

## 벨트형 가연공정에서의 사도불안정에 관한 연구

<sup>1</sup>이민수·김승진·박경순

영남대학교 섬유패션학부  
(2003. 10. 14. 접수/2004. 1. 12. 채택)

### A Study on the Threadline Instability on the Belt-type Texturing Process

<sup>1</sup>Min Soo Lee, Seung Jin Kim, and Kyung Soon Park

School of Textiles, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea  
(Received October 14, 2003/Accepted January 12, 2004)

**Abstract**—This research surveys the threadline instability on the belt texturing machine according to the 1st heater temperature, draw ratio and velocity ratio. The threadline instability to the time, which is called surging phenomena, is analysed with variations of draw ratio and velocity ratio. In addition, the surging phenomena is investigated with the variation of the untwisting tension and false twist mechanism on the belt texturing machine. The breaking strain, modulus and yarn unevenness of the DTY along the yarn length are measured and analysed with the surging phenomena which is due to untwisting tension variation on the threadline according to the draw ratio, 1st heater temperature and velocity ratio.

**Keywords** : *threadline instability, surging, belt texturing, false twist, modulus, breaking strain, unevenness*

#### 1. 서 론

가연공정에서 사도의 불안정현상 즉, surging 현상은 가연 초창기에 편 타입에서도 저속일 경우 종종 발생하였으나 소재원사와 기계의 발전으로 별다른 문제가 없이 극복되었다. 그러나 최근 들어 가연사 제품의 품질과 기계의 고속화로 인한 사속의 증가에 따라 사도불안정의 문제가 다시 대두가 되고 있다. 이러한 현상은 1973년 W. Klein 과 A. Trummer<sup>1)</sup>에 의해 연신 마찰가연에서 처음으로 보고되기 시작하였다. M. J. Denton<sup>2)</sup>은 이러한 현상을 사(絲)의 직경에 의한 것으로 생각하였다. 그는 실의 연수가 높고, 직경이 큰 실은 가연기구에서 꼬임이 들어가는 비율이 낮고 작은 꼬임과 가는 실에는 비교적 많은 꼬임이 필요로 하는 것에 기

초를 두고 생각하였다. 또한 장력과 꼬임의 증가는 사의 contraction에 의해 surging 현상이 나타난다고 알려져 있다. D. Brookstein 과 S. Baker<sup>3)</sup>는 가연기구에서 꼬임의 유실과 꼬임 요구량이 증대가 될 때 slippage가 일어나는 것으로 생각하고 이러한 경우 실의 공급 테니어의 조정, 기계특성, 공급장치의 장력조절로 surging을 방지하며 pin type에서는 slippage가 발생할 경우, cooling zone에서의 회전속도가 떨어지고 사도의 장력과 꼬임력은 급격히 감소한다고 보고하였다. 또한 그는 꼬임이 적은 실이 가연기구에 도달하면 실과 편 의 마찰이 증가하고 가연기구에서 꼬임력이 증가하며 동시에 slippage는 중지가 되고 장력은 증가하여 sine곡선을 나타낸다고 보고하였다. Greenwood<sup>4)</sup>는 surging 현상을 장력과 꼬임에 관련시켜 연구하였다. 장력의 증가는 torque의 증가를 의미하고 torque는 충분한 꼬임을 공급하며 slippage를 발생케 하여 torque가 최대로 감소가 될 때 꼬임은 최소로 감소한다고 하였

<sup>1</sup>Corresponding author. Tel. : +82-53-810-3890; Fax. : +82-53-812-5702 ; e-mail : 1969lms@hanmail.net

다. 이와 같은 현상이 반복될 때 surging이 발생하고 장력과 꼬임의 증대는 점진적으로, 가연기의 회전수를 증가시키므로서 surging 파형은 톱니 형상을 가진다고 보고한 바 있다. G. W. Du 와 J. W. S. Hearle<sup>5)</sup>은 장력변화에서의 surging과 실의 물성에 관한 연구를 하였고, 장력을 pre-surgng, surging, post-surgng 등으로 구분하였으며 3가지 형태의 조건과 장력의 파장과 파고를 실험하였다. 그들은 post-surgng에서는 높은 주파수를 보인다고 하였다. 또한 J. W. S. Hearle과 A. E. Yegin<sup>6)</sup>은 이러한 현상을 over-twist에 의한 것으로 보고 있으며, 임계꼬임 이상에서는 이중꼬임에 의해 사도의 방향이 변화된다고 생각하였다. 이 결과 공정조건이 변화되고 갑작스런 사도의 긴장과 완화로 인해 가연기구에 장력 변화가 발생하고 surging이 생성되는 것으로 생각하였다. 그러나 지금까지의 연구는 벨트형 고속가연기의 surging에 대한 실험결과는 발표되지 않고 있으며 더구나 기업들이 제품개발에 참고가 될 수 있는 생산조건하에서의 surging 현상에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 벨트형 가연기에서 surging을 실험하였고 기존의 역학적 접근방법에서 surging 현상을 섬유내부 구조 변화와 관련시켜 분석하였다. 즉 공정조건에 따른 viscosity의 증가에 의한 불완전 연신(unbalance drawing)이 가연사의 thick and thin 효과를 발생시켜 벨트가연기에서의 선밀도의 차이에 의한 점압변동으로 torque가 변동이 되어 surging이 발생하는 것으로 보고 surging문제를 접근하고자 하였다. 또한 가연기에서 가공생산속도에 가장 큰 저해 요인인 surging의 원인을 분석함으로써 가연기의 고속화와 차별화소재(linen-like)개발에 필요한 기초연구 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험

벨트형 가연기에서 surging을 조사하기 위하여 Muratec 33H(일본) 가연기에 국내 원사업체에서 신도를 기존 POY보다 약 20%를 향상시킨 151%로 제조된 POY 244/48 SD 폴리에스테르 필라멘트를 사용하여 실험하였다.

### 2.1 해연장력 측정

Fig. 1에서는 Muratec 33H의 개략도와 본 실험에서 측정된 해연장력(T2)의 측정위치를 보이고 있다. 해연장력은 시료 제조시 기계의 부착된 자

동장력 측정 장치를 작동시켜 자동계측을 실시하였다.

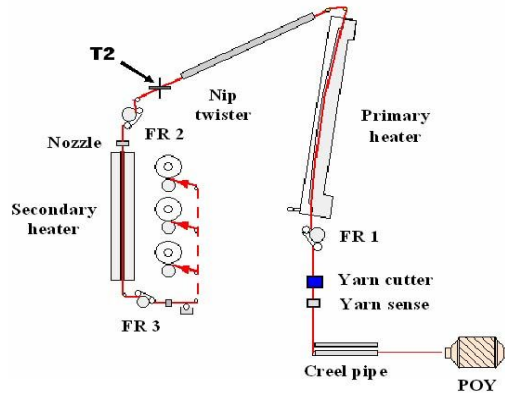


Fig. 1. Schematic diagram of false twist machine.

### 2.2 공정조건

시료 제조를 위한 가연공정조건은 사속, 오버피드 그리고 가연기의 벨트 교차각은 고정시켰으며 DTY의 물성에 가장 큰 영향을 주는 히터온도, 연신비 그리고 사속비 등을 변화시켜 시료를 준비하였다.

- 고정 공정조건: Yarn speed: 500m/min  
1st over feed : 2.11%  
2nd over feed : 3.50%  
Belt cross angle : 115°
- 변화 공정조건: 1st heater temperature(HT) : 160℃, 180℃, 200℃, 220℃  
Draw ratio(DR) : 1.5, 1.6, 1.7, 1.8  
Velocity ratio(VR) : 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8

### 2.3 원사와 가연사 물성

실험에 사용한 POY 원사 물성은 Table 1에 보인다.

Table 1. Physical properties of polyester filaments (POY)

Denier	Tenacity (gf/den.)	Breaking strain(%)	OPU	U(%)
244.1	2.60	151.9	0.42	0.32

해연장력이 측정된 가연사의 물성은 절단신도

와 초기탄성률을 만능인장시험기로 측정하였으며 가연사의 균제도는 uster에서 측정하였다. 그리고 가연사의 측면사진은 image analyser를 이용하여 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Draw ratio에 따른 해연장력의 변화

Fig. 2는 온도 200℃, VR 1.4에서 연신비 증가에 따른 해연장력의 변화를 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 DR변화에 따라 여러 가지 형태를 보이며 안정화되어 가는 현상을 볼 수 있다. 우선 연신비가 1.5에서는 불규칙한 해연장력(T<sub>2</sub>)을 보이다가 연신비가 증가하여 1.6과 1.7일 때는 시간에 대하여 반복하는 sine곡선으로 나타나는 것을 볼 수가 있으며 연신비가 1.8에 도달하였을 경우에는 안정적인 해연장력을 보이고 있다. 연신비 1.5에서는 점성이 증가하여 4~5cm 길이로 unbalance drawing이 발생하여 사도에서 매우 불안정한 장력 변화 현상을 보이는 것으로 나타난다. 연신비가 1.6에서는 사의 탄성에 의해 장력 및 torque를 유지하나 응력집중과 이중꼬임 등에 의해 unbalance drawing이 발생하는 것으로 사료된다. 또한 연신비가 계속 증가함에 따라 sine곡선의 주기와 최대장력과 평균장력이 조금씩 감소를 하고 full draw가 이루어지는 연신비 1.8에서 안정적인 해연장력을 유지하고 있다는 것을 보여준다.

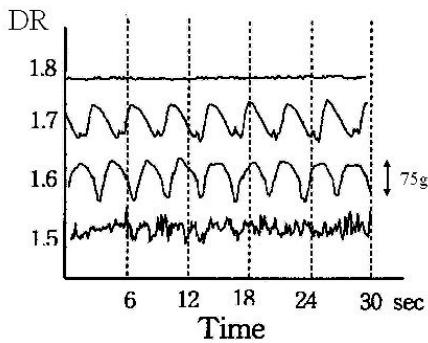


Fig. 2. The effect of untwist tension(T<sub>2</sub>) on draw ratio at temp. of 200 °C and VR of 1.4.

#### 3.2 Velocity ratio에 따른 해연장력 변화

Fig. 3은 히터온도 180℃, draw ratio 1.6일 때의 VR의 증가에 따른 해연장력의 변화를 보여준다. 연신비 증가에 따른 해연장력 변화와 비슷한 경향

을 보이나 VR 변화는 surging 형태에 큰 영향을 미치지 않는다. VR이 1.4에서 1.8까지 증가를 하면서 최대장력과 평균장력 등은 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 VR에 의한 torque의 증가로 contraction이 발생하여 장력의 증가가 사로 하여금 안정적인 장력을 유지케 하며 응력집중에 의한 unbalance drawing을 감소시키는 것으로 보여진다. 또한 히터온도의 변화에 따른 경향도 VR과 비슷한 경향을 보이고 있으나 그 영향은 미미하다.

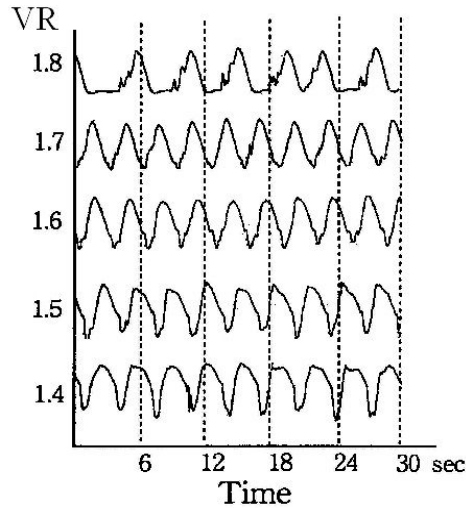


Fig. 3. The effect of untwist tension(T<sub>2</sub>) on velocity ratio at temp. of 180 °C and DR of 1.6.

이러한 장력편차를 보이는 surging 현상이 가연사의 절단신도와 초기탄성률에 영향을 미칠 것으로 판단하여 50cm 길이의 시료로 가연사의 인장 실험을 90번 실시하였다. Fig. 4는 히터온도 200℃, DR 1.7, VR 1.8의 공정조건으로 제조된 DTY의 사도불안정이 발생하는 가연사의 절단신도를 측정할 것을 도시한 것이며, Fig. 5는 같은 공정조건에서 제조된 DTY의 초기탄성계수의 변화를 길이방향으로 측정할 것을 도시하였다. Fig. 4에서 초기에는 연신과 가연이 동시에 발생하여 절단신도가 낮게 나타나며, 꼬임과 잔류신도에 의해 가연사 20m 지점(그림에서 가로축 40회째 실험부분)에서는 신도가 40%까지 발생한 후 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 이와 같이 surging 현상은 가연사의 신도를 최대 70%에서 최소 40%까지 변화시키며 가연사의 길이 방향에 따른 신도의 변화 파형이 Fig. 2와 3에서 보이는 surging 파형과 비슷하게 변

화하는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 5에서 초기탄성계수의 경우도 최대 10gf/d의 편차를 보이고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 사도 불안정 현상은 가연사의 물성에 큰 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있으며 물성의 변화가 surging 파형과 유사하게 발생하는 것을 알 수 있다.

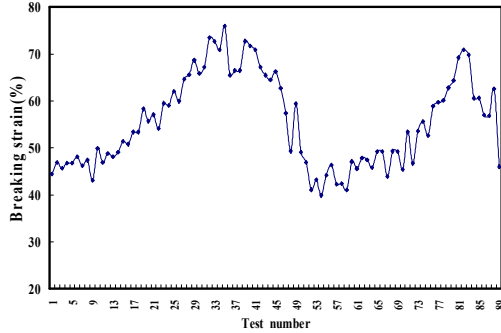


Fig. 4. Breaking strain at draw ratio of 1.8, velocity ratio of 1.4, and heater temp. of 200 °C.

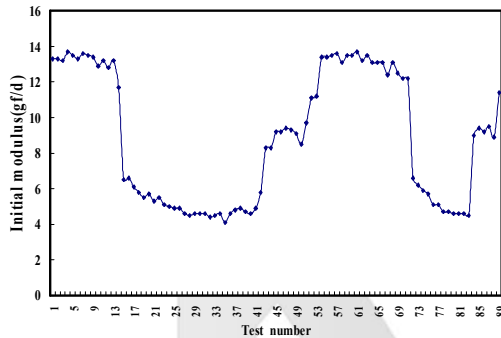
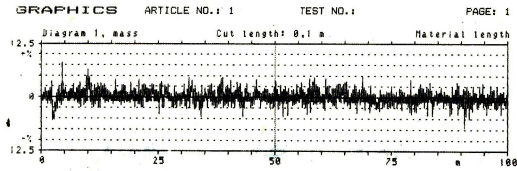


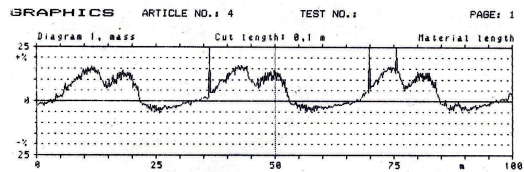
Fig. 5. Initial modulus at draw ratio of 1.8, velocity ratio of 1.4, and heater temp. of 200 °C.

이와 같은 surging 현상은 장력차이로 가연사의 불균제를 가져 절단신도의 초기탄성률의 변화를 야기시킨다는 것을 확인하였고 이를 확인하기 위해 가연사의 균제도를 실험하였다. Fig. 6의 (a), (b), (c), (d)는 균제도 시험기를 이용하여 연신비에 따른 섬도변화를 측정 한 것이다. 섬도는 장력의 변화와 같은 주기로 변화하고 있는 것을 볼 수 있다. 히터온도 200°C, 사속비 1.4의 조건에서 연신비가 1.6, 1.7로 증가함에 따른 섬도 변화는 Fig. 2와 3의 장력 변화에서 보였듯이 반복되는 sine곡선의 심한 섬도 편차를 보인다. 이로서 DTY 섬도 변화 역시 연신비 1.6, 1.7의 조건에서는 장력편차로 인해 surging 현상을 발생시켜 Fig. 2에서 보인

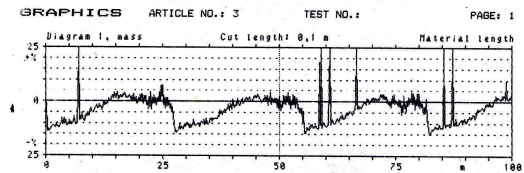
해연장력 측정결과와 비슷한 곡선형태를 보임을 확인 할 수 있으며 또한 연신비 1.5에서는 thick and thin 현상 그리고 연신비가 1.8에서는 안정적인 해연장력으로 인해 섬도 변화 역시 안정한 경향을 보인다.



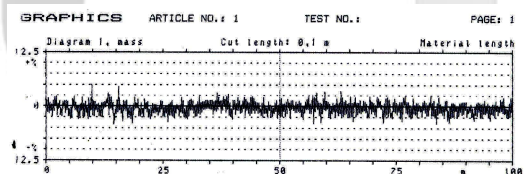
(a) DR 1.5



(b) DR 1.6



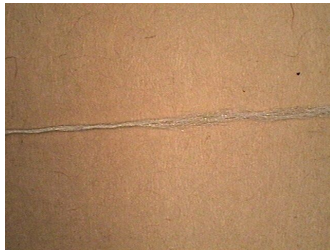
(c) DR 1.7



(d) DR 1.8

Fig. 6. Changes of yarn linear density according to draw ratio at the heater temp. of 200 °C and velocity ratio of 1.4.

Fig. 7은 길이에 따른 사의 측면사진을 보이고 있다. Fig. 4에서 45% 정도의 절단신도를 보이는 측정시료 초기부분을 나타내는 (a)에서는 tight spot과 가연상태가 불규칙적으로 혼재되어 있고, Fig. 4에서 20회째 측정부위인 (b)에서는 정상적인 가연상태를 보이고, Fig. 4에서 최대절단신도를 보이는 40회째 측정부위의 (c)에서는 강연이 들어가는 상태를 보이고 있다.



(a) 0m



(b) 10m



(c) 20m

**Fig. 7.** Photograph of yarn side-view at the heater temp. of 200 °C, draw ratio of 1.7 and velocity ratio of 1.4.

#### 4. 결 론

가연공정조건 변화에 따른 가연공정의 surging 현상에 관한 연구결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 절단신도가 150% 인 POY 로 가연할 때 연신비

1.5에서는 thick and thin 효과가 나타나며 연신비 1.6과 1.7에서는 surging 현상이 연신비 1.8에서는 안정된 해연장력 변화를 보인다.

2. surging 현상은 가연공정조건 중 속도비와 히터온도 영향은 적으며 연신비의 효과가 가장 크게 나타나며 이러한 장력편차는 가연사의 절단신도와 초기탄성률 값의 변화 파형과 유사한 형태를 보임을 확인하였다.
3. 연신비 1.6과 1.7에서 발생하는 surging 현상을 가연사의 균제도에서도 유사한 파형으로 나타나며 image analyser에서 tight spot, 불규칙적인 가연 그리고 강연현상을 확인 할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. W. Klein and A. Trummer, *Text. Mfr*, **100**, No. 1, 16(1973).
2. M. J. Denton., Twisting-rate Variation in the False-twist Threadline, Part I : Background and the Effect of a Step Change in the Twisting Rate, *J. Text. Inst.*, **66**, 282(1975).
3. D. Brookstein and S. Backer, Mechanics of Texturing Thermoplastic Yarns Part VI : Transient Mechanics of Draw Texturing, *Text. Res. J.*, **48**, 192(1978).
4. K. Greenwood in "Developments in Texturing", Shirley Institute, Manchester p.75(1976).
5. G. W. Du and J. W. S. Hearle, Threadline Instability in the False-twist Texturing Process, Part I : Experimental Observations of Tension Surging, *J. Text. Inst.*, **80**, 203(1989).
6. J. W. S. Hearle and A. E. Yegin, The snarling of highly twisted monofilaments, Part II : Cylindrical snarling, *J. Text. Inst.*, **63**, 490(1972).