

## Study on the Dyeability and the Colorfastness of Imported Commercial Raw Indigo Powder Dye on Cotton Fabric

Yue Yang, Cheunsoon Ahn<sup>†</sup>, Jin Sung Park and Longchun Li  
Dept. of Clothing & Textiles, Graduate School, University of Incheon, Korea

### 시판 수입 생쪽 분말 염료의 면직물에 대한 염색성 및 염색견뢰도 연구

양 월 · 안춘순<sup>†</sup> · 박진성 · 이룡춘

인천대학교 대학원 의류학과

(2012. 1. 8. 접수일 : 2012. 8. 1. 수정완료일 : 2012. 8. 9. 게재확정일)

#### Abstract

The purpose of this research was to find the suitable dyeing method for dyeing cotton fabric into indigo blue color using the raw indigo powder dyes sold in the Korean market. The research focused primarily on the comparison of the non-reduced dyeing method and the reduced dyeing method. The dyeing effects using different dyeing temperatures (2~80°C) and different concentrations of reducing agent and alkali were also investigated. It was found that the reduced dyeing method must be used for dyeing cotton into indigo blue color using the commercial raw indigo powder dyes. The best result was obtained by 20°C dyeing with the 40°C dyeing giving a comparable result. The intensity of the blue color could be enhanced by increasing the alkali concentration. The non-reduced dyeing could not dye cotton fabric into indigo blue color at any given dyeing temperatures (2~80°C). The reduce-dyed cotton fabrics showed a gradual color change upon repeated washing and extended sunlight exposure, the most color change occurring after the first two washing cycles and the first 5 hours of sunlight exposure. The standard tests of colorfastness showed that the reduce-dyed cotton fabrics had good to excellent colorfastness whereas the colorfastness of the non-reduce-dyed cotton fabrics were mostly poor.

*Keywords:* raw indigo(생쪽), powder dye(분말염료), reduced dyeing(환원염법), non-reduced dyeing(비환원염법), commercial powder dye(시판분말염료)

### I. Research Background

쪽은 천연염료 중 견뢰도가 가장 뛰어나고 특유의 쪽빛을 발현해 천연염색 공예가들에게는 물론 상업적으로도 인기를 얻고 있다. 최근에는 쪽 분말

염료가 온라인상으로 판매되고 있어 누구나 간편하게 이용할 수 있으며, 생쪽잎을 사용할 경우 불가피하게 발생하는 계절적 제한점이 해소되었다. 또한 쪽 분말제품은 장기보관이 가능하고 염료의 양 조절이 쉽기 때문에 교육기관 실습용이나 천연염색 애호가들의 실습용으로 사용하기에 적합하다.

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012007412). 이 논문은 2011년 인천대학교 교내연구비 지원에 의해 연구되었음.

<sup>†</sup> 교신저자 E-mail : cssong@incheon.ac.kr

그러나 시판되고 있는 쪽 분말제품에는 대개의 경우 염색방법이 명시되어 있지 않기 때문에 전문적인 지식 없이는 제대로 된 쪽 염색을 하기 어렵다(Oh & Ahn, 2011). 특히, 쪽은 불용성의 인디고틴(indigotin)과 인디루빈(indirubin) 색소를 함유한 염료로서, 염색에 사용되는 원료가 신선한 생잎인지 아니면 발효시킨 즙이나 덩어리인지, 분말제품일 때에는 발효된 쪽의 분말인지 생잎 분말인지 등에 따라 색소의 화학구조가 달라지며, 이에 따라 염색방법이 달라진다. 신선한 생잎을 이용한 쪽염색은 쪽잎을 탄 후 싱싱한 것을 믹서 등에 갈아서 환원과정 없이 바로 염색한다(Lee, 2004). 반면, 발효시킨 쪽의 경우, 쪽잎과 줄기를 따서 물이 담긴 항아리에 넣고, 여기에 소석회 등을 넣어 섬유를 바로 염색하거나, 소석회를 섞은 항아리를 방치하여 염료 침전물이 생기면 니남 혹은 건남 덩어리를 만든 후 차후에 환원과정을 거쳐 염색한다(Lee, 2004).

쪽 분말염료는 발효된 쪽의 분말과 생잎 분말로 나뉘는데, 발효쪽 분말은 니남 등과 같은 방식으로 염료 침전물을 얻은 후 분말화한 것이기 때문에 염료를 환원시켜 염색해야 함을 알 수 있고, 모든 연구에서 환원법을 사용하는 것을 확인할 수 있다(Chung et al., 1998a; Chung et al., 1998b; Chung & Woo, 2002; Kang & Ryu, 2001; Jung et al., 2005; Shin et al., 2008; Shin et al., 2010; Son et al., 2010). 반면, 생잎 분말 혹은 생쪽 분말이라고 부르는 것은 쪽잎을 따서 건조시킨 후 잎 자체를 분말화한 염료인데, 연구자에 따라 환원과정 없이 염색한 경우(Oh & Ahn, 2011; Shin et al., 2009a)와 환원과정을 거쳐서 염색한 경우(Shin et al., 2009b)가 있고, 판매처 혹은 개인 염색가의 블로그 등에서는 환원과정 없이 차가운 염액으로 염색하는 방법을 추천하고 있다(Oh & Ahn, 2011). 위와 같은 사실로 미루어 볼 때 생쪽 분말제품의 염색방법에 대한 명확한 규명이 필요하며, 구체적으로 환원법 혹은 비환원법 염색 중 어느 방법이 적절한지 재고되어야 할 필요가 있음을 알 수 있다. 특히 생쪽 분말은 발효쪽 분말에 비해 가격이 저렴하여(Oh & Ahn, 2011) 일반인들이 쪽 염색 실습시 쉽게 이용할 수 있으므로 적절한 염색방법을 찾아 업계에 널리 보급하는 것이 시급하다. 이와 같은 배경 하에서, 본 연구는

현재 국내에서 시판되고 있는 쪽 분말제품 중 생쪽 분말이라고 불리는 제품에 대해 환원법과 비환원법의 비교에 주요 초점을 맞추고, 적합한 염색방법을 찾는 데 목적을 두었으며, 염색대상은 교육기관 등의 실습용으로 쉽게 사용될 수 있는 면직물을 선정하였다.

본 연구에서 다루는 분말 형태의 쪽 염료의 경우, 시판되는 제품의 종류와 제조방법에 대한 문헌 자료는 전무하며, 연구용으로 쪽 분말을 제작한 소수의 문헌이 있다. Kang and Ryu(2001), Chung and Woo(2002), Chung et al.(2005), Shin, Cho and Yoo(2009), Shin et al.(2010)은 직접 제조한 발효쪽 분말을 연구에 사용하였다. 연구자마다 염료의 양이나 염색 온도, 염색시간 등에는 다소 차이가 있으나, 모두 알칼리 욕에서 쪽 분말을 환원시켜 사용하였다는 공통점을 지닌다. 환원제로는 주로 하이드로설파이트를 사용하였고(Kang & Ryu, 2001; Chung & Woo, 2002; Shin et al., 2010), Chung et al.(2005)은 옥수수 전분 50%로 된 과당 물엿을, Shin et al.(2009)은 포도당을 환원제로 사용하였다. 알칼리로는 주로 수산화나트륨을 사용하였으며, 그 외 잿물(Chung et al., 2005)과 소석회(Shin et al., 2009)를 사용하기도 하였다. 발효쪽 분말을 구입하여 사용한 연구의 예로 Oh and Ahn(2011)이 있는데, 이들 또한 하이드로설파이트를 환원제로 하고 수산화나트륨으로 알칼리 욕을 만들어 염액을 제조하였다. 생쪽 분말을 사용한 연구로 Shin et al.(2009a)과 Shin, Son, and Yoo(2009b)는 직접 제조한 생쪽 분말로 염색하였으며, Oh and Ahn(2011)은 구입한 생쪽 분말로 염색하였다. Shin et al.(2009a)과 Oh and Ahn(2011)은 생쪽 분말로 염색할 때 환원제를 사용하지 않고 염색하였으나, Shin et al.(2009b)은 환원제를 사용하여 염색하였다는 차이점이 있다. 그 외 Yoo(2007)와 Kim(2010), Woo(2010)는 구입한 쪽분말을 연구에 이용하였으며, 모두 환원제와 알칼리를 이용하여 염액을 제조하였는데 분말의 종류가 발효쪽인지 생쪽인지는 불분명하였다.

분말이 아닌 쪽잎 혹은 쪽잎과 줄기를 발효시키거나 발효과정 없이 쪽잎 자체로 즙을 만들어 염색한 연구는 다수이다. 그 중 Han(1998), Ko(1998), Shin(2004)은 쪽잎을 발효시켜 즙액을 만든 후 염

색에 사용하였다. 쪽잎의 발효를 위해 Han(1998)은 포도당을, Ko(1998)는 석회를, Shin(2004)은 곡주를 사용하였으며, 수산화나트륨이나 잿물 등의 알칼리 성분을 함께 사용하였다. Kim(1995), Chung(2000), Shin(2004), Choi(2005)는 생쪽즙을 연구에 이용하였는데, 공통적으로 생쪽 잎을 물과 함께 믹서에 갈아서 즙액을 만들었고, 환원제와 알칼리를 사용하지 않고 염색을 진행하였다. 쪽잎을 직접 염색에 이용한 문헌의 내용들로 미루어볼 때 잎을 직접 갈아서 염색에 이용하는 생즙법의 경우에는 환원제를 사용하지 않으며, 잎을 발효시켜 추출색소를 염색에 이용하거나 건조한 쪽잎을 이용하는 경우에는 환원제가 필요한 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 선행연구를 바탕으로 환원법과 비환원법에 따른 시판 생쪽 분말의 염색성의 차이를 조사하였다.

## II. Methods

### 1. Materials

시장조사를 통해 국내에서 시판되고 있는 생쪽 분말염료 5종을 구입하여 특성을 조사하고, 이 중 제품 B를 염색에 이용하였다. 매염제로 aluminium potassium sulfate, 알칼리로 sodium carbonate anhydrous, 환원제로 sodium hydrosulfite를 사용하였으며, 모두 DC Chemical Co.(Seoul)에서 구입하였다. 염색에 사용한 물은 증류수제조기(Human Corporation, HM 1070522-508)로 증류하여 사용하였다. 면직물은 한국의류시험연구원(KATRI)에서 구입한 염색견뢰도 시험용 첨부백포(KS K 0905 규격)를 사용하였다.

### 2. Experimental

#### 1) Non-reduced dyeing

액비 1:50, 20℃의 증류수에 생쪽 분말 염료 20g/L를 넣고, 서서히 가열시켜 80℃에서 1시간 동안 유지하고 염액을 실온상태로 식혀 염액을 준비하였다. 염색온도를 2~80℃로 조작하여 20분간 염색을 진행하였다. 2℃ 염색은 냉장고의 냉동실 온도를 2℃로 떨어뜨리고 주기적으로 저어주면서 20분간 염색하고 얼음을 띄운 물에서 수세하였다. 염색

에 사용한 면직물은 농도 1% o.w.f의 명반액에 넣고 40℃에서 20분간 선매염하였다.

#### 2) Reduced dyeing

면직물 시료의 무게 대비 액비를 1:50으로 계산한 후 이에 해당하는 양의 증류수를 취해 20℃ 온도에서 생쪽 분말 염료를 20g/L 기준으로 넣어 서서히 가열시켜 80℃에서 1시간 동안 가열하였다. 염액의 온도를 40℃로 떨어뜨려 하이드로설파이트 3g/L와 탄산나트륨 3g/L를 넣고 20분간 환원시켜 염액을 준비하였다. 비환원법에서와 같이 염색온도를 2~80℃로 조작해 20분간 염색을 실시하였다.

### 3. Analysis

#### 1) Color measurement

분광측색계(JS-555, Color Techno System, Co. Ltd)를 이용하여 염색한 직물의 L\*a\*b\*값 및 Munsell 표색계에 따른 H, V/C값을 구하고, Kubelka-Munk 식에 따라 최대흡수파장에서 표면반사율 값을 통하여 K/S값을 산출하였다.

#### 2) Color difference due to repeated laundering and sunlight exposure

시료를 시판 가루비누 50g, 무게보정용 광목 약 2kg과 함께 드럼식 가정용 세탁기에 넣고 표준사이클(소요시간 60분), 물높이 조절 1~4 단계 중 4단계로 고정하여 세탁하였으며, 세탁 완료 후 자연건조하였다. 분광측색계로 시료의 세탁 전후의 표면반사율과 색차를 매회 임의 5지점에 대해 측정하였다. 시료를 일광견뢰도 시험기(ATLAS S3000, Xenon Weather-O-Meter)에 넣고 5~40시간까지 일광조사하였으며, 매 5시간 간격으로 시료를 분광측색계를 이용해 측색하였다.

#### 3) Colorfastness test

염색견뢰도 측정은 한국의류시험연구원(KATRI)에 의뢰하여 세탁(KS K ISO 105-C01:2007), 땀(KS K ISO 105-E04:2010), 마찰(KS K 0650:2006 크로크미터법), 일광(KS K ISO 105-B02:2010 Xenon Arc 법 중 수냉식, 표준청색염포에 의한 방법)에 대한

시료의 염색견뢰도를 평가하였다.

### III. Results and Discussion

#### 1. Survey of raw indigo powder products

시판 쪽 분말 중에는 발효쪽 분말이 다수를 차지하고, 생쪽 분말은 종류가 한정되어 있었다. 온라인 조사를 통해 구입한 생쪽 분말제품 5종의 특성은 <Table 1>과 같다. 제품에는 원산지와 분말 제조법 등이 제공되어 있지 않았으며, 판매자와의 전화통화를 통해 일부 제품의 상품정보를 확인한 바 모두 인도산이었다. 5종 제품의 분말 색은 모두 녹색이었는데, 이는 선행연구에서 보고한 생쪽 분말의 색상과 동일하였다(Shin et al., 2009a, 2009b). 제품에는 염색방법이 표시되어 있지 않았으며, 판매자와의 전화통화 결과, 선행연구에서 보고한 것과 같이 환원과정 없이 얼음을 넣은 차가운 염액으로 염색하는 방법을 추천하였다(Oh & Ahn, 2011)(Table 1). 이에 따라 일차적으로 환원을 시키지 않은 상태로 염색을 진행하였으며, 5종의 분말 중 제품 B를 사용하였다.

#### 2. Results of non-reduced dyeing

비환원법으로 염색한 면직물은 2~80℃의 어떠한 온도 조건에서도 쪽빛으로 염색되지 않았다. 비환원법으로 염색한 면직물은 가시광선 영역에서 최대흡수가 일어나지 않았으며, 쪽의 일반적인 최대흡수파장인 640~660nm를 기준으로 할 때(Oh & Ahn, 2011; Shin et al., 2010), 모든 온도 조건에서 K/S값이 0.1 이하로서 실질적으로 염착이 거의 이루어지지 않은 것으로 확인되었다(Table 2). 색상(H)은 GY, G 혹은 Y계열이었으나, 채도(C)가 0.58~2.02로 매우 낮아 무채색에 가까운 색상을 나타내었다. 판매처에서 추천하는 2℃ 얼음물 상태나 아주 차가운 물 상태인 10℃ 염색온도로도 염착이 거의 이루어지지 않았으며, 색상은 Y계열에 가까운 2.62GY로 염색되었다. 염색온도 2~80℃ 중에서는 80℃가 상대적으로 염착량이 양호하였으나 K/S값이 여전히 낮았고 (K/S=0.1) Y계열의 색상을 나타내었다. 전반적으로, 2~20℃ 염색은 노란 기운을 띠는 연두계열(GY)의 색상을 나타내었으며, 60~80℃ 염색은 붉은 기운을 띠는 노랑계열(Y)의 색상을 나

<Table 1> Product information of the 5 commercial raw indigo powder dyes

Product label	Country of origin	Price (won/g)	Powder color	Product information	Dyeing method recommended by vendors
A	India	110	Green	Raw indigo powder. Indigo leaves were dried under the sun for 10 hours, ground with wooden stick, and put in airtight plastic bag.	Prepare dye bath in icy water or very cold water without the use of reducing agent and alkali. Rub the crumbs of powder until indigo dye is extracted. Dye fabric in very cold or icy dye bath.
B	India	50	Green	Indigo leaves were freeze dried and powdered.	
C	India	150	Green	Indigo leaves were freeze dried and powdered.	
D	India	150	Green	No information	
E	India	100	Green	Indigo leaves were freeze dried and powdered.	

<Table 2> Results of non-reduced dyeing of raw indigo powder dye on cotton fabric: Different dyeing temperatures

Dyeing temperature(℃)	K/S	L*	a*	b*	H	V	C
2	0.02	89.67	-1.65	11.11	2.62GY	8.85	1.98
10	0.04	90.93	-4.74	7.19	6.83GY	8.9	1.85
20	0.01	87.83	-4.61	8.81	6.43GY	8.66	2.02
40	0.06	85.38	-0.28	3.38	5.35G	8.41	1.18
60	0.08	79.44	4.15	-0.07	3.20Y	7.8	0.66
80	0.1	78.04	4.23	-0.63	3.52Y	7.65	0.58

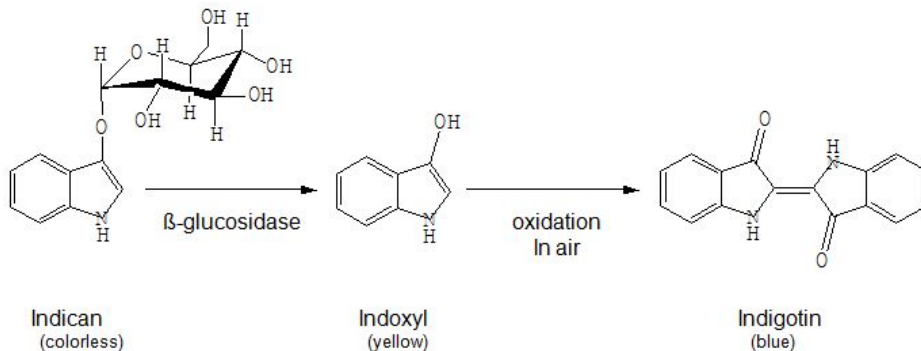
타내었다. 2~80℃ 온도조건 중에서는 유일하게 40℃ 염색이 G계열의 색상을 나타내 Munsell 색상환에서 볼 때 푸른색에 가장 근접한 결과를 나타내었다. 한편, 비환원법 염색 결과에서 나타난 GY 혹은 G계열의 색상은 쪽의 주요 색소 성분인 인디고틴의 영향에 앞서서 녹색 잎에 포함되어 있는 엽록소의 영향일 수도 있는 바(Shin et al., 2009a, 2009b) 시판 생쪽 분말의 색소성분과 각 성분의 함유량, 물에 대한 용해도 등에 대한 후속 연구가 필요하다.

Shin et al.(2009a)은 바로 베어낸 쪽잎의 생즙이나 잎 자체를 동결건조한 후 분말을 만들어 견직물을 6℃에서 비환원법으로 염색하였는데, 이 때 K/S 값은 약 1.2~2.2 수준으로 나타났다. 이것은 본 연구의 결과보다 높은 K/S값으로 이는 Shin et al.(2009a)의 경우, 신선한 잎으로 자체 제작한 분말을 사용했기 때문에 시판되는 생쪽 분말에 비해 분말의 신선도가 높았기 때문인 것으로 사료된다. 또한 Shin et al.(2009a)의 경우, 염색한 견직물의 색상이 본 연구와 다르게 B계열로 나타났는데, 이 또한 분말의 신선도와 관련이 있을 것으로 추측된다.

갓 베어낸 생잎을 이용해 쪽 염색을 할 때에는 생잎을 물과 함께 찢거나 믹서에 갈아 즙액을 만드는데(Shin, 2004; Chung, 2000), 잎이 뭉개지는 과정에서  $\beta$ -글루코시다제 효소가 생성되며, 이 효소가 잎에 존재하는 인디칸을 인독실로 변화시킨다(Minami, Nishimura, Hara-Nishimura, Nishimura, & Hiroshi, 2000)(Fig. 1). 따라서 이 때 쪽의 즙액에는 인독실이 존재하며, 섬유에 염착된 인독실은 염색이 완료

된 후 행금과 건조과정에서 산소와 결합하여 인디고틴으로 산화된다(Kim, 1995; Chung et al., 1998; Chung & Woo, 2002). 쪽 잎 속에 존재하는 인디칸은 인위적인 염액 추출과정이 아니라도 자연상태에서 잎이 손상되면, 인독실로의 분해가 일어나고, 인독실은 산소와의 접촉에 의해 즉각적으로 인디고틴으로 변화는 것으로 알려져 있다(Laitonjam & Wangkheirakpam, 2011).

생쪽 분말 제조과정에서도 잎을 분말로 만드는 과정에서  $\beta$ -글루코시다제 효소가 발생하는데(Chanayath, Lhieochaiphant, & Phutrakul, 2002), 선행연구에 의하면 건조한 잎의 경우 신선한 잎에 비해 효소의 활동이 적으며(Minami, Kanafuji, & Miura, 1996; Chanayath et al., 2002), 열과 건조에 의해  $\beta$ -글루코시다제의 활동이 감소한다고 보고되었다(Kun, 1998; Eyzaguirre, Hidalgo, & Leschot, 2005). 효소에 의해 인디칸이 인독실 상태로 변화하여야만 인디고틴 색소가 얻어지는 것을 볼 때, 분말의 색소 함량을 최대로 하기 위해서는 원료 쪽잎을 신선한 상태로 사용하는 것이 중요할 것으로 여겨진다. 시판 생쪽 분말의 경우, 대량생산 방식에 의해 제조되었을 것이며, 불가피하게 원료의 신선도가 떨어질 것으로 추측되므로, 시판하는 생쪽 분말을 사용한 본 연구와 신선한 잎으로 분말을 자체 제작한 Shin et al.(2009a)의 결과에 차이가 있는 것은 분말의 신선도에 기인하는 것으로 사료된다. Oh and Ahn(2011)은 본 연구와 마찬가지로 시중에서 판매하는 2종의 생쪽 분말을 이용해 면직물을 비환원법으로 10℃, 25℃, 60℃에서 염색하였는데, 염색결과 K/S값이 0.2~0.3



<Fig. 1> Schematic diagram of oxidation of indican to indigotin

수준으로 본 연구와 유사한 결과를 얻었으며, 색상 계열은 모두 GY계열로 나타났다(Oh & Ahn, 2011).

요약하여, 비환원법 염색을 사용할 경우, 본 연구에서 도입한 염색온도 중에서는 40℃ 염색이 상대적으로 쪽의 푸른색에 근접한 G색상을 발현하였고, 80℃ 염색이 다소 염착량이 높은 것으로 나타났다. 전반적인 염착량이 매우 낮아 생족 분말 염색에 있어서 비환원법 염색은 모든 온도조건에서 적합하지 않은 방법으로 확인되었다. 판매처 혹은 개인 염색가의 블로그 등에서 생족 분말 염색시 환원과정 없이 차가운 염액으로 염색하는 방법을 추천하고 있으나(Oh & Ahn, 2011), 시판되는 생족 분말을 염료로 사용할 경우, 비환원법 저온염색은 염착성과 쪽빛 색상 발현에 모두 부적합함을 확인한 바 이와 같은 정보의 보급이 필요하다고 하겠다. 한편, 비환원법을 이용한 저온염색은 연두계열의 염색물을 얻는데 활용가능성이 있겠으나, 염색효과가 실효성을 갖기 위해서는 낮은 염착량을 해결하기 위한 방안이 필요하다.

### 3. Results of reduced dyeing

#### 1) Reduced dyeing using different dyeing temperatures

환원법으로 염색한 면직물은 모든 시료가 푸른색 쪽빛으로 염색되는 것을 확인하였다. 모든 시료는 640~650nm에서 최대흡수파장이 나타났으며, 이는 쪽 염색물의 통상적인 최대흡수파장과 동일하였다(Oh & Ahn, 2011; Shin et al., 2010). 실험결과, 2℃를 제외한 모든 염색온도 조건에서 K/S값은 2.3~3.6 범위 내에 있었고, 색상은 5.96B~7.28B로

서 진한 B 계열로 나타났다(Table 3). 2℃로 염색한 면직물은 K/S값이 1 이하이며, 색상이 5.27BG로서 BG 계열이고, 10~80℃ 염색에 비해 초록 기운이 많고( $a^* = -10.32$ ), 푸른 기운이 적게( $b^* = -6.50$ ) 나타났다. K/S값이 가장 높은 것은 염색온도가 20℃ ( $K/S = 3.62$ )인 경우였으며, 40℃ 염색온도( $K/S = 3.34$ )는 이와 근소한 차이를 보였다. 가장 푸른 색상을 나타낸 것은 10℃로 염색한 면직물로서 색상값이 7.82B였다. 즉, 염착량으로 보았을 때는 20℃ 염색이, 색상면으로는 10℃ 염색이 가장 효과적이었으며, 온도가 높아짐에 따라 K/S값의 감소와 더불어 색상값이 점차 감소하는 경향을 보였다. 위와 같은 결과로 볼 때 시중에서 구입할 수 있는 생족 분말을 염색에 사용할 경우에는 환원법을 사용해야만 쪽빛 염색이 가능함을 알 수 있고, 가장 효과적인 염색온도는 20℃이지만 40℃ 염색으로도 유사한 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

한편, Shin et al.(2009a)은 생즙 혹은 생잎을 동결건조하여 분말을 만든 후 하이드로셀파이트와 수산화나트륨을 사용해 환원법으로 견직물을 염색하였는데, 이 때 생즙 분말은 2.3GY의 색상을, 생잎 분말은 낮은 B계열(0.9B~1.5B) 색상을 나타내었다고 보고하였다. 같은 연구에서 동일한 분말로 견직물을 비환원법으로 염색했을 때에는 모두 진한 B계열의 색상이 나타난 점은 특이한 결과이며, 본 연구와 반대의 결과이다. 후속연구에서 Shin et al.(2009b)은 동결건조 대신 생잎을 열풍 및 상온건조하여 분말을 만든 후 견직물을 환원법과 비환원법을 이용해 염색한 결과, 환원 염색으로는 B계열의 색상으로, 비환원 저온염색으로는 BG계열의 색상으로 염색되었다고 보고하였다. 두 연구를 통해 Shin et al.

<Table 3> Results of reduced dyeing of raw indigo powder dye on cotton fabric: Different dyeing temperatures

Dyeing temperature(℃)	K/S	L*	a*	b*	H	V	C
2	0.78	72.46	-10.32	-6.50	5.27BG	7.08	2.77
10	3.19	51.96	-5.23	-18.67	7.82B	5.03	4.03
20	3.62	50.43	-5.55	-18.49	7.53B	4.89	4.00
40	3.34	51.52	-5.85	-17.75	7.09B	4.99	3.89
60	2.42	55.91	-6.14	-16.27	6.22B	5.42	3.66
80	2.38	56.42	-6.59	-16.37	5.96B	5.47	3.72

(2009b)은 진한 쪽빛을 내는 데 있어서 동결건조한 분말은 비환원법이 적합하고, 열풍건조 혹은 상온건조한 분말은 환원법이 적합하다고 보고하였다.

그러나 판매자 정보에 의하면, 본 연구에서 사용한 생쪽 분말은 쪽잎을 동결건조한 것으로 알려져 있어(Table 1), Shin et al.(2009b)의 주장과 다르다는 것을 알 수 있다. 본 실험에 사용된 제품 B는 물론, 제품 C와 E 모두 쪽잎을 동결건조하여 분말화한 것들로 알려져 있으며, 제품 A는 10시간 햇빛에서 건조한 후 분말화한 것, 제품 D는 분말제조 방법에 대한 정보가 없었다. 본 연구와 Shin et al.(2009b)이 서로 다른 결과를 얻은 원인은 원료 쪽잎의 신선도 차이에 일차적인 가능성을 둘 수 있으며, 그 밖에 실험실과 산업현장의 동결건조 방법의 차이, 염색 방법의 차이, 판매자 정보가 부정확할 가능성 등을 고려할 수 있다. 이것은 시판 생쪽 분말에 적합한 염색방법을 찾는 데 있어서 핵심적인 문제로써 생쪽 분말을 염료로서 널리 보급하기 위해서는 분말제조 방법과 쪽잎 신선도 등에 따른 환원/비환원 염법의 효과를 다룬 추가적인 연구가 시급히 이루어져야 하겠다. 환원법에 의한 본 실험의 결과를 다시 확인하기 위하여 제품 B를 포함, <Table 1>에

제시된 5종 시판 생쪽 분말을 이용해 환원법으로 면직물을 염색해 본 결과, 모두 진한 B계열 색상으로 염색되는 것을 다시 한 번 확인하였다(Table 4).

생쪽 분말 상에 인디고틴이 인독실 상태로 존재한다면 생즙 염색처럼 환원과정 없이 염색이 가능할 것이지만, 생쪽 분말은 잎을 분말화하는 과정 및 보관과정에서 산소와 결합되므로 인독실이 인디고틴으로 이미 산화된 상태이다. 이는 발효쪽 분말의 경우, 이미 인독실이 인디고틴으로 산화된 상태인 것과 유사할 것으로 추측된다. 따라서 생쪽 분말을 사용해 염색할 때에는 발효된 쪽을 이용하는 것과 같이 환원법을 사용해야만 염착력 있는 쪽 염색이 가능해지는 것으로 판단된다.

## 2) Reduced dyeing using different concentrations of reducing agent and alkali

환원법의 효과가 하이드로설파이트와 탄산나트륨의 양에 따라 달라지는지의 여부를 확인하기 위해 제품 B를 이용해 추가적인 염색을 시행하였다. 염색온도를 20℃로 하고, 하이드로설파이트의 농도를 3g/L, 6g/L, 12g/L, 15g/L로 달리하여 면직물을 염색한 결과는 <Table 5>와 같으며, 이 때 탄산나트

<Table 4> Munsell color values of the cotton fabric dyed with 5 commercial raw indigo powders using the reduced dyeing method

Product label of raw indigo powder dyes	Drying method provided by vendors	H	V	C
A	Dried under the sun	4.63B	6.73	2.98
B	Freeze drying	1.46B	7.26	2.44
C	Freeze drying	2.99B	6.92	2.71
D	No information	6.58B	7.28	2.29
E	Freeze drying	8.91B	7.51	2.06

<Table 5> Results of reduced dyeing of raw indigo powder dye on cotton fabric: Different sodium hydrosulfite concentrations

Sodium hydrosulfite concentration (g/L)	K/S	L*	a*	b*	H	V	C
3	3.18	51.10	-4.95	-17.21	7.46B	4.95	3.69
6	3.69	49.32	-5.53	-17.12	7.05B	4.78	3.71
12	3.13	51.74	-5.91	-15.78	6.16B	5.01	3.50
15	2.49	54.45	-4.99	-16.81	7.26B	5.28	3.64

륨은 3g/L로 고정하였다. 염색 결과, 하이드로실파이트 농도 15g/L가 가장 낮은 K/S값(2.49)을 나타내었으며, 6g/L가 가장 높은 K/S값(3.69)을 나타내었으나 3g/L~12g/L 상간에는 염착량에 괄목할만한 차이가 없었다.

염색온도를 20℃로 하고 탄산나트륨의 농도를 3g/L, 6g/L, 12g/L, 15g/L로 달리하여 면직물을 염색한 결과는 <Table 6>과 같으며, 이 때 하이드로실파이트는 6g/L로 고정하였다. 탄산나트륨 농도를 3g/L, 6g/L, 12g/L, 15g/L로 한 염액의 pH는 각각 9.14, 9.35, 10.57, 10.64로 측정되었다. 실험결과, K/S값은 탄산나트륨의 농도가 증가할수록 점차 증가하여 농도 15g/L에서 최대 염착량(K/S=4.58)을 나타내었으며, L\*값 또한 점차 낮아져 점차 짙은 색으로 염색되는 것을 확인할 수 있었다. 모든 농도조건에서 색상은 모두 B계열이었으며, 15g/L의 탄산나트륨 농도로 염색한 면직물이 B값(7.79B)이 가장

크고, b\*의 음의 값(b\*=-17.93) 또한 가장 크게 나타났다. 본 연구의 결과, 생족 분말로 염색한 면직물의 색상은 염액의 pH에 따라 영향을 받는다는 것을 알 수 있었으며, 염액의 알칼리성이 강할 때 더 푸른색으로 염색되는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 정해진 탄산나트륨의 농도에 의거하여 pH 9.14에서 pH 10.64의 범위까지 염색효과를 조사한 바, 더 넓은 pH 범위에 따라 생족 분말의 환원염색 결과가 어떻게 나타나는지에 대한 후속연구가 필요한 것으로 사료된다.

#### 4. Color difference after repeated laundering and sunlight exposure

##### 1) Color difference of reduce-dyed samples after repeated laundering

환원법으로 염색한 면직물의 반복세탁에 따른

<Table 6> Results of reduced dyeing of raw indigo powder dye on cotton fabric: Different alkali concentrations

Alkali concentration (g/L)	K/S	L*	a*	b*	H	V	C
3	3.12	53.07	-6.53	-17.07	6.36B	5.14	3.84
6	3.32	48.96	-5.99	-17.49	6.89B	4.74	3.83
12	4.13	47.52	-5.35	-17.22	7.18B	4.60	3.70
15	4.58	45.87	-4.86	-17.93	7.79B	4.44	3.79

<Table 7> Change of K/S values and color values after repeated washing: Cotton fabric reduce-dyed with raw indigo powder dye

Washing repeats	K/S	L*	a*	b*	H	V	C	$\Delta E_n$	$\Delta E_n - \Delta E_{n-1}$
0	3.20	49.96	-5.65	-13.43	4.99B	4.84	3.00		
1	3.01	51.45	-5.10	-15.10	6.34B	4.98	3.29	2.30	2.30
2	2.38	52.85	-4.59	-17.16	7.69B	5.12	3.66	4.83	2.53
3	2.65	54.16	-4.32	-17.31	7.94B	5.25	3.69	5.87	1.04
4	2.80	53.67	-4.04	-18.46	8.46B	5.20	3.92	6.45	0.58
5	2.67	54.15	-4.28	-17.71	8.12B	5.25	3.78	6.14	-0.31
6	2.16	55.83	-4.12	-17.59	8.19B	5.41	3.76	7.35	1.21
7	2.46	55.55	-4.05	-18.34	8.51B	5.39	3.92	7.61	0.26
8	2.35	56.27	-3.94	-18.60	8.66B	5.46	3.97	8.33	0.72
9	2.28	56.41	-4.01	-18.04	8.43B	5.47	3.86	8.09	0.24
10	2.32	56.44	-3.81	-18.73	8.80B	5.47	4.00	8.57	0.48



염착량 및 색상 변화를 관찰하기 위해 세탁횟수를 10회로 하고, 매 세탁 후 분광측색계로 측색한 결과는 <Table 7>과 같다. 실험 결과, 세탁 전 시료의 K/S값이 3.20이었는데 반해, 10회 세탁 후 시료는 K/S값이 2.32로 염착량이 약 27.5% 감소한 것을 확인하였다. 10회 세탁 횟수 중 색차가 가장 많이 발생한 시기는 1회와 2회 세탁 후로서, 1회 세탁한 시료는 미세탁 시료에 비해  $\Delta E$ 가 2.30 발생했으며, 2회 세탁한 시료는 1회 세탁한 시료와 비교해  $\Delta E$ 가 2.53으로서 1, 2회 세탁 후 색차의 합은 10회 세탁 후 총 색차의 50% 이상에 달하였다. 반복세탁 후에도 색상은 모두 B계열이었는데, 세탁횟수가 증가함에 따라 B값이 높아져 차츰 PB계열로 근접해 가는 경향을 것을 볼 수 있었으며, 이는  $b^*$ 값의 변화로도 확인되었다.

색상계열의 B값이 증가한 것과 더불어 또 하나의 흥미로운 점은 세탁횟수가 반복됨에 따라 시료의 채도가 점차 높아진 점이다. 즉, 세탁횟수가 증가함에 따라 염착량은 낮아졌으나, 색상은 더 선명한 B에서 PB계열로 변화였다. 생쪽 분말에 쪽의 주 색소인 인디고틴과 인디루빈 외에 엽록소와 같은 녹색 색소가 들어 있을 것을 감안한다면 반복세탁이 녹색 색소를 탈락시켰을 가능성을 생각할 수 있다. 이와 같은 가능성은 생쪽 분말에 함유된 색소의 성분 분석과 각 성분의 함유량 조사를 통해 면밀히 검토되어야 할 것으로 사료된다.

## 2) Color difference of reduce-dyed samples after sunlight exposure

환원법으로 염색한 면직물의 일광조사 시간에 따른 염착량 및 색상 변화를 관찰하기 위해 일광견뢰도 시험기에서 40시간까지 일광을 조사하고 매 5시간마다 분광측색계로 측색한 결과는 <Table 8>과 같다. 실험 결과, 일광 조사시간이 증가함에 따라 K/S값이 감소하는 것을 확인하였는데, 일광 조사를 하지 않은 시료의 K/S값이 3.35인데 반해, 40시간 일광조사 후 시료의 K/S값은 1.87로 40시간 일광조사 후 염착량이 약 44% 감소한 것을 알 수 있다. 색의 변화가 가장 많이 나타난 시기는 처음 5시간 조사 후로서, 이때의  $\Delta E$  값은 2.72로서 40시간 조사 후 총 색차의 약 30%를 나타낸다. 따라서 색의 변화가 가장 많이 나타난 시기는 일광조사를 시작하고 처음 몇 시간 동안이었음을 확인하였으며, 그 이후에도 지속적으로 색의 변화가 일어나는 것을 관찰하였다. 반복세탁에 따른 색상변화의 경향이 PB계열 쪽으로 관찰되었던 것과는 반대로 일광조사에 의한 색상의 변화는 B값이 점차 낮아지며, GB계열 쪽으로 관찰되었다. 이와 같은 결과를 볼 때, 반복세탁에 의해서는 생쪽 분말에 함유된 색소 중 녹색 색소가 탈락할 가능성이 더 크고, 일광조사에 의해서는 생쪽 분말에 함유된 색소 중 푸른 색소, 즉 인디고틴이 탈락할 가능성이 더 클 것으로 추측이 가능하다. 이와 같은 가능성은 생쪽 분

<Table 8> Change of K/S and color values after irradiation in the Weather-O-Meter: Cotton fabric reduce-dyed with raw indigo powder dye

Irradiation time	K/S	L*	a*	b*	H	V	C	$\Delta E_n$	$\Delta E_n - \Delta E_{n-1}$
0	3.35	49.02	-5.73	-14.49	5.63B	4.75	3.21		
5	2.71	52.92	-5.88	-14.19	5.25B	5.13	3.19	1.35	2.71
10	2.46	54.28	-5.69	-14.20	5.37B	5.26	3.17	4.06	0.82
15	2.32	54.97	-5.75	-13.53	4.87B	5.33	3.05	4.88	0.82
20	2.25	55.34	-5.87	-13.06	4.45B	5.36	2.97	6.22	1.34
25	2.26	55.44	-5.82	-13.56	4.83B	5.38	3.06	5.06	-1.16
30	2.30	55.12	-5.89	-13.02	4.40B	5.34	2.97	5.88	0.82
35	1.99	56.91	-5.72	-12.35	4.01B	5.52	2.82	7.89	2.01
40	1.87	57.65	-5.65	-11.97	3.76B	5.59	2.74	8.99	1.10

말에 함유된 색소의 성분 분석은 물론 염색한 직물을 반복세탁 혹은 일광조사한 후, 직물에 남아있는 색소의 성분을 분석하는 방식으로 면밀히 검토되어야 할 것으로 사료된다.

### 5. Results of colorfastness tests

염색견뢰도는 한국의류시험연구원(KATRI)에 의뢰하였으며, 환원법으로 염색한 면직물과 비환원법 시료 중 20℃와 80℃로 염색한 면직물에 실시하였다. 환원법 염색시료의 경우 세탁, 땀, 마찰에 대한 견뢰도가 4~5등급으로서 대체로 우수한 것으로 판정되었다(Table 9). 환원법 염색시료의 일광견뢰도 등급은 3등급으로서 KS K ISO 105-B02:2010 시험에 따라 10시간에서 20시간 이내에 퇴색이 일어나는 것으로 판명되었으며, 이는 일광 조사시간에 따른 색의 변화 실험과 같은 결과를 나타낸다.

비환원법 시료의 경우, 땀견뢰도와 마찰견뢰도는 4~5등급으로 판정되었으나, 세탁견뢰도의 변퇴색 등급은 20℃ 시료와 80℃ 시료가 모두 2등급으로 매우 낮은 등급으로 판정되었다. 세탁견뢰도의 오염 등급은 면과 모에 대해 모두 4~5등급으로 환원법으로 염색한 시료와 동일한 등급을 보였는데, 이는 20℃와 80℃로 염색한 시료의 염착량이 거의 없어, 세탁과정에서 인접 섬유에 오염될 염료 잔량이 거

의 없기 때문인 것으로 해석된다. 비환원법 20℃와 80℃로 염색한 시료의 일광견뢰도는 각각 3급과 2급으로서 KS K ISO 105-B02:2010 시험에 따라 전자는 10시간에서 20시간 이내, 후자는 5시간에서 10시간 이내에 퇴색이 일어나는 것으로 판명되었다. 염색견뢰도 측정결과를 미루어 볼 때 비환원법으로 생족 분말을 염색할 경우, 세탁에 의한 변퇴색이 크게 발생할 것이며, 연두색을 발현하는 저온 염색이 고온염색보다 일광에 대한 변퇴색이 덜 할 것으로 판단된다.

## IV. Conclusion

본 연구는 현재 국내에서 시판되고 있는 생족 분말에 대해 비환원법과 환원법을 이용한 염색방법에 초점을 맞추어 분말제품에 적합한 염색방법을 찾는데 그 목적을 두었으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 시판 생족 분말을 이용해 면직물에 진한 쪽빛 염색을 하기 위해서는 환원법을 사용해야 하며, 알칼리의 양을 증가함으로써 더 푸른색으로 염색할 수 있음을 확인하였다.
2. 비환원법으로는 시판 생족 분말을 이용해 면직물에 쪽빛 염색을 할 수 없으며, 냉온 혹은 저온

<Table 9> Colorfastness of reduce-dyed and non-reduce-dyed cotton samples

Test		Dyeing method	Reduced dyeing	Non-reduced dyeing	
				20℃	80℃
Colorfastness to washing		Color change	4~5	2	2
		Stain(cotton)	4~5	4~5	4~5
		Stain(wool)	4~5	4~5	4~5
Colorfastness to perspiration	Acid	Color change	4~5	4~5	4~5
		Stain(cotton)	4	4~5	4~5
		Stain(wool)	4	4~5	4~5
	Alkali	Color change	4~5	4~5	4~5
		Stain(cotton)	4	4~5	4~5
		Stain(wool)	3~4	4~5	4~5
Colorfastness to abrasion		Dry	4~5	4~5	4~5
		Wet	4	4~5	4~5
Colorfastness to sunlight			3	3	2

염색을 이용하여도 결과는 다르지 않았다는 것을 확인하였다.

3. 환원법을 사용해 생쪽 분말로 면직물을 염색할 경우, 가장 효과적인 염색온도는 20℃이지만, 40℃ 염색으로도 유사한 효과를 볼 수 있었다.

4. 환원법으로 염색한 면직물은 반복세탁과 일광조사에 의해 점차 물이 빠지고 색이 변하였는데, 특히 1, 2회 세탁과 처음 5시간 일광조사에 의해 변화가 가장 많이 발생하였다.

5. 환원법으로 염색한 면직물은 반복세탁과 일광조사 후에도 푸른색을 유지하였지만, 세탁에 의해서는 PB계열에 가깝게, 일광에 의해서는 GB계열에 가깝게 색상이 변화하였다.

6. 환원법으로 염색한 면직물은 염색견뢰도가 대체로 우수하였으며, 비환원법으로 염색한 면직물은 염색견뢰도가 매우 낮았다.

본 연구의 결과, 판매처에서 추천하고 있는 저온 비환원 염색법은 시판 생쪽 분말을 이용한 면직물의 쪽빛 염색에 적합하지 않으므로, 시판 생쪽 분말이 쪽염료로서 효과적으로 활용되기 위해서는 환원법을 이용한 염색방법의 홍보와 교육이 필요하다고 사료된다. 본 연구에서 가장 좋은 환원염색 온도로 확인된 20℃는 온도조절과 유지가 까다롭고, 계절의 영향을 많이 받는 반면, 40℃는 온도조절과 유지가 비교적 용이하고, 염색효과도 20℃와 크게 다르지 않다. 따라서 시판 생쪽 분말의 염색은 환원법을 이용하여 40℃로 염색하는 것을 추천할 수 있으며, 알갈리의 양을 가감하여 색의 진한 정도를 조절하는 것을 선택사항으로 제시할 수 있다. 생쪽 분말로 쪽빛 염색을 하는데 있어서 본 연구와 선행연구 간에 상이한 결과가 도출되었는데, 이 문제를 명확하게 해결하기 위해서는 분말제조 방법과 원료 쪽잎의 신선도 등에 따른 환원/비환원 염법의 효과를 다룬 추가적인 연구가 시급히 이루어져야 하겠다.

## References

- Chanayath, N., Lhieochaiphant, S., & Phutrakul, S. (2002). Pigment extraction techniques from the leaves of *Indigofera tinctoria* Linn. and *Baphi-*
- cacanthus cusia* Brem. and chemical struture analysis of their major components. *CMU Journal*, 1(2), 149-160.
- Choi, Y. J.(2005). Color matching of fabrics by natural dyeing using fresh indigo and yellow natural material. *Journal of Human Ecology*, 9(2), 243-253.
- Chung, I. M.(2000). Dyeing of silk by the use of fresh leaves of indigo plant. *Korean Journal of Sericulture Science*, 42(1), 36-41.
- Chung, I. M., & Woo, S. O.(2002). Effect of reducing agent, sodium hydrosulfite on the natural indigo dyeing of silk fabric. *Korean Journal of Sericulture Science*, 44(2), 93-98.
- Chung, I. M., Kim, H. B., Sung, G. B., Kim, Y. D., & Hong, I. P.(2005). Traditional dyeing of natural indigo on the silk fabrics. *Korean Journal of Sericulture Science*, 47(1), 31-35.
- Chung, I. M., Nam, S. W., & Kim, I. H.(1998). A study on the silk dyeing with natural indigo extracted from *Polygonum tinctorium*- On the fermentation dyeing. *Korean Journal of Sericulture Science*, 40(1), 78-85.
- Eyzaguirre, J., Hidalgo, M., & Leschot, A.(2005).  $\beta$ -Glucosidases from filamentous fungi: Properties, structure, and applications. In Kevin J. Yarema (Ed.), *Handbook of carbohydrate engineering*, pp. 645-685. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Han, S. Y.(1998). A study on the physiological effects and dyeing properties of the extract of fermented indigo. Unpublished master's thesis, Pusan National University, Busan, Korea.
- Ju, J. A., & Ryu, H. S.(2004). Dyeing on cellulose fibers by the solution extracted from natural fresh leaves of indigo plant. *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, 16(5), 19-27.
- Kang, J. Y., & Ryu, H. S.(2001). Natural indigo dyeing on wool fibers(1). *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, 13(4), 15-22.
- Kim, A. S.(1995). The study on the dyeing properties of natural dyes(II)-Dyeing properties of cotton

- and silk fabrics by color solution extracted from leaf dyeing of indigo plant-. *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, 7(4), 16-24.
- Kim, M. K.(2010). A study on the dyeing conditions and properties of cotton fabric dyed with natural *Polygonum tinctorium*. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Ko, J. E.(1998). A study of Korean traditional dyeing method for practicality of traditional colors. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Kun Lestari, W. F.(1998). Dyeing process with natural indigo: The tradition and technology. *Revival Natural indigo dye*. 20-29.
- Laitonjam, W. S., & Wangkheirakpam, S. D.(2011). Comparative study of the major components of the indigo dye obtained from *Strobilanthes flaccidifolius* Nees. and *Indigofera tinctoria* Linn. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3(7), 108-116.
- Minami, Y., Kanafuji, T., & Miura, K.(1996). Purification and characterization of a  $\beta$ -glucosidase from *Polygonum tinctorium*, which catalyzes preferentially the hydrolysis of indican. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 60, 147-149.
- Minami, Y., Nishimura, O., Hara-Nishimura, I., Nishimura, M., & Hiroshi, M.(2000). Tissue and intracellular localization of indican and the purification and characterization of indican synthase from indigo plants. *Plant and Cell Physiology*, 41(2), 218-225.
- Oh, J., & Ahn, C.(2011). Study on the current status and dyeing characteristics of natural indigo powder dye. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 35(7), 736-747.
- Shin, M. S.(2004). The study of natural dyeing by indigo plant produced in Sangju city. Unpublished master's thesis, Sangju University, Sangju, Korea.
- Shin, Y., Cho, A., & Yoo, D. I.(2009). Natural indigo dyeing by using glucose reduction. *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, 21(3), 10-18.
- Shin, Y., Cho, A., & Yoo, D. I.(2010). Natural indigo dyeing of cotton fabric- One-step reduction/dyeing process-. *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, 22(2), 101-109.
- Shin, Y., Son, K., & Yoo, D. I.(2009a). Dyeing properties and storage stability of leaf powder prepared from dyer's knotweed (I)-by freeze drying method-. *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, 21(1), 10-20.
- Shin, Y., Son, K., & Yoo, D. I.(2009b). Dyeing properties and storage stability of leaf powder prepared from dyer's knotweed(II)- by hot air and room temperature drying methods-. *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, 21(4), 23-32.
- Song, S. W.(2008). A study on the production of indigo dye and its dyeing method. Unpublished master's thesis, Shilla University, Busan, Korea.
- Song, S. W., & Cho, K. R.(2008). Dyeing properties of cotton fabrics dyed with extract from dry leaf of indigo plant. *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, 20(3), 18-24.
- Woo, H. R.(2010). Physical specifications and functionality regarding fabrics natural indigo dyeing on hanji fabrics. Unpublished doctoral dissertation, Kunkuk University, Seoul, Korea.
- Yoo, H. J.(2007). Dyeing protein fiber to green color using natural mugwort and indigo. *Journal of the Korean Home Economics Association*, 45(4), 53-59.