

# 반응성 안료의 DTP공정 적용에 따른 HTPE원단의 태 시뮬레이션 및 염색성 연구

## Simulation of the Stiffness of HTPE Fabric according to the Application of Reactive Pigment DTP Process and Dyeability

\*Corresponding author

Jin-Seok Bae  
(jbae@knu.ac.kr)

심지현<sup>1,2</sup>, 이종혁<sup>2</sup>, 유성훈<sup>2</sup>, 권기환<sup>2</sup>, 배진석<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 섬유시스템공학과, <sup>2</sup>다이텍연구원 섬유가상공학연구센터

Jee-hyun Sim<sup>1,2</sup>, Jong-hyuk Lee<sup>2</sup>, Seong-Hun Yu<sup>2</sup>, Gi-Hwan Gwon<sup>2</sup>,  
and Jin-Seok Bae<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Textile System Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea

<sup>2</sup>DYETEC, Computer Aided Engineering(CAE) Center, Daegu, Korea

Received\_November 05, 2021

Revised\_November 23, 2021

Accepted\_November 30, 2021

Textile Coloration and Finishing

TCF 33-4/2021-12/210-219

© 2021 The Korean Society of  
Dyers and Finishers

**Abstract** It was intended to conduct basic research to reduce development lead time and cost consumed in DTP process technology development. For the simulation of HTPE fabric, virtual engineering software was used to generate fiber model, yarn model, fabric model, and finite element model of HTPE fiber. The purpose of this study is to analyze the correlation and error rate between the stiffness numerical analysis results according to the direct DTP process parameters using reactive dyes in the generated finite element model and the stiffness measurements of the actual sample according to ASTM D1388. And, after dyeing the HTPE plain fabric according to the direct DTP process parameters, we want to analyze the dyeability of the HTPE fabric fabrics according to the direct DTP process parameters through the color fastness analysis. When looking at the results of the analysis of the finite element model, a higher value was shown when the distance between the nozzle and the fabric was 3mm than when the distance was 10mm. When the distance between the nozzle and the fabric was 10mm and 7mm, the reactive dye did not penetrate sufficiently, resulting in poor clarity when viewed with the naked eye.

**Keywords** *hpe(high tenacity polyethylene), direct dtp(digital textile printing), stiffness of fabric, finite element analysis, reactive pigment, simulation*

### 1. 서 론

최근 국내 수중, 수상 레저스포츠 제품산업은 고부가가치 산업으로 시장 선점 및 대규모의 경쟁이 치열한 상황이며, 해양 레저스포츠와 관련된 의류산업분야의 제품은 대부분 수입(해외 전문 브랜드 위주)에 의존하고 있어, 기술 개발을 통해 국내 기술 및 제품경쟁력 확보가 시급한 상황이다<sup>1-4)</sup>. 수중, 수상 레저

스포츠 제품은 수상 및 수중에서 발생하는 위급한 상황에서 인체 생리 기능을 보호(Protection)하고, 피해를 최소화하여 수중에서의 체온유지(warmth), 활동성(comfort)을 극대화하기 위한 복합적 기능을 요구한다. 이러한 인체보호, 체온유지, 감성적 복합성능을 발현하기 위하여 강도나 내구성이 우수한 고강도 폴리에틸렌(high tenacity polyethylene, HTPE) 소재가 최근 각광을 받고 있다<sup>5-7)</sup>.

HTPE 소재는 높은 강도를 가지고 있고, 결정구조가 조밀하

**Table 1.** Physical property information for HTPE fiber modeling

Material	Linear density (tex)	Diameter (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Friction coefficient (-)
HTPE fibre	0.299	0.02	0.95	0.1

고 긴밀하게 형성되어 있어 염색 시 염료가 결정구조 내부로 쉽게 침투되지 못하고, 기능이 없어 염료의 염착이 원활하게 이루어지지 않으므로, 염색이 매우 어려운 문제점을 가지고 있다<sup>8-12)</sup>. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 염료의 소수성이 하나의 중요한 인자로서 작용하며, 소수성이 높은 솔벤트 염료(solvent dye)를 이용하여 염색을 진행하거나<sup>13,14)</sup>, 50~60°C에서 분산염료를 첨가하고 천천히 온도를 증가시켜 133°C에서 30분간 염색을 진행하여 HTPE 소재를 염색하는 연구가 진행되었다<sup>15,16)</sup>. 그리고 디지털 텍스타일 프린팅(digital textile printing, DTP) 공정 중 여러 색상의 노즐을 통해 직물에 기계적으로 분사하는 방식인 direct DTP 공정을 통하여 HTPE 소재의 염색을 진행하는 연구가 진행된 바 있다<sup>17,18)</sup>.

DTP 공정은 환경문제에 대응할 차세대 대표 기술로서 많은 주목을 받으며 연구가 활발히 일어나고 있다<sup>19-21)</sup>. DTP 공정 기술은 환경오염 및 노동력을 절감해 주고, 소비자의 요구에 맞춰 색상 표현이 향상된 제품을 다양하게 생산하게 해주며, IT기술과 접목된 융합기술로써 4차 산업혁명에 적용되어 자동적, 지능적으로 제어될 DTP 공정 기술을 볼 수 있을 것으로 예상된다<sup>22,23)</sup>. 하지만 직물의 종류에 따라 사용되는 안료가 각각 다르기 때문에 적용되는 DTP 공정 기술이 표준화되어 있지 않은 실정이다<sup>24,25)</sup>. 반응성 안료를 사용하는 direct DTP 공정의 경우, 노즐(nozzle)과 원단사이의 거리, 안료 분사 속도, 후처리 가공 등의 공정 변수에 따라 원단의 염색성 및 태(stiffness)의 차이가 매우 크다. 원단의 태는 천을 손으로 쥐었을 때 느끼는 반발성, 탄성, 가소성을 종합해서 표현하는 감촉으로써, 산업군(생활용 의류/레저 등)에 제품이 적용되기 위해서 중요한 요소 중 하나이다.

본 연구에서는 수중, 수상 레저스포츠에 사용되는 HTPE 소재의 색상발현을 위하여 direct DTP 공정을 진행할 때, DTP 공정 변수에 따른 HTPE 원단의 태 해석결과와 실제 HTPE 원단의 태 측정치를 비교하여 HTPE 원단의 direct DTP공정 기술개발에 소모되는 개발 lead time과 개발 비용을 절감하기 위

한 기초연구를 실시하고자 하였다.

HTPE 원단의 태 해석(simulation)을 위해 가상공학 소프트웨어(soft ware)를 활용하여 HTPE 섬유 fibre 모델, yarn 모델, 직물 모델, 유한요소 모델을 생성하였다. 생성된 유한요소 모델에 반응성 안료를 사용하는 direct DTP 공정 변수에 따른 태(stiffness) 수치 해석결과와 ASTM D1388에 의거한 실제 샘플의 태 측정치 간의 상관성 및 오차율을 분석하고자 한다. 그리고 direct DTP 공정 변수에 따라 HTPE 평직물에 염색을 실제로 진행한 후에 염색건뢰도 분석을 통하여 direct DTP 공정 변수에 따른 HTPE 직물 원단의 염색성을 분석하고자 한다.

## 2. 유한요소 모델 생성

### 2.1 Yarn 모델 생성

본 연구에서는 HTPE 섬유 제직물의 DTP 공정 변수에 따른 직물의 태 수치를 비교하는 것을 목적으로 하며, DTP 공정 변수는 반응성 안료를 분사하는 노즐과 원단과의 거리로 설정하였다. HTPE 섬유 제직물의 태 수치를 비교하기 위해서는 우선 HTPE섬유의 기본 물성을 적용한 fibre 모델을 생성하여야 하며, fibre 모델을 정의하기 위하여 WiseTex(KU leuven, Belgium) 소프트웨어를 사용하였다. HTPE fibre 모델 생성에 필요한 HTPE 섬유의 기본 물성치는 Table 1에 나타내었다.

생성된 fibre 모델을 이용하여 HTPE yarn 모델을 생성하였으며, yarn 모델 생성시에 필요한 섬유 단면 형상 및 크기 정보는 Table 2에 나타내었다. 필라멘트사의 형태 및 직경은 광학현미경(SMZ-18, NIKON, Japan)으로 관찰한 이미지를 활용하여 측정하였다.

### 2.2 직물 모델 및 유한요소 모델 생성

생성된 fibre 모델 및 yarn 모델을 바탕으로 HTPE 직물 모

**Table 2.** Physical property information for modeling HTPE yarn

Material	Denier	Warp/Weft (-)	Number of filament (EA)	Yarn diameter (mm)	
				Horizontal	Vertical
HTPE fibre	75	Warp	36	0.10	0.30
		Weft	36	0.10	0.25

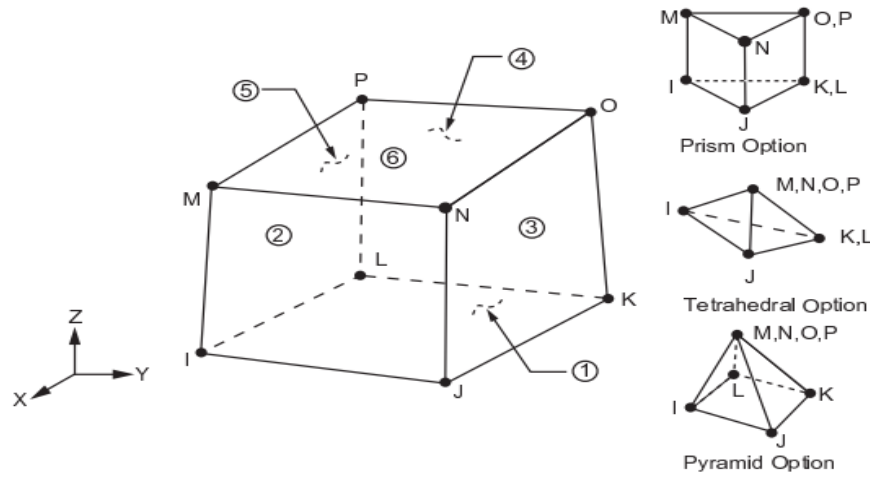


Figure 1. HTPE finite element model SOLID185.

델을 생성하기 위해서는 다음의 파라미터(parameter)가 추가적으로 필요하다.

- 경사/위사 간격(Was/Wfs)
- 직물의 두께(T)
- 경사/위사의 폭(Wad/Wfd)과 단면형상

상기 파라미터 값을 구하기 위하여 HTPE 직물의 표면 및 단면을 광학현미경으로 관찰하였고, HTPE yarn 모델을 위사와 경사에 모두 적용한 평직물 모델을 생성하고자 하였다. HTPE 평직물 모델은 fibre 및 yarn 모델과 동일하게 WiseTex(KU leuven, Belgium) 소프트웨어를 사용하였다. HTPE 평직물의 유한요소모델을 생성하기 위하여 Figure 1과 같이 8절점 유한요소인 SOLID185요소를 사용하여 유한요소 모델을 생성하였고, 가상공학 소프트웨어인 ANSYS(ANSYS Inc., USA)를 사용하여 해석을 수행하고 결과를 분석 및 평가하였다.

### 2.3 경계조건 설정

생성된 유한요소 모델의 태를 분석하기에 앞서, 반응성 안료를 분사하는 노즐과 HTPE 원단의 거리를 10mm, 7mm, 5mm, 4mm, 3mm로 설정하여 반응성 안료가 분사된 HTPE 유한요소 모델을 형상화한 후에, HTPE 유한요소 모델 태 측정을 위한 경계조건을 설정하였다. 반응성 안료는 해상도 720×720 dpi의 반응성 안료(Kyung-In Synthetic Corporation, Korea)를 사용하였고, 입자 크기는 약 65µm이다.

직물의 태 측정을 위한 실제 실험 모식도는 Figure 2와 같으며, 해당 모식도에 의거하여 HTPE 평직물 유한요소 모델에 동일한 하중을 설정하였다. HTPE 평직물 유한요소모델의 태 측정 simulation을 위하여 평직물의 하단에 45° 방향으로 하중을 인가하고, 그 외 부분은 고정하기 위하여 fix condition을 설정하였다.

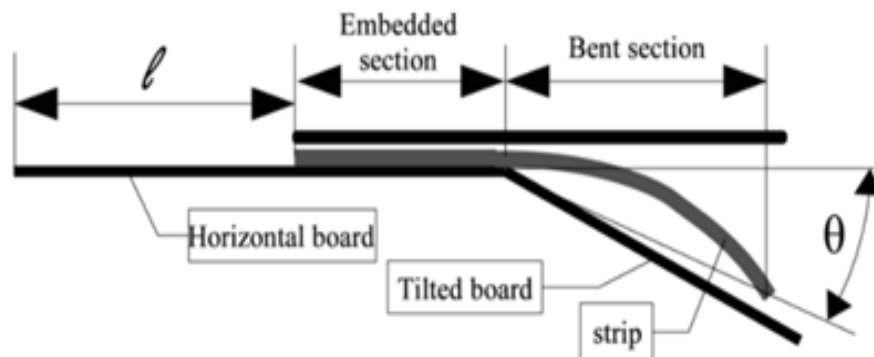


Figure 2. Schematic diagram of measuring the stiffness of HTPE fabric.

### 2.4 해석 결과와 실제 측정치의 비교·분석

HTPE 평직물 유한요소모델의 태 해석 결과와 실제 HTPE 평직물의 태 측정 결과의 상관치를 분석하기 위하여 HTPE 평직물의 태를 ASTM D1388 규격에 의거하여 측정하였으며, HTPE 평직물의 태를 측정하기 위한 수식은 식(1) 및 식(2)와 같다.

$$G = WC^3 \times 10^3 mg/cm \tag{1}$$

where,

C : Bending length

W : Fabric weight in gram per square cm

G : Flexural rigidity

$$q = (12 \times G \times 10^{-6}) * /g^3kg/cm^2 \tag{2}$$

where,

q : Bending modulus

G : Flexural rigidity

g : Fabric thickness

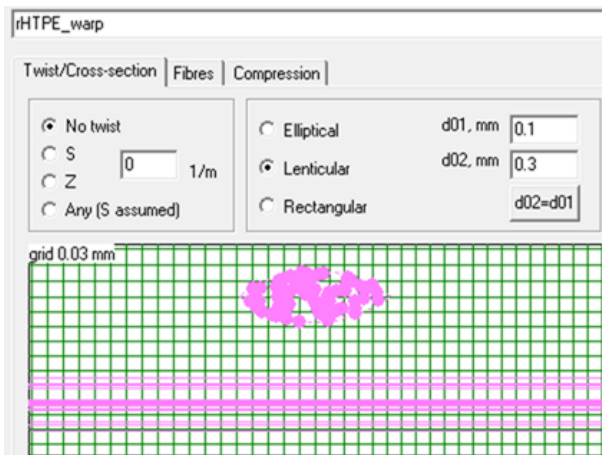
원단의 태 측정을 위하여 필요한 수치인 원단의 두께는 광학 현미경을 사용하여 원단의 단면을 관찰한 뒤에, 측정 값을 얻어 냈다. 그리고 원단의 중량은 전자저울을 이용하여 측정하였다.

### 2.5 DTP공정 진행 및 염색 견뢰도 분석

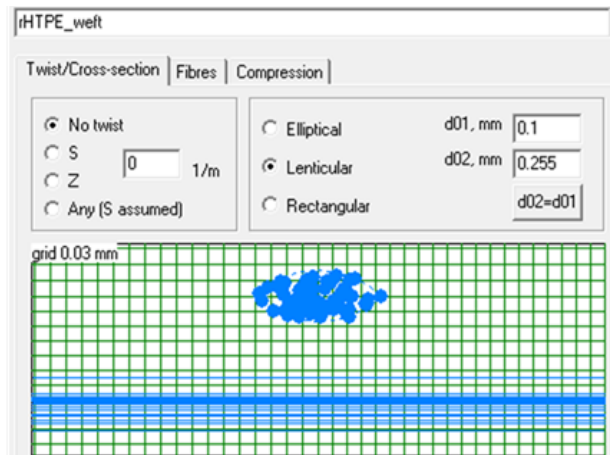
HTPE 평직물 유한요소 모델의 태 해석 결과와 실제 태 측정치와의 비교·분석을 통하여 확립된 DTP공정 변수인 노즐과 원단사이의 거리를 적용하여 DTP공정을 진행하였다.

HTPE 원단에 전처리제(Polyacrylic acid, Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Code : A1, Japan)를 2.5wt.%, 알칼리제(KOH, DAEJUNG, Korea)를 3wt.%, 습윤제로는 Urea (Namhae Chemical Co., Ltd., Korea)을 20wt.%, 증류수 등을 혼합한 후, Homogenizer(IKA, T25 basic, Germany)를 사용하여 상온에서 RPM 5,000으로 2분 동안 교반시켰다. 혼합된 전처리 조제를 HTPE 원단에 padding curing 방식으로 진행하였으며, 압력은 2bar, 속도는 2m/min으로 squeezing하여 pick-up rate를 70 ~ 80%로 하였다. 그리고 Tenter(Mathis, Lab., Italy)를 이용하여 100°C, 30s/min 동안 건조하였다.

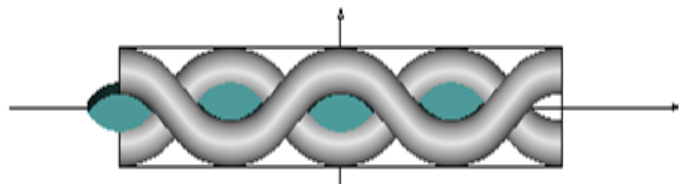
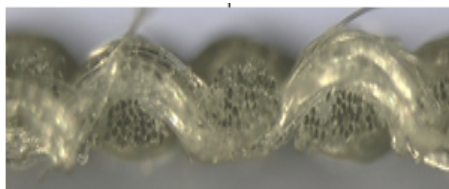
DTP 공정은 피에조 잉크젯 프린터(DTST, DTP 2606, Korea)를 사용하여 해상도 720×720 dpi 반응성 안료 (Kyung-In Synthetic Corporation, Korea) Black, Yellow,



(a) HTPE warp yarn model



(b) HTPE weft yarn model



(c) cross section of HTPE yarn

Figure 3. HTPE yarn modeling and cross-sectional shape observation results.

**Table 3.** Information on physical properties required for modeling HTPE plain fabric

Dimension	Warp space/ Weft space (mm)	Wad/Wfs (mm)	Thickness of fabric (mm)	Total length of unit cell (mm)	Total width of unit cell (mm)
HTPE fabric model	0.462/0.429	0.3/0.3	0.352	6	6

Red, Blue 색상을 출력하였고, 염색견뢰도 평가는 blue 색상에 대해 진행하였다. 출력 후 HTPE 소재의 열적 특성을 고려하여 증열 설비(DYS-T21, Daeyang Machinery Co., Ltd., Korea)의 증열 조건을 110°C에 10min로 설정한 후에 열풍 건조 공정을 진행하였다. 열풍 건조 후에, HTPE 평직물의 물견뢰도, 해수견뢰도, 일광견뢰도를 다음과 같은 방법으로 평가하였다.

물견뢰도 시험법은 KS K ISO 105-E01, 해수견뢰도 시험법은 KS K ISO 105-E02, 일광견뢰도(Xenon ARC법) 시험법은 KS K ISO 105-B02로 평가를 진행하였다. HTPE 원단은 수중, 수상 레저스포츠용 제품에 적용되는 소재로써, 물견뢰도, 해수견뢰도, 일광견뢰도는 매우 중요한 요소이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Yam 모델 생성 결과

HTPE 물성 정보를 바탕으로 HTPE fibre 모델, yarn 모델 생성을 진행하였으며, HTPE yarn 모델은 광학현미경 관찰 결과에 따라 타원형(elliptical)로 정의하였다. d01과 d02는 각각 yarn의 가로, 세로 길이를 나타낸다. HTPE yarn 모델 생성

결과는 Figure 3에 나타내었다.

#### 3.2 직물 모델 및 유한요소 모델 생성 결과

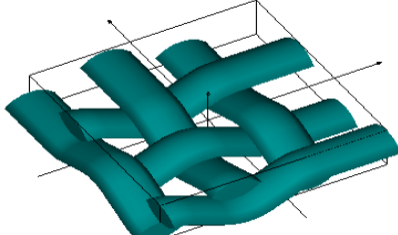
HTPE 직물 모델 생성에 필요한 세 가지 파라미터 값은 광학 현미경을 이용하여 실측하였고, 각 측정 값은 Table 3에 정리하였다. HTPE 직물 모델 측정치 중, unit cell이란 직물 모델을 구성하는 반복 단위로써, 전체 직물 모델 및 유한요소 모델을 생성에 필요한 기초 단위가 된다. 생성된 HTPE yarn 모델을 활용하여 HTPE 직물 모델을 생성하였으며, 단면형상에 변형이 발생하지 않도록 간격을 설정하여 모델을 생성하였다. 이에 따라 생성된 HTPE 평직물 모델을 Table 4에 나타내었다.

HTPE 평직물 모델링 결과를 바탕으로 유한요소모델을 생성하였으며, 생성결과는 Figure 4와 같다. HTPE 유한요소 모델에 반응성 안료가 분사되는 노즐과 원단 사이의 거리를 각각 다르게 설정하여 형상화된 모델은 Table 5와 같이 나타내었다.

#### 3.3 해석 결과와 실제 측정치의 비교·분석 결과

반응성 안료가 분사되는 노즐과 원단 사이의 거리에 따른 HTPE 유한요소 모델의 태 해석 결과와 실제 HTPE 평직물 시

**Table 4.** HTPE plain fabric modeling result

Specimen	HTPE fabric model
Warp/Weft (per cm)	25/29
Areal density (g/m <sup>2</sup> )	61.2
Unit cell size (mm)	2.1×2.4×0.2
Unit cell model	

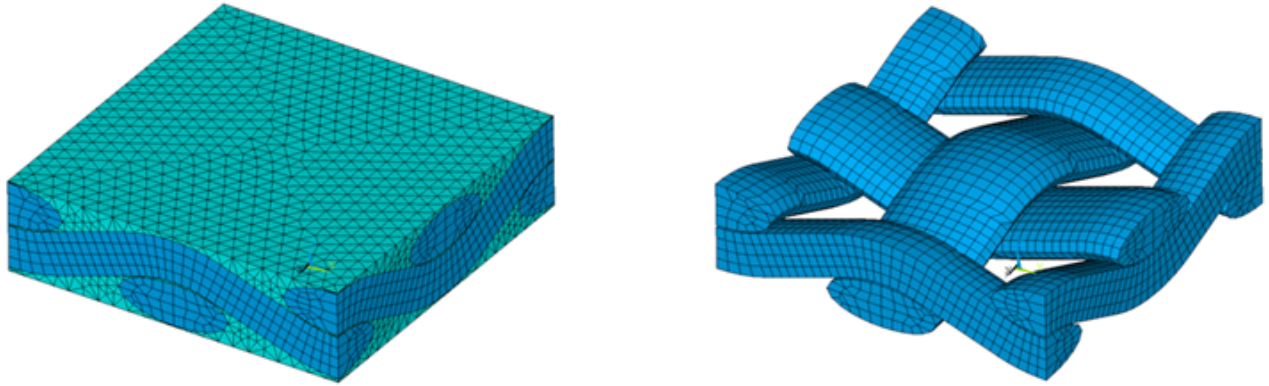


Figure 4. Results of HTPE finite element model creation.

료의 태 측정 결과 비교 결과를 Figure 5 및 Table 6에 나타내었다.

HTPE 평직물의 유한요소 모델 태 해석 결과를 볼 때, 반응성 안료가 분사되는 노즐과 원단 사이의 거리가 짧아질수록 태 수치가 높게 나타나는 경향을 나타내었다. 이는 노즐과 원단사이의 거리가 짧을수록 원단에 분사되는 반응성 안료의 양이 많아지기 때문에 원단의 탄성, 가소성 등을 나타내는 지표인 태 수치가 증가한 것으로 판단된다. 하지만 실제 시료의 태 수치 측정 결과를 보면, 노즐과 원단 사이의 거리가 4mm인 시료와

3mm인 시료의 태 수치가 오차율 3% 이내의 근사치를 나타내었으며, 오히려 노즐과 원단 사이의 거리가 3mm 일 때 더 낮은 수치를 나타내었다. 이는 원단의 후처리 공정인 열풍 건조 공정과 수세 공정 중에 너무 많은 반응성 안료의 함량으로 인하여, 안료 사이의 응집현상이 발생하고 일부가 원단에서 이탈되는 현상으로 인한 것으로 판단된다.

염색되지 않은 HTPE 평직물의 태는 0.16~0.17GPa 정도이나, 반응성 안료를 적용하여 DTP 공정을 실시하였을 때 약 40% 이상 증가하는 경향을 나타내었으며, 이는 DTP 공정 시

Table 5. Reactive pigment is sprayed according to the distance between nozzle and fabric

No.	Distance between nozzle and fabric				
	10mm	7mm	5mm	4mm	3mm
HTPE finite element model					

Table 6. Bending modulus of HTPE model according to the distance between nozzle and fabric

Specimen	Distance between nozzle and fabric					
	10mm	7mm	5mm	4mm	3mm	
Stiffness (GPa)	Analysis result	0.250	0.270	0.350	0.390	0.420
	Actua measurement results	0.245	0.286	0.365	0.387	0.382

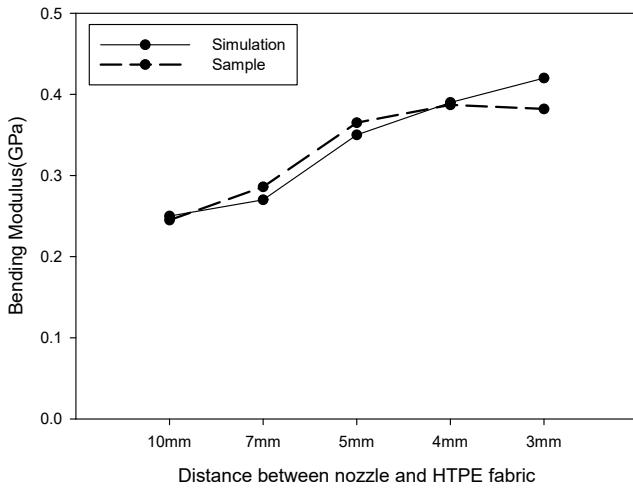


Figure 5. Bending modulus of HTPE model according to the distance between nozzle and fabric.



Figure 6. HTPE plain fabric dyed with direct DTP process.

반응성 안료로 인한 원단 자체의 탄성이 증가한 것으로 판단된다.

### 3.4 염색견뢰도 분석 결과

Direct DTP 공정을 통해 염색된 HTPE 평직물을 Figure 6에 나타내었다. Direct DTP 공정 변수(노즐과 원단 사이의 거리)에 따른 물견뢰도, 해수견뢰도, 일광견뢰도 테스트를 진행하여 DTP 공정 변수에 따른 염색 견뢰도를 분석하였다.

염색견뢰도 분석 결과는 Table 7~ Table 9에 정리하였다. 노즐과 원단 사이의 거리가 10mm 및 7mm인 경우에는 반응성 안료가 충분히 침투되지 못하여 육안으로 볼 때 선명도가 낮았으며, 물견뢰도 및 해수견뢰도 측정값도 다른 시료에 비해

여 평균적으로 1급이상 낮은 결과를 나타내었다. 반면에 노즐과 원단 사이의 거리가 5mm이하인 경우에는 물견뢰도와 해수견뢰도가 모두 4-5등급으로 우수한 결과를 나타내었다.

일광견뢰도의 경우, gray scale에 의한 판정을 하였으며, water-cooled xenon-arc lamp continuous light를 통해 등급 판정을 나타내었다. 수중/수상 레이저포츠용 원단에 중요한 요소로써, 최소 3-4등급 판정이 나와야 한다. 노즐과 원단 사이의 거리가 4~5mm일 때는 모두 3-4등급 판정을 받았지만, 노즐과 원단 사이의 거리가 3mm일 때는 2-3등급 판정을 받았다.

이는 노즐과 원단 사이의 거리가 너무 가깝기 때문에, 반응성 안료가 원단에 과도하게 분사되어 안료간의 응집현상이 발생되었고, 열풍 건조 및 수세 처리 공정에서 원단에 침투되지 못한 일부 안료의 이탈현상으로 인하여 일광견뢰도가 다소 낮

Table 7. Water fastness analysis result according to direct DTP process

Specimen	Distance between nozzle and fabric					
	10mm	7mm	5mm	4mm	3mm	
Discoloration	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5	
Pollution	Diacetate	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5
	Cotton	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5
	Polyamide	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5
	Polyester	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5
	Acrylic	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5
	Wool	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5

**Table 8.** Seawater fastness analysis result according to direct DTP process

Specimen	Distance between nozzle and fabric				
	10mm	7mm	5mm	4mm	3mm
Discoloration	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5
Pollution	Diacetate	3-4	4-5	4-5	4-5
	Cotton	3-4	4-5	4-5	4-5
	Polyamide	3-4	4-5	4-5	4-5
	Polyester	3-4	4-5	4-5	4-5
	Acrylic	3-4	4-5	4-5	4-5
	Wool	3-4	4-5	4-5	4-5

**Table 9.** Result of light fastness analysis according to direct DTP process

Specimen	Distance between nozzle and fabric				
	10mm	7mm	5mm	4mm	3mm
Standard blue dye	2-3	2-3	3-4	3-4	2-3

아진 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 HTPE 원단을 가상의 공간에 모델링한 후에, direct DTP 공정 시 반응성 안료가 분사되는 노즐과 HTPE 원단 사이의 거리(10mm, 7mm, 5mm, 3mm)에 따른 원단의 태 해석을 진행한 결과와 실제 시료의 태 측정 결과를 비교하여, 해석결과와 실제 시료 측정치간의 상관성을 분석하였다. 그리고 HTPE 원단에 direct DTP 공정으로 염색을 진행하였으며, 노즐과 원단 사이의 거리에 따라 염색견뢰도(물견뢰도, 해수견뢰도, 일광견뢰도) 차이를 분석하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1. HTPE 기본 물성 정보 및 광학현미경을 통한 관찰 결과를 활용하여 HTPE 유한요소 모델을 생성하였으며, 반응성 안료가 분사되는 노즐과 HTPE 원단 사이의 거리에 따라 안료가 분사되어있는 HTPE 유한요소 모델을 형상화하였다.
2. HTPE 평직물의 유한요소 모델 태 해석 결과를 볼 때, 노즐과 원단 사이의 거리가 10mm일 때 보다 3mm일 때 30%

이상 높은 값을 나타내었다. 실제 시료의 태 수치 측정 결과를 보면, 노즐과 원단 사이의 거리가 4mm인 시료와 3mm인 시료의 태 수치가 오차율 3%이내의 근사치를 나타내었으며, 오히려 노즐과 원단 사이의 거리가 3mm일 때 더 낮은 수치를 나타내었다.

3. HTPE 원단의 direct DTP 공정 변수에 따른 염색견뢰도를 분석하였으며, 분석한 결과 노즐과 원단 사이의 거리가 10mm 및 7mm인 경우에는 반응성 안료가 충분히 침투되지 못하여 육안으로 볼 때 선명도가 낮았다. 염색견뢰도도 다른 시료에 비하여 평균적으로 1급이상 낮은 결과를 나타내었다.
4. 노즐과 원단 사이의 거리가 5mm이하인 경우에는 물견뢰도와 해수견뢰도가 모두 4-5등급으로 우수한 결과를 나타내었다. 일광견뢰도의 경우, 노즐과 원단 사이의 거리가 4~5mm일 때는 모두 3-4등급 판정을 받았지만, 노즐과 원단 사이의 거리가 3mm일 때는 2-3등급 판정을 받았다. 이는 노즐과 원단 사이의 거리가 너무 가깝기 때문에, 반응성 안료가 원단에 과도하게 분사되어 안료간의 응집현상이 발생되었고, 열풍 건조 및 수세 처리 공정에서 원단에 침투되지 못한 일부 안료의 이탈현상으로 인하여 일광견뢰도가 다소 낮아진 것으로 판단된다. 이에 따라 HTPE 원단의 반응성



염료 적용 DTP공정 시, 노즐과 원단 사이의 거리는 4~5 mm로 설정하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 안전보호융복합첨유산업육성사업(R&D)의 과제번호가 20003785의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## References

1. C. Wang, A. Roy, Z. Chen, and V. V. Silberschmidt, Braided Textile Composites for Sports Protection: Energy Absorption and Delamination in Impact Modelling, *Materials and Design*, **136**, 258(2017).
2. A. Chorny, I. Cherunova, and N. Kornevc, Thermophysical Interaction in the Shoe-foot System during Sport Activity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **176**, 324(2021).
3. Q. Li, Y. Wang, S. Jiang, T. Li, X. Ding, X. Tao, and X. Wang, Investigation into Tensile Hysteresis of Polyurethane-containing Textile Substrates for Coated Strain Sensors, *Materials and Design*, **188**, 108(2020).
4. Y. Peng and Y. Cui, Advanced Textiles for Personal Thermal Management and Energy, *Joule*, **4**, 724(2020).
5. B. P. Revol, M. Vauthier, M. Thomassey, M. Bouquey, F. Ruch, and M. Nardin, Design of Experience to Evaluate the Interfacial Compatibility on High Tenacity Viscose Fibers Reinforced Polyamide-6 Composites, *Composites Science and Technology*, **203**, 615(2021).
6. F. B. P. Costa, D. P. Righi, A. G. Graeff, and L. C. P. S. Filho, Experimental Study of Some Durability Properties of ECC with a More Environmentally Sustainable Rice Husk Ash and High Tenacity Polypropylene Fibers, *Construction and Building Materials*, **213**, 505(2019).
7. G. Lee, J. Chae, S. O. Lee, S. S. Kim, and J. Lee, Supercritical CO<sub>2</sub> Dyeing and Finishing Technology- A Review, *Textile Coloration and Finishing*, **31**, 48(2019).
8. T. Kim, J. Park, J. Lee, and T. Kim, Dyeing of High Strength and High Molecular Weight Polyethylene Fiber Using Super Hydrophobic Fluorescence Dye, *Textile Coloration and Finishing*, **29**, 223(2017).
9. 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, *Dyes and Pigments*, **163**, 381(2019).
10. I. S. Chang, S. S. Lee, and E. K. Choe, Digital Textile Printing(DTP) Wastewater Treatment using Ozone and Membrane Filtration, *Desalination*, **235**, 110(2009).
11. H. J. Kim, H. J. Seo, D. S. Kwak, J. P. Hong, S. H. Yoon, and K. Shin, Preparation and Evaluation of Low Viscosity Acrylic Polymer Based Pretreatment Solution for DTP Reactive Ink, *Textile Coloration and Finishing*, **29**, 122(2017).
12. J. H. Lee, B. Y. Lee, S. Lee, K. Y. Choi, J. W. Ko, J. S. Kim, T. Kim, and S. G. Lee, Dyeing Characteristics and Mechanical Properties of High Tenacity Polyethylene(HTPE) Filament using Solvent Dyes, *Textile Coloration and Finishing*, **29**, 105(2017).
13. S. Park, M. Han, and E. Jeong, Effect of Particle Sizes of Polymer Binders for Pigment Inks on Touch of Fabric, *Textile Coloration and Finishing*, **32**, 226(2020).
14. Y. Zhang, T. Ji, S. Hou, L. Zhang, Y. Shi, J. Zhao, and X. Xu, All-printed Solid-state Substrate-versatile and High-performance Micro-supercapacitors for in situ Fabricated Transferable and Wearable Energy Storage via Multi-material 3D Printing, *Journal of Power Sources*, **403**, 109(2018).
15. A. Derossi, M. Paolillo, P. Verboven, B. Nicolai, and C. Severini, Extending 3D Food Printing Application: Apple Tissue Microstructure as a Digital Model to Create Innovative Cereal-based Snacks, *Journal of Food Engineering*, **316**, 452(2021).
16. S. H. Yu, J. H. Lee, and J. H. Sim, Characterization of PETG Thermoplastic Composites Enhanced TiO<sub>2</sub>, Carbon Black, and POE, *Textile Coloration and Finishing*, **31**, 354(2019).
17. Y. Yeo and Y. Shin, The Dyeing Properties and Functionality of Water Lily(*Nymphaea tetragona*) Leaves Extract as a New Natural Dye Resource(2): Dyeing of Silk and Wool Fibers, *Textile Coloration and Finishing*, **29**, 171(2017).
18. D. S. Jeong, S. W. Park, I. Kweon, and T. I. Chun, Development of Retro-reflective Fiber(I) - Making of Slit Yarn and Manufacturing of Fabric using in the Warp Threads, *Textile Coloration and Finishing*, **29**, 139(2017).
19. S. R. Shin, K. L. An, S. Lee, S. E. Lee, E. Ko, C. Kim, and K. Jun, Synthesis of Azo based Disperse Dyes for Dyeing Polyester Fiber in Supercritical Carbon Dioxide, *Textile Coloration and Finishing*, **31**, 135(2019).
20. J. H. Park, Simulation Technology of 3D Fabrics, *Textile Coloration and Finishing*, **31**, 214(2019).
21. 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**, 88(2019).
22. T. Kim and H. Ma, Dyeing of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Fiber Using Anthraquinoid Super-hydrophobic

- Navy Dyes, *Textile Coloration and Finishing*, **31**, 98(2019).
23. J. Zhao, Q. Li, F. Jin, and N. He, Digital Light Processing 3D Printing Kevlar Composites based on Dual Curing Resin, *Additive Manufacturing*, **20**, 41(2021).
24. J. Sim, S. Yu, J. Lee, G. Kim, J. Chon, and S. Park, Study on Thermal and Mechanical Properties of Epoxy Resin Nanocomposites with the Graphene Oxide, *Textile Coloration and Finishing*, **30**, 98(2018).
25. N. H. Men, T. H. Jeong, S. Y. Kim, K. B. Kim, T. H. Ha, S. J. Ahn, and Y. H. Kim, Porous Structures Prepared by a Novel Route: Combination of Digital Light Processing 3D Printing and Leaching Method, *Journal of Manufacturing Processes*, **67**, 46(2021).

## Authors

- 
- 심지현** 다이텍연구원 섬유가상공학연구센터 센터장  
**이종혁** 다이텍연구원 섬유가상공학연구센터 선임연구원  
**유성훈** 다이텍연구원 섬유가상공학연구센터 전임연구원  
**권기환** 다이텍연구원 섬유가상공학연구센터 전임연구원  
**배진석** 경북대학교 섬유시스템공학과 교수