

그라비어 프린팅 시스템에서의 장력 추정기 설계에 대한 연구 A Study on the Design of Tension Estimator in Gravure Printing System

*이창우¹, 이장원², #신기현³, 권순오⁴

*C. W. Lee¹, J. W. Lee², #K. H. Shin(khshin@konkuk.ac.kr)³, S. O. Kwon⁴

¹ 건국대학교 대학원 기계설계학과, ² 건국대학교 기계항공공학부

³ 성안 기계 (주)

Key words : Tension Estimator, Register Error, Gravure Printing, roll to roll

1. 서론

고속 인쇄를 목적으로 하는 그라비어 프린팅 시스템은 대단위 롤투롤(roll to roll) 공정의 대표적인 시스템이다. 그라비어 프린팅(gravure printing) 시스템은 매우 얇고, 유연한 웹(web)이 소재로 사용되며, 다양한 공정 제어가 이루어지고 있다. (e.g. tension, register, motor and real-time control etc.)

그라비어 프린팅 시스템 중 인쇄 공정(printing process)에서는 일반적으로 인쇄 및 건조 공정이 이루어진다. 그러나 추가적인 비용 증대 및 공간상의 문제로 인하여 장력측정 센서의 설치가 용이하지 못하다. 이로 인한 적절한 시스템 제어가 이루어지지 않아 소재 파단 및 시스템 오작동 등의 문제가 발생할 수 있다.

이에 본 연구는 장력 센서(loadcell)가 설치되지 않은 인쇄 공정에서 다양한 제어신호로부터 효과적인 장력 추정기(tension estimator)를 설계함으로써 롤투롤 그라비어 프린팅 시스템의 안정적인 제어를 목적으로 한다.

2. Mathematical model

다음의 Fig. 1 은 대단위 롤투롤 그라비어 프린팅 시스템을 표현하고 있다. 또한 그라비어 프린팅 시스템 중 프린팅 공정의 개략도를 Fig. 2 에서 표현하고 있으며, ω 은 그라비어 구동 롤의 회전 속도, T_i 은 장력, Y_i 은 레지스터 에러, L 은 구동 롤간 스펠(span)을 표현하고 있다.

식(1)은 소재의 물성치, 정상상태의 운전속도와 이전 스펠의 정상상태 운전 장력을 통하여 현 스펠의 장력을 표현하는 선형화된 장력 모델이며¹, 식(2)는 토크 평형 모델³, 식(3)은 레지스터 에러에 대한 모델² 을 라플라스 형태로 표현하고 있다.



Fig. 1 Roll to roll gravure printing system

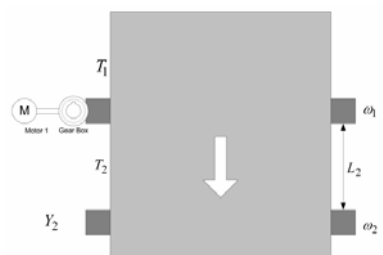


Fig. 2 Schematic of printing process in gravure printing system

$$T_2 S = \frac{v_{ref}}{L} (-T_2 + T_1) + \frac{AE}{L} (V_2 - V_1) \quad (1)$$

$$J_{eq} W_1 S + b W_1 - r_1 (T_2 - T_1) = \tau_1 \quad (2)$$

$$\frac{Y_2}{Y_N} = \left\{ \frac{\left(\frac{V_1 - V_2}{v_{ref}} \right)}{\left(\frac{Y_N}{v_{ref}} \right) \left(\frac{L}{v_{ref}} \right) S^2 + \left(\frac{Y_N}{v_{ref}} \right) S} \right\} + \left(\frac{T_1}{AE} \right) \left\{ \frac{-1}{\left(\frac{Y_N}{v_{ref}} \right) \left(\frac{L}{v_{ref}} \right) S^2 + \left(\frac{Y_N}{v_{ref}} \right) S} \right\} + \frac{\left(\frac{L}{v_{ref}} \right) S}{\left(\frac{Y_N}{v_{ref}} \right) S} \quad (3)$$

식(1)~(3)을 통하여, 현재 스펠의 장력 T_2 를 나타내는 식(4)를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_2 = \frac{v_{ref}}{\eta L} \left\{ \frac{\tau_1 - b W_1 - J_{eq} W_1 S + \left(\frac{\eta AE}{v_{ref}} \right) \left\{ \left(\frac{T_1 v_{ref}}{AE} \right) + \left(\frac{T_1 v_{ref}}{AE} \right) \left(\frac{L}{v_{ref}} S + 1 \right) e^{-\left(\frac{L}{v_{ref}} \right) S} - \frac{Y_2}{Y_N} \left(\frac{Y_N L}{v_{ref}} S^2 + Y_N S \right) \right\}}{S} \right\} \quad (4)$$

식(4)는 레지스터 에러 값과 모터의 토크 값을 입력으로 하여 현 스펠의 장력 값을 추정하는 수학적 모델이다. 식(4)에서, 측정되는 레지스터 에러 값(Y_2/Y_N)과 모터의 토크 값(τ_1), 그리고 모터의 속도 값(W_1)을 제외하면 모두 주어지는 값이므로 현장에서 측정되는 값들을 이용하여 보다 정확한 장력 값을 예측할 수 있다.

3. Simulation

식(4)와 같이 유도된 장력 추정 알고리즘 모델의 정확성을 검증하기 위하여 다음의 Table 1 과 같은 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 1 Simulation conditions

Symbol	value	Expression
J_{eq}	0.2702 [kgf·m ²]	Equivalent inertia
b	0.03	Bearing friction
V_{ref}	500 [mpm]	Operating velocity
T_{ref}	100 [N / m]	Operating tension
Y_N	0.01 [mm]	Normal register error
E	882 [Mpa]	Young's modulus
L	7.983 [m]	Span length

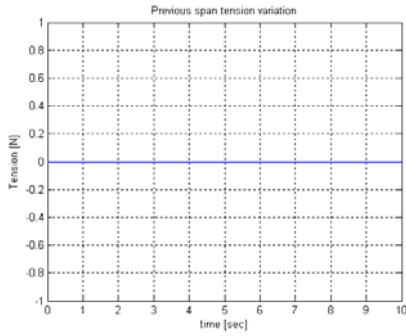


Fig. 3 Previous span tension variation (regulation)

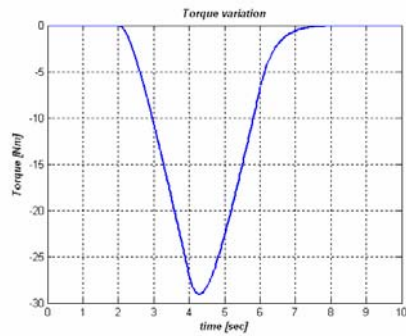


Fig. 4 Torque variation

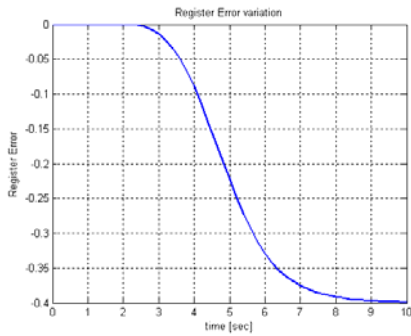


Fig. 5 Register error variation

이전 스펠로부터 현재 스펠으로 유입되는 장력의 외란은 없으며(Fig. 3), 현 스펠의 입력 모터의 토크 변화는 Fig. 4와 같고, 레지스터 에러는 Fig. 5와 같이 측정된 경우, 식(4)를 이용하여 예측된 현재 스펠의 장력 값은 Fig. 6과 같다. Fig.6에서 실선은 레지스터 에러 값을 이용하여 예측된 장력 변화이며, 점선은 실제 장력 값을 의미하고 있다.

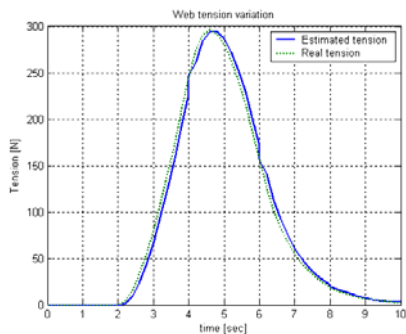


Fig. 6 Estimated tension variation

추정된 장력과 실제 장력 사이에는 약 0.1 초 정도의 지연을 나타내고 있는데, 이는 식(4)에서 알 수 있듯이, 레지스터 마크의 이송에 따른 시간 지연(time delay) 항에 포함되어 있기 때문이다. 즉, 이러한 시간지연 항을 제외하고는 모두 동일한 장력 값을 나타내고 있다. 이러한 결과를 통하여 제시된 장력 추정 알고리즘은 주어진 입력조건(레지스터에러, 토크 값)을 통하여 변화되는 소재의 장력 값을 오차 없이 예측하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문은 레지스터 에러 값, 모터의 토크 값, 이전 스펠의 장력과 같은 다양한 제어 신호로부터 현재 스펠의 장력의 추이를 시뮬레이션 했으며, 효과적인 알고리즘임을 확인하였다. 이러한 장력예측 알고리즘의 적용을 통하여 고비용이 소요되는 장력 센서(loadcell)의 설치 없이 프린팅 구간에서의 정밀한 장력제어를 수행할 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 정밀한 장력제어를 통하여 고정밀 프린팅 공정에서의 인쇄 에러를 최소화 할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. K. H. Shin, "Tension Control," Tappi press, 2000.
2. G. Brandenburg, "New Mathematical Model For Web Tension and Register Error," 3rd International IFAC Conference On Instrumentation and Automation, 1, 411-438, 1976
3. K. Ogata, "System Dynamics, 3rd," Prentice hall, 1998