

PTT[Poly(trimethylene terephthalate)] 織物の 物理的 特性 및 主觀的 評價에 關한 研究

徐孝定 · 金鍾俊* · 全東源**

梨花女子大學校 大學院 衣類織物學科 碩士
梨花女子大學校 衣類織物學專攻 副教授*
梨花女子大學校 衣類織物學專攻 教授**

A Study on the Physical Properties and Subjective Evaluation of the PTT(Poly(trimethylene terephthalate)) Fabric

Seo, Hyo-Jeong, Kim, Jong-Jun*, and Jeon, Dong-Won**

Master, Dept. of Clothing and Textiles, Graduate School, Ewha Womans University
Associate Prof., Dept. of Clothing and Textiles, Ewha Womans University*
Prof., Dept. of Clothing and Textiles, Ewha Womans University**

Abstract

A new textile material, poly(trimethylene terephthalate) polymer, has been introduced to the textile industry. The structure of PTT is similar to the PET, while the tensile deformation and subsequent recovery property is better than that of PET. In this study, the physical and mechanical properties of textile woven fabrics made of PTT, PET, and nylon 6 yarns as the filling yarn were determined using the Kawabata Evaluation System (KES), including tensile, bending, shearing, compression, and surface related parameters. On top of these measurements, the subjective ratings by evaluators were performed on the fabric samples. From the examination of the stress-strain behavior of the yarn specimens focused on the recovery mode, it was evident that the PTT specimen developed lower stress at 3% elongation. The subsequent recovery curve showed that the PTT has less stress-decay rate than the other specimens, implying that the recovery behavior of the PTT is recommendable for the end-uses including stretchable textile materials, sports wears, etc. The KES bending rigidity(B) value of the PTT sample fabric was lower than that of the PET sample fabric. Subjective evaluation of the fabric samples by the evaluators on the descriptive word pair "soft - not soft" showed similar tendency with the KES B determination of the fabric samples.

Key words: bending(굽힘), shear(전단), stress-decay(응력감소), subjective evaluation(주관적평가), Poly(trimethylene terephthalate)(폴리트리메틸렌 테레프탈레이트)

I. 서론

섬유산업의 경우 전통적인 소재를 사용한 시장규모는 높은 신장을 기대하기 어렵고, 생활수준의 향상 및 수요의 고급화, 다양화에 대응한 새로운 섬유소재에

의한 시장의 확대 가능성이 높아지고 있다. 이 중에서 보다 쾌적한 의류소재로서 신체의 움직임에 적합한 스트레치성이 있는 소재의 수요가 점차 확대되어가고 있다.

스트레치성이 있는 소재는 인체활동에 적합하도록

개발되었다. 가연가공사의 생산 이후, 1958년 미국의 DuPont사는 폴리우레탄 탄성섬유를 개발하였고, 이에 따라서 스트레치성 직물의 기술은 크게 진전되었다. 직물에 스트레치성을 부여하는 방법은 스트레치성 소재인 실이나 섬유를 쓰는 방법, 편성물과 같이 직물구조에 스트레치성을 부여하는 방법이 있다.

스트레치성 소재로는 개량·개질된 원로폴리머나 elastomer를 방사한 spandex, PTT(polytrimethylene terephthalate) 섬유, PBT(polybutylene terephthalate) 섬유, polyether-ester계 고탄성사, 복합섬유 등의 스트레치성 소재와 가공사의 단계에서 스트레치성을 부여한 신축성가공사가 있다. 현재 스트레치성 소재로서 개발된 것 중 신장성, stretch-back성, 압박력, 내구성의 스트레치성을 종합적으로 평가하는 경우에는 스판덱스가 가장 우수하다.¹²⁾

PTT섬유는 Nylon과 같은 부드러운 촉감과 낮은 Young's modulus로 인해 직물에 적용하였을 때 좋은 드레이프성을 나타내고 Nylon이나 PET에 비해 신축성이 월등하므로 고가의 스판덱스를 사용한 편성물과 유사한 뛰어난 신축성을 지니고 있어, 용도에서 수영복, 스포츠웨어, 여성용 의류소재로도 적합한 것으로 알려져있다.³⁴⁾

현재 PTT는 원료상태로 수입되고 있다. PTT는 PET 및 Nylon과 비교적 유사한 성질에 더하여 신축성, 염색성, 방오성이 뛰어나므로 PET시장의 일부를 대체할 것으로 예측된다.

본 연구에서는 PTT직물의 특성을 기존의 PET 및 Nylon직물과 비교하고자 직물의 물리적 특성에 대한

분석과 직물에 대한 평가자들의 설문지에 의한 주관적인 평가를 시행하였다. 직물의 물리적 특성으로서 KES(Kawabata Evaluation System) 등을 사용하여 분석하였다.

II. 시료 및 실험방법

1. 시료

본 논문의 실험에서는 PET 원사를 경사로 사용하고, Nylon(Sample A), PET(Sample B), PTT(Sample C)를 위사로 사용한 직물의 물성의 변화를 보기 위하여 (주) 효성에서 실험적으로 제조한 3종의 시료를 사용하였다.

본 실험에 사용된 직물의 특성은 <Table 1>과 같다.

2. 객관적 평가

1) 원사의 인장특성

인장시험기(Instron Model 1123, U.S.A.)를 사용하여 직물에서 채취한 위사의 인장특성을 분석하였다. 위사를 인장시험기의 jaw사이에 걸고 15gf의 하중이 부가될 때까지 인장하고, 15gf에 도달하면 회복cycle이 작동하도록 인장시험기를 설정하였다. 이 때 얻어진 인장커브에서 3%의 신장변형에 도달할 때의 하중과 회복하여 3%의 신장변형에 도달할 때의 하중을 측정하였다.

<Table 1> Characteristics of samples prepared by Hyosung Co.

Sample	경사 (Den./Filament)	위사 (Den./Filament)	mono. 위사 (Den.)	밀도 (ends × picks/inch)	폭 (Inch)	중량 (g/yd)
A	PET 75/36	NYLON 70/24	308	133 × 115	47	97
B	PET 75/36	PET 75/36	213	136 × 111	47	101
C	PET 75/36	PTT 80/36	222	136 × 105	47	93

2) KES에 의한 측정

시료의 크기는 20cm×20cm로 준비하였으며, KES (Kawabata Evaluation System)-FB system을 이용하여 인장특성, 굽힘특성, 압축특성, 전단특성, 표면특성을 측정하였다.

3) 공기투과도 측정

Textest사의 FX3300 Air Permeability Tester를 사용하여 공기투과도를 측정하였다.

3. 주관적 평가

20대 여성 100명을 대상으로 3가지 시료에 대한 감각적인 선호도에 대하여 12문항에 대한 설문 조사를 실시하였다.

각 문항은 '매우 그렇다'에서 '매우 그렇지 않다' 까지 7단계로 나누어 순위를 매기게 했으며 설문지 문항에 사용된 형용사는 <Table 2>에 제시하였다.

각 항목에서 좌측의 형용사는 7점, 우측의 형용사는 1점이 되도록 표시하였다. 결과는 통계프로그램 패키지인 SPSS를 사용하여 분석하였다.

<Table 2> 주관적 평가를 위해 사용된 형용사

문항	형용사 (7-1)
1	부드럽다 - 부드럽지 않다
2	뽀뽀하다 - 뽀뽀하지 않다
3	매끄럽다 - 매끄럽지 않다
4	딱딱하다 - 딱딱하지 않다
5	거칠다 - 거칠지 않다
6	광택이 있다 - 광택이 없다
7	잘 늘어난다 - 잘 늘어나지 않는다
8	탄력이 있다 - 탄력이 없다
9	신축성이 있다 - 신축성이 없다
10	처진다 - 처지지 않는다
11	드레이프성이 있다 - 드레이프성이 없다
12	벌키성이 있다 - 벌키성이 없다

III. 결과 및 고찰

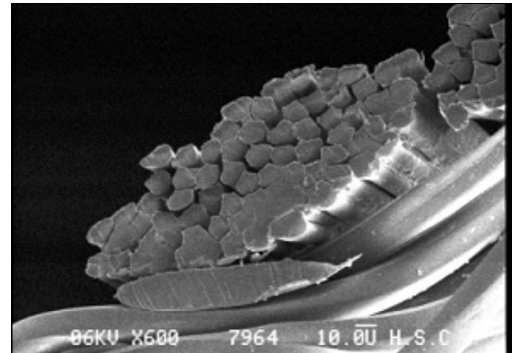
실험에 사용된 직물의 단면은 다음 <Fig. 1>과 같다.

1. 원사 인장특성

3종 시료의 원사(Sample A: NYLON, Sample B: PET, Sample C: PTT)에 Tensile Strain이 3% 주어졌을 때 응력감쇠(Stress decay)가 <Table 3>과 같이 나타났다.

인장시험기의 jaw 사이의 원사에 15gf의 하중이 걸릴 때까지 원사를 인장하고 해당 하중에 도달하였을 때 즉시 회복하도록 신장변형-회복모드를 설정하였다. 이 때 <Fig. 2-a,b,c>와 같은 신장-회복곡선을 얻을 수 있었다.

신장변형의 경우 폴리에스터 원사인 B시료에 가장



<Fig. 1> SEM photograph of fabric cross-section, sample A.

<Table 3> 원사3% 신장-회복시 하중

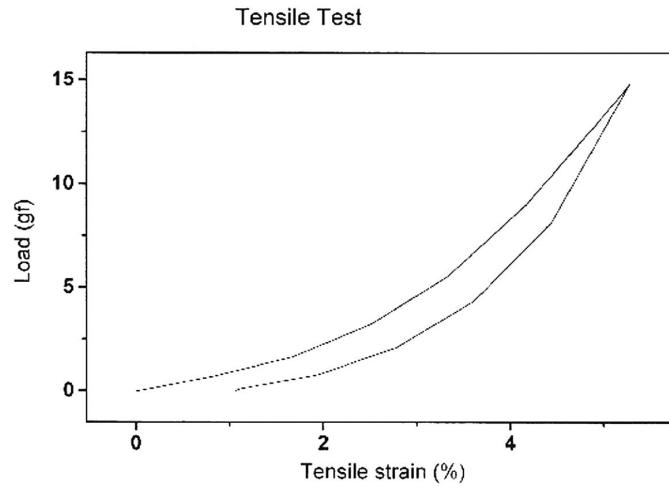
시료 Load(gf)	A(NYLON)	B(PET)	C(PTT)
3% 신장시 하중	48	104	80
3% 회복시 하중	27	69	76
Stress decay (%)	438	33.7	50

* stress decay(%):

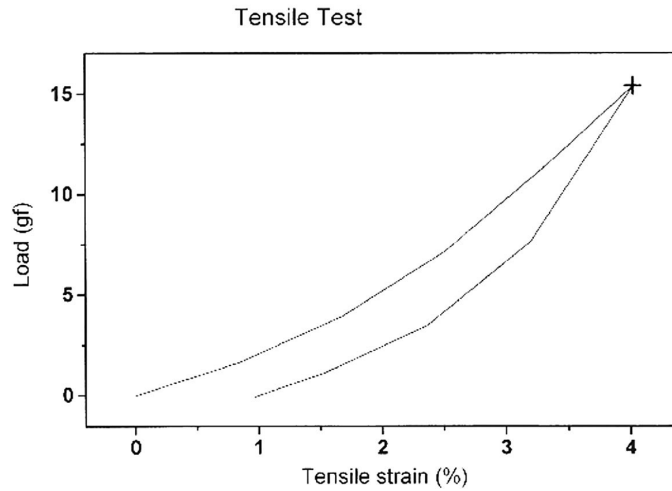
(3%의 신도까지 신장시 소요되는 하중 - 3%의 신도까지 회복시 소요되는 하중)/(3%의 신도까지 신장시 소요되는 하중)×100(%)

많은 하중이 걸리는 것을 알 수 있다. 그리고 PTT, Nylon원사 순으로 하중의 감소가 발생한다. 신장변형이 회복될 경우 하중이 감소하는 정도로서 원사의 변형과 회복에 따른 내부구조의 변형에 따른 완화정도를 알 수 있는데 구조적으로 탄성회복이 양호한 PTT는 응력감쇠(Stress Decay)가 5%로 상당히 적은 편이다. 한편 폴리에스터와 나일론은 각각 33.7%와 43.8%

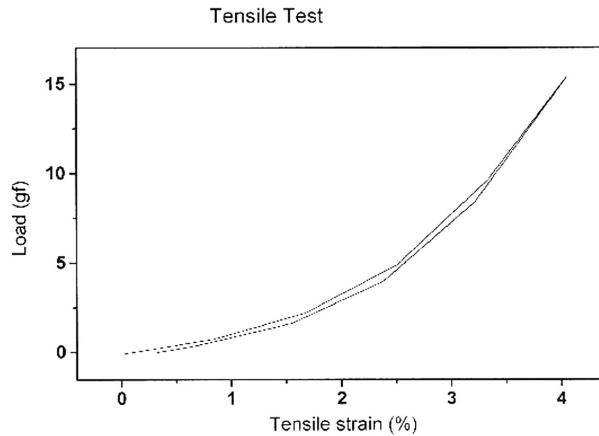
로서 비교적 응력감쇠가 많이 발생하고 있다. 이러한 차이는 섬유 내부미세구조, 즉 고분자로 구성된 섬유의 결정부와 비결정부를 형성하는 분자쇄들에 걸린 응력으로 인하여 분자쇄들이 변형되고 배치상태가 달라지는데 PTT인 경우 신장에 의해 분자쇄들이 변형된 후 응력을 제거하는 과정에서 신속히 원래의 상태에 가깝게 회복하여 응력의 감쇠가 적은 반면, 나일론이



<Fig. 2-a> Tensile recovery test of NYLON(Sample A)



<Fig. 2-b> Tensile recovery test of PET(Sample B)



<Fig. 2-c> Tensile recovery test of PTT(Sample C)

나 폴리에스터의 경우 분자쇄의 변형의 회복이 비교적 느리거나 회복되지 않는 부분이 발생하여 응력의 감쇠가 비교적 많아진 것으로 해석할 수 있다.

직물상태로 구성된 시료의 경우 시료에 변형을 가하여 분석하면 그 변형이나 응력은 원사자체의 고유한 성질에 의해 영향을 받기도 하나 경사의 상태나 위사의 상태 혹은 조직의 영향 등이 클 수 있어 이와 같이 원사에 대한 신장회복시험을 시행하였다.

B값이 가장 높아 폴리에스터 시료를 일정 수준으로 굽힘변형을 시킬 때 가장 많은 굽힘저항이 발생하는 것으로 볼 수 있다. PTT시료는 그 다음이며, nylon시료는 가장 적은 B값을 나타내고 있다. 또 굽힘히스테리시스는 폴리에스터의 회복이 가장 좋으며 나일론과 PTT는 불리한 편인데, 이는 원사만의 인장특성과는 차이가 있다. 직물의 경우 가연가공사 상태인 경사에 의한 상호영향도 어느 정도 존재하기 때문인 것으로 추정된다.<Table 4>

2. 직물의 객관적 분석결과

측정결과 중 다음과 같이 주요한 결과를 선정하여 검토하였다.

1) KES 굽힘특성

B는 굽힘강성, 2HB는 굽힘히스테리시스(hysteresis)를 나타낸다. 이 B값이 큰 것은 굽힘에 대한 강성이 큰 것을 의미한다. 이를 기준으로 볼 때 폴리에스터의

2) KES 전단특성

G는 전단강성(shear rigidity)을, 2HG와 2HG5는 전단히스테리시스(shear hysteresis)를 나타내고 있다. 전단강성은 PTT가 가장 크게 나타나고 그 다음은 폴리에스터와 나일론 순으로 나타났다. <Table 5> 전단변형의 과정을 살펴보면 직물을 구성하는 경사와 위사가 직각으로 교차된 상태에서 전단 변형에 의해 서로 교차하는 각이 변화할 때 초기에는 경사와 위사 간의 마

<Table 4> KES BENDING 측정치의 변환값

sample	B	2HB
A	0.022	0.0165
B	0.030	0.0125
C	0.028	0.0178

<Table 5> KES Shear test결과

sample	G	2HG	2HG5
A	0.35	0.63	1.13
B	0.49	1.10	2.22
C	0.80	1.83	3.70

찰로 인하여 저항력이 발생하고 그 후에 원사의 굵힘, 신장 등의 변형이 뒤따르게 되며, 전단변형각이 커지게 되면 구성하는 경위사간의 Jamming현상이 발생하게 된다. 이러한 과정의 초기에서 원사사이의 마찰이 크거나 원사의 신장, 굵힘 등의 변형저항이 클 때 이와 같은 전단강성의 증가가 초래되는 것으로 해석된다. 한편 전단 히스테리시스인 2HG와 2HG5도 유사한 경향을 보이고 있다.

3) KES 표면특성

SMD는 표면의 기하학적인 거칠기(roughness)를 나타내고, MIU는 주어진 하중에 대한 마찰계수를, 그리고 MMD는 마찰의 평균편차백분율을 나타내고 있다. 마찰계수인 MIU값은 폴리에스터와 PTT직물이 동일한 정도이며, 나일론은 낮은 편이다. 마찰계수의 변동을 나타내는 MMD는 PTT가 가장 높고 폴리에스터와 나일론 순으로 낮아지고 있다. 기하학적인 거칠기를 나타내는 SMD는 PTT직물이 가장 높고 폴리에스터, 나일론 순으로 낮아지고 있다.<Table 6> 이 표면특성은 섬유 굵기, 실의 굵기, 꼬임 등 실의 상태나 직물 조직 등 직물의 형성상태에 의해 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다.

4) 공기투과도 측정

공기투과도 측정 결과 PET의 공기투과도가 가장 크고, PTT의 공기투과도가 가장 낮게 나타났다.<Table

<Table 6> KES Surface 측정결과

sample	MIU	MMD	SMD
A	0.148	0.0075	1.22
B	0.153	0.0087	1.27
C	0.153	0.0100	2.17

<Table 7> 공기투과도 측정결과

sample	A	B	C
air permeability (cm ³ /cm ² /s)	24.80	27.86	13.03

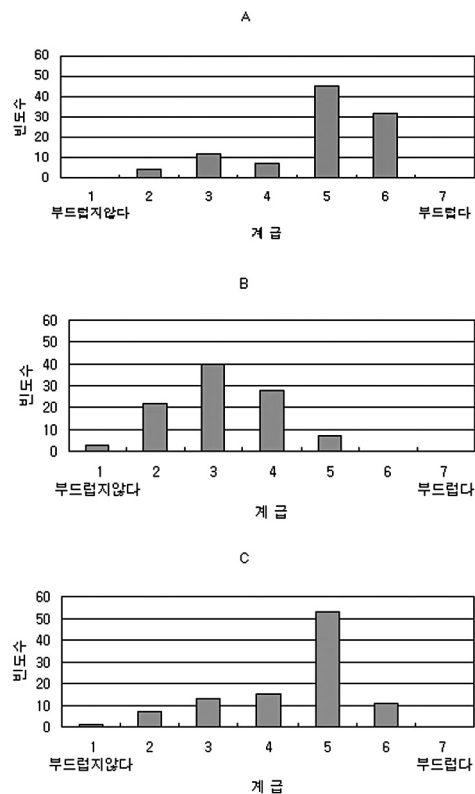
7) 이는 직물밀도, 실의 packing상태와 관련이 높을 것이나 PTT위사의 경우 필라멘트수가 36개로 비교적 많고, 80데니어로 높기 때문일 것으로 추정된다.

3. 직물의 주관적 평가 결과

주관적 평가결과 중 주요한 결과를 다음과 같이 선정하여 검토하였다

1) 문항: 부드럽다 - 부드럽지 않다

100명에 대한 설문 조사결과를 히스토그램으로 표시한 결과는 <Fig. 3>과 같다. 여기서 나일론은 평균값이 4.89, PTT는 4.45, 폴리에스터는 3.14로서 나일론이 가장 부드럽고 PTT, 폴리에스터 순인 것을 알 수 있



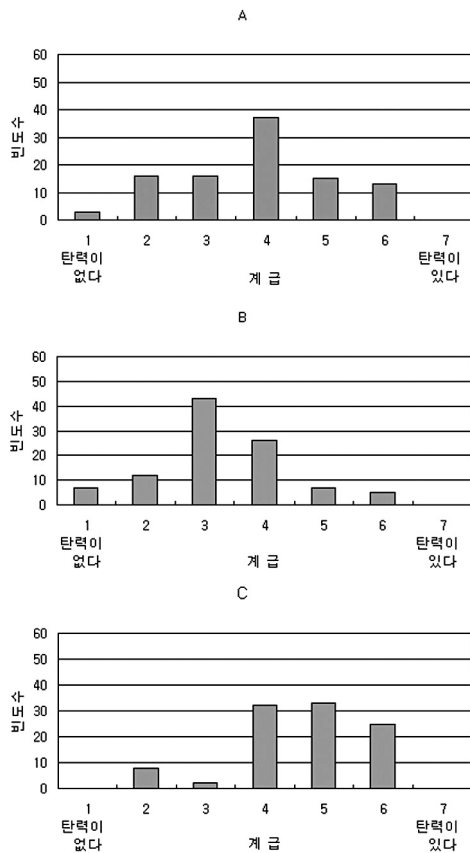
<Fig. 3> 부드럽다 - 부드럽지 않다(A, B, C)

다. 여기서 히스토그램의 분포를 보면 나일론은 “부드럽다”에 많이 치우쳐 있고 우측으로 편기된 분포인데, 폴리에스터는 비교적 대칭적인 분포를 하고 있다. PTT의 경우 우측으로 편기된 분포를 나타내고 있다.

분산분석의 F값은 73.1로 상당히 유의할 만한 차이를 나타내고 있음을 알 수 있고, 또한 다중비교에 의한 차이도 모두 $\alpha=0.05$ 수준에서 유의차가 있음을 알 수 있다. 이 관능검사 결과는 물리적/기계적인 특성의 평가 중 B(굽힘강성)의 결과와 유사한 경향인 것을 알 수 있다.

2) 문항: 탄력이 있다 - 탄력이 없다

PTT의 가장 중요한 특성 중 하나인 탄력성을 평가



<Fig. 4> 탄력이 있다 - 탄력이 없다

한 것으로 PTT가 465, 그리고 나일론이 384, 폴리에스터는 329로서 탄력성면에서 PTT가 양호한 것으로 나타난다. 분산분석에서의 F값도 326정도로 유의성이 있다고 할 수 있다. 이는 원사에서의 신장 변형 및 회복 특성과의 연관성이 있는 것으로 해석할 수 있다.(Fig. 4)

III. 결론

의류용 합성섬유 중 그 비중이 높은 PET 섬유와 유사한 방향족 폴리에스터의 하나로써 PTT의 생산이 시작되어, 나일론, 폴리에스터에 비해 높은 신축성이 필요한 분야에 그 용도전개가 기대되고 있다. 본 연구에서는 PTT직물과 PET, 나일론 직물의 특성을 비교하였다.

1. 직물을 구성하는 원사의 인장특성을 비교한 결과, 동일한 수준의 신장을 부가하였을 때 폴리에스터 원사에 많은 하중이 걸리는 것을 알 수 있었고, PTT, 나일론 원사의 순으로 하중의 감소가 발생한다. 즉 PTT는 폴리에스터에 비해 직물을 낮은 수준으로 변형시킬 때 신장이 용이한 편이라고 할 수 있다.

2 원사의 신장변형을 회복할 경우 하중이 감소하는 정도로서 원사의 변형과 회복에 따른 내부구조의 변형에 따른 완화 정도를 알 수 있는데 구조적으로 탄성 회복이 양호한 PTT는 응력감쇠(Stress Decay)가 5%로 상당히 적은 편이다. 한편 폴리에스터와 나일론은 각각 33.7%와 43.8%로서 비교적 응력감쇠가 많이 발생하고 있다. 이러한 차이는 섬유의 내부미세구조, 즉 고분자로 구성된 섬유의 결정부와 비결정부를 형성하는 분자쇄들에 걸린 응력으로 인하여 분자쇄들이 변형되고 배치상태가 달라지는데 PTT인 경우 신장에 의해 분자쇄들이 변형된후 응력을 제거하는 과정에서 신속히 원래의 상태에 가깝게 회복하여 응력의 감쇠가 적은 반면, 나일론이나 폴리에스터의 경우 분자쇄의 변형의 회복이 비교적 느리거나 회복되지 않는 부분이 발생하여 응력의 감쇠가 비교적 많아진 것으로 해석할 수 있다.

3. 직물에서 굽힘변형을 비교하였을 때, 폴리에스터의 B값이 가장 높아 폴리에스터 시료를 일정 수준으

로 변형을 시킬 때 가장 많은 굽힘저항이 발생하는 것으로 볼 수 있다. PTT시료는 그 다음이며, 나일론 시료의 경우 가장 적은 굽힘저항이 있다.

4. 직물에서의 전단강성은 PTT가 가장 크게 나타나고 그 다음은 폴리에스터와 나일론 순으로 나타났다. 전단변형의 과정을 살펴보면 직물을 구성하는 경사와 위사가 직각으로 교차된 상태에서 전단 변형에 의해 서로 교차하는 각이 변화할 때 초기에는 경사와 위사간의 마찰로 인하여 저항력이 발생하고 그 후에 원사의 굽힘, 신장 등의 변형이 뒤따르게 되며, 전단변형각이 커지게 되면 구성하는 경위사간의 Jamming현상이 발생하게 된다. 이러한 과정의 초기에서 원사사이의 마찰이 크거나 원사의 신장, 굽힘 등의 변형저항이 클 때 이와 같은 전단강성의 증가가 초래되는 것으로 해석된다. 한편 전단 히스테리시스인 2HG와 2HG5도 유사한 경향을 보이고 있다.

5. “부드럽다-부드럽지 않다”에 대한 설문조사 결과는 다음과 같다.

나일론은 평균값이 4.89, PTT는 4.45, 폴리에스터는 3.14로서 나일론이 가장 부드럽고 PTT, 폴리에스터 순인 것을 알 수 있다. 여기서 히스토그램의 분포를 보면 PTT의 경우 우측으로 편기된 분포를 나타내고 있다.

분산분석의 F값은 73.1로 상당히 유의할 만한 차이를 나타내고 있음을 알 수 있고, 또한 다중비교에 의한 차이도 모두 $\alpha=0.05$ 수준에서 유의차가 있음을 알 수 있다. 이 관능검사 결과는 물리적/기계적인 특성의 평가 중 B(굽힘강성)의 결과와 유사한 경향인 것을 알 수 있었다.

6. “탄력이 있다-탄력이 없다”에 대한 설문 조사

결과는 다음과 같다.

PTT의 가장 중요한 특성 중 하나인 탄력성을 평가한 것으로 PTT가 4.65, 그리고 나일론이 3.84, 폴리에스터는 3.29로서 탄력성면에서 PTT가 양호한 것으로 나타난다. 분산분석에서의 F값도 32.6정도로 유의성이 있다고 할 수 있다.

이는 원사에서의 신장변형 및 회복특성 분석결과와도 어느 정도 경향이 유사하다고 할 수 있다.

참고문헌

- 1) 윤석한, 김태경, 임용진, 조규민(2001), Poly(trimethylene terephthalate) 섬유의 물성과 염색성, 한국염색가공학회지, Vol. 13, No. 3, pp. 43-48.
- 2) A. L. Mukundan, K. Balasubramanian and K. S. V.(1988), Srinivasan, Polymer Communications, vol. 29, pp. 310-316.
- 3) 唐川安弘(1987), 喜多晋三, 플라스틱스, 38, 1, 42-47
- 4) 김남훈(2000), Time-dependent Properties of Partially Oriented Poly(trimethyleneterephthalate) Fibers, pp. 5-11, 영남대학교 대학원 석사학위논문

(2003년 7월 23일 접수, 2003년 9월 6일 채택)