Spectrophotometer를 이용한 CCM의 원리와 적용

박성수, 박윤철*, 이범수*
(주)앞선사람들, *한국생산기술연구원 섬유소재본부

1. 컬러매칭

1.1. 컬러매칭의 역사

컬러매칭의 역사는 염색이 시작됨과 동시에 시작되었지만 컴퓨터 컬러매칭의 역사는 색상을 디지털로 표시하기 시작한 때부터이다. 하지만 색상식에 의한 계산으로 색상을 예측하는데는 많은 시간이 걸렸으므로 디지털 컬러매칭은 컴퓨터의 출현과 동시에 본격화되기 시작하였다.

CCM (computer color matching)의 제1세대라 불리우는 1960년대에는 컴퓨터로 계산은 가능하였으나 너무 큰 공간을 차지할뿐더러 가격이 높아 일반 염색공장에서 사용하기에 무리였기 때문에 색상 및 컬러매칭에 대한 연구만 계속되었을 뿐 일반화되지 못하였다. 제2세대로 분류되는 1980년대에 이르러 개인용 컴퓨터(personal computer)의 등장과 더불어 염색공장에서도 충분히 CCM을 보유할 수 있는 정도로 가격대가 형성되면서 CCM은 활성화되기 시작하여 기본의 컬러매칭 이론에 편의성 프로그램을 추가함으로써 컴퓨터 컬러매칭 분야는 급속도로 발전되기 시작하였고 많은 업체들이 사용하기 시작하였다. 개인용 컴퓨터의 발전으로 책상 위의 조그만 컴퓨터의 능력은 그 전에 사용하던 집채만한 대용량의 컴퓨터를 능가하게 되었고, 또한 이에 따른 소프트웨어도 연구, 개발되어 졌다. CCM 분야 또한 많이 향상되었고 보다 사용하기 편리한 프로그램으로 진보하게 되었다. 그럼에도 불구하고 CCM 사용자가 그다지 늘어나지 못한 원인은 염색공장 배색 기술자에 대한 디지털 컬러의 기초이론 교육이 부족하였고 CCM을 판매하는 전문가 조차도 염색과 색상분야의 전문가가 아니었기 때문에 공장에서 사용하기에는 한계가 있었다. 또한 정확하고 많은 데이터를 비축하여야만 제대로 된 처방을 작성할 수 있었기 때문에 공장에서는 많은 데이터 중에 정확한 것을 골라서 일일이 입력시켜야 하는 번거로움 때문에 CCM을 구입은 하였지만 제대로 활용하지 못했다.

제3세대로 분류되는 1990년대에 들어서서야 비로소 CCM을 제대로 사용할 수 있는 기회가 되었다. 컴퓨터의 동작환경이 DOS에서 Window로 편의성을 더해가고 컴퓨터 전문가가 아닌 일반인도 그래픽환경에서 쉽게 조작이 가능하여 컴퓨터에 의한 컬러매칭 작업도 수월해 졌다. 또한 프로그래밍의 발달로 컴퓨터의 판단이 많은 부분을 좌우하는 인공지능형 프로그램도 가능하게 되어 CCM도 염색공장에서는 반드시 필요한 디지털 장비로서 자리를 잡게 되었다.

대용량 컴퓨터의 크기가 작아지고 가격이 낮아져 보급이 늘어나고 인터넷의 발달로 communication이 real time으로 가능해 지면서 색상에 대한 빠른 판단과 신속한 결정이 필요하게 되었다. 섬유제품의 색상을 사람의 눈으로 관능적으로 평가하는 것은 객관적이지 못하고 비과학적이므로 spectrophotometer를 이용한 측색장치의 사용이 점점 늘고 있으며 이

제는 내수나 수출에 있어서 색차식에 의한 수치판정이 늘어나고 있다. 그리고 수치에 의한 색상관리를 함으로써 색상에 대해서 객관적인 평가가 가능하고 수요자-공급자간의 communication을 통한 표준화가 가능하므로 그 사용빈도는 점점 늘어날 것으로 예상된다.

1.2. 컬러매칭의 기초

컬러매칭은 목표로 하는 색상을 얻기 위하여 염료나 안료의 배합농도를 구하는 것이 목적이다. 컬러매칭용으로 사용되는 측색장치는 분광광도계(spectrophotometer)형 측색기로서 이 측색기를 이용하여 염색물을 측정하여 나오는 데이터가 사용한 염료농도에 비례하면 계산하기 쉬울 것이다. 즉 염료농도가 2배가 되면 측색치도 2배, 염료농도가 3배가 되면 측색치도 3배가 되어야 농도계산이 가능하다. 그러나 측색기로 색상을 측정하게 되면 측색기로부터 얻을 수 있는 데이터는 가시광선영역의 반사율로서 이것은 농도가 높아질수록 반사율이 낮아지므로 이를 그대로 염료 농도 계산에 반영할 수는 없다. 따라서 이 분광반사율을 어떠한 함수로 변환시켜서 농도에 비례하도록 값을 고쳐야 한다.

Kubelka-Munk함수는 1931년 Kubelka와 Munk라는 두 사람이 도장막(colorant layer)중에서 일어나는 광의 흡수와 산란에 대해 모델을 가정하고 그 모델 안에서 일어나는 광학적인 현상을 해석하여 유명한 Kubelka-Munk식을 제안하였다.

일반적으로 어떤 물체위에 안료로 착색하면 표면에서는 굴절율의 차이에 의해 일어나는 표면의 경면반사, 여러 방향으로 반사하는 산란반사, 표면에 평행하는 빛 등 여러 조건을 감안하면 매우 복잡하기 때문에 모델을 단순화하여 *Figure* 1와 같은 구조로서 가정하였다.

Figure 1에서 R_g가 되는 반사율을 가진 물체위에 두께 X가 되는 안료 층이 있고 내부에서 안료에 의해 산란된 빛 중에서 하부로 진행하는 산란광과 상부로 진행하는 산란광의 2가지를 가정하였다. 하

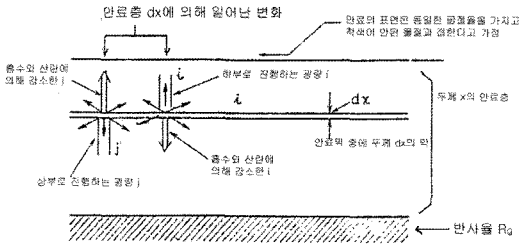

Figure 1. Kubelka-Munk 함수의 이론적 배경.

부로 진행하는 빛의 세기를 i 로 하고, 안료 층의 내부 중에 두께 dx의 층을 가정한다. 또 이 층에 의해 생기는 빛의 산란과 흡수를 전체층으로 확대하여 간다.

여기에서 dx는 X에 비하여 매우 작으나 안료입자의 직경에 비해서는 두꺼워야 한다. 이렇게 함으로써 개개의 안료입자에 대해서는 생각하지 않고 평균적으로 생각할 수 있게 된다.

여기에서 dx의 층에서 흡수되어 없어지는 상부방향의 광량은 Kidx로 표시될 수 있고 산란에 의해 없어지는 하부방향의 광량은 Sidx로 표시할 수가 있다.

K는 흡수계수(absorbtion coefficient), S는 산란계수(scattering coefficient)라고 하는 것으로 안료 층을 형성하는 안료에 관한 특별한 값이다.

K의 의미는 하부 방향으로 진행되는 광량이 단위두께의 층을 통과할 때 흡수되어 사라지는 부분이며 단위 층에서 흡수에 의해 변하는 변화량이란 의미에서 흡수계수라 한다. S는 단위두께의 층에서 일어나는 산란에 의해 사라지는 진행방향의 광량이다.

여기에서 단위두께라고 하는 것은 우리가 임의로 결정해도 무관하다. 예를 들어, 1 mm라든가 1인치라든가 경우에 따라 결정을 하면 된다. 그러나 실제측정은 1인치와 같이 두꺼운 층에서는 하기 어렵기 때문에 X라고 하는 얇은 막에 대하여 실시하고 이것은 단위두께인 1.0에 대한 값으로 환산한다.

K와 S는 단위두께의 안료 층에 의해 일어나는 흡수와 산란이므로 두께를 2배로 하면 이 값도 2배가

되고 두께를 반으로 하면 이 값이 1/2이 된다.

또 안료의 기준농도를 2배로 하거나 1/2로 하여도 이 값은 2배 또는 1/2이 된다. 따라서 K와 S는 기준농도, 기준두께를 정하는데 따라 변화하므로 이러한 조건이 없는 경우의 K와 S는 사용할 수 없는 것이다. 위의 그림(*Figure* 1)에 있어서 상부방향으로 dx를 통과하는 광속에 대해 보면 j라고 하는 광량이 dx두께의 층을 통과하므로 감소하는 광량은 Kjdx 및 Sjdx와의 합이다. 즉,

⇒ Sjdx + Kjdx = (S+K)jdx

가 된다. 그러나 이것은 감소가 되기 때문에 광량의 변화량으로서는 -부호가 되므로 -(S+K)jdx가 된다. 이 경우에 생각해야 할 것은 상부방향으로 진행하는 빛에는 하부방향으로 향하는 광량 i 중 dx의 층에서 산란되어 상부방향으로 진행되는 광량이 더해졌다는 사실이다. Kubelka-Munk의 해석으로는 안료 막의 표면에 수직으로 상하방향의 광량만을 고려하기 때문에 하부방향의 광량 i가 dx의 층에서 산란되는 성분 중 상부방향으로 향하는 빛은 Sidx가 된다. 이 상부방향의 산란광은 dx의 층에 의해 생기는 광량의 증가이므로 부호는 +가 된다. 이상에서 상부방향으로 향하는 광량이 dx의 층에서 일어나는 변화량 dj는 다음과 같다.

⇒ dj = -(S+K)jdx + Sidx

똑같이 하부방향으로 진행되면서 변화되는 광량 즉 하부방향으로 진행되는 광량 i가 dx의 층에서 일어나는 변화는 흡수 및 산란에 의하여 상실되는 성분은 아래와 같다.

⇒ Sidx + Kidx = (S+K)idx

또, 상부방향으로 진행하는 광량 j 중에 dx의 층에서 산란에 의해 하부방향으로 진행되는 광량은 Sjdx가 된다. 이상에서 하부방향으로 진행하는 광량이 dx의 층에서 일어나는 변화량 di는 다음과 같다.

⇒ -di =-(S+K)idx + Sjdx

여기서 di의 부호가 -인 것은 상부방향과 하부방향에서는 변화량이 서로 반대가 되기 때문이다. 즉 상부방향으로 진행되는 광량에 대하여 아래와 같다.

⇒ dj = -(S+K)jdx + Sidx

⇒ -di = -(S+K)idx + Sjdx

이 결과로 보면 사용하는 안료로 착색된 층에 대하여 K와 S의 값을 구할 수 있으면 광학적인 변화량을 예측할 수 있고, 안료층에서 일어나는 변화량을 구할 수 있으면 역으로 K와 S를 계산해 낼 수 있다. 이것을 여러 가지로 해석한 결과 Kubelka와 Munk가 안료층의 두께와 시료 뒷면의 반사율과, 시료 뒷면의 영향을 받지 않는 정도의 두께를 갖는 안료층의 반사율 R_∞와, 산란계수 S, 흡수계수 K와의 관계를 다음과 같이 규정하였다.

$$R=\frac{(R_g-R_\infty)/R_\infty-R_\infty(R_g-1/R_\infty)e^{sx(1/R_\infty-R_\infty)}}{R_g-R_\infty-(R_g-1/R_\infty)e^{sx(1/R_\infty-R_\infty)}}$$

R : 두께 X의 안료 층을 반사율 R_g가 되는 바탕색위에 놓았을 때의 반사율

R_g : R을 측정할 때 사용된 바탕색의 반사율

R_∞ : 안료 층을 충분히 두껍게 해서 더 이상 두께를 증가시켜도 반사율이 변화하지 않는 경우의 반사율

x : 안료 층의 두께로서 단위는 상관없음

S : 단위두께의 안료 층에 대한 산란계수

K : 단위두께의 안료 층에 대한 흡수계수

e : 자연대수 e = 2.71818

위의 식에는 S의 항은 포함되어 있으나 K의 항은 포함되어 있지 않다. L. Army는 두께 X의 안료층에 대한 반사율 R과 K, S의 관계에 대하여 다음과 같이 정리하고 있다.

$$R=\frac{S(1-e^{-2ax})}{K+S+a-(K+S-a)e^{-2ax}}$$

단, $a=(K^2+2KS)^{1/2}$

이 식에서 두께가 변하여도 반사율이 변하지 않는 상태, 즉 X=∞에 상당하는 상태를 가정하면 e

^{2ax}=0, $(K+S-a)e^{-2ax}$=0이 되기 때문에 위의 식을 다시 정리하면, 아래의 식처럼 된다.

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R_\infty)^2}{2R_\infty}$$

이 식은 현재 가장 폭 넓게 사용되고 있는 Kubelka-Munk식의 일반형이며 컴퓨터 컬러매칭의 기본이 되고 있다. 뒤가 비치지 않도록 충분한 두께를 가진 평면상의 시료에 대한 이론이므로 이 식을 이용하는 경우에는 이 이론의 배경을 충분히 이해할 필요가 있다.

이를 각 파장별로 하여 응용하여 이러한 모델에서 발생하는 흡수와 산란에 대하여 요약하게 되면 다음과 같다.

$\Rightarrow (K/S)_\lambda=(1-R_\lambda)^2/(2R_\lambda)$

여기서,

K : 파장 λ에서의 광의 흡수

S : 파장 λ에서의 광의 확산반사(산란)

R : 파장 λ에서의 분광반사율(0~1사이의 값)

이 식은 현재 가장 넓게 사용되고 있는 Kubelka-Munk식이며, $(K/S)_\lambda$는 광학농도를 나타내며 광학농도라는 것은 광의 흡수에 비례하고 반사에 반비례한다는 것을 개념적으로 보여주고 있다.

$(K/S)_\lambda$는 각 파장에 대하여 분광반사율로부터 계산되는 것이므로 가시영역 전파장에 대한 반사율을 구하면 가시영역 전파장에 대한 $(K/S)_\lambda$를 구할 수 있다. 이 $(K/S)_\lambda$는 염료나 안료의 사용량에 비례하는 값이다. 즉 반사율은 더할수록 반사율이 높아져 염료농도와는 전혀 반대방향으로 움직이는 반면 (K/S)는 염료의 농도를 계산할 수 있는 수치로 바꾸어진 값이다. 예를 들어 염료농도 1% o.w.f.의 염색물의 (K/S)가 10이라고 가정하면 0.5% o.w.f.의 염색물의 (K/S)는 5가 되고 2% o.w.f.는 20이 된다. 그러나 실제로는 이러한 이상적인 비례관수가 성립되는 곳은 주로 담색영역이며 이 범위에서 벗어나면 비례상태가 성립되지 않으며 특히 고농도 착색의 경우에는 거의 계산이 불가능할 정도로 직선관계에서 벗어나 버린다. 이는 염색특성과 분광특성이 서로 복합이 되어 현재까지의 이론으로는 아직 정립이 되지 않았다고 할 수 있다. 착색물체에 빛이 비추어지면 광은 어느 정도 물체의 내부로 흡수되고 나머지는 물체색의 분광분포만큼 반사가 된다. 그 중에 물체의 표면에 거울처럼 반사하는 듯한 반사광이 있는데 이것은 염료농도와는 전혀 관계가 없는 백색광이다. 이러한 거울반사를 경면반사라고 하며 이러한 빛이 반사되는 광에 섞여 있으면 직선성이 성립되지 않는 원인의 일부분이 된다. 그래서 분광광도계형 측색기는 이러한 경면반사를 제거할 수 있는 light trap이 장치되어 있다. 일반적으로 SCE로 표시가 되며 specular component exclude의 약자이다.

이러한 경면반사를 수식으로 보정할 수도 있는데 다음과 같다.

$$(K/S)_\lambda=(1-R_\lambda)^2/[2(1-r)(R_\lambda-r)]$$

r : 색물체의 표면반사율

r은 실제로 측정이 어려우며 일반적으로 섬유의 경우는 0~0.02사이의 값을 가지며 광택이 적은 양모의 경우는 0에 가깝고 광택이 많은 나이론과 같은 경우에는 0.02정도가 된다.

염색의 농도를 계산할 경우에는 주로 이 SCE상태에서의 데이터를 사용하지만 색차관리(색상관리)를 관능평가에 의존하게 되면 SCI(specular component include : 경면반사포함)상태의 데이터를 사용하게 된다.

1.3. 색재의 혼합

빛의 흡수와 산란이 일어나는 색물체에서 흡수계수와 산란계수는 염료의 농도에 직접 비례한다. 여러 가지 염료 또는 안료가 혼합이 된 물체에서의 흡수계수는 각 염료의 흡수계수와 농도의 곱과 합의 형식으로 나타낼 수 있는데 다음과 같은 식으로 표

현이 된다.

$$K_m = c_1K_1 + c_2K_2 + \cdots\cdots + c_nK_n + K_0$$
$$Sm = c_1S_1 + c_2S_2 + \cdots\cdots + c_nS_n + S_0$$

여기서,

K_m, S_m : n개의 염료 또는 안료를 사용하여 $c_1, c_2, \ldots c_n$의 농도로 착색된 염색물의 흡수계수 및 산란계수의 합

$c_1, c_2, \ldots\ldots c_n$: n개 염료 또는 안료의 농도

$K_1, K_2 \ldots\ldots K_n$: 염료 또는 안료별 단위농도당 흡수계수

$S_1, S_2 \ldots\ldots S_n$: 염료 또는 안료별 단위농도당 산란계수

K_0, S_0 : 소재의 흡수계수 및 산란계수

여기서, K_0, S_0 는 소재의 흡수계수와 산란계수로, 기준두께로 이뤄진 소재의 흡수와 산란에 해당한다. 만약에 완전히 투명한 플라스틱과 같은 물체의 경우에는 흡수나 산란은 거의 일어나지 않으므로 K_0, S_0는 무시할 수 있으며 섬유와 같이 광의 산란이 크고 흡수도 상당히 일어나는 소재에 대해서는 K_0, S_0는 중요한 Factor이다.

여기에서 충분한 두께를 가진 시료로 뒤가 비치지 않는 정도의 두께를 가진 경우에는 다음과 같은 식이 적용된다.

$$\frac{K_m}{S_m} = \frac{(1 - R_\infty)^2}{2R_\infty} = \frac{c_1K_1 + c_2K_2 + \cdots\cdots + c_nK_n + K_0}{c_1S_1 + c_2S_2 + \cdots\cdots + c_nS_n + S_0}$$

이 식의 의미는 혼색에 사용되는 염료 또는 안료의 흡수계수 K_i와 산란계수 S_i를 알고 염색에 사용되는 소재(직물이나 수지판 또는 착색막 자체 등)의 흡수계수 K_o 및 산란계수 S_o를 알고 배합농도를 정해주면 뒤가 비치지 않는 충분한 두께를 갖는 시료를 만들었을 때의 흡수계수 K_m과 산란계수 S_m을 계산할 수가 있고 K_m/S_m의 값으로 배합염색 결과를 예측할 수 있으며 이 값들로부터 Kubelka-Munk식을 역산하여 반사율을 구할 수 있게 된다.

이 식은 K와 S를 알아야 혼색결과를 예측할 수 있으므로 사용하는 염료 또는 안료의 K와 S를 사전에 계산해 놓아야 한다. 그러나 이러한 K와 S를 구한다는 것은 그렇게 손쉬운 일은 아니다. 그래서 간단하게 혼색결과를 예측할 수 있는 방법이 필요하다.

만약 소재가 충분히 두꺼워 뒤가 비침이 없는 직물이거나 또는 플라스틱이나 페인트처럼 충분한 양의 백색안료를 포함하는 경우 S_0는 $S_1, S_2 \ldots\ldots S_n$에 비하여 극히 크다. 특히 소재를 염료로 염색하는 경우나 착색력이 강한 유기안료를 사용하는 경우에는 색소에 의한 광의 산란은 무시할 수 있을 정도로 작다. 왜냐하면 염료는 분자상태로 섬유에 염착되며 플라스틱의 경우에는 분자상태로 용해되기 때문이다. 유기안료는 수지와 굴절률이 비슷하고 자체의 표면에서 일어나는 경면반사가 적어서 투명도가 양호하고 광을 선택적으로 흡수하는 능력이 강하기 때문에 착색력도 크고 산란광도 작아서 K의 값은 크나 S의 값은 작다.

따라서 모델을 단순화하여 보면 광의 산란은 소재자체 또는 소재 중에 대량으로 첨가된 백색안료에만 한하고 뒤가 비침이 없는 정도의 충분한 백색안료를 포함한 경우에는 산란은 백색안료를 포함한 소재 자체만에 의해 발생된다고 가정한다. 염색에 있어서는 염색물에 빛이 입사가 되면 염료층의 내부로 들어가고 모든 빛의 산란은 염색된 소재에서만 일어나고 염료층에서는 전혀 산란이 일어나지 않는 모델로 가정한다. 즉 산란계수가 소재에만 해당이 되고 염료에서는 없다고 가정을 한다.

따라서 Kubelka-Munk 식에 의해 염색물의 K/S는

$$\frac{K_m}{S_m} = \left(\frac{K}{S}\right)_m = \frac{c_1K_1 + c_2K_2 + \cdots\cdots + c_nK_n + K_0}{c_1S_1 + c_2S_2 + \cdots\cdots + c_nS_n + S_0}$$

가 되며 여기에서 염료에 의한 산란은 없다고 가정하므로,

$$\left(\frac{K}{S}\right)_m = \frac{c_1K_1 + c_2K_2 + \cdots\cdots + c_nK_n + K_0}{S_0}$$

가 된다.

이 식은 다시,

$$\left(\frac{K}{S}\right)_m = c_1\frac{K_1}{S_0} + c_2\frac{K_2}{S_0} + \cdots\cdots + c_n\frac{K_n}{S_n} + \frac{K_0}{S_0}$$

$$= c_1\left(\frac{K}{S}\right)_1 + c_2\left(\frac{K}{S}\right)_2 + \cdots\cdots + c_n\left(\frac{K}{S}\right)_n + \left(\frac{K}{S}\right)_0$$

이 식의 의미는 각 염료별 단위농도의 $(K/S)_n$ 값을 알게 되면 그 값에 농도를 곱하여 각 염료의 합을 계산하고 다시 여기에 소재의 $(K/S)_o$ 값을 합하면 염색물의 $(K/S)_m$이 구해진다는 것을 알 수 있다.

단위농도별 $(K/S)_n$ 값은 다음과 같이 구해진다. 예를 들어 염료1에 대한 단위농도별 K/S값을 구하려면

$$\left(\frac{K}{S}\right)_1 = \left[\left(\frac{K}{S}\right)_D - \left(\frac{K}{S}\right)_0\right] / c_1$$

즉, 염색된 염색물의 $(K/S)_D$에서 소재의 $(K/S)_o$를 뺀 광학농도를 염색농도 C_1으로 나누게 되면 단위농도에 대한 순수염료 자체의 (K/S)값이 구해진다.

이상과 같이 K와 S를 별도로 구하여 혼색계산을 할 필요 없이 간략화하여 K와 S의 비율 즉 K/S 값을 구하는 혼색이론을 1정수 이론(one constant theory)이라 하고 불투명시료의 혼색계산에 사용된다. 현재 실용화되어 있는 방법은 거의 1정수 이론이 사용되고 있다.

이 이론은 안료 또는 염료의 첨가에 의해 전체부피가 거의 증가하지 않는 경우에 한정하여 사용할 수 있다.

1.4. Isomeric match와 Metameric match

목표로 하는 색상과 색을 일치시키기 위하여 배합처방을 계산하는 컬러매칭의 계산방법은 각 파장에서의 모든 반사율을 일치시키는 isomeric match와 특정한 조명 아래에서 사람의 눈에 일치시키는 metameric match의 두 가지 방법으로 나눌 수 있다 (*Figure* 2).

1.4.1. Isomeric match

컬러매칭으로는 가장 이상적인 방법이다. 계산된 결과의 분광반사율 곡선이 거의 일치하는 상태를 말하며 아무리 일치하지 않더라도 반사율곡선이 가시영역의 전 파장대에 걸쳐서 거의 평행이 이루어져야 한다. 이러한 컬러매칭의 결과는 어떤 사람이 어떤 조명에서 보더라도 색상의 차이를 느낄 수 없을 정도의 이상적인 컬러매칭이다. 그러나 이와 같은 컬러매칭의 처방을 얻기 위해서는 색견본에 사용된 염료와 동일한 염료를 사용하거나 또는 색견본에 사용된 염료와 동일한 광학특성을 갖는 염료의 조합이라야 가능하며 실제의 염색에 있어서는 리피트 오더(재주문)를 제외하고는 거의 불가능한 컬러매칭이다.

1.4.2. Metameric match

메타머리즘이 발생하는 컬러매칭으로 계산된 결과의 반사율곡선은 서로 틀리지만 특정한 조명 아래에서 동일한 색으로 보이는 컬러매칭이다. 이러한 경우 조명이 달라지면 색이 서로 다르게 보이는 문제가 있다. 경험자가 색상의 견본만 보고 단순히 눈으로만 색상을 맞추어 나가는 경우에는 거의 metameric match가 된다. 이것은 특정한 조명과 CIE 표준관측자의 환경 아래에서 색견본의 3자극치 XYZ만을 일치시키는 컬러매칭 방법이다.

이상의 두 가지 컬러매칭 방법을 비교하면 isomeric match를 하게 되면 모든 면에서 이상적인 컬러매칭 방법이지만 실제의 염색공장에서 이를 만족시킬 수 있는 수많은 염료를 구비할 수 없는 상황이므로 isomeric match를 한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 isomeric match라 하더라도 보통은 metameric match가 된다. 이에 비해 metameric match는 염료선택의 범위가 넓어서 폭넓은 염료선택이 가능하고 성분도 보통 3조합으로도 가능하기 때문에 처방도 쉽게 얻을 수 있는 특징이 있다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 처방계산 방법 중 가장 많이 사용되고 있는 방법이 이 metameric match이다.

- A, B : isomeric match
- B, C : metameric match

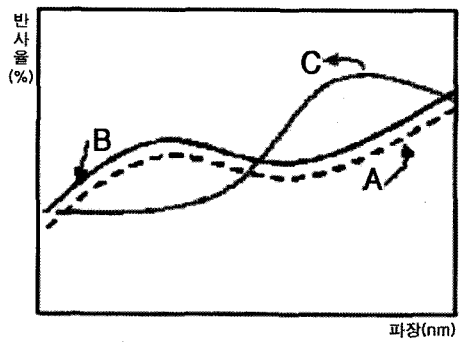

Figure 2. Isomeric match와 metameric match.

1.5. 컬러매칭의 정확도

컬러매칭을 정확하게 하기 위해서는 컬러매칭에 사용되는 염료의 데이터베이스가 정확해야 한다. 염료의 데이터베이스란 염료의 광학적인 성질을 분석하여 컬러매칭을 할 경우 사용되는 농도에 관한 데이터로서 이의 정확도가 컬러매칭의 정확도를 좌우하게 된다. 염료 데이터베이스를 작성하기 위하여 염료 한가지로 농도를 달리하여 염색을 하게 되는데 이를 염료의 기초데이터라 한다.

위의 *Figure* 3에서 (1)은 정상적으로 정확하게 염색된 염색결과를 기초로 하여 계산한 농도별 K/S 그래프이고 (2)는 약 1.2%정도의 농도에서 염료가 적게 포함된 염액으로 염색된 염색결과를 기초로 하여 계산한 농도별 K/S 그래프이다. (2)의 잘못된 기초데이터로 컬러매칭의 처방을 계산하게 되면 해당염료로 낮게 염색된 농도인 1.2% 부근에서는 항상 처방이 높게 산출되는 결과를 보이게 되므로 컴퓨터에 의한 컬러매칭 처방으로 염색을 하면 항상 진한 색상이 된다.

처방을 컴퓨터로 정확하게 산출하더라도 염색한 결과가 색견본과 맞지 않으면 의미가 없다. 염료의 컬러매칭 처방계산은 Kubelka-Munk식에 의한 계산이므로 결국에는 이 함수가 염색물의 광학적인 결과와 일치하는지에 대한 의문이다.

처방의 계산은 Kubelka-Munk식을 이용하지만 한가지 염료만으로 농도별로 염색한 염색물도 농도와

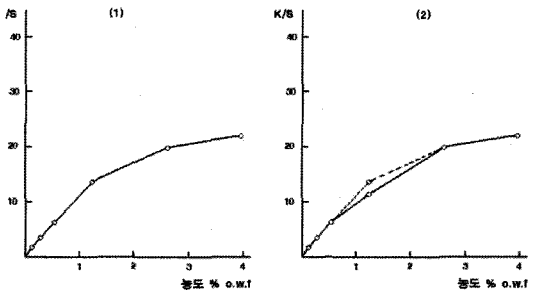

Figure 3. 정상적인 기초데이터(1)와 비정상적인 기초데이터(2).

(K/S)사이에 직선적인 비례관계를 이루지 못하는 것이 더 많다. 그래서 농도와 (K/S)사이의 관계를 개선하고자 하는 노력이 많으며 Kubelka-Munk식을 보정한 식이 사용되기도 한다.

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda}=\frac{(1-R_{\lambda})^{2}}{2R_{\lambda}}$$

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda}=\frac{(1-R_{\lambda})^{2}}{2(1-r)(R_{\lambda}-r)}$$

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda}=\frac{(k_{1}-R_{\lambda})^{2}}{2(R_{\lambda}-r)(1+k_{2}R_{\lambda})}$$

그러나 아직도 염색물의 농도와 (K/S)사이에 직선관계를 이루는 완전한 식은 나오지 않고 있다. 따라서 담색에서 농색까지 수단계의 농도, 즉 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0% o.w.f. 등으로 구분하여 염색물을 만들어 이 측색치를 이용하여 단계적으로 단위농도에 대한 (K/S)를 구하고 계산되는 농도에 따라 선택하여 사용하게 된다.

이와 같이 보정을 하여도 다음에는 염료상호간의 배합성으로 인하여 단독 염색의 경우와는 염착상태가 틀려서 색이 다르게 되는 큰 원인이 된다. 만약에 이 영향이 크면 오차가 커지게 된다.

그러나 nylon등 광택이 나는 일부 소재를 제외하고는 섬유의 광택은 크지 않기 때문에 측색기의 light trap을 사용하면 정확한 계산이 가능한 것으로 알려져 있다.

1.6. 컬러매칭의 흐름

우선 배색 기술자가 눈으로 컬러매칭을 하는 재래식 방법은 목표로 하는 색상을 보고 축적된 데이터로부터 가장 근접한 색상을 골라 수정을 하거나 데이터가 없을 경우 경험적인 컬러감각으로 최초의 처방을 작성하여 염색한다. 염색결과를 보고 trial and error(시행착오)적인 방법으로 수정을 하여 목표색상에 접근한다. 이 때 배색 기술자가 각각의 샘플을 보고 자신의 눈과 경험에 근거하여 스스로 판단해서 처방을 수정해 나간다(*Figure* 4).

컴퓨터에 의한 컬러매칭을 진행하더라도 위의 반복되는 방법에는 변화가 없으나 배색 기술자에 의한 수작업과의 차이는 경험적인 요소를 주관적으로 가미하는 것이 아니라 색채의 차이를 컴퓨터로 분석하여 컴퓨터의 데이터에 의한 처방의 제시가 다를 뿐이다. 수작업의 경우 배색 기술자가 경험이 없으면 무수한 trial and error를 반복하여 경험을 쌓아 점차로 숙련이 되면서 목표에 도달하는데 걸리는 시간이 줄어드는 반면에 컴퓨터는 색채를 디지털화하여 분석하고 이를 기초로 하여 처방을 작성하여 나아가므로 숙련이 거의 필요 없으며 숙련자의 경험보다 컴퓨터 컬러매칭의 알고리즘과 염색원리의 이해가 더욱 필요하게 된다.

Figure 5, 6은 컬러매칭을 진행할 때 컴퓨터에서 일어나는 color matching의 진행흐름을 그림으로 나타낸 것이다.

CCM을 처음 시작할 때 가장 먼저 할 일이 각 염료에 대하여 농도별로 염색한 결과를 기초데이터 등록프로그램을 이용하여 등록시키는 것이다. 염료의 배합계산을 하기 위해서는 (K/S)를 각 염료별로 구할 필요가 있다. 따라서 각 염료의 농도별 반사율 데이터를 이용하여 (K/S)를 구한다. 즉, 반사율을 (K/S)로 변환하고 소재의 광흡수에 의한 (K/S)로 보정을 해서 염료성분만의 광학농도를 구한다. 위의 예는 yellow, red, blue의 3색 염료의 기초데이터가 등록되어 있다고 가정한 것이다. 컬러매칭을 하고자 하는 color sample을 측색하여 가시광선 영역의 분광반사율 데이터를 구한 후 컬러매칭을 시작한다. 컴퓨터에서는 임의의 농도 예를 들면 yellow 0.1%, red 0.1%, blue 0.1%로 하여 염료별 단위농도에 대한 K/S를 이용하여 파장별로 혼합하였을 경우에 예상되는 K/S를 구하고 이를 다시 반사율로 계산하여 목표로 하는 샘플의 색상과 맞는지 검사하게 된다.

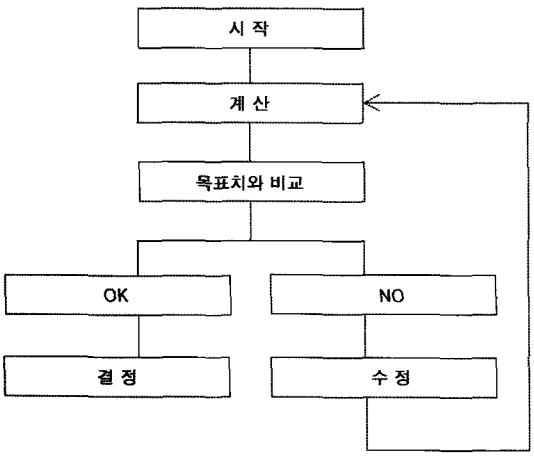

Figure 4. 경험에 의한 컬러매칭의 흐름도.

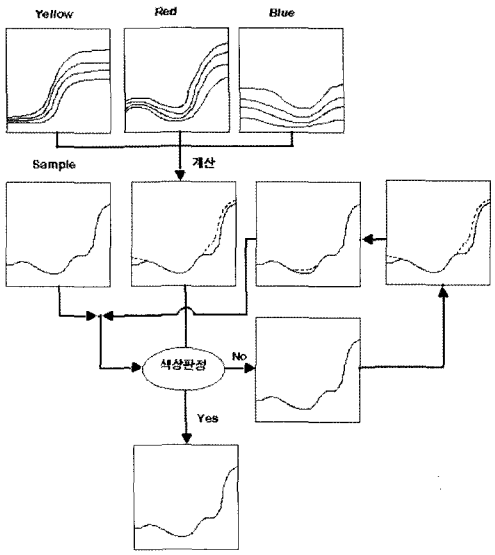

Figure 5. 컴퓨터에 의한 컬러매칭의 계산과정 및 색상판정.

반사율로부터 광학농도는 기본적인 Kubelka-Munk식에 의하여,

$$(\frac{K}{S})_{\lambda}=\frac{(1-R_{\lambda})^2}{2R_{\lambda}}$$

반대로 광학농도로부터 반사율은 다음과 같이 구해진다.

$$R_{\lambda}=(1+(K/S)_{\lambda})-\sqrt{(1+(K/S)_{\lambda})^2-1}$$

이 때 이용되는 것이 X, Y, Z 값으로 목표샘플의 반사율과 컴퓨터가 입력된 단색 염료 기초데이터를 이용하여 임의의 농도에서의 계산된 반사율로 각각의 X, Y, Z로부터 두 색상사이의 색차 △E를 계산한다.

$$X=k\int P_{\lambda}R_{\lambda}x_{\lambda}d\lambda$$

$$Y=k\int P_{\lambda}R_{\lambda}y_{\lambda}d\lambda$$

$$Z=k\int P_{\lambda}R_{\lambda}z_{\lambda}d\lambda$$

단, P_{λ}는 조명의 에너지 분광분포
R_{λ}는 계산된 파장별 반사율
$\chi_{\lambda}, y_{\lambda}, z_{\lambda}$는 Spectral 3자극치

$$\kappa=\frac{100}{\int P_{\lambda}y_{\lambda}d\lambda}$$

만약 색차가 0에 가까우면 컬러매칭이 완료가 되나 임의의 농도로 계산하였기 때문에 큰 색차가 발생한다. 이 때 부터의 계산이 컬러매칭에 대한 본격적인 계산으로서 앞의 임의에 농도에 대한 것은 이 본격적인 계산을 하기 위한 기초자료가 된다. 목표색상과 계산된 색상의 X, Y, Z 의 차이를 △X, △Y, △Z라 하면 이 차이 값이 0이 되도록 하는 것이 컬러매칭의 목표가 된다.

따라서, 각 염료별로 미세한 농도의 변화에 대한 X, Y, Z의 변화량을 구하고 이 변화량을 적절히 계산하여 △X, △Y, △Z가 0이 되도록 루프를 돌리면 원하는 색상의 컬러매칭 처방을 구할 수 있다.

이 결과처방으로 실험실에서 염색을 하면 최초의 시험염색이 되는 것이다. 그러나 최초의 염색이 잘 맞을 수도 있고 잘 맞지 않을 수도 있다. 이는 염료의 상용성과 특성, 그리고 농도에 따른 염착성의 변화에 따른 상황을 컴퓨터는 전혀 인식을 하지 못하고 단지 염료의 단색 실험 시 발생하는 염색의 색상데이터만 가지고 계산을 하기 때문이다. 따라서 컴퓨터 컬러매칭이란 초기의 데이터만 가지고는 계산의 정확성은 있으나 염색 factor의 유동성에 대해서는 아무 데이터가 없기 때문에 염색이 원하는 색상만큼 나올 확률이 낮으며 이에 대한 연구가 계속 진행되고 있다. 그러나 한번의 시험염색이 진행되면 각 염료별 염착 factor가 어느 정도 구해질 수 있으므로 수정을 하게 되면 극히 어려운 색상을 제외하고는 2-3회의 염색시험만으로 목표색상에 도달할 수 있다.

그러나 이는 컴퓨터 컬러매칭을 하는 기본흐름이며 이 이론에 따른 계산만으로는 현장의 복잡한 여러 요인들에 의한 변화를 수용하기가 매우 어려우며 소프트웨어를 개발하여 판매하는 각 업체는 회사별로 각각 계산하는 방식을 달리하고 있으므로 비록 동일한 기초데이터를 동일한 방법으로 입력한다 하더라도 회사별 소프트웨어에 따라 틀린 계산결과가 나오게 된다.

2. CCM의 적용

2.1. 염색현장에서의 CCM

우리가 흔히 말하고 있는 CCM(computer color matching)이라는 것은 컴퓨터에 의해 색상을 예측하는 것으로 엄밀히 말하면 컴퓨터 컬러 프레딕션(computer color prediction)이라고 해야 할 것이다. 즉, 염료의 기본데이터를 컴퓨터에 입력한 후 이를 토대로 색상견본에 대한 계산으로 예측하여 처방을 산출하여 주는 것이 CCM이다. 이 컴퓨터 컬러매칭 장비가 보급된지 수 년이 흘렀건만 아직도 제대

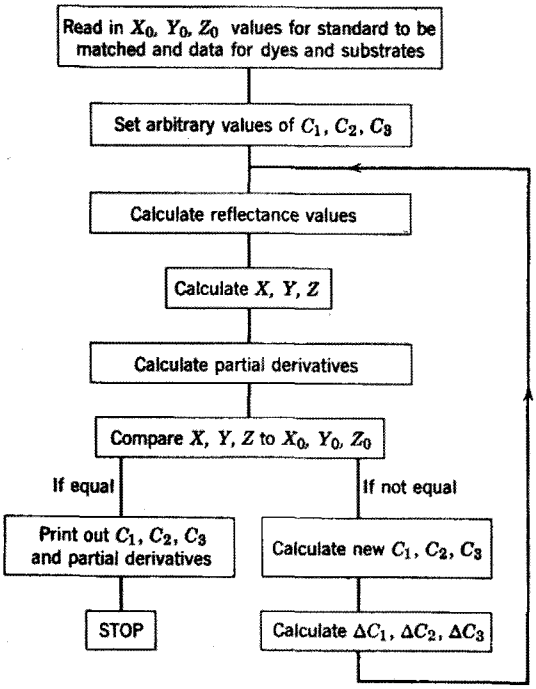

Figure 6. Computer color matching flow chart.

로 이러한 CCM의 원리를 이해하고 사용하고 있는 곳은 매우 드물다. 그 이유는 CCM을 도입할 당시에는 굉장히 많은 검토를 하지만 실상은 겉포장만 검토하는 것이고 실제의 내용은 소프트웨어라는 명목으로 가려져 있어서 개발한 당사자만 알 뿐 기밀의 일종으로 알 수가 없고 알더라도 검토가 제대로 이루어지지 않는다.

그래서 일반적으로 데이터만 넣으면 모든 것이 해결된다고 하는 것에 현혹되어 큰 금액을 투자해 온 것이 현실이다. 그러나 주위를 둘러보았을 때 참으로 심각한 문제는 제대로 사용하고 있는 곳이 얼마 안 된다는 점에 있다. 이러한 이유를 자세히 살펴보면

첫째, CCM에 대한 이해부족을 들 수 있다.

디지털 컬러에 대한 기본적인 개념도 없이 단순히 자동화 기계의 일종으로 생각했다가 소프트웨어 위주의 컬러매칭이라는 벽에 부딪혔을 때는 막막해진다.

둘째, 염색이나 기타 요인에 의한 문제가 CCM의 문제점으로 떠오른다는 점이다. CCM은 단순히 측색기 및 컴퓨터로 이루어진 시스템으로서 입력되는 데이터에 의해 움직일 뿐 스스로 판단하는 능력은 없다. 그래서 재현성이 떨어지고 부정확한 데이터가 입력이 되면 컴퓨터는 입력된 데이터가 무조건 정확하다고 생각하고 데이터에 따른 염색처방을 산출하여 주기 때문에 배색 기술자는 결국 원인불명의 CCM 불신병에 걸리는 경우가 많다. 따라서 CCM이 도입된 후의 technical service는 다른 어떠한 기계보다도 중요한 의미를 가진다. 사실 이 technical service가 제대로 되기 위해서는 serviceman은 염색과 컴퓨터 둘다 이해를 하고 있어야만 하는데 이러한 경험자가 드물기 때문에 우리나라에서는 구입처에서 이를 감수할 수 밖에 없다.

CCM이 직접 활용되는 공장에서 공정표준화는 무엇보다 우선하여야 한다. 최근에 국내에서도 CCM이 개발됨으로써 이러한 욕구를 충족시킬 수 있게 되어 국내 CCM정착에 많은 기여를 하게 될 것이다.

2.2. 경험적 컬러매칭과 컴퓨터 컬러매칭

컬러매칭은 CCM 시스템이 없는 경우에는 경험적인 방법으로 하고 있다. 우선 눈으로 색견본을 보고 사용하는 염료의 종류를 선택하고 경험적인 처방을 만들어 염색을 한다. 염색된 결과를 보고 try and error적인 방법에 의해 색을 수정한다. 그래서 최초에 염료조합의 선정이 잘못되면 아무리 노력하여도 목표하는 색상을 매치할 수 없는 경우도 있고 시험한 염색물의 색을 보고 수정방향의 판단이 잘못되면 수정이 잘 안되는 경우도 있어서 시간만 허비하게 되고 목적을 달성할 수 없는 경우가 많다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 염색시험의 단계를 계산에 의하여 초기 염색처방과 수정을 하게 되고 이러한 과정을 컴퓨터로 실시하는 것을 컴퓨터 컬러매칭이라 한다.

종래의 경험적 컬러매칭의 문제점을 나열해 보면 컴퓨터 컬러매칭의 특징을 이해할 수 있게 된다.

① 컬러매칭을 할 경우 숙련된 배색 기술자가 필요하다.

만약 숙련자가 없으면 처방결정에 수많은 시험을 반복하게 되고 많은 시간과 비용이 들게 된다. 또한 이러한 일은 감각에 의존하는 것으로 장시간에 걸쳐 숙련도를 높이는 방법밖에 없다.

② 염료의 교체 등 환경변화를 꺼린다.

아무리 숙련된 배색 기술자라도 지금까지 작업하여 축적된 처방을 기초로 해서 새로운 처방을 작성하게 되므로 비슷한 색상의 처방이 없는 새로운 색상이나 종래와는 다른 염료조합으로 컬러매칭을 할 경우에는 많은 시간이 걸리게 되고 많은 시험회수를 필요로 한다. 그래서 좋은 염료가 개발되어 경제적인 가격으로 판매되며, 생산공정을 줄일 수 있게 되더라도 기존의 처방을 계속 사용하려는 경향이 있기 때문에 회사의 입장에서 보면 손해가 나게 된다.

③ 새로운 색상의 매칭에 많은 시간과 노력이 필요하다.

새로운 색을 매칭할 경우 선정된 염료가 부적절(사실은 이 조합으로 목표색상을 매치할 수 없는 경우)한 경우가 있어도 수많은 염색시험을 거친 후에야 조합이 잘못되었다는 사실을 알게 되는 경우가 많아 시간낭비가 많다.

④ 색상수정 시 처방이 복잡하게 된다.

사람이 경험적으로 컬러매칭을 하는 경우에는 처방 중에 추가되는 염료의 수가 늘어가는 경향이 있다. 보통은 3원색으로 충분히 목표색상에 도달할 수 있으나 이것이 4염료 혹은 5염료조합으로 되어 처방이 복잡하게 되고 염색의 재현성도 나쁘게 된다. 이것은 목표색상으로 매칭하기 위하여 수정할 때 3조합과는 다른 염료로 shading(염색수정)하는 경우가 많이 발생하기 때문이다. 예를 들어 3원색의 염료로 염색할 때 색을 어둡게 하기 위해서는 3원색의 혼합으로 grey(회색)색상을 만들어 추가하면 3조합으로 가능한데 반하여 별도로 black염료를 추가한다던가, 또 오렌지의 색감을 추가하기 위하여 yellow와 red를 혼합하면 되는데 별도의 새로운 오렌지계 염료를 추가하게 되면 처방에 혼란을 가중시키게 된다. 또 최초에 잘못된 3조합으로 출발한 경우 긴급으로 다른 염료를 추가하여 매칭하는 경우도 있다. 3종류의 염료조합으로 특정조명에 대한 처방은 하나뿐이나 4종류 이상의 조합이 되면 그 처방은 무한히 존재하기 때문에 안정된 염색처방을 구할 수가 없다.

⑤ 메타머리즘이 발생하는 염색이 되기 쉽다.

경험적인 방법으로는 단순히 샘플의 색상을 눈으로 보고 염료조합을 결정하기 때문에 염색을 하고 나면 metamerism(메타머리즘 : 조건 등색)이 발생하는 염료조합이 되어 버린다. 이러한 것은 컬러매칭 작업을 어렵게 하고 또 거래처와 색상에 관한 문제를 일으키는 원인이 된다. 메타머리즘이 있는 경우 컬러매칭이 잘 되었다고 판단하는 데는 사용광원과 판정자에 따라 차이가 있어서 곤혹스러울 때가 있다. 어느 특정한 사람이 특정한 조명밑에서 색이 일치한다고 생각하더라도 다른 사람이 다른 조건에서도 반드시 그렇다고 할 수 없다. 이런 점이 공급자와 구매자간의 문제를 일으켜, 클레임이 발생하기도 하지만 메타머리즘 현상을 정확하게 이해하면 큰 문제가 아닐 수도 있다. 그러나 메타머리즘의 정도가 커지면 아무리 이런 현상을 이해한다 하더라도 제품을 수용할 수가 없는 경우가 있다.

컴퓨터에 의한 컬러매칭을 시도하게 되면 위에서 설명한 상당한 부분이 보완된다는 것을 알 수 있다.

· 단시간에 정확도가 높은 컬러매칭의 염색처방을 얻을 수 있다.

측색기로 측색한 객관적인 데이터를 기준으로 컴퓨터에서 정확한 계산을 하기 때문에 일일이 기존에 염색했던 데이터를 찾아서 처방을 작성하는 것에 비하여 순식간에 많은 처방데이터를 구할 수 있다.

· 하나의 목표색상에 대하여 여러 조합을 동시에 구할 수 있기 때문에 그 중에서 가장 적합한 조합

을 선택할 수 있다. 축적된 처방데이터에서 찾게 되면 한가지 염료조합에 의존하게 되므로 가격은 무시되고 컬러매칭을 하는 것이 중요하게 되어버린다. 그러나 CCM을 이용하게 되면 메타머리즘과 가격이 적당히 조절되어 구매자 및 공장에 맞게 선택할 수 있다.

· 선택된 염료조합 중에서 컬러매칭이 가능한 것과 불가능한 것을 확실히 식별할 수가 있다. 따라서 시행착오에 따르는 시간과 노력을 상당히 절감할 수 있다.

· 컬러매칭이 가능한 염료조합 중에서 염색성의 면에서 적당한 염료조합인가를 판정하는데 계산된 처방을 염색해 보는 것만으로도 알 수 있다. 이는 간이적인 염료상용성을 테스트하는 방법이기도 하다.

· 메타머리즘의 영향을 염색해 보지 않아도 계산된 결과치만으로 확실히 알 수가 있다. 또 임의의 조명 하에서도 컬러매칭의 정도를 계산으로 구할 수 있다. 따라서 색상판정기준이 다른 곳에서의 색차도 예상할 수 있어서 수출 및 구매자와의 상담에 많은 도움이 된다.

2.3. 측색기의 구조

CCM은 크게 컬러를 계산하는 소프트웨어 부분과 컬러를 계산하기 위한 하드웨어로 구성이 되어 있고 이 중 하드웨어는 색을 측정하여 데이터를 얻을 수 있는 측색기(spectrophotometer)와 이를 바탕으로 계산하고 출력하는 컴퓨터와 프린트로 구성되어 있다(*Figure* 7).

적분구를 이용한 측색기에는 여러 종류가 있으나 일반적으로 그 원리는 동일하다.

컴퓨터로부터 명령어가 측색기의 마이크로프로세서에 보내지면 플래쉬 전원으로 전달되어 크세논 램프가 발광한다. 이 빛은 확산판에 의해 확산이 된다. 적분구내에서 빛이 확산되고 시료의 표면에서 빛이 반사된다.

빔 스위치에는 프리즘이 달려있어서 적분구의 내부면과 측정면을 읽어들인다.

분광기에는 반사된 빛이 입사 슬릿트를 통하여 직접 입사되며 시스템의 파장해상도는 여기에서 좌우된다. collimating렌즈를 통하여 직접 반사형 회절격자에 빛이 도달하고 여기서 분광된 빛은 intergrating렌즈를 통해 병렬수광소자에서 검지된다. 병렬분광소자는 측색기에 따라서 1 nm(나노미터;파장의 단위), 5 nm, 10 nm, 20 nm 등 여러 가지가 있고 빛을 받아들이는 silicon photo diode로 구성되어있다. 빛은 각 파장별로 수광기(受光器)로 받아들여지고 수광기의 신호는 A/D변환기와 controller로 입력된다.

2.4. CCM 기초데이터

컴퓨터 컬러 매칭 계산을 하기 위해서는 염료에 대한 데이터를 사전에 미리 입력해두어야 한다. 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

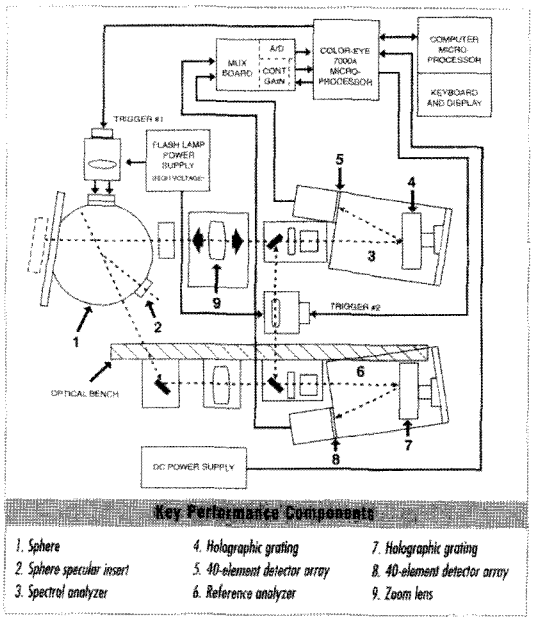

Figure 7. 측색기의 구조.

해야 하는데 염색에 사용되는 포(blank라 함)를 추가되는 염료에 대비하여 미리 많이 확보해 놓고 변질이 되지 않도록 PET필름 등으로 된 포장지 속에 넣어 공기 및 직사광을 차단하는 것이 좋다. 그리고 염색된 포도 장래의 재현성 검토를 위하여 blank와 같이 보관하는 것이 좋다.

동일한 조건에서 염색하기 위하여 blank포는 미리 일정한 조건하에서 전처리한 포를 선택한다. 시판되는 CCM의 한 예를 들면 이 blank에 약 3단계부터 많으면 12단계사이에 적절한 농도간격으로 염색을 하는데 이때의 정확성이 CCM에 영향을 미치게 된다. 각 CCM 메이커 마다 기초데이터를 작성하는 방법이 약간씩 다른데 이것은 후에 CCM에서 계산하는 방법이 다르기 때문이다. 그러나 대개는 일정한 규칙을 가지게 되는데 낮은 농도에서는 농도간 간격이 매우 좁고 높은 농도에서는 간격이 벌어지는 것이 일반적이다. 이는 염료의 흡착성이 일정하지 못하고 농도가 올라가면서 흡착성이 떨어지기 때문이다. 만약에 염료의 흡착성이 동일하면 하나의 염색포만 있으면 될 것이다. 그러나 불행하게도 염료의 농도가 높아질수록 흡착율을 떨어지고 이것마저 규칙성이 없기 때문에 결국은 많은 농도의 단계가 필요한 것이다.

이때, 극담색에서의 염색정확성이 문제가 된다. 시험실용 CCK(컴퓨터 컬러 키친)를 사용하여 염액을 만든다 할지라도 포트의 오염, CCK 본래의 오차를 생각하지 않으면 안 된다. 흔히 CCK에서 조액을 하게 되면 정확하다고 생각되어지나 실제는 그러하지 못하다. 알고 보면 CCK도 사용하는 방식에 따라서 많은 오차를 발생시킬 수도 있는 것이다. 예를 들어 중량식 CCK의 경우 0.2 g을 피펫팅하게 되면 저울(balance) 오차 ±0.02 g으로 인하여 ±10%의 조액오차를 발생시킨다. 이점을 유의하여 염액별 최소 피펫팅 양을 적어도 1 g으로 하면 ±2%의 오차가 되므로 모액(stock액)을 한 단계 더 희석시켜 정확한 조액이 가능하게 하도록 한다. 용량식 CCK의 경우에는 피펫오염이 극히 적어야 정확한 염액이 만들어 질 수 있다.

다음으로 검토해야 하는 것이 염색재현성이다. 동일한 처방으로 염색을 하였을 때 동일한 염색의 결과가 나오면 좋으나 재현성이 없는 경우 동일한 색상을 얻을 수 없다. 원인은 염료의 상용성이나 용수의 문제가 대부분인데 이를 세밀히 분석해서 대처하면 시험실뿐만 아니라 현장의 재현성까지 개선되는 경우가 많다.

염료의 상용성이 극히 나쁜 경우에는 아무리 좋은 조건에서 염색을 하여도 염색시간, 염색조제, 용수 등의 미미한 변화에도 민감하므로 좋은 결과를 얻을 수 없다. 특히 용수는 시간별로도 수질이 변화되는 경우가 많은데 용수가 해결되면 염색공정 전체의 문제가 해결될 수 있다는 말이 나올 정도로 중요한 문제이기도 하다.

이렇게 하여 재현성이 확인된 후에 기초데이터용 염색을 실시하게 되면 좋은 결과가 나올 수 있다.

2.5. CCM 계산

앞에서의 모든 것은 이 컬러매칭 계산을 하기위한 자료이다. 이 계산을 정확하게 하기 위하여 지금까지 측색이나 염색에 신경을 써온 것이다. 이러한 CCM의 계산은 각 메이커별 노하우가 가장 많이 들어가 있는 부분이라 할 수 있다. 이 CCM계산 노하우가 색상수정 프로그램으로 이어져 색상수정의 정확성을 좌우하게 된다.

컴퓨터에는 우리의 두뇌에 해당하는 CPU가 있다. 우리의 두뇌는 실로 엄청나게 복잡한 것을 감당할 수 있도록 만들어져 있으나 컴퓨터는 입력한 만큼의 데이터로서 판단하게 된다. 그래서 컴퓨터에 많은 것을 입력시켜 되도록 우리의 두뇌에 가깝도록 훈련시키려 하고 있는 곳이 많으나 많은 실패의 원인은 여기에 있다. 컴퓨터는 입력되는 그대로를 받아들이므로 얼마나 정확한 것을 제대로 입력할 수 있는가에 그 효과가 달려있다. 하지만 염색이란 특수한 분야에 있어서는 정확한 데이터를 많이 넣겠다는 것은 엄청난 시간을 투자해야만 가능

한 일이다. 지금까지의 CCM의 방식은 이러했다. 그러다 보니 데이터와의 전쟁에서 밀려서 결국 CCM을 제대로 쓸 수 없게 되고 마는 경우가 허다했다. 또 입력할 데이터가 많다보니 정확한 데이터인지를 판단하지 못하고 입력되는 수가 많기 때문에 그 노력에 비하여 나오는 결과는 너무 적은 것이다.

측색이나 염색에서 많은 주의를 기울여 온 것은 CCM의 정확성을 높이기 위한 것이라는 점에 포인트를 두어야 한다. 기초데이터는 단일염료의 데이터를 입력한 것이다. 그래서 컬러매칭을 하는 계산도 단색데이터로 하는 것이다. 계산 결과로 염색을 하게 되면 염료상호간의 상용성으로 인하여 염색결과는 계산결과와는 틀리게 나온다는 확실한 결론이 나오게 되어 있다.

2.6. CCM 계산 결과의 시험염색

이렇게 하여 계산되어 나온 결과를 가지고 시험실에서 염색을 실시하게 된다. 앞에서 기초데이터 염색시 신경을 써야 했던 부분들에 대한 주의들을 상기시키면서 시험염색을 한다. 평소에 시험 염색시에도 이렇게 주의를 해 왔던 경우이면 그렇게 불편한 것도 아닌데 괜히 CCM의 처방을 염색할 때만 신경을 쓸려고 하면 여간 귀찮은 일이 아니다. 그런데 이러한 일들이 시험실 및 현장의 재현성 향상에 많은 도움이 있다면 여러분들은 이것을 외면할 것인가?

사실은 CCM이 CCM에서 끝나게 되면 그것은 CCM의 기능의 1/2밖에 활용하지 못한다고 볼 수 있다. 염료를 검토할 경우 색차관리나 CCM을 이용하여 보면 농도와 상용성, 그리고 염착성의 차이까지 구분되는 정도이고 보면 상당히 매력적이라 볼 수 있는 것이다. 그러나 대부분은 이러한 사실에 대해서는 별로 무관심한 것 같다. 이러한 경향은 CCM에 대한 이해 부족에서 나온다고 볼 수 있다.

다시 시험염색으로 되돌아오면 이 최초의 시험처방이 염색에 대한 모든 정보를 거의 다 수록하고 있다. CCM에서의 단색염료별 계산이 여기에서 모든 염착정보를 감안한 계산으로 바뀌어져서 수정에 들어가기 때문에 이 시염처방은 상당한 의미를 갖는다. 그러면 이 처방을 기억해 놓으면 될 것으로 보이지만 염색조건(용수, 조제, 소재, 염료 등)이 어느 하나 바뀌지 않는 것이 없으므로 결국에는 다시 한 번 수정을 하지 않으면 안 되므로 처음부터 CCM을 이용하는 것이 시간을 단축시키는 방법이다.

2.7. 색상의 수정

어느 CCM이나 색상을 수정하는 기능을 보유하고 있다. 그러나 이 기능의 정확성에 대하여서는 어느 정도 파악하고 있지 않으면 신뢰성이 없어지고 만다. 이 색상 수정은 반드시 시염물의 데이터를 필요로 하고 있고 시염물의 데이터에 오차가 많을수록 컴퓨터에서 계산하는 수정은 배색 기술자가 생각하는 정도를 벗어날 수 있다. 그래서 흔히들 이 수정기능은 배색 기술자의 손에 의지하는 수가 많다. 이 수정기능을 잘 이용하면 생각하지 못했던 정보를 얻을 수 있다.

CCM 컴퓨터가 최초로 염료의 정보를 얻을 수 있는 곳은 기초데이터가 저장된 곳이다. 염료를 선정하게 되면 이 기초데이터로부터 염료정보를 입수하여 염색이 된 샘플의 색상을 컬러매칭하게 되고 실제로 염색된 데이터와 비교를 하게 된다. CCM을 움직이는 컴퓨터가 제일 처음으로 염색거동에 관한 정보를 최초로 얻는 곳이기도 하다. 염색이란 단품으로 염색하는 경우는 드물고 거의가 2개 이상의 염료를 혼합하여 염색하기 때문에 단품에 의해 염색하는 경우와는 사뭇 그 염착거동이 다를 수 밖에 없다. 만일 이 염착기구가 단품과 동일하게 된다면 염색이란 별로 할 것이 없는 분야가 되었고 그렇게 고생하지 않아도 별 탈 없이 원하는 색상을 얻을 수 있을 것이다. 컴퓨터도 단품을 염색했을 때와는 사뭇 다른 이 염착거동의 이상 때문에 혼동을 가져오고 있고 잘 모르는 경우에는 그냥 색차정도만 파악한다든가 어떤 경우에는 거의 활용도가 없는 곳도

있다. CCM의 활용도를 높이고 중요도를 제대로 인식한다면 정말로 염색을 감으로만 하는 시대에서 수치로 하는 시대의 세계를 느낄 수 있을 것이다.

측색기에서 받아들이는 시염샘플의 염착정보는 단지 염착결과에 대한 광학적인 측면만을 알 수 있을 뿐 더 이상의 자료는 없다. 그러나 단품과 달라지는 염착기구를 탓할 필요는 없다. 일단 시염된 샘플에서 달라진 염착기구의 정보를 입수한 CCM컴퓨터는 이 factor를 가지고 수정에 들어간다. 수정에 들어가면 입수된 factor를 사용하여 그 염착정도를 예측하여 새로운 처방을 제시한다.

흔히들 범하는 오류중의 하나는 최초의 CCM에서 단번에 정확한 처방을 기대하는 것이다. 일반적인 CCM의 한계는 거의 두번째에서 어느 정도 정확성이 있는 데이터를 만들 수 있는 데 이것은 2개 이상의 염료가 서로 염착성이 틀리기 때문에 일어나는 상호 간섭효과 때문이다. 물론 이 상호 간섭효과가 적은 그룹은 최초의 데이터에서도 상당히 만족스러운 결과를 가져올 수도 있으며 이는 사용자의 노력여하에 달려있다.

CCM사용자가 지금까지 알게 모르게 범해왔던 문제는 CCM에 대한 인식의 문제였다. 기초데이터만 정확하게, 그것도 엄청나게 많은 양을 입력하기만 하면 해결될 것으로 생각하는 것이다. 그래서 밤낮없이 데이터와의 전쟁을 치르면서 CCM을 사용했지만 결과는 그렇게 썩 만족스럽지 못했다. 그렇게 많은 데이터를 정확하게 입력했는데도 왜 기대만큼 예측이 안 되는 것일까? 이것은 염색환경은 도외시하고 단지 수학적인 계산을 앞세워서 생각했기 때문이다. 여러분이 1년 전에 만들어 놓았던 처방을 그대로 다시 염색했을 때, 재현성이 과연 얼마나 될 것인가. 염료와 조제, 그리고 용수나 다른 환경은 1년 전에 비해 변한 것이 없는가 등을 고려하여야 한다.

따라서 기존의 데이터에만 많은 의존을 하기 보다는 현재의 상태를 정확하게 파악 하여 염색에 임하는 편이 한결 수월할 것이다.

3. 결 론

앞서 서술한 바와 같이 오늘날 실험실에서 CCM은 없어서는 안 될 중요한 장비로 인식되고 있으며, CCM을 매개로하여 color 관리에 있어서 컴퓨터로 모든 작업을 통제할 수 있다.

컴퓨터 컬러매칭시스템에서 산출된 처방은, 네트워크에 의해 CCK로 전송되어, 자동 조액된다. 실험염색으로 B/T 샘플을 얻고, 색상수정을 거친 뒤 확정된 처방은 현장의 계량실 장비인 염료 계량장치, 조제 계량 및 이송장치로 전송되므로 작업자는 처방을 일일이 입력할 필요가 없으며, 모든 작업 DB가 저장되어 체계적인 컬러관리를 할 수 있다.

3D 산업이라 인식되어지고 있는 염색공정에 CCM을 기점으로 한 IT/Digital 기술을 적용함으로써, 국내 염색산업의 기술 집약적 고부가가치 산업화 및 산업고도화를 통해 국내 염색 산업을 세계 1위의 산업으로 도약시킬 수 있으며, 이는 국내 섬유산업의 위상을 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Fred W. Billmeyer, Max. Saltzman, "Principle of Color Technology, 2nd Edition", Wiley(1981).
2. 大田 登, *"色再現工學の基礎"*, コロナ社, 東京(1997).
3. 住友化學工業(株), "混色理論", 加工技術誌, 第7卷 1~6(1972).
4. 村田辛男, *"CCMの應用技術"*, 加工技術, Vol.19 No.11~Vol.20 No.5(1985~1986).
5. R.S.Hunter and R.W.Harold R.W., *"The Measurement of Appearance, 2nd Edition"*, John Wiley and Sons, NewYork(1987).
6. 김삼수, 박성수 공저, "디지털 색상의 원리와 응용", 2002.

저자 프로필

박 성 수

1977. 서울대학교 섬유공학과 졸업
2005. 영남대학교 섬유공학과(박사과정 수료)
1999-현재. (주)앞선사람들 대표이사

박 윤 철

1989. 한양대학교 섬유공학과 졸업
1991. 한양대학교 섬유공학과(석사)
1997. 한양대학교 섬유공학과(박사)
1991-1993. 제일모직 연구소
1998-2001. 산업자원부 기술표준원 섬유과 근무
2001-2003. NCSU 섬유대학 방문연구
2003-현재. 한국생산기술연구원 디지털 염색팀 선임연구원

이 범 수

1991. 한양대학교 섬유공학과 졸업
1993. 한양대학교 섬유공학과(석사)
2003. 한양대학교 섬유고분자공학(박사)
1992-2004. 한국생산기술연구원(선임연구원)
2005. 염색가공기술사
2005-현재. 한국생산기술연구원(수석연구원)