

<연구논문(학술)>

Swelling agent에 따른 메타계 아라미드 섬유의 Cationic dye 염색특성

김은미 · 박청원¹ · 최재홍[†]

경북대학교 섬유시스템공학과, ¹건국대학교 신기술융합학과

Study of Dyeing Properties by Swelling Agent on *meta*-aramid Fiber with Cationic Dyes

Eun-mi Kim, Chung-won Park¹ and Jae-hong Choi[†]

Department of Textile System Engineering, Kyungpook National University, 1370 Sankyuk-dong, Buk-gu, Daegu 702-701, Korea

¹Department of Advanced Technology Fusion, Konkuk University, Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul 143-701, Korea

(Received: October 29, 2011/Revised: December 13, 2011/Accepted: February 27, 2012)

Abstract: Dyeing and fastness characteristics of 100% *meta*-aramid fiber were investigated with cationic dyes and swelling agents under various dyeing conditions such as dyeing temperature and pH of dye bath. Dye exhaustion started at around 80°C and settled down at 130°C. Among swelling agents used, *N*-methyl formamide showed comparatively higher K/S values comparing to 1-phenoxypropan-2-ol. Under weak acidic conditions in the range pH 5 to 7, the exhaustion of cationic dyes could be enhanced leading to higher adsorption and stability of colorimetric property. Wash and rubbing fastness were generally good but low light fastness found can be attributable to the poor photo-stability of the cationic dyes.

Keywords: *meta*-aramid fiber, exhaustion yield, swelling agent, cationic dyes, dyeing, fastness

1. 서 론

1972년 미국의 DuPont사에 의해 최초로 개발된 아라미드 섬유는 탁월한 인장강력, 고탄성율, 내열성 및 방염성 등의 특성을 가지며 슈퍼섬유의 중요한 영역을 차지하고 있다^{1,2)}. 메타계 아라미드의 경우, 국내 시장 규모는 2008년 물량 기준으로 500톤, 금액 기준으로 1500만달러를 기록했으며, 세계적으로 1조 7천억원 정도의 시장규모를 가지고 있고, 업계에서는 전 세계 메타계 아라미드 섬유 시장이 2012년 3만 2000톤까지 성장할 것으로 전망하고 있다³⁾. 최근 국내 섬유업계의 시장진출을 시작함으로써 가공 및 염색의 중요도가 증가될 것으로 예상된다. 특히 내열성 및 방염성이 우수한 메타계 아라미드 섬유는 금속 및 무기재료에 비해 가공이 용이하고 가벼우면서도 내마모성이 우수하여 현재 전기절연지, 소방복, 건축자재 등의 극한 환경에 적용되는 산업용 섬유소재로 전개가 활발히 진행되고 있다^{4,6)}.

아라미드 섬유의 가장 큰 화학 구조적 특징(Fig. 1)

은 선형사슬을 따라 주기적으로 존재하는 amide기의 분자 간 수소결합이다. 이러한 섬유의 강력한 분자간력과 치밀한 고결정성으로 인하여 고강도와 고탄성의 장점을 가지는 반면, 염료가 섬유의 분자 구조 내부로 확산, 염착되기 어려운 단점을 가지기도 한다^{7,8)}.

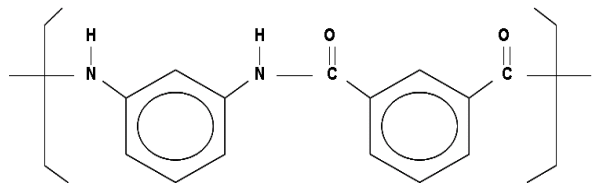


Fig. 1. Molecular structure of *meta*-aramid fiber.

초기 아라미드 섬유의 염색법으로 원착법, 캐리어법, 초고온고압법, 초임계 유체를 통한 염색법⁹⁾ 등이 시도되었지만, 이러한 염색법들은 소규모 롯트의 생산이 곤란하거나, 고내열성 염-안료기술 및 설비의 필요성이 요구되어 상업적으로 적용되기 어려운

[†]Corresponding author. Tel.: +82-53-950-5644; Fax.: +82-53-950-6617; e-mail: jaehong@knu.ac.kr

점이 있다. 따라서 염색현장의 설비환경이나 생산 비용을 고려한 염색법으로 캐치온 염료를 이용한 침염법이 연구되었으며, 현재 다양한 염색 조건과 조제 영향성 고찰을 통해 낮은 염착성 및 견뢰도 향상을 위한 연구들이 꾸준히 진행되고 있다¹⁰⁾.

본 연구에서는 메타계 아라미드 섬유를 캐치온 염료로 염색 시, 섬유의 치밀구조를 이완시켜 섬유 내부로 염료의 침투력을 증가시켜주는 팽윤제의 종류에 따른 염색성 및 견뢰도 특성을 평가해 보고, 원착사 및 후염제품의 경제적 측면을 고찰해 보았다.

2. 실험

2.1 시료 및 염료

실험에 사용된 모든 시료는 100% *meta*-aramid 섬유이며, 염료는 캐치온 염료를 사용하였으며 각각을 Table 1에 정리하였다.

2.2 사용 팽윤제 및 염색

염색 시 섬유 내부로 침투하여 섬유를 팽윤 이완시킴으로서 염색성을 높여주는 팽윤제는 다음 두 가지를

사용하여 각각의 염색특성을 비교하였으며 화학적 주성분은 Table 2에 나타내었다. 모든 염색 실험에서 공통적으로 NaNO₃를 염색 시 염욕에 대해 7g/L 첨가하여 실험하였다.

Table 2. Chemical properties of swelling agent used for this study

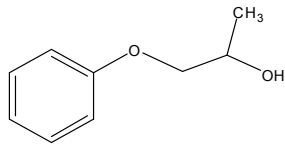
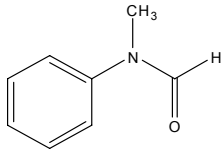
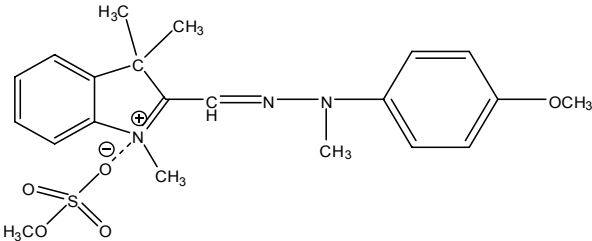
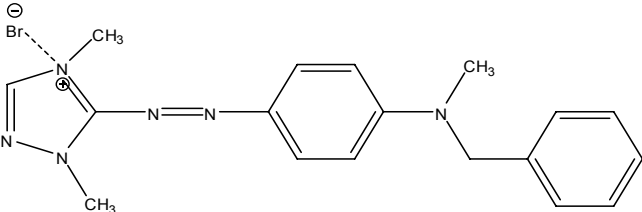
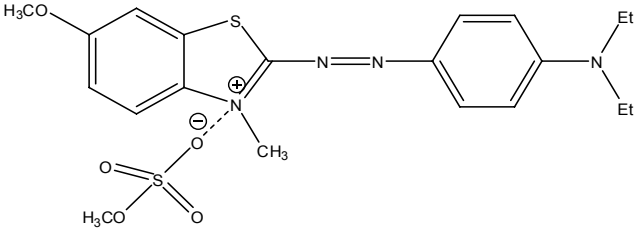
Swelling agent	Chemical structure
S1	<p>1-phenoxypropan-2-ol</p> 
S2	<p><i>N</i>-methyl formanilide</p> 

Table 1. Fabric and dyes used for this study

Fabric	warp/weft Newstar 30's twill
Dye	 <p>C.I. Basic Yellow 28</p>
	 <p>C.I. Basic Red 46</p>
	 <p>C.I. Basic Blue 54</p>

2.3 염색

팽윤제의 종류 및 3원색 염료의 농도증가에 따른 염색성을 비교하기 위해 욕비 1:10, pH 7의 조건에서 2종의 팽윤제 S1 혹은 S2를 40g/L 넣고, 염료농도 0.5~7.0% o.w.f.로 130°C × 60min 간 염색하였다. 승온에 따른 염착거동을 고찰하기 위해, 욕비 1:10, pH 7, 팽윤제(S2) 40g/L, 염료농도 1% o.w.f.의 조건으로 50°C에서 승온을 시작하여 염욕의 온도가 80, 90, 100, 110, 120, 130°C에 도달하면 즉시 각각의 염색물을 꺼냈다. 최적 염색온도의 고찰을 위해, 상기와 같은 염색조건으로 110°C × 60min, 120°C × 60min, 130°C × 60min간 염색하였다. pH에 따른 염색성은 욕비 1:10, 팽윤제(S2) 40g/L, 염료농도 1% o.w.f.의 조건에서 염욕 pH를 acetic acid 및 NaOH를 사용하여 pH 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11로 조정하고 130°C × 60min간 염색하였다. 이때 염욕의 pH는 pH meter기(MP220-Mettler Toledo, USA)를 이용하여 측정하였다. 모든 염색은 IR염색기 Intercooler(고려화학 KS-W24)를 사용하였다.

2.4 측색 및 염착률 측정

염색 후 hot water washing을 2회 거쳐 미고착 염료를 충분히 제거한 후 CCM(X-rite 8200, USA)을 사용하여 최대흡수 파장에서 K/S값 및 L, a*, b*, C값을 얻었다. 염색 전후 염욕에 잔존하는 염료량을 UV-VIS를 통해 최대흡수파장(λ_{max})에서의 absorbance값(A)을 측정하고 다음 식(1)을 통해 염착율을 산출하였다.

$$\text{Dye Exhaustion (\%)} = (A_0 - A_1/A_0) \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

A_0 및 A_1 은 각각 염색 전·후에 측정된 염액 중의 흡광도이다.

2.5 견뢰도

견뢰도 평가를 위해 100% meta-aramid 섬유를 욕비 1:10, pH 7, NaNO₃ 7g/L, 팽윤제(S2) 40g/L, 염료농도 1% o.w.f.의 조건으로 130°C × 60min간 염색 후, 80°C hot water washing 2회 및 180°C × 60sec간 heat setting을 거쳐 견뢰도 실험을 실시하였다. 세탁 견뢰도는 M&S C4A법에 의거하여 ECE detergent 4g/L, sodium perborate 1g/L를 사용하여 steel ball 10개를 넣고, 80°C에서 30분간 실험하여 시료의 변퇴색 및 다섬교직포의 오염도를 평가하였다. 마찰견뢰도는 AATCC 8-1989법에 의거하여 표준면백포의 건, 습 각각 10회 마찰을 통해 등급을 평가하였다. 일광견뢰도는 AATCC 16E-1987법에 의거하여 Water-cooled xenon-arc lamp를 사용하여 63°C 20시간 동안 광 조사 한 후 변퇴색을 기준으로 평가하였다. 모든 견뢰도의 등급은 Gray scale에 의해 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 팽윤제 종류에 따른 농도증가에 따른 염색 특성

염료의 농도증가에 따른 염색특성을 팽윤제 종류에 따라 비교해 보면, 황색 및 청색 염료의 염료농도 0.5~3.0% o.w.f.에서 93.4~99.6%의 우수한 염착율을 보였으며, 팽윤제에 따른 유의한 차이는 없었다. 반면 적색 염료의 경우 1% o.w.f.까지는 90% 이상의 염착율을 보였으나 3% o.w.f. 이상의 염료농도에서는 60% 이하의 염착율을 보였으며, S1에 비해 S2의 경우 약 12~18% 높게 나타났다.

한편 K/S값을 고찰해 보면, 3종의 염료 모두에서 염료 농도가 높아질수록 K/S값이 증가하며, 황색 > 적색 > 청색 순으로 농도증가에 따른 염색성이 우수하였다. 또한 S1에 비해 S2가 평균 43% 높은 K/S값을 보이며, 황색은 농색일 때, 적색과 청색은 담색일 때 S1과 S2의 K/S 값 차이가 큰 것을 알 수 있었다.

염착율 비교에서 S1과 S2의 차이는 비록 근소하나 K/S값에서 큰 차이를 보이는 이유는 팽윤제에 따른 염착좌석 확보와 이에 따른 수세안정성으로 설명할 수 있다. meta-aramid 섬유는 분자 내 수소결합으로 인한 강력한 분자간력과 치밀한 고결정성으로 염색이 어렵기 때문에 염색 시 팽윤제를 사용하여 섬유 내 분자간력을 이완·팽윤시켜 줌으로써 염료의 염착좌석을 확보하는 것이 중요하다. 이때 적절한 섬유 이완과 팽윤이 이루어 지지 않았을 경우 섬유에 흡진된 염료분자는 안정된 고착을 이루지 못하고 수세 시 탈락된다. 2종의 팽윤제에서 염착율은 서로 비슷하지만 S2의 사용 시 평균 36% 이상 높은 K/S값을 보이는 것은 섬유로 흡진된 염료 분자들이 섬유 내부로 침투하여 안정적으로 고착되었기 때문이다. S1에 비해 S2는 meta-aramid 섬유와 매우 유사한 구조를 가지고 있어 섬유내부의 비결정 영역에 침투하여 섬유와 수소결합을 이루며 효과적으로 섬유를 이완·팽윤시켜 염료의 안정된 염착좌석을 확보해 주는 것으로 고찰된다. 염료별 팽윤제에 따른 염착율과 K/S값은 Figs. 2-4에 정리하였다.

3.2 온도 영향성

승온에 따른 캐치온 염료의 염착거동을 살펴보면, 80°C에서 이미 염욕 내 70% 이상의 염료들이 섬유로 흡진되는 것을 알 수 있다(Fig. 5). 이러한 결과를 통해 캐치온 염료는 낮은 에너지에서도 섬유로의 이동이 잘 이루어짐을 알 수 있었다. 반면, K/S값은 100°C까지 서서히 증가하다가 110°C에서 부터

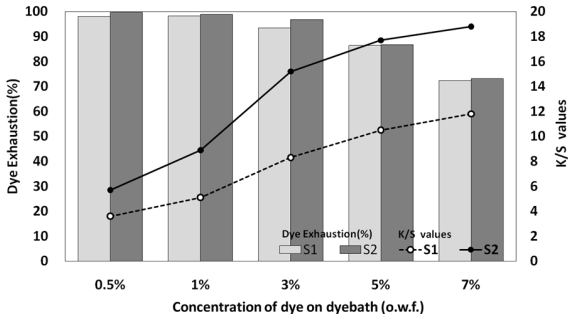


Fig. 2. Dye exhaustion and K/S values with C.I. Basic Yellow 28.

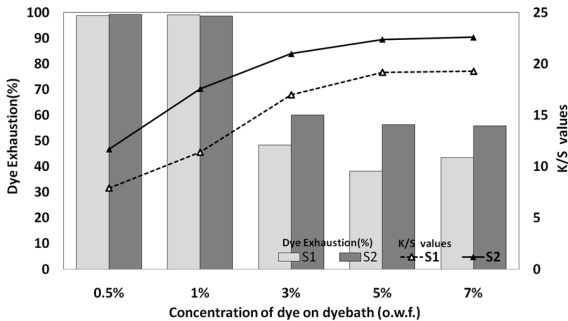


Fig. 3. Dye exhaustion and K/S values with C.I. Basic Red 46.

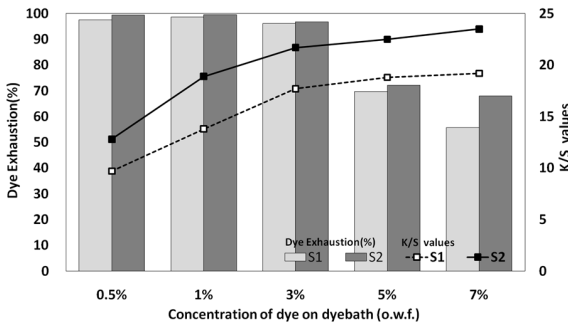


Fig. 4. Dye exhaustion and K/S values with C.I. Basic Blue 54.

다소 증가율이 높아지는 데, 이는 염욕으로부터 섬유로의 염료분자 이동은 비교적 낮은 온도에서부터 시작하지만, 섬유 표면에 흡진된 염료분자가 섬유 내부로 이동하여 고착되는 것은 110°C에서부터 시작됨을 알 수 있었다(Fig. 6).

한편, 최적 염색온도의 실험에서는 황색, 적색, 청색의 염료에서 각각 9.2, 17, 18의 K/S값을 보이는 130°C × 60min간 염색한 결과가 가장 우수하였다(Fig. 7). 이러한 온도별 염색거동을 살펴봄으로써 meta-aramid 섬유를 캐치온 염료로 염색할 때에는 저온에서 시작하여 서서히 승온하는 것이 균염을 위해 중요하며 최적 염색 온도는 130°C × 60min임이 고찰되었다.

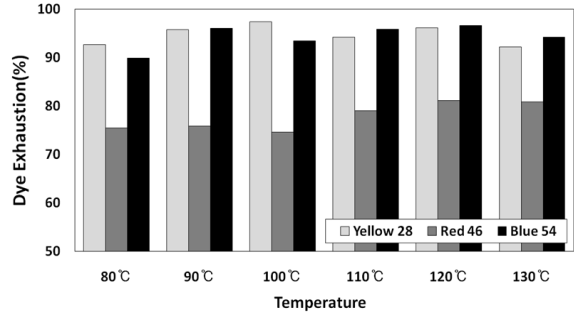


Fig. 5. Dye exhaustion on meta-aramid fiber depending on the dyeing temperature.

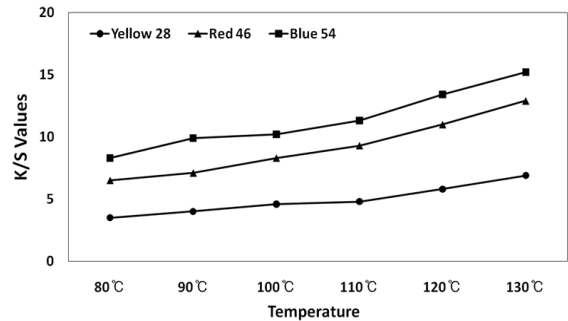


Fig. 6. K/S values on meta-aramid fiber depending on the dyeing temperature.

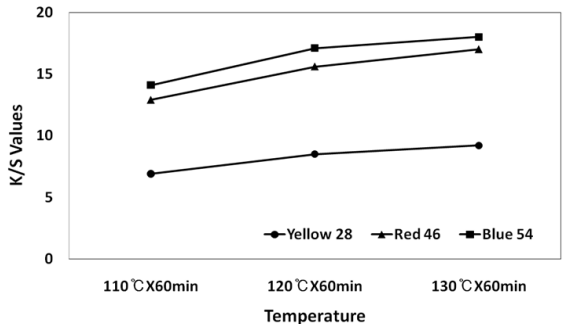


Fig. 7. K/S values on meta-aramid fiber depending on the dyeing temperature.

3.3 pH 영향성

염욕의 pH에 따른 염착특성을 살펴보면, 3원색 모두 pH 3에서 가장 낮은 염착율을 보이며, 염료에 따라 최대 염착율은 황색, 적색, 청색 각각 pH 10, pH 10~11, 및 pH 5~7로 다르게 나타났다.

K/S 값은 황색의 경우 pH 영향이 적었으나 적색 및 청색의 경우 각각 pH 5와 pH 4에서 가장 높은 K/S 값을 보였다. 적색은 염욕의 pH가 알칼리 영역으로 갈수록 염착율은 증가하였으나 반대로 K/S값의 경우 pH 5에서 가장 높아 욱중의 pH가 수세안정성에 영향을 주는 것으로 고찰 되었다. 염욕의 pH에 따른 염착율과 K/S 값은 Fig. 8 및 9에 정리하였다.

Table 3은 pH에 따른 염색물의 L, a*, b*, C 값을 한 것이다. 황색의 경우 염색의 pH가 산성에서 알칼리로 변하면서 L값, C값 및 b*값이 큰 폭으로 증가하는데, 모든 pH조건에서 거의 비슷한 K/S 값을 보이지만 pH가 높아질수록 색상이 선명하게 염색되는 것을 알 수 있었다. 적색의 경우 염색의 pH 변화에 따른 큰 차이는 없었지만, pH 5와 7에서 적색의 정도를 나타낼 수 있는 a*값 및 채도의 C값이 가장 높았다. 청색의 경우 pH 7에서 L값과 C값이 가장 높았으며, 청색 정도를 나타내는 b*값 역시 pH7에서 가장 높았다. 반면, 3원색 모두에서 욱중 pH가 산성에서 알칼리로 변하면 a*값이 증가하는 것을 알 수 있었으며, 청색의 경우 편차가 가장 컸다. 이러한 결과를 바탕으로 황색의 경우 산성욕일 때, 청색의 경우 알칼리욕일 때 염색 시 색상의 변화가 있을 수 있으므로 color matching 염색에서 염색의 pH를 신중하게 고려하는 것이 중요함을 알 수 있었다.

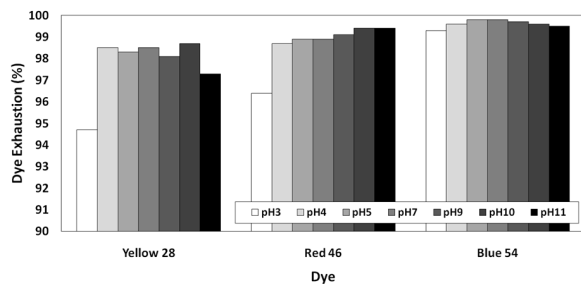


Fig. 8. Dye exhaustion depending on pH in the dyebath.

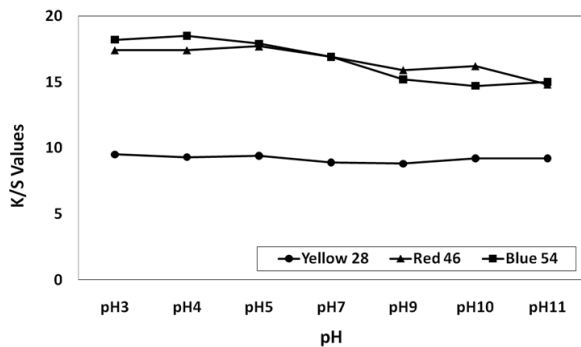


Fig. 9. K/S values depending on pH in the dyebath.

3.4 견뢰도

세탁견뢰도는 변퇴색을 기준으로 3원색 모두 4-5급으로 우수하였으며, nylon 오염도는 3원색 평균 3급, PET 오염도는 4-5급으로 비교적 우수하였다. 마찰견뢰도 역시 건·습 모두 3원색 평균 4급 이상을 보였다. 반면 캐치온 염료의 특성상 일광에 취약하여, 3원색 평균 2급 정도의 낮은 일광견뢰도를 보였다(Table 4).

Table 3. Colorimetric data under various pH in the dyebath

		L	a*	b*	C
Yellow 28	pH3	59.7	11.3	53.6	54.8
	pH4	64.7	12.4	61.6	62.9
	pH5	70.3	14.8	71.3	72.9
	pH7	70.9	13.5	71.1	72.4
	pH9	71.5	14.3	71.8	73.2
	pH10	71.6	15	73.1	74.6
	pH11	71	14.6	71.9	73.4
Red 46	pH3	34.4	46	-5.2	46.3
	pH4	35.3	47.9	-3.8	48
	pH5	35.6	49.2	-3.1	49.3
	pH7	36.3	49.1	-3.1	49.2
	pH9	36.6	47.4	-3.2	47.5
	pH10	36.5	47.6	-3.2	47.7
	pH11	37.5	47.6	-3.5	47.7
Blue 54	pH3	31.1	-4.3	-30.4	30.7
	pH4	31.4	-3.7	-32.1	32.3
	pH5	31.8	-2.9	-32.7	32.8
	pH7	32.5	-2.9	-33	33.1
	pH9	31.5	0.5	-31.9	31.9
	pH10	30.9	2.1	-31.6	31.6
	pH11	30.5	1.8	-31.1	31.1

Table 4. Wash, rubbing and light fastness of dyeings(by grey scale)

Dye	Wash Fastness			Rubbing Fastness		Light Fastness
	Fading	Staining on nylon	Staining on PET	Dry	Wet	
Yellow 28	4-5	3-4	4-5	4-5	4-5	2-3
Red 46	4-5	3-4	4-5	4-5	4	1-2
Blue 54	4-5	2-3	4-5	4	4	2

3.5 meta-aramid 섬유 후염제품 전개 및 시장성

meta-aramid 섬유는 미국의 DuPont사와 일본의 Teijin사가 오랫동안 시장을 양분해 왔으나 2004년 중국의 Yantai Spandex사가 생산을 개시하면서, 세계 meta-aramid 섬유의 현재 연간 생산능력은 약 2.7만톤으로 추정된다¹¹⁾. 국내에서는 2010년 HUVIS에서 최초로 meta-aramid 섬유를 생산하기 시작하였으며, 이어 웅진케미칼에서도 연산 450t 규모로 생산을 시작하여 2012년까지 약 3000t까지 생산을 확대할 계획으로 알려져 있다. meta-aramid 섬유의 주요용도를 살펴보면, 산업용 내장재 및 난연재료가 가장 큰 부분을 차지하고 있으며, 방화복, 고온진직용 필터백, 전기 절연재, 내열성 부품소재, 군복, 소방복, 작업복 등의 의류용 전개도 이루어지고 있다.

대부분의 의류용 meta-aramid 섬유는 원착사를 기본으로 하고 있고, 캐치온 염료를 통한 후염제품은 아직 시작단계이며 염료 및 팽윤제의 선택에 따라 제품의 질이 크게 좌우되고 있다¹²⁾. 300도 이상의 온도에서 고내열성 및 극한의 환경에서도 우수한 물성을 가짐에도 불구하고 상품전개의 한계를 보이는 이유는, 가공기술이 확립되어 있지 않은 이유가 가장 크다. 섬유로서 우수한 물성과 함께 색상발현이 자유로우며 기타 가공기술이 확립된다면 상품전개의 저변확대를 기대해 볼 수 있을 것이다.

본 연구를 통해 향상된 meta-aramid 섬유의 염색성을 통한 경제적 효과를 고찰하기 위하여 기존의 원착사 제품과 후염제품을 비교해 보았다. Fig. 10은 meta-aramid 섬유를 적용한 작업복 2종의 실사이다. 가격 경쟁력 부분을 고찰해 보면, Coverall A의 경우 현재 미국에서 판매되는 작업복으로 원착사로 제직한 원단을 사용하였으며 시판가격은 \$300이다. 반면 Coverall B의 경우 본 연구를 통해 개발된 후염공정을 통해 직물을 염색하여 시제품을 제작하였고 제작 총 비용은 약 \$130가 소요되었으며 (Table 5), 시제품 제작이라는 것을 감안하면 Coverall B의 생산단가는 양산화 시 더욱 낮아질 수 있을 것이다. 여기에 기타비용 및 판매마진을 고려해 보더라도 제품 당 판매가격은 Coverall A에 비해 \$50~100정도 가격 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 예측된다. 또한 원착사의 경우 원사 제조 시 혼합하는 안료의 색상제한으로 인해 대부분 원색계열의 제품만이 나오는데 반해 후염의 경우 Coverall B에서와 같이 염료간의 색배합을 통해 원색 이외의 다양한 색상을 표현할 수 있으며, 연속공정 시에는 대전방지 및 유연가공 등의 가공단계에 대한 절감효과도 기대할 수 있다. 더욱이 본 연구에서 고찰된 염색법에 따라 기

존의 캐치온 염료의 염색성이 염착율의 경우 평균 15%, 표면색농도(K/S)는 평균 43% 향상됨으로서, 종전에 얻기 힘든 심색계의 제품을 보다 효율적으로 생산할 수 있을 것으로 고찰된다.

Table 5. The origin of production cost Coverall suite B (* = won/suit)

Process	Cost(won/yd)
m-Aramid fiber Purchase	
warp	9,000
weft	5,100
Weaving	
warping	250
weaving	680
Dyeing	
	2,800
Finishing	
	2,500
Subtotal	20,330
Making-up(2yd)	
patterning	60,000*
sewing	
pressing	
Extra	
labor cost ect.	20,000*
Subtotal	80,000*
Total production cost (per suit)	20,330×2(yd) + 80,000 = 120,660 won



Coverall suite A (spun dyeing: Navy)



Coverall suite B (dyeing with cationic dye: Turquoise)

Fig. 10. Coverall suit made with meta-aramid fiber.

4. 결 론

meta-aramid 섬유의 캐치온 염료 염색 시, 팽윤제에 따른 염색성을 다양한 조건을 통해 비교 고찰해

보았다. 팽윤제 S1 및 S2에 따른 염료 농도별 염착율은 비교적 비슷한 거동을 보였으나, 적색 염료의 경우 3% o.w.f. 이상 S2를 사용하였을 때 다소 높은 염착율을 보였다. 반면 K/S값의 비교에서는 S2에서 평균 43% 높아, S1와 비교하여 S2가 섬유에 좀 더 효율적인 팽윤제임을 알 수 있었다. 온도별 염착거동을 살펴본 결과, 상당부분의 염료가 80°C에서부터 섬유에 염착되며, 최적 염색온도는 130°C × 60min으로 고찰되었다. 염욕의 pH에 따른 meta-aramid 섬유의 염색특성은 염료에 따라 다소 차이를 보였다. 황색 염료의 경우 산성욕에서 색상의 탁변이 일어나며 낮은 L값과 C값을 보였다. 적색 염료의 경우 염욕의 pH가 올라갈수록 염착율이 증가하였지만, K/S값은 pH 5에서 가장 높았다. 청색 염료는 pH 4에서 가장 높은 K/S값을 보였으며, 알칼리욕에서 색상이 reddish해졌다. 세탁견뢰도 및 마찰견뢰도는 비교적 우수하였으나, 캐치온염료의 특성상 일광견뢰도는 취약하였다. 한편 후염제품 전개 시 원착사 제품에 비해 색상의 제한이 없어 다양한 소비자의 욕구를 충족할 수 있으며, 가격면에서도 30%정도 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 고찰되었다.

참고문헌

1. T. Hongu and G. O. Phillips, "New Fibers", Woodhead Publishing", U.K., p.3, 1997.
2. T. Hongu, G. O. Phillips and M. Takigami, "New Millennium Fibers", Woodhead Publishing, U.K., pp.2-7, 2000.
3. K. W. Kim, Super Fiber Material; High Thermal Resistance Aramid Fiber, *Fiber Technology and Industry*, **11**(4), 205-212(2007).
4. T. Hongu and G. O. Phillips, "New Fibers", Woodhead Publishing, U.K., p.14, 1997.
5. Y. Washino, "Functional Fibers, Trends in Technology and Product Development in Japan", Toray Research Center Inc., Japan, pp.105-106, 1993.
6. S. S. Kim, J. E. Park, D. Jung, B. J. Seo, M. W. Huh and J. W. Lee, Improved Antimicrobial Efficacy of *m*-Aramid, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korean Soc. Dyers & Finishers)*, **21**(5), 58-62 (2009).
7. I. S. Han and C. B. Lee, Extreme Textiles; Specification and Application of Aramid Fiber, *Fiber Technology and Industry*, **10**(4), 339-349(2006).
8. E. A. Manyukov, S. F. Sadova, N. N. Baeva and V. A. Platonov, Study of Dyeing of Thermostable Para/meta-Aramid Fibre, *Fibre Chemistry*, **37**(1), 54-58(2005).
9. K. J. Yong, Y. H. Park, K. P. Yoo, H. J. Lee, and S. U. Nam, Dyeing Property of Aramid Spun Yarn with Disperse Dyes in Circulated Supercritical Fluid Dyeing, *Textile Science and Engineering(J. Korean Fiber Society)*, **40**(5), 463-471(2003).
10. J. P. Hong, M. K. Kim, S. H. Yoon, and W. H. Choi, Dyeing and Printing on Aramid Materials, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korean Soc. Dyers & Finishers)*, **23**(4), 298-303(2011).
11. Y. S. Kim and S. M. Park, Super Fiber Material; World Market Trends of Carbon Fiber and Aramid Fiber, *Fiber Technology and Industry*, **15**(1), 55-56(2011).
12. E. C. Kim and J. S. Bae, Super Fiber Material; Dyeability and Application of Aramid Fiber, *Fiber Technology and Industry*, **15**(1), 34-41(2011).