

〈研究論文(學術)〉

CDP 섬유의 염색성(Ⅱ) - 염색성 및 물성에 미치는 열처리의 영향 -

신우영 · 정동석 · ¹이문철

부산대학교 섬유공학과

Dyeing Properties of CDP Fiber(Ⅱ) - Effect of Heat Setting on Dyeing and Physical Properties of CDP Fabric -

Woo Young Shin, Dong Seok Jeong and ¹Mun Cheul Lee

Department of Textile Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

(Received November 30, 2004/Accepted April 4, 2005)

Abstract—Cationic dyeable polyester(CDP) fabric was annealed at varying temperatures range from 120°C to 220°C for 1, 3, and 5 min under tension. Dyeing rates of CDP fabrics were measured with cationic and disperse dyes at 100°C and 120°C in water system. Also X-ray diffraction pattern, DSC thermograms and dyeability of fabric with cationic and disperse dyes were investigated. The intensities of X-ray diffraction peaks of annealed fabric were increased with increasing in annealed temperature, and peak became sharp with heat setting temperature. The apparent color depth (K/S) of CDP fabric initially decreased with increase of heat-setting temperature up to 160~180°C and then increased at higher temperature. The shearing modulus(G) and surface roughness were increased with annealing temperature.

Keywords : Cationic dyeable polyester(CDP), heat treatment, dyeing and physical properties, annealing temperature, color strength(K/S), KES

1. 서 론

폴리에스테르 섬유는 강도가 높고, 내약품성이 강하며, heat set성, Wash & Wear성 등 여러 가지 우수한 성질을 지닌 합성 섬유이지만, 색상의 선명도가 낮고 염색후의 가공처리에 의한 습윤시 마찰 견뢰도 및 습윤견뢰도가 저하된다는 염색가공상의 난점 등을 내포하고 있는데, 이것은 폴리에스테르와 분산염료와의 본질적인 특성으로 인하여 발생

되는 문제점이라 할 수 있다. 따라서 1962년 Dupont 사는 양이온염료 가염형 폴리에스테르(이하 CDP 섬유로 약칭)의 Dacron T-64를 발표하고 1970년대에 들어와 실용화에 성공하였다.^{1,2)}

폴리에스테르 섬유 제조 시의 열처리는 사용도중에 일어나는 수축을 방지하고 필링 발생을 억제시키기 위한 것이다. 폴리에스테르의 경우 열고정 온도가 높아짐에 따라 염료의 흡진률이 감소하여 180°C 부근에서 최저치를 나타내며, 그 이상의 온도에서는 역으로 온도가 높아질수록 흡진률도 증가하는 것으로 알려져 있다. 이는 비교적 낮은 온

¹Corresponding author. Tel. : +82-51-510-2408 ; Fax. : +82-51-512-8175 ; e-mail : leemc@pusan.ac.kr

도에서의 열처리에는 비배향화가 증가하는데 비헤 고온에서의 열처리는 결정화 경향이 우세하기 때문에 염료가 확산되어 침투될 수 있는 부분이 감소하고, 180°C 이상의 높은 온도에서는 결정화되려는 경향보다 비배향화 되려는 정도가 크기 때문에 염료가 침투할 수 있는 영역이 증가하는 것으로 보고되고 있다.^{3,6)}

그러나 CDP 섬유의 경우 실용화의 성공 이후 사용 용도의 한정에 따라 폴리에스테르의 단점을 향상시키려는 연구개발이 진행되어왔다. 최근에는 폴리에스테르와 스판덱스섬유의 혼방의 증가와 산업용의 경우 접착제 사용이 늘어남에 따라, 폴리에스테르와 분산염료의 사용이 제한되고 있다. 따라서 스판덱스와 혼용하여 사용하거나, 접착제를 사용하는 경우에는 폴리에스테르섬유 대신에 CDP 섬유 사용이 늘어나고 있다. 따라서 CDP 섬유의 염색공정상에서 열안정성문제와 용제와의 상호작용이 중요하다. 그러나 이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.^{7,8)}

본 연구에서는 CDP 섬유에 대하여 다양한 온도에서 열처리를 통한 미세구조의 변화 및 분산염료와 캐티온염료에 대한 염색성과 염색물의 견뢰도 및 촉감 변화를 검토하였다.

2. 실험

2.1 시료

75d/36f (monodienier : 2.08d) 및 75d/72f (monodienier : 1.04d)의 2종의 CDP 섬유 및 편직물을 사용하였다. 구조분석에서 사용한 것은 CDP 섬유인 75d/36f, 75d/36f 및 75d/72f로 제편된 편직물을 염색성 시료로 하였다. 이들 섬유 및 편직물은 탄산나트륨 1g/L과 모노겐 1g/L(Monogen, 대영화학)의 수용액에서 80°C, 20분간 정련하였다.

2.2 열처리

긴장 상태로 CDP 섬유를 열풍 건조기를 사용하여 특정 온도 범위(100°C, 120°C, 140°C, 160°C, 180°C, 200°C, 220°C)에서 각각 1분, 3분, 5분간 열처리하였다.

2.3 물성 분석

2.3.1 광각 X-선 회절

시료의 결정구조는 Ni-filter로서 단색화한 CuK α

선을 사용하여 X-ray Diffractometer (Rigaku III-D MAX, Japan)로 분말법에 의한 광각 X-선 회절강도곡선을 측정하였다.

2.3.2 열분석

DSC (Shimadzu DSC-50, Japan)를 이용하여 질소 기류 하에서 각 시료를 10°C/min의 속도로 승온시켜 용융곡선을 얻고 이를 -10°C까지 급랭한 뒤 다시 승온하여 측정하였다.

2.3.3 밀도

사염화탄소(비중-1.59)와 n-헵탄(비중-0.68)의 혼합액을 이용하여 밀도구배관 (Shibayama density gradient column, Japan)으로 온도 23°C에서 시료의 밀도를 각각 측정하였다.

2.3.4 KES 측정

소정의 온도에서 열고정 처리한 CDP 편직물 및 미처리 시료를 KES (Kawabata Evaluation System)에 의한 전단강성 G 및 표면 거칠기를 측정하였다.

2.4 염색 및 측색

2.4.1 염료

캐티온염료 3종과 분산염료 3종을 사용하였으며, 이는 전보⁹⁾의 경우와 동일하다.

2.4.2 측색

3종의 분산염료와 캐티온염료로 열처리한 CDP 섬유를 염색하여 이는 전보⁹⁾의 경우와 동일하다.

2.4.3 염색된 직물이 열에 의한 색상 변화

분산염료와 캐티온 염료로 염색된 CDP 염색물을 미니 텐터를 사용하여 120°C, 150°C, 180°C, 200°C의 온도에서 각각 1분, 3분간 건열처리하여 L^* , a^* , b^* 및 색차 ΔE_{ab}^* 값을 구하였다. 또한 그레이 스케일에 의한 색상변화를 등급으로 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열처리에 따른 구조 분석

75d/36f CDP 섬유 내부의 결정의 변화를 조사하기 위하여 다양한 온도에서 1분, 3분, 5분간 열처리된 CDP 섬유의 광각 X-선 회절곡선을 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 $2\theta = 17.8^\circ$, 23.1° 및 26.4° 부근에서 각각 (010), ($\bar{1}$ 10), (100) 면

을 확인 할 수 있으며 열처리 온도의 높아짐에 따라 회절 피크의 강도가 커지고 예리해졌다. 이와 같이 X-선 회절 피크 강도가 증가하는 것은 열처리 온도가 증가할수록 결정의 분율이 증가함을 의미하며, 열처리 시간이 길어질수록 피크의 강도가 커지고 예리하게 나타났다.

열처리 온도의 조건에 따른 밀도를 알아보기 위해 밀도 구배를 통하여 각 온도별 열처리된 75d/36f CDP 섬유에 대한 밀도를 Fig. 2에 나타내었다.

열처리 온도가 높아짐에 따라 밀도도 증가하고 있으며 160°C 이후의 열처리 온도에서 밀도의 곡선

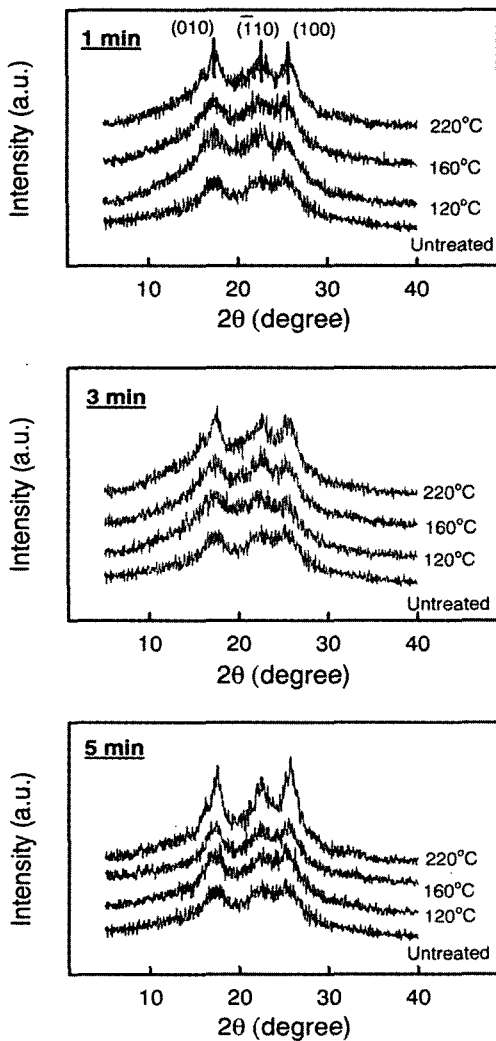


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of CDP fiber annealed under tension at various temperatures.

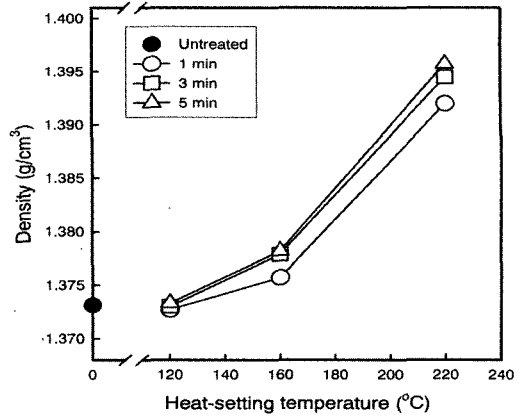


Fig. 2. Density of CDP fiber annealed under tension at various time and temperatures.

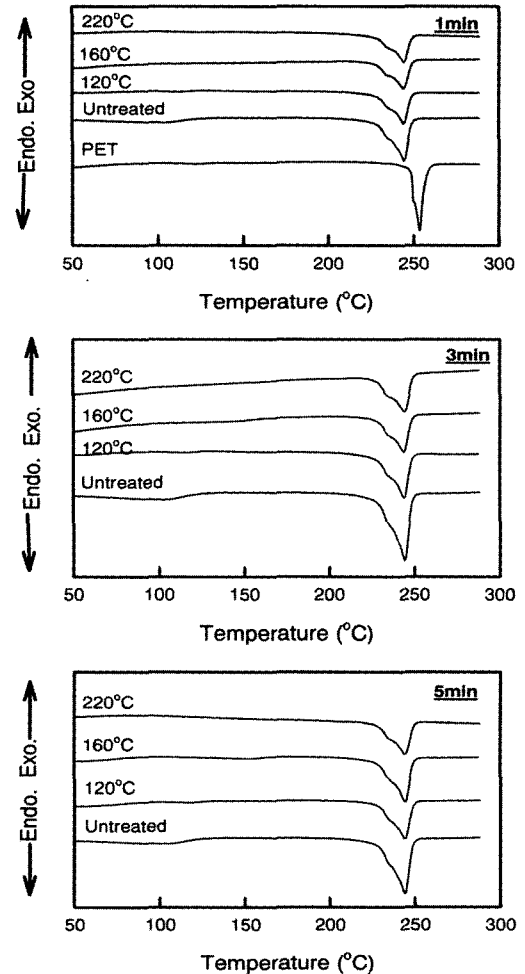


Fig. 3. DSC thermograms of CDP fiber annealed under tension at various temperatures.

이 급격히 상승하고 있다.

고분자의 열적 성질을 결정짓는 가장 중요한 인자는 고분자의 유리전이온도(T_g)와 용융온도(T_m)라고 말할 수 있다. 따라서 섬유 내부의 결정의 완전성을 평가하기 위하여 DSC thermogram을 측정하였다. Fig. 3은 열처리 온도에 따른 융점을 알아보기 위하여 10°C/min의 승온 속도로 측정된 75d/36f CDP 섬유의 DSC thermogram을 나타낸 것이다. Fig. 3에서 볼 수 있는 것처럼 CDP 섬유의 융점은 PET의 용융점 254.8°C보다 낮은 244.9°C 부근에서 나타나는 것을 보아, CDP 섬유의 제조에서 공중합 시 첨가되는 술폰산기에 의해 섬유의 미세구조가 느슨해지고 이로 인해 분자 사슬의 유연성이 증대되었기 때문이라고 생각되어진다. Fig. 3에서와 같이 CDP 섬유의 열처리 온도가 높아짐에 따라 융점 피크는 약간 고온쪽으로 증가하였으나 큰 차이는 보이지 않았으며 광각 X-선 회절의 상대강도는 증가하였다.

3.2 열처리 온도에 따른 염색성

Fig. 4는 다양한 온도에서 열처리한 75d/36f CDP 섬유를 100°C에서 각각 Basic Blue 69와 Disperse Blue 56으로 염색한 염색속도곡선을 나타낸 것이다. 캐티온염료로 염색한 것의 경우는, 220°C에서 열처리한 CDP 섬유가 120°C 및 160°C에서 열처리된 섬유보다 K/S 값이 높으며, 이는 폴리에스테르 섬유와 같이 160°C 이상의 온도에서는 섬유의 미세구조가 섬유축 방향으로 배향하여 결정화하려는 경향보다 비배향화 되려는 경향이 보다 우수하며 따라서 염료가 침투 가능한 영역이 증가한데 기인한 것으로 생각된다.¹⁰⁾ 분산염료로 염색한 경우의 염색속도곡선에서는 단시간 염색에서는 열처리 온도에 따른 K/S 값의 차가 보이거나 30분 이상 염색한 경우에는 평형에 도달되었기 때문에 열처리에 따른 K/S 값의 차가 나타나지 않는 것으로 생각된다.

Fig. 5에서는 여러 가지 온도에서 열처리한 75d/36f CDP 섬유를 120°C의 온도에서 Basic Blue 69와 Disperse Blue 56으로 각각 염색하여 K/S 값으로 나타낸 염색속도곡선이다. Basic Blue 69의 염색속도곡선은 100°C로 염색한 속도곡선과 달리 열처리 조건에 따른 염색성의 변화는 거의 나타나지 않고 있으며 이는 높은 온도에서 염료분자의 운동이 활발하여 보다 빠른 시간에 평형에 도달하기 때문에 염색속도곡선의 차이가 나타나지 않는 것으

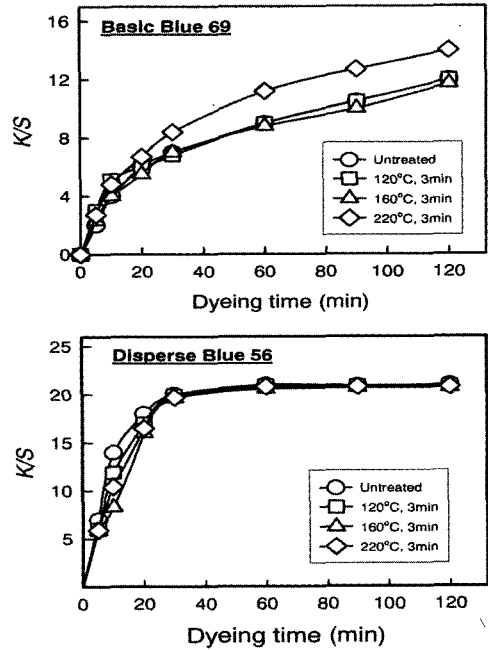


Fig. 4. Dyeing rate of Basic Blue 69 and Disperse Blue 56 on CDP fabric annealed under tension at various temperatures.(dyeing temperature:100°C)

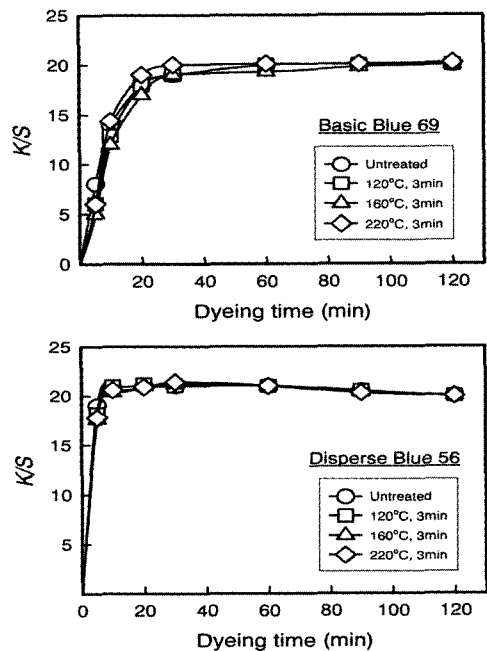


Fig. 5. Dyeing rate of Basic Blue 69 and Disperse Blue 56 on CDP fabric annealed under tension at various temperatures.(dyeing temperature:120°C)

로 보인다. Disperse Blue 56으로 염색한 염색속도곡선의 경우는 100℃보다 단시간에 평형에 도달하고 40분 이상의 시간에서 염료의 탈착 현상을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 다양한 온도 조건에서 열처리한 75d/36f CDP 섬유를 100℃에서 10분과 40분간 Basic Blue 69와 Disperse Blue 56으로 염색한 후 K/S 값을 나타낸 곡선이다. 캐티온염료의 10분 및 40분 염색한 것에서는 10분 염색 시의 경우 열처리 온도가 증가함에 따라 염색성이 감소하다가 160℃ 부근에서 최저치를 나타내고 그 이후의 온도에서 다시 K/S 값이 증가한다. 이는 160℃이하의 열처리 온도에서는 PET 섬유의 결정화도, 결정의 크기 및 결정 영역의 배향도의 증가가 비결정 영역의 배향도의 감소보다 크고, 160℃ 이상의 열처리 온도에서는

비결정 영역의 분자들의 유동성이 커지고 이완되므로 랜덤한 상태가 되어 배향도가 감소하는 것이 결정화도, 결정의 크기 및 결정 영역의 배향도의 증가보다 크게 작용하는데 기인한 것으로 생각되어진다.¹⁰⁻¹⁴⁾ 40분 염색 시에는 10분의 염색과 같은 경향을 보이고 있지만 이러한 경향은 염색 시간이 길어짐에 따라 현저하게 나타나고, 220℃에서 열처리된 섬유는 미처리 섬유 보다 K/S 값이 높게 나타난다. 분산염료로 염색하였을 경우에는 10분간 염색하였을 때에 캐티온염료와 같은 경향으로 열처리 온도가 증가함에 따라 K/S 값이 감소하다가 180℃ 부근에서 최저치를 나타내고 그 후 다시 증가하고 있다. 하지만 40분간 염색 시에는 K/S 값의 변화가 없었다. 이는 40분간 염색이 진행되면 평형에 도달하여 K/S의 값의 변화가 나타나지 않는 것

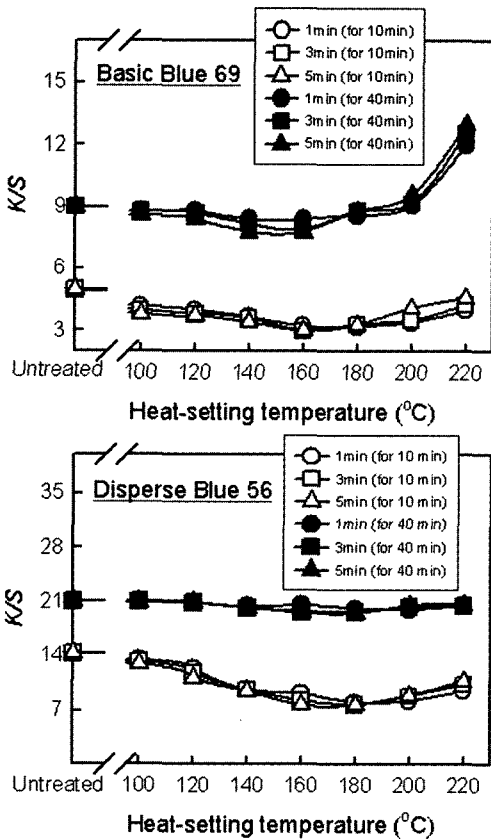


Fig. 6. Effect of heat-setting temperature on K/S of CDP fabrics dyed with Basic Blue 69 and Disperse Blue 56.(dyeing temperature:100℃)

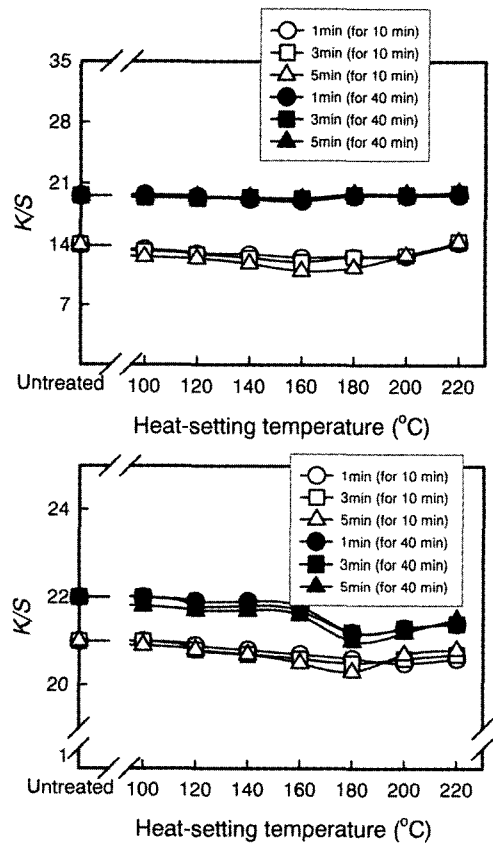


Fig. 7. Effect of heat-setting temperature on K/S of CDP fabrics dyed with Basic Blue 69 and Disperse Blue 56.(dyeing temperature:120℃)

으로 생각되어진다.

Fig. 7은 각각의 온도에서 열처리한 75d/36f CDP 섬유를 캐티온염료와 분산염료를 120℃에서 10분 및 40분 염색한 결과를 나타낸 것으로, 100℃에서의 열처리한 결과와 같은 경향을 보이고 있다.

또한 열처리 시간이 길어질수록 이러한 경향은 더욱 뚜렷하게 나타난다. 캐티온염료인 Basic Blue 69에서 10분 및 40분 염색한 경우에는 120℃가 100℃보다 염색온도가 고온이기 때문에 단시간에 평형에 도달함으로써 40분 염색의 경우에는 열처리에 따른 *K/S* 값의 차가 없다고 생각된다. 분산염료인 Disperse Blue 56에서의 120℃ 염색의 경우에도 100℃의 염색 시 보다 고온이기 때문에 열처리에 따른 *K/S* 값의 변화가 나타나지 않는 것으로 보여진다.

3.3 염색물의 건열처리에 의한 색상 견뢰도

Table 1는 캐티온염료와 분산염료로 염색한 75d/36f CDP 섬유의 열변색성을 L^* 과 ΔE^*_{ab} 로 나타낸 표이다. 캐티온염료에 대한 경우는 처리 온도가 증가할수록 ΔE^*_{ab} 가 커진다. 180℃ 이전의 온도에서는 색상의 변화가 거의 없지만 그 이상의 온도에서 색상의 변화가 나타났다. 또한 분산염료에 대한 경우는 처리 온도가 커질수록 색상의 변화가 커지

Table 1. Effect of heat setting on color change of 75d/36f CDP fabric dyed with cationic and disperse dyes

Dye	Temp (°C)	L^*	ΔE^*_{ab}	Dye	Temp (°C)	L^*	ΔE^*_{ab}
Basic Blue 69	Untreated	30.3	-	Disperse Blue 56	Untreated	24.8	-
	150	30.5	1.7		150	24.8	1.9
	180	30.0	2.8		180	25.3	3.1
	200	29.5	4.2		200	25.2	5.2
Basic Red 29	Untreated	38.7	-	Disperse Red 60	Untreated	38.8	-
	150	38.6	1.1		150	36.8	7.0
	180	38.1	2.1		180	34.6	14.2
	200	37.5	3.2		200	34.9	15.0
Basic Yellow 67	Untreated	77.3	-	Disperse Orange 30	Untreated	44.8	-
	150	77.0	1.8		150	44.2	2.3
	180	76.6	2.7		180	43.6	3.6
	200	76.1	5.6		200	42.5	5.3

Heat setting time : 3min, dyeing temperature : 120℃

고, Red 60은 150℃ 이상의 온도에서 다른 염료보다 색상의 변화가 크게 나타났다. 또한 분산염료가 캐티온염료보다 색상의 변화가 다소 크게 나타났고 이는 분산염료가 열에 대해 캐티온염료보다 다소 약하다는 것을 알 수 있다.

Table 2는 75d/72f CDP 섬유의 색변화를 나타낸 표이다. 앞의 75d/36f와 달리 180℃ 이상의 온도에서도 색상의 차이가 작게 나타나고, 또한 전체적으로 75d/72f CDP 섬유가 75d/36f CDP 섬유보다 색상 변화의 차이가 작게 나타나고 있다.

특히 분산염료에 대한 경우는 75d/36f CDP 섬유의 색상 변화의 차이와 달리 거의 색의 변화가 없었다.

Table 3은 75d/36f와 75d/72f CDP 섬유의 열변색성을 gray scale법에 의한 등급으로 나타낸 것이다. 캐티온염료가 분산염료보다 열변색성이 1~2급 정도 우수하고, 75d/72f CDP 섬유가 75d/36f CDP 섬유보다 열에 의한 색상의 차이가 적게 나타났다.

Table 2. Effect of heat-setting on color change of 75d/72f CDP fabric dyed with cationic and disperse dyes

Dye	Temp (°C)	L^*	ΔE^*_{ab}	Dye	Temp (°C)	L^*	ΔE^*_{ab}
Basic Blue 69	Untreated	30.8	-	Disperse Blue 56	Untreated	25.5	-
	150	29.8	1.5		150	23.6	2.5
	180	29.3	1.7		180	23.7	2.5
	200	29.8	2.0		200	23.9	2.3
Basic Red 29	Untreated	40.1	-	Disperse Red 60	Untreated	34.9	-
	150	38.8	1.5		150	34.7	1.0
	180	38.9	1.3		180	35.7	1.4
	200	38.5	1.9		200	33.6	2.1
Basic Yellow 67	Untreated	77.4	-	Disperse Orange 30	Untreated	45.7	-
	150	76.8	1.5		150	46.2	1.0
	180	76.8	1.7		180	45.8	1.2
	200	76.5	3.9		200	46.5	1.7

Heat setting time : 3min, dyeing temperature : 120℃

Table 3. Heat fading of 75d/36f and 75d/72f CDP fabric dyed with cationic and disperse dyes

Fiber/Dye	Time (min)	Heat fading (gray scale)				
		120°C	150°C	180°C	200°C	
75d/36f	Blue 69	1	5	5	5	4-5
		3	5	5	4-5	3-4
	Basic Red 29	1	5	5	5	4-5
		3	5	5	5	4-5
	Yellow 67	1	5	5	5	4-5
		3	5	4-5	4-5	3-4
	Blue 56	1	5	5	4-5	3-4
		3	5	5	4-5	3-4
	Disperse Red 60	1	5	4-5	3-4	2-3
		3	4-5	3-4	2-3	2-3
	Orange 30	1	5	5	4-5	3-4
		3	5	4-5	4-5	3-4
75d/72f	Blue 69	1	5	5	5	5
		3	5	5	5	5
	Basic Red 29	1	5	5	5	5
		3	5	5	5	5
	Yellow 57	1	5	5	5	4-5
		3	5	5	5	4-5
	Blue 56	1	5	5	4-5	4-5
		3	4-5	4-5	4-5	4-5
	Disperse Red 60	1	5	5	5	5
		3	5	5	5	4-5
	Orange 30	1	5	5	5	5
		3	5	5	5	5

Heat setting time : 3min, dyeing temperature : 120°C

3.4 열처리에 따른 태 변화

Fig. 8에서는 75d/36f CDP 섬유의 열처리에 따른 KES 분석을 통해 전단 강성과 표면 특성을 나타낸 것이다. CDP 섬유의 열처리 온도에 따른 전단 강성의 경우는 열처리 온도가 높아짐에 따라 전단 강성을 의미하는 *G* 값이 증가하였다. 특히 180°C 이후의 열처리 온도에서 *G*가 급격히 상승하며 이는 열처리 온도가 증가함에 따라 섬유의 결정영역의 배향성이 향상되어 결정화가 진행되므로 CDP 섬유의 태가 경직되는 것으로 생각된다. 또한 CDP 섬유의 열처리 온도의 증가에 따른 섬유의 표면 거칠기 정도의 경우에도 열처리 온도가 증가함에 따라 전단 강성이 증가하는 것과 마찬가지로 표면 거칠기 정도도 증가하고 있다.

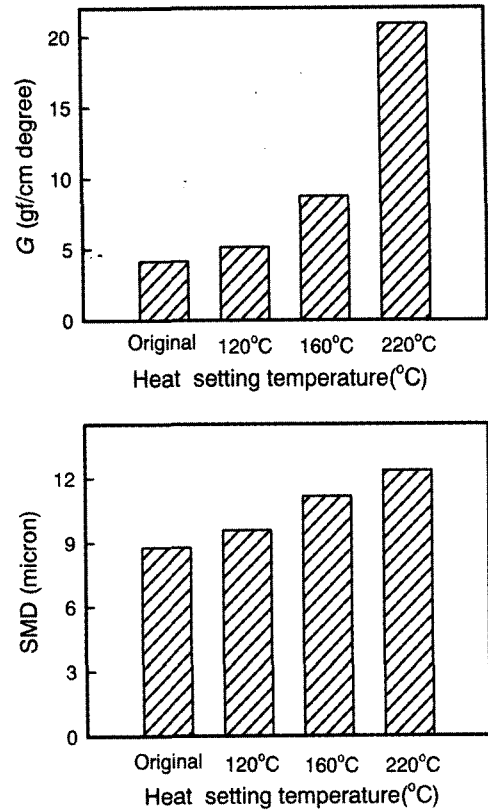


Fig. 8. Shear modulus and SMD of CDP fabrics annealed under tension at various temperatures.

4. 결론

CDP 섬유를 미처리 및 다양한 온도에서 열처리 한 후 내부 구조 변화 및 태 변화, 캐티온 염료와 분산염료로 염색하여 염색성, 건열처리에 의한 견뢰도에 대하여 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열처리에 의한 구조 분석의 결과, 열처리 온도와 시간이 증가함에 따라 X-선 회절의 강도가 증가하고, 예리해졌으며, 밀도도 증가하였다. DSC 분석에 의한 T_m 은 열처리 온도가 증가함에 따라 융점 피크는 약간 고온쪽으로 증가하였으나 큰 차이는 보이지 않았다.
2. 열처리 온도가 높아짐에 따라 캐티온 염료 Basic Blue 69의 경우에는 염색성이 감소하다가 160°C에서 최저치를 나타내고, 분산염료 Disperse Blue 56의 경우에는 180°C에서 염색성이 최저치를 나타내었고, 그 이후의 온도에서는 염색성

이 증가하는 전형적인 PET의 염색성을 보였다. 열변색성은 승화건뢰도가 낮은 분산염료가 캐티온염료에 비해 낮게 나타났는데, 캐티온염료의 경우에는 180℃ 이상에서도 열에 변색이 적은 건뢰한 염료이었다.

3. KES 분석에서 열처리된 CDP 섬유가 열처리 온도가 증가함에 따라 전단 강성은 증가하였고 표면의 거칠 정도를 나타내는 SMD의 값이 높아져 열처리에 의한 태가 뺏겨지고 거칠어졌다.

참고문헌

1. T. Kawaguchi, Wool-like Polyester Fiber "E Type Tetron", *Sen'i Gakkaishi*, **29**, P. 332-335(1973).
2. N. S. Kim and S. I. Hong, Studies on the Cationic Dyeable Polyester, *J. Korean Soc. Text. Eng. Chem.*, **15**, 66-73(1978).
3. S. Niu, M. Ueda and T. Wakida, Effect of Heat-Setting Temperature on the Hydrazine Treatment of Poly(ethylene Terephthalate) Partially Oriented Yarn, *Textile Res. J.*, **62**, 575-579(1992).
4. S. Arghyros and S. Backer, Mechanics of Texturing Thermoplastic Yarns, *Textile Res. J.*, **52**, 295-312(1982).
5. H. D. Weigmann, M. G. Scott, A. S. Ribnick, and L. Rebenfeld, Interactions of Nonaqueous Solvents with Textile Fibers, *Textile Res. J.*, **46**, 574-587(1976).
6. S. Niu and T. Wakida, Effect of Heat-Setting Temperature on Alkali Hydrolysis of Poly(ethylene Terephthalate), *Textile Res. J.*, **63**, 346-350(1993).
7. K. W. Jung and Y. W. Huh, Studies on the Cationic Dyeable Polyester, *J. Korean Soc. Text. Eng. Chem.*, **15**, 66-73(1978).
8. K. W. Jung and Y. W. Huh, A Study on Dyeing Mechanism of Cationic Dyeable Polyester Fibres with Cationic Dyes, *J. Korean Soc. Text. Eng. Chem.*, **18**, 23-32(1981).
9. W. Y. Shin, D. S. Jeong, M. C. Lee, Dyeing Properties of CDP Fiber(I) -Dyeing Properties and Color Fastness of CDP Fiber-, *J. Korean Soc. Dyers & Finishers*, in press(2005).
10. V. B. Gupta and S. Kumar, The Effect of Heat Setting on the Structure and Mechanical Properties of Poly(ethylene Terephthalate) Fiber, I, Structure Changes, *J. Appl. Polym. Sci.*, **26**, 1865-1876(1981).
11. S. Arghyros and S. Backer, Mechanics of Texturing Thermoplastic Yarns Part VIII : An Experimental Study of Heat Setting, *Textile Res. J.*, **52**, 295-312(1982).
12. W. Chem, E. A. Lofgren, and S. A. Jabarin, Mechanics of Texturing Thermoplastic Yarns Part VIII : An Experimental Study of Heat Setting, *J. Appl. Polym. Sci.*, **70**, 1965-1976(1998).
13. M. K. Son, The Effect of Heat-setting Conditions on the Physical Properties of Polyester Filament Yarn, *J. Korean Fiber Soc.*, **34**, 412-419(1997).
14. R. W. Miller, J. H. Southern, and R. L. Ballman, Investigations of Polyester Fiber Process/Structure/Property Relationships Part I, *Textile Res. J.*, **53**, 670-677(1983).