

고속인쇄기를 교체과정의 장력특성 해석.

이봉주*, 김성환, 강철구(건국대 기계공학과)

Analysis of tension properties at roll changing process of a high speed printing machine

B.-J. Lee, S.-H. Kim, C.-G. Kang (Mechanical Eng. Dept., Konkuk Univ.)

ABSTRACT

Tension control performance is very important in high-speed printing machine. One of the major factors that effect to tension control performance is the process of roll changing. Even if the turret arm moves during roll changing process and the span length of the unwinding system varies, it is customary to neglect it in motion and tension control and to consider it as a disturbance. In this paper, its effect is modeled nonlinearly and compared with linear model, and an effect of an infeed dancer is analyzed under the condition with no unwinder dancer. We verify the performance of the proposed method via simulation in the high-speed printing machine.

Key Words : Unwinder (풀림롤), Roll change (롤교체), Web tension (웹 장력), Gravure printing machine(그라비아 인쇄기)

1. 서론

인쇄술의 발달로 다양한 인쇄물들이 생산되고 있다. 인쇄 방법에서도 고속, 고정밀화가 요구되고 있다. 본 연구에서는 인쇄기, 특히 그라비아(gravure) 인쇄기의 롤 교체 과정에 대해 연구 하였다. 롤 교체과정은 인쇄물의 고속, 고정밀화에 필요한 웹(web)의 장력에 가장 큰 영향을 미치는 부분이며 연속적인 인쇄 원단을 공급하는 부분으로 비선형성이 강하고 장력 변화 요인이 많이 나타난다. 인쇄기의 각 스펠(span)간 상호 영향을 해석하기 위해 비선형 모델을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하고, 롤 교체과정에서의 장력특성을 해석하였다. 물론 선형모델은 시스템의 특정조건에 대해 그 특성을 이해 하는데 도움이 되지만 전체 시스템을 표현하는데 어려움이 있다. 따라서 비선형적이고 시변성이 강한 그라비아 인쇄기에 직접 적용할 수 있는 비선형 모델의 유도과 이의 시뮬레이션이 필요하다.

최근 선진국의 구매자(customer)들은 500mpm 정도의 높은 운전 속도와 ±0.1mm 정도의 인쇄 오차를 요구 하고 있다. 따라서 기존 인쇄 시스템의 생산 속도 증가로 인해 발생하는 문제들에 대해 언급하고 장력 제어 범위를 만족하기 위한 변수를 설정하고 제안 하였다. 그리고 장력 레귤레이터(regulator)인 댄서(dancer)의 유무에 따른 장력변화 및 특성을 비교하였다. 또한 기존 인쇄 시스템의 롤 교체과정에서의 개선방안을 제시하였다.

2. 시스템 구성

Fig. 1 은 장력제어 구성도를 나타낸다. 장력의 관점에서 인쇄기를 웹을 공급하는 부분과(unwinding part) 다시 웹을 회수하는 부분(rewinding part)으로 나누어 생각할 수 있다. 웹을 공급하는 부분은 다시 롤을 교체하는 부분(turret)과 장력을 조정하는 부분(dancer)으로 나눌 수 있다. 스펠에 따라 속도는 달라지고, 동일한 스펠 내에서는 장력이 같다고 가정한다. 이는 구동롤이 웹과 접촉하는 면에서 미끄러짐이 없다는 가정하에서 만족된다.

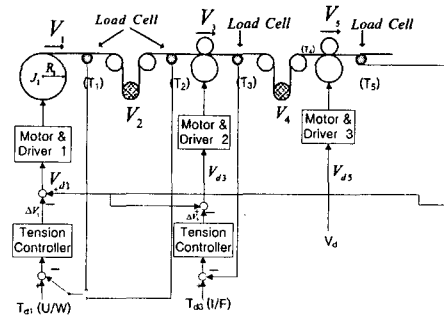


Fig. 1 Schematics of web tension control

Fig. 1 을 기준으로 장력모델을 구성하고 Multi-input multi-output(MIMO) 관점에서 시스템 전체를 모델링한다. 시스템의 모델링이 현실적으로 어려운 부분은 기존 시스템의 데이터를 기준으로 산출하였다.

3. 장력 모델

웹에 발생하는 장력을 표현하기 위해, 장력에 큰 영향을 미치는 세 가지 변수를 고려하여 장력 모델을 유도한다. 이 세가지 변수는 웹속도, 이전 스펀의 장력과 스펀길이다. 식 (1)은 선형으로 유도된 선형 장력모델이고[1,2], 식 (2)는 본 논문에서 유도된 비선형 모델을 보여주고 있다.

$$L\dot{t} = t_1V_1 - t_2V_2 + AE[V_1 - V_2] \quad (1)$$

$$L\dot{T}_1 = V_1T_0 - (\dot{L} + V_2)T_1 + (V_2 - V_1 + \dot{L})AE \quad (2)$$

4. Simulation

실제의 시스템에서는 각 섹션 별로 장력이 다르지만 선형 식에서는 이를 확인 할 수 없다. Fig. 2는 선형과 비선형 모델의 장력전달 차이를 보여주는 시뮬레이션 결과이다. 장력 T1, T2 의 지령치는 각각 100 N, 110 N으로 일정하다고 가정하고 이전 스펀의 장력전달만을 고려한 것이다. 여기서는 비선형식이 이전 스펀의 장력을 추종함을 보여준다. 이는 비선형 모델의 사용이 타당함을 보여준다.

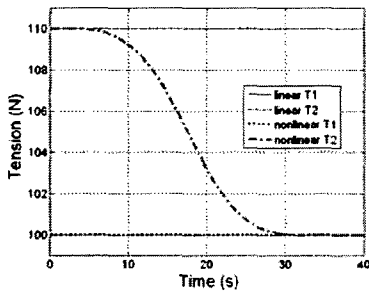


Fig. 2 Comparison between linear and nonlinear model

덴서의 영향을 확인하기 위해 Fig. 1 에서와 같이 I/F 에 덴서를 추가한다. 여기서 사용한 덴서는 Passive dancer로서 저주파수 영역에서 Active dancer보다 효율적이라고 알려져 있다[3]. 모델은 Ramamurthy[3]의 모델을 사용하였다.

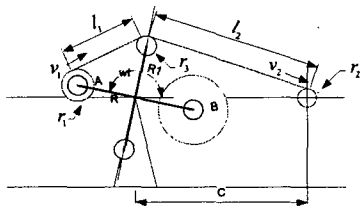


Fig. 3 Schematics of the turret system

실제시스템에서 길이 변화를 고려하지 않고 장력 제어를 수행하면 제어부하가 커지고 장력제어 성능이 저하되는 문제점이 있다. 본 연구에서는 터릿의

회전에 따른 다음 식 (3)과 (4)를 속도지령치에 고려함으로써 장력 변화를 크게 줄일 수 있었다.

$$l_1 = \sqrt{R^2 + R_1^2 - (r_1 - r_2)^2} \quad (3)$$

$$l_2 = \sqrt{\left(R_1 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) - C\right)^2 - \left(R_1 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)\right)^2 - (r_2 - r_1)^2} \quad (4)$$

본 장력제어에서는 PID 제어를 사용하는데, 덴서가 없을 때는 적분제어를 사용하지 않고, 또 Infeed 모터는 Unwinder 모터보다 비례제어상수를 작게 해야 안정화 되는 것을 볼 수 있다. 주의할 점은 비선형 모델의 시뮬레이션은 모든 값이 초기 가속부터 시작하여야 에러가 발생하지 않는다. Fig. 4에서 덴서가 제거되면 장력의 크기는 감소하지만, 외란에 민감하게 반응 하는 것을 볼 수 있다.

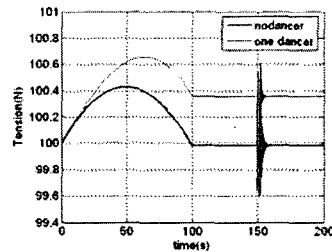


Fig. 4 Response for disturbance

5. 결론

본 연구에서는 고속 그라비아 인쇄기의 Simulator 제작에 앞서 시스템을 컴퓨터로 시뮬레이션하여 이의 성능을 예측하고자 인쇄기의 Unwinding part 와 Infeeding part 그리고 덴서에 대해 모델링한 결과와 이의 시뮬레이션을 보여 주고 있다. 웹 장력을 정확하게 표현하기 위해 비선형 장력 모델을 사용하였고 장력제어를 위한 두 가지 방법에 대해 비교하였다. 또한 PID 제어기 사용 시 파라미터의 경향에 대해 논의하였다. 인쇄기의 구조 변경 및 설계 검증을 위해서 본 논문의 결과를 반영한다면 인쇄기의 제작비를 절감하고 개발 기간을 단축시킬 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 서울시 신기술연구 개발지원사업 (2005)의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. K. Shin, Tension Control, TAPPI Press, 2000.
2. 이봉주, 강철구, 대한기계학회 추계학술대회는 문집, pp. 2663-2667, 2005.
3. R. V. Dwivedula, et al., Control Engineering Practice, pp. 489~498, Elsevier, 2003.