

# Nylon 6 섬유의 초임계 유체 염색특성 연구 (I): 온도, 압력의 변화

## A Study on Dyeing Properties of Nylon 6 Fabrics in Supercritical Fluid Dyeing System (I): Depending on Temperature and Pressure

### \*Corresponding author

Eunhee Ko  
(ehko@koteri.re.kr)

고은희\*, 이인열, 김창일<sup>1</sup>  
한국섬유소재연구원, <sup>1</sup>(주)아크로마코리아

Eunhee Ko\*, Inyeol Lee and Changil Kim<sup>1</sup>

Korea High Tech Textile Reserch Institute, Yangju, Korea, <sup>1</sup>Archroma(Korea) LTD, Ulsan, Korea

Received December 12, 2019

Revised February 06, 2020

Accepted May 11, 2020

**Abstract** Supercritical fluid dyeing is a new alternative to the conventional aqueous process because of its environmental benefits. In this study, dyeing properties of Nylon 6 fabrics were investigated depending on dyeing temperature and pressure in supercritical CO<sub>2</sub> fluid dyeing system. In order to select the optimal condition for supercritical fluid dyeing of Nylon 6 fabrics, dyeing temperature and pressure were varied from 100, 110, 120°C, 200, 230, 260bar, respectively. The results of K/S values and levelling properties showed that the optimal dyeing condition for Nylon 6 fabrics was 110°C and 230bar in the supercritical CO<sub>2</sub> fluid dyeing system. The washing fastness ratings of the dyed Nylon 6 fabrics under supercritical medium were good for both fading and staining except for staining on nylon.

### Textile Coloration and Finishing

TCF 32-2/2020-6/80-88

© 2020 The Korean Society of Dyers and Finishers

**Keywords** Nylon 6, supercritical fluid dyeing, carbon dioxide, temperature, pressure, dyeing property

## 1. 서 론

염색법에 있어 전통적인 수계염색은 많은 에너지가 소비되며, 다량의 염색폐수를 발생하는 환경적인 문제점이 존재한다. 이러한 문제점을 해결하고자 염색법에 대한 새로운 방법이 연구되어지고 있으며, 그 중 초임계 유체를 이용한 건식염색방법이 하나의 대안으로 주목받고 있다.

이산화탄소 초임계 염색법(Supercritical fluid dyeing, SFD)은 기체보다 높은 용해력을 통해 분산 염료를 용해시킨 후, 전달능력이 뛰어난 점을 이용해 팽윤된 섬유의 내부로 분자량이 큰 염료를 침투시키는 방식이다. 일정한 시간이 경과하면 염료가 섬유와 유체 사이에서 평형에 도달하고, 감압시키면 분자량이 작은 이산화탄소는 섬유로부터 쉽게 빠져나오고 분자량이 큰 염료분자는 서서히 확산되기 때문에 섬유 내에 영구히 갇히면서 염색되는 원리다<sup>1)</sup>.

따라서 초임계 염색법은 물 대신에 초임계 유체를 용매로 사용하여 염색 후 섬유의 건조 공정이 필요하지 않아 염색에 소

비되는 에너지를 크게 절약할 수 있는 장점이 있다. 또한 염료 이외의 분산제나 계면활성제와 같은 첨가제도 사용하지 않고, 초임계 유체도 회수하여 폐수를 전혀 발생시키지 않기 때문에 기존 수계 염색공정에 비해 경제적으로나 환경적인 측면에 있어 매우 유리한 염색방법으로 알려져 있다<sup>2)</sup>.

한편 초임계 유체에 대한 연구는 1822년 Baron Cagniard de la Tour에 의해 용매는 초임계상과 임계점(Critical point)을 가진다고 처음으로 보고되었고, 1869년 Thomas Andrews에 의해 이산화탄소의 임계점이 발표되었고, 초임계 유체에 대한 관심은 1879년 Hannay와 Hogarth에 의해 임계점 이상의 온도와 압력에서 압축된 초임계 유체가 물질을 용해하는데 탁월한 능력이 있다는 사실이 알려지면서 본격적으로 시작되었다<sup>3,4)</sup>. 그 이후 초임계유체를 사용하여 난분해 및 독성 환경오염원의 초임계 수처리 분야, 초순도 고부가 천연물의 추출 정제 분야, 반도체 부품 분야의 초순도 세정 분야, 섬유의 염색가공 분야 등에서 응용연구가 진행되어 오고 있다.

초임계 염색법에 관한 연구는 1988년 독일의 Schollmeyer

에 의해 초임계 CO<sub>2</sub>염색기법이 발표된 이후<sup>5)</sup> 의류용 소재로 가장 많이 사용되는 폴리에스테르를 중심으로<sup>6-10)</sup> 연구되어 왔다. 그 결과 2009년 네덜란드 Dyecoo사에서 최초로 이산화탄소를 초임계 유체로 폴리에스테르 직물을 염색하여 상업화에 성공하였다. 그러나 폴리에스테르를 제외한 섬유들은 염료 구조에 따른 염색가능성 위주의 연구가 제한적으로 진행되어 아직까지 연구단계에 머물러 있다. 폴리아미드<sup>11,12)</sup>, 폴리프로필렌<sup>13)</sup> 등 일반 합성섬유와 아라미드<sup>14)</sup>와 같은 특수 합성섬유 뿐만 아니라 일부 면, 양모 등 천연섬유소재에 대한 연구<sup>15-18)</sup>도 진행되고 있다.

공개된 연구결과에 따르면 폴리에스테르 외에도 일반 합성섬유는 염색가능성을 보이지만 천연섬유의 경우 Build-up에서 한계를 보이고 있다. 특히 폴리아미드의 경우, Nylon 6 직물을 사용하여 아조계 분산염료의 농도와 염색조건(온도, 압력 및 시간)에 따라 이산화탄소 초임계 유체에서 염색하고, 수세공정을 거쳐 피염물의 K/S와 견뢰도의 상관관계에 대한 연구와 기능성 향균가공에 대한 가능성이 보고되었다. 온도, 압력, 시간이 증가함에 따라 K/S가 개선되었으며, 초임계 유체 염색 후 수세를 진행한 Nylon 6 직물은 견뢰도도 우수하였다<sup>19)</sup>.

이에 본 연구에서는 폴리아미드 섬유의 초임계 염색법의 상업화를 위해 Nylon 6의 염색조건(온도, 압력)을 세분화하고, 염색특성(K/S, 균염성, 견뢰도)을 살펴봄으로써 최적의 염색 조건을 제공하는데 목적이 있다. 이와 관련하여 초임계 유체 염색의 궁극적 목표인 물 없는 컬러산업의 완성을 위하여 수세를 진행하지 않은 상태에서 연구를 진행하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료 및 염료

시료는 Nylon 6 100% Double Pique 편직물을 염색 Pot별 10g 사용하였고, Figure 1에 영상현미경으로 40배 확대한 이미지와 스펙을 나타내었다. 염료는 아조계의 C.I. Disperse Ye



Structure	Double Pique
Weight	246.5g/m <sup>2</sup>
Density	Wale 36/inch × Course 52/inch

Figure 1. Fabric specification.

low 211, C.I. Disperse Red 167, C.I. Disperse Blue 301의 삼원색을 아크로마코리아(주)로부터 제공받아 0.05g(0.5% o.w.f) 씩 사용하였다.

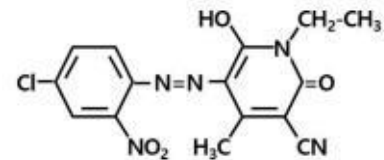
Figure 2에 사용한 염료의 구조식을 나타내었으며, 본 연구에 사용된 염료는 아크로마코리아(주)에서 계면활성제, 분산제를 제외한 순수한 염료로만 합성하여 제공받았다.

### 2.2 초임계 염색설비

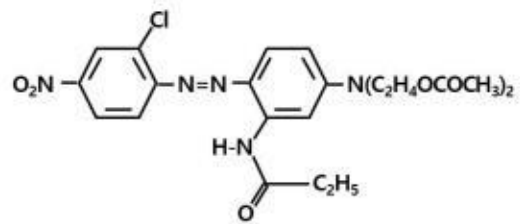
사용설비는 (주)대주기계에서 제작한 4-pot(200ml), oil-bath type의 초임계 Lab. Dyeing Machine을 사용하였으며, 염색시 균염성 향상을 위하여 염색 Pot별 (주)에이치티에스에서 제작한 Beam(15ml)과 쇠구슬 5개(1ml)를 사용하였다.

### 2.3 초임계 염색조건

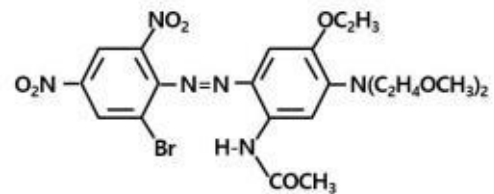
본 연구에서는 Maureo Bachero<sup>6)</sup>의 초임계 유체 염색조건을 참고하여 Table 1과 같이 온도, 압력 조건을 선정하였다.



(a) C.I. Disperse Yellow 211



(b) C.I. Disperse Red 167



(c) C.I. Disperse Blue 301

Figure 2. Chemical structure of dyes.

**Table 1.** Dyeing experiment conditions by temperature and pressure

Temperature [°C]	Pressure [bar]	Nylon 6 Sample weight [g]	Dyestuff weight [g]	Beam volume [mL]	Ball(5ea) volume [mL]	CO <sub>2</sub> Density [g/mL]	CO <sub>2</sub> Amount of injection [g]
100	200	10	0.05	15	1	0.48053	83.5882
	230	10	0.05	15	1	0.55041	95.7438
	260	10	0.05	15	1	0.60534	105.2989
110	200	10	0.05	15	1	0.43685	75.9901
	230	10	0.05	15	1	0.50560	87.9491
	260	10	0.05	15	1	0.56232	97.8156
120	200	10	0.05	15	1	0.40115	69.7800
	230	10	0.05	15	1	0.46679	81.1981
	260	10	0.05	15	1	0.52339	91.0437

문헌에 따르면 Nylon 6,6는 온도 100~120°C, 압력 230~245 bar 조건에서 효과적인 초임계 유체 염색이 이루어졌으며, 이 결과를 기준으로 온도조건 100°C, 110°C, 120°C, 압력조건 200bar, 230bar, 260bar의 염색조건을 설계하였다. 염색시간은 60분으로 동일하게 진행하였다.

초임계 염색실험에는 이산화탄소(순도 99.9%)를 초임계 유체 염색 용매로 사용하였으며, 이산화탄소 gas는 NTIS Isothermal Data에서 온도, 압력에 따른 밀도를 확인하여 주입하였다. 또한 이산화탄소 gas 주입시 원활한 주입이 될 수 있도록 Pot를 -15°C의 냉동고에서 10min간 방치 후 gas를 주입하였으며, 각각의 실험조건은 Table 1에 나타나 있다.

균염성 향상을 위해 사용한 Beam과 구슬 5개의 부피는 메스실린더로 측정한 결과 각각 15mL, 1mL였다. 이산화탄소의 주입량은 나일론 시료, 염료, Beam, 쇠구슬 5개의 부피를 제외한 Pot 부피에서 해당 온도, 압력의 이산화탄소 밀도(NTIS Isothermal Data)를 곱하여 산출하였으며, 이는 아래 식(1)에 나타났다.

$$CO_2 [g] = (P - F - D - B - S) \times CO_2 \text{ Density} \quad (1)$$

where,

- P : Pot volume
- F : Nylon 6 sample weight
- D : Dyestuff weight
- B : Beam volume
- S : Steel ball volume(5ea)

## 2.4 염색특성 측정

염색특성은 온도, 압력 조건별 초임계 유체염색 후 외관비교와 색차 측정을 통한 K/S, 균염성 비교 및 세탁견뢰도로 분석

하였다. 색차측정은 측정기 Color iMatch(GretagMacbeth, Switzerland)를 사용하였으며, K/S값은 특정파장에서 표면반사율을 측정하여 Kubelka Munk식(2)에 의해 산출되었다.

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

where,

- R : Reflectance
- K : Absorption coefficient
- S : Scattering coefficient

측색 피염물의 크기는 90mm×400mm으로 하고, 세로방향으로 5등분하여 측색한 후 중앙값을 기준으로 K/S값을 비교하였다. 균염성은 5등분한 피염물의 부위를 측색하여 중앙값을 기준으로 색차 값을 4개의 점으로 그래프에 나타내었으며, 동일조건에서 색상의 분포도가 좁을수록 균염성이 우수한 것으로 판정하였다. 세탁견뢰도는 KS K ISO 105-C06 시험방법에 따라 평가되었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 피염물 외관변화

Table 2와 같이 온도와 압력에 따른 피염물의 외관을 살펴보면 Yellow 211에서는 200bar-120°C, 230bar-100°C에서 피염물의 얼룩이 관찰되었고, Red 167에서는 200bar-120°C에서 불균염이 확인되었다. Blue 301에서는 압력, 온도의 변화에 따른 겉보기 농도의 변화가 육안으로 확인되었으며, 비교적 균일한 염색성을 확인하였다.

**Table 2.** Dyeing sample according to temperature under constant pressure

	200bar			230bar			260bar		
	100°C	110°C	120°C	100°C	110°C	120°C	100°C	110°C	120°C
Yellow 211									
Red 167									
Blue 301									

### 3.2 K/S 비교

#### 3.2.1 온도에 따른 K/S

Nylon 6 섬유의 일정 압력 하 온도에 따른 초임계 유체 염색 실험은 200bar, 230bar, 260bar 각각의 압력조건에서 염색 온도를 100°C, 110°C, 120°C로 변화를 주고, 염색시간은 60분으로 동일하게 진행하였다.

Figure 3~Figure 5에서 볼 수 있듯이 일정압력 하 온도조건 변화에 따른 측색결과  $\lambda_{max}$ (Yellow 211=440nm, Red 167=510nm, Blue 301=610nm)에서의 K/S값은 염료에 따라 그 결과가 다른 경향을 보였는데, Yellow 211의 경우 대체적으로 온도가 증가함에 따라 K/S값이 감소하는 경향을 보이고, Red 167과 Blue 301의 경우 110°C에서 가장 높은 K/S값을 보이고 120°C에서는 K/S값이 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 일반적으로 온도가 증가함에 따라 염료 분자와 초임계 이산화탄소 유체의 활성이 높아지고, Nylon 6 고분자 사슬의 유연성이 증가되어 나일론 고분자의 비결정 영역이 증가하면서 염료 분자의 침투성이 커진다고 알려져 있다<sup>20,21)</sup>.

그러나 나일론의 초임계유체 염색이 가장 잘 이루어진다고 알려진<sup>6)</sup> 100~120°C의 온도범위는 이미 유리전이온도 이상의

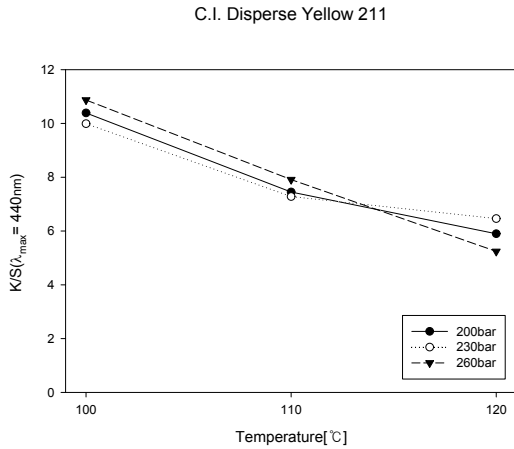
온도 범위이므로 비결정 영역의 증가보다는 초임계 이산화탄소 유체의 밀도의 영향을 더 받는 것으로 판단된다.

Table 1에 나타난 바와 같이 동일 압력하에서 초임계 이산화탄소 유체의 밀도는 온도가 증가함에 따라 낮아지게 되며, 이는 염료에 대한 용해력(solvent power)의 감소로 이어져 섬유로의 흡착이 낮아지게 되는 것이다<sup>7)</sup>. 이는 상대적으로 분자량이 작고 밀도가 낮은 Yellow 211에서 더욱 확연히 드러남을 볼 수 있다. 따라서 최적의 온도범위를 선정하기 위해서는 다른 변수와 성능을 종합적으로 고려하는 것이 바람직하다.

#### 3.2.2 압력에 따른 K/S

Nylon 6 섬유의 일정 온도 하 압력에 따른 초임계 유체 염색 실험은 100°C, 110°C, 120°C 각각의 온도조건에서 압력을 200bar, 230bar, 260bar로 변화를 주고, 염색시간은 60분으로 동일하게 진행하였다. 일정온도 하 압력조건 변화에 따른 측색결과, Figure 3~Figure 5의 일정 압력 하 온도에 따른 변화와 달리 200bar에서 260bar 사이의 압력에 따른 K/S값의 변화는 크지 않음을 확인하였다.

참고문헌에 따라 압력이 증가하면 초임계 유체의 밀도가 증



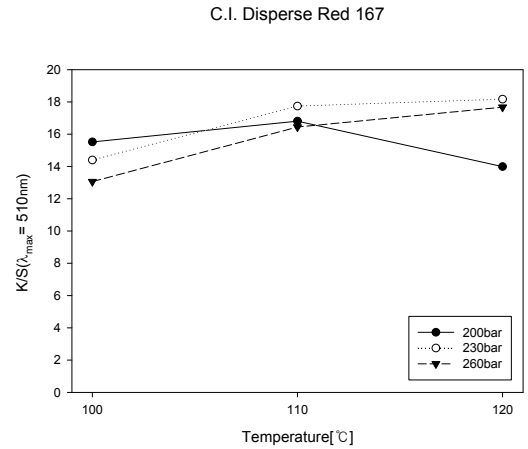
**Figure 3.** K/S according to temperature under constant pressures(Disperse Yellow 211).

가하여 결과적으로 용해력이 증가해 Nylon 섬유를 팽창시킬 뿐만 아니라 염료 흡착률도 높아질 것으로 예상하였다<sup>21,22</sup>.

하지만 Figure 6~Figure 8에서 볼 수 있듯이 Yellow 211-100°C, 110°C, Red 167-120°C를 제외한 대부분의 조건에서는 200bar에서 260bar로 압력이 올라갈수록 미미하지만 K/S값이 오히려 줄어드는 경향을 보였다. 이는 0.5%o.w.f의 염료농도는 섬유로의 포화상태에 이르면 200~260bar 사이의 압력변화에서 초임계 이산화탄소 유체의 용해력 증가로 오히려 팽창된 Nylon 6 섬유로부터 염료가 탈락(migration)되는 현상도 동반되는 것으로 보인다. 이상의 결과로부터 본 연구에서의 온도와 압력 범위에서는 초임계 유체염색에서의 K/S값은 압력에 비해 온도에 대한 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

### 3.3 균염성 비교

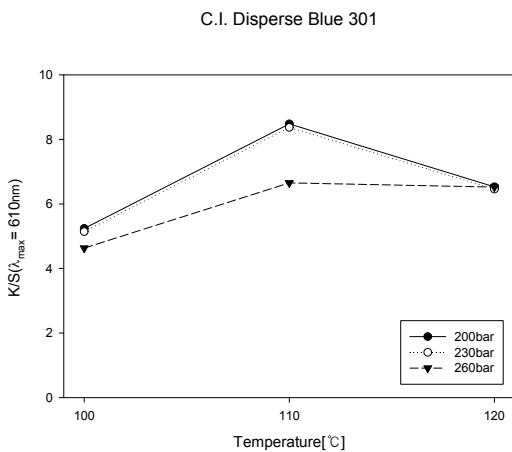
Nylon 6 섬유의 온도, 압력의 염색조건에 따른 균염성 비교



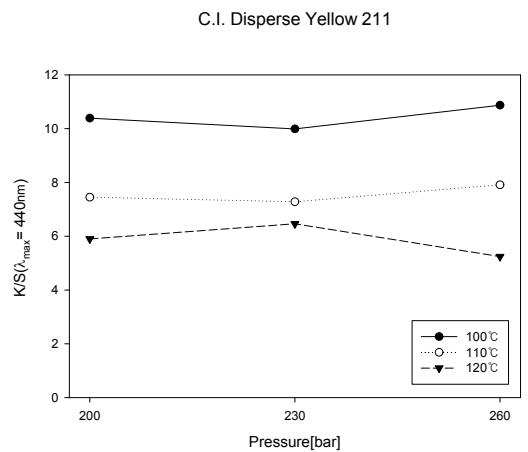
**Figure 4.** K/S according to temperature under constant pressures(Disperse Red 167).

를 위해 피염물을 5등분하여 가운데 점을 기준으로 각각의 부위별 측색하였다. 그 결과는 Table 3에 피염물의 중양값을 기준으로 부위별 색차를 4개의 점으로 그래프에 나타내고, 분포도가 좁을수록 균염성이 우수한 것으로 판정하였다.

색차 측정 결과, 온도 100°C-230bar Red 167염료에서의 불균염과 120°C에서는 대부분의 압력조건에서 불균염이 확인되었다. 전반적으로 초임계 이산화탄소 유체의 밀도가 상대적으로 높아 염료에 대한 용해력이 좋은 100°C에서는 균염성이 우수하고 반대로 120°C에서는 용해력의 감소로 균염을 얻기 힘든 것으로 생각된다. 상기의 결과와 피염물의 외관변화, K/S값의 결과와 종합해서 판단하면 Nylon 6 섬유에서는 110°C의 온도조건에서 최적의 염색특성을 보이는 것으로 판단된다. 또한 110°C에서 모든 염료에 가장 고르게 분포도가 좋은 압력은 230bar로 염료별 균염성이 가장 좋은 염색조건은 110°C-230bar로 확인 할 수 있다.



**Figure 5.** K/S according to temperature under constant pressures(Disperse Blue 301).



**Figure 6.** K/S according to pressure under constant temperatures(Disperse Yellow 211).

Table 3. Dyeing sample according to temperature under constant pressure

Dyeing condition		C.I. Disperse Yellow 211	C.I. Disperse Red 167	C.I. Disperse Blue 301
100°C	200bar	 -3.327291307000713202733	 -2.51913060006131925	 -1.6120804004081216
	230bar	 -2.62913070007132026	 -3.125191306000613192531	 -2.01612080400408121620
	260bar	 -3.327291306000713202733	 -3.124191206000612182431	 -1.6120804004081216
110°C	200bar	 -3.325191306000613192532	 -2.51913060006131925	 -1.6120804004081216
	230bar	 -3.329201307000713202833	 -2.51913060006131925	 -1.6120804004081216
	260bar	 -2.51913060006131925	 -2.51912060006121925	 -2.01612080400408121620
120°C	200bar	 -2.41912060006121824	 -2.51912060006121925	 -1.7130804004081317
	230bar	 -2.41912060006121824	 -2.51913060006131925	 -1.31907030003071013
	260bar	 -3.125191306000612192531	 -3.125191206000612192531	 -1.3141903000307101417

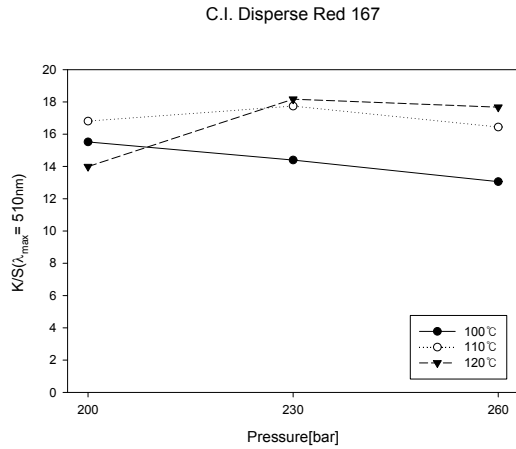


Figure 7. K/S according to pressure under constant temperatures(Disperse Red 167).

이 결과는 Maureo Bacher<sup>6)</sup>의 결과와 일치하는 경향을 보이고 있으며, Polyester의 적정 초임계 염색온도로 알려진 120°C, 250bar보다는 낮은 결과를 보이고 있다.

### 3.4 세탁견뢰도 비교

삼원색(Yellow 211, Red 167, Blue 301)을 K/S와 균염성이 가장 좋은 온도 조건인 110°C에서 200bar, 230bar, 260bar로 압력 변화를 주고 염색한 시료를 KS K ISO 105-B08:제논아크 법으로 세탁견뢰도를 측정하였다. 그 결과는 Table 4에 나타내었으며, 변퇴색은 모든 시료에서 4급 이상의 우수한 결과를 얻었다. 오염의 경우, 대부분 3급 이상의 양호한 결과를 보였으나, Nylon에서 2급대의 낮은 결과가 나타났다. 별도의 수세공정 없이 초임계 유체 염색을 진행하는 경우 섬유간 오염에서의 일부 문제가 발생할 수 있으며, 물 없는 컬러산업의 완성을 위해 초임계 유체상의 린싱 공정에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 4. Grade of washing fastness of conditions by pressure

Color fastness	Yellow 211			Red 167			Blue 301			
	200bar	230bar	260bar	200bar	230bar	260bar	200bar	230bar	260bar	
Change in color	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	
Washing Staining	Acetate	3	3	3	3	2-3	3	3	3-4	3-4
	Cotton	4-5	4-5	4-5	3-4	3-4	3-4	4	4	4
	Nylon	3	2-3	3	2	2	2	2-3	2-3	3
	PET	4-5	4	4-5	3	3	3-4	3	3	3-4
	Acrylic	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	Wool	4	4	4	3	3-4	3-4	4-5	4	4-5

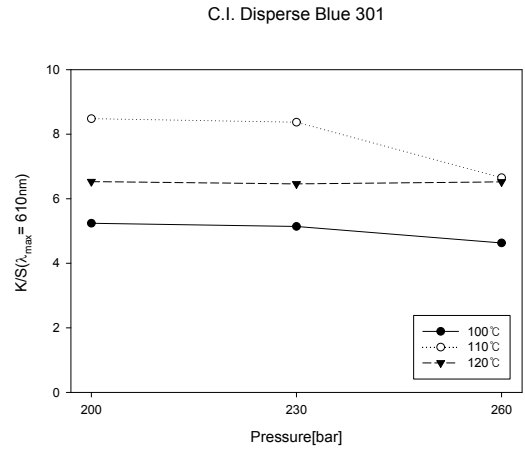


Figure 8. K/S according to pressure under constant temperatures(Disperse Blue 301).

### 3.5 최적 염색조건 선정

위의 결과와 같이 Nylon 6 섬유 염색의 경우 Polyester 섬유 염색의 경우보다 완화된 온도, 압력 조건에서 최적의 염색조건이 선정되는 것은 Nylon 6 섬유가 Polyester 섬유보다 비결정영역이 더 많아 상대적으로 완화된 조건에서도 팽윤이 잘되어 염료 침투가 더 수월하기 때문으로 판단된다. 또한 유리전이온도( $T_g$ )에 있어서도 Nylon 6 섬유가 Polyester 섬유보다 더 낮기 때문에 염색온도가 더 낮은 조건에서도 염료의 침투가 잘 이루어지는 것으로 보인다. 한편 염색조건에 있어서 고압조건은 염색현장의 안전성(Safety)과 직결되는 것으로, 초임계유체 염색은 고압조건이 필수적이라고 해도 가능한 한 낮은 압력에서 공정을 진행하는 것이 바람직하다.

따라서 일부 컬러에 있어서 250bar이상의 압력에서 염착량이 가장 높은 결과가 보이더라도 그 상승폭이 적고, 제반 성능이 고르게 우수한 230bar의 압력을 최적의 압력조건으로 선정하였다.

## 4. 결 론

Nylon 6 섬유의 초임계 유체 염색의 최적 조건을 선정하기 위해 삼원색(Yellow 211, Red 167, Blue 301)의 온도조건(110°C, 120°C, 130°C), 압력조건(200bar, 230bar, 260bar)의 변화에 따른 염색특성에 대한 연구를 진행하였다.

일정 압력 하 온도에 따른 염색결과, Yellow 211의 경우 200bar-120°C, 230bar-100°C에서 피염물의 얼룩이 관찰되었고, 100°C에서 가장 높은 K/S를 확인하였다. Red 167의 경우 200bar-120°C에서 불균염이 관찰되었고, 일정 압력 하 온도가 올라갈수록 K/S값은 올라갔으나, 110°C와 120°C의 K/S값의 차이는 미미했다. Blue 301의 경우, 대체적으로 110°C에서 가장 높은 K/S값을 보였다.

일정 온도 하 압력에 따른 염색결과, 압력에 비해 온도의 변화가 실제 피염물의 K/S에 영향을 주는 주요인자로 판단되며, 110°C와 120°C의 온도조건 하 230bar의 압력에서 가장 크게 겉보기 농도가 높음을 확인하였다. 또한 온도와 압력에 따른 염색조건의 변화로 피염물의 균염성 테스트를 진행한 결과, 삼원색 모두 균염성이 우수한 조건은 110°C, 230bar로 확인하였다.

따라서 본 연구를 통해 Nylon 6 섬유의 초임계 유체 염색의 최적 조건은 110°C, 230bar가 가장 적합한 것으로 판단된다. 하지만 일정 온도 하 압력에 따른 염색시료의 세탁견뢰도 결과는 압력 변화에 따른 일정한 경향은 보이지 않았으나, 모든 시료에서 변퇴색 4급 이상의 양호한 결과를 얻었고, 오염에서는 나일론 섬유에 대해서 2급 정도의 결과를 얻었다.

향후 본 저자들은 초임계상태에서 염색시간과 린싱(Rinsing) 처리에 따른 Nylon 6 섬유의 염색특성에 대해서 연구하고자 한다.

## 감사의 글

본 논문은 산업통상자원부 물 없는 컬러산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다(과제번호 : 10078334, 과제명 : 초임계 유체 염색용 염료 및 최적 공정기술 개발).

## References

1. Y. W. Lee, Dyeing Technology with the Supercritical Fluid, *Machine Journal*, **55**(7), 51(2015).
2. K. J. Yong, Y. H. Park, K. P. Yoo, H. J. Lee, and S. W. Nam, Dyeing Property of Aramid Spun Yarn with Disperse Dyes in Circulated Supercritical Fluid Dyeing, *Journal of the Korean Fiber Society*, **40**(5), 471(2003).
3. M. A. Mchugh and V. J. Krukoni, "Supercritical Fluid Extraction, Principles and Practice", 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, MA(USA), p.16, 1994.

4. J. B. Hannay and H. Hogarth, On the Solubility of Solids in Gases, *Proc. Roy. Soc., London*, p.324, 1879.
5. E. Schollmeyer, D. Knittel, H. J. Buschmann, G. M. Schneider, K. Poulakis, and D. E. Farbeverfahren, 39 06 724 A1, D 06 P 1/00, Germany, 13.09(1990).
6. M. Bachero, Supercritical Fluid Dyeing of Synthetic and Natural Textiles- a Review, *Coloration Technology*, **129**, 2(2012).
7. W. Saus, D. Knittel, and E. Schollmeyer, Dyeing of Textiles in Supercritical Carbon Dioxide, *Textile Res. J.*, **63**(3), 135(1993).
8. M. R. D. Giorgi, E. Cadoni, D. Maricca, and A. Piras, Dyeing Polyester Fibres with Disperse Dyes in Supercritical CO<sub>2</sub>, *Dyes and Pigments*, **45**, 75(2000).
9. M. J. Drews and C. Jordan, The Effect of Supercritical CO<sub>2</sub> Dyeing Conditions on the Morphology of Polyester Fibers, *Textile Chemist and Colorist*, **30**(6), 13(1998).
10. Y. Kawahara, T. Kikutani, K. Sugiura, and S. Ogawa, Dyeing Behaviour of Poly(ethylene terephthalate) Fibers in Supercritical Carbon Dioxide, *Color. Technol.*, **117**, 266(2001).
11. S. K. Liao, Y. C. Ho, and P. S. Chang, Dyeing of Nylon 66 with a Disperse-reactive Dye using Supercritical Carbon Dioxide as the Transport Medium, *JSDC2000*, **116**, 403(2006).
12. S. K. Liao, Dyeing Nylon-6,6 with Some Hydrophobic Reactive Dyes by Supercritical Processing, *J. Polym. Res.*, **11**, 285(2004).
13. S. K. Liao, P. S. Chang, and Y. C. Lin, Analysis on the Dyeing of Polypropylene Fibers in Supercritical Carbon Dioxide, *J. Polym. Res.*, **7**, 155(2000).
14. T. Kim, G. Kim, J. Y. Park, J. S. Lim, and K. P. Yoo, Solubility Measurement and Dyeing Performance Evaluation of Aramid NOMEX Yarn by Dispersed Dyes in Supercritical Carbon Dioxide, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **45**, 3425(2006).
15. B. Gebert, W. Saus, D. Knittel, H. Buschmann, and E. Schollmeyer, Dyeing Natural Fibers with Disperse Dye in Supercritical Carbon Dioxide, *Textile Res. F.*, **64**(7), 371(1994).
16. B. Guzel and A. Akgerman, Mordant Dyeing of Wool by Supercritical Processing, *J. Supercritical Fluids*, **18**, 247(2000).
17. A. S. Ozcan, A. A. Clifford, K. K. Bartle, and D. M. Lewis, Dyeing of Cotton Fibers with Disperse Dyes in Supercritical Carbon Dioxide, *Dyes and Pigments*, **36**(2), 103(1998).
18. A. Schmidt, E. Bach, and E. Schollmeyer, The Dyeing of Natural Fibers with Reactive Disperse Dyes in Supercritical Carbon Dioxide, *Dye and Pigment*, **56**, 27(2003).
19. T. A. Elmaaty, E. A. El-Aziz, J. Ma, F. El-Taweel, and S. Okubayashi, Eco-Friendly Disperse Dyeing and Functional Finishing of Nylon 6 Using Supercritical Carbon Dioxide, *Fibers*, **3**, 309(2015).
20. L. Miah, N. Ferdous, and M. M. Azad, Textiles Material Dy



- eing with Supercritical Carbon Dioxide(CO<sub>2</sub>) without Using Water, *Chem Mater Res.*, **3**, 38(2013).
21. J. J. Long, Y. Q. Ma, and J. P. Zhao, Investigations on the Level Dyeing of Fabrics in Supercritical Carbon Dioxide, *J. Supercrit. Fluid.*, **57**, 80(2011).
22. A. Hou and J. Dai, Kinetics of Dyeing of Polyester with C. I. Disperse Blue 79 in Supercritical Carbon Dioxide, *Color. Technol.*, **121**, 18(2005).

## Authors

---

- 고은희** 한국섬유소재연구원 선임연구원  
**이인열** 한국섬유소재연구원 본부장  
**김창일** ㈜아크로마코리아 소장