

양이온화 처리에 따른 대나무-면 복합직물의 코치닐 염색 거동 및 색상 특성

노영주[†]

경북대학교 의류학과

Dyeing Behavior and Color Characteristics of Cochineal on Cationized Bamboo-Cotton Blended Fabrics

Young-Ju Noh[†]

Dept. of Clothing & Textiles, Kyungpook National University; Daegu, Korea

Abstract: Although cationization has been recognized as an effective method for improving the dyeability of cellulosic textiles, studies on the dyeing behavior of cationized bamboo-cotton blended fabrics using cochineal dye remain limited. This study investigated the dyeing behavior and color characteristics of cationized bamboo-cotton blended fabrics dyed with cochineal. The fabrics were treated with varying concentrations of the cationic agent 3-chloro-2-hydroxypropyl trimethylammonium chloride (CHPTAC) and dyed under acidic conditions (pH 5.0). Color strength (K/S) was measured using a spectrophotometer, and washing and light fastness were evaluated. The results showed that the optimal cationization concentration was CHPTAC-125, while the optimal dyeing temperature and time were 90 °C and 80 min, respectively. As the cationization concentration increased, the fabric color changed from light pink to deep reddish-purple, accompanied by a significant increase in color strength. The maximum absorption wavelength was observed at 530 nm. Washing fastness showed staining grades of 4-5 for all samples, while color change improved slightly from grade 1 to 2 with increasing cationization. Light fastness ranged from grades 3 to 4 regardless of cationization level. These results indicate that cationization effectively enhances the dyeability and color development of bamboo-cotton blended fabrics dyed with cochineal and may contribute to the broader application of natural dyeing in eco-friendly textile processing.

Key words: bamboo-cotton blended fabric(대나무-면 복합직물), cationization(양이온화 처리), cochineal dye(코치닐 염료), natural dyeing(천연염색), K/S(색강도)

1. 서 론

지속 가능한 발전에 대한 관심이 증가함에 따라 천연염료는 합성염료의 대안으로 주목받고 있다(Ansari & Thakur, 2000; Ćorak et al, 2022; Deveoglu, 2020). 천연염료는 생분해성이 높아 환경 부담이 적고 자연스러운 색상을 구현할 수 있다는 장점이 있으나, 견뢰도와 색상 재현성이 낮고 적용 가능한 염료의 범위가 제한적이라는 한계가 있다. 이러한 문제를 보완하기 위해 금속 매염제를 활용한 방법이 일반적으로 사용되어 왔으나, 중금속 이온에 의한 환경오염 및 인체 유해성 문제가 제기되고 있다. 이에 따라 매염제 사용을 줄이기 위한 대안으로, 섬유를 이온화하거나 키토산 등을 처리하여 염색성을 개선하는

방법이 활발히 연구되고 있다(Ćorak et al., 2022).

면섬유는 가장 널리 사용되는 셀룰로오스 섬유로서 우수한 흡습성과 쾌적한 착용감을 지니며 다양한 의류 및 생활용 섬유에 널리 사용된다(Song et al., 2009).

대나무 섬유는 주로 대나무 펄프에서 셀룰로오스를 추출·용해하여 제조된 재생 셀룰로오스 섬유(비스코스 레이온)로, 부드러운 촉감과 우수한 드레이프성, 광택 및 염색성을 지닌다(Kang, 2020). 또한 대나무 섬유는 항균성, 흡습성 및 청량감 등의 기능성을 갖는 소재로 알려져 있다(Prang Rocky & Thompson, 2021).

면섬유와 대나무 섬유의 혼방 소재는 두 섬유의 장점을 결합하여 우수한 흡습성과 통기성, 향상된 착용 쾌적성을 제공하는 것으로 알려져 있다. 또한 면섬유와 대나무 섬유의 혼방을 결합하여 착용감과 외관 특성을 향상시키는 것으로 알려져 있다. 이러한 특성으로 인해 대나무-면 혼방 직물은 지속가능한 섬유소재로서 주목받고 있다(Zhang et al., 2013). 한편, 대나무 섬유를 포함한 소재를 대상으로 한 천연염색 연구도 다양한 염료를 중심으로 활발히 수행되어 왔다. 대나무 비스코스 섬

[†]Corresponding author: Young-Ju Noh

Tel. +82-53-581-1231

E-mail: nyj@knu.ac.kr

©2026 The Korean Fashion and Textile Research Journal(KFTRJ). This is an open access journal. Articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

유를 대상으로 천연염색을 수행한 연구에서는 염료에 대한 흡착성이 우수하며, 염색 후에도 항균성과 흡습특성이 유지되는 것으로 보고되었다(Bae et al., 2006). 또한, 대나무-면 혼방직물의 염색 특성을 분석한 연구에서는 혼방 구조에 따라 염착량과 색상 발현이 달라질 수 있음이 제시되었다(Kim, 2005). 한편, 치자, 쪽, 홍화 등 다양한 천연염료를 적용한 연구에서는 매염 처리에 따라 염착량이 증가하고 색상 변화가 나타나는 경향이 보고되었으며(Kwak et al., 2008; Kwak & Lee, 2010), 염색 조건에 따라 색상 및 견뢰도 특성이 달라지는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 대나무 섬유가 천연염료와의 상호작용에서 비교적 우수한 염색성을 나타내며, 기능성 소재로서의 활용 가능성을 지닌다는 것을 시사한다.

기존 연구들은 특정 염료 또는 단일 섬유를 중심으로 염색 특성을 분석한 사례가 다수 보고되어 왔으며, 최근에는 혼방 소재 및 다양한 염료 조건을 고려한 연구도 점차 확대되고 있다. 그러나 염료 종류에 따른 염색 거동의 차이와 혼방 구조에서의 상호작용을 통합적으로 분석한 연구는 여전히 제한적인 것으로 보고되고 있다.

천연 동물성 염료인 코치닐[학명: *Coccus cacti* L.]은 pH의존성이 높은 염료로, 알코올, 물, 에테르 등에 잘 용해되며, 염욕의 pH에 따라 색상이 변화하는 다색성 염료이다. 주요 색소 성분은 카민산(carminic acid)을 포함하는 안트라퀴논계 화합물이다(Kim & Jeon, 2009). 코치닐 염료는 수산기(-OH)와 카복실기(-COOH)를 포함하여 금속 이온과의 배위결합이 가능하며, 견, 양모, 나일론과 같은 염기성기를 갖는 섬유에 효과적으로 염색된다(Kim & Lee, 1988; Kwak et al., 2008; Kwak & Lee, 2010; Sutlović et al., 2020). 또한 코치닐은 음이온성 염료로서 섬유 표면에 양전하를 도입할 경우 정전기적 상호작용에 의해 염착성이 향상될 수 있다(Čorak et al., 2022).

코치닐 염색에 관한 선행연구는 다양한 관점에서 수행되어 왔다. 먼저, pH 조건에 따른 색상 변화 특성에 관한 연구에서는 코치닐이 염액의 pH에 따라 색상이 크게 변화하는 특성을 가지며, 산성 조건에서는 주황색 계열, 중성에서는 적색 계열, 알칼리 조건에서는 자주색 계열을 나타내는 것으로 보고되었다(Noh, 2023). 이러한 결과는 코치닐 염색에서 염액 조건이 색상 발현에 중요한 영향을 미친다는 것을 보여준다. 또한, 매염제를 이용한 염색성 향상 연구에서는 알루미늄, 철 등의 금속 매염제를 적용할 경우 염착량이 증가하고 색상의 심도 및 색상 변화가 나타나는 것으로 보고되었으며(Kwak et al., 2008; Kwak & Lee, 2010), 매염제 종류에 따라 색상과 견뢰도 특성이 달라지는 경향이 확인되었다. 한편, 염색 견뢰도에 관한 연구에서는 코치닐 염색 직물이 전반적으로 중간 수준의 세탁 및 일광 견뢰도를 나타내며, 매염 처리에 따라 견뢰도가 일부 향상되는 것으로 보고되었다(Sutlović et al., 2020). 한편, 기존 연구들이 치자, 쪽, 홍화 등 식물성 천연염료를 중심으로 수행되어 온 것과 달리, 코치닐과 같은 동물성 염료는 염료 구조 및 이온적 특성의 차이에 의해 섬유와의 상호작용에서 상이한

염색 거동을 나타낼 수 있다. 따라서 코치닐 염료를 적용한 연구는 기존 식물성 염료 중심의 연구와 차별화된 염색 메커니즘을 이해하는 데 중요한 의의를 가진다.

이와 같이 코치닐 염색에 관한 선행연구는 색상 발현 특성, 매염 효과 및 견뢰도 평가를 중심으로 이루어져 왔으며, 전반적으로 염색 조건과 처리 방법에 따라 염색 특성이 달라지는 경향이 보고되고 있다. 그러나 이러한 연구들은 주로 단일 섬유를 대상으로 수행된 경우가 많으며, 셀룰로오스 기반 혼방 직물, 특히 양이온화 처리된 소재에 대한 체계적인 분석은 여전히 제한적인 것으로 보고되고 있다.

셀룰로오스 섬유는 수산기를 포함하여 화학적 반응성이 우수하지만, 산성 또는 염기성 염료에 대한 염착성은 상대적으로 낮다(Park, 1997). 이러한 한계를 극복하기 위해 섬유에 아민기 또는 4급 암모늄기를 도입하는 양이온화 처리가 적용되며, 이를 통해 음이온성 염료에 대한 염착성을 향상시킬 수 있다(Čorak et al., 2022; Park, 1997). 양이온화 방법으로는 키토산, 젤라틴 등의 천연 고분자를 이용한 방법과 CHPTAC(3-chloro-2-hydroxypropyl trimethyl ammonium chloride), GTAC(glycidyltrimethylammonium chloride) 등의 상용 양이온화제를 이용한 화학적 처리 방법이 있다(Čorak et al., 2022; Kim & Jeon, 2009; Kwak & Lee, 2010). 천연 고분자 기반 방법은 친환경적이라는 장점이 있으나 반응성과 균일성 측면에서 한계가 있으며, 반면 화학적 양이온화제는 처리 조건 제어가 용이하고 직물 전반에 균일한 개질이 가능하여 염착성 향상에 효과적이다(Khatrī et al., 2013; Park, 1997). 이에 본 연구에서는 CHPTAC를 이용한 화학적 양이온화 방법을 적용하였다.

기존 연구들은 주로 면이나 레이온과 같은 단일 섬유 또는 단순 혼방을 대상으로 양이온화 및 천연염색 특성을 분석해 왔다(Kwak & Lee, 2010; Lee et al., 1998; Park, 1997). 그러나 대나무 유래 비스코스 레이온과 면의 혼방 구조는 섬유 조성에 따른 상호보완적 특성으로 인해 염색 거동 및 색도 특성에서 차별적인 결과를 나타낼 가능성이 있다. 대나무 비스코스 섬유를 대상으로 천연염색을 수행한 연구에서는 염료에 대한 흡착성이 우수하며, 염색 후에도 항균성과 흡습특성이 유지되는 것으로 보고되었다(Bae et al., 2006; Kim, 2005).

따라서 본 연구에서는 대나무-면 혼방 직물에 CHPTAC를 이용한 양이온화 처리를 적용한 후, 음이온성 천연염료인 코치닐을 이용하여 염색 거동 및 색상 특성을 분석하고, 양이온화 처리에 따른 염착 메커니즘과 색상 발현 특성을 규명하며, 천연염색 공정에서의 적용 가능성을 체계적으로 제시하고자 한다.

2. 실험

2.1. 시료 및 시약

본 연구의 시료인 대나무-면 복합직물은 평직이며, 경사 방향이 Bamboo rayon, 위사 방향이 Cotton으로 이루어져 있다. KS K 0210에 따라 섬유 혼용률을 분석한 결과 Bamboo

Table 1. Characteristics of bamboo-cotton blended fabric

Material	Bamboo-Cotton blended fabric
Weave	Plain
Warp	bamboo rayon(65%)
Weft	cotton(35%)
Density (threads/5cm)	224 × 151
Weight (g/m ²)	123.8

rayon 65%, Cotton 35%로 나타났다. 다만, KS K 0210은 섬유의 화학적 유형에 따른 혼용률을 분석하는 표준 방법으로, 해당 분석만으로 Bamboo rayon 여부를 특징하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 공급자의 제시 사양에 기반하여 Bamboo rayon으로 구분하였다. 시료의 물리적 특성은 Table 1에 나타내었다.

본 실험에 사용된 시약은 CHPTAC[3-chloro 2-hydroxypropyl trimethyl ammonium chloride(Sigma-aldrich,USA)], NaOH[sodium hydroxide(Duksan pure chemical) Co. LTD, Korea], acetic acid(Duksan pure chemical Co. LTD, Korea)등은 1급 시약으로 정제 없이 사용하였다.

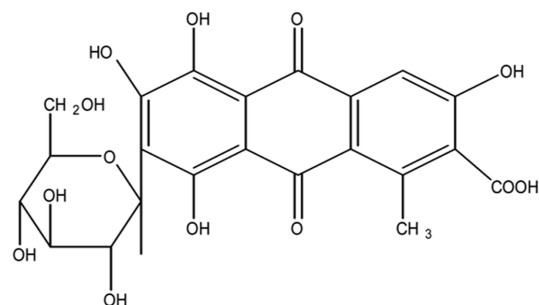
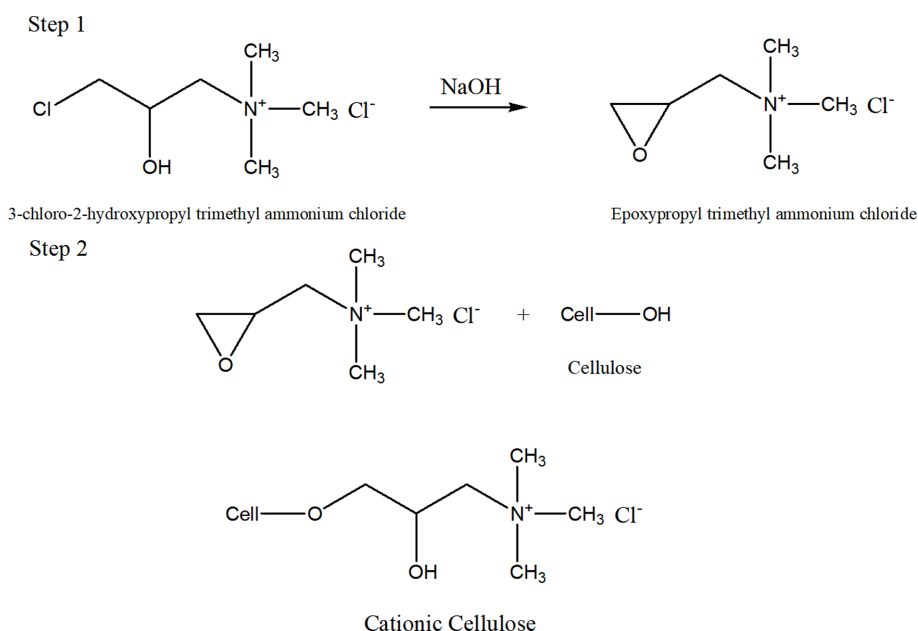
2.2. 코치닐 염액의 제조

본 연구에서는 인터넷을 통해 연지충(*dactylopius coccus*)을 건조한 형태로 구입하여 사용하였다. 사용된 코치닐은 페루산 건조 코치닐(제조사: Lost Lane Crafts)이며, 코치닐 염료를 0.5 g/100 ml로 계량한 후 욕비 20:1로 물이 들어 있는 용기에서 80°C에서 60분 동안 추출하여 염액으로 사용하였다. 이때 염액의 전체 양은 끓이는 중간에 물을 보충해 최종 욕비가 20:1이 되도록 유지하였다. 추출한 염액은 여과하여 고형물을

제거한 후, 염색에 사용하였다. 제조한 코치닐 염액의 pH는 약 5.0 내외로 측정되었으며, 이는 약산성 조건에서 염색이 이루어졌음을 의미한다. Fig. 1은 코치닐의 주 색소성분인 카민산의 화학구조를 나타낸 것이다.

2.3. 양이온화

CHPTAC는 60% 수용액으로 이루어진 것을 0, 25, 50, 100, 125, 150 g/ℓ로 나누고, CHPTAC 대비 NaOH를 2.2:1의 mol ratio로 구성된 용액으로 혼합하여 사용하였다. 각 농도에서 양이온화시킨 대나무-면 복합직물을 각각 CHPTAC-0, CHPTAC-25, CHPTAC-50, CHPTAC-75, CHPTAC-100, CHPTAC-125, CHPTAC-150이라 하였다. 양이온의 균일한 침투를 유도하기 위해 시료를 증류수에 30분간 침지한 후, 서로 다른 농도의 CHPTAC 용액에 30분간 침지하여 사용하였다. 양이온화의 과정은 PDC(pad-dry-cure) 공정으로 진행하였으며, mangle(Heung Shin Tester Co. HS-126, Korea)을 사용하여 padding 하고, CHPTAC 용액이 pick up을 100%가 되도록 진행하였다.


Fig. 1. Structure of carminic acid.

Scheme 1. Reactions of CHPTAC showing cationization of bamboo-cotton blended fabric(Khatrri et al., 2013).

padding 된 대나무-면 복합직물은 자연 상태에서 약 5분간 pre-drying한 뒤, tenter(Hyunmin machine co., Korea)를 사용하여 115°C에서 4분간 curing 하였다. Curing 후 1~2 g/l 아세트산 수용액에 1분 간 침지하여 중화시키고 수세·건조하였다.

대나무-면 복합직물의 양이온화는 면과 대나무를 구성하는 셀룰로오스 분자의 양이온화 과정으로, 여러 반응이 동시에 진행되며 그 반응 메커니즘은 Scheme 1에 제시하였다. 셀룰로오스의 양이온화 반응은 2단계 메커니즘으로 진행된다. 우선 CHPTAC로부터 Epoxypropyl trimethyl ammonium chloride가 생성되며, 이후 이 물질이 cellulose와 반응하여 Epoxy 고리의 개환 반응을 통해 양이온성 셀룰로오스(cationic cellulose)를 생성한다.

2.4. 염색

양이온화 처리된 대나무-면 복합직물을 염색 전 증류수에 30분 침지한 후 꺼내어 코치닐 염액과 함께 염색 실린더에 넣고 시작 온도 30°C에서 1분에 2°C씩 승온시켜 양이온화 처리 농도별, 염색 온도별, 염색 시간별로 IR-염색기(Korea Science, KS-W24, Korea)로 염색하였다. 양이온화 처리 농도에 따른 실험은 CHPTAC를 각각 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150 g/l로 처리 농도를 달리해, 욕비 30:1, 염색 온도 90°C, 염색 시간 80분의 조건에서 염색하였다. 염색 온도에 따른 실험은 욕비

30:1의 조건에서 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100°C로 온도를 달리하여 80분의 조건에서 염색하였다. 염색 시간에 따른 실험은 욕비 30:1의 조건에서 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100분으로 시간을 달리하여 염색 온도 90°C로 염색하였다.

Fig. 2는 연구 진행 절차를 나타낸 것이다.

2.5. 측색 및 표면 염색 농도(K/S)

염색된 시료의 색상 측정은 Computer Color Matching System(CCM)을 사용하였으며, 국제조명위원회[Commission Internationale de l'Eclairage(CIE)]의 Specular Component Excluded (SCE) 모드에서 표준광원 D65와 10° 표준 관측자 조건하에 K/S 값 및 CIE Lab 색도계의 L^* (lightness), a^* (redness-greenness), b^* (yellowness-blueness), C^* (chroma), h° (hue angle) 값으로 변환되었다.

CIE Lab은 색상을 3차원 좌표계로 나타내는 체계로, 각 시료 간의 색차(ΔE^*)는 이 좌표계 상 두 점 사이의 거리로 계산된다. 본 연구에서는 Color-view spectrophotometer(BYK-Gardner, Model CG-9005, U.S.A)를 사용하여 시료를 동일 조건에서 5회 반복 측정 후 평균값을 분석에 사용하였으며, 본 연구에서의 결과 해석은 통계적 유의성보다는 염색 거동의 전반적인 경향성을 중심으로 수행하였다. ΔE^* 는 Hunter 식에 따라 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

겉보기 염착량은 최대 흡수 파장에서의 표면 반사율을 측정 한 후, Kubelka-Munk 식을 이용하여 K/S 값을 계산하고 이를 바탕으로 피염물의 염착 농도를 구하였다. Kubelka-Munk식의 함수식은 다음과 같다.

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

2.6. 염색견뢰도

세탁견뢰도는 KS K ISO 105-C10:2006에 따라 Launder-O-meter(SDL ATLAS)를 사용, 세제량 5 g/L(Standard Soap)로 40°C, 30분 동안 세탁하여 측정하였으며, 세탁 후 시료를 변퇴색 정도와 오염 정도를 각각 판정하였다. 견뢰도 평가는 KS K ISO 105-A02에 따라 표준 회색 색표(grey scale)를 사용하여 변퇴색 정도를 판정하였으며, KS K ISO 105-A03에 따라 다점검직포(DW(디아세테이트(diacetate), 면(cotton), 나일론(lylon), 폴리에스터(polyester), 아크릴(acrylic), 모(wool))와 함께 세탁한 후 오염 정도를 등급으로 평가하였다.

일광견뢰도는 KS K ISO 105-B02:2014에 따라 Weather-O-meter(ATLAS)를 이용하고 water-cooled xenon arc lamp를 광원으로 하여, 규정 복사에너지량 3456 kJ/m²(20h)의 표준 퇴색 시간 동안 광조사한 후 측정하였다. 이후 KS K ISO 105-A02 규격에 따른 표준 회색 색표를 사용하여 평가하였다.

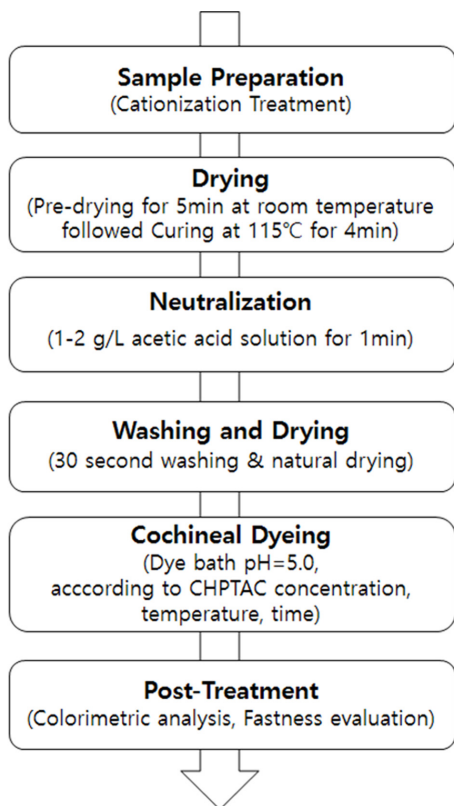


Fig. 2. Scheme diagram of process.

3. 결과 및 고찰

3.1. 양이온화 처리 농도에 따른 염색 특성

선행연구(Noh & Lee, 2022)에서 동일 계열의 복합직물에 대해 FT-IR, X-ray 회절 및 열중량분석(TGA)을 수행한 결과, 해당 직물은 셀룰로오스계 재생섬유와 면섬유가 혼합된 복합 구조를 갖는 것으로 보고된 바 있다. 따라서 본 연구에서 나타난 염색 거동은 특정 Bamboo 섬유의 고유 특성에 국한되기보다는, 셀룰로오스계 복합직물의 구조적 특성에 기인한 것으로 해석하는 것이 타당하다.

Fig. 3은 양이온화 처리 농도에 따른 대나무-면 복합직물의 파장별 K/S 값을 나타낸 것이다. 각 시료는 400~700 nm 범위에서 유사한 곡선 형태를 보였으며, 약 520~540 nm 부근에서 최대 K/S 값을 나타냈다. 이는 코치닐 염료의 주요 색소 성분인 카민산(carminic acid)의 특성에 기인한 것으로, 해당 파장 영역에서 색강도가 가장 크게 발현된 것으로 해석될 수 있다. 양이온화 처리 농도가 증가함에 따라 전반적인 K/S 값이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 CHPTAC-125 조건에서 가장 높은 값을 나타냈다. 이는 섬유 표면의 양전하가 증가함에 따라 음전하를 띠는 염료 분자와의 정전기적 결합이 강화된 결과로 해석될 수 있다.

반면 CHPTAC-150에서는 K/S 값이 다소 감소하는 경향을 보였는데, 이는 과도한 양이온화 처리로 인해 섬유 표면의 전하 밀도가 증가하면서 염료 분자의 접근 또는 결합이 일부 저해되었을 가능성을 시사한다. 또한 모든 시료에서 최대 K/S 값이 나타나는 파장 영역은 큰 차이를 보이지 않았으며, 이는 양이온화 처리 농도 변화가 색상의 색조(hue)보다는 색강도(color strength)에 더 큰 영향을 미쳤음을 시사한다. 즉, 염색된 직물의 색상은 동일한 적색 계열을 유지하면서, 양이온화 처리에 따라 색의 농도 및 선명도가 변화하는 경향을 보인 것으로 판단된다.

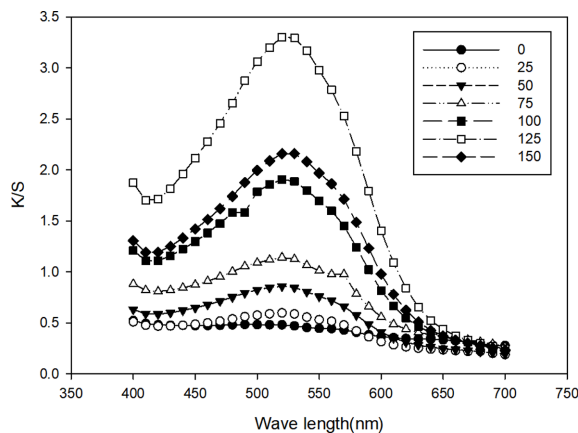


Fig. 3. K/S values of cochineal-dyed bamboo-cotton blended fabrics as a function of wavelength at different CHPTAC concentrations (dyeing conditions: 90°C, 80 min).

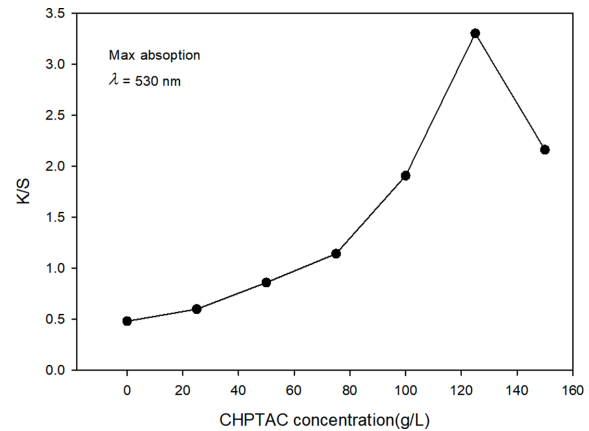


Fig. 4. Effect of CHPTAC concentration on the K/S value of bamboo-cotton blended fabric dyed with cochineal(dyeing conditions : 90°C, 80 min).

한편, Fig. 3에서 나타난 최대 K/S 값이 관찰된 파장을 기준으로 각 시료의 색강도를 비교한 결과를 Fig. 4에 제시하였다. 이를 통해 양이온화 처리 농도에 따른 염착 특성의 차이를 보다 명확히 확인할 수 있다.

Fig. 4는 양이온화 처리 농도에 따른 K/S 값을 나타낸 것으로, 코치닐을 이용한 대나무-면 복합직물 염색에서 CHPTAC 농도가 CHPTAC-75까지는 K/S 값이 서서히 증가하다가, CHPTAC-100 이후 급격한 상승세를 보이며 CHPTAC-125에서 최대값을 나타냈다. 그러나 CHPTAC 농도를 CHPTAC-150로 증가시킨 경우에는 오히려 K/S 값이 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 CHPTAC-125 수준에서 섬유와 염료 간의 결합이 일정 수준에 도달한 이후에는 추가적인 증가가 제한되는 경향을 나타낸 것으로 해석될 수 있다. 이후 양이온화 농도를 추가로 증가시키더라도 염착은 더 이상 증가하지 않고, 오히려 과도한 처리로 인해 염료의 탈락이나 섬유 표면에서의 재배향이 유발되었을 가능성을 시사한다.

특히 섬유 표면에 도입된 양전하가 일정 수준 이상 축적될 경우, 코치닐 염료 분자와의 결합에 오히려 부정적인 영향을 미칠 가능성이 있으며, 이는 과도한 양이온화에 의해 섬유 표면의 전하 분포가 불균일해지거나, 염료 분자의 접근성이 저하되어 염착 효율이 감소할 수 있음을 시사한다(Montazer et al., 2007).

더불어, 높은 농도의 CHPTAC는 섬유 표면에 과도한 화학적 변화를 일으켜 염료 결합에 필요한 구조적 안정성을 저해했을 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 CHPTAC 농도는 일정 수준까지는 염착성을 효과적으로 향상시키지만, 그 이상으로는 오히려 염착성 저하를 유발할 수 있으므로, 적절한 농도 범위 설정이 필요할 것으로 판단된다.

이 결과는 Fig. 3에서 최대 K/S 값이 나타난 약 530 nm 파장에서 측정된 결과로, 특히 CHPTAC-125에서 가장 높은 K/S 값을 보인다는 점은, 해당 조건에서 염료가 섬유 내로 가장 효과적으로 확산-흡착되었을 가능성을 시사하며, 염착력과 색상 강도가 최대치에 도달한 것으로 해석될 수 있다. 따라서 경제

성과 염색 효율을 고려할 때, 최적의 양이온화 처리 농도는 CHPTAC-125로 판단된다.

또한, Table 1에 제시된 바와 같이, 염색 후 시료의 표면을 확대하여 관찰한 결과, 직물의 평직 구조가 뚜렷하게 확인되었다. 본 시료는 경사 방향이 Bamboo rayon, 위사 방향이 Cotton으로 구성되어 있어 섬유 간 염색성 차이에 따른 멜란지 효과가 나타날 수 있다. 실제로 직물 표면에서는 경사와 위사 방향에 따라 미세한 색상 차이가 나타나는 경향이 확인되었으며, 이는 두 섬유의 구조적 특성 차이에 따른 염착 거동의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 다만, 직물의 표면 구조에 의한 시각적 효과도 일부 영향을 미친 것으로 사료되며, 이러한 차이는 전반적으로 크지 않아 시료는 비교적 균일한 염색 상태를 유지하는 것으로 나타났다.

한편, 대나무-면 혼방직물은 동일한 셀룰로오스 기반 섬유라 하더라도, 구성 섬유 간 미세구조 및 물리적 특성 차이에 의해 염료의 확산 및 결합 거동에 영향을 받을 수 있다. 특히 혼방 구조에서는 염료의 분포 및 염착 균일성이 단일 섬유에 비해 다르게 나타날 가능성이 있으며, 이는 색상 발현 특성에도 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 혼방 구조적 특성을 고려하여 양이온화 처리 및 염색 조건 변화에 따른 염색 거동을 분석하였다. Table 2는 양이온화 처리 농도에 따른 표면색 변화 및 색도 특성을 나타낸 것이다. 그 결과 양이온화 처리를 하지 않은 시료(CHPTAC-0)의 경우 L^* 값이 69.98, a^* 값이 3.40, b^* 값이 2.12, h° 값이 31.91로 나타나 밝고 옅은 붉은빛을 띠는 시료임을 알 수 있다. CHPTAC-0에서 색강도(K/S)가 전반적으로 낮고, 시각적으로도 비교적 연한 색상을 나타내었는데, 이는 코치닐 염료와 같은 천연염료가 일반적으로 셀룰로오스 섬유에 대한 친화력이 낮다는 기존 연구 결과와 일치하는 경향을 보인다. 선행연구에 따르면, 코치닐 염료의 주성분인 카민산은 음이온성 특성을 가지며, 셀룰로오스 섬유 또한 수용액 내에서 음전하를 띠기 때문에 염료와 섬유 간 정전기적 반발이 발생하여 염착량이 제한되는 것으로 보고된 바 있다(Samanta & Konar, 2011). 따라서 별도의 전처리를 적용하지 않은 경우, 색강도가 낮고 색상 발현이 제한되는 경향이 나타

나는 것으로 해석된다.

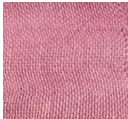
L^* 값은 CHPTAC-125까지 점차 감소하여 직물이 어두워지는 경향을 보였으나, CHPTAC-150에서는 다시 증가하였다. 이러한 결과는 CHPTAC-150 수준에서는 섬유 표면의 과도한 양전하 밀도가 오히려 염료 분자와의 결합 효율을 저해할 수 있기 때문이다(Montazer et al. 2007). 따라서 CHPTAC-125까지는 염착량 증가로 인해 L^* 값이 낮아져 어두워지고, CHPTAC-150에서는 염착 효율 저하로 인해 L^* 값이 다시 상승하여 밝아진 것으로 판단된다.

a^* 값은 양이온화 처리 농도가 증가할수록 점차 상승하여 CHPTAC-125에서 최대치인 22.66을 나타낸 후 CHPTAC-150에서 감소하였다. 이러한 결과는 붉은 색 염료인 코치닐 염색에 기인하여 붉은색 정도가 증가한 것이며, 특히 a^* 값의 증가는 코치닐 염료의 주색소인 카민산이 섬유에 고착되면서 적색 계열의 색상이 강화된 것으로, 이는 섬유 표면의 양전하 증가에 따라 음이온 염료 분자와의 정전기적 결합이 촉진된 결과로 판단된다. 실제로 코치닐 염색 시 K/S가 가장 높게 나타난 CHPTAC-125 처리 조건에서 a^* 값 역시 가장 높게 나타나 두 변수 간의 밀접한 상관성을 보여준다.

한편, b^* 값은 CHPTAC-0에서 2.12였으나, 양이온화 처리 농도가 증가할수록 점차 감소하여 CHPTAC-125에서 -0.23, CHPTAC-150에서는 -0.91로 나타났다. 이는 황색 성분이 감소하고 청색 성분이 증가한 것을 의미하며, 코치닐 분자의 염기 조건에서의 탈색 메커니즘과 염색 온도 및 시간에 따른 염료 구조 변화 가능성 또한 영향을 준 것으로 판단된다. 이러한 결과는 염료의 분자 구조와 섬유 표면 전하 간의 상호작용을 반영하며, 단순 색도 변화 이상의 염료와 섬유 간 결합 특성에 대한 기초 데이터를 제공한다.

채도를 나타내는 C^* 값은 CHPTAC-0에서 4.00을 나타낸 후 양이온화 처리 농도가 증가할수록 증가하여 CHPTAC-125에서 최대값을 나타내었다. 이후 CHPTAC-150에서 다시 감소하였다. 이는 CHPTAC-125에서 색상이 가장 뚜렷하고 채도가 높게 발현되었음을 나타낸다. 한편, 색상각 h° 값은 CHPTAC 농도가 증가함에 따라 점차 0° 에 가까워지는 경향을 나타냈으며,

Table 2. Color change of the dyed fabrics with cochineal according to CHPTAC concentration(dyeing conditions : 90°C, 80min).

Color factors	CHPTAC concentration(g/ℓ)						
	0	25	50	75	100	125	150
L^*	69.98	69.07	65.12	61.07	54.84	47.24	52.82
a^*	3.40	9.60	13.25	13.27	19.01	22.66	19.77
b^*	2.12	1.39	1.01	1.00	0.31	-0.23	-0.91
C^*	4.00	9.70	13.29	13.32	19.01	22.66	19.79
h°	31.91	8.23	4.36	4.91	0.94	359.41	357.38
Surface color							

CHPTAC-125 처리 시 359.41°로 가장 순수한 적색 계열의 색조를 나타냈다. 이는 CIE Lab 색공간상에서 색상이 붉은색 계열로 수렴하고 있음을 의미하며, 코치닐 염료의 주요 색소 성분인 카민산이 양이온화 처리된 섬유 표면과의 정전기적 결합에 의해 보다 안정된 발색 구조를 형성한 결과로 판단된다. 이후 CHPTAC-150에서는 색상각이 357.38°로 유지되었으나, 채도 C^* 값 및 a^* 값의 감소와 함께 색상의 선명도가 다소 낮아지는 경향을 나타냈다.

염색 시료의 표면색상은 양이온화 처리 농도가 증가할수록 시료의 색상강도(K/S)가 뚜렷하게 증가하고, 밝은 분홍에서 붉은 색을 띤 진한 자주색 계열로 색상 발현이 강화됨을 확인할 수 있다.

Table 3은 염색 온도에 따른 대나무-면 복합직물의 L^* , a^* , b^* , C^* , h° 값을 나타낸 것으로, 염색 조건이 직물의 색도에 미치는 영향을 분석하기 위해 제시되었다.

L^* 값은 염색 온도 30°C에서 51.49로 가장 높았으며, 온도가 증가함에 따라 점차 감소하여 90°C에서 43.17로 가장 낮은 명도를 나타냈다. 이는 염색 온도의 상승에 따라 염료의 침투 및 흡착이 활발해지며, 결과적으로 색상이 어두워지는 경향을 보였음을 의미한다. 그러나 100°C에서는 L^* 값이 다시 증가하여 45.14로 나타났는데, 이는 고온에서 염료의 탈착이나 분해, 또는 섬유 표면의 구조 변화로 인해 염착 안정성이 저하되었을 가능성을 시사한다(Bechtold et al., 2003).

a^* 값은 30°C에서 22.14로 시작하여 온도 증가에 따라 점차 증가하였으며, 90°C에서 최고치인 26.40을 나타내었다. 이는 코치닐 염료의 주성분인 카민산이 적색 계열을 띠는 안트라퀴논계 색소로서, 높은 온도에서 분자 운동성이 증가하고 섬유 표면으로의 확산이 촉진되어 붉은 색 발색이 강화되었기 때문이다(Samanta & Konar, 2011). 그러나 100°C에서는 오히려 a^* 값이 다소 감소하여, 과도한 온도가 염료와 섬유간 결합에 부정적 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

b^* 값은 전반적으로 감소하는 경향을 보였으며, 80°C에서 -1.46으로 가장 낮은 수치를 기록하여 색상이 CIE Lab 색공간 상에서 황색 계열(+b)에서 청색 계열(-b)로 이동했음을 나타낸다. 이

후 90°C와 100°C에서 각각 -1.04, 0.72로 다시 증가하며 황색 계열 성분이 점차 회복되었다. 이와 같은 흐름은 염색 온도 증가에 따라 염료의 분해 혹은 재배향 등의 열역학적 변화가 일어났음을 의미한다.

C^* 값은 90°C에서 26.42로 가장 높게 나타나, 이 조건에서 색상이 가장 선명하고 강하게 발현되었음을 보여준다. h° 값은 30°C에서 4.58°였던 것이 70~90°C 구간에서 358~357°대로 유지되다가 100°C에서는 1.64°로 변화하며 색조의 이동이 발생하였다. h° 값이 거의 0°에 가깝다는 점은 본 시료가 붉은 계열 색상을 중심으로 하며, 약간의 청색 기운이 포함된 색조임을 보여준다. Table 3에서 h° 값은 염색 온도에 따라 큰 수치 변화를 나타내는 것으로 보이나, 이는 색상환(hue circle)의 특성에 기인한 것이다. 즉, h° 값은 0°와 360°가 동일한 적색 영역을 의미하므로, 30~60°C 구간에서 약 1~4° 범위에 위치하던 값이 70~90°C에서 358~356°로 변화한 것은 실제 색상의 급격한 변화라기보다는 동일한 적색 계열 내에서의 미세한 색상 이동을 나타낸다.

또한 h° 값이 360° 부근에서 소폭 변화하는 것은 적색 영역 내에서의 색조(hue)의 방향성 변화로 해석할 수 있으며, 이는

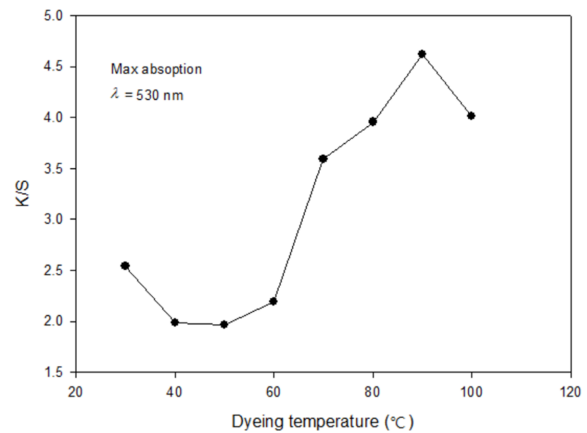


Fig. 5. Effect of dyeing temperature on the K/S value of bamboo-cotton blended fabric dyed with cochineal(dyeing conditions : CHPTAC-125, 80 min).

Table 3. Colorimetric properties of dyed fabrics with cochineal according to dyeing temperature (dyeing conditions: CHPTAC-125, 80 min)

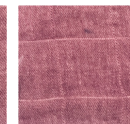
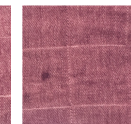
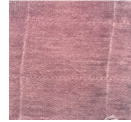
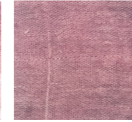
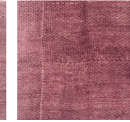
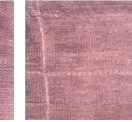
Color actors	Dyeing temperature(°C)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
L^*	51.49	54.62	54.79	53.60	46.67	45.06	43.17	45.14
a^*	22.14	20.58	20.96	22.07	25.24	25.01	26.40	25.06
b^*	1.78	0.46	0.00	0.63	-0.62	-1.46	-1.04	0.72
C^*	22.21	20.59	20.96	22.08	25.25	25.05	26.42	25.07
h°	4.58	1.28	1.60	1.62	358.59	356.65	357.74	1.64
Surface color								

Table 4. Colorimetric properties of dyed fabrics with cochineal according to dyeing time (dyeing conditions: CHPTAC-125, 90°C)

Color actors	Dyeing time(min)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
L*	58.00	55.06	52.41	50.36	48.14	40.73	45.85	47.20
a*	19.28	22.00	20.26	22.53	22.14	24.95	22.59	23.61
b*	0.02	-2.26	1.80	0.72	1.55	1.66	2.15	2.20
C*	19.28	22.11	20.33	22.54	22.19	25.01	22.69	23.71
h°	0.07	354.14	5.07	1.82	4.00	3.80	5.43	5.33
Surface color								

a* 값의 증가 경향과 함께 적색도가 강화되면서 색상이 보다 선명한 적자색 계열로 이동하는 경향을 나타낸다.

이러한 색도 변화는 코치닐 염료의 분자 구조적 특성과 섬유 표면의 양이온화 상태 간의 상호작용 결과로 해석되며, 이는 실험 전반에 걸쳐 코치닐 염료의 특성이 유지되었음을 시사한다.

특히 90°C에서 a* 값이 최대, b* 값이 최소로 나타난 것은 코치닐 염료가 해당 온도에서 가장 활발히 섬유에 결합했음을 의미한다. 이는 카민산의 카복실기와 섬유 표면의 양전하 간의 정전기적 인력이 온도 상승에 따라 강화되었기 때문으로 판단된다. 한편, 90°C 이상에서는 K/S 및 a* 값이 다시 감소하는데, 이는 고온 조건에서 염료의 분해, 탈색 또는 섬유 구조 변화로 인한 염착 저해 가능성을 보여준다. 따라서 Fig. 5와 Table 3의 결과로 볼 때, 양이온화 처리한 대나무-면 복합직물의 코치닐 염색 시 적정 염색 온도는 90°C로 판단된다. 최적 조건의 선정은 통계적 유의성보다는 색강도(K/S), 색도 값 및 견뢰도 결과를 종합적으로 고려하여 도출하였다.

또한, 코치닐 염료는 염욕의 pH 조건에 따라 색조가 달라지는 특성이 있으며, 주요 색소인 카민산은 pH에 따라 이온화 상태가 달라진다. 본 연구에서 사용된 염액의 pH는 약 5.0으로, 이러한 약산성 환경은 붉은 계열 색상의 안정적 발현을 돕는 조건으로 작용했을 가능성이 크다. 따라서 본 연구에서 관찰된 높은 a* 값은 염색 온도 및 양이온화 처리에 따른 섬유 표면 전하 변화뿐 아니라, 염욕의 화학적 환경(pH)의 복합적 작용에 기인한 결과로 판단된다.

Table 4는 염색 시간에 따른 색도 변화를 나타낸 것이다. L* 값은 염색 시간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내어 색상이 점차 어두워지는 것으로 확인되었다. 반면, a* 값은 전반적으로 증가하는 경향을 보여 적색도가 강화되는 것으로 나타났으며, C* 값 또한 증가하여 색의 선명도가 향상되는 경향을 보였다.

이는 염색 시간이 증가함에 따라 섬유 내 염료의 흡착량이 증가하고, 이에 따라 색의 깊이와 선명도가 함께 증가한 결과로 판단된다. 한편, 색상각(h°) 값은 전반적으로 큰 변화를 보

이지 않아, 염색 시간이 증가하더라도 색상의 계열은 유지되는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 염색 시간에 따른 K/S 값의 변화 경향과 유사한 결과로, 염착량 증가가 색도 특성 변화에 직접적인 영향을 미치는 것으로 해석된다. 따라서 염색 시간은 색상의 농도 및 선명도 조절에 중요한 공정 변수로 작용하는 것으로 판단된다.

3.2. 염색 조건 변화에 따른 염착 특성

염색 조건 변화에 따른 염착 특성을 규명하기 위하여 CHPTAC-125 농도로 양이온화 처리된 시료를 사용하였으며, 염색 온도 및 시간 변화에 따른 염료의 염착 거동을 분석하였다.

Fig. 5는 염색 온도에 따른 K/S를 나타낸 것이다. 온도가 증가함에 따라 전반적으로 K/S 값이 증가하는 경향을 보였으며, 이는 염료 분자의 확산이 촉진되기 때문으로 해석된다. 그러나 저온 구간에서는 일부 시료에서 K/S 값이 불규칙하게 변동하는 경향이 관찰되었다. 이러한 결과는 저온에서 염료 분자의 확산이 제한되어 섬유 내부로의 침투가 충분히 이루어지지 않기 때문으로 판단된다. 일반적으로 염색 공정에서 온도는 염료의 확산 및 섬유와의 상호작용에 중요한 영향을 미치며, 온도가 증가할수록 염료 분자의 이동성이 증가하여 섬유 내부로의 확산이 촉진되는 것으로 보고된 바 있다(Broadbent, 2001; Shore, 2002). 따라서 저온 조건에서는 염료의 확산 및 분포가 불균일해져 염착 거동의 변동성이 증가한 것으로 사료된다.

이후 온도가 증가함에 따라 염료의 섬유 내부 확산이 원활해지면서 보다 안정적인 염착 거동을 나타내는 것으로 확인되었다.

또한, 염색 온도 90°C에서 4.61로 최대를 나타낸 후 100°C에서는 다소 감소하는 경향을 보였다. 이는 견섬유와 레이온 섬유의 코치닐 염색에서 견은 60°C, 레이온은 90°C에서 각각 최적 염색 온도를 나타낸 선행 연구(Bae et al, 2006; Kim, 2005)와 유사한 경향이다. 코치닐 염료는 벌기한 구조를 갖는 안트라퀴논계 염료로서, 레이온 등의 셀룰로오스 섬유와의 염색 시 양이온 개질이 이루어지더라도 염료의 충분한 확산을 위해서는 상대적으로 높은 에너지(높은 온도 및 많은 염색 시간) 조건이

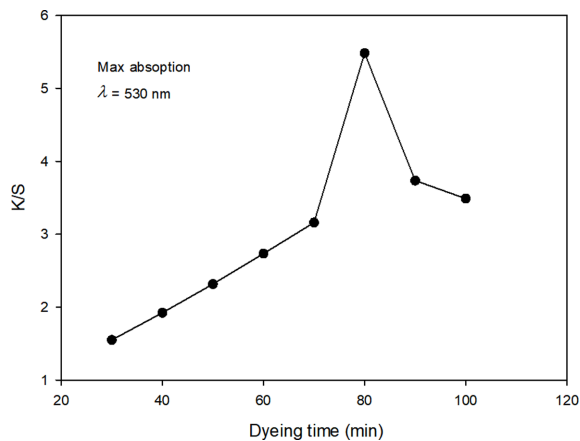


Fig. 6. Effect of dyeing time on the K/S value of bamboo-cotton blended fabric dyed with cochineal(dyeing conditions : CHPTAC-125, 90°C).

요구되는 것으로 판단된다. 따라서 대나무-면 복합직물에 대한 코치닐의 적정 염색 온도는 90°C로 사료된다.

본 연구에서 사용된 대나무-면 복합직물의 혼용률은 공급자의 제시 사양에 기반하여 설정되었으며, KS K 0210 분석법만으로는 Bamboo rayon과 면섬유를 명확히 구분하는 데 일정한 한계가 있다. 그러나 선행연구(Noh & Lee, 2022)에서 확인된 바와 같이, 해당 복합직물은 FT-IR 및 XRD 분석을 통해 전형적인 셀룰로오스 구조를 나타내며, 본 연구의 염색 거동 역시 이러한 셀룰로오스 기반 구조에 기인한 것으로 해석할 수 있다. 따라서 본 연구 결과는 특정 Bamboo 섬유 고유 특성에 국한되기보다는, 셀룰로오스계 재생섬유와 면섬유가 혼합된 복합 구조에서 나타나는 일반적인 염색 거동으로 이해하는 것이 타당하다.

Fig. 6은 염색 시간에 따른 K/S 값을 나타낸 것이다. 염색 시간이 증가함에 따라 K/S 값도 점차 상승하였고, 80분에서 가장 높은 값을 나타낸 후 다시 감소하였다. 이는 염료의 확산과 흡착이 일정 시간까지는 지속되다가, 섬유 표면 및 내부가 염료로 포화되면서 염착이 한계에 도달했기 때문으로 해석된다. 특히 코치닐 염료의 주요 색소 성분인 카민산은 섬유 표면의 양전하와 정전기적 결합을 통해 섬유에 고착된다. 염색 초기에

는 이러한 결합이 활발히 진행되나, 일정 시간이 지나면 염료의 탈착이나 섬유 표면에서의 재배향으로 인해 반사율이 증가하고, K/S 값이 감소하는 현상이 나타날 수 있다. 한편, 셀룰로오스 섬유는 음이온성 염료에 대한 염착성이 낮으나, 본 연구에서는 CHPTAC를 활용한 양이온화 처리를 통해 섬유 표면에 양전하를 도입함으로써 염료 분자와의 정전기적 결합력을 향상시켰다. 그 결과, 염료의 흡착 및 고착이 촉진되어 높은 K/S 값과 선명한 색상 발현으로 이어졌다.

염색 시간 80분 이후 K/S 값이 감소한 것은 이러한 염료 탈착 또는 분해, 혹은 고온 장시간 노출로 인한 염료 구조 변화에 따른 것으로 판단되며, 이는 천연염료가 일정한 결합 에너지를 초과하면 동적 평형에 도달한다는 점을 시사한다. 따라서 본 실험에서는 80분이 코치닐 염색의 적정 염색 시간으로 판단되며, 이는 염료 분자와 섬유 표면 간 결합 메커니즘의 특성을 반영한 결과로 볼 수 있다.

또한, 염색 시간 변화에 따른 최대 흡수 파장 역시 일정하여 약 530 nm에서 동일한 값을 나타냈다.

3.3. 염색 성능 및 견뢰도 평가

대나무-면 복합직물에 양이온을 농도별로 처리하여 염색한 시료의 세탁 및 일광견뢰도를 비교, 분석하였다.

3.3.1. 양이온화 처리 농도에 따른 세탁견뢰도

Table 5는 양이온화 처리 농도에 따른 세탁견뢰도를 변퇴색과 오염으로 구분하여 나타낸 것이다. CHPTAC-0에서는 1등급, 그보다 높은 농도로 양이온화 처리한 시료는 모두 2등급으로 나타났다. 해당 시료는 세탁 후 염료의 손실이 커 K/S 값이 0.43으로 낮게 나타났으며, 이는 세탁 과정 중 염료의 탈락으로 인해 표면에 잔류한 염료량이 크게 줄어들었음을 의미한다.

천연염색 직물은 일반적으로 세탁 시 염료가 섬유 표면에서 쉽게 탈락하여 낮은 견뢰도를 보이는 것으로 보고된 바 있다(Kwak & Lee, 2010). 그러나 본 연구에서와 같이 섬유 표면을 양이온화 처리하면, 음이온성을 띠는 천연염료와 섬유 간의 정전기적 인력이 강화되어 염료의 고착력이 향상된다(Montazer et al., 2007). 따라서 CHPTAC-25 이상으로 처리한 시료에서는 변퇴색 견뢰도가 CHPTAC-0 시료보다 소폭 상승한 것으로

Table 5. Fastness to washing of dyed fabric with cochineal according to CHPTAC concentration(dyeing conditions : 90°C, 80 min).

CHPTAC Concentration (g/ℓ)	Color Change	Stain					
		Acetate	Cotton	Nylon	Polyester	Acrylic	Wool
0	1	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
25	2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
50	2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
75	2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
100	2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
125	2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
150	2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

Table 6. Fastness to light of dyed fabric with cochineal according to CHPTAC concentration(dyeing conditions : 90°C, 80min).

CHPTAC Concentration(g/ℓ)	Color Change
0	3-4
25	3-4
50	3-4
75	3-4
100	3-4
125	3-4
150	3-4

나타났다.

오염 견뢰도는 양이온화 처리를 하지 않은 시료와 처리한 시료 모두에서 4-5등급으로 나타나, 양이온화 처리 유무에 따른 차이는 확인되지 않았다.

한편, 양이온화 처리에 따라 염착량은 증가하였으나, 세탁견뢰도의 변퇴색은 1급에서 2급으로 소폭 향상되는 데 그쳤으며, 이는 양이온화 처리가 염료와 섬유 간의 정전기적 결합을 증가시켜 염착성을 향상시키는 데에는 효과적이지만, 염료의 고착력 또는 내광 안정성 향상에는 제한적인 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 따라서 실질적인 견뢰도 향상을 위해서는 매염제 처리, 고착제 도입 또는 후처리 공정과 같은 추가적인 공정이 병행될 필요가 있으며, 이러한 보완 공정을 통해 천연염료 염색 직물의 실용적 적용 가능성을 보다 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

3.3.2. 양이온화 처리 농도에 따른 일광견뢰도

Table 6은 양이온화 처리 농도에 따른 일광견뢰도를 나타낸 것이다. 농도별로 양이온화 처리하여 염색한 모든 시료에서 일광 견뢰도는 3-4등급으로 나타났으며, 양이온화 처리 농도에 따른 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다. 이는 양이온화 처리가 염료와 섬유 간의 정전기적 결합을 통해 염착량을 증가시키는 데에는 기여하였으나, 일광견뢰도에는 큰 영향을 미치지 못한 것으로 해석된다.

4. 결 론

본 연구에서는 대나무-면 복합직물을 대상으로 CHPTAC를 이용한 양이온화 처리 후, 천연염료인 코치닐을 적용하여 염색 특성을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 양이온화 처리 농도가 증가할수록 직물의 염착성이 향상되는 경향을 보였으며, CHPTAC-125 처리 조건에서 상대적으로 높은 K/S 값을 나타내었다.

둘째, 염색 온도와 시간에 따른 실험에서는 각각 90°C와 80분 조건에서 높은 염색 특성이 나타나는 경향을 보였으며, 색의 강도와 채도가 증가하였다. 염색 온도와 시간이 증가함에 따라 L^* 값은 감소하고 a^* 값은 증가하여 보다 진한 적색 계열 색상

이 형성되었으며, b^* 값은 -b 방향(청색)으로 이동한 후 고온 조건에서 다시 +b 방향(황색)으로 변화하는 경향을 보였다. 또한, 염색 온도와 시간 변화에도 불구하고 최대 흡수 파장은 약 530 nm에서 일정하게 유지되어, 코치닐의 주요 발색 성분인 카민산의 특성이 온도 및 시간 변화에 의해 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

셋째, 양이온화 처리 농도가 증가함에 따라 세탁 견뢰도의 변퇴색 등급은 1-2등급 수준으로 소폭 향상되었으며, 오염 견뢰도는 모든 시료에서 4-5등급으로 양호하게 나타났다. 일광 견뢰도는 모든 조건에서 3-4등급으로 확인되어, 양이온화 처리가 일광 견뢰도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

본 연구는 단일 셀룰로오스 섬유가 아닌 대나무-면 혼방 구조에서 양이온화 처리에 따른 염색 거동을 분석하였다는 점에서 의의를 가진다. 특히, 서로 다른 섬유 특성을 가지는 경사와 위사가 혼재된 구조에서 염료의 확산 및 결합 거동이 복잡적으로 나타날 수 있음을 확인하였으며, 이는 기존 단일 섬유 기반 연구와 차별화되는 결과로 볼 수 있다.

CHPTAC를 이용한 양이온화 처리를 통해 셀룰로오스 기반 대나무-면 복합직물에 양이온기를 도입함으로써, 음이온성 천연염료인 코치닐의 염착성을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 매염제를 사용하지 않고도 선명한 적색 계열 색상의 구현이 가능하였으며, 최적 조건에서 K/S 값의 증가를 통해 염색 효율이 향상되는 경향을 보였다. 이는 코치닐 염료의 친환경적 활용 가능성을 제시하는 대안적 방법으로서의 잠재력을 보여준다.

한편, 색도 특성은 향상된 반면, 세탁 및 일광 견뢰도는 제한적인 개선을 보여 후처리 공정의 필요성이 확인되었다. 향후에는 천연 고분자 기반 처리 및 기능성 복합소재를 활용한 친환경 후처리 기술 개발과 함께, 생분해성 양이온화제 등 환경친화적 개질제에 대한 연구가 요구된다.

References

- Ansari, A. A., & Thakur, B. D. (2000). Extraction, characterisation and application of a natural dye: The eco-friendly textile colorant. *Colourage*, 47(7), 15-20.
- Bae, J. S., Kim, Y. K., & Huh, M. W. (2006). The dyeability and antibacterial activity of silk and rayon fabrics dyed with cochineal. *Textile Coloration and Finishing*, 18(6), 1-9.
- Prang Rocky, B., & Thompson, A. J. (2021). Investigation and comparison of antibacterial property of bamboo plants, natural bamboo fibers and commercial bamboo viscose textiles. *The Journal of the Textile Institute*, 112(7), 1159-1170. doi:10.1080/00405000.2020.1807300
- Bechtold, T., Turcanu, A., Ganglberger, E., & Geissler, S. (2003). Natural dyes in modern textile dyehouses: How to combine experiences of two centuries to meet the demands of the future?. *Journal of Cleaner Production*, 11(5), 499-509. doi:10.1016/S0959-6526(02)00077-X
- Broadbent, A. D. (2001). *Basic principles of textile coloration*.

- Bradford: Society of Dyers and Colourists.
- Čorak, I., Brlek, I., Sutlović, A., & Tarbuk, A. (2022). Natural dyeing of modified cotton fabric with cochineal dye. *Molecules*, 27(3), 1100. doi:10.3390/molecules27031100
- Deveoglu, O. (2020). A review on cochineal (*Dactylopius coccus* Costa) dye. *Research Journal of Recent Sciences*, 9(3), 37-43.
- Kang, H. C. (2020). A study on the brand of eco-friendly bamboo textile materials. *A Journal of Brand Design Association of Korea*, 18(2), 157-160. doi:10.18852/bdak.2020.18.2.151
- Khatrī, Z., Mayakrishnan, G., Hirata, Y., Wei, K., & Kim, I. S. (2013). Cationic-cellulose nanofibers: Preparation and dyeability with anionic reactive dyes for apparel application. *Carbohydrate Polymers*, 9(1), 434-443. doi:10.1016/j.carbpol.2012.08.046
- Kim, G. J., & Lee, J. M. (1988). *염료화학* [Dyeing chemistry]. Seoul: Hyungseul Publishing.
- Kim, Y. K. (2005). *Natural dyeing properties and antibacterial activities of fabrics dyed with cochineal* [Master's thesis, Daegu University]. RISS. <https://www.riss.kr/link?id=T10203007>
- Kim, K. S., & Jeon, D. S. (2009). Cochineal printing using pretreated fabrics with chitosan. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 33(10), 1644-1654.
- Kwak, M.-J., Kwon, J.-S., & Lee, S.-H. (2008). Natural dyeing of chitosan crosslinked cotton fabrics (II): Gallnut. *Journal of the Korean Society for Clothing Industry*, 10(3), 377-384.
- Kwak, M.-J., & Lee, S.-H. (2010). Natural dyeing of chitosan crosslinked cotton fabrics(IV): Cochineal. *Journal of the Korean Society for Clothing Industry*, 12(3), 381-388.
- Lee, Y. W., Jung, Y. S., Son, E. J., & Kim, J. W. (1998). Preparation of cationic agent and its application for improved dyeability of cotton. *Textile Science and Engineering*, 35(9), 577-583.
- Montazer, M., Malek, R. M. A., & Rahimi, A. (2007). Salt-free reactive dyeing of cationized cotton. *Fibers and Polymers*, 8(6), 608-612. doi:10.1007/BF02875997
- Noh, Y. J. (2023). *Cationic modification and natural dyeing of bamboo-cotton blended fabrics* [Doctoral dissertation, Kyungpook National University]. RISS. <https://www.riss.kr/link?id=T16824131>
- Noh, Y.-J., & Lee, S.-H. (2022). A study of the cationization of bamboo-cotton blended fabric. *The Korean Fashion and Textile Research Journal*, 24(2), 260-266. doi:10.5805/SFTI.2022.24.2.260
- Park, S. J. (1997). *A study on the improvement of dyeing property of cotton fabric by cationization treatment* [Master's thesis, Kyungbuk Industrial University]. RISS. <https://www.riss.kr/link?id=T8478442>
- Samanta, A. K., & Konar, A. (2011). Dyeing of textiles with natural dyes. In K. G. Akshay Kumar (Ed.), *Natural dyes* (pp. 29-56). Rijeka, Croatia: InTech. doi:10.5772/21341
- Shore, J. (2002). *Colorants and auxiliaries: Organic chemistry and application properties* (2nd ed.). Bradford: Society of Dyers and Colourists.
- Song, K. H., Yoo, H. J., Lee, H. J., Kim, J. H., Ahn, C. S., & Han, Y. S. (2009). *Textiles*. Seoul: Hyungseul.
- Sutlović, A., Brlek, I., Ljubić, V., & Glogar, M. I. (2020). Optimization of dyeing process of cotton fabric with cochineal dye. *Fibers and Polymers*, 21(3), 555-563. doi:10.1007/s12221-020-9153-z
- Zhang, F., Ren, H. W., & Li, J. P. (2013). Study of the structural properties of microcrystalline cellulose (MCC) particles from distillers grains (DG) by XRD, FTIR and SEM. *Applied Mechanics and Materials*, 295-298, 339-344. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.295-298.339.

(Received March 21, 2026; 1st Revised April 5, 2026;
2nd Revised April 14, 2026; Accepted April 24, 2026)