

# 천연 인디고를 활용한 Digital Textile Printing용 잉크의 성능 분석

## Performance Analysis of Ink for Digital Textile Printing Using Natural Indigo

\*Corresponding author

Jong Hoon Kim

(wklee@koteri.re.kr)

이원경, 성은지, 문종렬, 안인용<sup>1</sup>, 윤광호<sup>2</sup>, 박윤철<sup>3</sup>, 김종훈\*

한국섬유소재연구원, <sup>1</sup>경북테크노파크, <sup>2</sup>주식회사 디티아이, <sup>3</sup>한국생산기술연구원

Won Kyoung Lee, Eun Ji Sung, Joung Ryul Moon, In Yong Ahn<sup>1</sup>,  
Kwang Ho Yoon<sup>2</sup>, Yoon Cheol Park<sup>3</sup>, and Jong Hoon Kim\*

Korea High Tech Textile Research Institute, Yangju, Korea

<sup>1</sup>Gyeongbuk Technopark, Yeongcheon, Korea

<sup>2</sup>Digital Textile Ink Co., Ltd., Gyeongsan, Korea

<sup>3</sup>Korea Institute of Industrial Technology, Ansan, Korea

Received\_October 19, 2021

Revised\_November 05, 2021

Accepted\_November 24, 2021

**Abstract** Natural dyes are more expensive than synthetic dyes and the dyeing process, which is mainly immersion of dye, is complicated. For this reason, relatively small-scale production methods were predominant. However, awareness and interest in environmental sustainability is rising globally, and the use of synthetic dyes causes various environmental problems such as wastewater and CO<sub>2</sub> emission, so the consumption of natural dyes is increasing. In addition, interest in digital textile printing, an eco-friendly dyeing method that can produce products of various designs and uses less water, is growing. In this study, natural indigo dye (*Indigofera tinctoria*) was used as a raw material for Digital Textile Printing ink, and <sup>14</sup>C (Biocarbon) present in it was measured to confirm whether it was derived from natural ingredients. The performance was confirmed by testing the pH, viscosity, electrical conductivity, surface tension, and particle size analysis of natural indigo ink. In addition, the performance of natural indigo DTP ink and printing fabric was evaluated by inspecting the change in color fastness and corresponding index substances before and after digital printing with natural indigo DTP ink on textiles. Through this, the possibility of commercialization of DTP ink and printing fabric using natural indigo was confirmed.

**Keywords** digital textile printing, indigo ink, biocarbon, natural dye, performance evaluation, nonaqueous

Textile Coloration and Finishing

TCF 33-4/2021-12/202-209

© 2021 The Korean Society of Dyers and Finishers

### 1. 서 론

염료는 고대부터 천연물을 원료로 하여 전통적인 염색이 이루어져 왔으며, 섬유산업의 발전과 더불어 염료의 발전 또한 함께 이루어져 왔다. 합성염료는 천연염료에 비하여 염착성과

견뢰도 특성이 좋으며, 상대적으로 저렴한 가격, 대량 생산 공정 등 여러 가지 경제적이고 효율적인 장점으로 인해 비약적으로 발전하였다.

하지만 사용된 합성염료의 폐기에 대한 우려로 인해 환경 및 물질의 지속가능성에 대한 인식이 높아지고 있음에 따라<sup>1,2)</sup>, 제조 및 염색 과정에서 발생하는 각종 폐수와 폐기물에 의한 환경

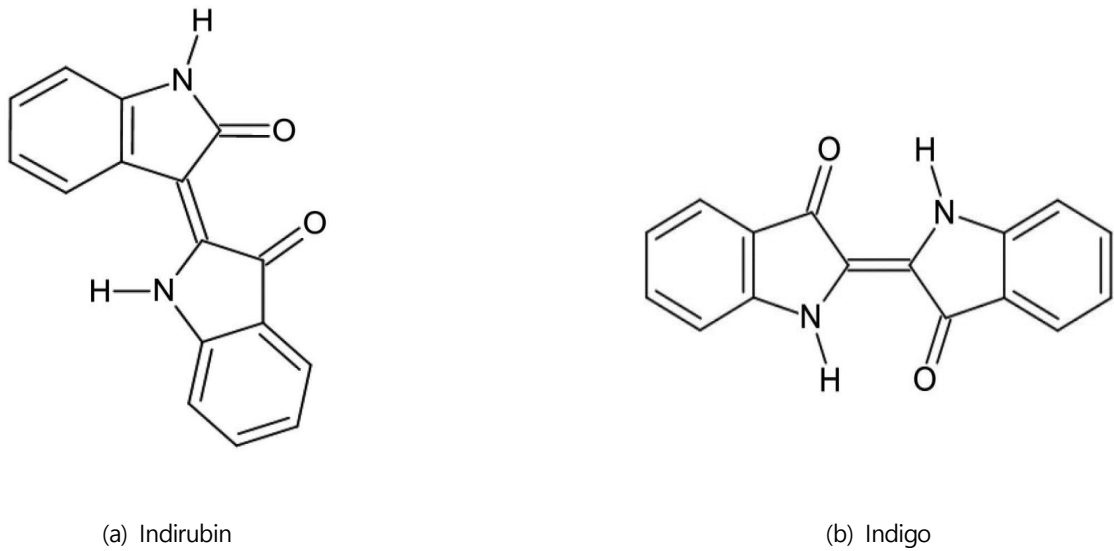


Figure 1. Structural formula of (a) Indirubin and (b) Indigo.

오염 유발과 처리비용 증가, 한계 자원의 제한 등의 문제들이 제기되고 있다<sup>3,4)</sup>. 특히나 섬유제품의 염색은 피부에 직접적으로 닿기 때문에 더욱 엄격한 규제를 받고 있으며, 이로 인한 알레르기 및 피부염 등 인체 유해성에 대한 논란이 끊이지 않고 있다<sup>5-7)</sup>.

이러한 실정에 따라, 세계적 기업들이 모여 ZDHC(Zero Discharge of Hazardous Chemicals)를 설립하고, 지속 가능한 화학을 광범위하게 구현함으로써 섬유 및 의류 산업에서 혁신과 모범 사례를 주도하여 소비자, 근로자 및 환경을 보호하는 것으로 비전을 제시하였다. 이처럼 친환경적인 염료 및 그 공정의 필요성이 세계적으로 대두되고 있다. ZDHC는 투입되는 화학 물질, 폐수, 슬러지 및 최종 제품, 폐기를 포함한 모든 분야에서 유해 화학 물질의 배출을 포함하고 있기 때문에<sup>8,9)</sup> 염료 공정 또한 빠질 수 없는 분야이다. 이에 효과적인 대체안을 만들지 못 할 경우에 산업 경쟁력이 저하 된다. 그 대안으로써 물과 에너지 사용을 최소화한 친환경 염색 공정기술인 DTP(Digital Textile Printing) 등의 비수계 첨단기술의 상용화와 경제성 확보가 대안으로 주목받고 있다<sup>10)</sup>. DTP는 컬러복사기와 유사한 공정으로 섬유 직물에 디자이너의 작업된 내용을 바로 인쇄해 내는 방식으로써 스크린 날염에서 이루어지는 공정과정 및 환경오염을 최소화 한다<sup>11-13)</sup>. 많은 문헌에서 천연염료 및 이를 활용한 염색에 대한 연구를 다루었지만, 천연염료를 활용하여 DTP용 잉크를 제조하고 그 성능을 확인한 연구는 드물다. DTP는 필요한 부분에만 잉크가 뿌려지는 drop on demand 방식이기 때문에 제도, 제판, 조색 공정이 생략되어 공정단축으로 인한 폐수 및 염색에 사용되는 다양한 조제의 양을 줄이는 것이 가능하다.

따라서 기존 날염 공정과 디지털 날염 공정의 LCA(Life Cycle Assessment)를 비교해보면 DTP가 기존 날염에 비해 친환경적임을 알 수 있다<sup>14)</sup>. 이와 동시에 혁신적인 디자인으로 다양한 맞춤형 상품을 생산할 수 있다<sup>15-17)</sup>.

본 연구에서는 천연인디고를 원료로 하여 합성염료보다 친환경적이고, 인체에 보다 안전한 DTP 잉크를 제조하였다. 천연 쪽 염료는 인류의 역사상 가장 오래된 염료의 하나이며 합성 염료가 발명되기 전까지 푸른색 염료로서 널리 이용되어 왔다<sup>18)</sup>. 붉은 색이 가미된 청색부터 붉은색이 전혀 없는 청색까지 다양한 푸른빛을 낼 수 있기 때문에 그 활용도가 높다. 또한 쪽 색소로 알려진 천연 인디고는 세탁과 일광에 대한 견뢰도가 좋아 다른 식물성 염료에 비하여 천연 염료로서 실용성을 지니고 있다.

하지만 다른 식물성 염료와 비교하여서 염색방법이 어렵기 때문에 1880년 합성 인디고가 등장한 이래 1세기 가량 천연 인디고는 그 쓰임이 극도로 위축되었으나 최근 친환경 소재에 대한 수요가 증가하면서 새롭게 관심을 끌고 있다<sup>19-21)</sup>.

현재 시판되는 인디고 염료에는 합성 인디고 염료가 천연인 것처럼 혼재되어 판매되고 있다. 천연염색 제품은 고가에 판매가 이루어지고 있으나 천연염색 여부의 적합성 평가체계가 미비하여 소비자가 구매를 하는데 있어 구매의 신뢰도가 떨어지고 그로 인하여 제품의 판매가 부진해 지면서 천연염색제품의 수요가 더 이상 증가되지 못하고 있다<sup>22)</sup>.

과거부터 Wouters<sup>23,23)</sup>이 인디고의 지표물질인 indirubin, indigo,  $\beta$ -monobromo-indigotin과 6,6-dibromo-indigotin 등을 통하여 천연인디고를 구분한다는 연구를 진행하였다. 이와 같이 인디고는 다양한 지표성분을 가졌으나 indirubin과 indigo(Figure 1)를 제외한 지표성분은 아주 미량 존재 할뿐만 아니라 수확시기, 토양 및 환경 등과 같은 다양한 이유로 그 비율이 달라질 수 있다. 또한 원료에서 염료화 과정에서 미량의 지표성분은 제거 되어 합성 인디고와 차이점을 찾기 힘들다. 또한 시중에 판매되는 천연인디고와 합성인디고의 지표성분을 비교하였을 때 지표물질을 같음을 확인하였고, 분해기작 또한 같음을 P. Novotná<sup>24)</sup>의 연구에서 확인하였다.

본 연구에서는 사용된 천연 인디고 원료의 <sup>14</sup>C(biocarbon)

**Table 1.** Characteristics of DTP printer

Model name	VJ-1604X
Print technology	Drop on micro piezo inkjet technology
Ink volume	220 ml each
Head heights	Low : 1.5 mm, High : 2.5 mm
Max. media width	1625 mm
Max. media length	91.44 m
Max. print width	1615 mm
Max. print length	91.44 m
Print resolutions	1440, 720, 540 dpi
Printer accuracy guaranteed environment	Temperature : 22-30 °C, Humidity : 40-60 %
Natural indigo DTP ink printing environment	Temperature : 28 °C, Humidity : 42 %

확인을 통하여 천연유래 여부를 확인하였다. 방사성동위원소인  $^{14}\text{C}$ 는 자연계에서 진행되는 모든 유기반응과 무기반응에 포함되므로 연대측정에 널리 이용되는 원소이다<sup>25)</sup>. 석유를 기반으로 하는 합성 인디고에는  $^{14}\text{C}$ 이 남아있지 않기 때문에  $^{14}\text{C}$  함량 분석을 통하여 천연물 여부를 확인할 수 있다.

이를 이용해 만든 천연 인디고 잉크의 pH, 점도, 전기전도율, 표면장력 및 입자 크기를 측정하여 DTP잉크로써 요구되는 성능을 평가하였다. 또한 천연인디고 잉크를 활용하여 디지털 프린팅을 하고 지표성분의 차이를 HPLC-MS/MS를 활용하여 확인하였으며, 프린트 된 인디고 염료의 일광 견뢰도, 마찰 견뢰도 및 세탁 견뢰도를 측정하여 내구성을 확인하고 견뢰도 테스트를 반복 진행함에 따라 퇴색하는 DTP 원단의 발색과 색소 성분 함량의 변화에 경향성이 존재하는지 확인하였다.

## 2. 실험

### 2.1 재료

추출에는 HPLC 등급의 Methanol(J. T. Baker, USA), DMSO(dimethyl sulfoxide, Sigma-Aldrich, USA)를 사용하였다. 인디고 지표성분인 indirubin, indigo의 표준물질(Avention, USA)은 HPLC 등급으로 구매하여 사용하였다. HPLC-MS/MS 이동상에 사용된 용매는 HPLC등급의 Acetonitrile, Formic acid(Sigma-Aldrich, USA)를 사용하였다. 증류수는 Milli-Q System로 생산된 3차 증류수를 사용하였다.

### 2.2 천연 인디고 염료 및 잉크

천연 인디고 염료는 Bio Indigo(AMA Herbal, India)를 사용

하였으며, 이를 활용한 천연 인디고 DTP용 잉크는 ㈜디티아이로부터 제공받아 사용하였다.

### 2.3 프린터

Mutoh사의 VJ-1604X 프린터를 사용하여 표준면포 ISO 105-F02(Textiles-Tests for colour fastness-Part F02: Specification for cotton and viscose adjacent fabrics)에 문양을 인쇄하였다(Figure 2).

**Figure 2.** Natural indigo DTP fabric.

DTP에 사용된 프린터의 사양 및 천연인디고 DTP직물의 인쇄 환경을 Table 1과 같이 하였다. 프린팅 후 80 °C 오븐에서 30분간 열처리 후 샘플로 사용하였다.

### 2.4 <sup>14</sup>C(biocarbon)의 측정

천연 인디고 염료의 천연 유래 여부를 확인하기 위하여 Korea Apparel Testing and Research Institute에 의뢰하여 ASTM D 6866-20에 준하여 흑연화 후 Accelerator Mass Spectrometer로 <sup>14</sup>C을 측정하였다. 바이오탄소함량은 식(1)에 따라 계산되었다. 방사성동위원소함량 pMC 값에 대기보정계수 REF 값을 나누고 100을 곱하여 정수로 반올림하였다.

$$\% Biobased = \frac{pMC}{REF} \times 100 \quad (1)$$

where,

pMC : Percentage of modern carbon (pMC), accelerated Mass Spectrometer Measurements

REF : Atmospheric correction factor (REF), 100.0 (When the pMC value is between 100 and 105)

### 2.5 천연 인디고 DTP용 잉크 평가

천연 인디고 DTP 잉크의 상용가능성을 확인하기 위해서 pH, 점도, 전기전도율, 표면장력을 측정하고, 잉크의 평균 입도분석을 하였다.

pH 및 전기전도율 측정에는 Orion™ Versa Star Pro™(Thermo Fisher Scientific Inc., USA)를 사용하였으며 pH는 ISO 3071에 준하여 시험하였고, 5회 측정 후 평균을 계산하였다. 점도를 측정하기 위해서 LVDV-II+P(Brookfield, USA)를 사용하여 ISO 2884-1에 준하여 시험하였으며, 100 rpm에서 5회 측정 후 평균을 계산하였다. 표면장력 측정에는 Drop Shape Analyzer(KRUSS, Germany)를 사용하여 수적법(Pendant Drop Method)으로 5회 측정 평균값을 계산하였다. 천연 인디고 염료 및 DTP용 잉크 입자 크기를 측정하기 위해서 레이저 회절 입도분석기 Mastersizer 2000(Malvern, UK)를 사용하여 ISO 13320에 준하여 시험하였다.

### 2.6 견뢰도 평가

천연 인디고 DTP 직물의 세탁견뢰도(Color fastness to washing)를 측정하기 위하여 DL-2002(Daelim starlet Co., Ltd, Korea)를 사용하여 ISO 105-C10에 준하여 1회, 2회, 3회 반복 시험하였다. 일광견뢰도(Color fastness to light)를 측정하기 위하여 Ci-4000(AMETEK, Inc., USA)를 사용하여 ISO 105-B02에 따라 제논아크 광원으로 20시간, 40시간, 60시간 시험하였다. 직물의 마찰견뢰도(Color fastness to rubbing)를 측정하기 위하여 CM-5(AMETEK, Inc, USA)를 사용하여 ISO 105-X12에 따라 시험하였다.

### 2.7 지표성분 추출

천연 인디고 DTP 직물을 5 mm × 5 mm 크기로 자른 후, 단계추출을 하였다. 1차 추출로 0.25 g의 천연 인디고 DTP 직물에 Dimethyl sulfoxide 0.5 ml를 가한 후 70 °C 초음파 수조에서 30분 추출 후 2차 추출로 methanol을 4.5 ml 분주하여 70 °C 초음파에서 30분 추출하였다. 이후 0.22 μm 실린지 필터를 사용하여 거른 후 Methanol로 100배 희석하였다. 분석 전까지 만들어진 시료는 4 °C로 보관하였다.

### 2.8 HPLC-MS/MS 분석

육안판정을 통한 견뢰도 등급을 판정하였으며, 추가적으로 지표성분의 변화량을 확인해보기 위하여 세탁견뢰도, 일광견뢰도를 측정한 직물에서 추출하여 지표성분인 indirubin과 indigo의 함량을 HPLC-MS/MS를 사용하여 확인하였다.

분석에 사용된 HPLC-MS/MS 분석은 QTrap® 5500(AB Sciex, USA)을 사용하였으며 Hypersil GOLD C18(2.1 × 100 mm, 1.9 μm) 컬럼을 사용하였다. 컬럼오븐의 온도는 35 °C로 하였으며 이동상은 (A) 0.1 % Formic acid와 (B) acetonitrile을 사용하였다. 이동상 기울기는 0-1 min 90 % A, 1-5 min 50 % A, 5-10 min 30 % A, 10-11 min 90 % A, 11-12 min 90 % A로 진행되었다. 유속은 0.3 mL/min, 시료는 3.0 μL 주입하였다. 추출량 비교를 위한 샘플은 전기분무 이온화(electrospray ionization, ESI) 방법으로 이온화하였으며 positive mode에서 4500V의 ionspray voltage(IS)를 가했다. Nebulizing gas와 drying gas는 50 psi로 설정하였다.

Table 2. Optimized HPLC-MS/MS condition

	Precursor ion	Product ion	Dwell time	Index substance	DP	EP	CE	CXP
Positive	263.046	219.1	10	indirubin	206	10	37	18
	262.963	206.1	10	indigo	26	10	47	26

\* DP : declustering potential, EP : entrance potential, CE : collision energy, CXP : collision cell exit potential

그 외의 모분자 이온 및 조각 이온에 대한 조건은 Table 2에 나열하였다. 직선성을 검증하기 위해 1~50 µg/L 농도 범위에서 1, 2, 5, 10, 20, 50 µg/L 농도의 표준용액을 3회 반복하여 실험을 진행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 천연염료의 바이오 탄소함량

천연 인디고 염료의 천연 유래확인을 위하여 <sup>14</sup>C(biocarbon)의 함량을 확인해 보았다. 현대 탄소에 대한 백분율(percent Modern Carbon)이 103.71%로 나타났다. 이 값을 대기 보정 인자(atmospheric correction factor)로 보정한 결과 바이오 탄소함량이 100%로 나타나 본 연구의 DTP인크 제조에 사용된 인디고 분말은 100% 천연 유래 염료로 확인되었다. 바이오 탄소 함량 측정 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Results of <sup>14</sup>C(biocarbon) content

Category	Content (%)
Percent Modern Carbon (pMC)	103.71
<sup>14</sup> C content	100

#### 3.2 천연 인디고 DTP용 잉크

잉크의 pH 값은 7.50±0.11으로 측정되었으며, 점도 값은 4.79±0.02으로 측정되었다. 잉크의 전기전도율 값은 2.20±0.07으로 측정되었으며, 표면장력 값은 26.60±0.32으로 측정되었다. 입도분석 결과 입자의 크기가 0.142 µm부터 0.283 µm까지 균일한 분포를 가지며 피크의 형태가 단일 피크로 나타났

Table 4. Comparison of performance requirements with natural indigo DTP dye

Category	Natural indigo DTP dye	Required performance
pH	7.50±0.11 <sup>1)</sup>	7-8
Viscosity (cP)	4.79±0.02	3-6
Conductivity (mS/cm)	2.20±0.07	≤ 4
Surface tension (mN/m)	26.60±0.32	20-40
Average particle size (µm)	0.185±0.01	≤ 1

<sup>1)</sup> Mean ± standard deviation (n = 5).

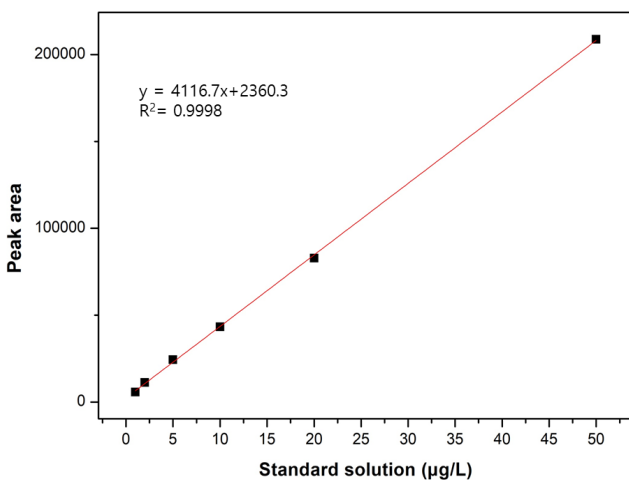


Figure 3. Calibration curve of indirubin.

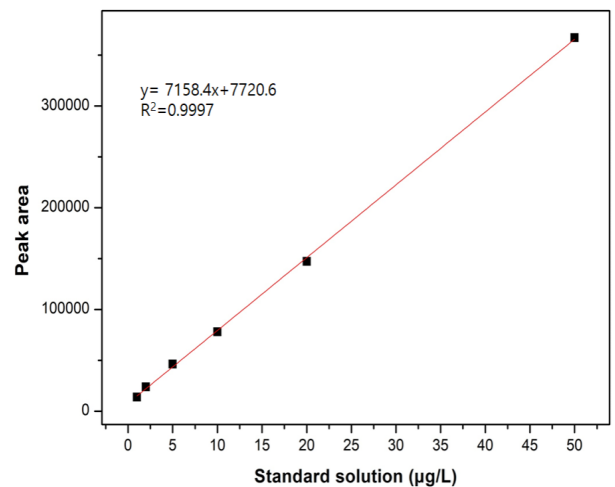


Figure 4. Calibration curve of indigo.

**Table 5.** Retention time, coefficient of determination, LOD, LOQ, %RSD of indirubin and indigo standards by HPLC-MS/MS

	Retention time (min)	Coefficient of determination	LOD (µg/L)	LOQ (µg/L)	%RSD
Indirubin	7.410	0.9998	0.602	1.807	5.580
Indigo	6.990	0.9997	1.221	3.664	5.805

**Table 6.** Color fastness evaluation and index substance content according to repeated tests

Category	Grade	Index substance content (mg/L)		
		Indirubin	Indigo	
	Untreated	0.497	47.663	
Color fastness to washing (1st trial)	Acetate	0.476	44.980	
	Cotton			
	Polyamide			
	Polyester			
	Acryl			
	Wool			
Color fastness to washing (2nd trial)	Acetate	0.453	43.697	
	Cotton			
	Polyamide			
	Polyester			
	Acryl			
	Wool			
Color fastness to washing (3rd trial)	Acetate	0.422	43.503	
	Cotton			
	Polyamide			
	Polyester			
	Acryl			
	Wool			
Color fastness to light (20 h)		Above 4	0.470	47.428
Color fastness to light (40 h)		Above 4	0.442	46.948
Color fastness to light (60 h)		Above 4	0.438	46.279
Color fastness to rubbing	Dry	4-5	-	-
	Wet	4	-	-

다. 5회 측정 결과, 평균 입자 크기는  $0.185 \pm 0.01$ 으로 미세한 입자를 가짐으로써 Table 4에 나타난 적정 범위를 벗어난 결과 값이 없었으며 DTP용 잉크로 사용 적합함을 확인하였다. 적정 범위는 기존 시판되는 DTP용 잉크 제품의 성능을 평가하여 도출하였다.

### 3.3 인디고 DTP 직물

천연인디고 DTP용 잉크로 인쇄한 직물의 세탁견뢰도를 1회, 2회, 3회하여 측정하였다. ISO 105-F10 표준포 이염에서 4-5등급이었고, 시료의 변색 또한 4-5등급을 나타내었다. 천연인디고 DTP용 잉크로 인쇄한 직물의 일광견뢰도를 20시간, 40시간, 60시간 측정하였다. 모든 경우에서 모든 시료가 4등급 이상으로 나타내었다. 마찰견뢰도의 경우에는 건조시 4-5등급, 습윤시 4등급이 나왔으며, 같은 부위를 재반복해서 마찰했을 경우에는 건조, 습윤 두 경우 모두 4-5등급을 나타내었다.

육안판정과 지표성분 변화량 확인을 위한 HPLC-MS/MS 분석에서, 직선성 검증결과를 Figure 3과 Figure 4에 도시한 바와 같이 표준 검량선을 얻었다. 표준물질의 농도와 분석된 peak 면적값의 결정계수( $R^2$ )는 0.999 이상의 높은 직선성을 보였다.

검출한계와 정량한계는 반응의 표준편차와 검량선의 기울기에 근거하여 산출하였고 정밀도(%RSD)를 측정한 결과는 Table 5와 같다. %RSD 값이 5.5-5.8으로 양호한 결과값을 보였다.

견뢰도 시험의 결과 및 그에 따른 지표성분의 변화를 Table 6에 나타내었다. 단위는 희석배수를 고려하여 mg/L로 환산하여 나타내었다. 처리하지 않은 시료의 indirubin 함량은 0.497 mg/L, indigo는 47.663 mg/L이었으며, 세탁견뢰도 1회의 지표물질 함량은 indirubin 0.476 mg/L, indigo 44.980 mg/L, 2회 반복세탁에서는 indirubin 0.453 mg/L, indigo 43.697 mg/L, 3회 반복세탁에서는 indirubin 0.422 mg/L, indigo 43.503 mg/L으로 나타났다. 일광견뢰도 20시간 시험 지표물질 함량은 indirubin 0.470 mg/L, indigo 47.428 mg/L, 40시간 시험에서는 indirubin 0.442 mg/L, indigo 46.948 mg/L, 60시간 시험에서는 indirubin 0.438 mg/L, indigo 46.279 mg/L으로 나타났다. 1회, 2회, 3회 반복 시험한 세탁견뢰도 시험 및 20시간, 40시간, 60시간 측정된 일광견뢰도 시험편 모두 미세한 감소가 있었으나, indirubin과 indigo 함량의 큰 차이가 없음을 확인하였다. 세탁 및 일광 견뢰도 특성에서도 육안으로 큰 변화가 없었으며 지표물질의 함량 또한 크게 변화하지 않아 견뢰도 특성과 지표물질 함량의 경향성이 동일하게 나타났다.

## 4. 결 론

DTP용 잉크 제조에 사용된 천연 인디고 염료의  $^{14}\text{C}$ (biocarbon) 함량 확인을 통하여 천연유래 여부를 확인하였다. 천연 인디고 잉크의 pH, 점도, 전기전도율, 표면장력, 입자 분포를 통한 평균입자를 측정하여 DTP잉크로써 요구되는 성능을 평가하였다.

제조된 DTP용 잉크의 pH, 점도, 전기 전도율, 표면장력, 입

도분석 시험한 결과 pH값은 7.5, 점도는 4.79 cP, 전기전도율은 2.2 mS/cm, 표면장력은 26.6 mN/m으로 측정되었으며, 입자의 크기가 0.142  $\mu\text{m}$ 부터 0.283  $\mu\text{m}$ 까지 평균 입도는 0.185  $\mu\text{m}$  측정 되었다. 모든 결과는 DTP 프린터에 요구되는 범위 내 인 것을 확인하였다.

제조된 DTP용 잉크를 활용하여 디지털 프린팅을 하고 프린트 된 인디고 염료의 일광견뢰도, 마찰견뢰도 및 세탁견뢰도를 측정하여 내구성을 확인하였고, 그에 따른 지표성분 함량의 변화를 분석하였다. 견뢰도 특성에서 4급 이상의 우수한 결과를 보였으며, 지표성분의 차이를 HPLC-MS/MS를 활용하여 분석한 지표성분의 함량 또한 큰 변화가 없음을 확인하였다. 이러한 결과를 통해 천연 인디고를 활용한 DTP용 잉크가 삼원색 중 하나인 Cyan 색으로써의 상용화 가능성을 확인하였다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 원천기술개발사업의 STEAM 연구사업 중 전통문화융합연구사업(NRF-2017M3C1B5018878)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## References

1. M. K. Kim and T. M. Kim, A Study on the Deep Color for the Wool Fabrics Dyeing using Natural Dyestuffs, *The Research Journal of the Custome Culture*, **25**(5), 669(2020).
2. H. L. Nguyen and T. Bechtold, Thermal Stability of Natural Dye Lakes from Canadian Goldenrod and Onion Peel as Sustainable Pigment, *Journal of Cleaner Production*, **315**, 128195(2021).
3. S. H. Yoon, Industrial Value and Future Prospects of Natural Dyeing, *Journal of Dyeing and Finishing*, **4**, 47(2009).
4. S. Choi, K. H. Cho, J. W. Namgoong, J. Y. Kim, E. S. Yoo, W. S. Lee, J. W. Jung, and J. Choi, The Synthesis and Characterisation of the Perylene Acid Dye Inks for Digital Textile Printing, *Journal of Dyes and Pigments*, **163**, 381(2019).
5. M. L. Gulrajani, Present Status of Natural Dyes, *Indian Journal of Fiber and Textile Research*, **26**, 191(2001).
6. N. R. Ha, S. H. Oh, S. H. Lee, Y. J. Jung, J. Y. Chol, and S. H. Jung, Institutional Management Plan for Hazardous Chemical Substances in Textile Products, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **43**(5), 390(2021).
7. D. D. Santis and M. Moresi, Production of Alizarin Extracts from *Rubia tinctorum* and Assessment of Their Dyeing Properties, *Journal of Industrial Crops and Products*, **26**, 151(2007).
8. J. Y. Kim, Study on Selecting Criteria of Hazardous Chemicals for Sustainable Business on Korean Textile Industry, M.S. Thesis, University of Science and Technology,

- 2018.
9. U. Nimkar, Sustainable Chemistry: A Solution to the Textile Industry in a Developing World, *Journal of Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, **9**, 13(2017).
  10. <https://www.kbmaeil.com/news/articleView.html?idxno=805718>, 2021.04.06.
  11. H. J. Kim, J. P. Hong, D. S. Kwak, H. J. Seo, and H. J. Kim, Color and Fastness Properties of Nylon Transfer Digital Textile Printing(DTP) using Acrylic-based Polymer as Pre-treatment Agent, *Textile Coloration and Finishing*, **31**(2), 88(2019).
  12. S. J. Kim and K. M. Choi, The Study of the Color Reproducibility and the Color Fastness of Nano Inkjet DTP(Digital Textile Printing), *Journal of Fashion Business*, **16**(2), 138(2012).
  13. H. S. Park, The Study of Nano-DTP(Digital Textile Printing) for Development of Environmentally Friendly Materials: Focused on the Durability and Evilin the Test of Nano-DTP, *Journal of Digital Design*, **14**(1), 651(2014).
  14. S. E. Razego', M. I. Glogar, J. Peran, T. Ivankovic', and C. Chaussat, Plasma Pre-treatment and Digital Ink Jet Technology: A Tool for Improvement of Antimicrobial Properties and Colour Performance of Cellulose Knitwear, *Journal of Materials Today: Proceedings*, **30**(2), 247(2020).
  15. G. Savvidis, E. Karanikas, N. Nikolaidis, I. Eleftheriadis, and E. Tsatsaroni, Ink-jet Printing of Cotton with Natural Dyes, *Journal of Coloration Technology*, **130**, 200(2013).
  16. S. Y. Park, Research on Digital Color Reproduction Process Technology with DTP, M.S. Thesis, Ewha Womans University, 2011.
  17. Y. S. Chung, A Comparative Study of Digital Textile Printing and Traditional Screen Printing, *Journal of Korean Society Design Science*, **6**(2), 49(2004).
  18. W. Yang, Study on the Dye Ability and Colorfastness of Commercial Raw Indigo Powder Dye in Cotton Fabrics Dyed with Different Dyeing Conditions, M.S. Thesis, Incheon National University, 2011.
  19. W. S. Yoo and C. S. Ahn, The Effects of Indigotin and Indirubin Pigments on the Dyeability and the Color of Silk Dyed with Indigo and Indirubin Mixed Dye, *Journal of Korean Society of Clothing and Textiles*, **41**(5), 914(2017).
  20. Y. S. Shin, A. R. Cho, and D. I. Yoo, Natural Indigo Dyeing of Cotton Fabric - One-step Reduction/dyeing Process, *Textile Coloration and Finishing*, **22**(2), 101(2010).
  21. L. Pattanaik, S. N. Naik, P. Hariprasad, and S. K. Padhib, Influence of Various Oxidation Parameter(s) for Natural Indigo Dye Formation from *Indigofera tinctoria L. biomass*, *Journal of Environmental Challenges*, **4**, 100157(2021).
  22. W. K. Lee, J. H. Kim, M. J. Kim, and Y. C. Park, Analysis of Natural Pigment Indicator Components of Natural Dyed Cotton Fabrics using HPLC-DAD-MS, *Textile Coloration and Finishing*, **32**(4), 255(2020).
  23. J. Wouters and A. Verhecken, High-performance Liquid Chromatography of Blue and Purple Indigoid Natural Dyes, *Journal of Coloration Technology*, **107**(7-8), 266(1991).
  24. P. Novotná, J. J. Boon, J. Horst, and V. Pacáková, Photodegradation of Indigo in Dichloromethane Solution, *Journal of Coloration Technology*, **119**(3), 121(2003).
  25. Y. K. Koh, D. S. Bae, C. S. Kim, and S. Y. Kim, Radiocarbon Analysis of Water Using Direct CO<sub>2</sub> Absorption Method, *Journal of Korean Society of Soil and Groundwater Environment*, **6**(2), 15(2001).

### Authors

- 이원경** 한국섬유소재연구원 책임연구원  
**성은지** 한국섬유소재연구원 주임연구원  
**문종렬** 한국섬유소재연구원 주임연구원  
**안인용** 경북테크노파크 선임연구원  
**윤광호** 주식회사 디티아이 대표  
**박윤철** 한국생산기술연구원 수석연구원  
**김종훈** 한국섬유소재연구원 수석연구원