

# 공기분사 전기방적 기술(Cyclone)을 이용한 Wool/Polyester 혼섬사 소재의 물성 및 염색성

## Physical Properties and Dyeability of Wool/Polyester Spun Blend Yarn and Its Fabrics Using Air Blowing and Electrostatic Spinning Technology(Cyclone)

\*Corresponding author

Mikyung Kim  
kmk@dyetec.or.kr

김미경\*, 김동권, 정재석<sup>1</sup>, 장봉식<sup>2</sup>  
DYETEC연구원, <sup>1</sup>한국섬유개발연구원, <sup>2</sup>하진텍스

Mikyung Kim\*, Dongkwon Kim, Jaeseok Jeong<sup>1</sup> and Bongsik Jang<sup>2</sup>

Korea Dyeing and Finishing Technology Institute, Daegu, Korea

<sup>1</sup>Korea Textile Development Institute, Daegu, Korea

<sup>2</sup>Hajin Textile Co. Ltd., Goryeong, Korea

Received\_May 31, 2016  
Revised\_June 14, 2016  
Accepted\_June 16, 2016

Textile Coloration and Finishing

TCF28-2/2016-6/77-91

©2016The Korean Society of  
Dyers and Finishers

**Abstract** Recently, the spun blend yarns with staple fibers and filaments are being developed in the spinning process using an air blowing and electrostatic spinning technology(cyclone) in order to enhance the soft feeling and the fine count spun blend yarn manufacturing competitiveness. In this study, the appropriate separation condition of polyester multifilament was examined according to the treatment condition of conductive agents and voltage on polyester multifilament in the newly developed cyclone spinning process. And it was investigated the physical properties and dyeability of the cyclone wool/polyester spun blend yarns and its wool composite fabrics in comparison with existing sirofil wool/polyester spun blend yarn and its fabrics. As the result, it is determined that the newly developed cyclone wool/polyester spun blend yarn applied fabrics has a superior quality level in terms of practicality.

**Keywords** air blowing, electrostatic spinning, cyclone, sirofil, spun blend yarn, dyeing

### 1. 서 론

섬유재료를 활용한 원사제조 방법은 화학섬유 제조 기반으로 한 장섬유(filament yarn)와 천연섬유를 기반으로 한 방적사(spun yarn)로 구분되며, 이를 복합화하는 장단복합 방적기술로 구분될 수 있다<sup>1-3)</sup>. 기존 링방기에 의한 방적기술은 직물용 경사를 사용하기 위해서는 필연적으로 2합사 이상으로 제조해야만 사용이 가능<sup>4-11)</sup>하여, 이로 인한 추가공정(합사, 연사, 리와인딩 등)을 진행함에 따라 원가상승 요인이 발생하여 섬

유 제조시 상업화된 원료를 가지고 적절한 기술로 세 번수를 방적하는 기술이 최우선으로 필요한 실정이었다. 이를 개선하기 위한 장단섬유 방적에 있어서 단섬유를 이용한 세 번수 방적기술의 우수성을 보이는 sirofil 방적기술<sup>6-9)</sup>이 현재까지도 많이 적용되고 있는데, sirofil 방적기술은 일반적으로 천연섬유 단섬유 내에 화학섬유인 장섬유 한가닥이 비교적 한쪽으로 치우쳐 집속됨으로서 상호 결합, 교연하는 링 방적기술의 일종인 장단복합섬유 제조 방적공정이다.

sirofil 방적기술은 단순하면서 생산성이 우수하지만

원사단면 구조상 화학섬유인 filament 한가닥이 원사의 외곽에 위치하고 있어 촉감이 다소 깔깔한 느낌이 나므로 시원하고 드라이한 촉감(dry handle)을 표현하는 여름용 의류제품<sup>8-10)</sup>에 제한적으로 사용되는 단점을 보이고 있으며, 세번수 방적에는 아직까지 기술적 한계에 있는 것으로 보인다.

이처럼 기존 방적공정으로 한계에 있는 세 번수 복합 방적 혼섬화 기술을 개선<sup>11-15)</sup>하기 위하여 스위스 Rierter사 등에서 정전기력을 이용한 단섬유 방적 기술이 소개되었으나 방적 환경을 저습도 상태를 유지해야 하고 3만 볼트 이상의 고전압을 방출하게 되는 생산여건과 제조인력의 안전문제 등을 내포하고 있어 양산화에 어려움이 있었다.

최근에 방적공정에서 기존링 정방기에 정전압과 습도를 낮추기 위한 견열 송풍 출력형태가 와류현상 일으키는 것을 모형화 한 공기분사 device 개발 장치를 추가 부착하고 filament에 정전기를 부여하는 새로운 장단 복합사 제조기술<sup>14-16)</sup>이 개발되고 있는데, 이를 일명 공기분사 전기방적기술(cyclone)이라고 일컫고 있다.

공기분사 전기방적기술(cyclone)<sup>16)</sup>은 기존의 개섬 공정, 연조공정 및 정방공정으로 이루어지는 통상적인 링 방적기와 동일한 구성을 가지나 링 방적기의 에이프롤러의 프런트롤러와 세컨드롤러 사이에 전기튜브가 외부에 감싸진 분섬노즐부를 추가적으로 가지며, 이 분섬노즐부를 통과하는 합성섬유 filament는 외곽 전기튜브에 의해 형성되는 전기장에 의해 각각 분섬화 되도록 고안되었다. 그리고 filament 분섬 후에는 연조공정으로부터 별도로 공급되어 세컨드 롤러를 통과하는 연조슬라이버와 함께 프런트롤러로 공급하는 공정, 그리고 위 프런트롤러로부터 드래프트되면서 토출되는 연조슬라이버와 합성섬유 filament의 혼합사조를 트래블러를 통과시켜 보빈으로 권취하면서 방적사를 제조하는

공정으로 이루어져 분섬노즐부를 가지는 링방적기에 의한 세번수 방적사 제조방법<sup>16)</sup>이라고 할 수 있다.

이러한 공기분사 전기방적기술(cyclone)은 방적공정에서 장섬유 filament에 공기분사력(air blowing force)과 정전기력(electrostatic force)을 최적화하여 장섬유 filament를 분섬화(separation)시킨 후 방적사 내에 혼섬, 방적하는 기술로서 분섬된 합성섬유 filament가 천연섬유 staple 내에 분포하게 되어 결국 원사의 세 번수 적용과 물성 및 촉감 향상 등의 기능을 동시에 달성하기 위해 최근 국내에서 고안하여 개발되고 있는 신규 방적기술이다.

그러나 일반적으로 합성섬유는 전기를 가해도 전류가 흐르지 않는 부도체로서 공기분사 전기방적시 정전기력이 부여되어 분섬화 위해서는 분섬노즐부 통과 전에 섬유고분자물질을 대전시키기 위한 약간의 전하를 지니고 있을 정도의 조제 전처리가 필요하다.

본 연구에서는 최근 새롭게 개발되고 있는 공기분사 전기방적기술(cyclone) 공정을 wool/polyester 혼섬사 제조에 적용시 polyester 장섬유의 전처리 조건에 따른 전도성 부여 효과와 전압조건이 분섬화에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 제조된 cyclone wool/polyester 혼섬 방적사 복합소재의 특성을 조사하기 위하여, 공기분사 전기방적 혼섬 방적사 및 이들 적용 직물의 물성과 염색성을 기존 sirofil 방적사 소재와 비교 조사하여 실용성 측면에서의 품질수준을 검토하고자 하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 시료

#### 2.1.1 사용 원사

본 연구에 사용된 합성섬유 장섬유는 20d/12fila의



Figure 1. Cross section concept of sirofil spun blend yarn and cyclone spun blend yarn.

무연 SDY polyester filament를 사용하였고, 천연섬유 단섬유는 18.5~19.5 $\mu$ m(1/50Nm~1/40Nm)의 wool silver를 사용하였다. 그리고 이들 원사를 이용하여 제조된 Table 1의 cyclone 및 sirofil wool/polyester 혼섬사를 사용하였다.

여기서 합성섬유 filament 한가닥씩 분섬화 가능하도록 공기분사 전기방적(cyclone) 설비가 장착된 한신모방(주)의 정방기(Cognetex, FTC-8)를 이용하여, 연조 및 전방 공정을 거친 wool silver 내에 polyester multifilament가 분섬화되어 결합, 교연하는 공기분사 전기방적 공정으로 제조된 F/100(wool 18.5 $\mu$ m/PET 20D) 및 F/80(wool 19.5 $\mu$ m/PET 20D)의 cyclone wool/polyester(90%/10%)의 혼섬 방적사를 사용하였다. 또한 기존 정방기(Cognetex, FTC-8)에서 연조, 전방 공정을 거친 wool sliver 내에 polyester multifilament 한가닥이 그대로 결합, 교연하는 sirofil 방적 공정으로 제조된 F/100(wool 18.5 $\mu$ m/PET 20D)의 sirofil wool/polyester(90%/10%) 혼섬 방적사를 비

교용으로 사용하였다.

2.1.2 사용 직물

실험에 사용한 직물은 Table 1의 F/100 및 F/80의 cyclone wool/polyester 혼섬 방적사와 기존 F/100의 sirofil wool/polyester 혼섬 방적사를 각각 사용하여 래피어 직기(HR 500)을 이용하여 RPM 350, 개구각 6~6.5cm의 기본 공정조건 하에서 제조된 Table 2의 직물을 각각 사용하였다.

2.2 사용 공기분사 전기방적(Cyclone) Device 장치

본 연구의 실험에서 사용한 공기분사 전기방적 장치는 Figure 2와 같이 링 방적기 에이프린롤러의 프런트롤러와 세컨드롤러 사이에 분섬노즐부가 장착된 proto-type의 공기분사 전기방적 device 장치이다. 이 장치는 공기분사 및 전기방적 디바이스를 통과하여 filament가 분섬되는 구간의 공기분사 분섬노즐부로서 공기분사기, 정전기발전기, cyclone 튜브, collector

Table 1. Preparation of cyclone and sirofil spun blend yarns

Specimens	Fiber		Blend ratio (%)	Cyclone condition				Spinning		TPM
	Wool	PET		Voltage (V)	Current (mA)	Tension (g/f)	Air flow pressure (g/cm <sup>2</sup> )	RPM	Draft ratio	
Cyclone F/80	19.5 $\mu$ m (1/40Nm)	20d/12f	W/P 90/10	7,000	0.3	5	8	8,000	18	Z870
Cyclone F/100	18.5 $\mu$ m (1/50Nm)	20d/12f	W/P 90/10	7,000	0.3	5	7	7,300	18	Z970
Sirofil F/100	18.5 $\mu$ m (1/50Nm)	20d/12f	W/P 90/10	-	-	-	-	7,300	18	Z1000

Table 2. Preparation of cyclone and sirofil wool/polyester blend fabrics

Specimens	Spec. of fabrics				
	Warp yarn	Weft yarn	Density(/in.)		Structure
			Wp	Wf	
Cyclone F/80	F/80 Cyclone W/P [Wool 19.5 $\mu$ m/PET20D(90%/10%)]	Wool 19.5 $\mu$ m (1/40Nm)	2/32(64)	62	Plain
Cyclone F/100	F/100 Cyclone W/P [Wool 18.5 $\mu$ m/PET 20D(90%/10%)]	Wool 18.5 $\mu$ m (1/50Nm)	2/38(76)	72	Plain
Sirofil F/100	F/100 Sirofil W/P [Wool 18.5 $\mu$ m/PET 20D(90%/10%)]	Wool 18.5 $\mu$ m (1/50Nm)	2/38(76)	72	Plain

및 yarn guide로 구성된다.

Figure 3은 공기분사 전기방적 분섬노즐부 구조도 및 device 장치에 대한 제원을 나타내고 있다. 분섬노즐부에서는 외부로부터 인가된 전압이 합성섬유 filament 통로를 감싸고 있는 전기튜브를 통하여 합성섬유

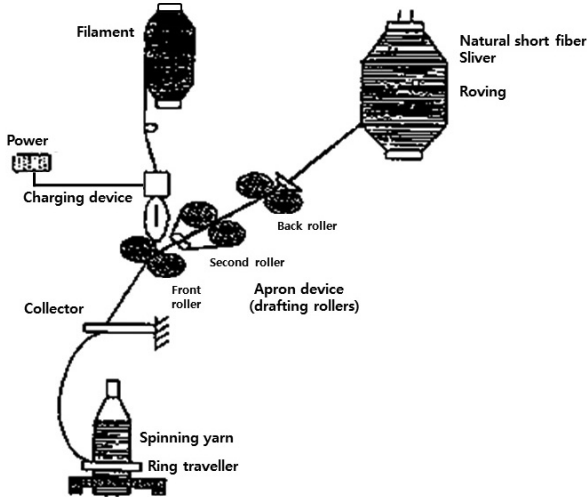


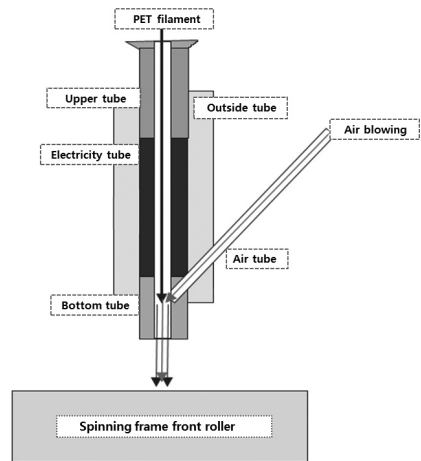
Figure 2. Spinning process of staple-filament blend yarn by electrostatic charging method in ring spinning system.

filament에 전달되어 대전되는데, 분섬노즐은 multi-filament에 음전하를 부여하기 위한 전도성 금속 내층 전기튜브와 양전하 부여를 통하여 정전기력을 줌으로써 multifilament를 외곽으로 분산시켜주는 전도성 금속 외층 전기튜브의 2층으로 구성되며, 2개층의 분섬노즐을 통과시키면 대전압 차이로 인해 multifilament가 각각 분섬된다. 이러한 통로를 통해 내려온 합성섬유 filament는 하부에 60~70℃로 설치된 에어튜브의 공기분사력에 의해서 자유로운 상태로 Figure 4와 같이 분섬화될 수 있다. 전기튜브 상단과 하단에는 세라믹 튜브로, 외층 전기튜브 외부는 절연체로 5mm의 두께로 이루어진 외부튜브로 감싸져 있다. 이때, 부도체 섬유에 대전시키기 위해서는 합성섬유 filament가 약간의 전도성을 띠어야 하므로 전도성 기능 조제를 filament에 전처리해야 하고 이를 위해 적용한 전처리 장치의 구조도는 Figure 5와 같다.

정방기 분섬노즐 디바이스를 통과한 multifilament는 프린트롤러를 통과하기 전에 단섬유 슬라이버와 만나게 되고 이때 공기분사 전기방적 분섬노즐을 통과하여 분섬된 multifilament는 중심축으로부터 일정거리



(a) Filament separation nozzle device



(b) Process diagram of filament separation nozzle device

Factor	Inside tube		Outside tube		DC Voltage (v)	Current (mA)	Air flow pressure (g/cm <sup>2</sup> )
	Diameter (mm)	Length (mm)	Diameter (mm)	Length (mm)			
Condition	0.22	50	0.5mm	9.5mm	5,000 ~ 15,000	0.2 ~ 0.5	5 ~ 10

(c) Condition of filament separation nozzle device

Figure 3. Process diagram (b) and condition (c) on filament separation nozzle device (a) in air blowing and electrostatic spinning frame.



**Figure 4.** Multifilament separation of polyester filament on separation nozzle device in air blowing and electrostatic spinning(cyclone) frame.

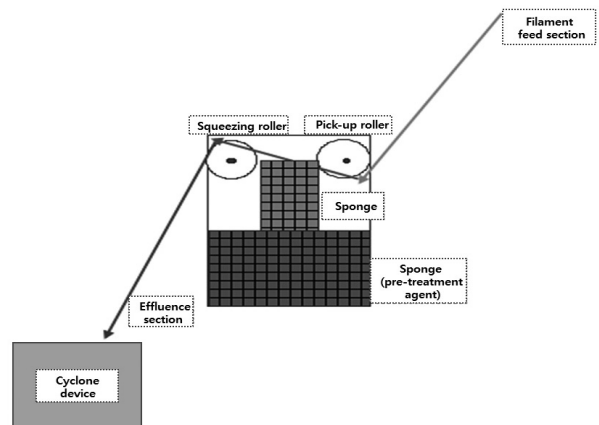
를 유지하면서 분산되어 단섬유들 사이에 분포되게 된다. 분포된 filament의 중심축과 분포거리는 방전 전압과 filament의 장력에 의해 조절되고, filament를 단섬유의 중심축에 가까이 하기 위해서 장력을 상승시키거나 컨덴서(condenser) 혹은 컬렉터(collector)를 사용하고, 프린트롤러를 통과한 분섬 filament와 단섬유는 서로 평행상태로 유지하고 있다가 꼬임효과를 받으면서 결집되면서 장단섬유 복합사(spun blend yarn)로 만들어지게 된다.

본 연구에서 cyclone 방식 혼섬사의 비교 실험용으로 사용된 sirofil 혼섬사는 Figure 6과 같이 합성섬유 filament가 위쪽 로빙부분에서 드래프트로 풀려나오면서 프린트롤러로 공급되고, 다른 한쪽 로빙부분에서는 단섬유 sliver가 프린트롤러로 별도 공급되면서 프린트롤러를 지나는 정방공정에서 합성섬유 filament 한가닥이 단섬유 sliver 내 한쪽으로 혼합되어 정방교연되는 sirofil 방적 방식으로 제조된 장단복합사이다.

### 2.3 공기분사 전기방적(cyclone) 분섬화 실험

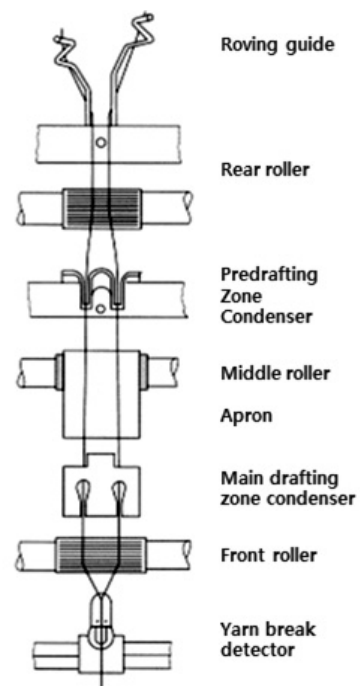
#### 2.3.1 전도성 조제 전처리 및 전기저항 측정

합성섬유 polyester filament에 전하 부여 조건을 조사하기 위하여, 전도성 기능 조제로서 섬유상에 흡진 사용 가능한 대전방지제를 검토하였고, 본 연구에서는 비이온성 대전방지제로서 N사의 염산구아니딘 질소계 화합물인 비이온성 대전방지제 2종(FE-33, FE-18)과 이온성으로서 N사의 alkyl phosphate계 음이온성 화합물인 대전방지제 AS-20, 그리고 C사의 phosphate



**Figure 5.** Process diagram on pretreatment device of conductive agent in air blowing and electrostatic spinning(cyclone) frame.

ester계 음이온성 대전방지제 AKT를 사용하였다. 이러한 총 4종의 대전방지제를 사용하여 1~100%soln. 농도별로 장착된 Figure 5의 스펀지 전처리 장치를 통해 polyester filament(20D/12fila.)를 처리하고, 120°C에서 2분간 건조 후 electric tester(FLUKE)사용하여 전기저항을 측정, 최적 전처리 조건을 검토하였다. 이때, 전기저항 측정은 항온 항습실(온도 20°C, 습도 65%)에서 5회 측정하여 최고, 최저 값을 제외한 나머지 평균치를 산출하였다.



**Figure 6.** Schematic diagram of siro spinning process<sup>17)</sup>.

### 2.3.2 전압에 따른 filament의 분섬거리 측정

부여 정전압 변화에 따른 polyester filament의 분섬화 정도를 조사하고 최적 전압조건을 조사하기 위한 것으로, 전처리 장치에서 FE-18 대전방지제가 20%soln.의 농도로 전처리된 polyester filament(20d/12fila.)에 대하여 Figure 3의 분섬노즐부에서 5,000~10,000volt 범위내의 발생전압에 따른 분섬된 filament간 거리를 실측하였다. 이때, 발생전류는 0.3mA, filament 장력은 5g/f로 고정하였다.

### 2.3.3 Microtome 측정 및 장단섬유 분포율 계산

Filament 장섬유에서 분섬화된 섬유가 정전기력에 의해 섬유 전체단면에 퍼져있는 비율을 조사하기 위하여 공기분사 전기방적 공정으로 혼섬된 F/100(wool 18.5 $\mu$ m/PET 20D) 혼섬사의 단면을 microtome 측정하였고, 전체 장섬유 개수와 인접하지 않은 장섬유의 개수를 조사함으로써 장/단섬유 분포율을 아래 식(1)과 같이 주관적, 정성적으로 산출하였다.

$$\text{Distribution rate of staple/filament(\%)} \\ = \frac{\text{Nonadjacent filament count}}{\text{Total filament count}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

## 2.4 Cyclone 및 sirofil wool/polyester 혼섬사 적용 직물의 염색

사용염료는 양모섬유 염색에 많이 적용되는 1:1 함 금속 산성염료인 Unilan Yellow GRN, Unilan Red BS, Unilan Blue GG의 삼원색 염료 각 3% o.w.f를 사용하여 cyclone wool/polyester 혼섬사 직물(cyclone F/100) 및 sirofil wool/polyester 혼섬사 직물(sirofil F/100)에 대하여 최종 100 $^{\circ}$ C, 60분간 염색조건 하에서 승온온도 및 염색시간에 따른 염착곡선을 각각 조사하였다. 이때 균염제(NEWBON SD-20) 1g/l를 염료와 동시 투입하고 acetic acid를 사용하여 염욕 pH를 4로 조정하였고, 욕비는 1:30으로 하였다. 염색 후 모든 염색물은 고착제(Superfix W-75, 대영화학) 2g/l와 acetic acid 1%soln.을 사용하여 50 $^{\circ}$ C에서 20분간 고착 처리하여 냉수세 후 온수세, 냉수세를 반복하였다. 모든 정련 및 염색공정은 IR 염색기(LABO-MAT, Mathis, Switzerland)를 사용하였다. 또한 개발 cyclone wool/polyester 혼섬 방적사 원사 굵기

에 따른 염색성 조사를 위하여 cyclone wool/polyester 혼섬사 F/80과 F/100 적용 직물의 염색성을 동일한 염색조건으로 조사, 비교하였다. 그리고 삼원색 염착곡선 측정 후 cyclone wool/polyester 직물(cyclone F/100) 및 sirofil 직물(sirofil F/100)에 대하여 삼원색 복합염료를 이용하여 dark grey 색상(Unilan Yellow GRN 0.432%o.w.f, Unilan Red BS 0.036%o.w.f, Unilan Blue GG 0.042% o.w.f 혼합)으로 위와 동일 염색공정으로 염색함으로써 제품화 실용성을 검토하였다.

## 2.5 물성 측정

### 2.5.1 원사 물성 및 치수안정성 측정

분섬노즐부 이용하여 공기분사 전기방적 공정으로 제조된 F/80, F/100의 각 cyclone wool/polyester 혼섬사 및 sirofil wool/polyester 혼섬사에 대하여 원사 균제도, 인장강신도, 방적사 치수변화율의 방적사 물성 안정성을 비교 조사하였다.

원사 균제도는 방적사의 균일성을 측정하는 품질항목으로 USTER 시험방법으로 균제도 측정 시험기(Uster Tester 3) 사용하여 전기용량식 센서로 시료의 선밀도의 변동(mass variation)을 측정하고, 이를 전기적 신호로 변환시켜 시료의 불균제도를 측정하였다. 측정속도는 200m/min. 측정시간은 3분으로 하여 5회 측정 평균하였다.

인장강신도는 KS K 0475에 준하여 측정하였고, 방적사 치수변화율은 KS K 0423에 준하여 20 $^{\circ}$ C에서 10분간 침지하고 망 건조 후 길이변화 측정하였다.

### 2.5.2 직물의 물성 및 치수안정성 측정

Cyclone wool/polyester 혼섬사 적용 직물의 제품화 안정성을 조사하기 위하여 dark grey 색상 산성염료 염색직물에 대한 필링성과, 인장강도, 마모강도 및 세탁 치수변화율을 조사하여 기존 sirofil wool/polyester 혼섬사 적용 직물과 비교하였다. 이때 필링성은 KS K 0501(브러시스펀지법), 세탁치수변화율은 KS K ISO 5077, 인장강도는 KS K 0520(그래브법), 마모강도는 KS K ISO 12947-2(마틴테일법, 시험편 파괴점)에 의거하여 실시하였다.

### 2.5.3 직물의 태 특성 조사

Cyclone wool/polyester 및 sirofil wool/poly-

ester 혼섬사를 적용하여 dark grey 색상으로 염색한 직물에 대하여 Kawabata(KES-FB system, Kato tech.)을 이용하여 Women's suit(winter)의 KN-201-MDY에 의한 감각적 특성치(Hand Value)와 KN-301-Winter에 의한 종합태(Total Hand Value)를 측정하여 두 직물간의 태(Handle) 특성을 조사, 비교하였다.

## 2.6 염색직물 염색성 조사

### 2.6.1 색농도 및 색차 측정

모든 염색물에 대하여 측색기(Datacolor SF 600 Plus)를 사용하여 380~720nm 영역의 최대흡광파장(Yellow 400~410nm, Red 500~520nm, Blue 630~640nm)에서의 단파장 K/S 값을 측정하여 겉보기 색농도를 측정하였다. 또한 KS K 0205에 준하여 각 염색직물 상의 임의의 한 지점을 기준으로 다른 지점 간의 색차( $\Delta E^*$ )를 측정하여 개발 소재의 균염성 정도를 조사하였다.

### 2.6.2 견뢰도 평가

Cyclone wool/polyester 혼섬사 적용 양모복합 직물에 대해 2.4항과 같이 삼원색의 합금속 산성염료 및 dark grey 혼합 합금속 염료를 각 3% o.w.f.를 사용하여 100℃, 60분간 염색한 후 이들 직물에 대한 세탁 견뢰도, 드라이클리닝견뢰도, 마찰견뢰도 및 물견뢰도를 측정하였다. 드라이클리닝견뢰도는 KS K ISO 105-D01, 세탁견뢰도는 KS K ISO 105-C06, 마찰견뢰도는 KS K 0650, 물견뢰도는 KS K ISO 105-E01에 의거하여 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 전도성의 조제 전처리에 따른 합성섬유 전기저항 변화

합성섬유 혼방 전기방적 공정시 전압을 높여 합성섬유 가닥가닥 벌어지게 되는데, 현재 이를 적용하기 위해서는 높은 전압이 필요하여 실제 현장에서는 안정성 문제로 비실용적일 수 있다. 따라서 cyclone 공기분사 전기방적 공정에서 정전기를 방지하면서도 부도체인 합성섬유에 전기가 흐를 수 있도록 전하량을 부여하기 위해서는, 염 성분 및 긴 알킬체인을 가지는 계면활성제 성분이 포함된 대전방지제와 같이 자체의 전도성을 띠는 전도성 조제의 전처리 조건 선정이 필요하다.

기존 섬유가공제로 사용되는 대전방지제의 기능은

그 분자내에 친수성과 소수성기를 모두 갖고 있어, 실제로 소수성기는 섬유상 표면에 집중되어 있고, 반면에 친수성기는 대기 중의 수분을 흡수하는 공기 측에 주로 있다. 이에 소수성 부분의 정전하 축적은 대전방지제에 의해 흡수된 수분의 전도성으로 인해 분산되며, 동시에 대전방지제는 마찰 정전하의 누적을 줄이는 효과를 얻게 되는 기능을 가지게 된다.

본 연구에서는 공기분사 전기방적 공정상의 분섬노즐부 device 장치를 이용하여 합성섬유 polyester의 전도성 확보 위해 대전방지제 적용한 최적의 전처리 조건을 조사하고, 공기분사 전기방적 공정에 적용하고자 하였다.

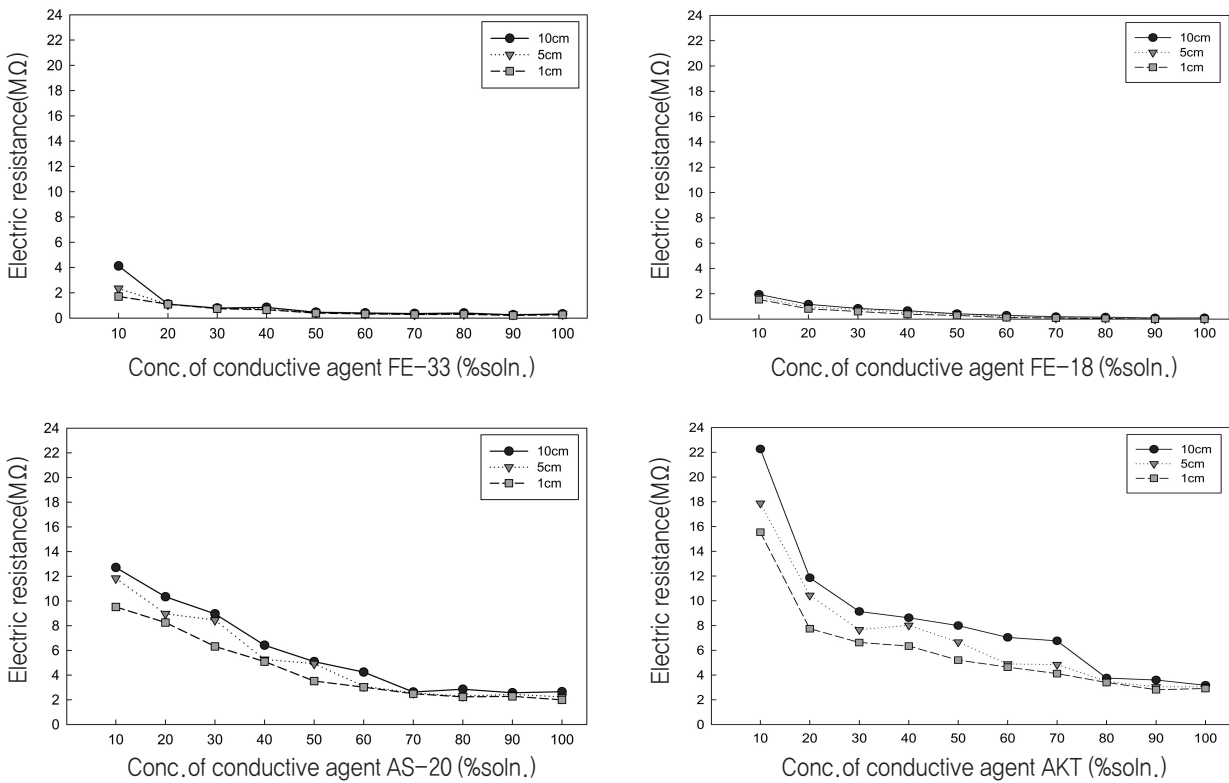
이에 본 연구에서는 20D polyester 섬유상에 염산 구아닌인 질소계 화합물인 비이온성 대전방지제 2종(FE-33, FE-18)과 alkyl phosphate계 음이온성 화합물인 대전방지제 AS-20, phosphate ester계 음이온성 대전방지제 AKT를 각각 1~100%soln.의 농도 별로 처리하여 건조 후 원단 길이별 전기저항을 측정하였으며, Figure 7은 대전방지제 종류별 농도에 따른 전기저항의 변화를 조사하여 나타낸 것이다.

그 결과 대부분의 조제들은 1%soln. 수준의 매우 저농도에서는 전기저항 측정이 불가하였으나, 10%soln. 농도 이상에서는 농도가 높아질수록 전기저항 값이 감소하는 결과를 나타내었다. 특히, 이온성 대전방지제 전도성 물질보다는 비이온성 전도성 물질인 FE-33과 FE-18 대전방지제를 적용한 경우 전기저항 수치가 낮고, 20%soln.농도에서도 전기저항 수치가 크게 감소하고 있다. 이는 이온성 대전방지제가 주변 환경의 영향을 보다 쉽게 받게 되어 전기저항성이 보다 큰 것으로 보이며, 비이온성 대전방지제는 주변 환경의 영향에 비교적 안정적인 것으로 판단된다.

따라서 비이온성의 FE-33 또는 FE-18 대전방지제를 20%soln.내외 농도로 polyester filament상에 전처리함으로써 공기분사 전기방적 분섬노즐부에서 filament상에 양호한 전도성을 부여할 수 있을 것으로 보인다.

### 3.2 발생 전압에 따른 polyester filament의 분섬화 및 분포성

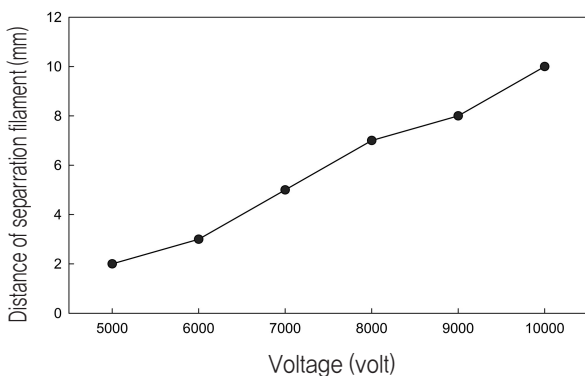
앞서 실험에서 언급한 바와 같이 공기분사 전기방적 공정 중에 전도성 물질로 전처리된 multifilament를 직류전압으로 대전시키기 위해 분섬노즐을 지닌 디바



**Figure 7.** Change of electric resistance on polyester filament according to treatment concentration of conductive agents(anti-static agents).

이스 장치를 적용하는데, 이러한 분섬노즐은 합성섬유 multifilament에 음전하를 부여하기 위한 내층 전기 튜브와 양전하 부여 통해 정전기력을 줌으로서 전처리 filament를 외곽으로 분산시켜 주는 외층 전기 튜브 2층으로 구성된다. 이러한 2개 층의 전기 튜브 구간을 합성 섬유 multifilament가 통과하면 대전압 차이로 각각의 filament로 분섬하게 될 것이다.

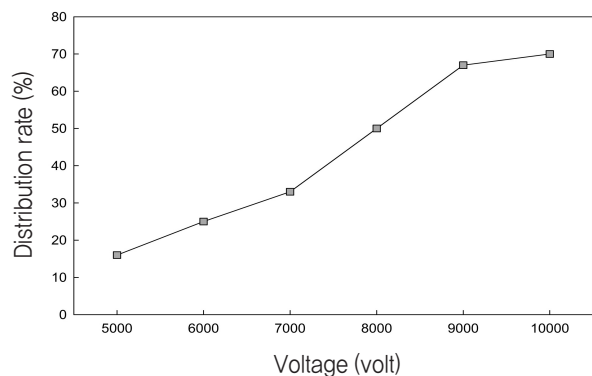
Figure 8은 발생 전류값과 filament 장력값이 일정



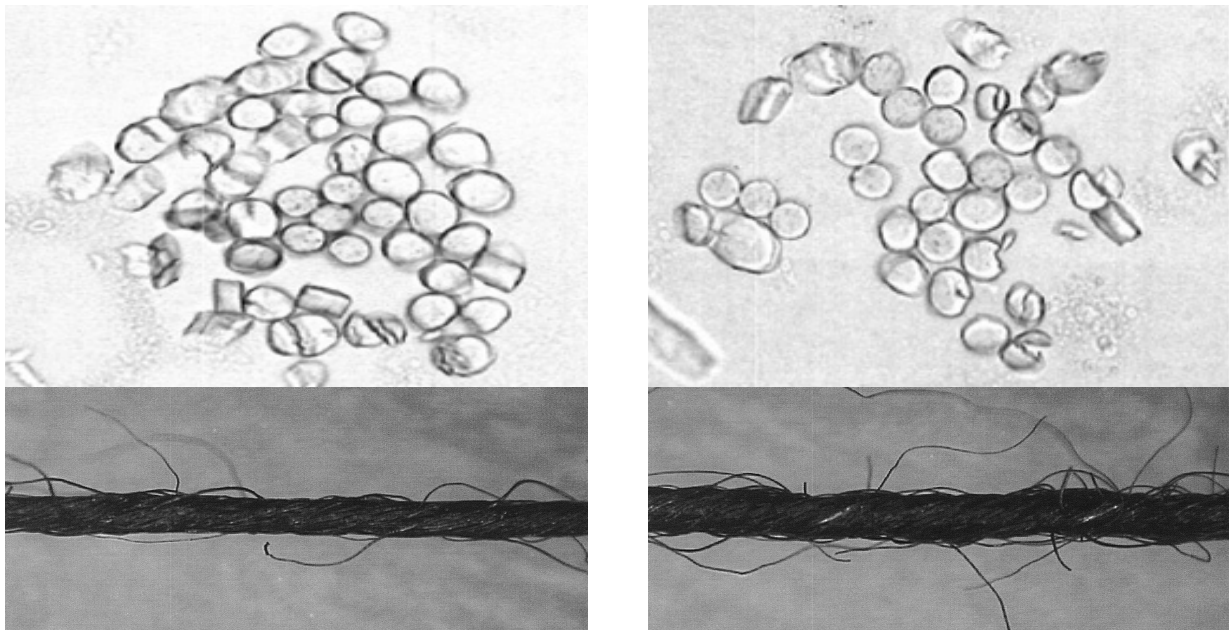
**Figure 8.** The distance between separated filaments in polyester multifilament according to voltage change.

할 때, 발생하는 전압에 따라 20%soln.의 FE-18 대전 방지제가 전처리된 20D polyester의 filament 분섬 거리를 측정하여 나타낸 것으로서, 발생전압이 높을수록 분섬되는 filament의 거리가 증가하고 있다.

Figure 9는 발생전압에 따른 장/단섬유 분포율을 나타낸 것으로서, 장/단 섬유 분포율 계산은 공기분사 전기방적 원사의 성능을 평가하기 위하여 방적이 완료된 원사의 단면을 절단하여 filament 장섬유의 분섬유가



**Figure 9.** The distribution rate of staple(wool) and filament(polyester) fiber according to voltage change.



F/100 Cyclone W/P  
(5,000V, distribution rate 16.6%)

F/100 Cyclone W/P  
(8,000V, distribution rate 50%)

**Figure 10.** Microscope images on cross section and side shape of cyclone F/100 wool/polyester spun blend yarns.

정전기력에 의해 단섬유 섬유속에 퍼져있는 상태를 측정하는 것으로서 수치가 높을수록 고르게 분포되었음을 의미한다. Figure 9에서 발생전압이 높을수록 장/단 섬유의 분포율도 다소 증가하고 있으며, 전압 9,000volt 이상에서는 거의 비슷한 분포율을 나타내고 있다. 따라서 전류 및 장력이 일정한 기본 조건 하에서 공기분사 전기방적 분섬노즐의 전압 조건은 8,000~9,000volt 내외가 적절할 것이다.

Figure 10은 cyclone 혼섬사의 형태를 알아보기 위하여 분섬노즐 통과시 5,000volt 및 8,000volt의 전압으로 분섬 후 제조된 cyclone wool/polyester 혼섬사의 단면 및 측면 형태를 관찰하여 나타낸 것이다.

그림에서 전압이 5,000volt에서 8,000volt로 높아질수록 원형의 polyester filament가 더욱 퍼지게 분포됨을 알 수 있으며 측면 사진에서 원사의 혼섬이 잘 이루어져 외곽에는 비교적 심사에 속하는 polyester filament가 거의 보이지 않음을 알 수 있다. 그러나 전압이 높을수록 각 filament 분포율이 넓어져 filament가 외곽으로 위치해 이후 혼섬이 불균일해질 수 있으므로 분섬노즐에서 원사에 적절한 전압설정이 필요할 것이다.

### 3.3 Cyclone 및 sirofil wool/polyester 혼섬사의 물성

앞서 언급한 바와 같이 최근 천연섬유 단섬유와 합성 섬유 장섬유 복합 방적시 기존의 링방적 및 sirofil 방

**Table 3.** Physical properties of cyclone and sirofil wool/polyester spun blend yarns

Properties	Specimens		
	F/80 Cyclone W/P	F/100 Cyclone W/P	F/100 Sirofil W/P
Breaking strength(cN/Tex)	8.72	8.38	9.04
Breaking elongation(%)	28.4	24.71	24.63
Unevenness of spun yarn(U%)	12.4	12.46	14.55
Dimensional change of spun yarn(%)	0	-0.4	-0.4

적방직을 개선하여 filament 합성섬유가 방직사 내에 골고루 편재되어 촉감 및 제품성이 보다 향상되도록 하기 위하여 공기분사를 이용한 전기방직 기술(일명 cyclone)이 개발되고 있다.

본 연구에서는 먼저 새로운 공기분사 전기방직 기술을 이용하여 제조된 cyclone wool/polyester 혼섬 방직사 상태에서의 품질 및 물성 수준을 검토하기 위하여, 인장강신도와 균제도, 방직사 치수변화율을 조사하고 기존 sirofil wool/polyester 혼섬 방직사와 비교하여 Table 3에 나타내었다.

Table 3을 보면 F/80 cyclone wool/polyester 보다 다소 세섬사인 F/100 cyclone wool/polyester의 인장강도는 당연히 낮은 수준으로 나타났고, F/100 cyclone wool/polyester 방직사의 강도는 F/100 sirofil wool/polyester 보다 조금 낮게 나타나고 있다. 이처럼 F/100 굵기의 cyclone과 sirofil wool/polyester 혼섬 방직사는 인장강도 차이가 나는데 sirofil의 경우 polyester filament가 외곽 한쪽에 결속되어 모여 있고, cyclone의 경우 polyester filament가 분섬공정을 거쳐 보다 흩어져 분포하므로 인장강도의 경우 sirofil 방직사가 약간 높게 나타나고 있는 것으로 보인다. 그러나 그 차이는 크지 않고, cyclone과 sirofil의 인장강신도 및 치수변화율도 안정한 비슷한 수치를 보이고 있으며 균제도(U%)도 12 내외 수준으로 양호하므로 신규 cyclone wool/polyester 혼섬 방직사는 실용적 전개 위한 물성수준을 만족할 것으로 보인다.

### 3.4 Cyclone 및 sirofil의 wool/polyester 혼섬사 적용 직물의 염색성 비교

본 연구에서는 천연섬유 단섬유와 합성섬유 장섬유를 복합 방직 시 기존 sirofil 기술을 적용한 wool/polyester 혼섬 방직사와 최근 개발되고 있는 cyclone 공기분사 전기방직 방식을 적용한 wool/polyester 혼섬 방직사를 각각 이용하여 제직된 양모복합 직물에 대한 염색 품질

수준을 비교 검토해 보고자 하였다.

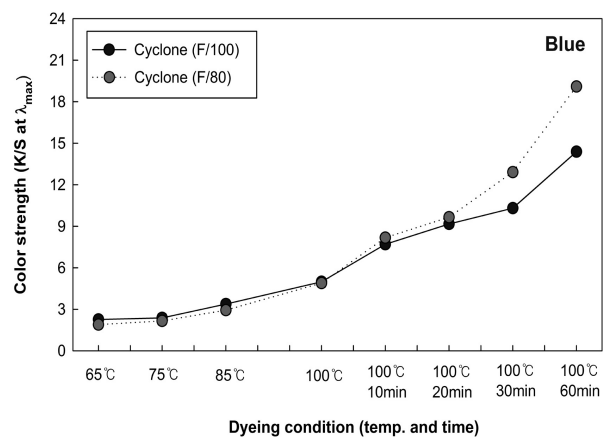
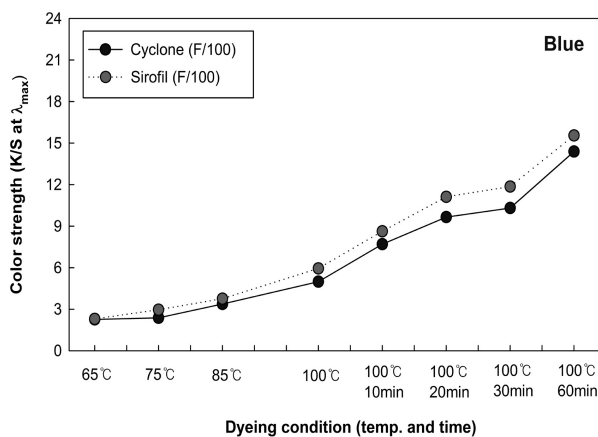
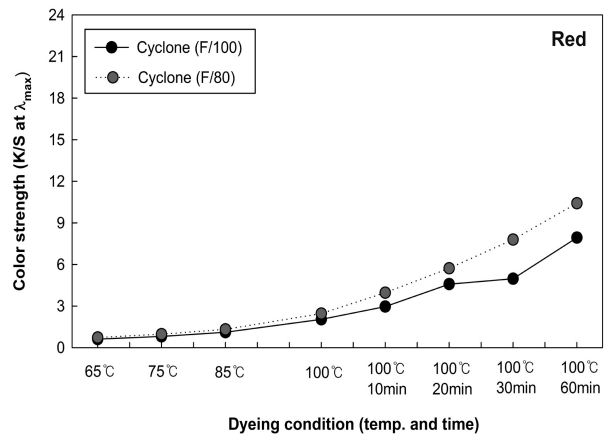
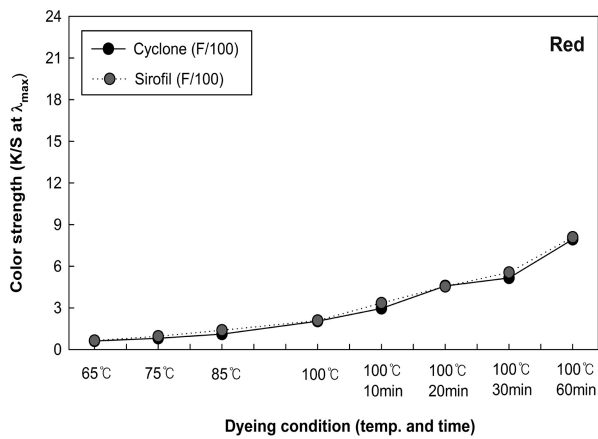
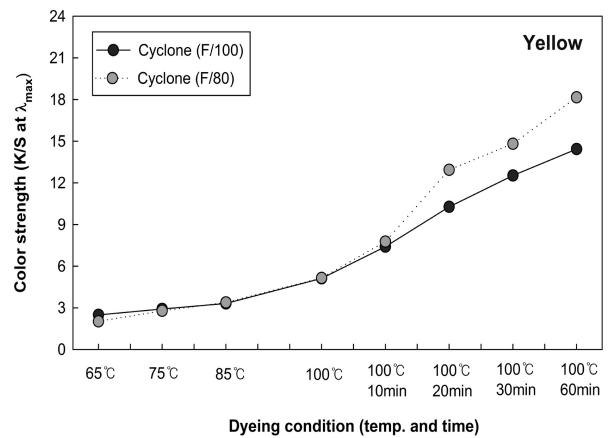
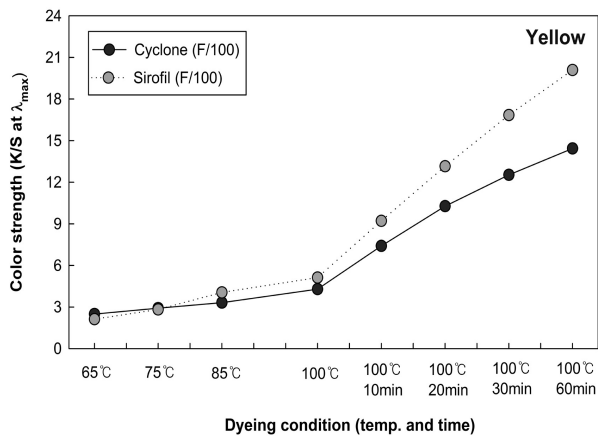
염색성 조사시 cyclone wool/polyester(F/100) 및 sirofil wool/polyester(F/100) 혼섬사를 경사로 적용한 wool 복합 직물에서 방직에 사용된 polyester 함량은 10%이하로 낮고, polyester filament는 이론적으로는 전체적으로 방직시 원사 내부 쪽에 위치하게 되므로, cyclone 방직시 장섬유 편재성과 더불어 실용성 검토 차원에서 산성염료 단일염료에 의한 염색성을 우선 조사하였다.

Figure 11은 F/100의 cyclone wool/polyester 방직사 적용 직물에 대한 삼원색의 함금속 산성염료(Unilan Yellow GRN, Unilan Red BS, Unilan Blue GG)의 염색성을 기존 F/100 sirofil wool/polyester 적용 직물과 비교하여 나타낸 것으로서, 각 삼원색의 함금속 산성염료 염색공정에 따라 염착곡선 염료 흡진 경향성은 비슷하나 yellow, blue 염색원단의 경우 cyclone 적용 직물의 염색성이 sirofil 적용 직물 보다 다소 낮게 나타나고 있다. 이는 cyclone 공정에서 polyester 원사가 sirofil 보다 골고루 산재되어 함금속 산성염료 단독염색으로 염색성이 미미하게나마 차이 날 수 있을 것으로 보인다. 특히 yellow의 경우 그 차이가 두드러져 보이는데, 이는 yellow가 다소 옅은 색상에 속해 미미한 색상 차이라도 겉보기 색상 농도 측정 값이 크게 차이나는 것에 연유한 것으로 보이며, 실제 육안 색상에서는 전체적으로 큰 차이 없는 것으로 판단되었다.

Figure 12는 F/80 및 F/100의 원사 굵기에 따른 cyclone wool/polyester 혼섬 방직사 적용 직물의 함금속 산성염료의 염착곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 염색 공정상 염색초기에는 F/100 cyclone wool/polyester가 보다 세섬사인 특성으로 인해 염료에 대한 빠른 흡진으로 F/80 cyclone wool/polyester 보다 염색성이 약간 높게 나타나지만 100℃에서 60분간 염색시 염착 포화치에 거의 이르러 F/100 cyclone wool/polyester의 염색성은 F/80 cyclone wool/polyester 보다

**Table 4.** Color difference on sirofil and cyclone wool/polyester fabrics dyed with mixed metal-complex acid dye(dark grey color)

Properties	Dyeing fabrics		
	F/80 Cyclone W/P	F/100 Cyclone W/P	F/100 Sirofil W/P
Color difference( $\Delta E^*$ )	0.25	0.07	0.05



**Figure 11.** Color strength of cyclone wool/polyester(F/100) and sirofil wool/polyester(F/100) fabrics dyed with three metal-complex acid dyes(Unilan Yellow GRN, Unilan Red BS, Unilan Blue GG) according to dyeing process(dyeing rising temperature and dyeing time).

**Figure 12.** Color strength of cyclone wool/polyester(F/80) and cyclone wool/polyester(F/100) fabrics dyed with three metal-complex acid dyes(Unilan Yellow GRN, Unilan Red BS, Unilan Blue GG) according to dyeing process(dyeing rising temperature and dyeing time).

**Table 5.** Fastness of cyclone and sirofil wool/polyester blend fabrics dyed with metal-complex acid dyes

Fastness		F/100 Cyclone W/P			F/100 Sirofil W/P		
		Yellow	Red	Blue	Dark grey	Dark grey	
Washing	Change in color	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	
	Staining	Wool	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
		Polyester	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
Dry cleaning	Change in color	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	
	Staining	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	
Rubbing	Dry	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	
	Wet	4	3-4	3-4	4-5	4-5	
Water	Change in color	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	
	Staining	Wool	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
		Polyester	4	4	4	4-5	4-5

다소 낮게 나타나고 있다. 이는 고온 및 1시간 이상의 장시간 염색 온도에서 보다 세섬사 소재 적용 특성으로 인해 염착 염료가 욱증으로 더욱 이행된 것으로 보인다. 이에 cyclone 세섬사 개발 원사의 경우 색상발현을 위해 염색시 보다 세밀한 염료농도 및 염색조건 설정이 필요할 것으로 보인다.

Table 4는 F/80 및 F/100의 cyclone wool/polyester 혼섬 방적사 적용 wool 복합직물 및 기존 F/100의 sirofil wool/polyester 혼섬 방적사 적용 wool 복합직물 dark grey 염색포에 대하여 각 직물 상의 부위별 색차( $\Delta E^*$ )를 측정하여 이들 염색포의 균염성을 조사한 것이다.

Cyclone wool/polyester 방적사 적용 양모 복합직물 염색포 색차값은 0.25~0.07로서 sirofil wool/polyester 방적사 적용 양모 복합직물 염색포 색차값 0.05 내외의 비슷한 색차값을 보이고 있어 신규 공기분사 전기방적 기술 적용 cyclone 방적사 적용 소재는 기존의 sirofil 방적사 적용 소재에 버금가는 색차 1.0이하의 안정적인 균염성을 보이고 있으며, 이로서 신규 cyclone 소재는 비교적 균일한 공기분사 전기방적 공정으로 개발, 제조되었음을 짐작할 수 있다.

### 3.5 Cyclone 및 sirofil wool/polyester 혼섬사

#### 적용 직물 염색포의 견뢰도

Table 5는 F/100의 cyclone wool/polyester 혼섬

방적사 적용 wool 복합직물에 대하여 Unilan 시리즈 합금속 산성염료를 각각 이용한 삼원색(yellow, red, blue) 염색포 및 혼합염료를 이용한 dark grey 염색포에 대한 세탁견뢰도, 드라이클리닝견뢰도, 마찰견뢰도 및 물견뢰도의 염색견뢰도 특성을 F/100 sirofil wool/polyester 혼섬 방적사 적용 wool 복합 직물 염색포와 비교하여 나타낸 것이다. cyclone 염색직물은 삼원색 단일 염료 염색 및 복합염료 염색시에도 기존 sirofil 적용 소재와 비슷하게 전체적으로 4급 이상의 양호한 견뢰도 특성을 보이고 있다.

Cyclone wool/polyester 혼섬사 적용 wool 복합직물의 경우 polyester filament 부분이 대부분 wool 단섬유 내에 편재 되어 있으므로 삼원색의 각 단일 산성 염료 염색시 뿐만 아니라 dark grey의 산성염료 혼합 염색시에도 표면 염색 균일성 확보와 동시에 sirofil wool/polyester 혼섬사 적용 wool 복합직물에 버금가는 실용적 염색품질 수준을 나타내는 것으로 보인다.

### 3.6 Cyclone 및 sirofil wool/polyester 혼섬사

#### 적용 직물 염색포의 물성

Table 6은 신규 F/80 및 F/100 cyclone wool/polyester 혼섬 방적사 적용 wool 복합직물의 물성수준을 기존 sirofil wool/polyester 혼섬 방적사 적용 wool 복합직물과 비교하여 나타낸 것으로서, 혼합 합금속 산성 염료를 사용하여 dark grey 색상으로 염색한 각 염색

**Table 6.** Physical properties of the cyclone and sirofil wool/polyester blend fabrics dyed with metal-complex acid dyes

Properties		F/80 Cyclone W/P	F/100 Cyclone W/P	F/100 Sirofil W/P
Pilling(grade)		4	4	4
Dimensional change in washing(%)	Warp	-2.0	-1.0	0.5
	Weft	-4.0	-3.5	-3.5
Breaking strength(N)	Warp	310	290	270
	Weft	180	160	170
Abrasion resistance(grade)		over 10,000	over 10,000	over 10,000

직물들의 실용성을 검토하기 위하여 필링성, 세탁치수 변화율, 인장강도 및 마모강도에 대한 물성 특성을 조사하였다.

세탁치수변화율의 경우 F/80 cyclone 적용 직물의 경, 위사 치수변화율은 각각 -2.0%, -4.0%로서 보다 세 번수의 F/100 cyclone 적용 직물 -1.0%, -3.5% 보다 세탁치수 축소현상이 약간 증가되는 경향을 보이고 있다. 또한 F/100 sirofil 적용 직물 보다 F/100 cyclone 적용 직물의 세탁치수 축소 경향이 경사방향으로 조금 증가되고 있다. 그러나 이러한 차이는 미미한 수준으로서 세탁치수변화율의 경우 전체적으로 -1.0~4.0% 수준의 축소현상을 보이거나 이는  $\pm 5\%$ 이내의 실용적 수준의 안정적인 치수변화율임을 알 수 있다.

신규 cyclone wool/polyester 방적사 적용 소재의 강도와 연계된 물성을 조사한 결과, 우선 필링성의 경우 기존 sirofil 적용 염색직물 소재와 비슷한 4급 이상의 양호한 결과를 보이고 있으며, 마모강도의 경우도 마틴 데일법에 의거한 실험에서 하중 595g에서 실 2가닥이 끊어질 때의 시험편 파괴점이 cyclone 및 sirofil 적용 직물 모두 10,000회 이상으로 우수한 마모강도 특성을 보인다.

염색포들의 인장강도의 경우 F/100의 cyclone 적용 직물의 경, 위사 인장강도는 각각 290N, 160N으로서, 기존 sirofil 적용 직물의 경, 위사 인장강도 270N, 170N과 비슷한 인장강도 수준을 보이고 있으며, F/80의 다소 굵은 cyclone 방적원사 적용 직물은 보다 세 번수의 F/100 cyclone 방적원사 적용 직물보다 인장강도가 당연한 패턴으로 다소 증가됨을 일 수 있다.

이로서 신규 cyclone 방적사 적용 소재의 물성이 전체적으로 안정적인 경향을 나타내어 염색특성과 연계하여 실용적으로 전개 가능한 것으로 판단된다.

### 3.7 Cyclone 및 sirofil wool/polyester 혼섬사 적용 직물 염색포의 태 특성

Table 7은 F/100의 cyclone wool/polyester 혼섬 방적사 적용 wool 복합직물 염색포와 기존 F/100 sirofil wool/polyester 혼섬 방적사 적용 wool 복합직물 염색포에 대하여 KES-FB system을 이용한 Kawabata 태 측정 결과를 나타낸 것이다. F/100 cyclone wool/polyester 혼섬 방적사 적용한 양모 복합 염색직물의 경우는 F/100 sirofil wool/polyester 혼섬 방적사 적용한 양모 복합 염색직물 보다 뻣뻣한 Koshi 값은 낮

**Table 7.** Hand value and Total hand value properties of cyclone and sirofil wool/polyester blend fabrics dyed with metal-complex acid dyes

Properties		F/100 Cyclone W/P	F/100 Sirofil W/P
Hand Value (KN-201-MDY)	Koshi	4.23	4.84
	Numeri	5.52	4.28
	Sofutosa	6.05	2.25
Total Hand Value (KN-301-WINTER)		3.27	2.21

으면서 부드러운 감촉의 Sofutosa와 매끄러운 감촉의 Numeri 등의 부드러운 감성과 연계된 감각적 특성치(H.V) 값이 더욱 우수하게 나타나고 있으며, 종합태(T.H.V) 값도 sirofil 적용한 직물 보다 높아 더욱 우수한 handle 특성을 보이고 있다. 이로서 cyclone wool/polyester 혼섬 방적사의 경우 polyester filament가 wool 단섬유 내부에 비교적 골고루 산재되므로 이를 적용한 wool 복합 직물의 경우는, 기존의 polyester filament가 한쪽에 편재되어 다소 뻣뻣한 느낌을 내는 sirofil wool/polyester 방적사 적용 소재 보다는 더욱 부드러운 감촉을 확보할 수 있는 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 천연섬유/합성섬유 혼섬사 방적 제품의 감촉 향상과 세번수 적용을 위해 최근 개발되고 있는 공기분사 전기방적(cyclone) 기술을 이용하여 wool/polyester 혼섬사 개발 적용시, polyester 장섬유의 전도성 조제 전처리 조건에 따른 전도성 부여 효과와 발생전압 조건이 분섬화에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 공기분사 전기방적 기술을 이용하여 제조된 cyclone wool/polyester 혼섬 방적사 및 이를 경사로 적용한 wool 복합직물에 대한 물성 및 염색성을 기존 sirofil 방적사 직물과 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공기분사 전기방적 분섬노즐부(전기튜브) 통과 이전에 polyester 섬유에 전도성 부여 위한 전도성 물질 전처리 공정시, 전도성 조제로서 비이온성의 대전방지제를 20%Soln. 이상 처리한 경우 전기 저항성이 가장 낮게 나타나 polyester 장섬유에 양호한 전도성을 부여할 수 있었다.
2. 분섬노즐부에서 발생하는 전압에 따른 polyester filament의 분섬거리는 전압이 높아질수록 polyester filament가 더욱 분섬화되어 분섬되는 필라멘트 간의 거리 및 wool/polyester의 장/단 섬유 분포율이 증가하였으며, polyester filament의 최적 분섬 위한 발생전압은 8,000volt 수준이 적절하였다.
3. 신규 방적공정의 cyclone wool/polyester 혼섬 방

적사와 기존 sirofil wool/polyester 혼섬 방적사의 인장강신도는 비슷한 수치를 보였고, 치수변화율은 -0.4%로 치수안정성이 우수하였다. 그리고 균계도도 12% 내외 수준으로 양호하였다.

4. F/100 cyclone wool/polyester 혼섬사 적용 wool 복합직물의 염착곡선 통한 삼원색 함유속 산성염료 염색성은 기존 sirofil wool/polyester 혼섬사 적용 wool 직물의 염착 경향성과 비슷하였으며, 실제 육안 색상에서는 전체적으로 큰 차이 없이 균염성있게 염색되었다.
5. Cyclone wool/polyester 혼섬사 적용 염색직물의 견뢰도는 sirofil wool/polyester 혼섬사 적용 염색직물과 비슷한 4급 수준의 양호한 견뢰도를 나타내었다. 또한 cyclone wool/polyester 적용 직물의 세탁치수변화율은 전체적으로 -4.0% 이내로 비교적 안정적이었고, 필링성은 4급이상, 마모강도는 10,000회 이상 및 인장강도는 경, 위사 290N, 160N 이상으로 기존 sirofil wool/polyester 적용 소재와 비슷한 실용적인 물성 수준을 보였다.
6. 감각적 특성치(H.V)에서 cyclone wool/polyester 혼섬사 적용 염색직물은 sirofil wool/polyester 혼섬사 적용 염색직물 보다 Koshi 값은 다소 낮고 Sofutosa와 Numeri 값은 더욱 높게 나타났으며, cyclone 적용 염색직물의 종합태(T.H.V) 값은 3.27로서 sirofil 적용 염색직물의 2.21보다 높게 나타나 더욱 부드러운 촉감의 handle 특성을 보였다.

#### 감사의 글

본 연구는 글로벌전문기술개발사업(섬유스트림)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### References

1. X. Wu, F. Wang, and S. Wang, Properties of Wool/PET Composite Yarns, *Textile Research J.*, **73**(4), 305(2003).
2. M. S. Park, The Mechanical Properties of New Worsted Wool-like Fabrics Using Latent Yarns, *Textile Coloration and Finishing*, **23**(4), 223(2011).

3. S. Y. Lee, J. J. Yoo, O. G. Choi, S. W. Lee, and S. G. Lee, Effect of Air-jet Texturing Conditions on the Physical Properties of Low Melting Polyester/Tencel Composite Yarn, *Textile Coloration and Finishing*, **25**(1), 47(2013).
4. Y. Huh, Y. Ryul, and W. Y. Ryu, A Study on the Fiber Migration in Ring Spun Yarns(II), *Textile Science and Engineering*, **41**(4), 237(2004).
5. S. J. Kim and G. J. Jung, Effect of the Projectile and the Air-jet Weaving Machine Characteristics on the Physical Properties of Worsted Fabrics for Garment(I), *J. of the Korean Society for Clothing Industry*, **7**(1), 101(2005).
6. S. Y. Lee, J. J. Yoo, Y. K. Hong, S. W. Lee, and S. G. Lee, Preparation and Properties of Sirofil Yarn from Low Melting Polyester and Tencel, *Textile Science and Engineering*, **49**(2), 112(2012).
7. H. A. Kim, H. Son, and S. J. Kim, Effect of Hybrid Yarn Structure Composed of PP/Tencel/Quick Dry PET on the Physical Property of Fabric for High Emotional Garment, *Fashion and Textile Research J.*, **17**(3), 462(2015).
8. C. I. Su and J. Y. Jiang, Fine Count Yarn Spun with a High Draft Ratio, *Textile Research J.*, **74**(2), 123(2004).
9. B. J. Shim and K. J. Lee, Effects of Summer Suits on Physiological Reaction of Males, *J. of the Korean Society of Living Environmental System*, **1**(2), 139(1994).
10. K. H. Hong, Preparation of Rayon Filament based Woven Fabric and PCM Treatment for Developing Cool Touch Summer Clothing Material, *Fashion and Textile Research J.*, **16**(2), 326(2014).
11. J. H. He, Application of Sirofil Technology to Electrospinning, *J. of Polymer Engineering*, **28**(2), 119(2008).
12. <http://www.rieter.com/cz/rikipedia/articles/alternative-spinning-systems/the-various-spinning-methods/open-end-spinning-processes/electrostatic-spinning>, 2015.4.28.
13. G. T. Jou, G. C. East, C. A. Lawrence, and W. Oxenham, The Physical Properties of Composite Yarns Produced by an Electrostatic Filament-Charging Method, *The J. of the Textile Institute*, **87**(1), 78(1996).
14. M. Junling, Q. Hua, and G. Mingqiao, Influence of Cyclone Setting on Yarn Properties, *J. of Textile Research*, **30**(11), 43(2009).
15. M. A. Naem, W. Yu, Y. H. Zheng, and Y. He, Structure and Spinning of Composite Yarn Based on the Multifilament Spreading Method Using a Modified Ring Frame, *Textile Research J.*, **84**(19), 2074(2014).
16. J. S. Jeong, Korea Pat. 10-1621871(2016).
17. [http://www.swicofil.com/siro\\_spinning.html](http://www.swicofil.com/siro_spinning.html), 2015.4.28.