

<研究論文(學術)>

실험실적 방법에 의한 Color CRT와 염색직물의 칼라 매칭

¹김청섭* · 홍영기 · 배기서

충남대학교 공과대학 섬유공학과
*(주)케이시크

(2001년 9월 22일 접수)

Color matching of color CRT and dyed fabric by using experimental method

Chong Sub Kim*, Young Ki Hong, and Kie Seo Bae

Dept. of textile Eng., College of Eng. Chungnam National Univ., Daejeon, Korea
**KSEEEK Co., LTD., Business Incubation Center, Chungnam National Univ., Daejeon, Korea*

(Received September 22, 2001)

Abstract—The accurate representation of the colors of dyed fabric on a color CRT(cathode ray tube) screen is the basis for the automatic process in dyeing industry. In the former study, we had focused on the theoretically color matching method between CIE(International Commission on Illumination) and RGB color coordinates, but in this study we tried simulating the colors obtained from fabrics on the color CRT by using experimental method.

we obtained the following results.

1. We could simulate all of the color CRT by gamut mapping method, even though some of the KOSCOTE(Korea Standard Color of Textile) colors represented on the color CRT didn't exist in the region of color region.

2. We could do conditional matching by CIE system, even though it was hard to do invariant matching the Red, Green, Blue phosphers of the color CRT because of the SPD(Spectral Power Distribution) which had been set up before.

3. We could simulate all the colors obtained from fabrics on the color CRT by matching those two color groups from KOSCOTE fabrics and color CRT using match algorithm and matching programs.

4. If we get over on obstacles by grafting CCM and CCK machines which have been used in educational and industrial areas by matching KOSCOTE with color CRT we will be able to invent color simulation system controled automatically.

1. 서 론

오늘날 디지털 시대가 요구하는 색채에 관한

문제를 해결하기 위해서는 체계적이고 다양한 색채의 지식이 필요하다. 특히, 칼라재현 작업을 하는 동안 정확한 색의 정의와 표현이 필요한 그래픽아트 산업에 종사하는 사람들인 디자이너, 아트 디렉터, 출력, 인쇄, 염색, 제판 전문가 등에게는 체계적인 색채관리가 필요하다.

¹Corresponding author. Tel. : +82-42-822-7114; Fax. : +82-42-822-7995; e-mail : windboy@iseek.com

선진국에서는 이미 그래픽 분야에 색상관리체계(Color Management System)가 도입되어 활성화되는 단계에 있으며, 스캔전의 칼라원고와 모니터에 입력된 화상, 프린트, 인쇄된 화면에 통일된 칼라를 부여하고, 재현되는 칼라에 일관성을 부여하는 기술이 부단히 연구되었고 산업화에 응용되어 가고 있다^{1~4)}.

색채는 현대사회에서 교육, 문화분야 뿐만 아니라 상품디자인 혹은 광고시장 등 그 활용이 다양화해지고 있으며 갈수록 색채관리의 무한한 시장성과 가능성이 새롭게 부각되고 있다. 특히 색채분야 중 가장 중요한 직물과 패션분야의 경우, 색상구현은 다양한 특성을 갖는 염료에 의해서 구현되는데, 이는 광원에의 의존성이 커서 반사광의 스펙트럼에 의해 색 분류가 이루어지나 우리의 경우 광학기술의 발전이 늦어 광학과 염색학이 연계된 색채관리가 매우 어려운 실정이다. 직물의 색채관련기술의 발전속도도 매우 늦으며, 외국의 광학전문회사와 수입 완제품에 의존하고 있는 실정이다.

최근 채도가 높은 색상을 갖는 광원들의 조합에 의해 색을 구현하는 디스플레이 장치들과 칼라잉크 또는 칼라레이저프린터와의 매칭연구가 활발히 진행되고 있다^{5~7)}. 그러나, 무엇보다도 선행되어야 할 염색직물과 디스플레이 장치와의 매칭에 관한 연구는 매우 저조한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 가장 일반적인 색 표현장치인 color CRT(Cathode Ray Tube, 이하 CRT이라 약함)와 직물의 색을 매칭 시킬 수 있는 기술개발에 그 목적을 두고, 기존에 완성되어 있는 이론적인 매칭 값과 인간의 시각에 의해 실제로 느껴지는 매칭정도를 측정하기 위해 color CRT의 스펙트럼 에너지분포(Spectral Power Distribution: SPD)를 측정하고, 이를 기존의 보정식을 이용하여 평가한 후, 칼라매칭을 위한 새로운 간단한 보정식을 구하였다. 이렇게 보정된 color CRT의 SPD는 국제조명위원회의 색 분류방식인 XYZ 색 좌표로 계산되어 x-y 색 좌표와 CIELAB 색채공간으로 표현하였다. 또한 다양한 색으로 염색된 한국섬유표준색도감의 분광반사율을 측정하고, 계산하여 색채공간에 배열함으로써 color CRT의 색 표현 영역과 비교 검토하였다.

또한 매칭 알고리즘과 간단한 프로그램을 제작하여 color CRT와 표준 염색포의 색을 CIE의 색채관리를 이용하여 매칭 시킨 후 최근에 발표된

색차식에 적용해 봄으로써 두 색간의 색차의 정도를 정확히 파악하고, 칼라매칭 기술의 활용 가능성을 검토하였다.

2. 실 험

2.1 Color CRT의 SPD(Spectral Power Distribution) 측정

2.1.1 DAC(Digital/Analog Converter) level에 따른 color CRT의 SPD 측정

가시광선영역에서 Color CRT의 파장에 따른 빛의 에너지분포(SPD)는 사용되어지는 red, green, blue 계열의 각 phosphor에 의해 주로 좌우되며, 모니터의 제조회사, 모델, 스크린 크기, 해상도, 주사방식, 주사속도 등에 따라서도 변화한다⁸⁾.

본 연구에서 사용한 CRT 모니터는 일반 PC에 많이 사용되어지고 있는 21" Flat 모니터(EIZO, FlexScan F760i-W)를 사용하였다. 또한, 색상구현이 뛰어난 Millennium (Matrox, USA) chip을 사용하였고, RAMDAC(RAM Digital/Analog Converter)은 AT&T사(U.S.A.)의 1,678만 칼라를 지원하는 비디오카드를 사용하여 비교적 정확한 색상구현과 빠른 주사속도를 낼 수 있는 것을 사용하였다. 실험에서는 일반 VGA 해상도인 640×480 mode에서 1,678만 칼라를 표현하였으며, 이때의 수직동기주파수는 60Hz의 속도였다.

또한 파장이 2nm간격의 분해능을 갖는 다이오드레이저방식의 분광 광도계를 이용하여 CRT 스크린에서 발하는 빛을 제작한 집속 장치를 통해 조사시켜 각 다이오드에서 검출되는 강도를 측정하였다.

2.2 반사율 측정

2.2.1 한국섬유표준색(KOSCOTE)의 반사율

한국 섬유표준색도감은 PET에 정확한 염료의 배색 시스템을 이용하여 색채를 표현하였으며, 산화마그네슘으로 제작된 백색타일을 표준으로 하여 CIE 표준광원 D65와 2° 시야 조건으로 측정하고 삼자극치의 계산은 10nm 등간격 파장법에 의해 계산하였다. 이때의 허용오차는 소재가 섬유라는 특수성 때문에 오차기준의 2배 이내로 하였다.

2.2.2 분광 광도계에 의한 반사율 측정

분광 광도계를 이용하여 파장 400~700nm인 빛에 대하여 스펙트럼 비반사율 또는 스펙트럼 투과율을 측정하여 3자극치 X, Y, Z를 구하였다. 스

펙트럼 비반사율이란 두께가 약 1mm인 산화마그네슘 층의 스펙트럼 반사율을 표준으로 하여 이것을 1(또는 100%)로 한 경우, 물체의 스펙트럼 반사율의 비교 값이다.

반사율측정은 CCM에 사용되는 분광반사율측정기(Color Graph, Milton-Roy Co., U.S.A)를 이용하여 10nm 간격으로 측정하였다.

2.3 Color CRT의 휘도 측정

Color CRT의 교정에 필요한 디지털 값의 변화에 대한 color CRT의 휘도를 측정하기 위하여 먼저 brightness와 contrast 조절단자의 변화에 대한 R, G, B phosphor의 휘도의 변화를 측정하였다. 측정은 다이오드 어레이 방식의 분광 광도계를 이용하여 측정하였다. 측정은 디지털 값은 255에서 7까지 8간격으로 한 phosphor에 대해 32개의 휘도를 측정하였으며, 사이 값은 내삽법으로 피팅하여 구하였다.

그리고 한 phosphor에 대한 휘도를 측정할 때에 그 전자총에만 전압을 가하여 주고 나머지 두 전자총에는 전압을 가하여 주지 않았으며(0 volt), 스크린의 중심부분에 대해 측정을 하였다. 이러한 실험은 실제 CRT가 색표현시 R,G,B 전자총에서 미세한 상호간섭현상이 발생하지만 무시되었다. 또한 ambient light를 제거하기 위하여 암실에서 측정하였다.

2.4 광원의 강도 측정

본 실험의 관능검사서 사용된 광원의 강도 측정은 파장이 2nm 간격의 분해능을 갖는 다이오드 어레이방식의 분광 광도계를 이용하여, 현재 시중에서 통용되고 있는 할로겐 50W와 텅스텐 필라멘트를 60W, 100W, 200W로 구분하고 또한 Day Light, UV Light, Fluorescent Light로 구분하여, 이 연구에서 제작된 빛을 모으는 집속 장치를 통해 조사시켜 각 다이오드에서 검출되는 강도를 측정하였다.

2.5 광원의 변화에 따른 관능검사

본 실험에서 매칭한 결과치를 판별하기 위하여 광원의 변화에 따른 관능검사를 실시하였다. 사용된 광원은 2.4항에서 사용한 것을 각 종류별로 나누어 검사하였으며, 관찰자로는 2° 관찰자의 조건 하에서 시행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Color CRT의 빛의 에너지분포 (SPD)

Fig. 1~Fig. 4는 측정된 color CRT의 빛의 스펙트럼 에너지분포를 나타낸 것으로 Fig. 1은 red 계열의 SPD를 나타낸 것이다. 가로축은 가시광선 영역의 파장이고, 세로축은 빛의 상대적 강도이다. 그림에서와 같이 DAC level이 커질수록 빛에너지는 급격한 증가를 보이고 있다. 또한 이 피크는 폭이 매우 좁고, 약 626과 706nm의 두 부분에서 주로 나타났다. 이는 색상의 채도가 매우 높음을 의미하며, 특히, 706nm에서 발생하는 피크는 인간의 시각적으로는 인식되지 않는 부분에 위치하므로 색과는 무관한 것으로 본다.

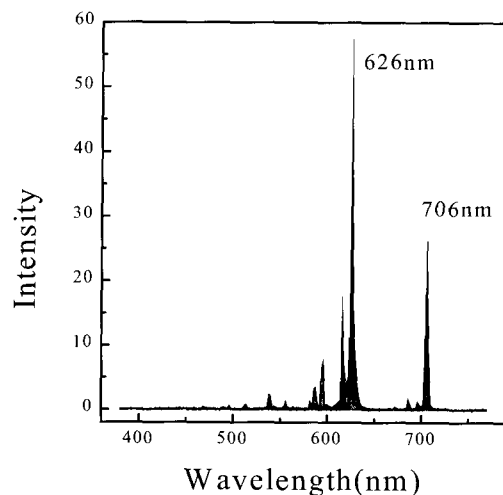


Fig. 1. Relative intensity of red color CRT phosphor according to the wavelength.

Fig. 2는 green계열의 에너지분포를 나타낸 것으로 약 540nm의 파장에서 최대 피크 점을 가지며, 넓게 분포되어 있다. 이 부분은 명도와 가장 밀접한 관련을 갖는 부분으로 상대적으로 낮은 강도를 나타냄을 알 수 있다. 즉, CRT의 색구현에서 가장 문제가 되는 것이 명도가 낮다는 것으로, 일부의 color CRT는 이러한 단점을 해결하기 위해 green 계열의 phosphor를 많이 사용하거나 출력을 높이기도 한다. 또한 그림에서 보여지는 잔 피크들은 CRT의 낮은 강도로 인해서 확대되어 나타나는 노이즈로 보이며 측정장치의 보완이나 baseline의 설정으로 해결할 수 있으리라고 생각된다.

Fig. 3은 blue계열의 에너지 분포로서 최대 피

크가 약 448nm에서 넓게 분포되었다. 또한 가시광선 영역의 단파장 부분에 잘 분포되어 있어서 blue 계열에 매우 적합한 phosphor임을 알 수 있다.

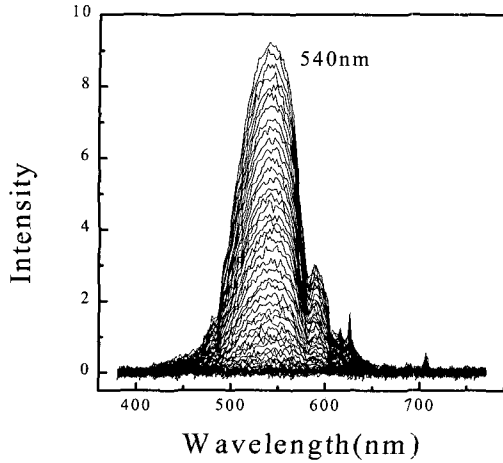


Fig. 2. Relative intensity of green color CRT phosphor according to the wavelength.

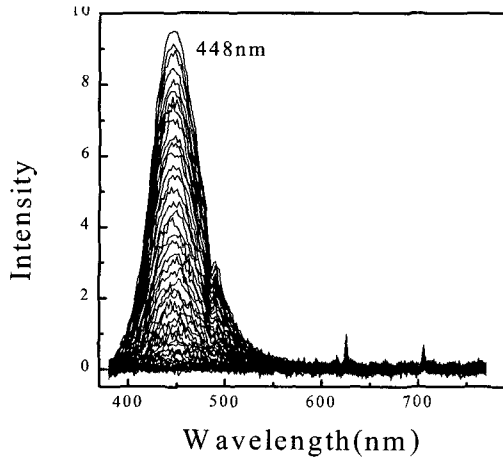


Fig. 3. Relative intensity of blue color CRT phosphor according to the wavelength.

Fig. 4는 각각 phosphors들의 에너지 분포를 영역별로 나타내기 위하여 normalize하여 표현한 것이다.

3.2 Munsell Hue 5에 대한 한국섬유표준색(KOSCOTE)의 반사율

한국섬유표준색도감은 Munsell 색도표를 기준하여 표준색 2,117색과 무채색 18색을 색의 3속성에 따라 분류하여 표준포에 염색한 것이며, 이 표

준색의 표시는 8자리 숫자로 표시되어, 처음 세자리는 색의 종류(색상, Hue)이고 다음 두자리는 대낮의 햇빛에 대한 반사도 즉 밝기의 정도(명도, Value)이고, 마지막 세자리는 색의 맑고 탁한 정도, 즉 회색을 띄고 있는 정도(채도, Chroma)를 나타내도록 표시되어 있다.

Fig. 5는 Munsell value(먼셀명도)가 5인(Red, Yellow, Green, Blue, Purple) 대표적인 색상의 반사율곡선을 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 color CRT의 SPD와

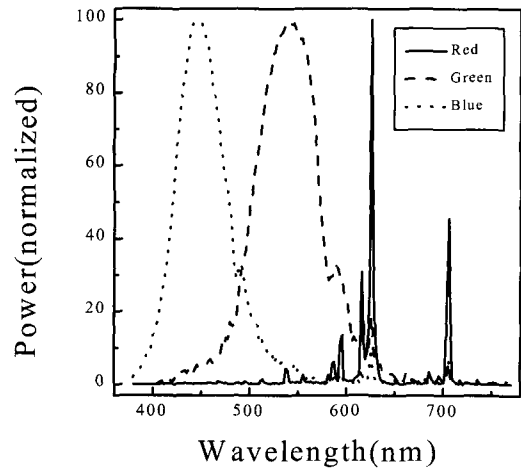


Fig. 4. Relative power(normalized) of R, G, B color CRT phosphor according to the wavelength.

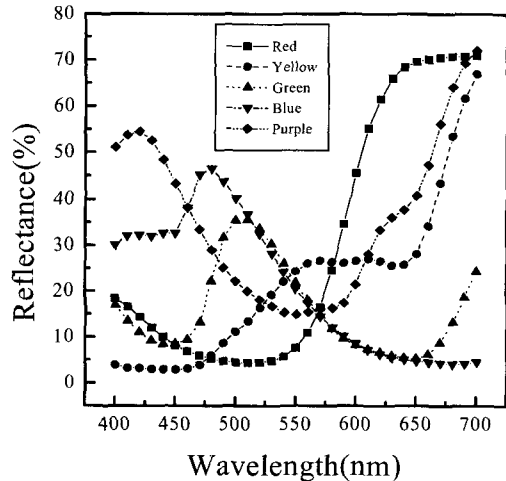


Fig. 5. Plot of reflectance of KOSCOTE with Munsell Hue 5(Red, Yellow, Green, Blue, and Purple).

는 다르게 비교적 넓은 파장의 영역을 포함하는 유연한 곡선을 나타냄을 알 수 있다. 이러한 현상은 폴리에스테르 직물에 염색된 표준염색포는 주로 분산염료에 의해 염색되어져서 비교적 낮은 채도를 갖기 때문인 것으로 생각되며, 한편으로는 직물의 복잡한 표면구조에 의해 빛의 난반사와 산란 현상에 의해 발생하는 자연스런 현상으로 판단된다.

3.3 Color CRT의 휘도(Luminance)

Color CRT에서 Red, Green, Blue phosphor의 디지털 값의 변화에 따른 휘도의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 여기에서 Red, Green, Blue 모두 모니터의 brightness와 contrast 조절단자를 변경하였을 경우 상대적 강도가 많이 변하였다. 이러한 현상은 두 단자를 최대로 하였을 때 Red phosphor의 경우 디지털 값이 190 이상으로 갈수록 더욱 급격한 변화를 나타내었고, 두 단자를 최소로 하였을 경우에는 측정하기 어려운 정도의 낮은 강도를 나타내었다. 따라서 두개의 외부조절단자를 중간 값에 위치시켰을 때 좋은 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 실험에서는 두개의 외부조절단자를 중간에 두었을 때 Red, Green, Blue phosphor의 디지털 값의 변화에 따른 휘도의 변화를 측정하여 감마보정(Gamma Correction)을 통해 수치화 하였다.

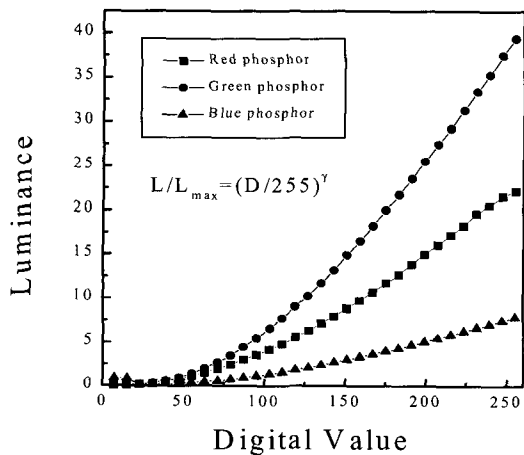


Fig. 6. Luminance of R, G, B phosphor by changing of brightness and contrast.

3.4 실험에 사용된 광원의 강도 분포

현재 시중에 통용되고 있는 여러 가지 광원의 SPD 분포를 Fig. 7에 나타내었다. 할로겐 램프

50W의 경우 전 파장에서 아주 낮은 강도를 보이고 있으며, 텅스텐 필라멘트 램프는 575nm, 602nm, 652nm의 특정한 파장에서 급격한 감소를 보이고 있다. 이는 본 실험에서 2nm의 간격으로 측정하였기 때문에 이러한 변화를 발견할 수 있었으며, 이는 램프의 내부나 표면에 사용된 석영에 포함된 특정한 물질에 의해 흡수된 것으로 생각되며, 이 램프가 산업체에서도 사용되는 광원임을 감안하면 추가적인 실험이나 고유성질을 연구해야 될 것으로 판단된다.

한편, UV 램프의 경우 단파장 영역에서 432nm, 548nm 두 개의 높은 강도를 나타내고 있으며, Daylight 램프의 경우 상대적으로 다른 램프에 비해 비교적 낮은 강도를 나타내지만, 가시광선 전 파장에 걸쳐 매우 안정된 경향을 나타내고 있다. 그러므로 특정 파장 영역에서 변화가 매우 적고 안정한 Daylight 램프가 표준광원으로 주로 사용되는 것이 타당함을 확인하였다.

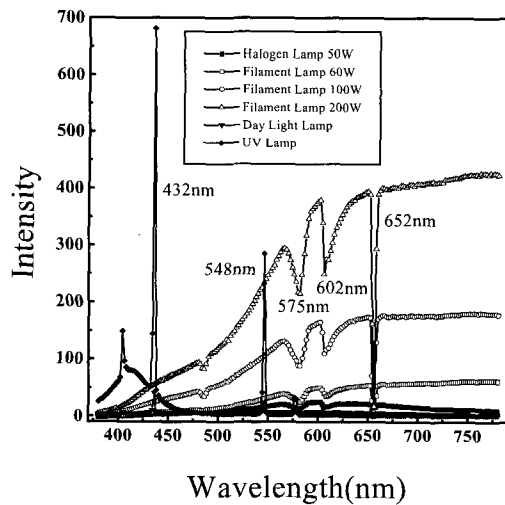


Fig. 7. Spectral emission peaks of various light source.

3.5 CIE chromaticity diagram에 의한 색채영역

Fig. 8은 CIE 1931 x-y 색도도에 CRT가 갖는 색좌표를 나타낸 것이다. CRT는 삼각형 형태의 색채 영역을 보이고 있으며, 외곽으로 갈수록 채도가 높아진다. 삼각형의 안쪽은 컴퓨터가 표현할 수 있는 색의 영역을 말하는 것으로써 이론상 가능한 모든 색이 위치한다고 할 수 있다.

한편 Fig. 9는 측정된 KOSCOTE의 색표현 영역을 나타낸 것이다.

여기에서 두 색채영역을 비교해보면 green과 blue 계열의 일부 영역에서 약간의 차이가 있음을 알 수 있는데 이는 특정한 염료 때문이 아닌가 생각되며 이러한 색을 color CRT에 모두 표현하기 위해서는 gamut 매칭을 하여야 함을 확인하였다.

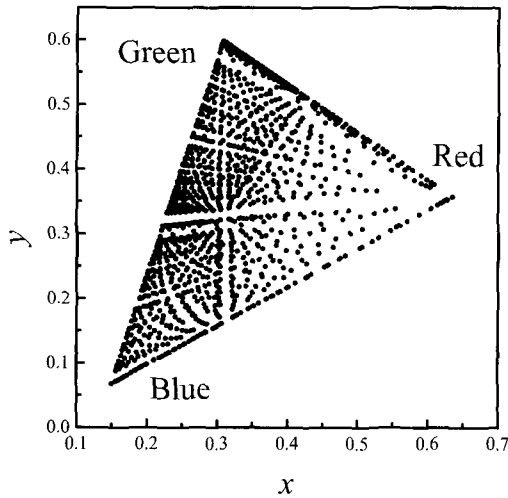


Fig. 8. Gamut of various CRT color plotted in the CIE x-y chromatic diagram.

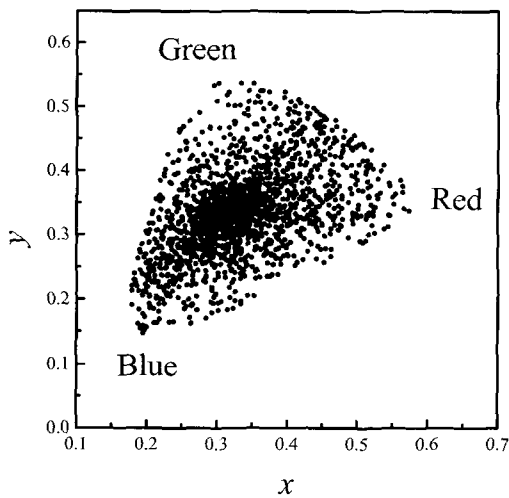


Fig. 9. Gamut of various colored KOSCOTE plotted in the CIE x-y chromatic diagram.

3.6 표준색의 color CRT에서의 색 구현

표준 염색포의 색을 CRT에 똑같이 매칭하기 위해서 이론에 바탕을 둔 칼라매칭 알고리즘과 프로그램의 제작을 통하여 실제 실행해 본 결과를

Fig. 10~Fig. 16에 나타내었다.

Fig. 10은 보정을 통한 매칭 결과를 CIE L*a*b* color space에 표현한 것으로서 명도가 낮은 부분에서 색을 표현하는데 있어서는 조밀한 간격을 유지하지 못하는 단점을 보이고 있기 때문에 인접한 색의 표현에는 한계가 있음을 알 수 있다. 이러한 이유는 Red 계열이 DAC level에 따른 채도변화폭이 크고 명도에 밀접한 관련이 있는 Green 계열의 변화폭이 너무 낮아서 발생하는 현상으로 판단된다. 또한 Fig. 11은 gamut 매핑 후 KOSCOTE의 색을 CIE L*a*b* 색 공간에 표현한 것으로서 면셀의 색채계에 맞추어 제작된 KOSCOTE의 색 표현은 시각적으로 균일한 등간격을 보이고 있음을 알 수 있으며, Fig. 10의 gamut 안에 Fig. 11의 모든 색들이 표현 가능하고 매칭 됨을 알 수 있다.

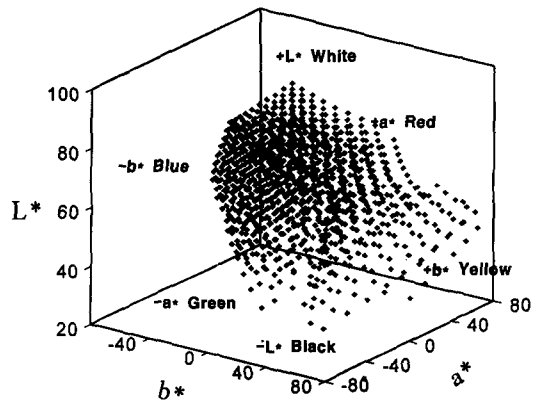


Fig. 10. Arrangement of various CRT color in the CIE L*a*b* color space(2° observer).

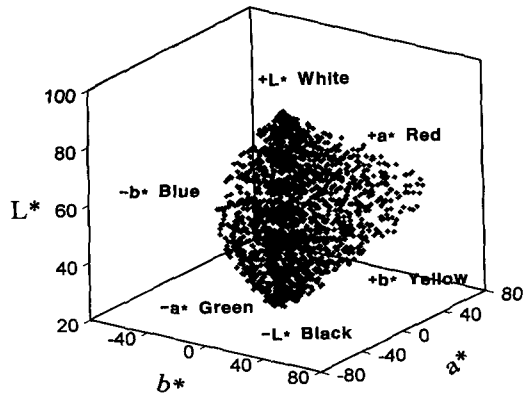


Fig. 11. Arrangement of various KOSCOTE color in the CIE L*a*b* color space(D65/2° observer).

Fig. 12~Fig. 13은 KOSCOTE 와 color CRT의 SPD의 비주얼 매칭을 실행한 결과를 최근에 발표된 색차식⁹⁾을 사용하여 나타내었다. 이들 중 Fig. 12는 무채색 명도 80인 KOSCOTE의 색을 color CRT에 매칭한 것으로 반사율 곡선은 상당히 유사하게 나타나 보이고 색차 또한 아주 작은 값을 갖는다. 이는 비주얼 매칭을 했을 때 인간이 그 색 차이를 느끼지 못할 정도의 아주 유사한 색임을 알 수 있다.

Fig. 13은 유채색 중 먼셀의 대표적인 색인

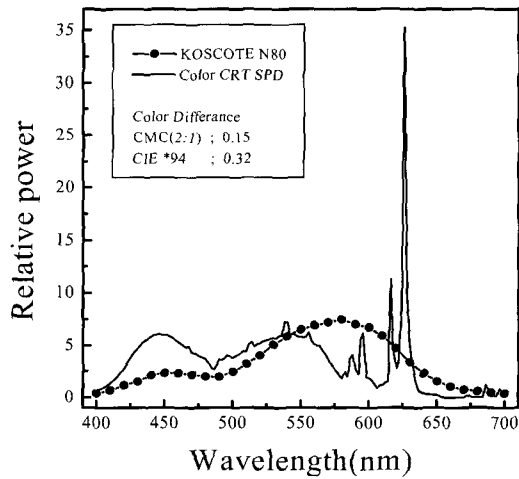


Fig. 12. Relative power of KOSCOTE and SPD of matched color CRT(Achromatic color ; N80) according to the wavelength.

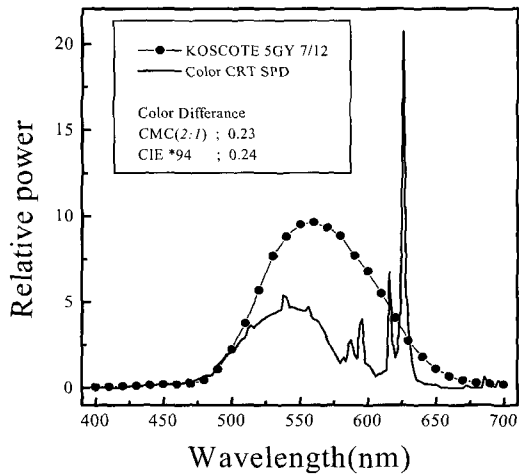


Fig. 13. Relative power of KOSCOTE and SPD of matched color CRT(Chromatic color ; 350 70 120) according to the wavelength.

green계열의 색을 매칭한 반사율 곡선을 나타내고 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 green계열의 색은 500~650nm의 범위 안에서 넓은 분포의 반사율 피크를 보이고 있는 것을 알 수 있었다.

Fig. 14는 blue계열의 색을 매칭한 것으로 단과 장 쪽에서는 아주 유사한 피크를 보이며, 매칭에 영향이 적은 green이나 red 피크 쪽에서는 다소 차이가 많이 나는 경향을 보이고 있다. color CRT에서 나타나는 작은 피크들은 매칭 시에는 크게 영향을 미치지 않기 때문에 색차를 최소로 하는 매칭 방법에서는 반사율 곡선이 다소 차이가 나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 15는 red계열의 색을 매칭한 것으로 반사율 곡선이 아주 유사한 경향을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. red와 같은 경우는 600~650nm에서 가장 큰 영향을 나타내기 때문에, color CRT red의 SPD는 상대적으로 큰 피크를 나타내고 있다.

Fig. 16은 광원의 변화에 따른 관능검사를 실시한 결과를 나타낸 것으로서 표준광원 D65, C광원 하에서 KOSCOTE와 color CRT의 매칭 결과는 아주 유사한 경향을 나타내고 이론적 결과와 거의 일치함을 알 수 있었다. 그러나, A광원인 경우 커다란 차이를 보이고 있으며, 이는 메타머리즘에 의한 현상이라고 판단된다. 즉, 텅스텐 필라멘트의 광원 하에서는 색의 차이가 크게 나타나고 있으며, 동일한 색이 정확하게 일치되어 보이지 않음을 육안으로 확인할 수 있었다.

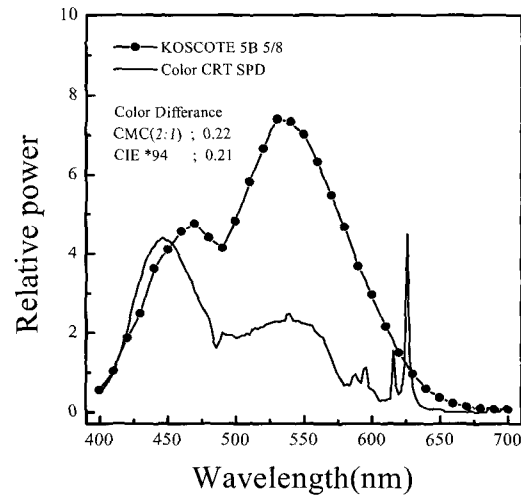


Fig. 14. Relative power of KOSCOTE and SPD of matched color CRT(Chromatic color ; 650 50 080) according to the wavelength.

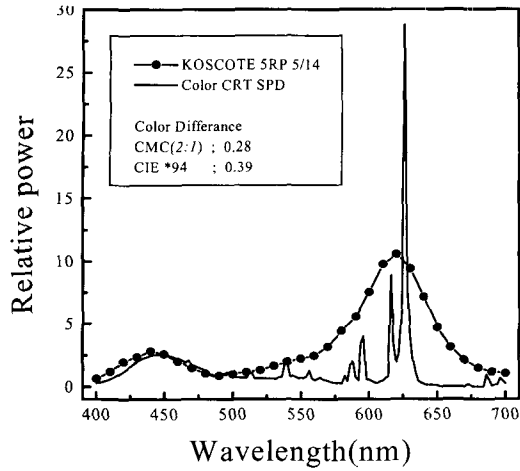


Fig. 15. Relative power of KOSCOTE and SPD of matched color CRT(Chromatic color; 950 50 140) according to the wavelength.

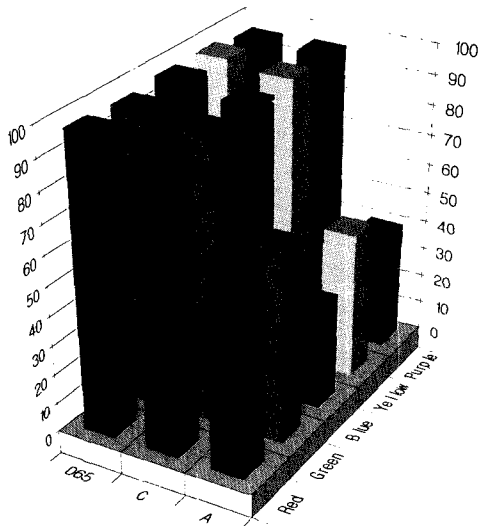


Fig. 16. Visual matching values of KOSCOTE and color CRT at different colours and source of lights by human eye.

4. 결 론

본 연구는 가장 일반적인 색 표현 장치인 color CRT와 직물의 색을 매칭 할 수 있는가를 확인하

고자 실험적 방법을 통하여 color CRT상에 표준 직물의 색을 정확히 표현해본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) Color CRT에 표현된 KOSCOTE의 일부 색 상구간이 색 표현 영역 외의 값을 가지나, gamut mapping방법을 적용하여 보정함으로써 color CRT 안에 모든 색의 표현이 가능함을 알 수 있었다.
- 2) Color CRT와 염색된 직물은 근본적인 색 표현 방법의 차이로 인하여 반사율 스펙트럼을 일치시켜 메타머릭 현상을 최소로 하는 invariant match는 불가능하나, CIE 색좌표를 이용한 좌표 값을 일치시키는 conditional match는 비교적 양호한 결과를 나타내었다.
- 3) Color CRT의 RGB로 표현되는 색과 다양한 염료로 염색된 KOSCOTE 직물의 색을 이론적인 매칭알고리즘으로 일치시킴으로써 color CRT상에 직물의 색 재현과 산업현장의 색채개발 및 염색 자동화 기기에 의한 체계적인 Color Simulation System의 개발 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. D. H. Brainard and B. A. Wandell, *IOVS*, Supplement, **29**, 162(1988).
2. W. B. Cowan and N. Rowel, *Col. Res. Appl.*, Supplement, **11**, S33 (1986).
3. J. B. Cohen and W. E. Kappauf, *Amer. J. of Psychology*, **98**, 2, 171 (1985).
4. A. Watt, "3D Computer Graphics", 2nd Ed., Addison-Wesley Pub. Co., (1993).
5. C. J. Hawkyard and C. Wilkinson, *JSDC*, **106**, 356(1990).
6. C. J. Hawkyard and D. P. Oulton, *JSDC*, **107**, 369(1991).
7. D. P. Oulton and I. Porat, *J. Text. Inst.*, **83**, 3, 454(1992).
8. C. J. Hawkyard, *JSDC*, **109**, 246(1993).
9. C. J. Hawkyard, *JSDC*, **109**, 323(1993).