롤투롤 인쇄시스템에서의 종방향 레지스터 보상 제어기 설계에 대한 연구

A Study on the Compensator of the MD Register in Roll-to-roll e-Printing System

*강현규 [1], *이창우 [1], #신기현 [2]

*H. K. Kang[1], *C. W. Lee[1], #K. H. Shin(khshin@konkuk.ac.kr)[2]

[1] 건국대학교 유연디스플레이 연속공정연구소, [2] 건국대학교 기계공학부

Key words : Machine directional register, Compensator, Roll-to-roll, Printed electronics

1. 서론

롤투롤 연속공정 인쇄기술을 이용한 유연 전자 소자의 제작을 위해서 잉크젯, 그라비어, 플렉소, 오프셋등의 인쇄기술을 응용한 연구들이 수행되고 있다. 높은 생산성을 달성하기 위해서 sheet printing 같은 불연속 인쇄기법이 아닌, 연속 인쇄기술을 이용한 다층인쇄기술이 필수적이다. 이때, 감김롤과 풀림롤 사이에 위치한 인쇄롤에서 롤의 위상변위 및 장력변위가 발생하게 된다. 이는 롤 관성과 건조기 내부의 온도변화, 소재의 측방향 변위 등이 원인이다. 특별히 소재의 장력 변위는 종방향 레지스터 에러의 주요 원인이기 때문에 연속공정 롤투롤 인쇄를 위해서는 종방향 레지스터를 최소화 하기 위한 소재의 장력 제어가 필수적이다. 본 논문에서는 인쇄롤의 위상 변위로 인해 상류에서 발생하는 종방향 레지스터 에러를 제어하기 위한 보상기를 설계하며, 제안된 보상기의 성능을 확인하였다.

2. 종방향 레지스터 보상기 설계

종방향 레지스터 제어시스템은 인쇄롤, 인쇄롤 구동 모터 및 모터 드라이버, 레지스터 측정용 센서로 구성된다. 이때, 인쇄롤 구동모터를 식(1)과 같이 2 차 시스템으로 모델링 할 수 있다. 또한 인쇄롤의 각속도와 접선 속도는 식(2)로 표현된다. 인쇄롤의 접선 속도는 식(3)과 같이 이송되는 소재의 장력 변화를 유발시킨다.

$$G_m(s) = \frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{k_m}{s^2 + a_m s + k_m} \quad (1)$$

$$K(s) = R\dot{\theta}(s) \quad (2)$$

$$T_n(s) = \frac{1}{Ls + \bar{v}}\left[\bar{v} \cdot T_{n-1}(s) + \{V_n(s) - V_{n-1}(s)\}\right] \quad (3)$$

단, U(s)는 모터 입력, a_m, k_m 은 모터상수, θ 는 모터 회전 각도, R 은 인쇄롤 반경, $\bar{v}$ 는 운전 속도, T 는 장력 변위, V 는 속도 변위이다.

제안하는 종방향 레지스터 보상기의 블록선도는 Fig. 1 과 같다. 특정 스팬에서 발생된 종방향 레지스터 외란을 제어하기 위한 인쇄롤의 위상변위는 인접 스팬의 종방향 레지스터 외란의 원인이 된다. 이러한 상호간섭은, 특정 인쇄롤의 위상변위는 상류 및 하류 인쇄롤과 동일 크기, 반대 방향의 상대적인 위상 차이의 원인이기 때문이다. 종방향 레지스터는 식(4)로 표현되며, 종방향 레지스터 상호간섭을 제어하기 위한 보상기 출력은 식(5)와 같다.

$$R_x(s) = F_{up}(s)V_{n-1}(s) + F_{dn}(s)V_n(s) \quad (4)$$

$$U_{comp}(s) = -\frac{F_{up}(s)}{F_{dn}(s)}V_{n-1}(s) \quad (5)$$

단, $F_{up}(s) = \left[\bar{v}/\left(Ls + \bar{v}\right)\right]\left(L/Ls + \bar{v} + e^{-\tau s}/s\right)$,

$F_{dn}(s) = -\bar{v}/\left\{s\left(Ls + \bar{v}\right)\right\}$ 이다.

3. 실험적 검증

3 개의 인쇄롤을 갖는 다층 그라비어 인쇄기를 이용하여 제안된 종방향 레지스터 보상기의 성능검증을 수행하였다. 실험의 개략도는 Fig. 2 에 도시하였으며, 실험 조건은 Table 1 과 같다. 인쇄구간을 제외한 모든 스팬의 장력은 PI 제어기와 로드셀을 이용하여 제어된다. 인쇄구간의 각 인쇄롤은 동일한 위상을 갖도록 위상제어가 수행된다. 이때, 두번째 인쇄롤을 이용하여 위상 외란을 발생시키고, 세번째 인쇄롤을 사용하여 제안된 종방향 레지스터 보상을 수행한다. 단, 운전속도는 30m/min, 운전장력은 100N 이다. Fig. 3 에서, 제안된 보상기는 하류의 레지스터 외란(R_{x2})의 최대값을 0.5mm 이내로 제어하고 있으며, 이때 장력은 Fig. 4 와 같다.

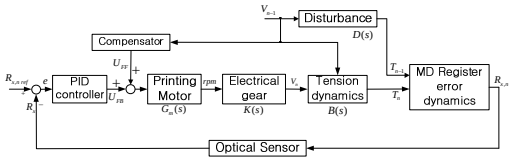

Fig. 1 Block diagram of the compensator for MD register

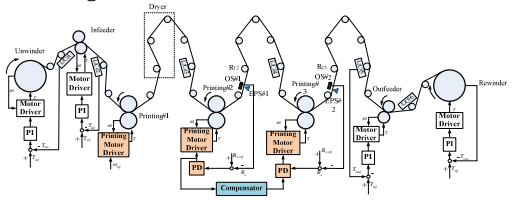

Fig. 2 Schematic of three-layer direct gravure printing system

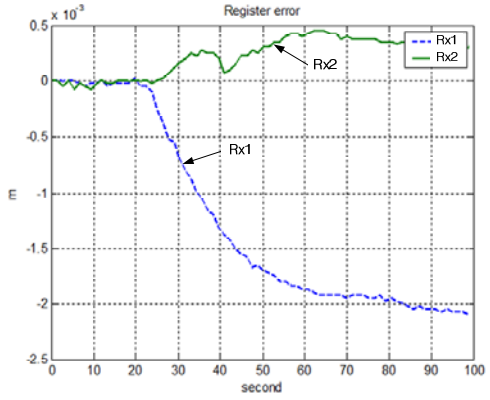

Fig. 3 Performance of the compensator of MD register control(MD register)

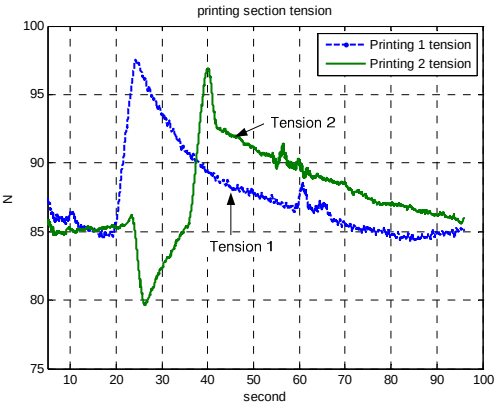

Fig. 4 Performance of the compensator of MD register control (tension)

Table 1 Experimental conditions

Span length	Young's Modulus	Width of web	Thickness of web
8 m	3.6 GPa	1 m	12 um

4. 결론

인쇄롤의 위상변위로 인해 하류로 전달되는 종방향 레지스터 외란 보상기를 설계하고, 제안된 보상기의 성능을 실험적으로 검증하였다. 이는 인쇄롤의 위상변위로 인한 상류와 하류 레지스터의 상호 영향을 감소시키므로 레지스터 제어정밀도를 향상 시킬 수 있다.

후기

본 연구는 '지식경제부 산업원천 기술개발 사업(10035641)' 의 지원, 서울시 산학연 협력사업(10848)' 의 지원 하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. G. Brandenburg, "New mathematical models for web tension and register error," Proc. 3rd Int. IFAC Conf. Instrum.Autom.Paper, Rubber Plastics Und., 411-438, 1977.
2. T. Yoshida, S. Takagi, Y. Muto, T. Shen, "Register control of sectional drive rotogravure printing press," Proc. Of the 41st CIRP Conf. manuf. Syst., 417-420, 2008.