

면직물에서의 천연 인디고 염색 - 일단계 환원/염색 공정 -

신윤숙[†] · 조아랑 · 류동일¹

전남대학교 의류학과/생활과학연구소, ¹전남대학교 고분자·섬유시스템공학과

Natural Indigo Dyeing of Cotton Fabric - One-step reduction/dyeing process -

Younsook Shin[†], Arang Cho and Dong Il Yoo¹

Dept. of Clothing & Textiles/Human Ecology Research Institute, Chonnam National University

¹Dept. of Polymer and Fiber System Engineering, Chonnam National University

(Received: March 6, 2010/Revised: May 10, 2010/Accepted: June 10, 2010)

Abstract— The objective of this study is to investigate the characteristics of natural indigo dyeing of cotton fabric. Reduction and dyeing were carried out by one-step process using an infrared dyeing machine at the liquor ratio of 1:100, and subsequently oxidation and washing in water were followed. Dye uptake was increased with the increase of indigo concentration. Over the full range of dyeing tests, the dyeing condition was optimized to 40°C for 40min. For most of dye concentrations, the cotton fabrics showed mainly PB color. Maximum K/S value was shown at 4g/L of sodium hydrosulfite concentration and the color strength increased with the increase of dye concentration. Value(lightness) decreased with the increase of dye uptake irrespective of mercerization or reduction method, while the mercerized cotton showed two times higher dye uptake than the untreated cotton. Whereas hue of the untreated cotton showed large decrease of P character(5.6~3.5 PB) with the increase of dye uptake, that of the mercerized cotton increased P character(4.7~5.5 PB). Irrespective of mercerization, value and chroma decreased with the increased of dye uptake. In addition, the untreated showed lower chroma than the mercerized cotton. In the case of traditional reduction, hue of the untreated cotton was changed very little with the increase of dye uptake. For hydrosulfite reduction, P character decreased with the increase of dye uptake. The difference of hue value was small with the change of reduction method(hydrosulfite reduction or traditional fermentation). Color character was not influenced by the changed maximum absorption wavelength. Washing fastness showed 4~4/5 shade change rating without any staining. And dry rubbing fastness was good at low color strength. The bacterial reduction ratios of dyed cotton fabric were also increased.

Keywords: natural indigo dyeing, cotton fabric, one-step, (washing, rubbing, rubbing) colorfastness, bacterial reduction rate

1. 서 론

쪽 색소로 알려진 천연 인디고는 세탁과 일광에 대한 견뢰도가 좋아 다른 식물성 염료에 비하여 천연 염료로서 실용성을 지니고 있다. 1880년 합성 인디고가 등장한 이래 1세기 가량 천연 인디고는 그 쓰임이 극도로 위축되었으나 최근 친환경 소재에 대한 수요가 증가하면서 새롭게 관심을 끌고 있다. 쪽 색소를 함유하는 식물 종은 전 세계적으로 수백여 종에 달하나 *Indigofera tinctoria*(indigo plant), *Polygonum tinctorium*(dyer's

knotweed), *Isatis tinctoria*(woad) 등이 대표적이다. 특히 한국을 포함한 일본, 중국 등 동아시아 전역에서 *Polygonum tinctorium*이 재배되고 있다. 자연친화적인 생산방식이 녹색성장의 화두로 떠오름에 따라 국내외적으로 쪽 염색에 대한 연구 또한 활발하게 이루어지고 있다. 두드러진 연구 흐름으로는 다양한 염색조건에 대한 고찰¹⁻⁵⁾, 각종 환원방법에 대한 접근⁶⁻¹¹⁾, 색소추출공정 개발^{12,13)}, 색소분말 제조방법^{14,15)} 개발 등이 있다. 이중 염색조건은 어느 정도 체계를 세울 수 있는 수준에 도달한 것으로 여겨진다.

[†]Corresponding author. Tel.: +82-62-530-1341; Fax.: +82-62-530-1349; e-mail: yshin@chonnam.ac.kr

그러나 일반적인 염색조건인 농도, pH, 염색 시간, 반복염색 등과 달리 염색의 대상인 섬유 소재에 대해서는 체계적인 접근이 이루어지지 않고 있다. 천연 인디고 염색은 환원염법이라는 특수성을 지녀 소재별 염색결과가 차이나는 특성을 보인다. 현재 인디고 염색의 주 대상은 청바지 소재이다. 청바지는 인디고 염료로 염색된 경사와 염색되지 않는 위사로 직조된 능직물인 데님을 사용한 의복이지만 최근 직물이 아닌 면사에 대한 인디고 염색이 연구되었다¹⁶⁻¹⁸⁾. 이들은 모두 산업화를 목적으로 한 연구의 일환으로서 천연 인디고가 아닌 시판되고 있는 합성 인디고를 사용하여 인디고 염색에서 중요한 인자인 pH, 환원제의 농도, 습윤제, 첨가제(sodium oxide silicium oxide)에 의한 영향을 포함하고 있다. 현재까지 환원제(sodium hydrosulfite)와 알칼리(NaOH) 조건(pH 9 이상)에서의 효과가 알려졌다.

본 연구에서는 환원과 염색을 일단계 공정으로 하여 천연 인디고의 염색조건을 체계화하기 위해 소재를 면직물로 한정하여 인디고 염색을 다룬다. 특히 염착 정도를 제고하는 수단으로서 환원조건과 방법, 머서화에 초점을 맞추어 환원과정에서 알칼리 사용 유무에 따른 염착의 평가, 최적 염색조건의 결정, 환원제 사용 또는 전통 발효에 따른 색상 비교, 그리고 머서화에 따른 견뢰도와 항균성 분석 등을 포함한다.

2. 실험

2.1 시료 및 시약

염색에 사용된 직물은 KS K 0905에 규정된 정련 · 표백된 100% 면직물(평직, 95×86/inch², 80±5g/m², 0.21±0.01mm)을 사용하였다. 머서화 처리는 20% NaOH 수용액에 10분 동안 침지한 후 수세하여 1% 아세트산 수용액으로 중화, 건조하여 사용하였다. 쪽은 전라남도 나주에서 3월 말 파종한 쪽풀(Dyer's knotweed, *Polygonum tinctorium*)을 8월 중순에 수확하여 사용하였다. 환원과 염색에 쓰인 Na₂S₂O₄, NaOH, 아세트산 등은 모두 1급 시약이었다.

2.2 색소제조 및 염색

생 쪽 줄기와 잎을 액비 1:50으로 27°C에서 2일 동안 침지하여 색소를 추출하였다. 색소 추출

액에 Ca(OH)₂를 2g/L 사용하여 색소를 침지시켜 니람을 만든 후 50°C 오븐에서 건조하여 분말 색소를 얻었다. 이때 인디고 함량은 15.2%, 인디루빈 함량은 0.752%이었다. 환원 및 염색은 환원-염색온도(30~80°C), 염색시간(5~80min), 건담농도(0.5~20g/L), 환원제로 사용한 Na₂S₂O₄ 농도(1~5g/L) 등을 달리하여 액비 1:100 액비에서 적외선 고압염색기를 사용하여 진행한 다음 공기 중에서 산화, 발색을 거쳐 수세하였다. 하이드로셀파이트를 사용하여 환원시킨 직물과 색상을 비교하기 위해 전통적인 환원방법은 니람과 콩대를 사용한 갯물(pH 12)을 1:10으로 섞어(pH 11.8) 발효시켰다. 발효 초기에는 항아리 내부 온도는 35°C 유지하였고, 환원이 되기 시작한 시점부터는 27±3°C으로 조절하였다. 염색은 항아리 아래 부분의 용액을 사용하여 액비 1:50으로 상온에서 15분 동안 행하여 산화, 발색을 거쳐 수세하였다.

2.3 색 측정

염색 직물은 색차계(Color-Eye 3100, Macbeth, USA)를 이용하여 D65 광원, 10 시야 조건에서 염색직물의 표면반사율을 얻었다. 최대흡수파장에서의 표면반사율로부터 얻은 K/S 값을 표면염착량으로 평가하였다. 또한 색의 특성분석을 위하여 Munsell의 H V/C 값을 측정하였다.

2.4 염색견뢰도 측정

염색 직물의 세탁견뢰도는 세탁시험기(Laundrometer)를 사용하여 AATCC Test Method 61-1989 1A에 따라 측정하였다. 이때 세제는 표준 세제 대신 시판 중성세제를 사용하였으며 변퇴색 판정용 그레이 스케일과 오염 판정용 스케일을 사용하여 등급을 평가하였다. 마찰견뢰도는 AATCC Method 6-1989에 따라 측정하였다. 일광견뢰도는 KS K 0218에 따라 Xenon Test Chamber(Q-Sun Xe-1-B, Q-Panel Lab Products, USA)를 사용하여 20시간 광조사 후 일광견뢰도 등급을 평가하고, 색차계를 이용하여 ΔE*를 산출하였다.

2.5 항균성 시험

항균성 조사는 KS K 0693 방법에 의해 균 감소율을 조사하였으며 사용된 균주는 공시균으로

그람양성세균인 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus* AATCC 6538)과 그람음성세균인 폐렴균(*Klebsiella pneumoniae* AATCC 4352)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 알칼리 유무에 따른 염색 특성

인디고는 물에 녹지 않는 불용성이기 때문에 보통 알칼리 조건에서 환원시키면 무색인 류코 화합물로 변해 수용성이 된다. 류코 화합물은 섬유에 친화력을 가져 염색이 가능한데 염색 후 공기와의 접촉하여 산화를 유도하면 원래의 인디고 구조로 되돌아가게 된다. 현재 천연 인디고를 이용한 염색은 환원제로 하이드로설파이트(hydrosulfite, sodium dithionite), 알칼리로 NaOH, Na₂CO₃, Ca(OH)₂ 등이 많이 쓰인다.

본 연구에서는 환원조건을 알칼리 상태와 중성 상태에서 진행하여 그 차이를 관찰하고자 하였다. 인디고는 물에 용해되지 않아 알칼리 조건에서 류코 화합물로 환원시켜 염색한다. 알칼리 조건에 따라 류코 화합물은 비이온형(pH 7), 일가 이온(pH 10.8~11.0), 이가 이온(>pH 11)의 상태로 존재한다. 류코 화합물의 상태는 인디고 염색을 결정하는 요소로 알려져 있다. 기존 연구에 따르면 단백질 섬유의 인디고 염색은 비이온 류코 화합물에서 염착성이 높은 것으로 알려져 있다^{15,19}. 한편 면섬유에 대한 인디고 염색의 최적 pH 조건은 일가 이온의 상태를 갖는 pH 11이라고 한다^{17,20}. 이처럼 면섬유의 경우 알칼리(NaOH) 조건에서 환원/염색하는 것이 일반적이거나 면섬유에 대한 인디고 염색을 체계적으로 검토하기 위해 알칼리 유무에 따른 염착성, 색상, 견뢰도를 비교하였다.

알칼리는 NaOH를 사용하였으며 결과는 Table 1에 제시하였다. 인디고와 환원제 농도를 동일하

게 하였고 NaOH를 넣었을 때는 60°C에서 15분 동안 환원을 하고 온도를 내려 상온(25°C)에서 30분, NaOH를 넣지 않았을 때는 환원과 염색을 40°C에서 30분 동안 직물을 처음부터 넣어 1단(one-step)법으로 행하였다. 그 결과 NaOH를 넣어 염색한 직물은 자색 기운이 강한 PB 색상이었고 명도와 채도가 높아 맑은 색상을 나타내었다. 중성 조건(NaOH 미사용)에서 염색한 직물은 알칼리 조건(NaOH 사용)에서 염색한 직물보다 염착량이 약 2배가 되었다. 세탁견뢰도는 중성 조건에서 염색한 직물이 나은 견뢰도를 나타냈으며, 마찰과 일광견뢰도는 비슷한 수준이었다. 이 결과를 바탕으로 염색조건으로서 염착과 견뢰도가 나은 결과를 얻은 NaOH를 사용하지 않는 방식을 선택하였다.

3.2 염색조건의 선택

배트 염료의 환원거동은 알칼리의 농도, 환원제의 사용량, 염색 온도에 큰 영향을 받는다. 알칼리의 농도가 너무 높으면 염료는 결정으로 석출되며, 너무 낮으면 류코 화합물이 케토 형으로 바뀌어 염착불량이 발생한다. 환원제의 농도가 너무 높으면 과환원에 의해 염료가 결정으로 석출되며 너무 낮으면 환원이 잘 이루어지지 못하여 염착불량이 발생한다. 또한 인디고 염료의 과환원은 염욕의 환원 전위가 류코 전위에 비해 크게 낮을 때 발생하는 것으로 알려져 있다²¹. 여기에서 류코 전위는 배트 염료에 대해 그의 환원형과 산화형의 포화 용액과 평형으로 있을 때의 전위를 말하는 것으로 환원 전위와는 달리 염료 농도와 온도에 따라 달라진다.

Fig. 1은 환원/염색 온도와 시간에 따른 K/S 값의 변화를 나타낸 것이다. 최대 흡수파장은 660nm에서 나타났으며 각각의 온도에서 최대 염착을 나타내는 시간이 달라지고 있다. 30°C에서는 환원/염색 온도가 증가할수록 염착이

Table 1. K/S, color properties and colorfastness according to NaOH addition

NaOH	K/S value (660nm)	H V/C	Washing			Rubbing		Irradiation (20hr)
			Color change	Stain		Dry	Wet	
				Cotton	Silk			
○	2.71	5.1PB 5.3/6.7	4	5	5	5	4/5	2/3
×	5.29	3.8PB 4.4/5.7	4/5	5	5	5	4/5	2/3

(○; Reduction/Dyeing - 60°C, 15min/25°C, 30min, indigo dye 4g/L, sodium hydrosulfite 4g/L, NaOH 4g/L,

×; Reduction/Dyeing - 40°C, 30min, indigo dye 4g/L, sodium hydrosulfite 4g/L)

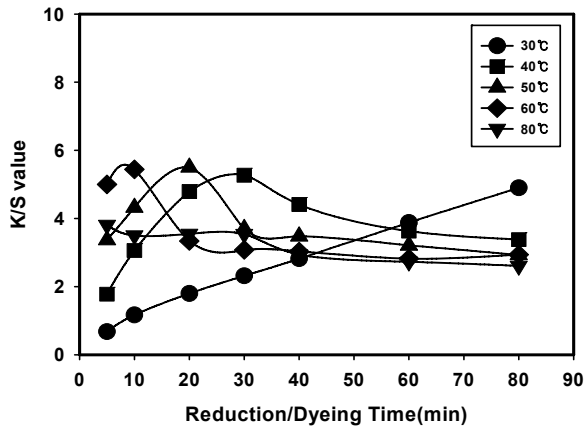


Fig. 1. Effect of reduction/dyeing temperature & time on the dye uptake(indigo dye 4g/L, sodium hydrosulfite 4g/L).

증가하였고, 40°C에서는 30분, 50°C에서는 20분, 60°C에서는 10분에 최대 염착을 나타내고 있으며 시간이 길어질수록 염착은 감소하고 있다. 그러나 80°C에서는 전반적으로 염착이 적었다. 이는 하이드로설파이트가 55°C에 도달하면 서서히 분해되어²⁾ 높은 온도에서는 과환원이 나타난 때문으로 보인다. 기존 연구 결과²⁰⁾에 따르면 낮은 온도(30°C)에서는 염색 시간이 길수록 염착이 증가하나, 높은 온도(50°C)에서는 10분 이상 염색하면 환원된 색소가 과환원에 의해 색소 입자가 다시 뭉친 상태로 석출이 일어나서 염착이 감소한다. 본 연구에서 온도와 시간을 달리하여 얻은 Fig. 1 또한 기존의 연구 내용과 같은 내용을 보였다. 염색 시간을 줄이고 염착이 감소하는 현상을 피할 수 있는 염색조건으로서 40°C, 30분을 선택하였다. Fig. 2는 인디고 및 환원제 농도에 따른 염착 정도를 나타내고 있다. 인디고 농도에 무관하게 환원제 농도가 1g/L인 경우에는 거의 염착이 이루어지지 않고 있다. 인디고 농도 4g/L까지는 환원제 농도 증가에 따라 염착이 완만히 증가하고 있으나 인디고 농도가 8g/L 이상이 되면 환원제 농도 3g/L에서 염착이 크게 증가하였다.

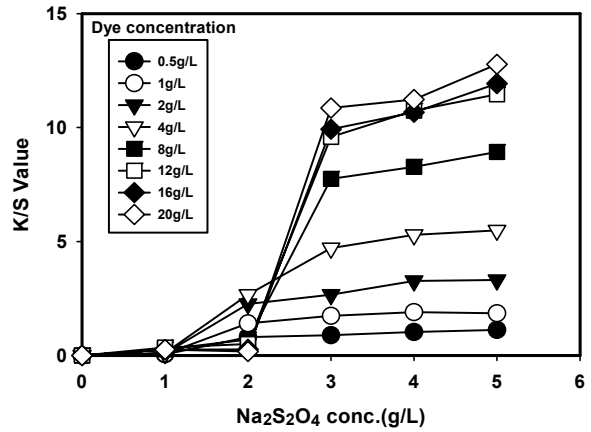


Fig. 2. Effect of sodium hydrosulfite concentration on the dye uptake(40°C, 30min).

기존 연구에서는 같은 인디고 농도에서 환원제 농도가 최적의 상태보다 적으면 류코 화합물이 불안정하여 염착이 이루어지지 않으며, 최적 환원제 농도보다 많으면 과환원의 원인이 되는 것으로 고찰하고 있다²¹⁾. 면직물은 다른 직물과 비교하면 인디고 염착 정도가 낮다. 인디고 염색에서는 낮은 염착 수준을 극복하기 위한 방법으로서 일반적으로 반복염색을 선택한다. 본 연구에서도 최적 염색조건을 적용하여 반복염색 효과를 고찰하였다. Table 2는 인디고와 환원제 농도 각각 4g/L에 40°C에서 30분 환원/염색을 반복함에 따른 염착과 색상 변화를 나타낸 것이다. 염색을 반복할수록 염착은 약간 증가하지만 3회 이후에는 염착평형을 이루고 있다. 색상은 PB 계열로 비슷하였고 명도와 채도는 낮아졌다. 이처럼 반복 염색에 의해서는 염착이 크게 증가하지 않았다. 이를 바탕으로 염착을 개선하는 방안으로서 환원 방법과 머서화 효과를 고찰하였다.

3.3 환원방법과 머서화 효과

머서화 처리 및 미처리 면직물을 최적 염색조건인 40°C, 30분에서 환원제 농도 4g/L을 넣고

Table 2. Effect of repeat dyeing on K/S value and color characters(40°C, 30min, indigo dye 4g/L, sodium hydrosulfite 4g/L)

Repeat time	K/S value (660nm)	H V/C	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE*
1	5.29	3.8PB 4.4/5.7	46.39	-4.05	-21.91	22.28	259.52	50.41
2	6.26	3.7PB 4.1/5.4	43.38	-3.96	-20.87	21.24	259.26	53.14
3	7.15	3.5PB 3.9/5.2	41.08	-4.07	-20.22	20.62	258.62	55.31
4	7.18	3.5PB 3.9/5.1	40.73	-3.99	-19.97	20.37	258.70	55.62

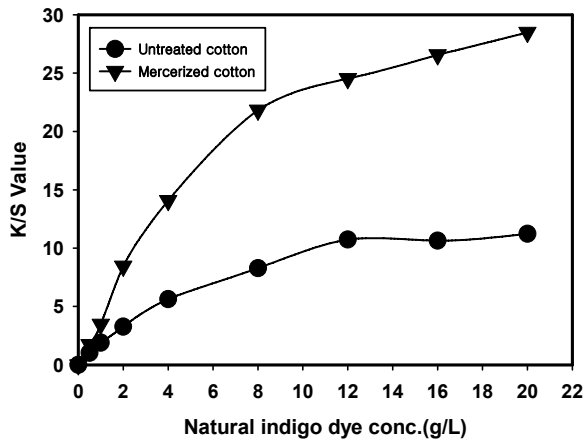


Fig. 3. Effect of dye concentration on the dye uptake of untreated and mercerized cotton(indigo dye 4g/L, sodium hydrosulfite 4g/L, 40°C 30min).

인디고 농도를 변화시키면서 염색한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 두 종의 면직물 모두 인디고 농도가 증가할수록 염착이 증가하였으나 머서화 처리 면직물이 미처리 면직물에 비하여 2배 이상의 염착을 보였다.

Fig. 4는 하이드로설파이트를 사용하여 환원시킨 인디고 염액과 전통적인 방식으로 환원시킨 인디고 염액²²⁾에 미처리 면직물과 머서화 면직물을 염색하여 색상, 명도, 채도의 변화를 나타낸 것이다. 하이드로설파이트를 사용하여 환원시킨 인디고 염색은 인디고 농도에 의해 염착을 조절하였으며, 전통적인 방식으로 환원시킨 인디고 염색은 반복 염색에 의해 염착을 조절하였다. 염색 직물은 전반적으로 PB 계열의 색상을 나타내고 있다. 머서화 후 전통발효 염색에 비해 하이드로설파이트 환원 염색의 경우에 면직물의 염착량 증가가 더 컸다. 이는 머서화에 의해 비결정영역이 증가하지만 환원 방법에 따라 인디고 염료 분자의 크기가 달라서 염착량 증가 정도가 차이가 있으며, 또한 pH 및 염색 온도 등의 염색조건에 의해서도 영향을 받을 것으로 사료된다²³⁾. 미처리 면직물의 경우 전통적인 염색조건에서는 염착의 증가에도 색상의 변화가 크지 않았으나 하이드로설파이트 환원조건에서는 염착의 증가에 따라 P 특성이 작아지는 경향을 보였다(5.6~3.5 PB). 머서화 면직물은 염착이 증가할수록 P 특성이 약간 증가하는 경향을 보였다(4.7~5.5 PB). 전통방법으로 환원시켜 염색한 머서화 면직물의 경우 염착의 증가에 따라 P 특성이 증가하는 방향으로 색상이 변화하였다.

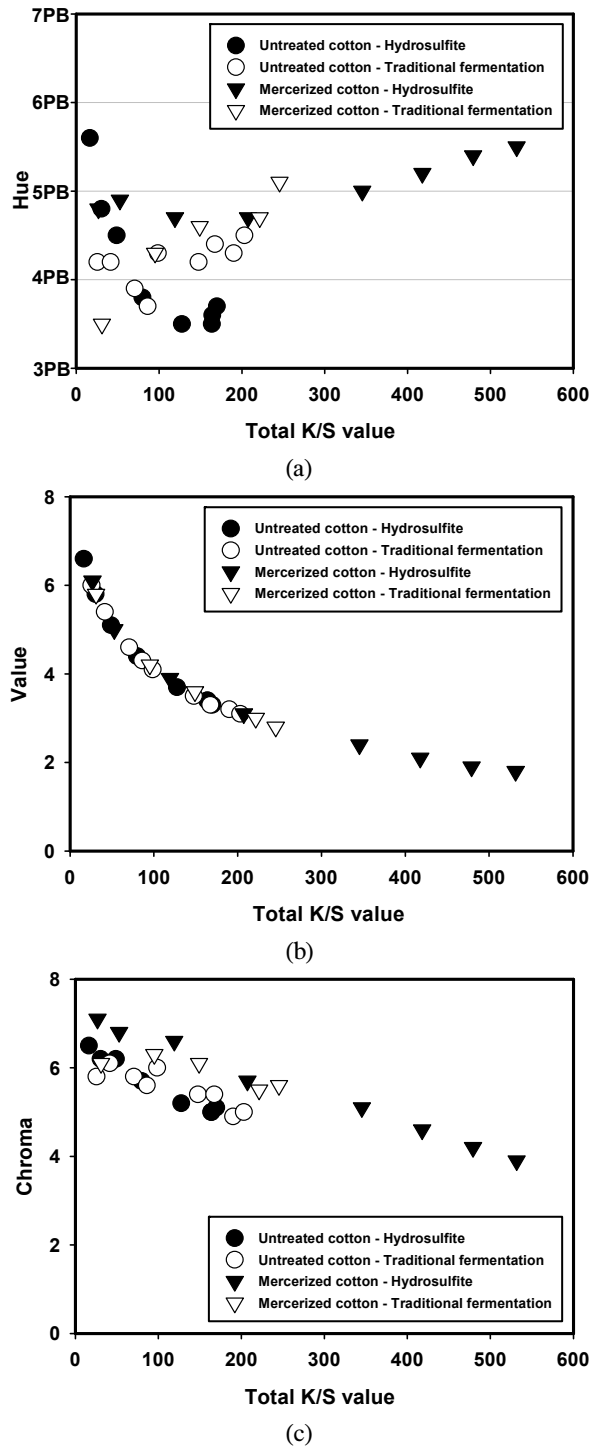


Fig. 4. Color characters of the dyed untreated cotton and mercerized cotton depending on color strength and reduction method(a: hue, b: value, c: chroma).

머서화의 여부와 환원 방법에 무관하게 염착이 증가할수록 명도와 채도가 감소하는 경향을 보였다. 한편 같은 염착 수준에서는 미처리 면직물이 머서화 면직물보다 낮은 채도를 보이고 있다.

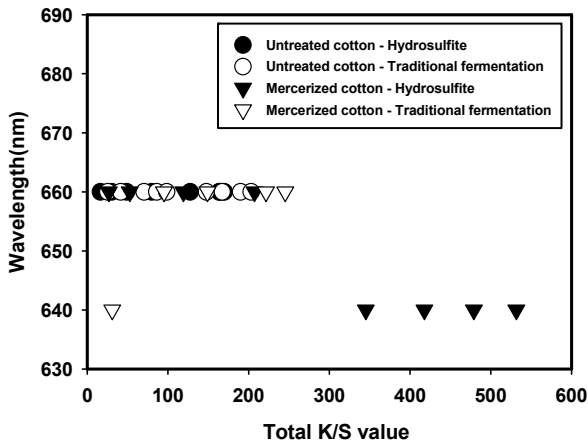


Fig. 5. Relationship between Total K/S value and the wavelength of maximum absorption.

Fig. 5는 염색조건을 달리하여 얻은 면직물의 염착량(전체 K/S 합)에 따른 최대흡수파장의 변화를 나타낸 것으로 최대흡수파장은 머서화 면직물에서 전통발효 방법의 낮은 염착량과 하이드로설파이트 환원 방법의 높은 염착량의 경우 640 nm로 이동하였으나 대부분 660 nm를 나타내고 있다.

3.4 염색견뢰도

Table 3은 미처리 면직물에 대해 반복 염색에 따른 염색견뢰도를 나타낸 것이다.

Table 3. Repeat dyeing on K/S value, color and colorfastness for untreated cotton fabric

Repeat time	K/S value (660nm)	Color change	Washing		Rubbing		Irradiation (20hr)
			Stain		Dry	Wet	
			Cotton	Silk			
1	5.29	4/5	5	5	4/5	4	2/3
2	6.26	4/5	5	5	4/5	4	3
3	7.15	4/5	5	5	4/5	4	3
4	7.18	4/5	5	5	4/5	4	3

Table 4. Effect of color strength of dyed fabrics on colorfastness

Fabric	Color strength	K/S value (660nm)	H V/C	Washing		Rubbing		Irradiation (20hr)	
				Color change	Stain		Dry		Wet
					Cotton	Silk			
Untreated	Low	3.27	4.5PB 5.1/6.2	4/5	5	5	5	4	3
	Medium	11.23	3.7PB 3.3/5.1	4/5	5	5	4	3/4	3/4
	High	-	-	-	-	-	-	-	-
Mercerized	Low	3.48	4.9PB 5.0/6.8	4	5	5	5	4/5	3
	Medium	14.07	4.7PB 3.1/5.7	4/5	5	5	4	3/4	4
	High	24.42	5.2PB 2.1/4.6	4/5	5	5	4/5	3/4	4/5

세탁견뢰도는 모두 4/5 등급이었으며 이염 현상은 없었다. 마찰견뢰도는 건조상태 4/5 등급, 습윤상태 4 등급으로 우수한 결과를 보였다. 20 시간 일광조사 후 등급을 평가한 일광견뢰도는 1회 염색한 직물보다 2회 이상 염색을 반복했을 때 약간 증진된 결과를 얻었다.

Table 4는 색의 농도에 따른 미처리 면직물과 머서화 면직물의 견뢰도를 조사한 것이다. 미처리 면직물의 세탁견뢰도는 4/5 등급으로 매우 우수하였고, 이염은 없었다. 마찰견뢰도는 3/4~5 등급을, 일광견뢰도는 3~3/4 등급을 나타냈다. 머서화 면직물은 마찰견뢰도의 경우, 미처리 면직물과 마찬가지로 3/4~5 등급을, 일광견뢰도는 3~4/5 등으로 농색일수록 견뢰도가 좋았는데 이는 염료가 섬유 내에 집합상태로 존재하여 표면적이 적어져 마찰에 대한 견뢰도가 우수하게 나타난 것으로 보인다.

Fig. 6은 일광조사 시간에 따른 직물의 색차를 나타낸 것이다. 모든 직물시료는 광조사 시간이 증가할수록 조사 전후의 색차가 증가하고 있다. 일반적으로, 초기 5시간 이내의 광조사의 경우 급격하게 증가하다가 조사시간이 길어지면 보다 완만하게 증가하는 경향을 보였다. 또한 머서화 면직물보다 미처리 면직물에서 더 큰 차이

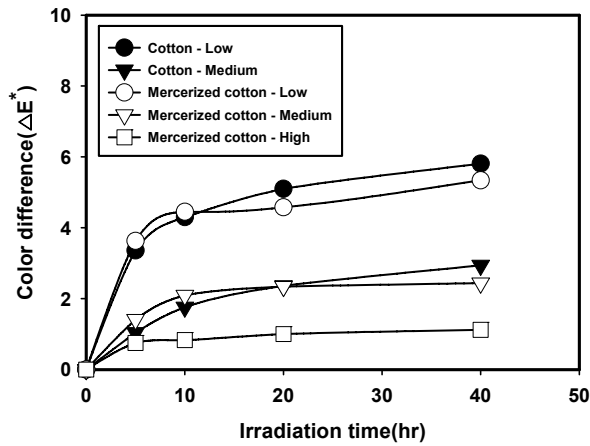


Fig. 6. Effect of irradiation time on the color difference of untreated cotton and mercerized cotton.

를 나타내었다. 전반적으로 염색 직물내의 인디고 농도가 낮아지면 일광견뢰도가 감소하는 경향을 보이고 있다.

3.5 항균성

염색하지 않은 경우와 담, 중, 농색으로 염색한 머서화 면직물의 균 감소율을 측정된 결과를 Table 5에 나타내었다. 염색하지 않은 머서화 면직물은 균주 모두 0%로 항균성이 없었다. 황색포도상구균(AATCC 6538)에 대한 정균율은 담색 66.7%, 중색 95.1%, 농색 99.2%로서 인디고 염착 농도가 증가함에 따라 균 감소율이 함께 증가하였다. 한편 폐렴균(AATCC 4352)에 대한 정균율은 담색 0%, 중색 56.0%, 농색 97.9%로 낮은 농도에서는 효과가 없었으나 염료 농도가 증가함에 따라 항균성을 나타냈다. 쪽은 전통적으로 진통, 해열, 해독과 소염 등의 기능이 있어 약품으로 이용되어 왔지만²⁴⁾ 항균성 여부가 검증되지 않아 미처리 직물과 염색 직물을 비교하였다. 그 결과 염색 후 균 감소율이 증가하였으며 이는 인디고 염료가 균 생육을 저지하는 것으로 판단하였다.

Table 5. Antibacterial activity of the dyed mercerized cotton fabrics

Mercerized cotton	K/S value	Bacterial reduction ratio(%)	
		AATCC 6538 (<i>Staphylococcus aureus</i>)	AATCC 4352 (<i>Klebsiella pneumoniae</i>)
Undyed	-	0	0
Low	3.48	66.7	0
Medium	14.07	95.1	56.0
High	24.42	99.2	97.9

4. 결 론

본 연구에서는 천연 인디고 분말에 환원제를 사용하여 염색조건에 따른 면직물의 염색성과 견뢰도를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 면직물은 40°C, 30분에서 최적 염착 정도를 나타냈으며 색상은 모두 PB 계열이었다. 인디고 분말과 환원제의 농도를 변화시켜 염색했을 때 면직물의 염착은 환원제의 농도에 의해 결정되었고, 각각의 인디고 분말 농도에서 환원제의 양이 3g/L 이상일 때 일정 염착 수준에 도달하였다.
2. NaOH를 넣어 염색한 직물은 자색 기운이 강한 PB 색상이었고 명도와 채도가 높아 맑은 색상을 나타내었다. 머서화 면직물은 미처리 면직물에 비하여 같은 염색조건에서 2배 이상의 염착 수준을 보여 주었다.
3. 면직물은 염착이 증가할수록 P 특성이 감소하다가 염착 평형을 나타낸 후 다시 P 특성이 조금 증가하였다(5.6~3.5 PB). 머서화 면직물은 염착량이 증가할수록 자색 기운이 약간 증가하는 경향을 보였다(4.7~5.5 PB). 머서화 여부에 무관하게 염착이 증가할수록 명도와 채도가 낮아졌다.
4. 면직물의 경우 전통적인 염색조건에서는 염착의 증가에도 색상의 변화가 크지 않았으나 하이드로설파이트 환원조건에서는 염착의 증가에 따라 P 특성이 작아지는 경향을 보였다. 머서화 면직물은 염착의 증가에 따라 P 특성이 증가하는 방향으로 색상이 변화하였다. 또한 환원방법에 무관하게 염착이 증가할수록 명도와 채도는 감소하였다.
5. 면직물의 세탁견뢰도는 4~4/5 등급에 해당하였고 이염은 없었다.
6. 인디고 염착 농도가 높을수록 염색된 머서화 면직물의 균 감소율이 증가하는 경향으로부터 인디고 염료의 항균 효과를 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 20090091276)의 결과임. 연구에 쓰인 쪽풀은 정관채 국가염색장이 재배한 것을 구입하여 사용하였음.

참고문헌

- I. M. Jung, "Dyeing of Silk Fabrics with Natural Indigo Extracted from *Polygonum Tinctorium*", Ph.D. Thesis, Sungkyunkwan University, 1998.
- J. Y. Kang, "Natural Indigo Dyeing on Protein Fibers", Ph.D. thesis, Seoul National University, 2001.
- Y. J. Park, J. G. Yun, H. G. Jang, and B. G. Heo, Effect of Dyeing Conditions on Dyeing Characteristics in Silk during Natural Dyeing using the Raw Juice of Indigo Plants, *Korean J. Plant Res.*, **18**(3), 417-423 (2005).
- A. S. Kim, The Study on the Dyeing Properties of Natural Dyeing: Dyeing Properties of Cotton and Silk Fabrics by Color Solution Extracted from Leaf Dyeing of Indigo Plant, *Textile Coloration and Finishing(J. Korean Soc. Dyers & Finishers)*, **7**, 16-24(1995).
- J. A. Ju and H. S. Ryu, Dyeing on Cellulose Fibers by the Solution Extracted from Natural Fresh Leaves of Indigo Plant, *Textile Coloration and Finishing(J. Korean Soc. Dyers & Finishers)*, **16**(5), 249-257(2004).
- A. N. Padden, V. M. Dillon, J. Edmonds, M. D. Collins, N. Alvarez, and P. John, An Indigo-reducing Moderate Thermophile from a Woad Vat, *Clostridium isatidis* sp. nov. Intern, *J. Systematic Bacteriology*, **49**, 1025-1031 (1999).
- S. K. Nicholson and P. John, The Mechanism of Bacterial Indigo Reduction, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **68**, 117-123(2005).
- R. S. Blackburn and A. Harvey, Green Chemistry Methods in Sulfur Dyeing: Application of Various Reducing D-sugars and Analysis of the Importance of Optimum Redox Potential, *Environ. Sci. Technol.*, **38**, 4034-4039(2004).
- A. Vuorema, P. John, M. Keskitalo, M. A. Kulandainathan, and F. Marken, Electrochemical and Sonoelectrochemical Monitoring of Indigo Reduction by Glucose, *Dyes and Pigments*, **76**, 542-549(2008).
- A. Roessler, O. Dossenbach, and P. Rys, Electrocatalytic Hydrogenation of Indigo; Process Optimization and Scale-up in a Flow Cell, *J. Electrochemical Soc.*, **150**, D1-D5(2003).
- A. Roessler, D. Crettenand, O. Dossenbach, W. Marte, and P. Rys, Direct Electrochemical Reduction of Indigo, *Electrochimica Acta*, **47**, 1989-1995(2002).
- K. G. Stoker, D. T. Cooke, and D. J. Hill, An Improved Method for the Large-scale Processing of Woad (*Isatis tinctoria*) for Possible Commercial Production of Woad Indigo, *J. Agric. Eng. Res.*, **71**, 315-320(1998).
- T. Bechtold, A. Turcanu, S. Geissler, and E. Ganglberger, Process Balance and Product Quality in the Production of Natural Indigo from *Polygonum Tinctorium* Ait. Applying Low-technology Methods, *Bioresource Technology*, **81**, 171-177(2002).
- Y. Shin, K. H. Son, and D. I. Yoo, Dyeing Properties and Storage Stability of Leaf Powder Prepared from Dyer's Knotweed (I) - by Freeze Drying Method -, *Textile Coloration and Finishing (J. Korean Soc. Dyers & Finishers)*, **21**(1), 10-20(2009).
- Y. Shin, K. H. Son, and D. I. Yoo, Dyeing Properties and Storage Stability of Leaf Powder Prepared from Dyer's Knotweed (II) - by Hot Air and Room Temperature Drying Method -, *Textile Coloration and Finishing(J. Korean Soc. Dyers & Finishers)*, **21**(4), 23-32(2009).
- J. N. Eppers and M. Hou, Equilibrium Sorption Isotherms of Indigo on Cotton Denim Yarn: Effect of pH, *Textile Res. J.*, **61**(12), 773-776 (1991).
- J. H. Xin, C. L. Chong, and T. Tu, Colour Variation in the Dyeing of Denim Yarn with Indigo, *JSDC*, **116**, 260-265(2000).

18. M. Gorenšek, M. Gorjanc, and P. R. A. Meden, Parameters Influencing Dyeability of Cotton Warp at Dip-dyeing for Jeans, *Textile Res. J.*, **78**(6), 524-531(2008).
19. I. M. Jung and S. O. Woo, Effect of Reducing Agent, Sodium Hydrosulfite on the Natural Indigo Dyeing of Silk Fabric, *Korean J. Sericult. Sci.*, **44**(2), 93-98(2002).
20. Y. J. Jung, M. H. Lee, H. W. Choi, and E. P. Lee, A Study on the Dyeing Properties of Natural Indigo Complex Powder and Synthetic Indigo with Natural Fiber, *Textile Coloration and Finishing(J. Korean Soc. Dyers & Finishers)*, **12**(3), 16-24(2000).
21. E. K. Hwang, M. S. Kim, D. S. Lee, and S. Y. Choi, Dyeing on Silk with Vat Dye, *Korean J. Seric. Sci.*, **38**(2), 168-174(1996).
22. A. R. Cho, Y. Shin, and D. I. Yoo, "A Study on the Natural Fermentation of Natural Indigo Dye", Proc. of Spring Conf. Korean Soc. Clothing Industry, pp.231-234, 2009.
23. R. S. Blackburn, T. Bechtold, and P. Jhon, The Development of Indigo Reduction Method and Pre-reduced Indigo Products, *Color. Technol.*, **125**, 193-207(2009).
24. K. Iwaki, S. Koya-Miyata, K. Kohno, S. Ushio, and S. Fukuda, Antimicrobial Activity of *Polygonum Tinctorium* Lour: Extract against Oral Pathogenic Bacteria, *J. Nat. Med.*, **60**(2), 121-125(2006).