

## 송출/ 권취 시스템에 있어서의 권취속도 변화에 의한 경사장력의 안정화에 관한 연구

윤성후, 장승호, 허 유  
경희대학교 섬유공학과

### 1. 서론

직물 결함은 여러 공정 중에서 나타나게 되는데, 특히 제직 공정에 있어서 직기가 정지한 후 재가동 시 나타나게 되는 위사 불균제로 인한 결함을 정지단(stop marks)이라고 한다. 정지단은 위사 밀도의 변화가 육안으로도 식별이 가능할 정도로 크게 나타나는 위사 방향으로의 결함으로 경사의 절단, 경사 빔 혹은 위사 빔의 교체, 기타 제직 공정 중 기계적인 교란에 의해 직기가 정지 후 재출발하는 과도기적 상태에서 발생하며 직물 결함의 약 70~80%를 차지하고 있다. 이러한 정지단의 생성 원인은 1) 직기가 정지한 후 최후의 picking 동작과 직기가 재가동이 된 후 최초의 picking 동작 사이에서의 직기의 가속도가 충분하지 않고 상이한 동작을 하는 경우, 2) 직기가 재가동시의 불충분하거나 일치되지 않은 경사송출 혹은 직물 권취, 그리고 3) 직기가 운전을 시작하는 순간의 직물과 경사에서의 응력 완화 현상의 세 가지를 들 수 있다. 이 세 가지의 원인은 장력의 변화를 발생하며 이로 인하여 정지단이 생성되는 것이다. 이러한 정지단의 발생을 막기 위한 방법으로는 1) 직기가 재가동을 시작하고 나타나게 되는 최초의 beat-up 운동을 충분히 강하게 하여주는 방법과 2) 경사장력이 경사송출 혹은 직물 권취 메커니즘에서 변화하게 하는 방법이 있다<sup>1)</sup>.

최근에는 송출부에 구동 모터를 설치하여 경사장력을 제어하는 active negative type의 송출기구와 직물 권취부에도 구동 모터를 설치하는 분산 구동형 직기가 개발되었다<sup>2)</sup>. Active negative type의 송출 기구를 사용하는 제직 시스템에서는 여러 가지 송출 기구의 성능비교를 통하여 경사장력의 제어 및 정지단 발생 기구의 해석과 위사 밀도 불균제 억제 방법을 방지하는 방법에 관한 연구가 진행이 되었으며, 이러한 연구 결과는 공정 효율의 증대는 물론 제직 기술의 체계화에 도움을 주었다<sup>3)</sup>.

직기에 있어서도 컴퓨터화가 급속하게 이루어지고 있다. 핵심이 되는 기술 중 하나인 전동송출은 load-cell로 직기 가동 중의 장력을 측정하고, 이를 feedback하여 서보모터로 송출속도를 제어하는 방법이다. 이를 통하여 고속회전에서도 안정된 경사장력을 얻었다<sup>4)</sup>.

본 연구에서는 송출/권취 시스템을 모델링하고, 시뮬레이션을 통하여 모델링 된 시스템의 제어성능을 살펴보았다. 또한, 시뮬레이션을 통하여 직기가 운전을 시작하는 순간에 과도하게 변화하게 되는 경사장력의 변화를 감소시켜주는 방법으로 권취속도에 변화를 주었다. 이 결과를 active negative type의 송출 기구를 사용하여 실험적으로 그 결과를 확인하였다.

### 2. 송출/권취 시스템의 모델링

송출/권취 시스템에 있어서 경사 빔은 풀림로우(unwinding roll)이며, 권취로우(take-up roll)은 직물의 이동 속도를 결정하게 된다. Fig. 1과 같은 경사 비입과 권취로우로 이루어

지는 제직 구간을 대상으로 하여 경사장력 거동을 묘사하였다<sup>5)~7)</sup>.

Fig. 1에서의 모델링을 용이하게 하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

- (1) 경사와 로올러 표면 사이에는 미끄러짐이 없다.
- (2) 모든 경사의 물성은 균일하고 일정하다.
- (3) 경사의 인장 변형도는 아주 작다.
- (4) 제직 구간 내 경사의 변형도는 고르게 분포되어 있으며, 선형 탄성변형을 한다.

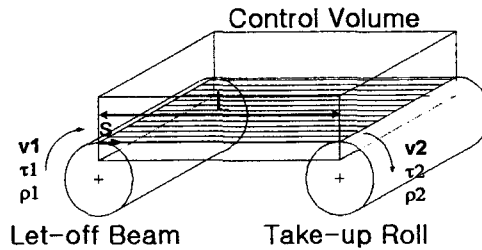


Fig. 1 Control Volume of Let-off / Take-up System

이러한 가정을 바탕으로 하고, 경사선 방향으로의 미소길이를  $ds$ , 경사빔상의 경사장력을  $\tau_1$ , 제직 구간을 빠져 나온 경사장력을  $\tau_2$ , 경사 빔상의 경사 선밀도를  $\rho_1$ , 제직 구간을 빠져 나온 경사 선밀도를  $\rho_2$ , 경사 빔상의 경사 단면적을  $A_1$ , 제직 구간을 빠져 나온 경사 단면적을  $A_2$ , 경사 올 수를  $n$ , 경사 송출 속도를  $v_1$ , 직물 권취 속도를  $v_2$ , 시간을  $t$ , 제직 구간의 길이를  $L$ 이라고 하면, control volume내에 들어오는 단위 시간당 경사질량  $v_i$  와 나가는 질량  $v_o$ 은 식 (1)과 같이 된다.

$$\Delta v_i = n \rho_1(t) A_1(t) v_1(t), \quad \Delta v_o = n \rho_2(t) A_2(t) v_2(t) \quad (1)$$

Control volume 내에서의 질량보존의 법칙에 의하여 (1)식을 계산, 정리하면 (2)식을 얻을 수 있다.

$$L \frac{d\tau_2(t)}{dt} = AE [v_2(t) - v_1(t)] + \tau_1(t) v_1(t) - \tau_2(t) v_2(t) \quad (2)$$

(2)식에서 송출속도와 경사장력은 선형적인 관계에 있으나, 권취속도는 경사장력에 비선형적으로 작용함을 알 수 있다. 본 연구에서는 경사장력과 선형적인 관계에 있는 권취속도 변화를 disturbance로 간주하고 송출속도로써 경사장력을 제어하는 시스템을 구성하였다. 이를 위하여 deviation variables를 사용하여 (2)식을 선형화하고, 정경장력이 일정하다는 가정과 실제공정에서 제직구간의 길이가 단위시간당 송출되는 경사의 길이에 비하여 상당히 크게 나타난다는 것을 적용하여 (3)식을 얻었다.

$$T_2(t) = \int -\frac{AE - \tau_{ls}}{L} \cdot V_1(t) dt \quad (3)$$

### 3. 장력거동 시뮬레이션

#### 3. 1 시뮬레이션 회로의 구성

식(3)을 바탕으로 시뮬레이션 회로를 구성하였다. 식(2)의 모델링에서 송출속도와 권취속도는 모두 경사장력에 대하여 적분기적인 특성을 나타내며 이는 실험적으로 확인한 바가 있다<sup>8)</sup>. Fig.2에서는 구성된 시뮬레이션 회로를 나타내고 있다.

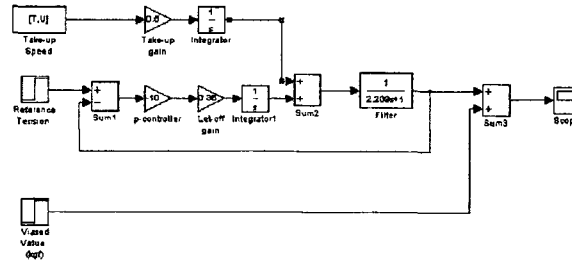
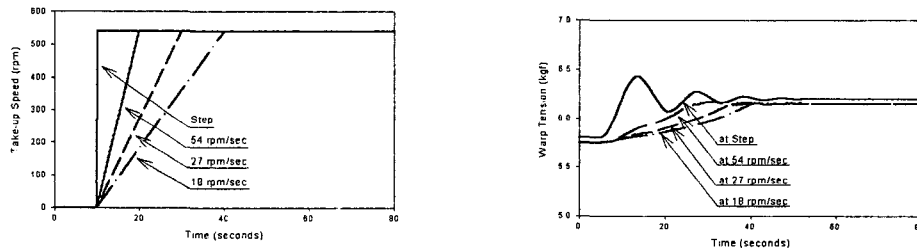


Fig. 2 Simulation Circuit by MATLAB

#### 3. 2 시뮬레이션에 의한 경사장력 거동의 해석

선행된 연구<sup>9)</sup>에서 권취속도를 ramp 형태로 정상 값에 도달하는 거동으로 하였을 경우 경사장력의 변동 폭을 감소 시켜 줄 수 있다고 확인하였는데, 본 연구에서는 권취속도의 거동을 ramp 형태로 정상 값에 도달하게 하고, 이 때에 slope에 변화를 줌으로써 나타나게 되는 경사장력의 거동을 시뮬레이션 하였다<sup>10)~12)</sup>. Slope는 각각 54 rpm/sec, 27 rpm/sec, 18 rpm/sec로써 이는 각각 정상상태에 도달하는 시간이 작기 가동 후 20초, 30초, 40초에 해당하게 된다. Fig. 3에서는 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다.



(a) Take-up Speed Variation

(b) Warp Tension Variation

Fig. 3 Simulation Results

### 4. 장력거동실험

#### 4. 1 실험 장치의 구성

실험에 사용된 제직 시스템을 Fig. 4에 표시하였다. Load-cell과 spring으로 구성된 측정 기구에 의하여 측정된 경사장력은 amplifier를 거쳐서 증폭되며, filter를 통하여 유효성분 만

을 초과하게 된다. 이 신호는 A/D converter를 통하여 controller인 computer에 입력이 된다. 이렇게 입력된 신호를 feedback하여서 servo driver를 구동시키면, servo motor에 의하여 분리된 warp beam의 경사가 송출된다. 또한 computer에 의하여 입력된 신호로써 take-up roll에 연결된 직기의 main motor가 구동되게 된다. Table. 1에서는 실험 조건을 나타내었다.

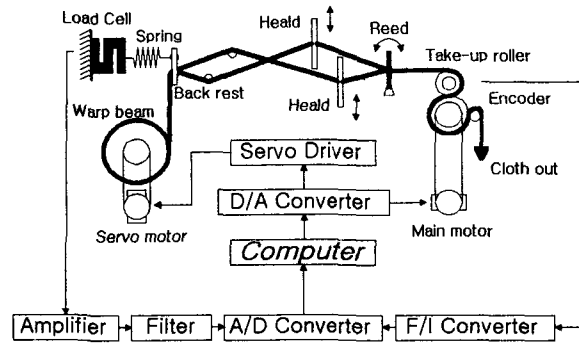


Fig. 4 Schematic Diagram of Weaving System

Warp Yarns	polyester: 110 denier untwisted filament yarn
Weft Yarns	polyester: 75 denier untwisted filament yarn
Fabric Take-up Speed	540 rpm
Fabric Structure	Plain Structure
Number of Warp Yarns	270
Weaving Loom	Rapier Loom (Kyang Yhe, Taiwan)

Table. 1 Experimental Conditions

#### 4. 2 실험에 의한 경사장력 거동의 해석

Fig.5와 6에서는 실험에 의한 경사장력의 거동을 나타내고 있다. Fig. 5에서는 일반적인 직기의 거동형태와 이때에 나타나게되는 경사장력의 거동을 나타내고 있다. Fig. 6에서는 take-up 속도를 초기에 ramp 의 형태로 slope를 가지고 증가하게 되는 경우의 경사장력의 변동을 나타낸다. Fig. 6에서 경사장력은 23.92 rpm/sec 즉, 직기가 가동을 시작한 후 30초 만에 정상속도에 도달할 때 경사장력의 거동이 가장 안정하게 나타났으며, 53.89 rpm/sec의

inputs \ outputs	step	ramp1		ramp2		ramp3	
			effect		effect		effect
settling time(2%)	16.3 sec	17.4 sec	+ 6.3 %	28.6 sec	+ 173.6 %	42 sec	+ 257.7 %
delay time	10.8 sec	12.0 sec	+ 10 %	20.6 sec	+ 190.7 %	26.8 sec	+ 248.2 %
max. overshoot	7.15 %	2.23 %	- 221 %	1.95 %	- 366.7 %	0.49 %	- 1457 %
peak time	12.5 sec	19.1 sec	+ 35 %	40.5 sec	+ 316.4 %	60.6 sec	+ 484.8 %
max. value	6.59 kgf	6.29 kgf	- 4.8 %	6.27 kgf	- 5.1 %	6.18 kgf	- 6.6 %

(ramp1: 53.89 rpm/sec, ramp2: 23.92 rpm/sec, ramp3: 13.57 rpm/sec)

Table 2 Experimental Results

거동에서 settling time과 delay time은 소폭으로 증가하였지만, maximum percent overshoot과 maximum value는 큰 폭으로 감소하는 경향을 나타내어 가장 만족스러운 경사장력제어 효과를 얻을 수 있었다. 이를 기존의 step의 형식으로 변화하게 되는 권취속도의 형태와 비교하였을 경우에 경사장력의 변동 억제에 효과가 있음을 또한 알 수 있다. Table 2에서는 실험 결과를 수치적으로 나타내었다<sup>13)</sup>.

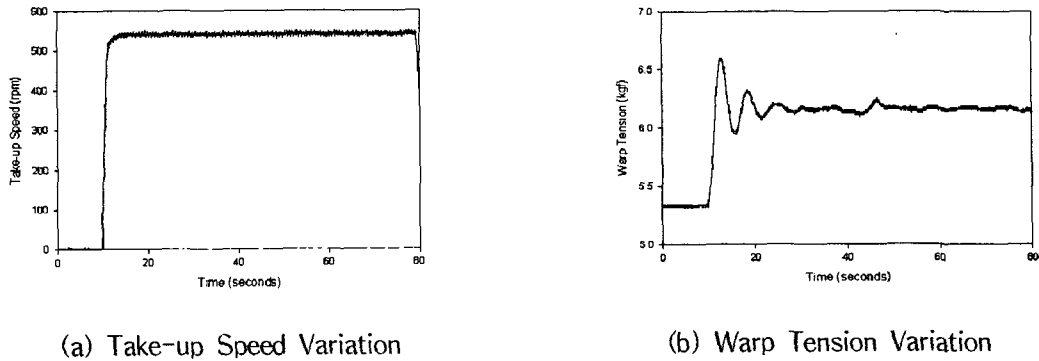


Fig. 5 Experimental Results (Step Type Take-up Speed)

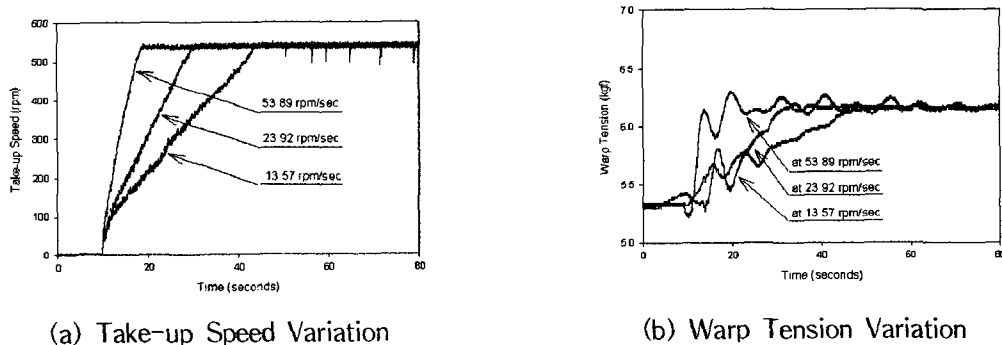


Fig. 6 Experimental Results (Ramp Type Take-up Speed)

## 5. 결론

본 연구에서는 권취속도, 송출속도, 경사장력의 관계를 선형화하고, 권취속도의 변화를 기계적인 왜란으로 간주함으로써 경사장력을 송출속도로 제어하는 시스템을 구성하고 시뮬레이션 하였다. 또한 이 결과를 실험을 통하여서 확인하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 직기가 운전을 시작하는 순간의 main motor의 거동을 ramp 형태로 함으로써 경사장력의 변동 억제에 효과가 있음을 확인하였다.
- 2) Take-up speed의 거동을 slope로 변화하였을 경우 경사장력의 거동이 안정하게 나타남을 확인하였다.
- 3) Take-up speed 거동의 slope를 53.89 rpm/sec로 하였을 경우에 경사장력이 안정하게 제어됨을 확인하였다.

- 4) 과도기에서의 권취속도의 형태에 변화를 줌으로써 초기에 과도하게 나타나는 경사장력의 변동폭은 감소를 시켜줄 수 있었으나, 경사장력의 요동을 완전히 제거 할 수는 없었다.

## 참고문헌

1. Lieven Vangheluwe and Paul Kiekens, "Simulation of Procedures to Avoid Set Marks in Weaving Caused by Relaxation", *Textile Res. J.*, 67(1), 34~39, (1997)
2. Y. Huh, J. W. Lee, and S. G. Lee, "Development of Tension Control Systems for Warp Let-off and Take-up", *KSME*, Vol.35, No.1, 46~52 (1995)
3. A. K. Basu, "Effect of Different Let-off Mechanisms on Fabric Formation and Dimension of Fabric in the Loom", *T.R.J.*, 379~386 (1987).
4. 西念 勉, "製織および準備分野のコンピュータ化", *日本繊維工學會誌*, Vol.49, No4, (1996)
5. D. P. D. Whitworth and M. C. Harrison, "Tension Variation in Plable Material in Production Machinery", *Appl. Math. Modeling*, vol.7, June (1983)
6. Soong T. C. and Li C., "An Elastic Analysis of Multroll Endless Web System", *ASME, Tran. On Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*, vol. 101, Dec. 308~313, (1979)
7. Karl N. Reid and Ku-Chin Lin, "Control of Longitudinal Tension in Mult-Span Web Transport System During Start up", *Proc. On 3rd. Int. Conf. On Web Handling*, 77~99 (1995)
8. Y. Huh, S. R. Moon, S. H. Jang, and S. K. Lee, "Frequency Response Analysis of the Let-off Mechanism Driven by an Individual Motor (I)", *J. Korean Fiber Soc.*, 43, No.3, 185~192 (1997)
9. 윤성후, 허 유, 장승호, 이석규, "선형화된 송출/권취 시스템의 Simulation 및 실험적 해석", 1998년 봄 학술발표회 논문집, 185~189, (1998)
10. D. M. Etter, "Engineering Problem Solving with MATLAB", Prentice Hall (1994)
11. Frederick/Chow, "Feedback Control Problems Using MATLAB", ITP (1994)
12. C. Sidney Burrus, James H. McClellan, Alan V. Oppenheim, Thomas W. Parks, Ronald W. Schafer, and Hans W. Schuessler, "Computer-Based Exercises for Signal Processing Using MATLAB", Prentice Hall (1994)
13. Katsuhiko Ogata, "System Dynamics", Prentice Hall (1992)