

장력과 사행거동의 상호작용에 관한 실험적 연구

An experimental study on the relationship between longitudinal and lateral motion
of a moving web

신기현¹⁾ · 권순오²⁾

1) 건국대학교 기계항공공학부 · 2) 건국대학교 기계공학과

Abstract

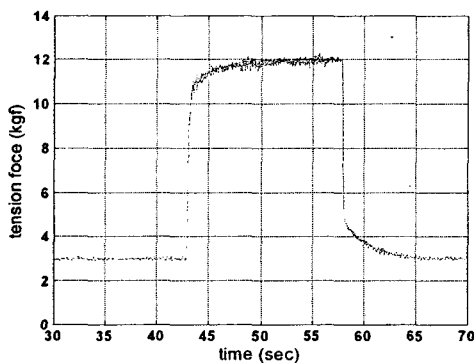
There are two kinds of controllers in a continuous process system. One is for tension control of a moving web and the other for lateral motion control. The inter-connection between tension and lateral behavior of web has not yet been considered in the analysis of web dynamics and designing of control strategies. But the effect of tension variation on the lateral motion of a moving web is observed in the most manufacturing systems. In this paper, experimental studies was carried out to find out the inter-correlation between tension and lateral motion of a web using a 3-span web transport system which consists of two displacement type guiders. As a result, it was found that there are typical operating conditions that tension and lateral motion are correlated each other.

Keywords : Web, Longitudinal tension, Lateral motion, Tension transfer, System identification, Guidance system, Feedforward control

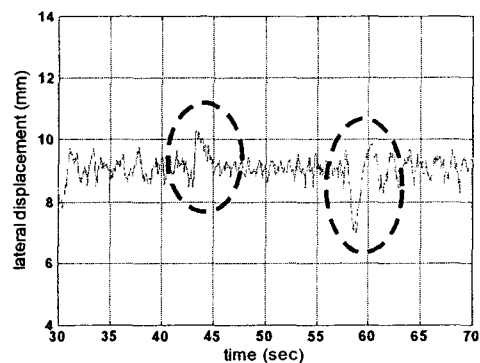
1. 서론

종방향 장력제어와 폭방향 장력제어에 관한 기존의 연구^[1,2,3,4,5]들은 장력변화와 사행

변화간의 상호 영향을 고려하지 않고 수행되어 왔다. 그러나, 장력의 변화는 운전조건에 따라 소재의 사행거동에 영향을 미치게 되고, 가이드 롤의 운동에 따라 소재의 장력이 영향을 받게됨을 실험을 통해 관찰 할 수 있다. 이러한 영향은 정상상태보다는 과도상태에서의 에러를 유발하며, 특히 사행제어시의 소재의 폭방향 위치오차는 감김롤의 형상에 직접적인 악영향을 미치게된다는 점에서 보다 안정되고 사행외란을 빠르게 감쇄시킬 수 있는 방안이 요구된다. 이를 위해서는 동적 변화가 많은 소재의 장력으로 인한 사행변위의 관계가 규명되어야 하며, 보다 정밀하고 안정된 사행제어는 장력과 사행거동간의 상호작용을 고려할 수 있는 제어 시스템의 개발을 통해 가능하다. Fig. 1은 소재의 위치만을 되먹임하는 기존의 사행제어방식으로 가이드 시스템을 구동할 때, 스펀의 장력이 급격히 변화함에 따른 소재의 사행거동의 결과 보여주는 예이다.



(a) Web tension of second span



(b) Web lateral position

Fig. 1 Lateral position control without considering tesnion variation

Fig. 1에서 (a)와 같이 장력이 변화됨에 따라 (b)에서와 같이 소재의 위치는 가이드 롤을 이용하여 제어되고 있는 상황에서 과도적 변화를 격게됨을 확인할 수 있다.

이와같은 실험결과는 장력의 변화가 사행거동에 큰 영향을 미치고 있으며, 웹의 위치 되먹임만을 이용한 독립적인 사행제어만으로는 과도상태에서의 사행오차를 효과적으로 줄이는데 한계가 있음을 의미한다. 기존의 수학적 모델에 기초한 사행거동 연구에서는 이러한 장력과 사행간의 상호영향이 고려되지 못했다. 따라서 본 연구에서는 기존 모델

이 가진 한계점에 대해 실험적인 방법을 통해 시스템의 운전조건들이 소재의 사행거동에 미치는 영향을 해석하고, 나아가 장력 및 사행제어시의 교차연동 제어방안을 도출하고자 한다. 사행 및 장력 거동은 소재의 탄성계수, 스펠의 길이, 운전속도, 운전장력, 롤러의 기울임각도, 롤러 및 소재의 표면 거칠기 및 마찰력, 롤러의 직경, 소재의 공기투과율 등, 매우 많은 변수들의 영향을 받는다고 알려져 있다. 본 연구에서는 이러한 다양한 시스템 운전 변수들 중, 대표적인 시스템 운전 변수라 할 수 있는 운전장력 및 속도, 장력 변화량과 가이드 롤의 변위 또는 회전각도를 중심으로 사행변위에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

실험을 위해 구성된 웹 가이드 시스템은 Fig. 2에서와 같이 사행외란을 발생시키기 위한 오프셋 피벗 가이드 1세트(set)와 발생된 사행외란의 제어를 위한 오프셋 피벗 가이드 1세트로 구성되었다.

장력변화와 사행거동간의 상호 영향을 실험적으로 확인, 분석하기 위해서 가능한 다양한 변수들을 측정할 수 있도록 하였으며, 측정된 변수들은 아래와 같다.

- 1) 로드셀을 이용한 각 스펠의 장력(t_{12} , t_{23} , t_{34})
- 2) 가이드 구동모터 축에 연결한 엔코더를 이용한 모터의 회전각 측정

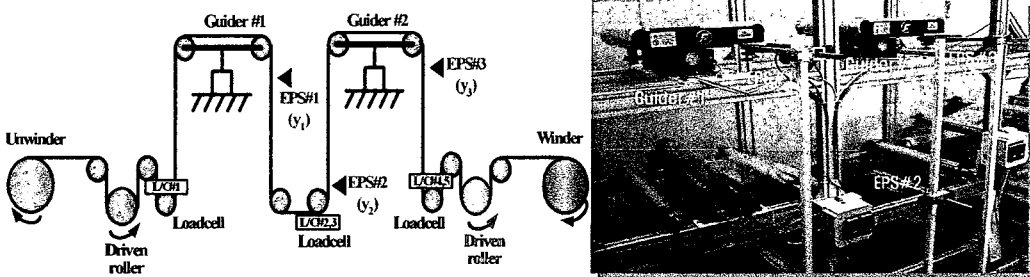


Fig.2.3-span webtransport system with 2sets of offsetpivot guider

- 3) 가이드 롤의 축방향 변위(Z) 및 회전각도(q)

4) 적외선 변위센서를 이용한 소재의 사행 변위(y_1, y_{12}, y_2) 측정

5) 엔코더를 이용한 가이드 롤의 선속도(v_G) 측정

6) 각 구동 롤러에서의 모터 회전속도로부터 선속도(v_1, v_2, v_3, v_4) 측정

실험을 위한 시뮬레이터의 운전순서는 다음과 같다. 장력제어를 수행하면서기준 운전 장력과 운전속도로 시뮬레이터를 가속을 한다. 이때, 첫 번째 가이드를 이용하여 웹의 위치가 롤의 중앙을 지나도록 제어한다. 동시에 두 번째 가이드는 웹의 위치제어를 하지 않고, 다른 비구동 롤러들과 평행을 유지한다. 정상상태 운전조건(장력과 속도)에 도달한 후, 두 번째 가이드의 롤을 설정된 위치(Z)로 이동시킨다. 소재의 변위가 안정화도록 충분한 시간(약 10초)이 지난 후, 장력을 변화시키고 데이터들을 계측한다. 실험을 완료하기 위해 장력을 원래의 운전장력으로 회복시키고, 두 번째 가이드의 위치도 원래의 중앙 위치로 되돌린 후, 감속하여 시스템을 정지시킨다. 이러한 실험 순서에 따라 주어진 실험조건에 대한 실험을 수행하여 측정된 데이터들을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 운전장력이 사행거동에 미치는 영향

Fig. 2에서 두 번째 가이드 롤의 축방향변위(Z)를 10mm로 일정하게 유지하고, 소재의 장력을 운전장력으로부터 5kgf 증가시킬 때, 소재 사행변위의 변화를 측정하였다. 실험에 사용된 소재는 두께 14 μm , 폭 330mm의 폴리프로필렌(polypropylene)이다.

Fig. 3은 동일한 장력변화량(5kgf)이 발생할 때, 초기 운전장력에 따른 사행변위의 변화량을 나타낸 것이다. 초기 운전장력이 높을 수록 추가적인 장력변화가 소재의 사행변위에 미치는 영향이 감소함을 확인 할 수 있고, 이송속도가 증가할 수록 그 영향이 커짐을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해 주어진 운전속도 및 운전장력으로부터 장력변화가 사행변위의 변화에 영향을 미칠 뿐 아니라, 이러한 영향이 나타나지 않는 운전조건이 존재함을 예상할 수 있다.

3.2. 장력 변화량이 사행거동에 미치는 영향

Fig. 4는 운전장력과 운전속도 및 가이드 롤의 변위를 일정하게 유지한 상태에서부터 장력 변화의 크기에 따른 사행변화를 나타낸다. 3kgf의 운전장력, 2m/s의 운전속도 및 10mm의 가이드 롤의 변위로 일정하게 유지하고, 장력을 운전장력으로부터 0.5 ~ 8 kgf로 다양하게 변화시켰다.

장력변화량이 증가하면서 사행변위의 변화도 증가하지만, 약 4kgf이상의 장력변화에 대해서는 더 이상의 사행변위의 뚜렷한 증가추세가 없이 거의 동일한 값으로 수렴하는 경향을 나타내고 있다.

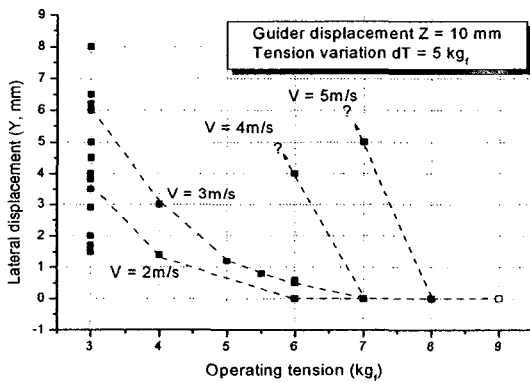


Fig. 3. Effect of operating tension

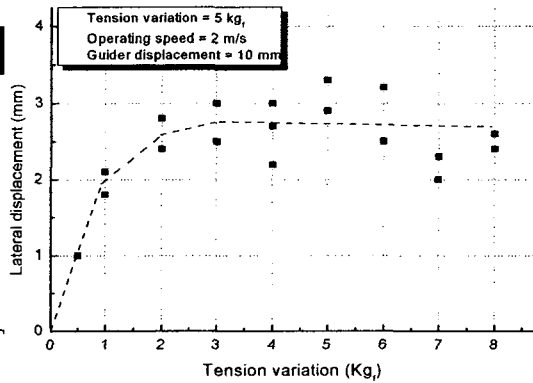


Fig. 4. Effect of tension variation

3.3. 롤 기울임각도에 따른 장력과 사행변위량의 관계

동일한 장력 변화량($dt_{23}=5\text{kgf}$)에 대해 가이드 롤의 기울임 각을 다양하게 변화시키면서 실험을 수행하였다. Fig. 5에서 세 개의 직선은 각각 3, 4, 5kgf의 정상상태 운전장력으로 운전한 경우의 결과이다.

동일한 운전장력으로부터 장력변화량이 5kgf 증가될 때, 소재의 사행변위의 변화량은 가이드 롤의 변위에 비례하여 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 정상상태 운전 장력이 증가할 수 록 이러한 사행변위의 변화량이 줄어들 수 있음을 확인할 수 있다.

3.4. 운전속도에 따른 장력변화량과 사행변위량 관계

운전장력과 장력변화량이 동일할 경우, 가이드 롤의 변위(Z)의 크기와 운전속도의 변화에 따른 사행변위의 관계를 Fig. 6에 나타내었다.

가이드 롤의 변위가 동일한 경우, 동일한 장력 변화량에 대해 운전속도가 증가함에 따라 소재의 사행변위의 변화량이 증가해 감을 확인 할 수 있다.

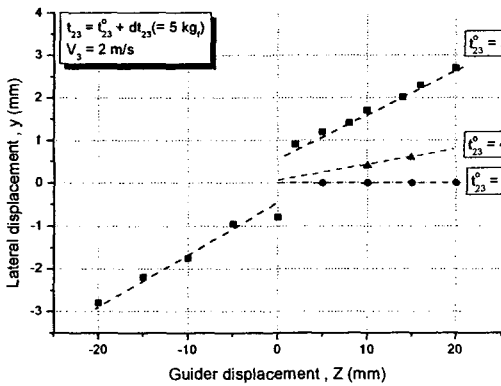


Fig. 5. Effect of guider position

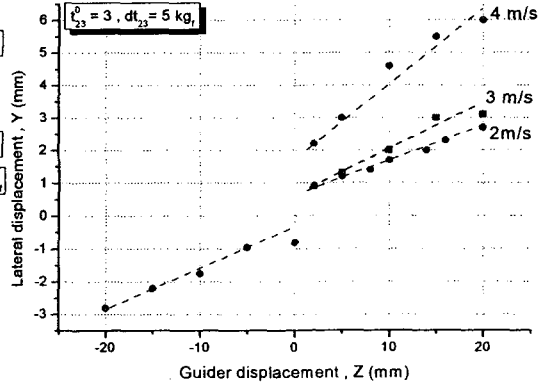


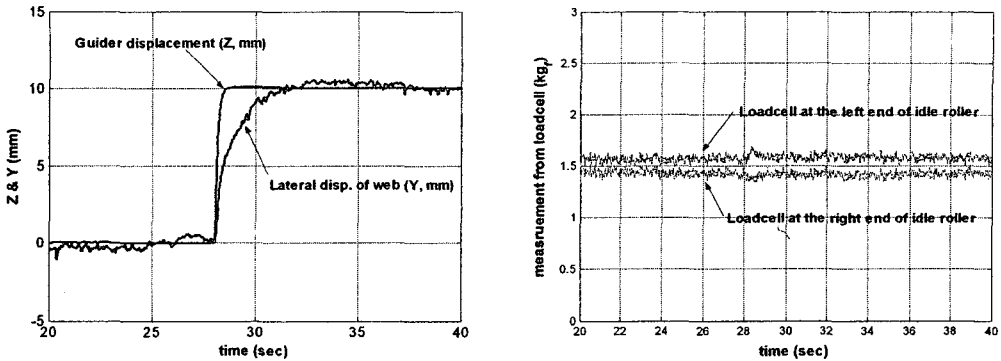
Fig. 6. Effect of web velocity

3.5. 사행변화에 따른 장력변화

장력의 변화가 사행거동에 영향을 미치는 것과 함께, 가이드의 움직임에 의한 소재의 사행거동에 의해 장력제어 시스템에서 받는 장력의 영향을 알아보기 위한 실험결과의 한예를 Fig. 7에 나타내었다.

운전장력 3kgf, 운전속도 2m/s로 소재를 이송시키는 중에 (a)에서와 같이 가이드의 변위를 10mm만큼 이송방향에 대해 좌측으로 이동시켜 소재의 폭방향 변위를 유발시켰다. (b)는 고정된 롤러의 축 양단에 설치된 로드셀로부터 측정된 하중을 나타낸 것이며, 이 두 신호의 합력이 소재의 장력이 된다. 소재의 사행변위가 발생함에 따라 각 로드셀로부터 측정되는 하중의 변화가 나타남을 볼 수 있으나, 그 크기가 매우 작고, 두 로드셀의 하중을 더한 결과는 일정한 값을 유지하게 된다. 이와같이 소재의 사행변위에 따라 고정된 롤러의 양단에서 측정되는 두개의 로드셀 하중은 그 변화가 매우 미약하

여장력제어 시스템에 미치는 영향은 무시할만 하다.



(a) Position of guider roller and web (b) Loadcell output signals

Fig. 7. Loadcell output signal according to the lateral position of a web

5. 결론

본 연구를 통해 기존의 장력 및 사행제어 시스템이 서로 상호영향을 미침을 실험적으로 확인하였다. 특히 특정범위의 운전조건하에서는 이러한 영향이 기존의 소재의 사행 위치만을 되먹임하는 독립적인 사행제어시에 과도구간 오차를 유발하게 됨을 확인하였다. 그 결과를 간단히 정리하면 다음과 같다.

- 1) 운전속도와 운전장력에 따라 장력의 동적변화가 소재의 사행거동에 영향을 미치는 영역과 상호영향이 나타나지 않는 운전영역이 존재한다. 이러한 운전영역은 비구동롤러인 가이드 롤러와 소재의 이송속도가 동일한 경우에는 장력변화에 따른 사행변위의 변화가 없는 경우인 것으로 판단된다.
- 2) 장력과 사행변위간의 상호영향이 나타나는 범위내에서, 초기 운전장력이 높을 수록 장력변화에 따른 사행변위의 변화는 작아진다.
- 3) 일정한 운전속도와 운전장력으로부터 장력의 변화량이 증가할수록 사행 변위는 특정한 범위내에서 증가하는 성향을 보인다.

- 4) 기준 운전장력과 장력변화량이 동일한 경우, 운전속도가 증가함에 따라 사행변위의 변화는 크게 나타남을 확인하였다.
- 5) 롤러의 축방향 변위(Z) 또는 이에따른 롤 기울임 각도가 증가할 수록, 장력변화에 대한 사행변위도 증가한다.
- 6) 소재의 폭방향 위치의 변화는 장력제어를 위해 되먹임되는 장력의 평균값 (Average tension or resultant tension force)에는 영향을 미치지 못한다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-000-00385-0) 지원으로 수행되었음.

인용문헌

- (1) K. L. Knox, T. L. Sweeney, 1971, "*Fluid Effects Associated With Web Handling*", Industrial Engineering Chemical Process Design Development, Vol. 10, No. 2, pp. 201-205.
- (2) K. S. Ducotey, J. K. Good, 1999, "*Predicting Traction in Web Handling*", ASME Journal of Tribology, Vol. 121, pp. 618-624.
- (3) L. Sievers, M. J. Balas, A. Flotow, "*Modeling of Web Conveyance Systems for Multivariable Control*", IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 33, No. 6, pp524-531, 1988.
- (4) G. E. Young, J. J. Shelton, B. Fang, "*Interaction of Web Spans : Part I - Statics*", Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 111, pp490-496, 1989.
- (5) G. E. Young, J. J. Shelton, B. Fang, "*Interaction of Web Spans : Part II - Dynamics*", Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 111, pp497-504, 1989.