하는 것은 “색이 이렇게 보인다”라는 것을 측정하는 것이 아니라 “일반적으로 이렇게 보일 것이다”하고 예측하는 것을 인식할 필요가 있다.

computer color matching(CCM)에서 사용되는 측색기는 이 가시광선 영역의 반사율을 10 nm 또는 20 nm 간격으로 측정할 수 있게 만든 도구로서 인간의 눈에 가깝게 색상이 보이도록 만들어 놓은 것이다. 이러한 측색기는 어떠한 경우에도 보이는 대로의 색상은 측정할 수 있으나 질감이나 요철에 대한 것은 무시되므로 인간이 눈으로 보는 색과는 차이가 난다고 할 수 있다.

우선 우리가 눈으로 물체를 볼 때 조명이 필요하다. 이 조명이 색을 좌우하는 제1의 요인이 된다. 다음으로는 색물체가 갖고 있는 광학적 성질 즉 spectral 광(分光)중에 어느 광을 많이 흡수하고 반사하느냐에 따라 인간의 색감각을 자극하게 되고, 최종적으로 색을 느끼게 된다.

K/S와 반사율 : 모든 물체의 색은 색채특유의 반사율을 갖고 있으며 색상이 밝을수록 반사율은 높아지고 색상이 어두울수록 낮은 반사율을 보이고 있다. 그러나 염료는 그 반대 현상을 지니고 있으며, 색상이 밝아서 반사율이 높을수록 염료의 농도는 적어지고 색상이 진하여 반사율이 낮을수록 염료의 농도는 높다. 따라서 혼합된 염료로 염색을 할 때 각 염료의 반사율을 더하면 반사율이 높아지므로 염색결과와는 오히려 반대로 가게 된다. 이러한 관계는 산술적으로 식(1)과 같이 표현할 수 있으며, CCM계산의 기본이 되는 Kubelka-Munk식이라 한다.

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

K : 흡수계수, S : 산란계수, R : 반사율

반사율 R 이 커서 1에 가까울수록 K/S 가 0에 가까워지고 반사율 R 이 0에 가까워질수록 K/S 는 무한대에 이른다. 이렇게 만들어진 K/S 는 염료의 농도와 거의 비례하기 때문에 염료의 농도가 2배가 되면 K/S 는 거의 2배에 가까워지도록 되어있다.

보이는 색상: 인간의 눈에 보이는 색이 결정되는 3요소는 물체의 반사율, 조명의 분광분포, 관측자의 색감각이다. 우리가 보는 물체는 물체고유의 반사율을 갖고 있다. 조명이 변하게 되면 이 고유의 반사율과 조명의 분광분포가 서로 상호작용을 하게 되어 우리의 눈에는 다른 색으로 보이게 된다. 또한 우리 눈의 망막세포는 색을 구분할 때 반사율을 구분할 능력은 없고, RGB (red, green, blue)의 3가지 자극을 가지고 그 빛을 구분할 따름이다. 또한 인간의 눈은 상당히 감각적이기 때문에 감정에 따라 색상이 매우 다르게 보일 수 있다. 색을 보는 개인차이도 있으며, 서양인과 동양인과의 사이에도 색상이 다르게 보일 수도 있다. 대체로 동양인의 눈은 검은색 필터를 갖고 있으며 서양인의 눈은 컬러필터를 갖고 있어서 색상을 보는 눈은 동양인이 발달되었다고 하더라도 지나친 농담은 아니다. 따라서, 3요소 중 변하지 않는 것은 유일하게 물체고유의 반사율이며 주위의 조명은 언제나 변하게 되고 우리의 눈은 이들이 합쳐져서 느끼는 red, green, blue의 비율에 따라 물체색으로 보이게 된다.

메타머리즘(Metamerism): 조건등색(條件等色)이라고 하며 이것은 어느 특정한광원하에서 목표로 하는 색상과 우연히 일치하는 것으로 조건이 변하면 목표색과 틀리게 보이는 현상을 말한다. 우리가 색상배합을 할 때 전날 밤에 배합한 색상이 다음날이 되면 틀리게 보이는 이유는 위에서 기술된 3요소중 물체의 고유색을 제외하고는 조명과 인간의 색감각이 달라졌다고 볼 수 있다. 또한 이 2요소중 인간의 색감각을 동일하다

고 가정하면 결국 조명이 달라져서 두가지의 색상이 서로 다르게 보인다. 만일 색 견본에 사용한 염료조합과 공장에서 사용하는 염료조합이 다를 경우, 메타머리즘, 즉 조명이 달라지면 색상이 달라져 보이는 현상이 발생한다. 이 현상을 위에서 설명한 ‘보이는 색상’과 연관시켜 보면, 색견본에 사용되는 염료에도 각각의 고유한 분광반사율을 갖고 있고 공장의 염료도 이와는 틀리나 또한 고유한 분광반사율을 가지고 있다. 이렇게 서로 다른 염료로 조합을 시키면 염색된 피염물 고유의 반사율도 물론 달라진다. 그러나 어떤 특정한 조명하에서는 색상을 일치시킬 수 있게 되는데 이러한 매칭방법을 경험적으로 가장 많이 사용하고 있다.

메타머리즘 인덱스(Metamerism index): 컬러매칭을 컴퓨터로 하거나 경험적으로 하거나 표준이 되는 조명이 있으며, 이를 표준광이라 한다. 이 표준광을 기준으로 색상을 판별하기 위하여 멀티라이트박스(multi light box)를 사용하여 색상을 보기도 하고 아예 형광등 자체를 daylight로 바꾸어 버리기도 한다. 컴퓨터에서도 이 표준광을 미리 정해놓도록 되어 있어서 컬러매칭을 이 조명하에서 처방 작성한다.

경험적인 처방을 할 경우에는 염료조합을 사용하여 일단 염색을 해보지 않으면 다른 조명에서는 색상이 얼마나 달라지는지 예측할 수가 없다. 컴퓨터는 이러한 문제를 해결해 줄 수 있는 유일한 방법이라 할 수 있고, 하나의 색상을 배합하는데 다수의 염료조합들이 가능하다는 것을 보여 줄 수 있으며, 더욱이 메타머리즘 인덱스라는 수치까지 표현해 주기도 한다.

컴퓨터 컬러매칭을 실시하여 처방을 산출해 보면 시스템별로 차이는 어느 정도 있겠지만 어느 시스템이나 마찬가지로 여러 광원별로 수치를 표시하고 있다. 이 수치는 기준이 되는 표준광을 중심으로 제시된 조합으로 염색을 하였을 때 다른 조명에서는 어느 정도 차이가 날까하는 정도를 색차(色差)방식으로 표현한 수치를 말하는데 이를 메타머리즘 인덱스라 한다.

조명의 종류: 빛이 없는 곳에서는 색은 보이지

않으므로 색을 보려면 반드시 조명이 필요하다. 이 조명은 측색의 계산상 사용되는 것으로서 에너지 분광분포가 정확하게 규정되어 있다. 이론상 존재하기 때문에 실재는 없을 수도 있다. 예를 들면 자연광이라고 하는 것은 시시각각 변하고 기후, 계절에 따라 변하는 것이므로 동일한 광은 두 번 다시 있을 수가 없으나 이를 가정해서 설계하여 자연광의 대표적인 것은 이런 것이라고 규정해 놓을 수가 있다. 이와 같이 설계하여 이론상으로 만들어 규정해 놓은 것을 조명이라고 한다. 현재 CIE(국제조명위원회)에서 표준조명으로 규정해 놓은 것을 정리해 보면 다음과 같다.

- A 광원
백열전등을 대표하는 조명으로 텅스텐 전구를 정해진 에너지 분광분포를 갖도록 규정된 전압으로 점등시켰을 때의 조명으로 A 광원이라 한다.
- C 광원
복합광선을 대표하는 조명으로 측색학상 중요한 조명으로 사용되어 왔으나 자연광과 에너지 분광분포가 상이하어, 현재에는 D 광원으로 교체되었다.
- D 광원
국제적으로 가장 많이 인정되고 있는 조명이며 C광원보다 자연광에 가깝다. 현재 가장 보편적으로 널리 사용되는 것으로 D65가 있으며 CCM의 경우 거의 필수적으로 이 조명을 사용하고 있다.
- F 광원
형광등을 대표하는 조명으로 CWF(cool white fluorescent) 등이 있다.
여기서 D65는 흑체를 6500 K로 가열하였을 때 발생하는 광을 말한다.

3.2. 색의 표시

색의 결정은 물체색, 조명, 관측자의 3요소에 달려 있다. 이중 관측자는 측색기가 대신하므로 정해진 물체색과 조명(여기에서는 인공조명을 말한다)은 일정한 형태의 변수로 나타낼 수가 있다.

물체색은 측색에 의해서 반사율이 구해진다. 그러나 색에 대한 정보를 많은 반사율로 표현한다는 것은 여간 번거로운 일이 아니며 간단히 알아볼 수도 없다. 또한 인간의 눈에 들어오는 3자극치인 X, Y, Z(XYZ의 의미 참조) 값으로 나타내더라도 숙련자가 아니면 추정이 매우 어렵다. 따라서 색의 3속성인 색상, 명도, 채도를 3자극치인 X, Y, Z로부터 계산할 수 있는 방법이 고안되었으며, 최근에 가장 많이 사용하고 있는 것은 lightness(명도), chroma(채도), hue(색상)의 L*C*H* 표시방법이다.

XYZ의 의미 : 빛의 3원색이라고 하면 적색, 녹색, 청색을 말하며, 이 빛의 3원색을 동등하게 합하면 흰색이 된다. 실제로 컴퓨터에 의한 계산도 단위 3원색의 값과 반사율 및 조명의 에너지의 곱으로 이루어진다. X, Y, Z를 물체색의 3자극치라고 하며 X는 적색, Y는 녹색, Z는 청색을 의미한다(실제로는 약간 의미가 다르지만 이렇게 이해하는 것이 쉽다). 3원색은 가시광선전 파장에 걸쳐서 눈에 대한 자극의 정도를 나타낸 것으로서 CIE에서 수많은 사람들의 결과치를 모아서 규정하였다. 그리고 색상샘플을 보는 시야(CIE에서 2° 및 10° 시야로 규정)에 따라서도 차이가 있다고 규정해 놓았다. 조명은 에너지의 분광분포(가시광선의 전파장에 걸친 에너지분포)로서 표시하며 반사율은 측색기로 색을 측정하여 나온 색물체의 반사특성(입사광에 대한 반사광의 비율)이고, 색에 대한 표시는 위의 3가지 요소의 곱으로 나타낼 수 있다.

$X = \text{가시광선 파장별(조명에너지} \times \text{반사율} \times \text{적색단위계수)의 합}$

$Y = \text{가시광선 파장별(조명에너지} \times \text{반사율} \times \text{녹색단위계수)의 합}$

$Z = \text{가시광선 파장별(조명에너지} \times \text{반사율} \times \text{청색단위계수)의 합}$

이 식에서 살펴보면 반사율이 낮아질수록 X, Y, Z값은 '0'에 가깝고 반대로 반사율이 높아질수록 X, Y, Z값은 커지는데 최대의 수치(표준백색타일의 경우)는 약 100에 가깝도록 조절해 놓았다.

지금껏 많이 사용해 오던 Y_{xy} 표색계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x &= X / (X+Y+Z) \\ y &= Y / (X+Y+Z) \\ z &= Z / (X+Y+Z) \end{aligned}$$

즉, x, y, z 값은 물체의 3자극치의 합에 대한 적색 및 녹색, 청색의 비율을 나타내는 것이며 Y 값은 XYZ 의 Y 값을 그대로 사용한다. 예를 들면 $X=20, Y=20, Z=20$ 의 경우

$$\begin{aligned} x &= 20 / (20+20+20) = 0.33 \\ y &= 20 / (20+20+20) = 0.33 \\ Y &= 20 \end{aligned}$$

으로 계산되며 X, Y, Z 즉 물체색의 3자극치가 거의 동일한 수치이면 이것은 무채색에 가까운 것으로 판단이 될 것이다. 이러한 수치를 바탕으로 많은 색채전문가에 의해 개발되어진 색채표현 방식이 있지만, 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 것은 $L^*a^*b^*$ 표색계를 들 수 있다.

$L^*a^*b^*$ 표색계 (Color Space) : $L^*a^*b^*$ 는 현재 많은 산업분야에서 세계적으로 사용되고 있는 표색계이다. Figure 1은 $L^*a^*b^*$ 표색계를 표시한 것으로서 이 표색계는 1976년 CIE에서 Y_{xy} 표색계의 문제점을 해결하기 위해 규정한 것으로 균일한 색공간을 가지도록 되어 있다. Y_{xy} 표색계의 문제점이란 xy 좌표에서 두 지점간의

거리가 색차와 맞지 않는다는 점이다. $L^*a^*b^*$ 표색계는 상당한 개선을 본 것으로서 어느 정도의 균일한 색공간을 가지고 있다고 볼 수 있다. L^* 는 명도를 나타내고 a^* 와 b^* 는 채도의 좌표를 나타낸다. $+a^*$ 는 red 방향, $-a^*$ 는 green 방향, $+b^*$ 는 yellow 방향, $-b^*$ 는 blue 방향을 의미한다. 이 표색계의 좌표계산은 앞서 설명한 XYZ 가 기본이다.

$L^*a^*b^*$ 표색계는 L^*C^*h 표색계와 동일한 모델을 가지며 현재 주로 사용되는 것은 명도, 채도, 색상으로 표시되는 L^*C^*h 표색계를 들 수 있다.

L^*C^*h 표색계와 명도, 채도, 색상 : $L^*a^*b^*$ 표색계로 부터 명도, 채도, 색상의 표시가 가능토록 한 것이 L^*C^*h 표색계이다. L^*C^*h 표색계의 L^*, C^*, h 의 값은 $L^*a^*b^*$ 좌표로부터 식(2)를 통해 얻을 수 있다.

(1) 명도

명도는 L^* 의 값으로 표시되고 0~100의 범위를 가지며, '0'은 black, '100'은 white를 나타낸다.

$$L^* = L^*$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \tag{2}$$

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) : h = \text{hue angle (색상각)}$$

(2) 채도

계산식에서 보면 a^* 와 b^* 의 각 제곱의 합에

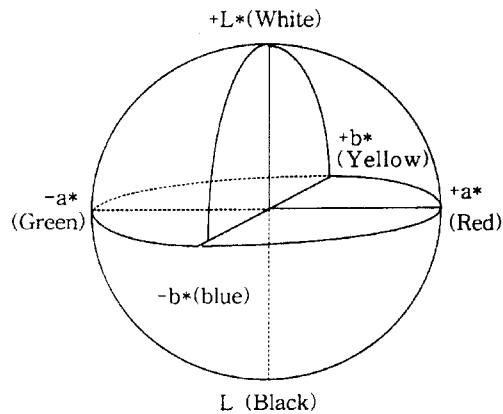


Figure 1. $L^*a^*b^*$ 표색계.

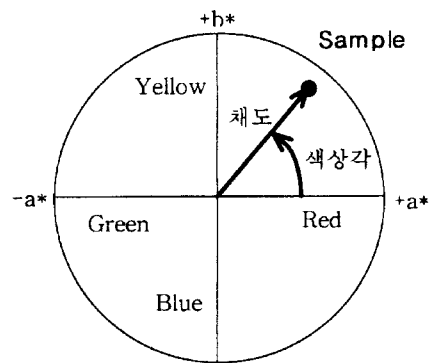


Figure 2. a^*b^* 그래프.

대한 제곱근으로 표시된다. 이것은 a*, b*의 평면좌표에서 중심으로부터 색의 위치까지의 거리를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 즉 C*가 클수록 L*a*b*의 가장자리로 가며 색상은 점점 맑아진다는 것을 알 수 있다.

(3) 색상각

원의 좌표에서 360도의 각으로 색상을 표시하는 것이다.

색차의 표시:

(1) 명도차의 표시

$$\Delta L^* = Lc^* - Ls^*$$

ΔL^* : 명도차

Lc^* : 비교샘플의 명도

Ls^* : 표준샘플의 명도

위의 식으로부터 ΔL^* 가 '+'이면 비교샘플의 명도가 높아서 밝다는 것이며, '-'이면 비교샘플의 명도가 낮아서 어둡다는 것을 나타낸다.

(2) 채도차의 표시

$$\Delta C^* = Cc^* - Cs^*$$

ΔC^* : 채도차

Cc^* : 비교샘플의 채도

Cs^* : 표준샘플의 채도

Figure 3, Figure 4와 같이 채도는 중심으로 부터의 거리를 나타내므로 채도차는 이 거리의 차이로 표시한다. ΔC^* 가 '+'이면 표준샘플 보다 비교샘플이 채도가 높아 맑다는 뜻이며 '-'이면 비교샘플의 채도가 낮아서 표준보다 맑지 못하다

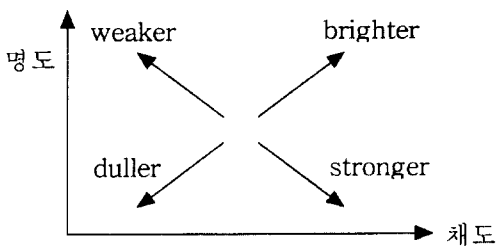


Figure 3. 섬유업계의 채도 표시방법.

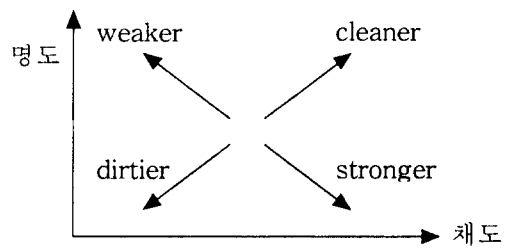


Figure 4. 페인트업계의 채도 표시방법.

는 뜻이다.

염색업체에서 사용하고 있는 채도에 대한 용어를 설명하면 표준샘플보다 명도가 높으면서 채도가 낮은 경우에는 'Weaker', 채도가 높은 경우에는 'Brighter', 표준샘플보다 명도가 낮으면서 채도가 낮은 경우에는 'Duller', 채도가 높은 경우에는 'Stronger'로 각각 표현하고 있다. 페인트 업계에서는 이와는 약간 다른 표현을 사용하고 있는데 위의 경우에서 각각 'Weaker', 'Cleaner', 'Dirtier', 'Stronger'로 표시된다. 참고로 일부에서 사용되고 있는 채도 표시방법도 Figure 5로 나타내 보았다.

(3) 색상차의 표시

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$$

ΔH^* : 색상차

ΔE^* : 종합색차

ΔL^* : 명도차

ΔC^* : 채도차

색상차의 계산은 언제나 양(+)의 표시로 나타나나 실제로는 비교샘플의 색상각이 표준샘플의

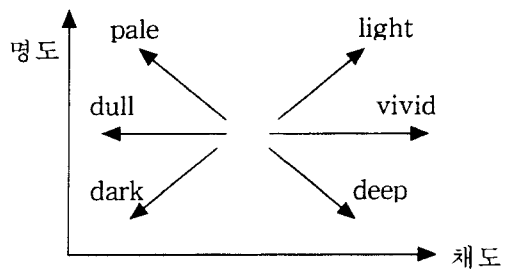


Figure 5. 일부업계에서 사용하는 채도 표시방법.

색상각보다 커서 ‘+’방향이면 ‘+’로, ‘-’방향이면 ‘-’로 나타낸다.

(4) 전체색차의 표시

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

ΔE^* : 전체색차

ΔL^* : 명도차

Δa^* , Δb^* : CIE $L^*a^*b^*$ 표색계에서의 a^* , b^* 의 차이값

종합색차 ΔE^* 는 CIE $L^*a^*b^*$ 표색계에서 두 샘플사이의 입체적 거리의 차이라고 할 수 있다.

색차의 실제계산 : 이상에서 언급한 색차들을 예를 들어서 설명하면 다음과 같은 실제 계산을 얻을 수 있다.

샘플S(표준샘플) :

$$L^* = 43.31 \quad a^* = +47.63 \quad b^* = +14.12$$

샘플C(비교샘플) :

$$L^* = 47.34 \quad a^* = +44.58 \quad b^* = +15.16$$

이들 값을 기준으로 종합색차, 명도차, 채도차, 색상차의 순서대로 계산하면, 다음과 같다. 종합색차는

$$\begin{aligned} \Delta E^* &= \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \\ &= \sqrt{(+4.03)^2 + (-3.05)^2 + (+1.04)^2} = 5.16 \end{aligned}$$

여기서 사용되는 각각의 값은 다음의 식으로 구해진 것이다

$$\Delta L^* = L_c^* - L_s^* = 47.34 - 43.31 = +4.03$$

$$\Delta a^* = a_c^* - a_s^* = 44.58 - 47.63 = -3.05$$

$$\Delta b^* = b_c^* - b_s^* = 15.16 - 14.12 = +1.04$$

명도차는

$$\Delta L^* = L_c^* - L_s^* = 47.34 - 43.31 = +4.03$$

로 표시되며, 채도차는

$$\Delta C^* = C_c^* - C_s^* = 47.09 - 49.68 = -2.59$$

여기에서 사용되는 채도의 값은 다음의 식으로 구해진다.

$$\begin{aligned} C_s^* &= \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \\ &= \sqrt{(47.63)^2 + (14.12)^2} = 49.68 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c^* &= \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \\ &= \sqrt{(44.58)^2 + (15.16)^2} = 47.09 \end{aligned}$$

또한 색상차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta H^* &= \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} \\ &= \sqrt{(5.16)^2 - (+4.03)^2 - (-2.59)^2} = 1.92 \end{aligned}$$

3.3. 개발 방향

다품종 소롯트, 고부가가치 제품 마케팅에 따른 생산 체제에서의 색상관리를 위한 디지털 응용기술 개발의 방향은 아래와 같다.

표준성, 창의성 : 단지 1개의 작품으로 평가되는 회화 등의 예술 작품에서의 색상의 의미는 생산의 의미나 재현성의 의미가 없으나, 염색 제품의 색상은 재현성을 전제로 한 색상의 선택이다.

염색 공정의 특성상 모든 색상을 생산하기도 어려우나, 생산이 가능한 색상의 한계를 정하고 표준이 되는 컬러북을 만들어 처방까지 DB화 할 수 있다. 이런 경우 디자이너의 기본 컬러북에서 색의 농도와 채도의 정도만 감안하면 선택한 색상의 생산 가능 여부에 고민할 필요도 없고 시험 생산을 줄일 수 있으며 생산 공장과의 마찰도 방지 할 수 있다.

이 부분에서 앞으로 디지털 응용기술의 적용이 가장 광범위하게 적용되리라 생각된다. 특히 디지털 방식으로 표준 컬러북이 작성될 경우 염료에 따른 생산 가능한 색상의 한계를 수치적으로 정확하게 나타낼 수 있으며, 농도와 채도의 정도에 따라 색상의 혼합 처방을 매우 정확하게, 쉽게 낼 수 있고 특히 디자이너가 의뢰한 색상과 생산한 색상과의 차이가 많이 나지 않을 뿐만 아니라 차이가 난다 하더라도 그 원인의 규명과 수정이 용이하게 되어 특히 디자이너에게 필요한 부분이다.

날염의 경우는 이미 CAD 시스템안에 Pantone, Scoti 등 세계 공용 칼라북이 내장되어 있으며, 이를 표준으로 색상을 선택하여 디자인 작업을 하고, 원단용 잉크젯프린터를 이용하여 샘플 출력력을 하며, 이 과정에서 디지털화된 색상의 데이터를 기존의 생산 현장의 색상 관리 시스템과 호환시켜 재현시키는 방법도 시도되고 있다.

디지털 방식의 색상 표현 및 생산관리 시스템은 기존 생산공정에서의 색상 표현의 한계에서 벗어나 새로운 색상을 생산할 수 있고 이를 표준화할 수 있다.

신속성, 편의성 : 표준화가 근간이 되면 디자인하는 색상의 선택이 매우 용이하고 빠르게 이루어지며, 생산 공장에 의뢰할 경우 공장 역시 염료의 배합이 용이하고 신속하게 이루어진다. 수정된 색상으로 의뢰되더라도 이미 디지털화된 기초 데이터에 의해 작업이 이루어지므로 신속성과 편의성에 의해 매우 합리적이고 과학적으로 색상을 관리할 수 있다.

정확성, 재현성 : 염색공정에서 디지털화된 기초 데이터로 색상 관리를 하면 정확성과 재현성은 충분히 적중될 것이다. 의뢰인의 입장으로는 결국 염색 제품의 품질은 색상 표현에 있어 정확성과 재현성이 가장 중요하므로 이를 위한 디지털 응용기술의 적용 필요성은 더 이상 강조할 필요도 없는 현실이다.

4. 색상관리를 위한 디지털 응용기술의 적용

4.1. 기본 개념

염색공장의 견본색상을 측색기(spectrophotometer)를 이용하여 컴퓨터에 입력시키면 CCM 소프트웨어는 입력된 견본 색상을 분석하고 각 견본 색상에 대한 염료 배합처방을 DB화시킨다. 새로운 색상이 의뢰되면 2색상은 다시 측색기로 입력되고 이미 DB화된 견본색상 처방 DB를 기본으로 분석되어 새로운 염료 배합처방을 내린다. 이러한 과정에서 기본적으로 측색기는 가시광선 내에서 색상을 분광 측색하고, CCM 소프트

트웨어는 color measurement, calibration, control, matching, DB program 등으로 운영된다.

디지털 응용기술로 처방이 내려지면, 시험생산(color simulation)을 하기 위해 실험실에서는 CCK의 장비를 이용, 염료를 자동배합할 수 있다.

(1) 디지털 응용기술을 이용한 염색공정용 기본 장비

- Spectrophotometer(측색기)
- Computer color matching[CCM] software
- Computer color kitchen[CCK]

(자동 염료 배합기)

염료 배합처방 및 시험생산을 위한 CCM, CCK는 이미 15년 전부터 단계적으로 국내에서도 도입되어 활용되고 있으며, 현재 전체 염색공장의 5~10% 정도가 사용하고 있다고 추정되고 있다. CCK의 경우 국산 제품도 성능이 검증되어 3,4개의 업체가 생산하고 있으며, CCM 소프트웨어도 1997년에 국산화에 성공하였으며, 외산에 비해 우월성이 인정되어 국내 시장의 경우 70% 이상을 점유하고 수출도 하고 있다.

4.2. 디지털 응용기술의 적용

색상 배합 : 색상배합 기술은 현재 지속적인 발전을 위한 개발과정에 있으며 다음과 같은 개발 단계로 나눌 수 있다.

- 초기단계 : 염료농도별 데이터베이스로 색상 처방을 계산
- 중기단계 : 수많은 염색결과를 입력하여 색상 검색 및 처방계산
- 발전단계 : 인공지능 및 실험실 factor 적용
- 완숙단계 : 실험실-현장간의 재현성

Table 1에서와 같이 색상 배합에 있어서의 디지털 응용기술은 많은 시행착오와 시간 낭비를 줄여 준다. 또한 육안으로 확인이 되지않는 색상 변화(메타머리즘)를 미리 예측하여 주므로 단납기 생산체제에서는 반드시 필요하다.

색차관리 : 생산 의뢰자와 생산자간에 색차관리에서 디지털 응용기술의 적용은 매우 객관적이므로 색상 차이에 따른 시간과 마찰을 줄인다.

Table 1. 수작업과 CCM을 이용한 색상 배합의 비교

수작업	CCM 작업
숙련자가 없으면 처방작성에 많은 시간이 소요되며 숙련자로 교육하는데 많은 시간 필요	단시간에 정확도가 높은 컬러매칭의 염색처방(시염처방)을 얻을 수 있다
경험적인 처방위주로 컬러매칭을 하므로 염료교체에 보수적	목표색상에 대하여 여러 조합을 동시에 구할 수 있으므로 가장 적합한 조합이 가능하다
새로운 색상매칭시 부적절한 염료조합이 있는 경우 많은 시험염색 후 확인 가능	선택된 염료조합 중에서 컬러매칭이 가능한 것과 불가능한 것을 확실히 식별할 수 있다
경험적인 처방에서 색상수정을 하므로 기본의 색상 외에 다른 염료를 사용하기 어려움	컬러매칭이 가능한 염료조합 중에서 계산된 처방을 염색해 보는 것만으로도 알 수 있다
염료선정은 눈으로 하기 때문에 조명에 의한 색상변화(메타머리즘)를 예측하기 어려움	메타머리즘의 영향을 염색해 보지 않아도 계산된 결과치 만으로도 알 수가 있다

종래에는 색상의 견본 하나하나를 육안으로 확인해 가면서 판단하였으나, 측색기가 개발되면서 색상을 수치로 표현할 수 있는 색공간이 확정되고, 색차표의 표시로 모든 색을 표현할 수 있도록 표준화를 실시하였으며 두 색상의 차이를 계산에 의해 수치로 표시할 수 있는 시스템이 개발되었다. 즉 의뢰된 색상이 디지털 시스템을 이용하여 색차를 계산하고, 의뢰된 색상과의 차이 값이 공감된 허용범위에 들어가면 시험생산 및 본 생산을 하게 되므로 수치 기록에 도덕적인 문제만 없다면 색맹인 사람도 색차를 관리할 수 있는 매우 객관적인 관리 시스템이다.

Color Communication : 생산 의뢰자와 생산공장 사이에는 끊임없이 색상에 대한 커뮤니케이션이 이루어지고 있다. 그러나 실제로 눈으로 확인이 않된 상태에서의 대화는 무의미하므로 결국 눈으로 확인한 후에 안심하게 되므로, 생산자와 생산 의뢰자 사이에 색상을 온라인으로 주고 받을 수 있다면 시간, 경비가 절감되고 납기 단축, 생산성 면에서도 많은 장점이 있다.

염색공정에서 색상의 선택, 생산, 색차관리에 관한 디지털 응용기술이 인터넷이나 유무선 네트워크를 통하여 커뮤니케이션이 될 수 있고 모든 자료가 DB화 될 수 있는 기술이 현실적으로 개발되고 있으며, 2~3년 내에 상용화 될 수 있을 것으로 판단된다.

색상 모사 : 색상 모사는 디자인된 색상을 실제

생산한 제품의 상황에서 볼 수 있도록 하는 시스템이다. 잉크젯프린터나 CCK가 이에 속한다. 잉크젯프린터는 CAD를 통하여 표출된 디자이너의 표현감각을 그대로 원단에 즉시 나타내어 볼 수 있다는 것이고 CCK는 본 생산 이전에 색상을 미리 미니사이즈로 생산할 수 있게 극소량의 염료를 배합하는 디지털 장비다. 디지털은 근본적으로 수치로서 커뮤니케이션되고 DB화되기 때문에 결국 색상을 눈으로 미리 판단하기 위해서는 이러한 simulation 장비의 기술 수준이 매우 중요하다.

5. 디지털 날염

염색제품에서 피염물 전면에 균일하게 착색시키는 침염제품의 생산공정 보다 문양을 부분적으로 표현하는 날염제품의 생산공정에서 디지털 응용기술이 가장 많이 적용되고 있다. 문양을 디자인하고 생산설계(제도)를 하며 형틀(제판)를 만드는 공정은 이미 CAD/CAM을 이용한 디지털 응용기술이 상용화되었다.

잉크젯 프린팅 방식을 이용한 날염제품 생산은 염색공정의 디지털 응용기술의 적용에서 가장 획기적이며, 이 방식은 우선 디자인 개발, 제품설계, 형틀 제작 등의 많은 공정과 시간이 소요되는 날염제품의 샘플생산을 위한 대체 수단으로 적용되고 있으며, 실제 시제품을 위한 극소ロット 생산에

직접 적용도 되고 있다.

그러나 잉크젯 프린팅으로 소비자에게 선 보여진 시제품이나 샘플이 실제 본 생산을 하기 위해 공장에 의뢰될 경우 잉크젯프린터에 사용하는 잉크(염료를 소재로 한 잉크)와 날염공정에서 사용되는 염료의 광학적인 특성이 일치될 수 없기 때문에 색상의 재현성에서 문제가 된다.

이러한 경우 기존 생산에서의 색상과 잉크젯 프린팅 방식에서의 색상을 서로 연결시켜 줄 수 있는 DB 형태의 color chart가 호환이 된다면 잉크젯프린터에 의한 샘플 생산이 매우 활성화될 것이다. 이러한 color DB는 잉크의 제한성(지정된 잉크사용), 염료선택의 일관성 등 여러 한계가 있으나 이미 개발 중에 있어서 머지않아 상용화가 이루어져 다양한 날염제품 개발에 큰 도움이 되리라 본다.

6. 결 론

섬유산업은 장치산업으로 분류가 되기도 하고, 노동집약적 산업으로 분류되기도 하며, 일부 사람들로 부터는 3D, 사양산업으로 분류되기도 한다. 많은 공학 분야가 그래왔듯이 섬유도 이론보다는 실제부터 출발하였던 관계로 조상들의 아이디어가 지금 섬유이론의 첫 출발이며 이론보다는 실제 적용 경험이 중시되어 왔던 실용학문이었다. 그러나, 방직, 제직, 편직 및 염색가공 공정 등 이미 많은 부분 공정자동화가 이루어졌으며, 디지털화가 진행되고 있다. 예를 들어, 제직의 경우 거의 모든 장치가 컴퓨터와 연계되어 필요한 설계를 컴퓨터를 통하여 얼마든지 원하는 조직을 만들어 낼 수 있을 정도로 디지털화가 보편화되고 있다.

염색산업은 아직도 장치산업겸 노동집약적인 산업 분류가 될 수 있을 만큼 사람이 제어하여야 할 공정들이 많으나, 이런 이유로 더욱 더 자동화 및 디지털화가 필요한 분야로 볼 수 있다.

한편 염색가공의 유통적인 측면에서는 오더 수

주에서부터 완제품에 이르기까지 품질관리가 색상의 관리라고 할 정도로 색상에 대해서 민감하며, 그만큼의 디지털화가 요구되고 있는 추세이다. 또, visual color의 색상관리도 실제의 눈으로 느끼는 색차를 더욱 정밀히 구현할 수 있는 방향으로 연구가 진행되어 가고있다.

유통단계에서의 color management, color communication은 점점 빠른 속도로 파급되어 가고 있으며, 머지않아 보편화의 수준에 이를 것으로 보여 아날로그 방식의 색상관리에서 디지털 색상관리로의 전환에 가속이 붙을 전망이다. 따라서, 이러한 색상관리 기술의 국내개발 및 표준화가 시급하며 이를 위한 통합색상관리의 모듈이 필요하다.

앞으로의 염색산업뿐 아니라 모든 섬유산업에서 디지털 응용기술의 개발 및 적용 방향은 단위 공정별 디지털 자동화의 단계를 넘어서 관련 자료의 DB를 바탕으로 한 통합 시스템의 개발로 진행되고 있다. 따라서 공정별 디지털 응용기술의 보편화를 위해서는 객관적인 DB 구축이 필수적이며, 색상관리를 위한 기술적인 특성상 이 분야의 디지털 응용기술의 개발은 염색 공정과 환경을 획기적으로 변화시킬 수 있는 매우 중요한 기술로 평가 될 것이다.

참고문헌

1. F. W. Billmeyer, Jr. and M. Saltsman, "Principles of Color Technology", 2nd Ed., Wiley Interscience, 1981.
2. 大田 登, "色再現工學の基礎", コロナ, 1997.
3. 納谷嘉信, "産業色彩學", 朝倉書店, 1994.
4. Precise Color Communication, MINOLTA, 1994.
5. 최은순, "디지털칼라와 칼라매니지먼트", (주)용진그래픽스, 1998.
6. 박성수, "컴퓨터컬러매칭을 위한 CCM의 허와 실", (주)앞선사람들, 1999.
7. 민근식, "디지털컬러의 세계", 성안당, 1996.