

[Original Article]

## Dyeing properties and colorimetric characteristics for cellulose fabrics dyed with indigo by different reducing conditions

Judong Shin and Jongmyoung Choi<sup>†</sup>

Dept. of Fashion Design Information, Chungbuk National University, Korea

### 쪽 염료의 환원조건에 따른 섬유소 직물의 염색성과 색채특성

신 주 동 · 최 종 명<sup>†</sup>

충북대학교 패션디자인정보학과

#### Abstract

This study was carried out in order to provide useful data for planning fabrics of summer eco-friendly fashion products. The fabrics used in this study were four cellulose fibers: cotton, cotton/mulberry blended, flax, and flax/lyocell blended. Dyeing with natural indigo was carried out under three different reducing conditions (i.e., general, eclectic, and eco-friendly) that have different reducing agent and pH levels, and hydrosulfite and glucose were used as a reducing agent. The dye uptake (K/S value) of fabrics dyed with natural indigo by a reducing condition was the highest at 660nm. Regardless of the fabrics, dye uptake was the highest under the general reducing condition and the lowest under the eco-friendly reducing condition. Under different reducing conditions, the dye uptake of natural indigo fabrics with the maximum absorption wavelength indicated a difference. The colorfastness of cellulose fabrics that were dyed with natural indigo had a rate of 4 to 5 except for rubbing fastness, which indicated good colorfastness. Additionally, natural indigo-dyed cotton and flax fabrics had good antibiosis. When the color characteristics of fabrics dyed with natural indigo were measured, all of the three reducing conditions created purple blue (PB) colors, and the color characteristics of dyed fabrics by reducing condition and fabric showed significant differences.

Received September 09, 2016

Accepted November 07, 2016

<sup>†</sup>Corresponding author  
(jmchoi@chungbuk.ac.kr)

*Keywords: dyeing properties(염색성), colorimetric characteristics(색채특성), cellulose fabrics(섬유소 직물), indigo(쪽), reducing conditions(환원조건)*

#### ORCID

Judong Shin

<http://orcid.org/0000-0003-3451-5574>

Jongmyoung Choi

<http://orcid.org/0000-0002-3067-3746>

This paper is a part of a  
doctoral dissertation.

## I. Introduction

최근 환경 친화적인 소비 트렌드에 따라 섬유소재 개발에 있어서도 감성, 건강, 쾌적 등에 대한 소비자의 요구를 충족시킬 수 있는 방향으로 연구가 이루어지고 있으며, 친환경적인 소재와 자연스런 색채의 섬유제품이 선호되고 있다. 일반적으로 천연염색된 소재의 색상은 자연적인 색조감과 고귀함 등의 특성으로 인해 의복

착용자에게 시각적인 편안함과 심리적인 안정을 부여하는 것으로 알려져 있다(Kim & Lee, 2004). 즉, 천연염색 소재의 색상은 합성염료로 염색한 소재의 색상과는 구별되는 자연적인 수수한 이미지를 나타내어 독특한 색채특성과 색채감성을 나타낼 것으로 기대된다. 또한 천연염재는 환경친화성, 항균성, 소취성, 항알레르기성 등 각종 인체친화적 기능성을 발휘하는 것으로 알려져 있다(Song & Kim, 2004).

따라서 경제적, 실용적인 가치보다 정신적, 문화적인 가치를 중시하는 경향으로 소비자들의 소비패턴이 변화하고 있고, 합성섬유의 유해성과 염색폐수로 인한 환경오염 등으로 인해 각종 규제가 엄격해지고 있음을 감안해 볼 때, 천연염색은 자연과 인체의 조화를 통해 친환경적인 고부가가치 패션상품 개발에 적용할 수 있다(Park, Kim, Yeum, & Yoon, 2010). 천연염색의 대중화나 일반화에 대표적으로 활용되는 염색 중 하나가 바로 쪽 염색을 들 수 있다(Park & Soh, 2004). 환원염법으로 염색하는 대표적인 천연염료인 쪽은 인류 역사상 오래 사용된 대표적인 식물성 염료 중의 하나이며(Song & Kim, 2004), 천연염색의 대명사라고 할 만큼 천연염재 중에서 가장 많이 사용되어 왔다(Lee, 2010). 쪽을 사용하여 염색하는 방법에는 크게 쪽 식물의 생잎을 사용하는 생람(生藍)염법, 쪽잎 추출액을 발효시켜 사용하거나 쪽잎 추출액에 수산화칼슘을 넣어 침전물인 니람(泥藍)을 만들어 발효시키는 방법, 쪽풀을 삶아 숙람(熟藍)으로 만드는 방법 등으로 나눌 수 있는데(Lee, 2015; Shin, Cho, & Yoo, 2009; Song & Cho, 2008), 이 중에서 발효법이 가장 일반적이다(Lee, 2015; Lee & Chung, 2012; Park & Soh, 2004).

쪽에는 인디고(indigo)와 인디루빈(indirubin) 등의 색소가 함유되어 있는 것으로 알려져 있는데, 쪽 색소의 주성분은 청색 색소인 인디고이다. 인디고 색소는 성장하는 쪽잎에는 배당체인 인디칸(indican)의 형태로 존재한다. 생잎을 따서 바로 염색할 경우, 물 속에서 쪽의 생잎을 찢으면 인디칸은 잎 속에 있는 효소  $\beta$ -glucosidase의 발효작용에 의해 가수분해되어 인독실(indoxyl)과 포도당으로 분해되며, 인독실 상태로 섬유와 결합한 후 공기 중에서 산화되어 인디고로 변한다(Yoo et al., 2007). 인디고는 물에 녹지 않으나, 알칼리 조건에서 환원하면 수용성인 무색의 류코 화합물(leuco compound)로 변하는데, 이 반응은 가역적

인 반응으로서 수용성 구조는 공기 중의 산소와 만나면 다시 산화되어 불용성의 인디고로 변한다(Oh, 2010).

이처럼 쪽에 함유된 불용성 인디고 색소를 이용하여 염색하려면 알칼리 조건에서 환원을 시켜 수용액으로 만들어야 하는데, 발효와 화학약품을 사용하여 환원을 할 수 있다. 그런데 발효환원법은 쪽 염료를 환원시키는데 시간이 오래 걸리고, 많은 기술이 필요하며, 염색과정 중에 염료가 쉽게 산화되는 문제점이 있다(Park, 2013). 그래서 현재 천연 인디고를 이용한 염색에 산업화가 어려운 발효방식을 대신하여 환원제로 하이드로설파이트, 황산제일철, 아연분말 등이 이용되고 있으나, 가장 많이 이용되는 것은 하이드로설파이트이다(Park, 2013; Shin et al., 2009; Kim, 2010). 하이드로설파이트는 수산화나트륨과 암모니아 등으로 적합한 알칼리 염액의 조건을 만들어 줄 수 있고, 침전물이 생기지 않으며, 소량의 염료로 좋은 효과를 낼 수 있어 세계적으로 널리 사용되고 있는 일반적인 환원방법이다(Kang & Ryu, 2001). 그러나 하이드로설파이트의 사용은 아황산염, 황산염, 티오황산염과 독성 황화물 등 환경오염을 일으키는 각종 물질을 염색과정에서 배출시키는 문제점이 있다(Kulandainathan, Muthukumar, Patil, & Chavan, 2007). 따라서 전기화학적 촉매와 유기환원제 등을 사용한 환원방법으로 하이드로설파이트를 대체하려는 시도가 이루어지고 있다(Vuorema, John, Keskitalo, Kulandainathan, & Marken, 2008). 특히 유기환원제로서 포도당은 환경 부하가 거의 없는 청청 소재라는 점에서 관심을 끌고 있으므로(Shin et al., 2009), 몇몇 연구에서 하이드로설파이트 대체 환원제로서 포도당의 환원성과 적용성을 시도하기도 하였다. 포도당을 환원제로 사용하여 약알칼리 조건에서 마직물과 견직물을 쪽 염색한 결과를 살펴보면, 50℃ 이하에서는 환원(염색)이 이루어지지 않았으므로 60℃에서 50분 처리 시 최적 염색이 되었으며, 인디고 농도가 어느 정도에 이르면 포도당의 환원력은 한계에 달하여 중색 이상의 색상을 얻을 수 없었다고 보고하였다(Shin et al., 2009). 면직물의 경우, 쪽의 종류나 염액의 pH에 관계없이 포도당을 사용하여 환원할 경우에는 염색성이 낮아 실용성이 없는 것으로 나타났다고 보고한 바 있다(Park, 2013). 이처럼 포도당 환원제는 하이드로설파이트에 비해서 환원력은 크게 낮았지만, 유기환원제라는 점

에서 가치가 있으며, 특히 니람(이람)의 염색시 포도당을 환원제로 사용하면 자색계열의 염색을 하는 데 효과적이어서 쪽 염색 시 색상의 다양화 측면에서 의미가 있을 것으로 생각된다고 하였다(Park, 2013).

한편, 쪽 염색 소재의 색상은 연한 옥색에서부터 짙은 흑청색에 이르기까지 다양한 색상을 얻을 수 있으며, 고유의 색채 이미지로 인해 현대인에게 정서적 안정을 주는 것으로 알려져 있다(Park & Soh, 2004). 이처럼 쪽에 의해서 구현되는 다양한 파랑(B)과 남색(PB)은 더운 여름철 패션소재로 활용될 경우에 다른 색상에 비해서 시각적인 청량감을 더 해 줄 것으로 생각된다. 또한 쪽으로 염색된 직물의 경우, 세탁과 일광에 대한 염색견뢰도가 우수하고, 항균성과 방취 효과 및 항암 성분 등 기능성이 있는 것으로 보고한 연구(Kim & Kim, 2016; Yoo, Ahn, Narantuya, & Li, 2014; Kim & Choi, 2013; Song & Cho, 2008; Song & Kim, 2004; Chung & Woo, 2002)가 다수 있어 천연염료 중에서 쪽 염료는 염색성, 상품성, 색상, 견뢰도 측면에서 개발가치가 높을 것으로 기대된다(Lee & Chung, 2012).

따라서 염색견뢰도가 우수하고 항균성이 있는 쪽 염료를 활용한 패션상품을 개발하기 위해서는 정량화된 염색방법에 대한 연구와 아울러 유기환원제 사용과 에너지 절감 등 친환경적인 방법에 대한 연구가 지속적으로 필요하다. 이에 본 연구에서는 계량화가 가능한 시판 분말 쪽 염료를 사용하여 일반적 환원제인 하이드로설파이트와 유기환원제인 포도당을 사용하여 환원하고, 중성과 알칼리성 염액에서 상온과 온욕 염색을 실시하여 섬유소재와 환원조건에 따른 염색성과 색채특성을 비교하여 살펴보고자 하였다. 본 연구결과는 여름철 침구류에 사용할 친환경적이고 감성적인 패션상품 소재기획 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## II. Experimental

### 1. Materials

본 실험에 사용된 직물은 면섬유 100%와 면/닥섬유(60%/40%) 혼방, 아마섬유100%, 아마/리오셀섬유(65%/35%) 혼방 등 섬유소 섬유로 평직으로 직조된 4종의 직물소재이었다. 염색용 시료의 특성은 <Table 1>과 같다.

실험에 사용된 쪽 염료는 시판되고 있는 인도산 쪽 건조분말로 아트앤크래프트(Arts and Crafts, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 시약으로는 환원제로 하이드로설파이트( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ )와 포도당( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )을 사용하였고, 환원액의 pH를 조절하기 위한 알칼리로는 수산화나트륨( $\text{NaOH}$ )을, 염색 시 중성 염액에서 인디고 색소의 용해도를 높이기 위해서 에탄올( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )을 사용하였다.

### 2. Reducing conditions and dyeing methods

#### 1) Reducing conditions

쪽의 주 색소성분인 인디고는 물에 녹지 않으나, 알칼리 조건에서 환원하면 수용성인 무색의 류코 화합물(leuco compound)로 변하므로(Oh, 2010), 불용성인 쪽으로 염색을 하기 위해서는 환원과정이 필수적이다. 본 연구에서는 하이드로설파이트를 사용하는 일반적인 환원방법과 유기환원제 및 저 알칼리 사용과 에너지 절감 등 친환경적인 환원조건을 적용시 염색성과 색채특성을 비교하여 친환경적인 환원방법의 가능성을 모색하고자 하였다. 따라서 환원제 종류(하이드로설파이트, 포도당), pH(알칼리성, 중성), 온도(21℃, 60℃) 및 시간(30분) 등 환원조건을 조합하여 쪽 염료의 환원을 실시하였는데, 환원온도가 21℃이고 중성일 경우에는 쪽 염료의 환원이 잘 이루어지지

<Table 1> Characteristics of cellulose fabrics for indigo dyeing

Fiber (%)	Weave	Thickness (mm)	Fabric counts (5cm×5cm)	Weight (g/m <sup>2</sup> )
Cotton 100	Plain	0.34	152 × 152	114.1
Cotton 60/Mulberry 40	Plain	0.33	168 × 152	106.2
Flax 100	Plain	0.36	120 × 112	122.9
Flax 65/Lyocell 35	Plain	0.38	128 × 128	156.5

&lt;Table 2&gt; Pre-test results of dyeability for cellulose fabrics by four reducing conditions of indigo

		A	B	C	D
Reducing condition	Reducing agent	Hydrosulfite		Glucose	
	pH	11	7	11	7
Cotton		9.37	9.35	3.24	2.40
Cotton/Mulberry		5.23	5.02	3.10	3.19
Flax		8.50	4.07	3.44	4.24
Flax/Lyocell		3.61	3.84	2.26	2.14

않았다. 그래서 환원온도를 60℃로 설정하고, 환원제와 pH를 변화시켜 4가지 조건으로 환원을 실시한 후, 동일한 온도(21℃)에서 염색하여 염색성을 비교하여 본 연구목적에 부합되는 3가지 환원조건을 선정하였다(Table 2). 즉, 가장 널리 사용하는 환원제인 하이드로설파이트를 사용하여 알칼리성(pH 11)에서 환원시키는 방법(A)을 일반적 조건, 친환경 환원제인 포도당을 사용하여 중성(pH 7)에서 환원시키는 방법(D)을 친환경적 조건이라고 명명하였다. 또한 두 가지 조건(B와 C) 중에서 염색성이 우수한 조건인 하이드로설파이트를 사용하여 중성(pH 7)에서 환원시키는 방법(B)을 절충적 조건으로 명명하였다.

## 2) Dyeing methods

앞서 설명한 세 가지 환원조건에 따라 환원된 쪽 염액에 20×20cm의 섬유소 직물(면, 아마, 면/닥섬유 혼방, 아마/리오셀 혼방)을 침지하여 5분간 염색하였다. 염색시 액비는 1:50으로 하였으며, 염색온도는

21℃와 50℃이었고, 염액의 pH는 7과 11이었다. 따라서 최종적으로 본 연구에서 사용한 환원조건과 염색 조건을 조합하여 정리한 것은 <Table 3>과 같다. 에탄올은 염액의 중성을 유지하고, 인디고 색소의 용해도를 높이는데 도움이 되는 것으로 알려져 있으므로 (Park, 2013), 절충적 조건과 친환경적 조건에서 염액에 첨가하여 사용하였다. 염색된 직물은 공기 중에서 산화·발색시켰으며, 염색된 시료에서 청색 물이 나오지 않을 때까지 여러 차례 반복하여 수세한 다음 자연 건조하였다.

## 3. Measurement of dyeing properties

### 1) Dye uptake

염색된 시료를 분광측색계(Color Techno Systems, JP/JX-777)를 사용하여 파장 400~700nm까지의 범위에서 10nm 간격으로 표면반사율을 측정하고, 최대 흡수파장인 660nm에서의 표면반사율을 측정하여 다

&lt;Table 3&gt; Reducing and dyeing conditions of indigo dye

Condition		General	Eclectic	Eco-friendly
Reducing condition	Reducing agent	Hydrosulfite	Glucose	
	pH	11	7	
	Concentration	5g/L		
	Temperature	60℃		
	Time	30 min		
Dyeing condition	pH	11	7	
	Temperature	50℃	21℃	
	Time	5 min		
	Liquor ratio	1:50		
	Ethanol	-	20% o.w.f.	

음의 Kubelka-Munk 식에 의하여 K/S값을 구하였다.

$$K/S = (1 - R)^2 / 2R$$

여기서 R: 최대흡수파장에서의 표면반사율

K: 흡광계수

S: 산란계수

### 2) Colorfastness

염색된 시료에 대한 일광견뢰도는 KS K ISO 105-B02: 2010에 의해 측정하였으며, 세탁견뢰도는 KS K ISO 105-C06, AIS: 2010에 준하여 40±2℃에서 측정하였다. 마찰견뢰도는 KS K 0650: 2011에 준하여 Crock Meter 방법으로 측정하였고, 땀 견뢰도는 KS K ISO 105-E04: 2010 의해 측정하였으며, 시험편의 변색 및 퇴색에 대한 오염 정도를 나타내는 등급을 판정하였다. 드라이클리닝 견뢰도는 KS K ISO 105-D01: 2010에 준하여 측정하였다.

### 3) Antibacterial activity

항균성 시험은 KS K 0693: 2011에 준하여 측정하였으며, 시험균종으로는 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus* ATCC 6538)을 사용하였고, 균수 감소법(Bacterial count method)에 의해서 평가하였다. 평가용 시료는 절충적 조건과 친환경적 조건으로 쪽 염색된 면직물과 아마직물이었다.

## 4. Measurement of colormetric characteristics

### 1) CIE L\*a\*b\* value

쪽 염색 소재를 분광측색계를 사용하여 D65 광원, 10° 표준관찰자 조건에서 CIE L\*, a\*, b\*, C, h 값을 측정하였다. 여기서 L\*은 직물의 명도 지수, a\*는 빨강/녹색 색좌표 지수, b\*는 노랑/파랑 색좌표 지수, C는 채도, h는 색상각을 나타낸다.

### 2) Munsell color system

쪽 염색 직물에 대해 분광측색계로 측정한 CIE L\*a\*b\*값으로부터 Munsell 표색계 H/V/C 값을 계산하였다.

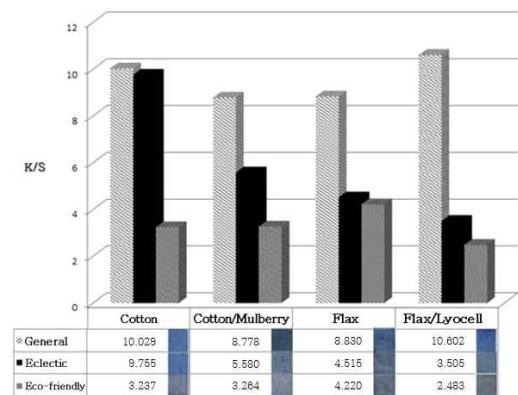
## III. Results and Discussion

### 1. Dyeing properties

#### 1) Dye uptake

쪽으로 염색된 직물의 염색성을 알아보기 위하여 최대흡수파장인 660nm에서 염착량(K/S값)을 살펴본 결과는 <Fig. 1>과 같다. <Fig. 1>을 보면 쪽 염색 직물의 환원조건에 따른 염착량은 섬유종류에 따라 차이를 보였다.

일반적 조건으로 환원·염색 시 아마/리오셀 혼방직물 소재의 경우, 염착량(K/S값)이 10.602로 가장 높게 나타났고, 다음으로 면직물의 염착량(10.029), 아마직물의 염착량(8.830), 면/닥 혼방직물의 염착량(8.778)의 순으로 나타났다. 이러한 결과는 <Fig. 1>에서 보는 바와 같이 염색된 직물을 육안으로 살펴본 결과, 일반적 조건으로 환원·염색된 아마/리오셀 혼방직물이 가장 진한 색상을 보여 염착량이 높을수록 시각적 색상 역시 진한 남색을 잘 표현해 주고 있음을 알 수 있었다. 절충적 조건으로 환원·염색 시 면직물의 염착량이 9.755로 가장 높게 나타났고, 다음으로 면/닥 혼방직물로 염착량은 5.580, 아마직물은 4.515, 아마/리오셀 혼방직물은 3.505로 나타나서 면직물이 아마직물에 비해 염착량이 높은 경향을 보였다. 한편, 친환경적 조건에서는 아마직물의 염착량이 4.220으로 가장 높게 나타났고, 다음으로 면/닥 혼방직물의



<Fig. 1> Dye uptake of cellulose fabrics by reducing conditions(660nm)

염착량은 3.264, 면직물은 3.237, 아마/리오셀 혼방 직물은 2.483으로 나타나, 친환경적 조건으로 염색된 직물의 염착량의 범위는 2.483~4.220으로 나타나서 시각적 색상을 일반적 조건으로 환원·염색된 소재와 비교해 볼 때, 밝고 연한 남색으로 염색되는 것을 알 수 있었다. 따라서 환원조건별 섬유종류에 따른 최대흡수파장에서의 쪽 염료의 염착량은 차이가 있어 일반적 조건에서는 아마/리오셀 혼방직물과 면직물의 염색성이 우수함을 확인할 수 있었으며, 절충적 조건에서는 면직물, 친환경적 조건에서는 아마직물의 염색성이 좋음을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 하이드로설파이트 환원제를 사용하여 쪽 염색을 실시한 결과, 마직물의 염착농도(K/S 값)는 섬유에 따른 차이를 보여 대마, 아마, 저마의 순으로 나타났으며(Kim, 2013), 쪽 염색을 반복한 경우 레이온, 면, 린넨 직물 순으로 염착량의 차이가 나타났다고 한 결과(Bae, 2009)와 유사하였다. 즉, 쪽 염색의 시료로 사용한 소재의 주성분은 섬유소로 동일하지만, 섬유분자내의 결정성과 배향정도 등 내부 구조적 특징의 차이로 섬유소재와 환원조건에 따른 염색성이 다소 다르게 나타난 것으로 생각된다. 따라서 쪽으로 진하게 염색할 경우에는 일반적 조건으로 환원·염색하는 것이 적합하며, 연한 색상으로 염색하고자 할 경우, 친환경 조건으로 환원·염색할 수 있

을 것으로 보인다.

## 2) Colorfastness and antibacterial activity

### (1) Colorfastness

세 가지 환원조건과 염색방법에 따라 염색된 면직물, 면/닥섬유 혼방직물, 아마직물, 아마/리오셀 혼방직물에 대해서 일광, 세탁, 드라이클리닝, 마찰, 땀 등의 염색견뢰도를 측정한 결과는 <Table 4>와 같다.

일광에 대한 견뢰도는 면직물, 면/닥섬유 혼방직물, 아마직물에서는 환원조건에 관계없이 모두 4~5등급으로 우수한 견뢰도를 나타내었다. 그러나 아마/리오셀 혼방직물을 친환경적 조건으로 환원·염색된 경우에는 3~4등급의 견뢰도를 나타내었다. 세탁에 대한 견뢰도는 면직물, 면/닥 혼방직물, 아마/리오셀 혼방직물에서는 환원조건에 관계없이 모두 4~5등급으로 우수한 견뢰도를 나타내었다. 그러나 아마직물에서는 모두 3~4등급의 견뢰도를 나타내었다. 드라이클리닝에 대한 견뢰도는 환원조건과 섬유소재에 관계없이 모두 4~5등급을 나타내어 우수한 결과를 보였다. 건조 시 마찰에 대한 견뢰도는 섬유종류에 따른 차이를 보여, 면직물은 3~4등급으로 비교적 우수한 편이었으나, 아마직물, 면/닥 혼방직물, 아마/리오셀 혼방직물에서는 2~3등급을 보여 상대적으로 낮은

<Table 4> Colorfastness of cellulose fabrics dyed with indigo

Fiber	Reducing condition	Colorfastness				
		Light	Washing	Dry cleaning	Rubbing	Perspiration (acid/alkali)
Cotton	General	4~5	4~5	4~5	3~4	4~5/4~5
	Eclectic	4~5	4~5	4~5	3~4	4~5/4~5
	Eco-friendly	4~5	4~5	4~5	3~4	4~5/4~5
Cotton/ Mulberry	General	4~5	4~5	4~5	2~3	4~5/4~5
	Eclectic	4~5	4~5	4~5	2~3	4~5/4~5
	Eco-friendly	4~5	4~5	4~5	2~3	4~5/4~5
Flax	General	4~5	3~4	4~5	2~3	4~5/4~5
	Eclectic	4~5	3~4	4~5	2~3	4~5/4~5
	Eco-friendly	4~5	3~4	4~5	2~3	4~5/4~5
Flax/ Lyocell	General	4~5	4~5	4~5	2~3	4~5/4~5
	Eclectic	4~5	4~5	4~5	2~3	4~5/4~5
	Eco-friendly	3~4	4~5	4~5	2~3	4~5/4~5

등급으로 판정되었다. 한편, 산성과 알칼리성 팜액에 대한 견뢰도는 환원조건과 섬유소재에 관계없이 모두 4-5등급으로 우수한 결과가 나타났다.

따라서 쪽으로 염색된 섬유소 직물의 염색견뢰도를 전반적으로 살펴보았을 때 견뢰도는 섬유종류 및 환원조건에 따라 미미한 차이를 보이고 있으나, 마찰견뢰도를 제외하고는 대부분 4~5등급의 우수한 견뢰도를 보였다. 즉, 쪽 염색된 섬유소 직물의 염색견뢰도는 환원조건과 염색조건에 따른 차이가 나타나지 않았고, 섬유종류에 따른 차이만 부분적으로 나타나, 섬유소 직물의 쪽 염색 조건은 염색견뢰도에 영향을 미치지 않음을 시사하였다.

이러한 결과는 천연발효에 의한 쪽 분말 염료로 반복 염색한 면, 레이온, 견, 모직물의 경우, 일광 견뢰도는 4등급 이상, 세탁 견뢰도는 3~4등급 이상, 드라이클리닝 견뢰도는 3등급 이상으로 우수하게 나타났다(Kim & Choi, 2013)는 결과 및 발효 쪽 분말과 생쪽 분말을 사용하여 면직물에 염색한 경우, 생쪽 분말의 변퇴색 견뢰도(3~4급)을 제외한 모든 견뢰도에서 4~5급의 우수한 견뢰도를 보였다(Oh, 2010)고 한 결과와도 일치하고 있다. 이는 산화와 환원이라는 쪽 염색의 특수한 염법으로 인해 염료와 직물의 우수한 염착성 때문으로(Kim, 2013), 쪽 염료의 색소가 섬유에 결합 또는 흡착되어 공기산화에 의해서 물에 불용성인 인디고로 변하기 때문에 세탁 팜 견뢰도가 우수한 것으로 생각된다(Chung, Nam, & Kim, 1998). 그런데 염착량이 다소 낮았던 아마직물에서 세탁과 일광견뢰도가 3~4등급으로 다소 낮게 나타났는데, 염착 후의 인디고 색소는 각각의 분자가 섬유 중에 흩어져 분산되어 있는 것이 아니라, 아미노기(-NH<sub>2</sub>)와 카복실기(-COOH)가 수소결합에 의해 연결되어 층을 이루는 형태로 결정화하여 염착되어 있으므로(Oh, 2010), 반복염색에 의해 염착량을 향상 시킴으로써(Song & Cho, 2008), 세탁과 일광견뢰도의 향상을 가져올 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 일반적으로 천연염색 직물의 일광견뢰도가 좋지 않아 패션상품으로 개발시 커다란 단점으로 지적되고 있는 것을 감안해 볼 때, 일광견뢰도를 포함한 쪽 염료의 우수한 염색견뢰성은 색상의 내구성을 기대할 수 있으므로 패션상품으로의 개발가치가 클 것으로 보인다.

(2) Antibacterial activity

선행연구(Kim, 2013; Oh, 2010; Shin et al., 2009)에서 쪽 염색된 직물의 항균성이 우수하다고 보고되고 있어, 절충적 조건과 친환경적 조건으로 환원·염색된 직물에 대한 항균성을 확인하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 공시균인 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*)에 대한 균 감소율을 면직물과 아마직물에 대해서 측정하였다.

쪽 염색된 면직물의 항균성을 살펴보면, 균 감소율이 절충적 조건에서 99.7%, 친환경적 조건에서 87.5%로 나타났으며, 아마직물의 경우에서도 절충적 조건에서 99.9%, 친환경적 조건에서 81.6%로 나타났다(Table 5). 이러한 결과는 쪽 염료 분말을 사용하여 환원제로 하이드로설파이트를 사용하여 염색한 소재의 항균성을 측정한 결과에서 96.3%의 항균력을 보였다는 결과(Oh, 2010) 및 쪽 염색 시 환원제로 하이드로설파이트와 포도당을 사용하고, 알칼리로는 잿물과 수산화나트륨(NaOH)을 사용하여 염색한 아마직물의 항균성을 측정한 결과, 하이드로설파이트와 수산화나트륨 사용 시 99.9%, 하이드로설파이트와 잿물 사용 시 98.6%, 포도당과 수산화나트륨 사용 시 99.7%의 우수한 항균성을 보여 쪽을 이용하여 염색한 소재는 우수한 항균력이 있다고 보고한 연구 결과(Kim, 2013)를 뒷받침해 주고 있다. 따라서 쪽 염료는 우수한 항균성을 지니고 있으므로, 민감성 피부를 가진 성인이나 피부가 약한 아동용 의류소재로 적합할 것으로 생각되며, 또한 위생성이 요구되는 더운 여름철 침구류 및 항균성을 필요로 하는 제품에 활용될 것으로 기대된다.

<Table 5> Antibacterial activity of cotton and flax fabrics dyed with indigo

Fiber	Reducing condition	<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 6538)
		Reduction rate (%)
Cotton 100	Control	-
	Eclectic	99.7
	Eco-friendly	87.5
Flax 100	Control	-
	Eclectic	99.9
	Eco-friendly	81.6

## 2. Colorimetric characteristics

### 1) CIE L\*a\*b\* value

환원조건별 쪽으로 염색된 면직물과 아마직물, 면/닥 혼방직물, 아마/리오셀 혼방직물 총 4종 소재에 대해 색채특성을 측정하여 CIE L\*, a\*, b\*, C, h 값으로 나타낸 결과는 <Table 6>과 같다. 쪽으로 염색된 면직물을 육안으로 본 색상은 일반적 조건과 절충적 조건으로 환원·염색된 직물이 어둡고 진한 남색을 발현하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 친환경적 조건으로 환원·염색된 직물은 다소 흐린 남색을 발현함을 알 수 있었다.

<Table 6>에서 알 수 있듯이, 명도를 나타내는 L\* 값은 세 가지 환원조건으로 염색된 모든 직물에서 50.00 이하의 값을 나타내었다. 즉, 친환경적 조건으로 염색된 아마/리오셀 혼방직물에서 L\*값이 49.00으로 가장 높게 나타났으며, 일반적인 조건으로 염색된 면직물의 경우 33.30으로 가장 낮게 나타났다. 따라서 쪽으로 염색된 섬유소 직물의 명도는 대부분 증명도부터 저명도를 나타내고 있었는데, 친환경 조건에서는 일반적 조건이나 절충적 조건에 비해 다소 희미하게 밝은 색상을 구현하는 것을 확인할 수 있었다.

다음으로 빨강(+)과 녹색(-)을 나타내는 a\*값을 살펴보면, a\*값에서는 대부분 +수치를 나타내고 있

지만, 2 이하의 작은 값을 나타내어 아주 미미한 정도의 빨강기미를 띠는 것으로 나타났고, 아마/리오셀 혼방직물은 일반적 조건에서 -수치를 보여 미미하지만, 녹색기미를 띠는 것으로 나타났다. 노랑(+)과 파랑(-)을 나타내는 b\*값을 살펴보면, 환원조건에 관계없이 모든 조건에서 - 값을 나타내어 파랑기미를 띠는 것을 알 수 있었는데, 면직물에서 일반적 염색 조건인 경우 b\*값이 -18.39로 나타내서 파랑기미를 가장 강하게 나타내었다.

한편, 채도를 나타내는 C값은 10~19 사이의 범위를 나타내었는데, 대부분 모든 직물에서 일반적 조건과 절충적 조건에서 환원/염색한 직물이 친환경적 조건에서 환원·염색한 직물보다 높게 나타났다. 색상각(h)은 양수(+) 쪽의 a\*축(빨강)에서부터 0°가 되어 반시계 방향으로 증가하는 값을 가지는데(Fairchild, 2005/2007), 파랑은 270°에 해당하므로, 측색계로 측정한 색상각의 값이 273~277 사이를 나타내었으므로 파랑기미를 띠는 남색계열임을 확인할 수 있었다.

### 2) Munsell color system

세 가지 환원조건에 따라 쪽 염색된 직물의 먼셀 표색계에 의한 색채특성을 정리한 결과는 <Table 7>과 같으며, 세 가지 환원조건에서 쪽 염색된 직물 모두에서 PB(남색) 계열의 색상을 나타내었다.

<Table 6> Colorimetric characteristics of cellulose fabrics dyed with indigo by reducing conditions

Fiber	Reducing condition	Colorimetric property				
		L*	a*	b*	C	h
Cotton	General	33.30 <sup>b</sup>	1.62 <sup>a</sup>	-18.39 <sup>b</sup>	18.46 <sup>a</sup>	275.05 <sup>b</sup>
	Eclectic	34.22 <sup>b</sup>	1.14 <sup>b</sup>	-17.94 <sup>b</sup>	17.98 <sup>a</sup>	273.64 <sup>b</sup>
	Eco-friendly	44.69 <sup>a</sup>	1.34 <sup>b</sup>	-10.86 <sup>a</sup>	10.95 <sup>b</sup>	277.01 <sup>a</sup>
Cotton/ Mulberry	General	33.96 <sup>c</sup>	1.30 <sup>b</sup>	-16.22 <sup>c</sup>	16.28 <sup>a</sup>	274.58 <sup>b</sup>
	Eclectic	38.46 <sup>b</sup>	1.61 <sup>a</sup>	-13.96 <sup>b</sup>	14.05 <sup>b</sup>	276.60 <sup>a</sup>
	Eco-friendly	44.75 <sup>a</sup>	1.12 <sup>b</sup>	-10.93 <sup>a</sup>	10.99 <sup>c</sup>	275.84 <sup>a</sup>
Flax	General	34.18 <sup>b</sup>	-0.26 <sup>c</sup>	-14.40 <sup>c</sup>	14.40 <sup>a</sup>	268.99 <sup>c</sup>
	Eclectic	41.53 <sup>a</sup>	0.65 <sup>b</sup>	-12.63 <sup>b</sup>	12.65 <sup>b</sup>	272.96 <sup>b</sup>
	Eco-friendly	40.44 <sup>a</sup>	1.25 <sup>a</sup>	-10.60 <sup>a</sup>	10.68 <sup>c</sup>	276.74 <sup>a</sup>
Flax/ Lyocell	General	34.40 <sup>c</sup>	-0.09 <sup>c</sup>	-18.35 <sup>c</sup>	18.35 <sup>a</sup>	269.72 <sup>c</sup>
	Eclectic	47.20 <sup>b</sup>	0.13 <sup>b</sup>	-14.77 <sup>b</sup>	14.77 <sup>b</sup>	270.52 <sup>b</sup>
	Eco-friendly	49.00 <sup>a</sup>	1.23 <sup>a</sup>	-11.17 <sup>a</sup>	11.24 <sup>c</sup>	276.29 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup>: Means with the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ).



우선 쪽 염색 직물의 색상(H)을 살펴보면, 전체적으로 3.44~5.40 PB의 범위를 보여 밝은 남색에서부터 중간 색상의 남색까지 구현하였다. 일반적 조건으로 쪽 염색한 경우의 색상 값은 면직물은 4.68 PB, 면/닥 혼방직물은 4.63 PB, 아마직물은 3.44 PB, 아마/리오셀 혼방직물은 3.50 PB로 나타났다. 친환경 조건인 경우 면직물은 5.40 PB, 면/닥 혼방직물은 5.18 PB, 아마직물은 5.22 PB, 아마/리오셀 혼방직물은 5.41 PB로 나타났다. 명도는 모든 환원조건에서 3~4 범위를 나타내어 저명도임을 확인할 수 있었으며, 면직물을 일반적 조건에서 환원하여 염색한 경우 명도가 3.24로 나타나서 가장 어둔 쪽 염색 직물의 색상을 발현하였으며, 아마/리오셀 혼방직물을 친환경적인 방법으로 환원하여 쪽 염색한 직물의 명도가 4.75로 나타나서 밝은 남색을 발현하고 있음을 알 수 있었다. 채도는 대체로 2~4 범위를 나타내어 저채도 색상임을 확인할 수 있었다. 아마직물을 친환경적 조건으로 환원하여 염색한 경우 채도가 2.43으로 가장 낮았으며, 아마/리오셀 혼방 직물을 일반적 조건으로 환원하여 염색한 경우 채도가 4.12로 가장 높게 나타났다.

이상의 먼셀 색채특성을 종합해서 정리해 보면, 친환경조건으로 환원하여 쪽 염색된 직물은 일반적 조건이나 절충적 조건보다 상대적으로 명도가 다소 높고, 채도는 다소 낮게 나타나 약간 밝으나 희미한 남색을 나타내었으며, 일반적인 조건에서 쪽 염색된 직

물은 명도가 낮고 채도가 높게 나타나서 진하고 선명한 남색을 나타냄을 알 수 있었다. 한편, 절충적 조건으로 쪽 염색한 직물의 색채특성은 일반적 조건과 친환경적 조건의 중간 값을 보이고 있었다.

이러한 결과는 쪽 염색 시 먼셀 색채특성으로 표시할 경우, 색상은 남색(PB) 계열로 나타났고, 명도와 채도가 낮아지는 현상을 보였다고 보고한 결과와 유사하였다(Kim & Choi, 2013).

## V. Conclusion

여름철 침구류에 사용할 친환경적이고 감성적인 패션상품 소재기획을 위한 자료를 제공하고자 4종의 섬유소 직물을 대상으로 세 가지 환원조건에 따른 쪽 염색을 실시하여 염색특성과 색채특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 환원조건에 따라 쪽 염색 직물의 염착량은 660nm에서 최대값을 나타내었으며, 섬유소 직물의 종류에 관계없이 일반적 조건에서의 염착량이 높게 나타났고, 친환경적 조건에서의 염착량은 낮게 나타났다. 또한 환원조건별 섬유종류에 따른 최대흡수파장에서의 쪽 염료의 염착량은 차이가 있어 일반적 조건에서는 아마/리오셀 혼방직물과 면직물의 염색성이 우수함을 확인하였고, 절충적 조건에서는 면직물의 염색성이, 친환경적 조건에서는 아마직물의 염색성이

<Table 7> Munsell color system of cellulose fabrics dyed with indigo

Fiber	Reducing condition	Munsell color system		
		Hue	Value	Chroma
Cotton	General	4.68/PB	3.24	4.04
	Eclectic	4.39/PB	3.33	3.99
	Eco-friendly	5.40/PB	4.33	2.61
Cotton/Mulberry	General	4.63/PB	3.31	3.57
	Eclectic	5.17/PB	3.74	3.18
	Eco-friendly	5.18/PB	4.34	2.62
Flax	General	3.44/PB	3.33	3.19
	Eclectic	4.49/PB	4.03	2.98
	Eco-friendly	5.22/PB	3.93	2.43
Flax/Lyocell	General	3.50/PB	3.35	4.12
	Eclectic	4.21/PB	4.58	3.66
	Eco-friendly	5.41/PB	4.75	2.80

좋음을 확인할 수 있었다.

둘째, 쪽으로 염색된 섬유소 직물의 염색견뢰도는 섬유종류 및 환원조건에 따라 미미한 차이를 보이고 있으나, 전체적으로 볼 때 마찰견뢰도를 제외하고는 4~5등급으로 나타나 염색견뢰도가 우수하였다. 또한 쪽 염색 면직물과 아마직물은 우수한 항균성을 보였으므로 민감성 피부를 가진 성인이나 피부가 약한 아동용 의류소재 및 위생성이 요구되는 더운 여름철 침구류 및 항균성을 필요로 하는 제품에 활용될 것으로 기대된다.

셋째, 쪽 염색 직물의 색채특성을 평가한 결과, 세 가지 환원조건 모두 동일하게 남색계열(PB)의 색상을 구현한다는 것을 확인하였고, 환원조건과 섬유종류에 따라 색채특성은 유의한 차이를 나타내었다. 아마/리오셀 직물이 가장 밝고 선명한 남색을 나타내었고, 면직물은 파랑기미가 다소 많고 채도가 높은 남색을 나타내었다. 또한 일반적 조건으로 환원한 경우 파랑기미가 다소 많고 채도가 높은 남색을 나타낸 반면, 이에 비해 친환경적 조건에서는 명도가 다소 높고 미미하게 빨강기미를 보이는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 쪽 염료 환원 시 일반적으로 사용하는 환원제인 하이드로설파이트 외에 포도당을 사용하여 친환경 환원방법의 가능성을 확인하였고, 상온과 증성에서 염색을 실시함으로써 에너지 절감과 알칼리 무사용 등 친환경적 천연염색을 시도하였으며, 환원조건을 달리함으로써 쪽 염색으로 구현할 수 있는 색채의 범위를 다소 확대하였다는 점에서 의의가 있다고 생각된다. 그러나 본 연구에서는 쪽의 염료농도를 높게 하여 4종류의 섬유소 직물과 세 가지 환원조건을 설정하여 재현성 있는 염색방법에 초점을 맞추고자 1회 염색으로 진행하였으나, 쪽 염색의 다양한 색상 구현과 염색의 효율성을 확보하기 위해서는 염색횟수와 염료의 농도 변화에 따른 염색성과 색채특성을 평가하는 연구 및 친환경적 염색방법에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## References

Bae, J. S. (2009). Fabric dyeing with indigo and Japanese pagoda tree for color mixture ( I ): Treatment on cellulose fabrics. *Textile Coloration and Finishing*,

21(2), 29-39.

Chung, I. M., Nam, S. W., & Kim, I. H. (1998). A study on the silk dyeing with natural indigo extracted from *Polygoum tinctorium*: On the fermentation dyeing. *Journal of Sericultural and Entomological Science*, 40(1), 78-85.

Chung, I.-M., & Woo, S.-O. (2002). Effect of reducing agent, sodium hydrosulfite on the natural indigo dyeing of silk fabric. *Journal of Sericultural and Entomological Science*, 44(2), 93-98.

Fairchild, M. D. (2007). *컬러 어퍼런스 모델* [Color appearance models (2nd ed.)] (S. D. Cho, J. M. Kim, & J. H. Park, Trans.). Seoul: Sigma Press. (Original work published in 2005)

Kang, J. Y., & Ryu, H. S. (2001). Natural indigo dyeing on wool fibers (I). *Textile Coloration and Finishing*, 13(4), 15-22.

Kim, J. P., & Lee, J. J. (2004). *한국의 천연염료: 전통염료와 천연염색기술* [Natural dyes in Korea: Traditional dyes and natural dyeing technology]. Seoul: Seoul National University Press.

Kim, M. K. (2010). *A study on the dyeing conditions and properties of cotton fabric dyed with natural Polygoum tinctoria*. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea.

Kim, M. K. (2013). *A study on natural Polygoum tinctoria dyeing of sustainable eco-friendly cellulose fabric and its application*. Unpublished doctoral dissertation, Ewha Womans University, Seoul, Korea.

Kim, M. K., & Kim, T. M. (2016). A study of complex dyeing using natural dyestuffs: Focus on cellulose fiber. *The Research Journal of the Costume Culture*, 24(4), 431-440. doi:10.7741/rjcc.2016.24.4.431

Kim, M.-K., & Choi, I.-R. (2013). A study of indigo fermented dyeing using natural yeast. *The Journal of the Korean Society of Knit Design*, 11(3), 1-9.

Kulandainathan, M. A., Muthukumaran, A., Patil, K., & Chavan, R. B. (2007). Potentiostatic studies on indirect electrochemical reduction of vat dyes. *Dyes and Pigments*, 73(1), 47-54. doi:10.1016/j.

- dyepig.2005.10.007
- Lee, K. H. (2010). *(계량) 천연염색* [Measuring natural dyeing]. Gumi: Spectrum.
- Lee, M. S., & Chung, K. H. (2012). The development of bedclothes design through the application of natural indigo dyeing. *Journal of the Korean Society of Design Culture*, 18(3), 356-367.
- Lee, N. Y. (2015). *우리가 정말 알아야 할 천연염색* [Natural dyeing]. Seoul: Hyeonamsa.
- Oh, J. E. (2010). *The effect of characteristics of natural indigo dyestuff on its dyeing properties*. Unpublished master's thesis, Incheon National University, Incheon, Korea.
- Park, J. L. (2013). *Fabric dyeing property for natural indigo on reducing condition*. Unpublished doctoral dissertation, Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Park, J.-H., & Soh, H.-O. (2004). A comparative study on the indigo dyeing between Korea, China and Japan. *Journal of Korean Traditional Costume*, 7(1), 29-40.
- Park, S. M., Kim, J. Y., Yeum, J. H., & Yoon, N. S. (2010). 천연염색 제품 인증 [Natural dyed products certification]. *Fiber Technology and Industry*, 14(3), 188-205.
- Shin, Y. S., Cho, A.-R., & Yoo, D. I. (2009). Natural indigo dyeing by using glucose reduction. *Textile Coloration and Finishing*, 21(3), 10-18.
- Song, S. W., & Cho, K. R. (2008). Dyeing properties of cotton fabrics dyed with extract from dry leaf of indigo plant. *Textile Coloration and Finishing*, 20(3), 18-24.
- Song, W. S., & Kim, B. H. (2004). *아름다운 우리의 색, 천연염색* [Natural dyeing]. Seoul: Sookmyung Women's University Press.
- Vuorema, A., John, P., Keskitalo, M., Kulandainthan, M. A., & Marken, F. (2008). Electrochemical and sonoelectrochemical monitoring of indigo reduction by glucose. *Dyes and Pigments*, 76(2), 542-549. doi:10.1016/j.dyepig.2006.06.044
- Yoo, H. J., Lee, H. J., Han, Y. S., Song, K. H., Kim, J. H., & Ahn, C. S. (2007) *섬유의 염색과 가공* [Textile dyeing and finishing]. Seoul: Hyungseul Publishing Company.
- Yoo, W. S., Ahn, C. S., Narantuya, L., & Li, L. C. (2014). Study on the improvement of dyeability of commercial indigo leaf powder for the purpose of utilizing it in indigo dyeing. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 38(4), 540-556. doi:10.5850/JKSCT.2014.38.4.540