

〈研究論文(學術)〉

IR영역에서의 위장염색을 위한 칼라 매칭 알고리즘 연구

송경현¹ · 육종일* · 하헌승* · 이태상* · 유영은* · 이시우**

배재대학교 의류패션학과
*국방과학연구소 기술연구본부
**충남방직(주)

The Color Matching Algorithm in Near Infrared Range for Military Camouflage

Kyung-Hun Song¹, Jong-Il Yuk*, Hun-Seung Ha*,
Tae-Sang Lee*, Young-Eun You*, and Si-Woo Lee**

Dept. of Clothing & Textiles, Paichai University, Daejeon, Korea
*Agency for Defence Development, Daejeon, Korea
**Chungnam Spinning Co., Daejeon, Korea

(Received March 25, 2005/Accepted July 13, 2005)

Abstract—The purpose of this study was to develop the color matching program with the excellent camouflage capacity in the near infrared range (~1100nm) including the visible light range for cotton fabrics. It was measured IR spectral reflectance in the range of 380~1,100nm after dyed with vat dyes, and we made database for reflectance with various concentration on vat dyes which have a low reflectance value in the infrared range. The color matching algorithm that could be simulated in both the human visible light and the near infrared range was constructed by numerical analysis method using the database. In this study we also developed the dyeing conditions and dyeing process through the continuous-dyeing experiment with the vat dyes for cotton fabrics.

Keywords: Camouflage capacity, Near infrared range, Reflectance, Vat dyes, Color matching algorithm

1. 서 론

현재의 한국군 얼룩무늬 위장전투복지는 1990년에 제정된 이후 1999년에 개정된 국방규격에 준하여 가시광선영역에서 위장 가공된 폴리에스테르/면(65/35) 혼방직물이 사용되고 있다. 이러한 폴리에스테르/면 혼방직물소재의 선정 배경에는 당시 국내 현실에 적합한 방직기술과 가공기술, 제조단가 등을 고려하여 선정되었으며 국내 산악지형을

고려한 4도 색상과 패턴으로 가시광선영역에서 위장성능을 갖도록 하고 있다¹⁾. 군사 선진국에서 개발 또는 개발중인 위장염색에 관한 연구는 국방기밀과 관련되어 있는 관계로 이에 대한 정확한 기술이나 자료가 공개되어 있지 않다. 전투복의 선진기술을 보유한 미국은 1989년에 개정된 규격에서 활동성과 쾌적성, 보온성, 화상위험의 감소 등을 고려하여 나일론 66을 사용한 나일론/면(50/50) 혼방직물소재를 전투복에 사용하고 있으며 위장성능 또한 근적외선 영역인 860nm까지 확대 적용하고 있다^{2,3)}.

¹Corresponding author. Tel. : +82-42-520-5413 ; Fax. : +82-42-520-5576 ; e-mail : khsong@pcu.ac.kr

최근에는 국내에서도 스포츠용 의류의 발달로 나일론 6을 이용한 나일론/면 혼방사의 개발에 관심이 증대되면서 쾌적성과 활동성의 측면에서 한국군의 차세대 군복용 소재로의 적용 가능성에 대한 검토가 이뤄지고 있다⁴⁾.

위장염색과 관련된 국내의 연구로는 vat염료를 위시한 위장 염료의 개발 및 특성에 관한 연구^{5,6)}, 위장염색물의 패턴 연구⁷⁻¹⁰⁾, 라미네이팅 투습가공을 비롯한 위장염색물의 각종 가공에 대한 연구¹¹⁻¹⁴⁾가 보고되어 있다.

그러나 적외선의 반사특성을 이용한 관측 장비의 발달¹⁵⁾ 및 사막전 등의 전투 환경변화, 개인전술의 중요성 등으로 인하여 1,000nm 이상의 더욱 강화된 적외선 영역의 위장/가공기술^{16,17)}이 요구되고 있다.

일반적으로 염료를 포함한 대부분의 유기물질은 860nm 이하의 가시광선과 근적외선영역에서 광흡수특성을 갖고 있으나, 860nm 이상의 적외선에 대한 흡수특성을 갖는 염료 및 안료는 극히 일부여서 기존의 860nm까지의 위장성능에 비하여 860nm 이상에서의 위장성능은 매우 높은 기술개발단계를 요구한다. Vat 염료는 적외선흡수능력을 가지면서 높은 일광 견뢰도와 염소 견뢰도 등을 갖고 있어 군사적 위장날염에 널리 사용¹⁸⁾되고 있으나, 염료 제조상 발생하는 공해문제와 까다로운 염색방법을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 가시영역뿐 아니라 Near IR 영역에서도 위장염색성능을 갖춘 국내 전투복 개발을 위하여 현재 위장 염료로 널리 사용되고 있는 Vat 염료를 이용하여 면직물에 대한 최적 염색 가공의 공정과 조건을 검토하였으며 vat 염료의 종류 및 농도에 따른 염색실험과 이들 반사율 값의 정량화/Database 화를 통해 기존의 가시광선영역 뿐 아니라 적외선영역(380~1,100nm)에서도 시뮬레이션 가능한 칼라 매칭 알고리즘을 구축하고자 하였다.

2. 실험

2.1 시료

본 실험에 사용된 시료는 CM40×CM40 / 136×72의 조성을 갖는 면 평직물을 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 전처리

98℃에서 NaOH(5.0%), 호발제(3.0%), 침투제(0.6%)가 혼합된 용액에서 30분간 호발·정련 처리하였고, 동일 온도에서 NaOH(3.0%), H₂O₂(13%), pinhole 방지제, 얼룩 방지제, 과수 안정제의 혼합 용액에서 25분간 표백처리 하였다.

2.2.2 염색

본 실험에 사용된 Vat 염료는 시판되고 있는 Cibanon계와 Indanthrene계의 염료에 대해 염법을 표준화시켜 Fig. 1과 같이 ① 염색, ② 예비건조, ③ 건조, ④ 열처리, ⑤ 수세, ⑥ 산화 공정, ⑦ Soaping의 공정을 거치는 연속염법에 의해 염색하였다.

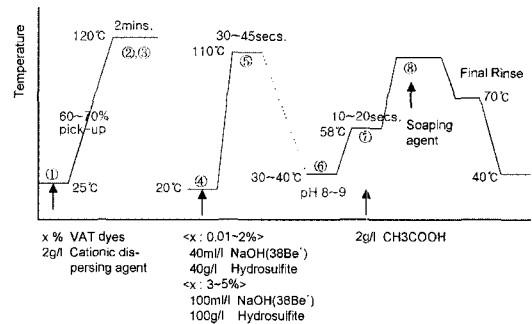


Fig. 1. The condition of continuous dyeing for cotten fabrics with vat dyes.

2.3 측색

실험에 사용된 가시광선/적외선 분광반사율 측정 장치는 측정범위가 380~1,100nm까지 10nm 간격으로 측정할 수 있는 VIS/IR spectrophotometer (Model : MF45NIR, Data Color Co., USA)를 사용하여 UV 필터링 없이 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 현 전투복의 가시/적외선영역 분광특성 비교

현재 사용되는 위장 얼룩무늬 전투복은 주변 환경 조건하에서 가시광선영역 및 일부 적외선 영역(600~860 nm)안에서 위장효과를 나타내고 있으나, 새로운 야시 장비인 적외선 야간 감시 장치 및 적

외선 사진 촬영(800~1200 nm)에는 효과를 나타내지 못하고 쉽게 탐지되는 결점이 있다. 이러한 결점을 보완하기 위해서는 적외선영역에서도 주변 환경(식물, 바위, 흙 등)의 반사율과 위장복의 반사율이 비슷하게 염색되어야 한다. 특히 국내 주변 환경은 산림이 국토의 70%를 차지하므로 나무 및 식물과 근접한 반사율 값을 가져야한다. 통상적으로 주변 환경이 나타내는 반사율 값은 Table 1¹⁴⁾과 같다.

Table 1. Spectral reflection(%) of environments for battle area

Wavelength Environments	600nm	860nm	1,100nm	1,200nm
Herbaceous flower	14	52	49	49
Leaves	5~8	24~90	25~40	25~40
Sand	9~18	15~23	15~25	15~28
Mud & Rock	6	11	13	14

Fig. 2는 현재 착용하고 있는 미국, 영국, 이탈리아 및 한국군 전투복의 4도 색상(Light Green, Dark Green, Brown, Black)에 대한 가시/적외선 영역의 분광반사율을 나타낸 것이다. 현재까지 한국군과 미국군은 MIL-C-44031 규격에 해당되는 860 nm까지의 위장성능을 갖고 있으나 Light Green, Dark Green, Brown의 경우 860nm 이상의 적외선 영역에서는 반사율이 급격히 증가하여 최근의 향상된 야시장비에서는 위장성능을 발휘할 수 없는 것으로 나타났다. EU규격을 따르는 이태리 전투복의 경우 Black에서의 860nm 이상에서의 반사율 값

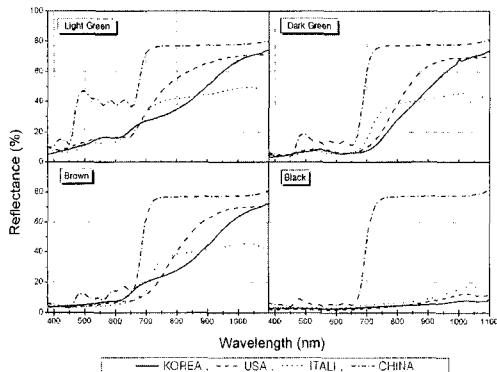


Fig. 2. Reflectance spectra of military uniform for various countries.

이 20% 가까이 나타나 위장에 요구되는 반사율 값을 충족시키지 못하나 나머지 3가지 color에서 1,100nm까지 비교적 좋은 위장성능을 나타내었다.

그러나 IR 영역에서 동일한 분광반사율을 나타냄으로써 위장성능에서 중요하게 고려되는 흐트러짐의 효과를 갖지 못하는 것으로 나타났다. 중국 전투복의 경우 700nm이상의 적외선 영역에서 모든 색상이 약 80%의 반사율을 나타내는 것으로 보아 적외선 위장성능은 전혀 갖고 있지 못한 것으로 나타났다.

3.2 IR영역 위장 염료의 분광반사 특성

Vat 염료 중 IR영역(~1,100nm)까지 위장염색성을 갖고 있는 염료를 선별하기 위하여 Cibacone계와 Indanthrene계 주요 Vat 염료의 분광반사율 특성을 조사하였다.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 몇몇 염료를 제외한 대부분의 염료는 860nm 이하의 파장영역에서는 낮은 반사율 값을 가지나 860nm 이상의 파장영역에서는 높은 반사율 값을 갖는 것으로 나타났다. 즉 대부분의 염료는 860nm 이상의 적외선영역에서 빛을 잘 흡수하지 못하며 특히 Red-Yellow 계열의 염료는 적외선을 거의 흡수하지 않음을 알 수 있다.

현재 미국군사규격에서 추천하고 있는 Vat 염료를 사용하여 염료의 농도별 염색 실험결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 C.I. Vat Orange 2, C.I. Vat Green 1, C.I. Vat Brown 3, 그리고 C.I. Vat Brown 57에 대한 면직물의 염색결과, 700nm 부근까지의 가시부 영역에서는 염료의 농도가 높아질수록 반사율값도 저하하였으나 800 nm 이상의 적외선 영역에 있어서는 염료의 농도가 증가하여도 반사율값이 감소하지 않았다.

또한 일반적인 면직물의 염색에 사용되고 있는 반응성 염료의 농도별 염색 실험결과를 Fig. 5에 나타내었다. C.I. Reactive Blue 14, C.I. Reactive Violet 2, C.I. Reactive Red 24, C.I. Reactive Blue 72에 대한 면직물의 염색 실험결과, 가시부 영역까지는 염료의 농도가 증가할수록 반사율값이 저하하였으나 800nm 이상의 적외선 영역에서는 염료의 농도가 증가하여도 반사율값의 저하가 거의 일어나지 않았음을 알 수 있다.

Fig. 6는 Fig. 3의 실험 결과로부터 860nm 이상의 영역에서도 낮은 반사율 값을 갖는 염료(C.I.Vat

Brown 23, C.I. Vat Green 3, C.I. Vat Black 25, C.I. Black 19, C.I. Brown 1) 를 선별하여 농도별로 1,100nm까지의 분광반사율을 측정한 결과로서 선별된 Vat 염료 4종에 대한 농도별(0.05%~5.0% 범위 내에서 7가지 농도) 반사율 값을 보여 주고있다. 여기에서 알 수 있듯이 면직물에 대한 Vat 염료의 반사율은 농도가 증가할수록 380~1,100nm의 모든 파장영역에서 반사율 값이 저하하고 있음을 볼 수 있다. 이는 선별된 Vat 염료가 적외선 영역에서 흡수하는 특성을 가지고 있어 염료 농도가 증가할수록 빛의 흡수도 커져 모든 파장영역에서 반사율 값이 작아졌음을 의미한다. 즉, Fig. 6에 선별된 Vat 염료의 적외선 영역에서의 분광특성은 단지 염료의 농도 증가에 따른 현상이 아니라 이들 염료가 적외선 영역에서 우수한 흡수능성을 갖고 있기 때문임을 말해 주며, 이들 염료의 농도를 조절함으로써 적외선영역에서의 반사율 값을 조절할 수 있음을 시사해 준다.

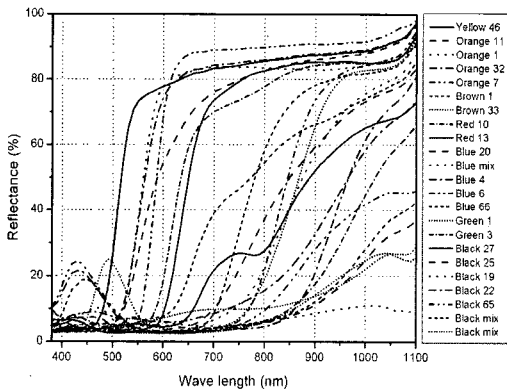


Fig. 3. Reflectance spectrum of cotton fabrics dyed with vat dyes.

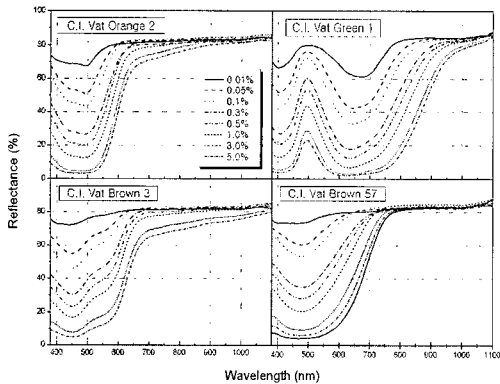


Fig. 4. Reflectance spectra of cotton fabrics dyed with recommended vat dyes in US military standard.

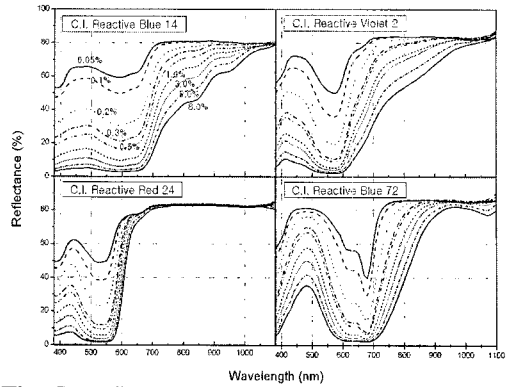


Fig. 5. Reflectance spectra of cotton fabrics dyed with reactive dyes.

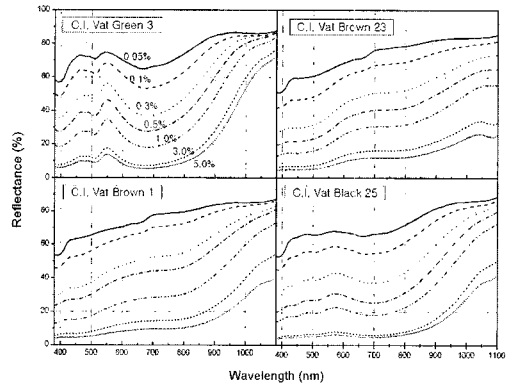


Fig. 6. Reflectance spectra of cotton fabrics dyed with various concentrations of vat dyes.

3.3 가시부영역에서의 칼라매칭 알고리즘

일반적으로 가시광선영역에서의 칼라 매칭은 다음과 같다.

식 (1)은 Kubelka-Munk 식으로서 흡광계수(α)를 구하기 위해서 사용되었다.

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

본 실험에서 대부분의 vat 염료는 Fig. 7과 같이 적외선 영역에서조차도 $f(R)$ 이 농도에 따라 비교적 양호한 직선관계를 보임으로써 식 (2)가 적용될 수 있음을 보여준다. 특정한 염료의 경우 적외선영역에서 흡수특성이 농도에 따라 곡선의 기울기를 갖는 경우가 있는데 이와 같은 경우에도 식 (3)과 같은 이차다항식에 좋은 curve-fitting 결과를 내었다.

여기서 $f(R)_w$ 는 염색 전 직물의 $f(R)$ 값을 의미한다.

$$f(R) = f(R)_w + ac \quad (2)$$

$$f(R) = f(R)_w + (a_1c + a_2)^2 \quad (3)$$

염료(a, b, c, ...) 조합에 의한 $f(R)$ 은 다음의 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$f(R) = f(R)_w + a_a c_a + a_b c_b + a_c c_c + \dots \quad (4)$$

즉, 전 파장에 대해서 식 (4)를 적용하면 염색된 직물의 예상 반사율을 얻을 수 있다.

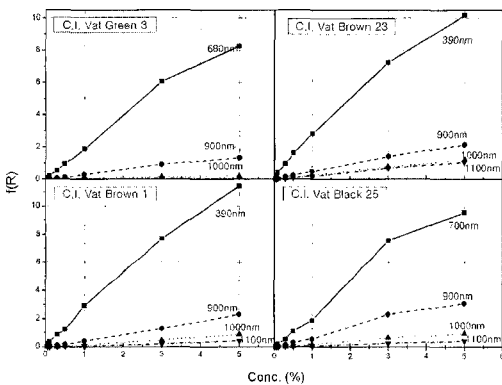


Fig. 7. Kubelka-Munk plots for various concentrations of vat dyes.

3.4 적외선영역이 포함된 칼라 매칭 알고리즘

일반적으로 칼라 매칭 방법에는 CIELAB color system에서 색차값(ΔE)을 최소화시켜 염료조합비를 계산하는 conditional match 법과 전 파장영역에서 분광반사율을 일치시키는 invariant match 법이 사용되고 있다. 상업화된 대부분의 칼라 매칭 알고리즘은 전자의 것을 이용하여 여기에 metamerism 등을 보완하여 사용하고 있다. 그러나 이러한 CIELAB system에서 사용되는 표준관찰자는 820nm 이상의 적외선 영역에서는 적용이 불가능하다¹⁹⁾.

따라서 본 연구에서는 가시광선영역에서는 conditional match 법을 사용하되, 적외선 영역의 특정 파장에서는 반사율값을 근접시키는 부분적인 invariant match 법을 병행 사용하는 알고리즘을 적용하였다. Fig. 8은 이러한 알고리즘을 도식화하여 나타낸 것으로서, 매칭 될 색상의 L^* , a^* , b^* 값과 적외

선 영역의 기준반사율 값을 동시에 입력하여 최적의 염료 조합비가 산출될 수 있도록 설계하였다. 적용할 염료의 농도에 따른 염색실험을 행한 후 반사율 값(R%)을 측정하고 흡광계수(α), $f(\alpha)$ 값을 도출하여 DB화 하였으며, 적외선 영역에서는 현재 유럽 및 미국에서 적용하고 있는 반사율을 기준으로 하여 Table 2에 제시한 바와 같이 Light Green Color는 60%, Dark Green Color는 40%, Brown Color는 30%, Black Color는 15%의 반사율 값을 적용하였다.

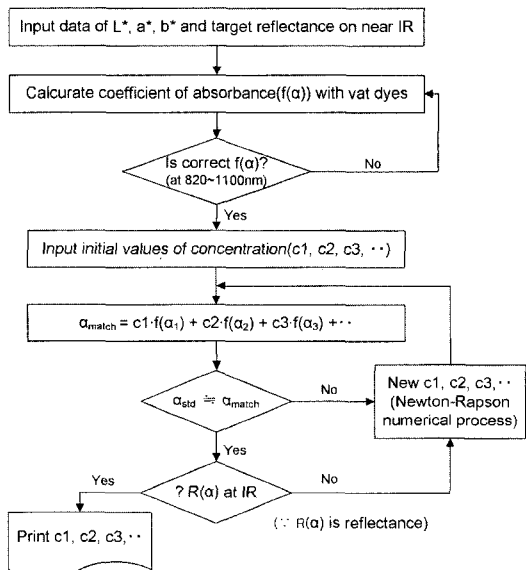


Fig. 8. Color matching algorithm flow chart for near infrared range up to 1,100nm.

Table 2. Guide line of spectral reflectance value for infrared range on camouflage

Spec.	900nm	1000nm	1100nm
Light Green	55±10%	60±10%	60±10%
Dark Green	35±10%	40±10%	40±10%
Brown	30±5%	30±5%	30±5%
Black	10±5%	15±5%	15±5%

Fig. 9 ~ Fig. 12는 이러한 알고리즘에 의해 개발된 칼라 매칭 프로그램을 이용하여 Light green, Dark green, Brown, Black color에 대한 매칭 결과를 나타낸 것으로서 각 그림에서 Standard는 현재 미국군 국방규격을 충족하는 날염직물의 반사율

값을 나타낸 것이며, Batch는 수치해석적인 매칭 알고리즘에 의해 계산된 이론적인 매칭 결과이다.

Fig. 9는 연속염색에 C.I. Vat Black 19(0.505%), C.I. Vat Brown 3(0.188%), C.I. Vat Green 1(0.474%), C.I. Vat Orange 2(1.095%)의 4 종류의 염료조합에 따른 light green 에 대한 매칭 과정과 예측결과를 나타낸 것으로서 600nm 이하의 파장영역에서는 Standard와 Batch의 반사율 값이 유사하나 700nm 이상의 적외선 영역에서 Standard는 반사율이 높아지기 시작하여 1,000nm에서는 70% 정도의 높은 반사율을 갖는 것에 비해 Batch는 목표치인 60%에 근접하고 있음을 알 수 있다. 즉, 새로운 매칭 설계방법에 의해 염색된 직물의 경우 1,100nm까지의 근적외선 영역에서도 60%의 반사율 값을 나타냄으로써 선전국의 전투복규격의 반사율 값을 충족시킬 수 있는 위장성능을 발현할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 10은 Dark Green에 대한 매칭과정과 예측결과를 나타낸 것으로서 C.I. Vat Black 19(0.320%), C.I. Vat Brown 23(1.005%), C.I. Brown 3(2.715%), C.I. Green 1(1.132%)의 4 종류의 염료 recipe가 구해졌다. 그림에서 현재 한국군복인 Standard는 800nm에서부터 반사율이 상승하여 1,000nm에서 약 70%의 반사율을 나타내는 것에 비해서 Batch는 900nm 이상에서 35%~40%의 반사율 값을 예측하고 있어 매우 좋은 결과를 나타낼 수 있을 것으로 예상된다.

Fig. 11은 Brown에 대한 매칭과정과 예측결과를 나타낸 것으로서 C.I. Vat Brown 23(1.341%), C.I. Sulpur Black 6(4.630%), C.I. Vat Brown 3(2.085%),

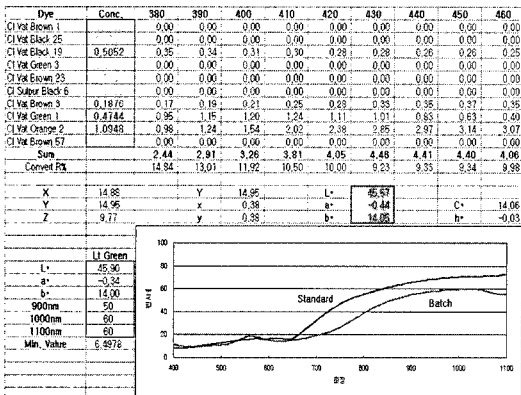


Fig. 9. Results of light green color matching process up to near infrared 1,100nm.

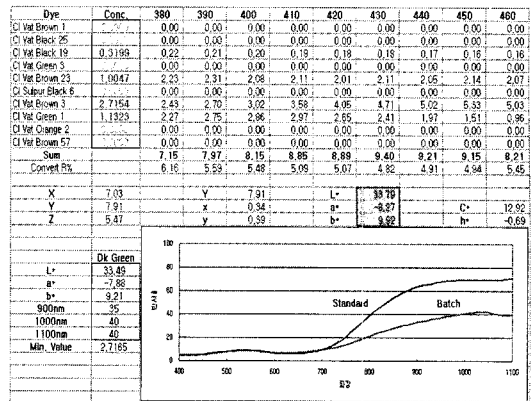


Fig. 10. Results of dark green color matching process up to near infrared 1,100nm.

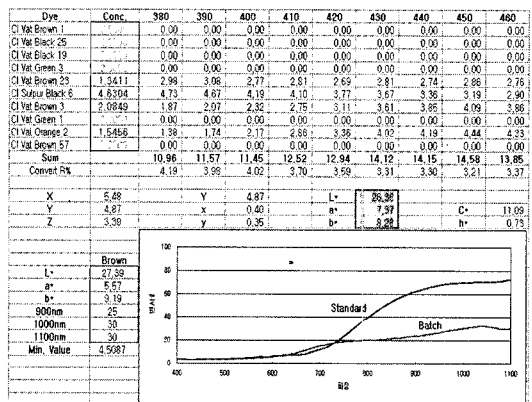


Fig. 11. Results of brown color matching process up to near infrared 1,100nm.

C.I. Orange 2(1.546%)의 최적 recipe가 얻어졌다. Standard는 적외선 영역에서 약 70%의 높은 반사율을 나타내는 데에 비해서 Batch는 900nm에서는 목표값인 25%의 반사율 값을 예측하고 있으며, 그 이상의 영역에서는 30%의 반사율 값을 예측하고 있다.

Fig. 12는 Black에 대한 매칭과정과 예측결과를 나타낸 것으로서 C.I. Vat Black 25(8.667%), C.I. Vat Black 19(3.199%), C.I. Vat Green 1(0.495%)의 recipe가 얻어졌다. 적외선 위장성능에 있어서 Black의 반사율은 낮을수록 좋으나, 실제 생산에 있어서 염료단가가 높은 vat 염료는 농도를 고려하지 않을 수 없기 때문에 적은 농도로 높은 효율을 얻는 것이 매우 중요하다. 그림에서 매칭결과는 가시광선영역에서 반사율이 4%를 넘지 않으며 적외선 영역에서 16%를 넘지 않는 것으로 예측하고 있다.

이와 같은 칼라 매칭 프로그램에 의해 원하는 반사율 값을 갖도록 계산된 조합비를 이용하여 실제로 염색한 결과와의 차이를 Fig. 13에 나타내었다.

Fig. 13은 현 국방규격의 4도 색상(Light green, Dark green, Brown, Black)을 기준으로 가시광선 영역뿐 아니라 적외선 영역에서도 위장성능을 부여시켜 Vat 염료로 염색한 염색직물의 반사율곡선을 나타낸 것으로 4색 모두 이론치와 실제 염색물의 반사율값이 비교적 잘 일치하였으며, 800nm 이상의 적외선 영역에서도 반사율 값이 크게 증가하지 않고 있음을 보여준다. 즉 1,100nm의 적외선 영역에서도 각 색상별 반사율 값이 Black 약 15%, Brown 약 30%, Dark green 약 40%, 그리고 Light green 약 60%의 만족할 만한 반사율을 나타냄으로써 기존의 가시광선 영역뿐 아니라 적외선 영역에서도 우수한 위장성능이 부여되었음을 알 수 있다.

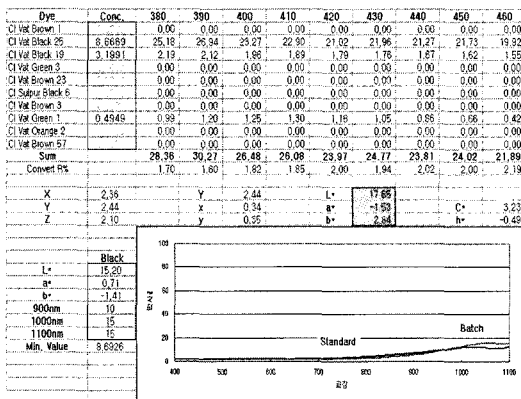


Fig. 12. Results of black color matching process up to near infrared 1,100nm.

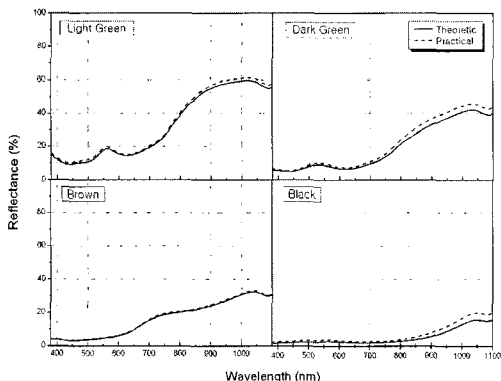


Fig. 13. Reflectance spectra of cotton fabrics with vat dyes by recipe using new color matching algorithm.

4. 결론 및 제언

적외선영역에서 위장성능이 우수한 국내 전투복 개발을 위하여 면직물에 대한 vat 염료의 염료별, 색상별, 농도에 따른 염색실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 위장 염료로 사용되는 vat 염료에 대한 면직물의 염색조건 및 염색공정을 설정하였다.
2. 위장염색에 사용되는 주요 vat 염료의 분광특성을 분석, 정량화하여 database화 하였다.
3. 가시부 영역뿐 아니라 적외선영역에서도 우수한 위장성능을 구현할 수 있는 칼라 매칭 알고리즘을 구축하였다.
4. 개발된 칼라 매칭 프로그램에 의해 계산된 색 조합비로 염색한 결과 이론치와 매우 근접한 결과가 얻어졌다. 즉 1100nm의 near-IR 영역에서도 각 색상별 반사율 값이 Black 약 15%, Brown 약 30%, Dark green 약 40%, 그리고 Light green 약 60%의 반사율 값을 나타냄으로써 기존의 가시부 영역뿐 아니라 적외선영역에서도 우수한 위장성능이 부여되었음을 알 수 있다.
5. IR 영역에서도 simulation 될 수 있는 칼라 매칭 프로그램을 면/나일론 혼방직물에 적용시켜 위장날염에 관한 지속적인 연구가 이루어진다면 IR영역에서도 위장성능을 갖춘 쾌적한 국내 전투복의 개발이 가능하리라고 본다.

감사의 글

“본 연구는 2003년 산업자원부 지원, 민군겸용 기술개발사업(과제번호 : 10011171)으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.”

참고문헌

1. 한국국방규격(1999).
2. MIL-C-44031D, “Cloth, Camouflage Pattern : Woodland, Cotton and Nylon”, 1989.
3. “Development of the U.S. Woodland Battle Dress Uniform”(Natick Research Center, U.S.)
4. 정주영, 이대훈, 안재상, 정기수, 지영아, “적외선위장복의 개발”, 한국생산기술연구원 연구보고서, 2001.
5. “Piece Dyeing Comparison”, Research Report,

- Cotton Incorporated, U.S.(1987).
6. NTI "Value Added Prints", Ciba-geigy Korea, 1993.
 7. Song, G and Tang, S., Method for Spectral Pattern Recognition of Color Camouflage, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, **36**(6), 1779-1781(1997).
 8. O'Neill, T., Innovative Camouflage Design. Monograph prepared for U.S. Army Natick Laboratories. Alexandria, Va.: Star Mountain, Inc., 1995.
 9. Santos, Luisa DeMoraes, et al., Camouflage U.S. Marine Corps Utility Uniform : Pattern, Fabric, and Design, *U.S. Pat.* 986016(2001).
 10. Combat Developments Experimentation Command Final Report, Dual-Textured Gradient Camouflage Paint Pattern, USACDEC Experiment 8 CEP 57 (1978).
 11. Kamemaru Kenichi and Nakagawa Kiyoshi, Moisture-Permeable Waterproof Camouflage Fabric and Its Production, *Japan Pat.* 2000-265308(2000).
 12. Kotari Hiroyuki, Imaeda Naoki, Furuya Takenori, and Kusaka Taichi, Fabric Finished for Camouflage, *Japan Pat.* 2001-055669(2001).
 13. Chikamori Yoshihiro, Yamamuro Masanobu and Tagashira Shinsuke, Camouflage Patterned Laminated Fabric, *Japan Pat.* 2001-011779 (2001).
 14. 김금곤, 문성진, "투습방수코팅직물의 제조방법", *Korea Pat.* 999-0057604(1999).
 15. NTIS No. : PB94-851326, "Camouflage Materials and Camouflaged Equipment" (1994).
 16. Horii Fumio and Nagase Fukugi, Production of Camouflage Cotton Yarn Knit, *Japan Pat.* 07-157980(1995).
 17. Yasuda Kazuo, Wakamatsu Yoshibumi, Higashimoto Masayuki, and Yamada Ikumitsu, Camouflage Nylon Cloth, *Japan Pat.* 05-222682, (1993).
 18. A. O. Ramsley and W. B. Bushnell, "Development of the U.S. Woodland Battle Dress Uniform", US Army Natick R&D Laboratories, 1981.
 19. F. W. Billmeyer and M. Saltzman, "Principles of Color Technology", 2nd Ed, John Wiley & Sons, New York, 1981.