

[Original Article]

Dyeing and antimicrobial properties of N-containing man-made fibers non-mordanted in dyeing with gallnut

Ye Hong Kim, Jeong Seon Sang and Myung-Ja Park[†]

Dept. of Clothing and Textiles, Hanyang University, Korea

질소성분 함유 인조섬유에 대한 천연염료 오배자의 무매염 염색성 및 항균성

김예홍 · 상정선 · 박명자[†]

한양대학교 의류학과

Abstract

This study measured dyeing properties under different dyeing conditions and levels of antimicrobial activity when man-made fibers are dyed with gallnut, including rayon, tencel, tencel blended fabric, soybean fiber, and nylon non-mordanted. The dye up-take (K/S), color ($L^*a^*b^*$), and color differences (ΔE) were measured with a colorimeter, and the number of bacteria present in the dyed fabrics were determined using *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumonia* as strains. The results are as follows: First, the optimal dyeing conditions for man-made fibers dyed with gallnut are 60 minutes of dyeing time and a 80°C dyeing temperature. Second, gallnut dye is most effective on soybean fiber and then, in descending order of effectiveness, on nylon, rayon, tencel, and tencel blended fabric. This means that dyeing properties of nitrogen containing fibers are excellent when using gallnut. Third, all man-made fibers are dyed brown with gallnut. This implies dyeing possibility of man-made fibers about gallnut dye, so development and supply of natural dyed goods of man-made fibers can be increased. Fourth, in all man-made fibers dyed with gallnut extract, both *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumonia* show 99.9% reduction ratios of fungistasis, which indicate antimicrobial activity. Therefore, safe, functional, man-made materials can be developed to relieve symptoms from and treat patients with skin ailments.

Received August 03, 2017

Revised September 08, 2017

Accepted September 11, 2017

[†]Corresponding author

(mjapark@hanyang.ac.kr)

ORCID

Ye Hong Kim

<http://orcid.org/0000-0003-2859-5256>

Jeong Seon Sang

<http://orcid.org/0000-0002-3382-161X>

Myung-Ja Park

<http://orcid.org/0000-0001-8816-0049>

This paper is a part of a
master's thesis.

Keywords: natural dyeing(천연염색), dye up-take(염착량), color difference(색차), antimicrobial activity(항균성), gallnut(오배자)

I. Introduction

환경과 건강에 대한 관심의 증가와 현대인에게 아토피 등과 같은 피부질환자의 증가로 인해 인체친화성에 대한 관심이 높아지고, 건강을 중심으로 한 기능성 소재의 활용범위가 확대되면서, 섬유영역에 있어서도 친환경적 제품군에 대한 소비자의 요구가 증대되고 있으며, 이에 따라 전통적인 천연염색에 대한 관심이 높아지고 있다.

또한 섬유 관련 분야에서는 천연섬유에 비하여 인조섬유의 사용량이 증가되고, 의의류뿐만 아니라 내의류에도 인조섬유가 많이 사용됨에 따라 피부 자극이나 독성과 같은 장애가 거의 없고 항균 등 여러 가지 생리적 기능을 지닌 천연물의 활용이 활발해지고 있다. 이때 천연염료는 종류에 따라서는 항균, 소취 등의 생리적 기능과 항염 등의 약리 작용을 나타내는 것으로 알려져 있다(Hong, Jeon, Kim, & Jeon, 2005; Hwang, 2009; Oh, Park, & Park, 2005; Park & Yoon, 2009). 그런데 대부분의 천연염료는 염색성과 염색견뢰도가 낮아서 금속매염제를 사용하여 염색성과 항균성을 향상시키고자 하는데, 이 때 항균성을 부여하기 위해 사용해진 금속매염제 중에서 중금속 성분에 의한 환경오염과 인체유해성을 우려하였다(Shin & Chung, 2013).

인조섬유 중에 레이온과 라이오셀과 같은 재생 셀룰로오스 섬유는 천연 셀룰로오스인 면, 마섬유와 동일한 화학적 조성을 가지고 있으며, 대두 섬유와 같은 재생단백질 섬유는 천연단백질 섬유인 양모와 견 섬유 등과 같은 화학적 조성을 지니고 있어서, 섬유의 화학적 성질인 흡습성이나 염색성이 유사한 것으로 알려져 있다(Kim, 2009). 또한 합성섬유인 나일론 섬유는 산성염료에 염색되며, 대부분의 천연염료들이 산성염료의 구조를 가지고 있으므로, 천연염료에 대한 염색성을 기대할 수 있다. 전통적으로 천연염료는 주로 천연섬유에 염색되어 왔으나, 최근 인조섬유에 염색하는 연구가 시도되었다. 인조섬유에 대한 천연염색성에 관한 선행연구로는 대두섬유, 대두/면 혼방 섬유, 나일론섬유, 스판덱스/나일론 혼방섬유 등 질소 함유 섬유에 헤나염색성 및 항균성에 관한 연구(Oh et al., 2005)가 있으며, 나일론과 대두섬유에 솔잎 추출물의 염색성 및 기능성을 분석한 연구(Jeon & Park, 2013; Joen & Park, 2009, 2010) 결과를 통하여 인조섬유의 천연염색성이 매우 우수한 염색성과 기능성이 있음을 보였다. 따라서 오배자 염료의 경우에도 인조섬유의 염색 가능성을 예상할 수 있다.

오배자를 이용한 염색성에 관한 연구는 오배자의 염색성에 관한 연구(Chu, 1998)와 오배자에 의한 회색계열 염색에 관한 연구(Shin, Kim, & Cho, 2005) 등이 있으며, 면, 마, 견과 같은 천연섬유와의 염색성을 고찰한 것이 대부분이다. 오배자 염료에 대한 기

능성에 관한 선행연구를 보면, 오배자 추출물로 염색했을 때 염색되었을 뿐만 아니라, 항균성도 있고, 그 세탁견뢰도도 4~5급으로 우수하였음을 알 수 있다(Hong et al., 2005, Hwang, 2009; Park, 2008). 그러나 모두 천연섬유를 이용하였으며, 최근에 많이 사용되는 인조섬유에 대한 염색성 및 기능성 관련 연구는 미흡함을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 선행연구를 통하여 천연염료 중에서 매염제를 쓰지 않고도 염색물이 항균성을 보이며, 세탁견뢰도가 우수한 오배자를 선택하여 실험의 재료로 선택하여 질소성분이 함유된 인조섬유에 대한 염색성과 항균성을 알아보려고 하였다. 친환경 천연염료 재료의 이용에 의한 무매염 염색 시 발생하는 환경오염을 감소시키고자 하며, 오배자의 인조섬유 종류별 최적 염색조건을 분석하고, 오배자의 염색 특성과 항균성을 측정하여, 오배자로 천연염색된 인조섬유를 실생활에 사용가능 여부를 평가하고, 활성화하는데 도움을 주고자 한다.

II. Experiment

1. Materials

1) Test fabrics

본 실험에 사용한 시료 직물의 원료인 인조섬유(합성섬유와 재생섬유)는 총 5종류로서, 의류시험검사소에서 구입한 시험용표준백포 100% Nylon, 100% Rayon 섬유와, 신진텍스에서 제공한 100% Tencel과 60/40% Tencel/Modal 혼방을 이용하였으며, 미두에서 제공한 100% 대두섬유를 사용하였다.

대두섬유는 실 상태로 구매하였으므로, 염색을 쉽게 하기 위하여 횡편직기를 이용하여 14게이지로 편직하여 사용하였으며, 염색을 진행하기 전에 먼저 정련표백을 하여 실시하였다. 염색 중에는 자연환경 보존과 인체피해를 고려하여 중금속으로 이루어진 매염제는 사용하지 않았다. 각종 인조섬유로 구성된 시료 직물의 특성은 <Table 1>과 같다.

2) Natural dyes

염재는 인터넷상에서 구입한 중국산 건조 오배자를 수세하여 사용하였다.

<Table 1> Characteristics of the test fabrics

Fiber classification	Fiber	Fiber content (%)	Fabric construction	Density (warp×weft/5cm) or gauge (G)	Weight (g/m ²)
Synthetic	Nylon	100	Plain woven	68×68	56
Regenerated cellulose	Rayon	100	Plain woven	45×56	75
	Tencel	100	Plain woven	96×80	130
	Tencel+modal	60+40	Plain woven	115×71	115
Regenerated protein	Soybean	100	Plain knitted	14G	140

2. Experimental methods

1) Dye extraction

염료의 추출을 위해, 오배자 100g에 증류수 1L를 사용하여 95℃ 이상에서 1시간 동안 일정한 온도와 시간에서 추출하였다. 이때 염액의 전체량은 증발 등을 고려하여 끓이는 중간에 물을 보충하여 최종 액비가 50:1이 되도록 유지하였다.

2) Dyeing method

추출한 염액을 욕비 50:1로 하여, 염색온도별로 40℃, 60℃, 80℃, 100℃에서, 또한 염색시간별로 30, 45, 60, 90분간 5종류의 인조섬유 시료를 각각 염색하였다. 이때 염액의 전체량은 증발 등을 고려하여 끓이는 중간에 물을 보충하여 최종 액비가 50:1이 되도록 유지하였다.

3) Dye up-take measurement

염색된 시료의 염착량을 측정하기 위해 Color-Eye (Mcbeth 3000)을 사용하였으며, 겉보기 염착량은 최대 흡수파장에서 표면 반사율을 측정하여 K/S값을 산출하고, 피염물의 염착량(표면염색농도)으로 평가하였다.

4) Color and color difference measurement

염색된 시료의 색을 측정하기 위하여 Color-Eye (Macbeth 3000) 이용하여 L*, a*, b* 값과 색차(ΔE)를 측정하였다.

5) Antimicrobial activity determination

직물을 오배자 추출물 50.0% o.w.f를 사용하여 욕비 50 : 1 조건으로 시간별 온도별에 따라 염색한 후

수세하였다. 오배자 추출물로 염색한 직물의 항균성을 알아보기 위해 KS K 0693(Korean Agency for Technology and Standards, 2011)법에 의거하여 항균성을 시험하였다. 이때 사용한 균주는 공시균인 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*)과 폐렴균(*Klebsiella pneumoniae*) 두 균주에 의해 실험을 실시하였고 실험에 의해 정균 감소율(%)은 항균처리가 되지 않은 대조편의 시료에 18시간이 지난 후의 생균수와 처리 시험편의 18시간 후의 생균수의 상대적 감소율은 다음의 식과 같은 측정법으로 구하였다. 접종균의 농도는 황색포도상구균의 경우 1.9×10^4 으로 하였고, 폐렴균은 2.1×10^4 으로 하였다.

$$\text{Bacteriostatic ratio(\%)} = (\text{Mb} - \text{Mc}) / \text{Mc} \times 100$$

Mb = The number of bacteria recovered from the inoculated control specimen incubated for 18 hours

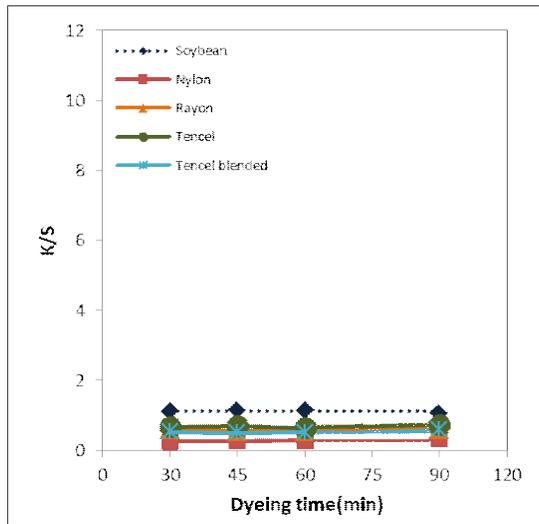
Mc = The number of bacteria recovered from the inoculated treated test specimen incubated for 18hours

III. Results and Discussion

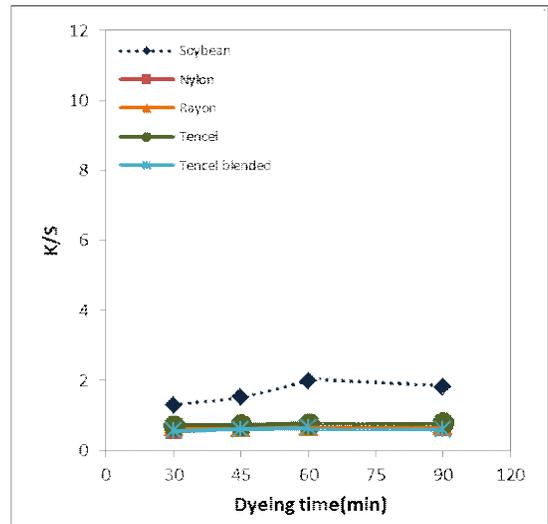
1. Dye up-take on man-made fibers dyed with gallnut by dyeing conditions

1) Dyeing time

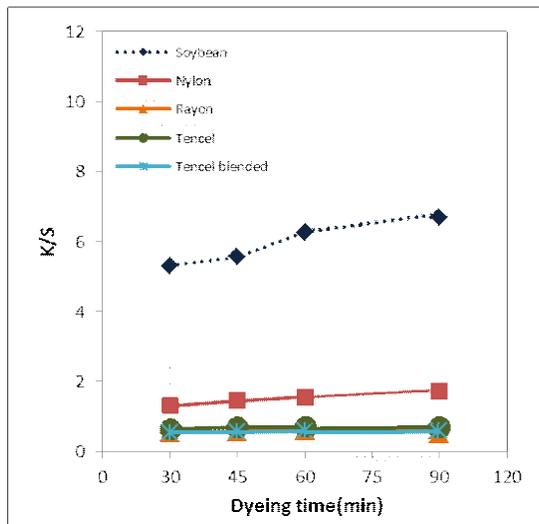
오배자 증류수 추출물로 염색시간에 따른 염색효과를 실험한 직물의 염착량 (K/S)값은 (Fig. 1)과 같다. 오배자 추출물로 염색한 모든 직물에 대하여 염



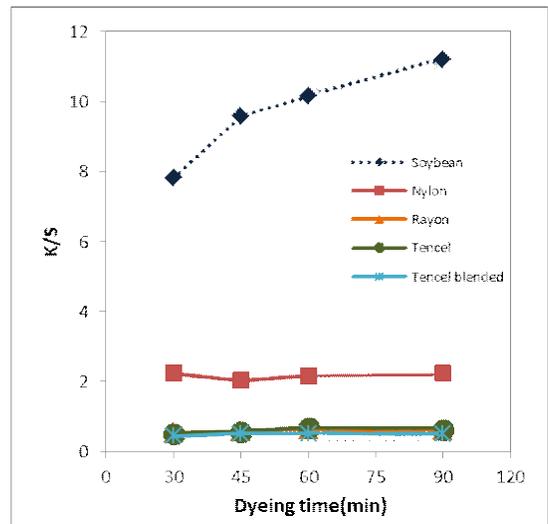
(a) Dyeing temp. 40°C



(b) Dyeing temp. 60°C



(c) Dyeing temp. 80°C



(d) Dyeing temp. 100°C

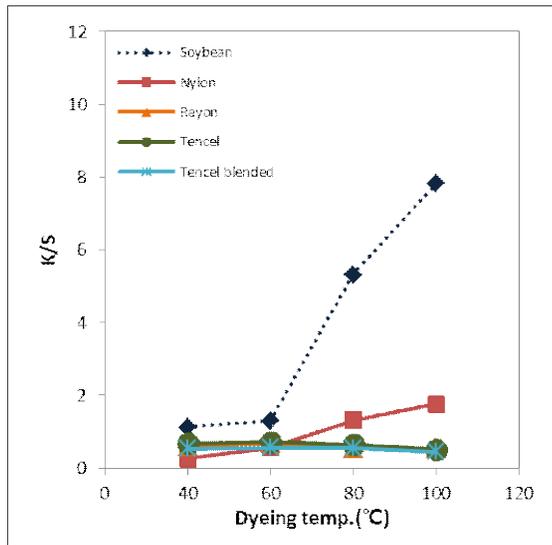
<Fig. 1> Dyeing property of man-made fibers dyed with gallnut by dyeing time

색시간이 경과함에 따라 염착량은 모두 증가하였는데, 이 결과는 일반적으로 염색 시간이 경과하면 염착량이 증가한다는 일반론과 일치하는 것을 알 수 있다 (Joen & Park, 2009; Oh et al., 2005). 그러나 레이온, 텐셀, 텐셀혼방, 나일론 섬유는 경우 시간에 따라 염착량 증가가 미미한데 반해, 대두섬유의 경우에는 고온에서 염색시간에 따라 급격한 증가를 보였으며, 특히 염색시간 60분까지 염착량이 현저하게 증가하다가, 이후 완만하게 증가하여 90분에서 최대염착량을

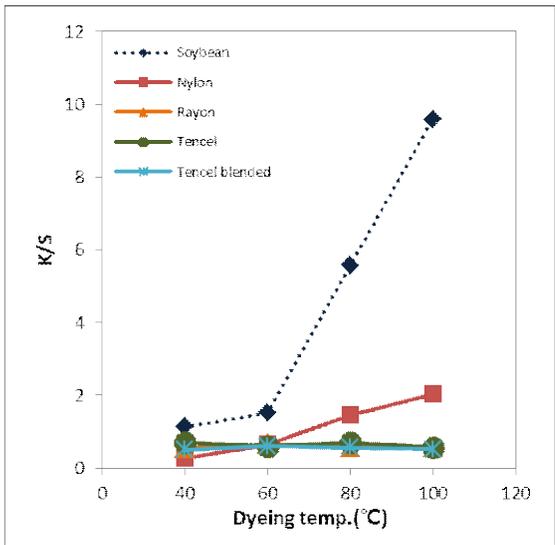
나타내었다. 따라서 최대 염착시간은 90분이나, 최적 염색시간은 60분으로 판단된다.

2) Dyeing temperature

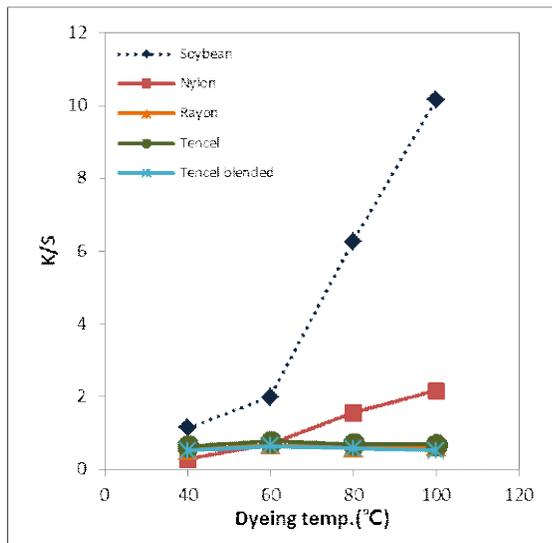
<Fig. 2>는 염색온도에 따른 염착량 변화를 나타낸 것이다. 대두섬유, 레이온, 텐셀, 텐셀혼방, 나일론섬유에 있어서 모든 섬유가 온도가 증가함에 따라 염착량이 증가하였다. 셀룰로오스 섬유인 레이온, 텐셀, 텐셀혼방 섬유의 경우, 온도에 의한 영향을 거의 받지



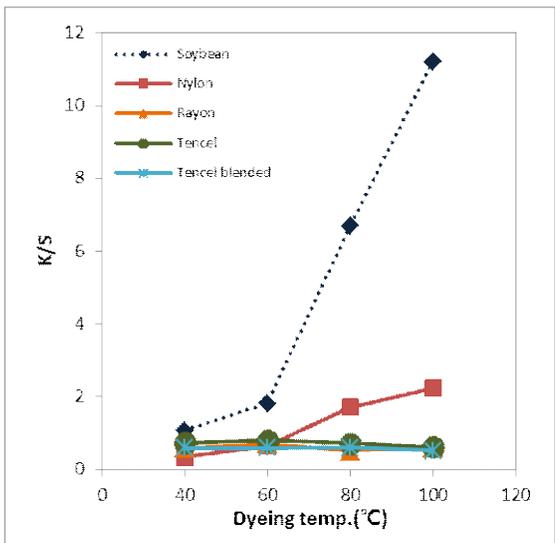
(a) Dyeing time 30min.



(b) Dyeing time 45min.



(c) Dyeing time 60min.



(d) Dyeing time 90min.

<Fig. 2> Dyeing property of man-made fibers dyed with Gallnut by dyeing temperature

않았으나, 나일론과 대두섬유의 경우 염착량은 염색 온도가 60℃까지는 완만하게 증가하다가, 80℃와 100℃에 이르기까지 급격한 증가를 보였다. 따라서 오배자의 인조섬유 종류별 최대염착을 위한 염색온도는 100℃로 나타났다.

위의 결과는 염색 온도가 상승하면 염색성은 향상된다는 일반론과 일치하다는 것을 알 수 있다(Joen & Park, 2009; Oh et al., 2005). 특히 단백질섬유인 대두

섬유는 온도가 증가함에 따라 염착량이 크게 증가하는 것을 알 수 있는데, 이 역시 위에서 설명한대로 섬유 내 분자 운동이 더욱 활발해져서 염료가 섬유 내부로 확산되기 때문으로 생각된다.

나일론섬유 역시, 온도가 증가함에 따라 Tg 이상에서 염착량이 급격히 증가하여 온도의 영향이 큼을 알 수 있었다. 이는 온도가 증가함에 따라 섬유가 팽윤하고, 비결정영역의 섬유분자의 운동이 커져서 염

료가 섬유내부로의 확산이 용이해졌기 때문에 생 각된다(Kim, 2009).

3) Man-made fiber type

〈Fig. 3〉은 각종 인조섬유의 오배자 염료에 대한 염 색성을 알아보기 위해, 최적 염색조건인 염색온도 100℃, 염색시간 90분에서 염색된 각종 인조섬유의 염착량 을 나타낸 것이다. 오배자 색소는 재생 단백질 섬유인 대두섬유에 높은 친화력을 보인 반면 레이온이나 라 이오셀과 같은 재생 셀룰로오스 섬유에서는 현저히 낮은 염착량을 보였다. 이는 재생 단백질 섬유가 재생 셀룰로오스 섬유에 비하여 수산기(-OH)뿐만 아니 라, 오배자 색소와 염착량이 강한 원자단인 아미노기 (-NH₂)와 카르복실기(-COOH)가 많이 형성되어 있 기 때문에 생각된다.

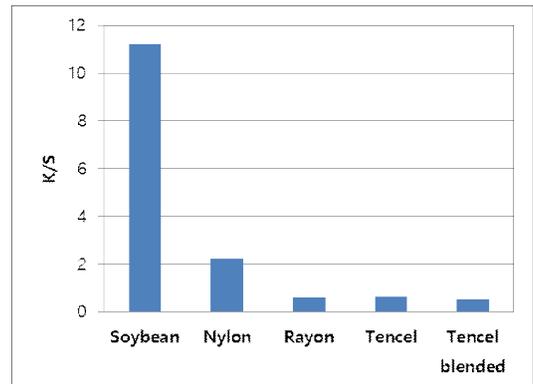
Noh and Lee(2014)의 연구에서, 질소성분이 함유 된 대두섬유의 오배자 염착 메커니즘은 대두섬유(혹 은 나일론섬유)의 아민기(peptide기의 -CONH- 및 말단기인 -NH₂)와 오배자 색소의 주성분인 탄닌의 수산기에 의한 수소결합에 기인한다고 하였다.

대두 단백질섬유는 22~55%의 아미노산(18-20종 류)을 함유하고 있으며, 특히 항산화 물질인 토코페 롤과 사포닌을 다량 함유하고 있어서 피부의 노화에 방에 좋다고 알려져 있으며, 시중에서는 속옷 재료로 이용되고 있다(Oh et al., 2005). 또한 질소성분이 함 유된 나일론 섬유의 경우 역시 염착량이 높게 나타났 기 때문에 합성섬유에 대한 천연염료의 염색성에 기 대할 만한 효과를 나타내었다.

2. Color and color difference of man-made fibers dyed with gallnut

〈Table 2〉와 〈Fig. 4〉는 오배자 염색의 최대 염착량 을 나타낸 염색온도 100℃와 염색시간 90분에 처리 한 염직물의 L*a*b* 값을 측정하여 표면색을 나타낸 것이다. 또한 X-rite사의 color I-control 소프트웨어를 이용하여 측정결과와 수치(L*a*b* 값)를 염색직물의 이미지 색으로 재현하였다. 그 결과, 오배자로 무매염 염색된 모든 인조섬유에서 갈색 색상을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

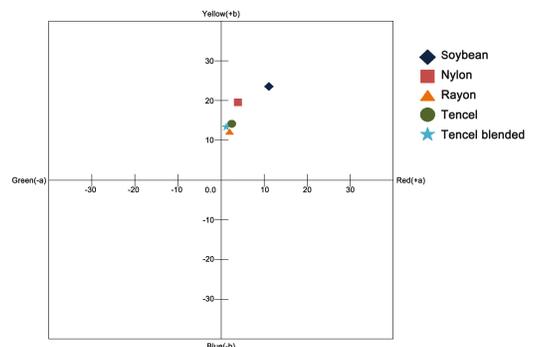
오배자의 염색성에 관한 선행연구 중(Hong et al, 2005)에서 면직물에서는 무매염의 경우 거의 염색이



〈Fig. 3〉 Dyeing property of man-made fibers dyed with gallnut at 100 °C for 90 min.

〈Table 2〉 Color and color difference of man-made fibers dyed with gallnut at 100℃ for 90min.

Man-made fiber	Color			Color difference (ΔE)	Image of dyed fabric
	L*	a*	b*		
Soybean	43.71	11.11	23.50	37.44	
Nylon	66.76	3.75	19.74	24.21	
Rayon	80.25	2.07	12.59	4.79	
Tencel	80.24	2.16	14.01	4.16	
Tencel blended	81.20	1.77	13.43	5.46	



〈Fig. 4〉 Color coordinate of man-made fibers dyed with gallnut at 100℃ for 90min.

되지 않아 밝은 베이지(beige)색을 띄었다. 선행연구 중(Chu, 1998; Noh & Lee, 2014)에서도 오배자로 염색한 천연 섬유 중 갈색을 나타내어, 본 연구와 유사한 결과를 얻었다.

또한 염색 전후의 색상을 측정하여 계산식에 의해 얻은 색차(ΔE)는 <Table 2>에 나타내었다. <Table 2>에서 보는 바와 같이, 질소성분 함유 인조섬유인 대두 섬유와 나일론섬유에서 색차가 현저하게 차이가 남을 알 수 있다. 이 역시 두 섬유에 함유된 아민기와의 염착메커니즘 때문으로 판단된다(Noh & Lee, 2014).

3. Antimicrobial activity of man-made fibers dyed with gallnut

<Table 3>은 오배자 추출물로 최대 염착량을 나타낸, 염색온도 100℃와 염색시간 90분에서 염색한 각종 섬유의 항균성 시험 결과를 나타낸 것이다. 오배자 추출물로 염색된 모든 인조섬유에서 황색포도상구균과 폐렴균 모두에서 99.9%의 정균감소율을 나타내었다.

따라서 오배자 염료는 천연항균제로서 그 항균효과는 우수한 것을 알 수 있다. 선행연구들(Hong et al., 2005; Hwang, 2009; Oh et al., 2005; Park & Yoon, 2009) 중에서 자체적인 항균성을 갖고 있는 천연염제는 상대적으로 많지 않았고, 대부분 매염제를 사용하므로 매염제에 의한 항균성을 갖고 있는데, 반면 오배자염료는 매염제없이도 오배자염료 자체적인 우수한 항균력을 갖고 있기 때문에, 실용적인 우수한 천연항균제로서의 이용이 충분히 가능하다고 여겨진다. 특히 <Table 3>에서 보는 바와 같이, 매우 낮은 염착

량을 나타낸 재생 셀룰로오즈 섬유(레이온, 텐셀, 텐셀 혼방)에서도 우수한 항균력을 보여, 인조섬유의 항균소재로서의 실용화가 충분히 가능할 것으로 판단된다.

IV. Conclusion and Suggestion

환경과 인체에 유해요소를 없애고자 본 연구에서는 천연 염재인 오배자의 무매염 염색법을 통해서 각종 인조섬유에 대한 염색 특성을 알아보기 위해, 염색조건(염색시간, 염색온도)에 따른 염색성 및 항균성을 측정하였으며, 그 결과의 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 오배자의 인조섬유 종류별 최대 염착량 염색조건은 염색시간이 90분이고, 염색온도는 100℃이나, 경제적인 측면과 섬유손상 등을 고려할 때 적정 염색조건은 염색시간은 60분이고, 염색온도는 80℃로 사료된다.
2. 오배자 염료의 경우, 재생단백질섬유인 대두섬유에 대한 염색성이 제일 우수하였고, 다음으로는 나일론섬유, 레이온, 텐셀, 텐셀혼방 섬유 순으로 나타났다. 이는 섬유 중에 질소성분(-CONH-, -NH₂) 함유 섬유에 염색성이 우수하다는 것으로 판명되었다.
3. 오배자의 인조섬유 염색 색상은 매염제를 사용하지 않아서 모두 갈색으로 나타났으며, 오배자 염료에 대한 인조섬유의 염색 가능성을 시사했으므로, 인조섬유의 천연염색물 개발과 보급을 증가시킬 수 있다.
4. 무매염 염색법을 통하여 오배자로 염색된 모든 인조섬유에서 특히 매우 낮은 염착량을 보인 재생셀룰로오스섬유에서도 모두 높은 항균성을 보였으므로, 인조섬유의 안전한 기능성소재 개발로 속옷 또는 아토피 혹은 접촉성피부염과 같은 피부질환 환자들의 증상완화 및 치료목적에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

<Table 3> Antimicrobial activity of man-made fibers dyed with gallnut at 100 °C for 90 min.

Fiber	Dye-uptake (K/S)	Bacteria	
		<i>Staphylococcus aureus</i> (%)	<i>Klebsiella pneumoniae</i> (%)
Soybean	11.21	99.9	99.9
Nylon	2.23	99.9	99.9
Rayon	0.61	99.9	99.9
Tencel	0.62	99.9	99.9
Tencel blended	0.52	99.9	99.9

References

- Chu, Y. J. (1998). A study on the mordanting and dyeing properties of *Rhusjara ica* dye. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 22(8), 971-977.
- Hong, S.-J., Jeon, D.-W., Kim, J.-J., & Jeon, J.-H. (2005). Effect of chitosan and mordant treatments

- on the air-permeability, fastness and antimicrobial effect of cotton and nylon fabrics dyed using *Rhusjara ica*. *The Research Journal of the Costume Culture*, 13(4), 540-549.
- Hwang, E.-K. (2009). *Deodorizing property and antibacterial activity of cotton, silk, and wool fabrics dyed with various natural colorants extracts*. Unpublished doctoral dissertation, Pusan National University, Busan, Korea.
- Jeon, M. S., & Park, M.-J., (2013). Color image and preference of the silk fabrics dyed of extract from pine needle by ethanol and distilled water. *Textile Coloration and Finishing*, 25(4), 327-336. doi:10.5764/TCF.2013.25.4.327
- Joen, M.-S., & Park, M.-J., (2009). Dyeing properties of the fabrics dyed with pine needles extract. *The Research Journal of the Costume Culture*, 17(6), 1129-1140.
- Joen, M.-S., & Park, M.-J., (2010). Components of pine needles extract and functionality of the dyed fabrics. *The Research Journal of the Costume Culture*, 18(2), 371-381.
- Kim, S. R. (2009). *피복재료학* [Textiles] (3rd ed.). Seoul: Gyomoonsa.
- Korean Agency for Technology and Standards. (2011). *Test method for antibacterial activity of textile materials* (Standard No. KS K 0693). Retrieved from <https://standard.go.kr>
- Noh, Y.-J., & Lee, S.-H. (2014). Natural dyeing of soybean protein fabrics: Gallnut. *Fashion & Textile Research Journal*, 16(3), 462-468. doi:10.5805/SFTI.2014.16.3.462
- Oh, K. W., Park, J. E., & Park, M. J. (2005). Dyeing and antibacterial properties of N-containing fibers dyed with Henna. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 29(11), 1520-1526.
- Park, A. Y. (2008). *Color and mordant effect of Gallnut on Gromwell - dyed silk fabrics*. Unpublished master's thesis, Sookmyung Women's University, Seoul, Korea.
- Park, M.-O., & Yoon, S.-L. (2009). Properties of natural dyeing of bast fiber(Part 1): Properties of dye and extraction condition of sappan wood, gardenia and gallnut. *Journal of Korea TAPPI*, 41(3), 49-59.
- Shin, N.-H., Kim, S.-Y., & Cho, K.-R. (2005). A study on using gray color dyeing from Gallapple. *Fashion & Textile Research Journal*, 7(5), 547-552.
- Shin, S.-Y., & Chung, H. W. (2013). Dyeing and antimicrobial properties of cellulose and nylon fabrics treated with Artemisia extracts. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 37(8), 1130-1138. doi:10.5850/JKSCT.2013.37.8.1130