

〈研究論文(學術)〉

## 섬유공정에서의 습·건열처리가 PET 필라멘트絲의 熱收縮과 인장특성에 미치는 영향

김경렬 · 김승진 · 김태훈\* · 김영진 · 이응곤 · 송재수

영남대학교 공과대학 섬유공학과  
\*영남대학교 생활과학대학 의류학과  
(1998년 3월 24일 접수)

## The Effect of Heat Treatment on Shrinkage and Mechanical Properties of PET Filament

K. L. Kim, S. J. Kim, T. H. Kim\*, Y. J. Kim, E. G. Lee, J. S. Song

*School of Textile, Yeungnam Univ., Kyeongsan, Korea*  
*\*Dept. of Clothing Science, Yeungnam Univ., Kyeongsan, Korea*  
(Received March 24, 1998)

**Abstract**— This paper investigates the change of mechanical properties and thermal shrinkage in commercial multi-filament PET(polyethylene terephthalate), namely, regular yarn, POY, DTY and composite yarn. To determine changing the effects of processing steps, these were examined at three steps process simulation conditions. The first step is sizing simulation(S-1 step ; 130°C×2 min., hot air treatment under 0.1 gf/d load), the second step is scouring simulation(S-2 step ; 100°C×20min., boiling water treatment under free tension)and final step is setting simulation(S-3 step ; 180°C×2min., hot air treatment under free tension). Regular yarn in multi-step treatment showed higher shrinkage at S-3 step and DTY showed higher in at S-1 step. While POY was relaxed at S-1 step, composite yarn showed different shrinkage properties depending on composite yarn type. Mechanical properties showed good relationship with shrinkage ; high shrinkage makes initial modulus decrease and breaking strain increase. It also makes decreasing yield strain and yield stress decrease.

### 1. 서 론

PET 직물 제조 공정 기술중 직물의 수축가공은 가장 많이 사용되어지는 가공 기술중의 하나로써 PET 섬유가 열을 받게되면 수축하는 특성을 이용한 가공기술이다. 이러한 수축은 공정 진행 중에서는

섬유가 열을 서서히 받는 것이 아니고 공정별로 단 계적으로 열을 받으므로 섬유가 가지고 있는 고유한 수축특성과는 다른 거동을 보이며, 실이나 직물 상태에서 이러한 수축은 전공정에 걸쳐 발생하게 됨으로 PET 직물 제조 공정중에서 수축가공은 최종 제품의 품질에 영향을 미치는 중요한 공정중의 하

나라고 할 수 있다. 그리고 전·후 공정들과 가장 유기적인 관계에 있는 공정이라 할 수 있다. 이러한 성질을 이용해서 다단 고수축 가공이 PET 직물의 수축가공에 많이 사용되고 있으며 따라서 열에 의한 섬유의 수축거동은 여러 관점에서 현재까지 연구되어 오고 있다.

그 중 Morton 과 Hearle<sup>1)</sup>은 비가역적 수축에 대한 메카니즘을 다음의 세 가지로 구분하여 제안하였다. 첫째, 섬유의 연신이나 기계적 이력 또는 장력하의 열등에 의하여 생성된 비결정성 배향물질이 열에 의하여 느슨하게 되면 다시 배향된 상태로 되돌아가게 된다. 둘째, 결정화 영역에서의 열처리는 결정의 길이를 줄이는데 이는 체인 폴딩이나 재배열을 전제로 한다. 셋째, 작은 결정은 녹아버리고 분자쇄는 축방향으로 수축하여 랜덤 코일화한다고 보고하였으며 이것이 가장 종합적인 의견으로 평가되고 있다.

이러한 열수축 메카니즘을 규명하기 위한 시도로써 Ribrick<sup>2)</sup>은 PET 의 열수축을 시간, 온도 그리고 열응력에 관하여 비선형 거동을 나타내며 이러한 결정성 고분자의 열수축 거동은 펼쳐진 사슬 결정(Extended chain crystallite)구조로부터 접혀진 사슬 결정(Folded chain crystallite)구조로의 전이를 반영하는 것이라고 주장하였다. 한편, 열수축에 의한 섬유 구조의 변화는 섬유 역학적 성질에 영향을 미치게 되며 이에 대한 연구로서는 V.B.Gupta 와 Satisch Kumar.<sup>3)~6)</sup> 등은 PET 섬유의 결정화도 변화에 있어서 열처리 조건이 무긴장이나 긴장에 관계없이 온도 증가에 따라 결정화도도 증가한다고 하며 이는 무정형부의 chain folding이 발생하기 때문이며 무긴장 열처리시에는 chain folding 현상을 방해하는 힘이 없으므로 더 높은 결정화도 증가를 보인다고 하였다. 또한 G.M.Venkatash 와 P.S.Bose<sup>7)</sup>는 oil bath 에서 PET 섬유를 무긴장하 또는 장력 하에서 열처리 시간을 변경해가며 인장 특성을 조사한 결과 긴장 열처리 시에는 絲가 brittle 한 성질을 가지게 되어 탄성계수, breaking stress 가 증가하고 무긴장 열처리 시에는 유연한 성질이 생기게 되어 신도가 증가하였다고 보고하고 있다.

위에 보여지는 연구들을 고찰하여 보면 섬유를 열처리하여 발생하는 구조변화나 그에 따르는 역학

성질의 변화를 고찰하였는데, 실제 섬유제품 생산 공정을 보면 이러한 획적인 단일 공정의 열처리가 주어지는 것이 아니라 생산 전 공정에서 걸쳐 누적되는 열처리 즉, 다단의 열처리가 이루어지는 것을 볼 수 있다.

선행된 연구결과에서 알 수 있듯이 열처리시간, 온도, 장력의 변화에 의해 다양하게 구조 변화를 보이고, 이에 따라 역학적 물성도 변화되는 것을 볼 때 단일 열처리와 섬유 제품 제조 공정에서 받는 다단의 열처리와는 매우 상이한 수축 거동을 보이며, 구조의 변화도 매우 다양하게 나타날 것이라 생각된다. 이러한 섬유 특성을 고려한 연구로서 Song<sup>8)</sup>은 습열 자유 수축률이 다른 연신사와 POY 絲를 이용하여 장력, 습열 조건, 선열처리에 따른 수축률의 변화 등을 자유 수축률과 비교함으로써, 이수축 혼섬사 직물의 염색 가공 공정에서 원단의 태에 가장 영향을 미치는 정련·축소 공정에서 수축 거동을 예측하여 보고, 또한 이수축 혼섬사를 선열처리한 후 실제 제직된 직물의 수축 거동을 살펴봄으로써 선열처리가 직물의 수축 거동 변화에 미치는 영향을 알아보았다. 이와 비슷한 연구로서 Hong<sup>9)</sup>은 종래 섬유에 여러 가지 화학적 물리적 처리를 실시하여 이들 섬유의 고분자 구조에 대한 연구결과를 발표하였다. 그는 처리 공정중 몇 개의 공정을 조합하여 처리한 각 단계에서 섬유의 구조 변화에 대한 현상은 발견할 수 없었다고 보고하면서 섬유 제조 공정중 絲상태에서 받게되는 열처리는 고속의 고온 열처리임을 감안하여 2개의 고온 열처리 Heater 와 연속된 가열장치에서 2개의 열처리 Heater 를 통과시킨 PET 섬유의 고분자 구조의 변화, 역학적 성질의 변화 그리고 염색성의 변화를 조사하였는데 PET 섬유는 고속·고온의 열처리와 가열 가공을 연속적으로 실시하여도 실용적 역학 성질을 가지면서 상압 가염성인 PET 섬유를 얻을 수 있다고 보고하였다.

이에 Cho<sup>10)</sup>는 그의 연구에서 직물을 이용, 실제 공정과 같은 공정을 거치며 가공 열처리한 직물의 수축률과 수축에 의한 絲상태에서의 물성 변화 그리고 絲물성 변화가 직물 역학적 성질의 변화에 주는 영향과 각 공정에서 열처리시 온도의 변화가 염색성에 미치는 영향을 연구하였다. 그의 연구 결과를 살펴보면 실험에 사용된 경사의 비등수 수축률과

건열 수축률이 나타내는 값과 염색·가공 공정을 거친 후 직물 상태에서 발생하는 수축률과는 상당히 많은 차이가 있음을 보고하며 원사의 수축성에 대한 일반적인 평가 방법으로 사용되는 비등수 수축률 및 건열 수축률의 측정법으로 실제 공정상에서 발견되는 직물의 수축률을 예측하기는 곤란하다고 하였다.

본 연구에서는 모든 PET 제품의 생산공정에서 제품의 품질과 성능변화에 절대적인 영향을 미치는 공정요소인 온도, 시간, 그리고 장력의 세 가지 요인을 직접 현장에서 조사하고 현재 가장 널리 사용되어지고 있는 PET 원사나 가공사를 사용하여 공정 실험(다단 수축 실험)을 거쳐 발생하게 되는 사의 수축 변화와 이에 따른 인장특성 변화를 조사함으로써 열처리 온도 변화에 따른 사의 물성변화와의 상관성을 알아보고자 한다. 특히 본 연구에서는 각 원사 메이커별로 다양하게 조사가 이루어짐으로써 원사 메이커별 물성의 차이가 얼마나 되는지를 알고 또한 현장에서 실제 공정 기계들에 부여되는 설정 온도를 측정하여 보고, 사에 걸리는 장력의 변화를 조사하여 봄으로써 이러한 원사 물성의 차이가 같은 조건의 제조 공정을 거칠 때 어떠한 변화를 발생시킬 것인가를 조사하고 또한 이러한 변화가 염·가공 공정을 거친 후 직물에 발생하게 되는 불량과는 어떠한 상관성이 있는가에 대한 기초 연구를 함으로서 각 絲별로 최적의 공정 관리가 이루어질 수 있도록 하는데 기초 연구 자료를 제공함을 목적으로 한다.

## 2. 실험

### 2.1 시료

본 실험을 위해 선정된 시료는 국내에서 가장 보편적으로 생산되어지는 PET 직물제조에 사용되는 絲들로서 4개社에서 Regular 50denier, 75denier, 150denier 각 1종씩 12개, POY 80 denier군, 120denier군, 250denier군 4개社에서 1종씩 12개, 가공사 6개종류, 그리고 복합사 7개종류를 선택하였다. 이들을 Table 1, 2, 3, 4에 보인다.

Table 1. Specimens of regular yarn.

Maker	Lot.	Denier/filament No.	Remark
A 社	RA 50	50d/36f	SD
	RA 75	75d/36f	DSD
	RA 150	150d/96f	
B 社	RB 50	50d/36f	SD
	RB 75	75d/36f	SD
	RB 150	150d/96f	SD
C 社	RC 50	50d/36f	
	RC 75	75d/36f	
	RC 150	150d/96f	
D 社	RD 50	50d/36f	
	RD 75	75d/36f	
	RD 150	150d/96f	

Table 2. Specimens of POY.

Maker	Lot.	Denier/filament No.	Remark
A 社	PA 80	85d/36f	
	PA 123	123d/36f	
	PA 252	252d/48f	
	PD 82	82d/36f	SD
D 社	PD 118	118d/36f	SD
	PD 248	248d/48f	
	E 社	PE 80	80d/36f
PE 120		120d/36f	
PE 245		245d/48f	SD
F 社	PF 85	85d/36f	SD
	PF 148	148d/36f	SD
	PF 255	255d/48f	SD

Table 3. Specimens of DTY.

Maker	Lot.	Denier/filament No.	Remark
C 社	DC 75	75d/36f	DTY
	DC 150	150d/48f	DTY
H 社	DH 75	75d/36f	DTY
	DH 150	150d/48f	DTY
I 社	DI 75	75d/36f	DTY
	DI 150	150d/48f	DTY

Table 4. Specimens of composite yarn.

Maker	Lot.	Denier/filament No.	Remark
I 社	CI 120	120d/72f	High shrinkage yarn+POY
	CI 135-1	135d/60f	POY85d/36f+PDD50d/24f
	CI 135-2	135d/108f	POY85d/72f+SDY50d/36f
	CI 165	165d/60f	ITY. HSY
K 社	CK 300	300d/96f	150d/48f/2, DTY
J 社	CJ 130-1	130d/60f	
	CJ 130-2	130d/60f	

2.2 다단 열처리 실험

염·가공 공정에 따른 絲 수축률과 인장 특성의 변화를 알아보기 위하여 아래 Table 5에 보여지는 조건에 의하여 다단 열처리 실험을 실시 하였다.

Table 5. Condition of multi-step heat treatment.

Step	Condition			Remark
	Temp.×Time	Tension	Treatment	
S-1	130℃×2min.	0.1 g/d	Dry	Sizing
S-2	100℃×20min.	Free	Wet	Scouring
S-3	180℃×2min.	Free	Dry	Setting(tenter)

2.3 다단 열처리에 의한 수축률

각각 연속된 열처리 공정을 거친 시료들의 길이 변화를 하나의 처리 공정을 거칠 때마다 측정하여 그 수축률을 조사하였다. 아래 Table 6에 수축률 계산식을 보인다.

2.4 인장 특성 조사

Testometric Co.(England) Model MICRO 350을 이용하여 각 단계의 처리를 거친 사들을 상온에서 24시간 이상 방치한 후 絲의 길이 100mm, Test speed 100mm/min 의 조건으로 10회 실험 하였으

며 실험 기기에서 제공하여 주는 software로서 Initial Modulus를 구하였고, 각각의 결과에서 10회 평균 값과 C.V.%를 구하였다.

Table 6. Calculation of shrinkage after multi-step heat treatment.

Step	Step-shrinkage	Total-shrinkage
S-1	$S-1(\%) = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100$	
S-2	$S-1(\%) = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$	
S-3	$S-1(\%) = \frac{L_2 - L_3}{L_2} \times 100$	$TS(\%) = \frac{L_0 - L_3}{L_0} \times 100$

$L_0$  : Length of un-treated yarn

$L_1$  : Length after S-1 step treatment

$L_2$  : Length after S-2 step treatment

$L_3$  : Length after S-3 step treatment

3. 결과 및 고찰

3.1 다단 열처리에 의한 수축률의 변화

3.1.1 Regular 絲의 수축률 변화

Fig. 1은 regular 絲 50denier 4가지에 대한 다단 열처리에 따른 수축률 변화를 도시한 것이다. Fig. 1을 보면 단계별로 S-1(정하중 건열 처리)에서는 2-4%의 수축을 보인 후, S-2에서 1-2%의 수축으로 가장 낮은 값을 보이고, S-3에서 6-8%의 가장 높은 수축 현상을 보였다. S-2단계에서 낮은 수축은 S-1 단계에서 이미 130℃의 건열 처리를 받음으로 인하여 수축 작용을 받았기 때문이며 S-2단계에서 100℃의 열처리에도 수축을 보인 이유는 3가지로 볼 수 있는데 그 첫 이유는 S-1단계는 정하중 처리이므로 열에 의한 수축 현상이 하중에 의해 다소 방해받았기 때문에 잔여 수축이 존재한 결과라 볼 수 있으며, 둘째는 열처리 방법에 있어서 건열보다는 습열처리가 열 침투가 용이하므로 수축을 발생시켰으며, 마지막 세 번째 요인은 일정 시간까지는 열처리시간이 길수록 더 많은 수축을 보이므로 더 낮은 온도의 열처리임에도 불구하고 열처리 시간에 있어서 S-2 단계에서 20분간의 열처리가 수축 현상을 발생시켰

다고 보여진다. 수축이 가장 큰 S-3단계는 전처리 공정인 S-1, S-2 보다 월등히 높은 고온의 열처리이므로 높은 수축 결과를 보였다.

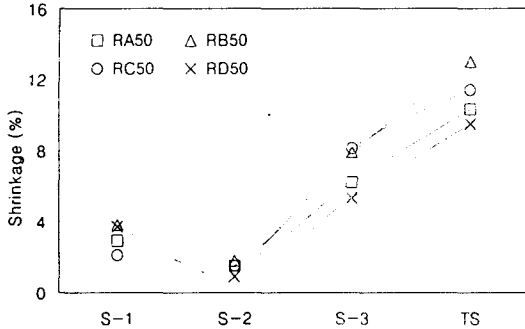


Fig. 1 Shrinkage of regular 50 denier after multi-step heat treatment.

### 3.1.2 POY 絲의 수축률 변화

Fig. 2는 PET POY 80 denier들의 수축률 변화를 도시한 그림이다. Regular사와는 수축 특성에 있어서 많은 차이를 보이고 있다. POY는 부분 배향사로서 섬유내 분자 사슬이 무질서하게 형성이 되어 있음으로 열에 의한 분자쇄의 움직임이 용이하여 섬유축 방향의 수축이 많이 된다. 하지만 S-1단계의 실험은 정하중 상태에서 실시된 실험으로 무질서하게 형성된 분자 사슬들 사이 분자 간력은 Regular 사보다 상당히 낮음으로 해서 열에 의한 분자 사슬의 유동은 chain folding 현상을 거의 발생시키지 않고 하중의 영향으로 분자 사슬을 섬유축 방향으로 배향시킴으로 인하여 오히려 이완되는 현상을 발생시켰다. 이러한 이완 현상은 처리전 원시료의 배향도와 상당히 밀접한 관계가 있는 특성으로써 각 시료들의 무긴장하 실험인 습·건열 수축의 편차가 10% 내외인데 반하여 S-1단계에서는 20%의 높은 편차를 보인다. 즉, 무긴장 상태에서 수축 현상을 가장 먼저 유발시키는 무정형부의 분포와 결정화도는 각 Marker 별로 비슷하지만 무정형부와 결정부 분자 사슬의 배향 형태에 있어서는 많은 차이를 가지고 있음을 알려준다. S-2단계에서는 무긴장 열처리임에도 불구하고 상당히 낮은 수축 결과를 보였다. 이는 S-1 단계에서 하중에 의한 분자 사슬들의 펼쳐짐 현상과 동시에 배향결정화가 이루어져 Regular 사와는 비

슷한 분자 사슬 구조로 됨으로 이러한 결과를 보였다고 생각된다. 하지만 S-3단계에서의 수축 결과를 보면 Regular 사의 경우 상당히 많은 수축을 보임에 반하여 POY는 낮은 수축 결과를 보였다.

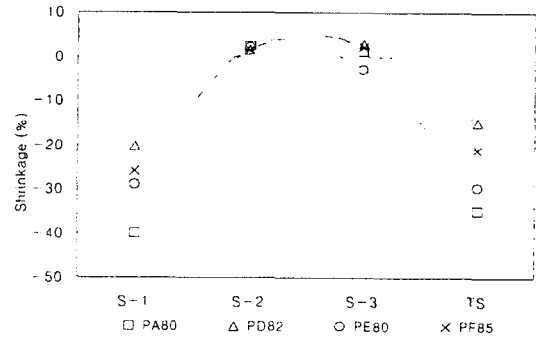


Fig. 2 Shrinkage of POY 80 denier group after multi-step heat treatment.

PE 80 Lot 의 경우는 오히려 이완되는 결과를 보이고 있다. 이것은 실험 시 絲 영킴 방지를 목적으로 작은 하중(0.01 g/d)을 부가시켰는데 이 하중의 영향으로 인해 무정형부의 분자 사슬들 중 낮은 결속력을 가진 사슬의 일부가 어느 정도 펼쳐짐으로 인한 것이라 생각된다. 일반적으로 POY사의 경우는 사가공 처리에 의해 가공 중 연신이 이루어진 상태에서 Sizing 공정을 거친 후 직물이 된다. 하지만 일부 이수축을 이용한 독특한 외관을 가진 직물을 생산할 때 완전히 연신하지 않은 POY사를 사용하기도 하는데 이때 POY는 결과에 보여지듯 매우 작은 장력에서도 그 수축 결과에 있어서 매우 많은 편차를 나타내고 있는 것을 볼 때 특별한 공정 관리가 이루어져야 할 것이다. 만일 고수축을 이용하기 위하여 POY사를 사용할때에 Sizing중 과도한 장력이 사에 부가되었을 경우 결과에서처럼 일반 Regular사보다도 낮은 수축 현상을 가지게 되므로 원하는 외관을 지닌 직물을 얻지 못할 것이다.

### 3.1.3 가공絲의 수축률 변화

Fig. 3은 DTY 가공사의 다단 수축률을 도시한 그림이다. 단계별로 보면 S-1단계에서 5-7%로 가장 큰 수축을 보였으며 S-3단계에서는 1-4%로 비교적 낮은 수축을, S-2단계에서는 오히려 이완되는 현상

을 보이고 있다. DTY사는 사가공 공정 특성상 1회 혹은 2회의 setting 공정에 의한 순간 고온 열처리를 거친 사이이다.

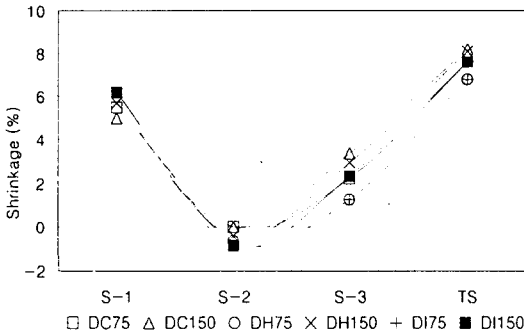


Fig. 3 Shrinkage of DTY after multi-step heat treatment.

일반적으로 setting시 온도가 높고 chamber내 사 체류 시간이 길어질수록 결정화도는 증가하고 배향도는 감소한다. 따라서 S-1단계에서의 열처리는 배향이 되지않는 무정형부의 분자 사슬이 folding 현상을 유발시켜 수축 현상을 일으켰다고 할 수 있다. S-2단계에서의 결과를 보면 거의 변화가 없거나 약간의 이완 현상을 보였다. 이는 섬유내 분자 사슬의 구조가 사가공 공정 시 setting이나 S-1단계에서의 열처리로 인하여 S-2단계에서의 열처리 온도에서는 어느 정도 안정이 되었기 때문이라 생각할 수도 있으며, 사가공 시 주어지는 crimp가 일부 이완될 수도 있다는 것을 보여준다. S-3단계에서는 다시 어느 정도의 수축을 보였는데 이는 S-3단계에서의 열처리가 Sizing공정이나 Scouring공정단계에서의 열처리보다 긴 시간, 고온의 열처리로 인한 사에 존재하는 잔류 응력 때문에 수축 현상을 발생시켰다고 할 수 있다.

3.1.4 복합絲의 수축률 변화

Fig. 4는 이종의 섬유 혹은 동종의 섬유를 ITY(interlace textured yarn)M/C에서 교락시켜서 제조된 사들의 수축률을 도시한 그림이다. 대부분의 사들이 S-2단계에서는 수축률에 거의 변화가 없는데 그 이유는 S-2단계의 열처리는 100℃의 열탕 처리로 그 처리 온도가 비교적 낮음에 반해서, 본 실험에서

사용한 복합사들은 ITY M/C에서 연신이나 고온 열처리를 받은 상태이고 S-1단계에서 이보다 높은 온도에서 열처리를 받음으로 해서 S-2단계에서의 열처리는 사 내부 구조에 거의 영향을 미치지 못한 원인이라 생각된다.

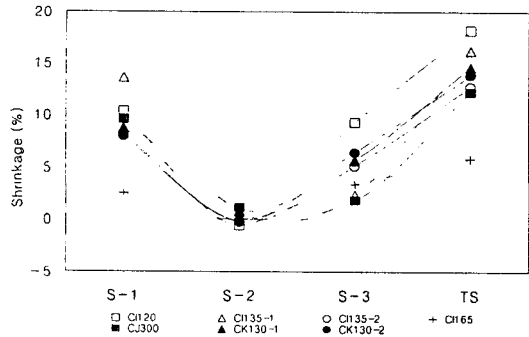


Fig. 4 Shrinkage of composite yarn after multi-step heat treatment.

각 Lot 별 변화 추세를 살펴보면 먼저 습·건열 수축 결과를 볼 때 CI 120, CI 135-1, CI 135-2, CI 165, CK 130-1, CK 130-2 Lot는 일반사와 고수축사(POY)와의 복합사이다. 하지만 다단 수축 실험 결과에서 그들 Lot의 수축 변화를 보면 이러한 고수축의 효과는 나타나지 않는데 이는 S-1단계의 수축 실험이 정하중 실험이므로 고수축사(POY)의 특성이 반영되지 못했기 때문이라 생각된다. 또한 앞에 보인 POY의 다단 수축 실험 시 S-1단계에서 이완되는 현상을 보였는데 복합사의 경우는 이러한 현상이 발생되지 않았다. 그 이유를 살펴보면 고수축사(POY)와 복합된 사는 대부분 Regular 사이이다. 앞에서 설명되었지만 Regular사는 S-1단계에서 2-4%의 수축을 보인다. 일반적으로 Regular사는 연신 공정을 지난 사이므로 분자 사슬이 대부분 펼쳐져 있는 구조를 하고 있으며 그 배향상태가 우수하므로 실험 시 사용된 하중(0.1 g/d)은 사를 이완시키지 못한다. 따라서 Regular사가 하중을 받쳐주는 역할을 함과 동시에 수축이 되며 POY사는 자유장 처리와 유사한 chain folding 현상이 발생하게 됨으로 수축하게 된다. 이러한 두 가지 사의 복합된 수축 작용으로 POY와 Regular사의 복합사는 정하중 하에서도 일반사보다 더 많은 수축을 야기하게 된다. S-2단계에서의 낮은 수축률 변화는 S-1단계에서

열처리가 사에 heat-setting효과를 줌으로 많은 수축을 야기하지 못한 결과라 생각되며 S-3단계는 설명되었듯이 사 영킴 방지용으로 부여한 하중(0.01 gf/d)의 영향 그리고 앞 단계에서의 heat-setting효과 등으로 인하여 POY원시료의 습·건열 시 보인 50% 이상의 수축효과<sup>11)</sup>까지는 발생하지 못하였다고 생각된다. 이러한 POY사와 Regular사의 복합된 수축특성은 이성분 복합소재의 사를 사용하여 독특한 촉감과 외관을 가진 직물 생산에 있어서 상당히 중요한 인자라 할 수 있을 것이다. 즉, 사가공 공정에 있어서 항상 일정한 장력이 사에 부여된다고 가정할 때 POY와 Regular의 성분비에 따라 Regular사가 이루어지는 loop의 크기나 개수가 변화될 것이고 또한, 본 실험결과에서의 결과만을 생각하여 본다면 S-1(Sizing공정), S-2(Scouring공정) 단계에서 거의 발현되지 않았던 외관 특성이 S-3(Setting공정)에서 발현이 되는 현상을 볼 수 있을 것이다. CJ 300 Lot의 경우는 동종의 DTY 가공 복합사로서 그 경향이 DTY 가공사와 동일하게 나타났다.

3.2 다단 열처리에 의한 초기 탄성률(Initial Modulus) 변화

3.2.1 다단 열처리에 의한 Regular yarn의 초기 탄성률 변화

일반적으로 Modulus는 비결정영역에서 Taut한 사슬들이 얼마나 많이 존재하는가 그리고 이들의 수가 얼마인가에 대한 응답이라 해석할 수 있을 것이다. 이러한 Modulus나 강도의 변화에 대한 연구는 많이 되어있는데 V.B.Gupta와 Satish Kumar<sup>21~6)</sup>는 그들의 연구에서 PET를 정장 또는 자유장 하에서 열처리를 하여 인장 특성을 조사한 결과 정장 열처리시 초기 탄성 계수의 변화는 거의 없거나 적은 폭의 감소를 보인다고 하였고, 자유장 열처리시는 큰 폭의 감소를 가져온다고 보고하며 그에 대한 이유로서 정장 열처리시 길이 방향으로의 변형제한으로 말미암아 초기탄성 계수와 관계 있는 무정형부의 변형에 많은 영향을 미치지 못한 결과이고, 이에 반하여 자유장 열처리에 의한 초기탄성계수의 감소는 무정형부의 유동으로 말미암아 무정형부 분자사슬의 배향도가 낮아진 결과라 말하고 있다. 즉, 비결정영역

의 분자사슬들이 열처리에 의하여 chain folding 현상을 일으키면서 결정화를 발생시키고 이들 결정역들을 잇는 tie chain이 무긴장 열처리 때에는 섬유축방향의 장력이 없으므로 해서 사슬들이 거의 무배향 상태로 되며, 즉 사가 soft한 성질을 지니게 되며, 긴장 열처리 시에는 섬유축 방향의 힘 때문에 어느 정도 이들 chain들이 섬유축방향으로 배열을 함으로 brittle한 성질을 지니게 된다고 한다. G.M. Venkatesh, P.J.Bose, Rekhav Shah 그리고 N.E. Dwiltz 등<sup>17)</sup>은 열처리시 하중 부가에 따른 수축과 인장 성질의 변화에 대하여 조사하였고 그 결과로써 수축과 인장 성질과는 상당히 밀접한 관계가 있음을 말하며 수축이 많이 일어나지 않았다는 것은 높은 수축을 보일 때와는 달리 무정형 부분의 배향성이 좋기 때문에 무정형 부분의 분자 사슬들이 집중되어 있으므로 해서 초기 변형에 대한 저항성이 강하게 되며 초기 탄성 계수가 높은 값을 가진다고 하였다. 열처리에 따른 분자배향의 상관성은 선행된 실험 결과에 많이 나타나는데 무긴장 열처리시 비결정부분의 배향도가 긴장열처리시의 배향도보다 현저하게 낮아지는 것을 보고하고 있다. Fig. 5는 Regular 絲의 다단 열수축 실험 후 채취한 사의 초기탄성계수 변화를 도시한 그림이다.

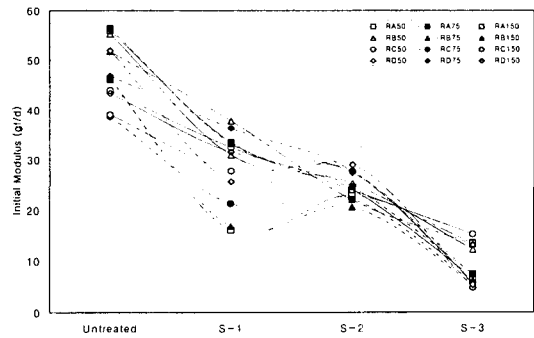


Fig. 5 Initial modulus of regular yarn after multi-step heat treatment.

단계를 거칠수록 값이 낮아지는 현상을 보이고 있다. 이러한 결과를 Fig. 1에서 보인 다단 열수축률의 결과와 비교하여 보면 수축이 증가할수록 사의 초기탄성계수는 낮아지는 경향을 보임을 알 수 있다. Regular 絲의 경우는 絲 분자구조 내에 결정영역이

충분히 존재하며 결정부 및 무정형부의 배향성도 어느 정도 이루어진 상태의 絲라고 할 수 있다. 이러한 분자구조의 열처리에 의한 수축은 무정형부 배향성의 감소를 가져옴으로 해서 초기 탄성계수의 감소를 초래하였다고 사료된다.

단계별로 변화 양상을 살펴보면 S-1단계가 정하중 열처리임에도 불구하고 많은 감소를 발생시켰는데 이는 일반사의 경우 다음에 언급될 POY사의 분자구조 보다 우수한 결정성과 배향성으로 인해 0.1g/d의 초하중은 무정형부의 수축에 거의 영향을 미치지 못함으로 초기탄성 계수의 감소 변화가 많았다. S-2단계는 자유장 열처리이며 Regular사의 수축률 결과는 Fig.1에 보인 것과 같이 가장 작은 수축 변화를 보이게 되는 원인이라고 사료된다. 이러한 결과는 Fig. 5의 결과에서 보여지듯 가장 작은 초기탄성계수의 변화를 보였다. S-3단계에서는 예상되었던 대로 많은 수축 현상은 많은 초기탄성계수의 감소결과를 가져오게 하였다. 직물 촉감과 관계가 있는 초기탄성계수의 변화는 실제 공정에 있어서 Sizing공정과 Setting공정에 가장 깊은 관련이 있다는 것을 짐작할 수 있을 것이다. 물론 직물 촉감은 직물 밀도, 표면 특성 이외 많은 인자들과도 관련하지만 사 자체를 유연하게 함으로 직물 촉감을 개선 시키는 방법도 상당히 유용할 것이라 생각이 된다. 즉, 공정에서 사에 많은 수축을 야기시킴으로 보다 촉감이 우수하며, 유연한 직물을 얻을 수 있을 것이다.

3.2.2 다단 열처리에 의한 POY의 초기 탄성률 변화

Fig. 6은 POY絲의 다단 열처리 후 초기탄성계수의 변화를 도시한 그림이다. POY는 미연신사로써 알려진 대로 원사 상태에서의 초기 탄성계수는 10g/d 정도로써 매우 낮은 값을 보인다. 실험에서 S-1단계 열처리에 의하여 POY사는 불완전한 분자구조로 인해 초하중의 영향을 상당히 많이 받는다는 것을 압축률 변화에서 보았다. 초기탄성계수는 이러한 분자구조의 변화를 잘 예측할 수 있는 자료로써 그림에 보여지듯 탄성계수의 높은 증가율을 보이고 있다. 이는 하중에 의한 분자쇄의 인장은 POY사 내부구조에 배향결정화를 이루게 하였으며 이러한 구조변화가 초기탄성계수 증가를 발생 시켰다. 즉, 사가 brittle한 성질을 지니게 되었다 라고 해석

할 수 있을 것이다. 일반적으로 POY사 하나만으로는 직물을 형성하지 않지만, POY 사는 사가공 공정을 대부분 거치는 사들임으로 이때 과도한 장력에 의한 열처리는 유연한 사를 얻지못하게하는 결과를 초래할 수 있을 것이다. S-2단계의 습열처리에서는 다시 큰 폭의 감소현상을 보이는데 이는 S-1단계에서의 정하중 열처리에 의한 배향결정화가 안정적이지 못함으로 인하여 Regular사의 감소폭보다 더 크게 발생하였다고 보여진다. S-3단계에서는 각 絲별로 상당히 큰 폭의 편차를 보이고 있는데 이는 POY사의 내부구조의 불안정성을 말해 준다고 할 수 있다. 이러한 사의 구조 불안정성에 기인한 편차는 같은 가공 조건을 거치더라도 어떠한 Maker의 사를 사용하였느냐에 따라 직물의 촉감에 많은 차이가 날 수 있다는 것을 보여주는 결과이다.

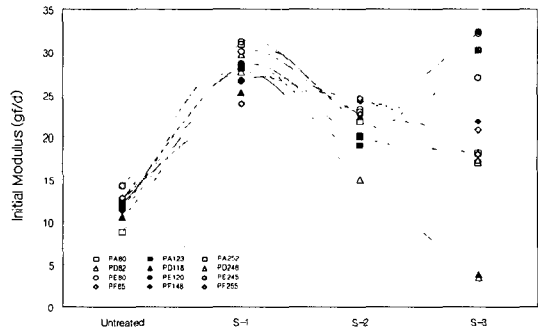


Fig. 6 Initial modulus of POY after multi-step heat treatment.

3.2.3 다단 열처리에 의한 가공사의 초기 탄성률 변화

Fig. 7은 가공사의 다단 열처리 후 초기탄성계수의 변화를 도시한 그림이다. 가공사의 경우 앞에서 언급이 되었듯이 이미 사가공 공정중 1회나 2회의 열처리 공정을 거친 사들으로써 이미 무정형부의 배향성이 상당히 낮은 상태이다. 따라서 처리 전 초기탄성계수의 값이 상당히 낮은 상태이며 열처리에 의한 변화는 수축률의 변화만큼 뚜렷하지 못하나 단계를 거칠수록 약간의 감소 추세만이 나타날 뿐이다. 일반적인 DTY공정은 사표면에 인위적 loop를 형성시킴으로 직물의 촉감을 개선하기 위한 목적으로 행하여 지는 사가공 공정이다. 초기탄성계수의



변화를 보면 S-3단계 후 10gf/d~13gf/d 정도의 초기탄성계수를 가진다. 이는 Regular사의 초기탄성계수와 비슷한 값을 가지나 표면 loop의 영향으로 더 우수한 촉감을 얻을 수 있음을 보여준다.

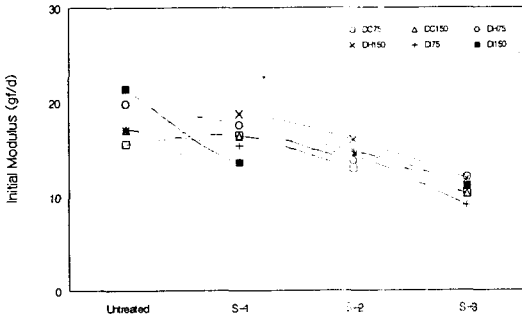


Fig. 7 Initial modulus of DTY after multi-step heat treatment.

3.2.4 다단 열처리에 의한 복합사의 초기 탄성률 변화

Fig. 8은 각 복합사들의 다단 열처리 실험에 의한 초기탄성계수의 변화를 분석한 그림이다. 초기 탄성률의 변화는 core사의 물성변화에 따라 그 변화 추이가 결정이 된다. 처리전 인장 실험 시 가하는 하중은 POY와 Regular사 모두에 동일하게 가하여 지나 POY사의 경우는 앞에서 언급이 되었듯이 상대적으로 Regular사보다 상당히 낮은 초기 탄성계수를 가지고 있다. 이는 같은 변형에 있어서 POY는 Regular사 보다 적은 응력을 필요로 한다. 따라서 복합사의 초기 탄성 계수는 같은 굵기의 Regular사보다 작은 값을 가지는 것은 당연한 결과라 할 수 있다. S-1단계에서의 수축은 앞 수축률의 변화 고찰에서 언급이 되었듯이 Regular사는 초하중을 지탱하여 주는 역할과 동시에 수축을 하며 POY사는 이러한 Regular사의 도움 하에 수축작용을 하게됨으로 Regular사의 수축률 보다 높은 수축률을 지니게 된다. 이러한 복합사의 수축거동은 POY사를 수축작용으로 인한 결정화가 가능하게끔 한다. 이러한 구조 변화는 처리전 POY사 보다는 안정화 된 구조로서 인장시 더 많은 응력을 요구할 것이라 생각되며 이러한 거동이 S-1단계후 복합사내 Regular사의 초기 탄성 계수가 낮아져도 복합사의 초기 탄성 계수

에는 많은 변화를 발생시키지 않게 하는 원인이라 사료된다. S-2단계에서는 자유장 열처리임으로 아직 구조가 완전하지 못한 POY는 많은 수축 현상을 보이므로 복합사 인장시 하중은 Regular사에는 가하여지지 않고 거의 모든 하중이 수축된 POY사에만 가하여 지게 된다. 따라서 단위 면적이 받는 응력은 작아지게 됨으로 초기 탄성 계수는 상당히 낮은 값을 가지게 된다. S-3단계에서 초기 탄성 계수의 변화는 거의 관찰되지 않고 있는데 이 이유로서는 POY사의 불안정한 구조는 S-2단계의 낮은 온도에서도 사 내부구조의 변화는 거의 모두 이루어졌다고 생각이 된다. 따라서 S-3단계에서는 거의 내부 구조 변화가 없으므로 초기탄성계수도 거의 변화를 보이지 않았다고 생각된다. 복합사의 초기탄성계수는 앞에 보인 어떠한 사보다 낮은 값을 보이고 있으며 표면 loop 또한 POY의 수축에 의해 충분히 발현되어 있는 상태임으로 우수한 외관과 촉감을 발현시킬 수 있는 소재임을 알 수 있다. 또한 사나 직물 생산 시 중요한 중 하나인 장력 설정에 있어서도 거의 모든 장력을 Regular사가 받게 됨으로 작업시 유리한 점이 많을 것으로 생각된다.

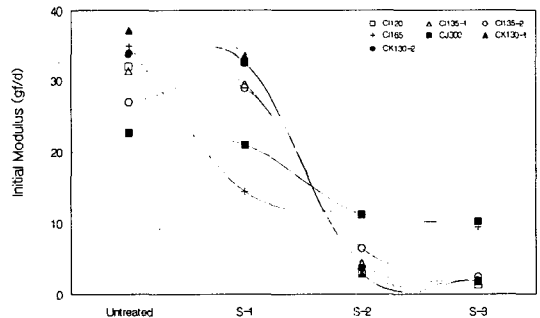


Fig. 8 Initial modulus of composite yarn after multi-step heat treatment.

4. 결 론

PET 직물제조 공정중 최종 제품의 품질에 연관이 큰 제직준비, 염색가공 공정 중에 발생하게 되는 수축과 수축으로 인한 絲 물성 변화를 알아보기 위하여 국내에서 생산되고 있는 Regular 絲, POY, 가공사, 복합사를 대상으로 다단 열처리에 의한

수축과 인장특성의 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Regular 絲의 다단 열처리에 의한 수축은 전체적으로 S-3단계(setting)에서 가장 많이 발생하며, 수축 증가에 따라 초기탄성계수는 감소하였다. 또한 같은 絲種이라 할지라도 원사 Maker에 따라서 편차를 가지고 있었다 이는 직물제조시 같은 섬도의 원사로 제작된 직물이라 할지라도 원사 Maker에 따라 서로 다른 촉감의 직물이 될 수 있음을 말한다.
2. POY 絲는 S-1단계(sizing)에서 크게 이완되는 현상을 보이며 S-2단계(scouring), S-3단계(setting)에서는 Regular絲와 비슷한 거동을 보인다. 각 Maker별로 큰 편차를 보이고 있다.
3. 가공사는 S-1단계(sizing)에서 가장 큰 수축을 보이며, Regular 絲보다 다소 낮은 순수축률(TS)을 보이며 Maker에 따른 초기탄성계수의 변화는 크게 나타나지 않았다.
4. 복합사는 S-2단계(scouring)에서는 거의 수축 거동을 보이지 않으며, 원사나 가공사 보다 큰 수축을 가진다. 그러나 S-2단계(scouring)에서는 급격한 초기탄성계수의 감소를 보였으며 초기탄성계수의 변화는 복합된 사종에 따른다.

### 감사의 글

본 연구는 RRC의 연구비로 연구된 결과의 일부이며 관계자에게 감사를 드린다.(과제번호 : 96A-10-02-02-3)

### 참고문헌

1. W.E.Morton and J.W.S.Hearle, *Physical Properties of Textile Fibres*, 585, (1993).
2. A. Ribnick, *Text. Res. J.*, 39, 742, (1969).
3. V.B. Gupta and Satish Kumar, *J. of App. Polymer Science*, 26, 1865(1981).
4. V.B. Gupta and Satish Kumar, *J. of App. Polymer Science*, 26, 1877(1981).
5. V.B. Gupta and Satish Kumar, *J. of App. Polymer Science*, 26, 1885(1981).
6. V.B. Gupta and Satish Kumar, *J. of App. Polymer Science*, 26, 1897(1981).
7. G.M.Venkatesh, D.J.Bose, Rekha V.Shah, and N.E.Dwartz, *J.A.P.S.*, 22, 2357(1978).
8. 송주화, *PET 이수축혼섬사 직물의 수축 거동에 관한 연구*, (주)코오롱 신년교례회 기술책자, 1995.
9. 洪允杲, *트리론 월보*, Vol.12, 1989.
10. 조대현, *습·건열처리공정이 폴리에스테르 직물의 물성에 미치는 영향*, 영남대학교 박사학위논문, 1996.
11. 김승진, *폴리에스테르 원사물성 Data집*, RRC, 1996.