

# 송출/권취 시스템에서의 장력거동 해석

허 유, 장승호, 이석규\*, 이계원\*\*, 박정일\*\*\*

경희대학교 섬유공학과, \*영남대학교 전기공학과, \*\*영남대학교 기계공학과, \*\*\*영남대학교 전자공학과

## 1. 서론

최근 제직공정은 air jet, Rapier, Projectile 등 새로운 위입법이 고안되면서 소음 및 진동을 억제하고 획기적인 생산성 향상과 작업환경 개선이 이루어졌으며<sup>1</sup>, 직기의 성능증대, 직물의 품질향상을 위한 공정최적화, 생산유연성의 확대 및 자동화에 대한 연구들이 활발히 진행되었다<sup>2-3</sup>. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 직물에는 여러가지 형태의 결함이 발생하며, 위사밀도의 변화에 의한 결함은 직물결함의 약 70~80%를 차지하고 있다. 이는 바디칩 순간의 직전위치가 변화하는데 기인하며, 그 변화원인은 크게 경사장력 변동과 바디칩 세기의 변동으로 나눌 수 있다<sup>4-6</sup>. 특히 직기의 가동상태 변화에 의한 경사장력 변동을 억제하는 것은 대단히 중요하다. 경사송출의 경우, 위사 1가닥이 공급될 때마다 직물권취에 대응하여 경사장력을 일정하게 유지하도록 경사의 일정길이를 정확히 공급하여야 한다. 최근에는 송출부에 구동 모우터를 설치하여 경사장력을 제어하는 active negative type의 송출기구와 직물권취부에도 구동모우터를 설치하는 분산구동형 직기가 개발되었다<sup>1,2,7</sup>.

본 연구에서는 제직공정중 경사장력거동을 수학적으로 모델링하고, 이를 시뮬레이션하므로써 active negative type 송출기구의 특성을 파악하고자 하였다.

## 2. 모델링

송출-권취 시스템에서 경사비임은 풀림로울 (unwinding roll)이며, 제직구간에서 형성된 직물을 견인하는 권취로울 (take up roll, draw off roll)은 직물의 이동속도를 결정한다. 따라서 경사송출-직물권취시스템에서는 Fig.1과 같이 경사비임과 권취로울로 이루어지는 제직구간을 대상으로 경사장력거동을 묘사하였다<sup>8,9,10</sup>. 모델링을 용이하게 하기 위하여 다음과 같이 가정하였다.

- (1) 경사와 롤러표면 사이에는 미끄러짐이 없다.
- (2) 모든 경사의 물성은 균일하고 일정하다.
- (3) 경사의 인장 변형도는 아주 작다.

- (4) 제직구간내 경사의 변형도는 고르게 분포되어 있으며 선형 탄성변형을 한다.

경사선 방향으로의 미소길이를  $ds$ ,  $\tau_1$ 은 경사비임상의 경사장력,  $\tau_2$ 는 제직구간에서의 경사장력 (경사방향 직물장력),  $\rho_1$ 은 경사비임상에서의 경사 선밀도,  $\rho_2$ 는 제직구간에서의 경사 선밀도,  $A_1$ 은 경사비임상의 경사 단면적,  $A_2$ 는 제직구간에서의 경사 단면적,  $n$ 은 경사율수,  $v_1$ 은 경사송출속도,  $v_2$ 는 직물권취속도,  $t$ 는 시간,  $L$ 은 제직구간의 길이라 할 때, Fig.1에서 control volumn 내로 들어오는 단위시간당 경사질량  $\Delta V_i$ 과 control volumn에서 나가는 단위

시간당 경사질량  $\Delta V_0$ 는

$$\Delta V_i = n\rho_1(t)A_1(t)v_1(t), \quad \Delta V_o = n\rho_2(t)A_2(t)v_2(t)$$

이므로 control volume 내에서 질량보존의 법칙에 의하여

$$-\frac{d}{dt} \left( \int_0^L n\rho_2(s,t)A_2(s,t)ds \right) = n\rho_1(t)A_1(t)v_1(t) - n\rho_2(t)A_2(t)v_2(t) \quad (1)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 무장력 상태에서의 경사단면적을  $A$ ,  $\varepsilon$ 을 경사의 인장 변형을,  $E$ 는 경사의 인장 모듈러스라고 하면 가정에 의하여 송출속도  $v_1$ 과 권취속도  $v_2$  그리고 경사장력  $\tau_2$ 와의 관계는

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

으로 나타난다. 이에 의하면 송출속도와 경사장력은 선형적인 관계에 있으나, 권취속도는 경사장력에 비선형적으로 작용한다는 것을 알 수 있다. 송출속도  $v_1$ , 권취속도  $v_2$ 를 입력으로 하고, 경사장력  $\tau_2$ 를 출력으로 하여 block diagram으로 표시하면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

## 2.1 일정한 제직속도에서의 경사장력거동

직기가 일정한 속도로 가동중일 때는  $v_2(t) = \text{constant} = v_{20}$ 이므로, 이 때의 송출속도를  $v_{10}$ , 경사장력을  $\tau_{20}$  라고 하면 deviation variable  $V_1 = v_1 - v_{10}$ ,  $T_2 = \tau_2 - \tau_{20}$ 을 이용하여 송출속도와 경사장력은

$$L \frac{dT_2(t)}{dt} = -(AE - \tau_1(t))V_1(t) - T_2(t)v_{20} \quad (3)$$

으로 나타낼 수 있다. 정경장력이 일정하여  $\tau_1(t) = \tau_{10} = \text{constant}$  이면 송출속도와 경사장력과의 전달함수  $G(s)$ 는

$$G(s) = \frac{T_2(s)}{V_1(s)} = \frac{K}{s + 1/\tau} \quad (4)$$

$$\text{단 } K = -\frac{(AE - \tau_{10})}{L}, \quad \tau = L/v_{20}$$

으로 표현된다.

## 2.2 변화하는 제직속도에서의 경사장력거동

일반적으로 직기를 구성하는 모든 동자단위들은 주 구동 모우터와 연동되어 가동하고 있으므로 송출속도  $v_1$ 은  $v_1(t) = Cv_2(t)$ , ( $C : a \text{ constant}$ ) 라고 표시할 수 있다. 경사비임상의 경사장력  $\tau_1$  이 일정할 때 ( $\tau_1 = \tau_{10}$ ), 식 (2)는

$$L \frac{d\tau_2(t)}{dt} + v_2(t)\tau_2(t) = [AE(1-C) + C\tau_{10}]v_2(t) \quad (5)$$

로 나타난다.

### 3. 모델 시뮬레이션과 장력거동 해석

#### 3.1 일정한 제직속도에서의 경사장력

식 (4)에 의하면 정상상태 근처에서 송출속도  $v_1$ 과 경사장력  $t_2$ 는 1차 시스템 특성을 보였다. 이러한 시스템의 동적거동을 시뮬레이션하기 위하여 시스템 파라메타  $K$ 와  $\tau$ 의 값을 대입하여 입력에 따른 출력신호를 구하여 보았다. 사용된 파라메타 값은

$$K = -0.4 \text{ kgf/mm/sec}, \quad L = 2,300 \text{ mm}, \quad v_{20} = 7.7 \text{ mm/sec}$$

으로 하였다. 시뮬레이션에서 송출속도가 스텝함수 형태의 교란을 받는 경우에 대한 장력의 변화는 Fig. 3과 같이 나타난다. 출력신호는 파라메타 값을 변화시킬 때에 조금씩 달라진다. 특히 제직구간  $L$  값과 권취속도  $v_{20}$ 에 따라 시정수가 변하게 되고, 경사의 물성에 따라 시스템이득  $K$  값이 영향을 받게 된다.

실제 제직공정에서는 송출속도의 교란에 의하여 장력의 변동이 급격하게 나타나는 현상이 바람직하지 않다. 따라서 시스템 이득을 작게 하고 시정수는 크게 하는 것이 제품생산에는 유리하다고 할 수 있다. 이를 위하여는 제직구간의 길이는 크게, 권취속도는 가능한 한 작게 설정하는 것이 좋다. 또한 경사의 굽기는 가능한 한 가늘고 탄성계수가 작은 것이 경사장력을 일정하게 유지하는데에 유리하며, 반면에 제직준비시 정경장력을 높게 가하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

1 차 시스템적 특성을 가진 모델링 결과는 시정수  $\tau$ 값이 대단히 큰 경우,  $1/\tau$  값을 거의 zero에 가까운 값이 되어

$$G(s) = \frac{T_2(s)}{V_1(s)} = \frac{K}{s} \quad (6)$$

으로 표현할 수 있다. 이는 이미 본 연구의 실험적 연구결과에서의 적분시스템적 특성과 같은 결론을 보이고 있다<sup>13</sup>. 실제 위에 주어진 시스템 파라메타값에 의하면 시정수  $\tau$ 값이 300sec의 대단히 큰 값을 가진다고 할 수 있다.

#### 3.2 변화하는 제직속도에서의 경사장력

직기가 정지하거나 재가동할 때에는 직물의 권취속도가 크게 변하게 된다. 일반적으로 magnet clutch의 작동에 의한 직기의 정지시에는 100-200msec의 정지시간이 필요하며, 직기가 재가동되는 경우에는 직기를 구성하는 운동요소의 관성에 의하여 초기 구동력이 큰 모우터를 이용하더라도 200msec 이상의 가속시간이 필요하게 된다. 이러한 경사장력의 변동은 정지단의 주 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 수학적 모델을 이용하여 제직속도 함수에 따른 경사장력의 변동을 해석해 보았다.

본 연구에서 얻은 모델링의 결과, 송출속도가 권취속도와 연동되어 동시가동된다는 가정하에 식 (5)의 해를 구하면 경사장력  $\tau_2(t)$ 는

$$\tau_2(t) = D + (\tau_{20} - D) e^{-\int \frac{v_2(t)}{L} dt} \quad (7)$$

단  $D = [AE(1-C) + C\tau_{10}]$ ,  $\tau_{20}$  는 초기장력.

으로 나타난다. 이 결과를 바탕으로 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

1) 초기장력  $\tau_{20}$  가 D와 같은 경우:

경사장력은 권취속도 함수형태와 상관없이 항상 일정한 크기를 가진다.

2) 초기장력  $\tau_{20}$  가 D와 다른 경우:

경사장력은 권취속도  $v_2(t)$  의 함수형태에 따라 달라진다.

이는 초기장력  $\tau_{20}$  가 D와 다른 경우, 권취기구와 송출기구를 연동 (synchronization)시키더라도 경사장력의 시간에 따른 변화를 억제할 수 없다는 사실을 의미한다.

이 경우의 경사장력 거동을 시뮬레이션하기 위하여 MATLAB을 이용하여<sup>11,12</sup> Fig. 4와 같이 시뮬레이션 회로를 구성하였으며, 권취속도 함수가 ramp function으로 주어질 때, 경사장력의 거동을 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 5에 주어져 있다. 이에 의하면 직기 가동속도, 즉 권취속도가 변함에 따라 경사장력이 변하며, 특히 경사장력의 구배가 변하는 것을 알 수 있다. 또한 직기속도가 스텝변화하는 경우에도 일정시간이 경과한 후에 경사장력이 정상값에 도달함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 경사비입과 권취로울로 이루어지는 제직구간을 대상으로 장력거동을 모델링하고, 시뮬레이션을 통하여 경사장력의 거동을 해석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 경사장력  $\tau_2$ , 정경장력  $\tau_1$ , 권취속도  $v_2$ , 송출속도  $v_1$ , 경사의 인장 모듈러스 E 그리고 경사의 단면을 A라고 하면 경사장력 거동은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

2) 송출속도와 경사장력은 선형적인 관계에 있으나, 권취속도는 경사장력에 비선형적으로 작용한다

3) 일정 제직속도에서 송출속도와 경사장력은 1차계의 특성을 나타내며, 실제 제직공정하에서는 시정수가 대단히 크기 때문에 적분계로 다를 수 있다.

4) 직기의 속도가 변하는 상태에서는 권취기구와 송출기구를 연동시켜 동시가동

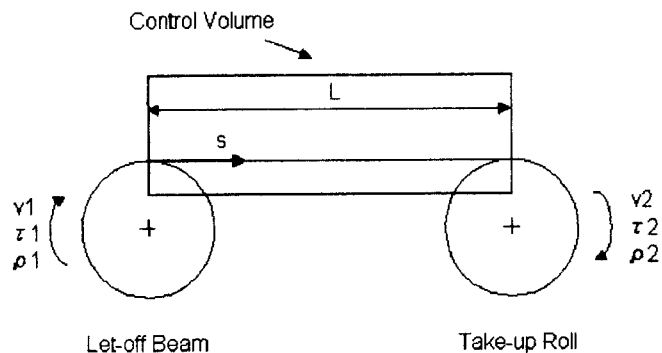
(synchronization)을 하더라도 초기장력  $\tau_{20}$  가  $AE(1-C) + C\tau_{10}$ 와 다른 경우에는 경사장력의 시간에 따른 변화를 억제할 수 없다.

(단 C : 직물조직과 경사장력 수준에 따라 결정되는 상수,  $\tau_{10}$  : 정경장력)

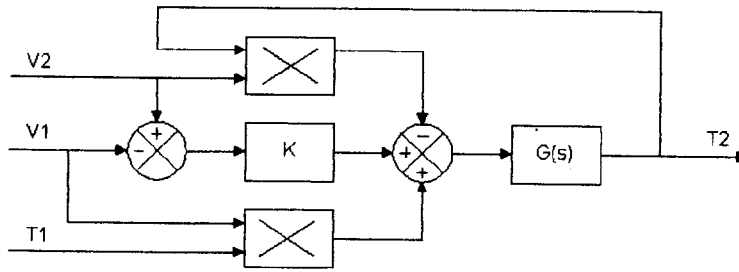
#### 참고문헌

1. Ishida, T., " Innovations in Weaving Machinery the Course of Loom Development," Osaka Senken Ltd. (1994)
2. M. Polke, F. Portele, "State of Art and Development of Process Control Techniques for the Textile Industry", *Melliand Texiberichte* 65, 291-297 (1984)

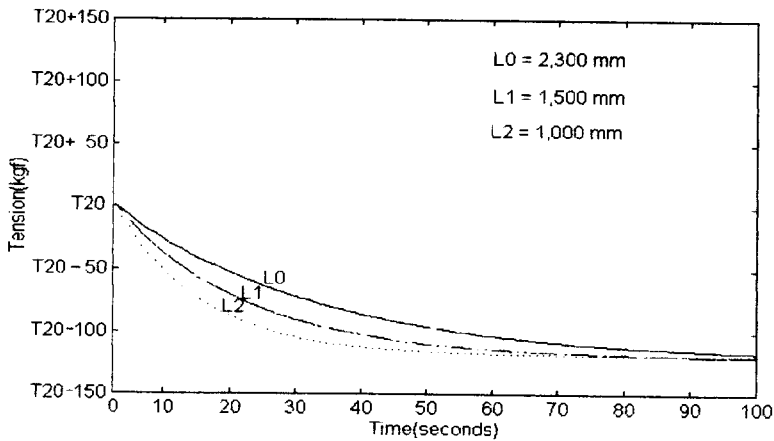
3. D. C. Snowden, "The Production of Woven Fabric",  
Textile Progress, 4, No.1, 17-33 (1972)
4. Y. Huh, S. T. Lee, Y. Ryu, and J. L. Woo, "Effect of Starting up Conditions on the Product Quality in the Weaving Process",  
*J. Korean Fiber Soc.*, 31, No.2, 111-117 (1994)
5. B. Wulfhorst and B. Obolenski, "Beurteilung von Mabnahmen zur Vermeidung von Anlaufstellen in Geweben",  
*Melliand Textilberichte*, 71, 24-31 (1990).
6. Y. Huh, W. Y. Ryu, and J. L. Woo, "Dynamic Response of Weft Density to the Speed Variation in Weaving System",  
*J. Korean Fiber Soc.*, 28, 56-61 (1991)
7. Y. Huh, J. W. Lee, S. G. Lee, "Development of Tension Control Systems for Warp Let-off and Take-up", *KSME*, vol.35, No.1, 46-52 (1995).
8. D. P. D. Whitworth, M. C. Harrison, "Tension Variation in Pliable Material in Production Machinery", *Appl. Math. Modeling*, vol.7, June (1983)
9. 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)
10. Karl. N. Reid, 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).
11. D. M. Etter, "Engineering Problem Solving with MATLAB", Prentice HALL (1994)
12. Frederick/Chow, "Feedback Control Problems Using MATLAB", ITP (1994)
13. Y. Huh, S.R. Moon, S.II. Jang, S.G. Lee, "Frequency Response Analysis of the Let-off Mechanism Driven by an Individual Motor"  
*J. Korean Fiber Soc.*, 34, 185-192 (1997)



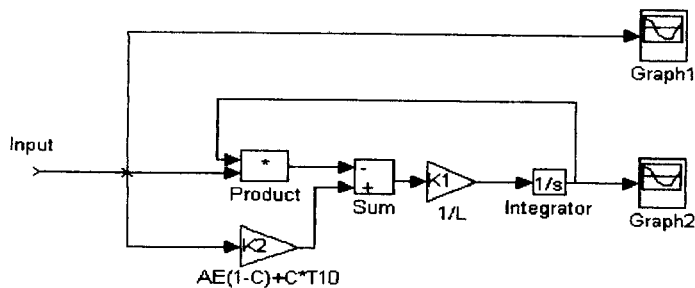
**Fig. 1 Simplified representation of the weaving process**



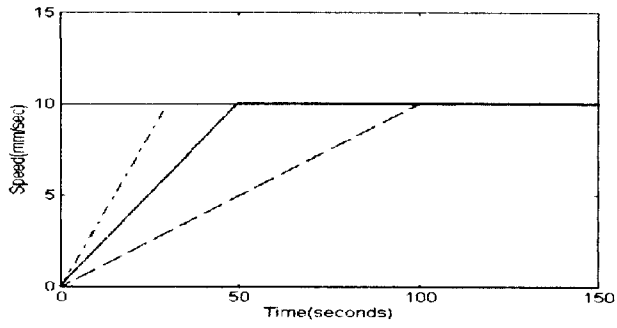
**Fig. 2 Simplified model of the weaving system**



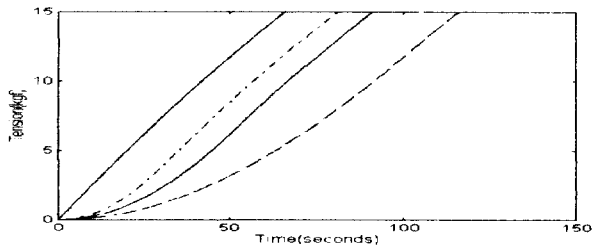
**Fig. 3 Simulated tension signal due to the let-off speed variation**



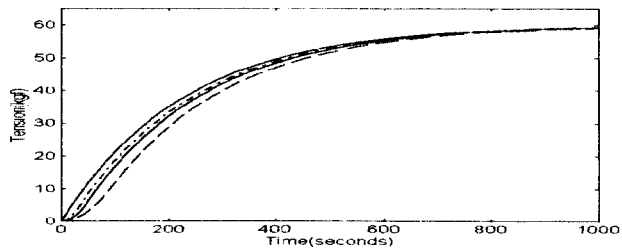
**Fig. 4 Simulation circuit of the let-off / take-up system for the synchronous operation**



(a)



(b)



(c)

**Fig. 5 Simulated tension signal due to the take-up speed variation for the synchronous operation**

- (a) take-up speed
- (b) warp tension
- (c) shape of tension variation