

초임계 유체 염색용 염료에 따른 면 섬유의 염색 특성 : C.I. Disperse orange 155, C.I. Disperse red 167

A Study of Dyeing Properties of Cotton Fabrics Under Supercritical CO₂ Depending on Dyestuff : by C.I. Disperse orange 155, C.I. Disperse red 167

*Corresponding author

Hyunseuk Choi
(span17@dyetec.or.kr)

최현석*, 김훈민, 전태영
DYETEC연구원 기능성소재연구단

Hyunseuk Choi*, Hunmin Kim, and Taeyoung Jeon
Korea Dyeing and Finishing Technology Institute, Daegu, Korea

Received_May 31, 2022
Revised_June 10, 2022
Accepted_June 17, 2022

Abstract In this study, the dyeing properties of supercritical fluid dyed cotton fabrics were investigated which use two types of dyes, such as C.I. Disperse orange and C.I. Disperse red 167. Dyeing temperature, pressure and leveling time were equally applied at 130 °C, 250 bar, and 60 minutes with reference to the related literature, and experiments were performed at concentrations of 0.04, 0.1, 0.4 and 0.8 % o.w.f with different concentrations. Dyeability was confirmed through measurement of washing fastness and color coordinate, and a calibration curve of each dye was drawn up and the absorbance of the residual dye was measured to confirm the amount of residual dye and the dye exhaustion rate at the corresponding concentration. As a result of color difference measurement, as the concentration increased, the L* value decreased and the K/S value increased. However, as the concentration increased, the increase in K/S value decreased compared to the input amount, and this tendency was more obvious in C.I. Disperse red 167 than in C.I. Disperse orange 155. The dye exhaustion rate which was calculated by using the amount of residual dye in the pot was also C.I. Disperse orange 155 was 96.16 % and C.I. Disperse red 167 was 94.57 %. However, as the dyeing concentration increased, the dye exhaustion rate decreased, that C.I. Disperse orange was 95.33 % and C.I. Disperse red 167 was 90.63 %. As a result of the washing fastness test for both dyes, dyed samples of which concentrations were 0.4 and 0.8 % o.w.f decreased by 0.5~1.0 grade. This is predicted because the dye did not completely adhere to the amorphous region of the cotton fiber and the dye simply adsorbed. The fastness to rubbing also maintained at least grade 3-4 up to the 0.1 % o.w.f concentration, but at the concentration of 0.4 % o.w.f or higher, it fell to grade 1 or lower, showing a very poor friction fastness.

Textile Coloration and Finishing
TCF 34-2/2022-06/93-101
© 2022 The Korean Society of
Dyers and Finishers

Keywords *supercritical fluid, dyeing concentration, dyeability, cotton, residual dye*

1. 서 론

초임계 이산화탄소 염색공정 기술은 기존 수계 염색공정에 비해 염료를 용해시키고 확산시키는 염색 매체가 다르다¹⁾. 분

산제의 첨가가 없이도 염료의 용해도가 큰 초임계 유체 특징으로 인해 염료의 용해가 크게 일어나고, 높은 확산 계수를 가진 초임계 이산화탄소에 용해된 염료가 섬유 표면으로 침투되는 방식의 염색법이다.

현재 섬유 염색 산업에 있어서 환경오염의 문제는 간과할 수

없다. 전통적인 염색 공정의 경우 물을 각종 염료용 운반 매체로 사용하는 수계 염색으로 1 kg의 섬유를 염색하기 위해 약 100~150 L의 폐수가 발생하며, 온도 유지 및 건조에 많은 에너지를 소비하는 등 에너지와 물 소비 등 환경오염적인 측면에서 고려되어야 할 사항이 많이 제기되고 있다²⁾.

이에 따라 국내의 경우에도 환경 규제에 대한 사회적 요구가 증가하고 있으며, 염색 공정 폐수 배출에 대한 규제를 강화하는 추세이다³⁾. 이러한 규제에 대응 가능한 염색법으로 물 없이 섬유의 염색이 이루어지는 초임계 염색법이 큰 가능성을 보이고 있다. 특히 이산화탄소 초임계 유체를 이용한 초임계 염색 기술이 대두되어 활발한 연구가 진행되고 있다⁴⁻¹³⁾.

일반적인 수계 염색에서 이산화탄소 대비 물은 표면장력이 크고 확산 계수가 작아 섬유의 팽윤 속도 및 염료의 침투속도가 느려 평형에 도달하는데 시간이 오래 걸리게 됨으로써 총 염색공정이 길어지게 된다. 또한 염색 후 섬유의 건조공정이 필요하다. 그리고 난용성 염료를 사용할 경우 염료의 충분한 용해를 위해 분산제가 필요하다는 단점을 가지고 있다¹⁴⁾. 반면 초임계 유체 염색 기술은 염색 매체로 초임계 유체를 사용하여 높은 확산도와 낮은 점도, 그리고 표면장력이 없다는 특성으로 인해 염료가 섬유로 침투하는 것이 용이하여 물에 비해 염색 시간이 매우 짧다. 또한 물을 사용하지 않는 공정이기 때문에 염색 후 섬유의 건조공정이 필요 없어 에너지 절약이 가능하다. 그리고 초임계 염색 기술은 염료 이외의 분산제나 계면활성제와 같은 어떠한 첨가제도 필요 없을 뿐만 아니라, 용매로 사용하는 초임계 유체도 완전히 회수할 수 있어 폐수를 전혀 발생시키지 않는다. 또한 용매뿐만 아니라 잔류 염료도 완전히 회수할 수 있어 경제적으로나 환경적인 측면에 있어서 매우 유리한 염색 방법이다¹⁴⁾.

초임계 유체 염색 기술은 1993년 독일의 Schollmeyer 교수팀에 의해 제안되었으며, 이후 1996년 독일 Udhe 社에서 Ciba 社와의 공동연구를 통해 Pilot Scale의 초임계 염색기가 개발된 것부터 시작되었다^{15,16)}. 이후 미국, 일본 등이 높은 수준의 고압 기술을 앞세워 초임계 염색에 대한 다양한 연구를 진행하였지만, 상용 가능한 염색기는 구성 및 제조 과정에서

필요한 고압기기의 높은 가격으로 경제성의 한계가 있어 기술 개발 속도가 늦어졌다.

그러나 고압기기 제작 기술의 발전과 ‘필 환경(Green Survival)’의 시대로 접어들면서 2012년 네덜란드 ‘DyeCoo’ 社에서 상업용 초임계 유체 염색기가 최초 개발되었다. 그 뒤 나이키, 아디다스 등 글로벌 브랜드에서 초임계 염색 기술 적용 제품을 출시하면서 다시 주목받게 되었다¹⁷⁻²¹⁾.

최근 국내에서 초임계 염색 기술을 적용하기 위한 연구가 기업, 학교 및 연구기관을 중심으로 진행되고 있으나 폴리에스터와 나일론 섬유 염색에 집중되어 있고 면 섬유 염색 관련 연구는 보도된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 초임계 면 염색용 염료 2종의 염색 특성을 염료 농도별 염색 및 분석을 통해 면섬유 염색에 적합한 초임계용 염료 및 염색 조건 확립을 도모하였다.

2. 실험

2.1 시료 및 설비

초임계 유체 이산화탄소(순도 99.9%)를 염색 용매로 사용하였으며, 염색 시료는 정련된 면 직물을 사용하였다. 염색 시료의 중량은 12g으로 통일하였으며, 염색에 사용된 C.I. Disperse orange 155, C.I. Disperse red 167 등 염료 2종은 아크로마코리아(주)로부터 제공받았다. 원단 시료 및 염료, 그리고 사용 설비 등의 상세 정보를 Table 1에 정리하였다.

현재 초임계 염색용 염료는 대부분 폴리에스터 섬유 염색 용이며, 면을 포함한 Cellulose 염색 관련 연구 자료가 많이 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 아크로마코리아(주)에서 제공한 면 염색 용 염료 2종을 사용하였으며, 해당 염료의 구조식을 Figure 1에 나타내었다.

실험에 사용된 염료는 일반적인 수계 염색 시 사용하는 염료와 다르게 분산제, 계면활성제 등 기타 첨가제가 포함되어 있

Table 1. Characteristics of fabrics and dyestuff and equipment

Fabric sample	Cotton (CM 30 × 30, 144 × 94, 5718" B/O, 182 g/m ²)
94 Dyestuff	C.I. Disperse orange 155 0.04%, 0.1%, 0.4%, 0.8% o.w.f (Archroma Korea)
	C.I. Disperse red 167 0.04%, 0.1%, 0.4%, 0.8% o.w.f (Archroma Korea)
Equipment	Supercritical Fluid Lab. Dyeing Machine (Pot volume 200mL, Deajoo Machinery)

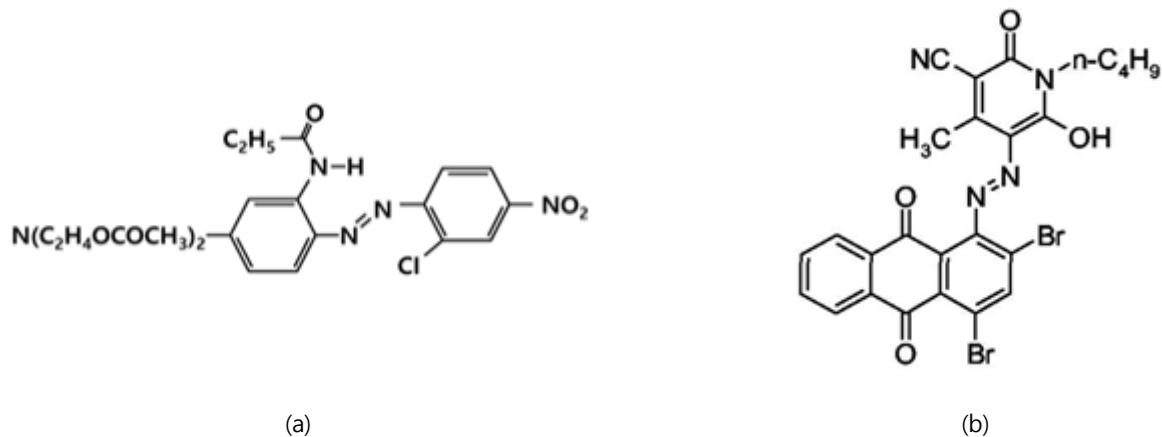


Figure 1. Chemical structure of dyestuff; (a) C.I. Disperse red 167 and (b) C.I. Disperse orange 155.

지 않은 순수한 염료만 합성한 것이지만, 초임계 유체의 뛰어난 용해성으로 인해 염료가 충분히 용해되었다. 염색 설비는 (주)대주기계에서 개발한 Lab. Scale 초임계 염색기를 사용하였다.

2.2 초임계 염색 실험

2.2.1 사용 염료의 용해도

초임계 면 염색용 염료를 아크로마코리아(주)로부터 전달받았으며, 해당 염료의 초임계 이산화탄소에 대한 용해도는 C.I. Disperse orange 155의 경우 30ppm이었고, C.I. Disperse red 167의 경우 78ppm인 것을 확인하였다.

2.2.2 이산화탄소 주입

초임계 염색 시 염색 온도 및 압력 등의 조건은 이산화탄소 Gas의 주입량으로 조절하는데 이산화탄소 주입량은 NTIS Isothermal Data를 준용하여 온도 130°C, 압력 250bar에 따른 0.47g/ml를 확인하여 주입하였다. 포트 내부 부피에서 측정된 염색 Beam과 투입 구슬의 부피, 투입 원단 시료 무게를 빼고 온도 130°C, 압력 250bar에서의 이산화탄소 밀도(NTIS Isothermal Data 준용) 0.47g/ml를 곱하여 계산하였다. 또한 이산화탄소 Gas 주입 시 유체의 흐름에 따라 Gas가 원활하게 주입될 수 있도록 포트를 약 -15°C에서 15분간 냉각시킨 후

Gas 주입을 진행하였다.

2.2.3 염색 조건

초임계 유체 공법을 사용하여 염색을 진행하기 전 온도, 압력 등의 염색 조건 선정을 위해 이산화탄소 초임계 유체 염색 관련 문헌을 참고하였다¹⁸⁻²²). 일반적으로 초임계 이산화탄소 내 염료의 용해도는 고온, 고압 조건에서 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 면섬유 외 타 소재 염색 실험에서 폴리에스터 염색 시 120°C, 250bar, 나일론 염색 시 110°C, 230bar의 조건을 표준 염색 조건으로 하고 있었다¹⁶).

하지만 면의 경우 두 소재 대비 염착성이 저조했다. 이러한 연구 결과를 참고해 본 연구에서는 더욱 높은 온도 조건으로 130°C, 250bar에서 염색을 진행하였다. 염색 시 면 시료를 Beam에 감아 진행하며, 염료의 원활한 용해를 위해 쇠구슬 5개를 사용하였다. 염료 2종의 최대 흡착 농도를 분석하고, 최적 염색 농도를 확립하기 위해 염료 농도별 염색 실험을 진행하였으며, 염료 농도는 0.04, 0.1, 0.4, 0.8% o.w.f로 각각 다르게 하여 진행하였다. 본 연구의 염색 실험 조건을 Table 2에 정리하였다.


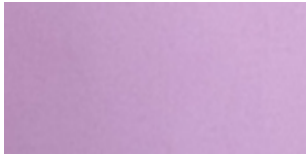



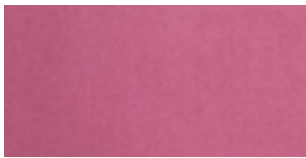

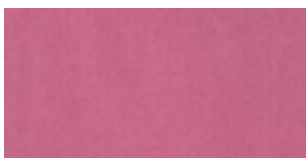
2.2.4 색측정 및 잔류 염료 량 측정

염료 2종 농도 별 염색 시료의 염색 특성 분석을 위해 시료의

Table 2. Conditions of dyeing for cotton fabrics with supercritical fluid

Pot volume (mL)	Beam/Ball volume (mL)	Cotton sample weight (g)	CO ₂ Density (g/mL)	CO ₂ Amount of injection (g)	Temperature (°C)	Pressure (bar)
200	20	12	0.47	79	130	250

Table 3. Sample of cotton fabric by different concentration (a) C.I. Disperse orange 155 and (b) C.I. Disperse red 167

Concentration% (o.w.f)	(a) Dyed color	(b) Dyed color
0.04		
0.1		
0.4		
0.8		

색차 측정을 진행하였으며, 측정에는 X-Rite Ci7600(X-Rite, USA) 측색기를 사용하였다. 색차의 경우 염료 농도 증가에 따른 색차(D65광원)를 분석하여 농도 변화에 따른 색상 변화 경향을 명도 지수 L*값과 K/S값을 분석하여 확인하였으며, K/S값의 경우는 $\lambda_{max}(300 \sim 600nm)$ 에서 표면반사율을 측정하여 다음의 Kubelka Munk 식(1)에 의해 산출했다.

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

where,

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

염색 원단을 크기 19cm x 15cm로 잘라 측색 시료를 준비하고, 측색 기준은 시료의 중앙값으로 하여 염료 농도별로 비교하였다. 또한 염료 농도 별 잔류 염료 량을 확인하기 위해 각 염료 2종의 검량선을 작성하고 잔류의 흡광도를 측정하였다. 검량선은 염료별 농도를 6 point(0.4, 0.7, 1, 4, 7, 10ppm)로 하였으며, UV-vis를 이용하여 흡광도를 측정 후, 검량선을 작성하였다.

2.2.5 염색건뢰도 측정

C.I. Disperse orange 155, C.I. Disperse red 167 염료 2종의 농도 조건 별 염색 시료의 세탁 및 마찰 건뢰도 등 염색건뢰도 분석을 진행하였다. 세탁 건뢰도는 Launder-O-meter (Taelim A&C, Korea)를 사용하여 KS K ISO 105-C06(40±2 °C, 30min, 0.5% ISO Soap)에 의거하여 측정하였으며, 마찰 건뢰도는 규격 KS K ISO 105-X12을 준용하여 건·습 마찰건뢰도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 염료 농도에 따른 색상 농도 비교

C.I. Disperse orange 155, C.I. Disperse red 167 2종의 염색 실험은 염료 농도 0.04, 0.1, 0.4, 0.8% o.w.f로 농도 조건을 다르게 하였으며, 온도 130°C, 압력 250bar의 조건에서 동일하게 진행하였다. 색차와 잔류 염료량, 세탁 및 마찰 건뢰도 등을 측정하여 각 염색 시료의 염색 특성을 분석하였으며, 실제 농도별 염색 시료를 나타내었다. 염료 2종의 농도별 염색한 시료의 염색 특성 분석을 위해 각 시료의 색차를 측정된 결과를 Table 4, Figure 2, Figure 3에 나타내었다.

Table 4. Color characteristics of cotton fabrics by concentration of dyestuff

Dyestuff	Dye concentration (% o.w.f)	L*	a*	b*	C*	h	Total K/S
C.I. Disperse orange 155	0.04	78.53	9.47	29.76	31.23	72.34	12.75
	0.1	74.44	17.28	43.42	46.73	68.30	24.85
	0.4	65.36	32.46	55.11	63.96	59.50	78.59
	0.8	61.39	39.57	55.23	67.94	54.38	103.67
C.I. Disperse red 167	0.04	68.46	32.19	4.67	32.53	8.25	14.94
	0.1	61.20	41.07	12.05	42.80	16.36	32.55
	0.4	53.91	45.21	17.53	48.49	21.19	62.89
	0.8	51.83	42.74	17.06	46.02	21.76	66.28

Table 4의 결과를 보면 염료 종류에 관계없이 염료 농도가 증가할수록 L*값이 감소하고 Total K/S값은 증가하는 경향을 보였다. 이는 농도가 증가할수록 같은 원단의 양에 더욱 많은 염료가 투입되었으므로, 염착되는 염료량이 증가하여 더 농색으로 염색된 결과이다. 0.04% o.w.f에서 0.1% o.w.f로 염료 농도를 증가하였을 때 염료 2종 모두 Total K/S값이 약 2배로 증가하였으나, 0.4% o.w.f에서는 0.1% o.w.f 대비 염료 투입량이 4배인 것에 비해 Total K/S값의 증가 폭은 투입량 대비 미미하

였다. 이러한 경향은 0.8% o.w.f에서 더욱 심화되었으며, 특히 C.I. Disperse red 167의 경우 0.4% o.w.f 농도 염색 시료의 Total K/S값은 62.89, 0.8% o.w.f 농도 염색 시료의 Total K/S값은 66.28로 염료 투입량이 2배인 것을 고려할 때 Total K/S값의 증가량은 약 5% 수준으로 매우 미미하였다. 이는 염료 투입량이 증가하여도, 면 시료가 최대 흡착될 수 있는 최대 흡진율이 정해져 있으며, C.I. Disperse red 167의 경우 0.8% o.w.f의 농도는 이미 최대 흡진율을 넘어선 것으로 예측된다.

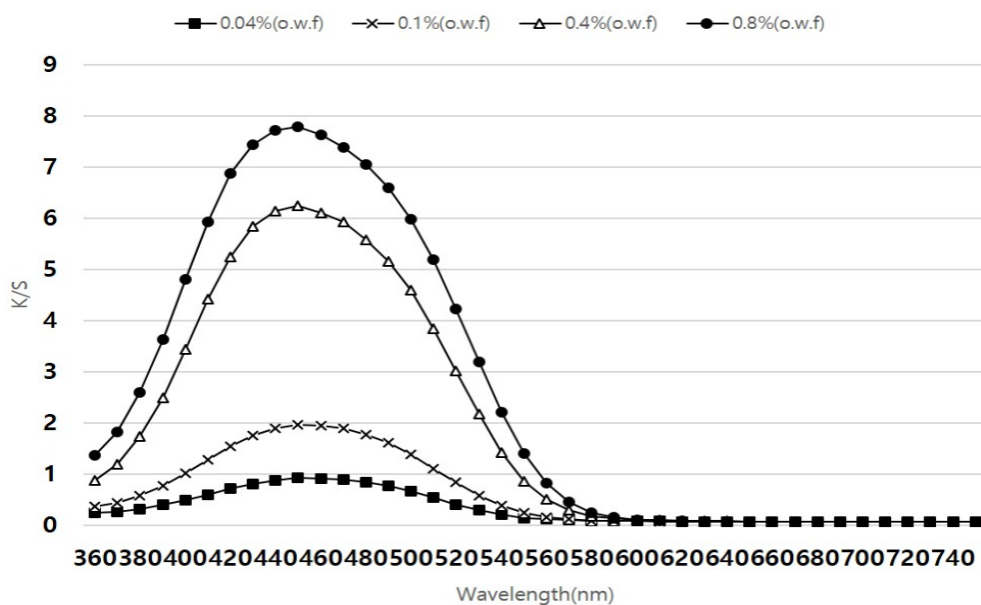


Figure 2. K/S values by concentration of dyestuff (C.I. Disperse orange 155).

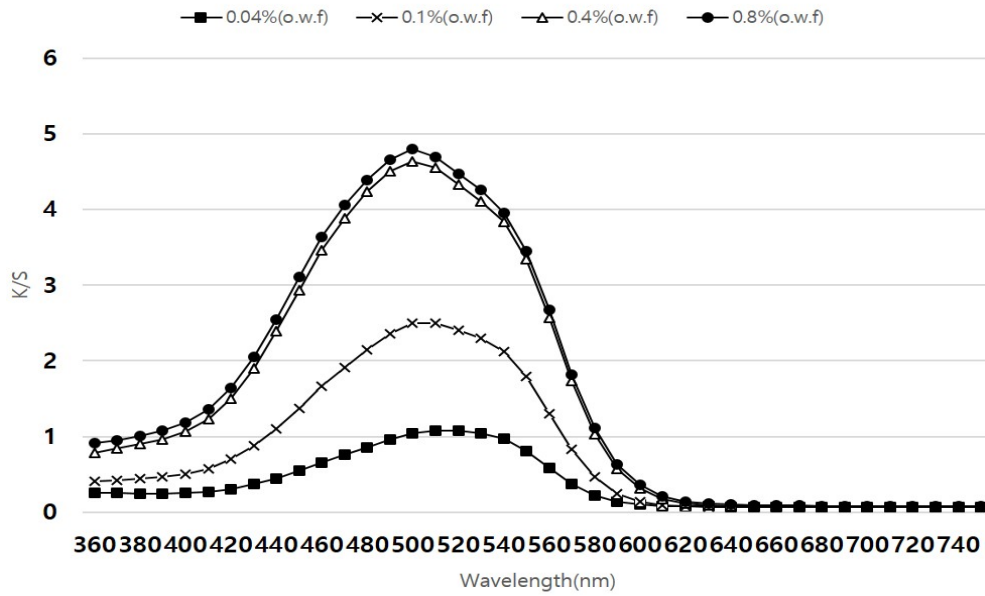


Figure 3. K/S values by concentration of dyestuff (C.I. Disperse red 167).

Figure 2에 나타난 실제 염색된 시료를 관찰할 때 육안으로 보아도 C.I. Disperse orange 155의 경우 0.4% o.w.f 보다 0.8% o.w.f의 색이 더 진하게 올라온 것을 확인할 수 있지만, C.I. Disperse red 167 염료는 육안으로 판별이 어려울 정도의 색차를 나타냈다.

3.2 염료 농도별 포트 내 잔류 염료량 비교

염색 시료의 측색 및 관찰을 통해 정성적으로 분석했던 염료

2종의 최대 흡진량을 정량화하기 위해 염료 농도별 염색 후 염색 포트 내 잔여 염료의 흡광도를 측정하였다. 염색 후 포트 내에 남아있는 잔여 염료의 포집을 위해 동일하게 20mL의 아세톤에 3분간 용해 후 아세톤을 휘발시켜 획득한 잔여 염료를 흡광도 측정할 수 있는 수준의 농도로 다시 아세톤에 용해시켜 흡광도를 측정하였다. 흡광도 측정 결과를 검량선에 외삽하여 확인해 본 결과 초기 염료 투입량 대비 염착된 염료 흡진량은 C.I. Disperse orange 155은 0.04% o.w.f에서 96.16%,

Table 5. Exhaustion by concentration of dyestuff

Dyestuff	Condition (% o.w.f)	Acetone (g)	Absorption (A)	Concentration (ppm)	Weight of the remaining dye (g)	Exhaustion (%)
C.I. Disperse orange 155	0.04	25	0.630	7.37	0.00018	96.16
	0.1	25	0.914	10.70	0.00027	97.77
	0.4	100	1.838	21.51	0.00215	95.52
	0.8	150	2.551	29.86	0.00448	95.33
C.I. Disperse red 167	0.04	50	0.547	5.21	0.00026	94.57
	0.1	50	0.868	8.28	0.00041	96.55
	0.4	200	1.238	11.80	0.00236	95.08
	0.8	400	2.359	22.48	0.00899	90.63

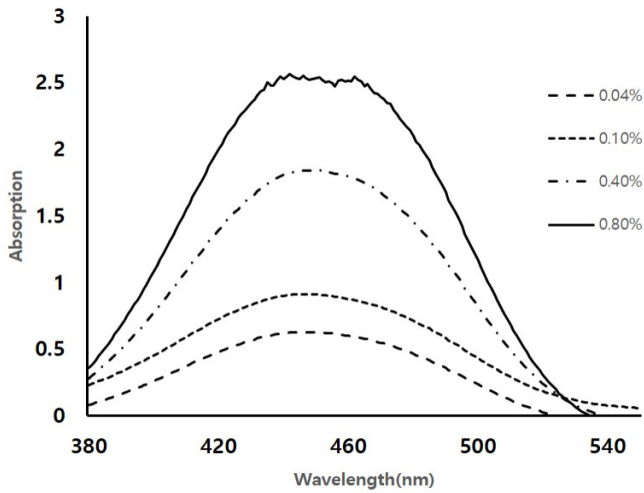


Figure 4. Absorbance of the remaining dyestuff in pot after dyeing (C.I. Disperse orange 155).

0.1% o.w.f에서 97.77%, 0.4% o.w.f에서 95.52%, 0.8% o.w.f에서 95.33%로 염료 투입량이 증가함에도 95% 이상의 흡진율을 나타냈다. 반면 C.I. Disperse red 167은 0.04% o.w.f 농도에서 94.57%, 0.4% o.w.f에서 96.55%, 0.4% o.w.f에서 95.08로 0.4% o.w.f 농도까지 95% 이상의 흡진율을 나타냈지만 0.8% o.w.f의 농도에서 90.63%로 흡진율이 급격히 하락한다. 이러한 결과는 C.I. Disperse red 167 염료의 경우 0.4% o.w.f 농도 염색 시료의 Total K/S값은 62.89, 0.8% o.w.f 농도 염색 시료의 Total K/S값은 66.28로 염료 투입량이 2배인 것을 고려할 때 Total K/S값의 증가량이 미미했던 결과와 일치하며, 0.4% o.w.f의 농도에서 이미 최대 흡진율을 넘어서 흡진 가능한 양의 염료가 시료에 포화상태로 존재하여, 그 외의 염료는 모두 잔염으로 남은 결과로 보인다. 초임계 염색의 경우 염색 후 수세 공정 과정이 없으므로, 잔염을 최소화할 수 있는 최적 농도를 선정하는 것이 중요하다.

그러므로 염색물의 색상과 흡진율을 고려할 때 C.I. Disperse

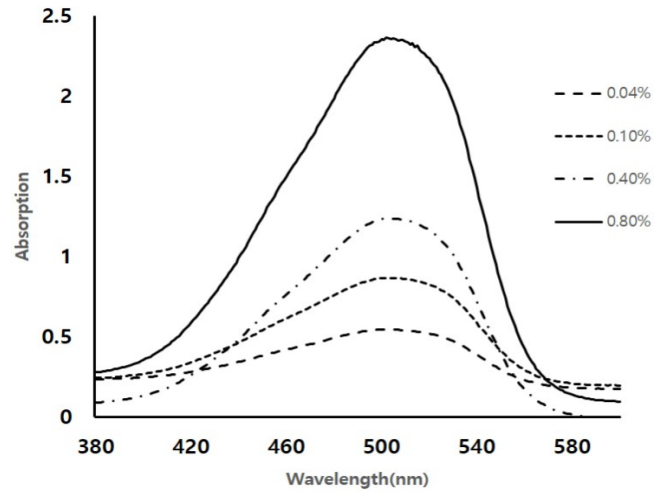


Figure 5. Absorbance of the remaining dyestuff in pot after dyeing (C.I. Disperse red 167).

orange 155는 경우에 따라 0.4% o.w.f 이상의 농도로 염색 시 더욱 농색으로 염색이 가능하지만, C.I. Disperse red 167의 경우 0.4% o.w.f 이하의 농도에서 염색하는 것이 적합한 것으로 생각된다. 해당 결과를 Table 5, Figure 4, Figure 5에 나타내었다.

3.3 염료농도별 세탁견뢰도 비교

염료 2종의 농도별 염색 시료의 염색 특성 분석을 위해 세탁 견뢰도를 측정하였다. 세탁 견뢰도 측정 결과 폴리에스터, 나일론 등 타 소재에 비해 다소 미흡한 견뢰도 등급을 획득하였다. 염료 종류에 상관없이 농도가 높아질수록 세탁 견뢰도가 하락하였다.

C.I. Disperse orange 155 염료의 경우 0.04% o.w.f 농도에서는 4급 이상을 획득하였으나, 0.1% o.w.f 농도에서 3급 이하로 하락 후 0.4% o.w.f 이상에서는 2급 이하로 매우 미흡한

Table 6. Washing fastness of cotton fabrics by concentration of dyestuff (C.I. Disperse orange 155)

Concentration	Color change	Acetate	Cotton	Nylon	Polyester	Acrylic	Wool
0.04	4-5	4	4-5	4	4-5	4-5	4
0.1	4-5	3	4-5	3	4-5	4-5	3
0.4	4-5	2	4	2	4	4-5	2
0.8	4-5	2	4	2	4	4-5	2

Table 7. Washing fastness of cotton fabrics by concentration of dyestuff (C.I. Disperse red 167)

Concentration	Color change	Acetate	Cotton	Nylon	Polyester	Acrylic	Wool
0.04	4-5	4	4-5	3	4-5	4-5	3
0.1	4-5	3-4	4	2	4-5	4-5	2
0.4	4-5	2-3	3-4	1-2	4-5	4-5	1-2
0.8	4-5	2-3	3	1-2	4-5	4-5	1-2

견뢰도를 나타냈다.

C.I. Disperse red 167 염료의 경우 비교적 더욱 미흡한 수준으로 0.04% o.w.f의 농도에서도 3급 이하로 나타났으며, 0.4% o.w.f 이상에서 1~2급으로 확인되었다. 해당 결과는 고농도로 염색 시 염료가 면섬유의 비결정 영역에 완전히 고착하지 못하고 단순 흡착된 염료가 발생했기 때문으로 판단된다. 면섬유의 경우 초임계 염색용 염료로 염색 시 세탁 견뢰도에서 미흡한 부분이 있으므로, 염색 최적 농도를 기타 소재 대비 낮게 설정하는 것이 옳다고 판단된다(Table 6, Table 7).

3.4 염료농도별 마찰견뢰도 비교

염료 2종의 농도별 염색 시료의 염색 특성 분석을 위해 마찰 견뢰도를 측정된 결과 역시 높은 농도로 염색해 더 진한 염색 시료가 미흡한 마찰 견뢰도를 보였다. 두 염료를 비교 시 C.I. Disperse red 167 대비 C.I. Disperse orange 155의 마찰 견뢰도가 약 0.5~1급 정도 우수한 것으로 나타났으며, C.I. Disperse orange 155 염색 시료의 경우 0.1% o.w.f의 농도에서도 4급 이상의 마찰 견뢰도를 유지한 것과 달리, C.I. Disperse red 167 염색 시료의 경우 0.1% o.w.f의 농도에서 3급을 획득하였고,

0.4% o.w.f 이상까지 농도를 높였을 때 1~2급으로 매우 저조한 마찰 견뢰도를 나타냈다(Table 8, Table 9).

4. 결 론

본 연구에서는 면 염색용으로 개발된 초임계 염료의 농도 조건별 염색 실험을 통해 염료의 초임계 이산화탄소 염색의 염색 특성을 분석하였다. 측색, 잔여 염료량 측정을 통한 흡진을 분석 등의 결과를 고려할 때 2종의 염료 모두 염료 농도가 증가할수록 염색 시료의 색 농도가 증가하였으나, 고농도로 갈수록 염료 투입량 대비 그 정도가 감소하는 것으로 나타났다. 특히 C.I. Disperse red 167의 경우 0.4% o.w.f 농도 염색물과 0.8% o.w.f 농도 염색물의 색차가 거의 없었으며, 흡진을 또한 급격히 감소하였다. 이러한 결과로 볼 때 C.I. Disperse orange 155의 염료는 경우에 따라 0.4% o.w.f 이상의 농도에서 염색하는 것이 유의미 하나, C.I. Disperse red 167의 경우 0.4% o.w.f 이하의 농도에서 염색하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

Table 8. Rubbing fastness of cotton fabrics by concentration of dyestuff (C.I. Disperse orange 155)

Concentration	Dry	Wet
0.04	5	4-5
0.1	4-5	4
0.4	4	3
0.8	3	2-3

Table 9. Rubbing fastness of cotton fabrics by concentration of dyestuff (C.I. Disperse red 167)

Concentration	Dry	Wet
0.04	4-5	3-4
0.1	4	3
0.4	1-2	1-2
0.8	1	1-2

본 연구를 통해 면 염색 용 염료 2종의 염색 조건을 확립하였으나, 폴리에스터, 나일론 등의 합성소재 대비 염색 특성이 미흡한 것이 사실이다. 고농도에서도 색 강도가 높지 않고, 균염성 확보, 마찰견뢰도 불량 등의 문제가 발생했다. 앞으로 추가 연구를 통해 이러한 부분을 보완 및 해결해야 될 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 산업통상자원부 물 없는 컬러산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다(200kg급 초임계 유체 염색설비 및 염색 공정 기술 개발, 과제번호 : 10078329).

References

- G. An, W. Ma, Z. Sun, Z. Liu, B. Han, and S. Miao, Preparation of Titania/carbon Nanotube Composites using Supercritical Ethanol and their Photocatalytic Activity for Phenol Degradation under Visible Light Irradiation, *Carbon*, **45**(9), 1795(2007).
- T. Kim, G. Park, W. Kong, and Y. Lee, Supercritical Dyeing Technology, *Clean Technology*, **24**(1), 1(2018).
- J. Lee, Review : Present Status of Green Chemistry, *J. of the KIMST*, **14**(2), 246(2011).
- H. Choi, S. Park, and T. Kim, Dyeability of Nylon Fabrics with Dyestuff for Supercritical Fluid Dyeing (1) : C.I. Disperse Red 167, C.I. Disperse Violet 93, *Textile Coloration and Finishing*, **32**(4), 217(2020).
- H. Choi, S. Park, T. Kim, and T. Song, A Study of Dyeing Properties of PET Fabrics under Supercritical CO₂ Depending on Test Condition: by Temperature, Pressure, Leveling Time, *Textile Coloration and Finishing*, **31**(1), 14(2019).
- S. Park, H. Choi, T. Kim, and T. Song, The Influence of the Contact Amount of Supercritical CO₂ on Dyeing Uniformity, *Textile Coloration and Finishing*, **31**(1), 25(2019).
- Q. Lang and C. M. Wai, Supercritical Fluid Extraction in Herbal and Natural Product Studies- A Practical Review, *Talanta*, **53**(4), 771(2001).
- M. Perut, Supercritical Fluid Applications: Industrial Developments and Economic Issues, *American Chemical Society*, **39**(12), 4531(2000).
- H. Lochard, J. Letourneau, M. Sauceau, and E. Rodier, Particle Generation for Pharmaceutical Applications Using Supercritical Fluid Technology, *Power Technology*, **141**(3), 219(2004).
- R. A. Quirk, R. M. France, K. M. Shakeshef, and S. M. Howdle, Supercritical Fluid Technologies and Tissue Engineering Scaffolds, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, **8**(3), 313(2004).
- N. R. Buley, M. Fatori, A. Meisen, and L. Moyls, Supercritical Fluid Extraction of Vegetable Oil Seeds, *Journal of the American Oil Chemists of Society*, **61**(8), 1362(1984).
- M. R. D. Giorgi, E. Cadoni, D. Marica, and A. Piras, Dyeing Polyester Fibres with Disperse Dyes in Supercritical CO₂, *Dyes and Pigments*, **45**(1), 75(2000).
- A. S. Ozcan, A. A. Clifford, K. D. Bartle, and D. M. Lewis, Dyeing of Cotton Fibres with Disperse Dyes in Supercritical Carbon Dioxide, *Dyes and Pigments*, **36**(2), 103(1998).
- Y. U. Lee, Supercritical Fluid Dyeing Technology, *Journal of the KSME*, **55**(7), 51(2015).
- B. Gebert, W. Saus, D. Knitel, H. J. Buschman, and E. Scholmeyer, Dyeing Natural Fibers with Disperse Dyes in Supercritical Carbon Dioxide, *Textile Research Journal*, **64**(7), 371(1994).
- S. Maeda and K. Kunitou, One-bath Dyeing of Polyester/Cotton Blends with Reactive Disperse Dyes in Supercritical Carbon Dioxide, *Textile Research Journal*, **74**(1), 989(2004).
- H. Wen and J. J. Dai, Dyeing of Polylactide Fibers in Supercritical Carbon Dioxide, *Journal of Applied Polymer Science*, **105**(4), 1903(2007).
- W. Saus, D. Knitel, and E. Scholmeyer, Dyeing of Textiles in Supercritical Carbon Dioxide, *Textile Research Journal*, **63**(3), 135(1993).
- J. H. Kim, Theme : Supercritical Fluid, *Journal of Korean Society of Mechanical Engineers*, **5**(7), 30(2015).
- E. Bach, E. Cleve, and E. Scholmeyer, Past, Present and Future of Supercritical Fluid Dyeing Technology, *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, **32**(1), 88(2002).
- A. Hou, B. Chen, J. Dai, and K. Zhang, Using Supercritical Carbon Dioxide as Solvent to Replace Water in Polyethylene Terephthalate(PET) Fabric Dyeing Procedures, *Journal of Cleaner Production*, **18**(10), 1009(2010).
- M. Banchemo, S. Sicardi, A. Feri, and L. Mana, Supercritical Dyeing of Textiles -From the Laboratory Apparatus to the Pilot Plant, *Textile Research Journal*, **78**(3), 217(2008).

Authors

- 최현석** DYETEC연구원 선임연구원
김훈민 DYETEC연구원 전임연구원
전태영 DYETEC연구원 선임연구원