

웹의 폭방향 위치 변위 제어를 위한 시뮬레이션 소프트웨어 Simulation Software for Lateral Displacement Control of a Moving Web

*신현훈¹, 호 탐탄², #이상윤³

*Hyeunhun Shin¹, Thanh Tom Ho², #Sangyoon.Lee(slee@konkuk.ac.kr)³
1-3 건국대학교 기계설계학과

Key words : Lateral control, Moving web, Simulator model, LACOSIM

1. 서론

Roll-to-Roll(R2R) 공정 중에서 폴림롤, 이송 롤러 및 감김 롤러를 중심으로 웹을 이송시키는 과정에서 웹의 폭 방향으로의 운동을 폭방향 위치 변위라 한다. 폭방향 위치 변위는 기본적으로 소재에 작용하는 장력과 마찰력에 의하여 발생하는데 여러 단계의 프로세스(그라비아, 코팅, 건조등)를 지나면서 받게되는 온도, 습도의 변화와 장력, 속도등의 조건이 급격히 변화할 때 폭방향 변위가 발생 한다. 이송중인 웹에는 롤의 정렬 불량, 롤의 직경변화, 소재의 폭방향거동, 소재 특성 변화 등의 여러 가지 원인에 의하여 폭방향 변위가 발생할 수 있다.

R2R방식으로 전자소자를 생산하기 위해 여러 분야에서 연구들이 활발하게 진행되고 있으며 기존의 전통적인 인쇄공정보다 더욱 정밀하게 폭방향 변위를 제어할 수 있는 제어기법이 필요하다.

본 논문은 이송하는 웹의 폭방향 위치 변위를 제어하기 위해 개발된 시뮬레이션 기법(PID)과 그래픽 기반의 시뮬레이션 모델, 폭방향 제어 알고리즘을 하나의 인터페이스로 연결한 소프트웨어(LACOSIM)를 소개하고자 한다.

2. 수학적 모델

웹의 폭방향 위치 변위를 모델링하기 위해 여러 가지 수학적 모델 중 웹의 폭방향 위치를 묘사하기에 적합한 Shelton¹의 1차, 2차 모델을 이용하였다.

2.1 Shelton의 1차 모델

1차 모델(Fig.1)은 웹의 질량과 폭방향 강성을 무시하여, 폭방향 탄성 거동을 단순화시킨 기본적인 모델, 식(1)이다.

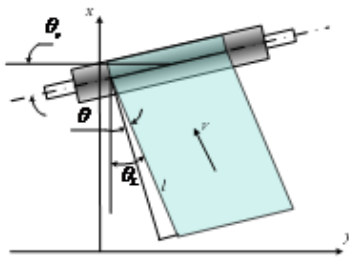


Fig. 1 First Model of Idealized Web Behaviour

$$\frac{dy}{dt} = V(\theta_L - \theta_r) + \frac{dz}{dt} \quad (1)$$

여기서 Δy 는 폭방향 변위, z 는 롤러의 축방향 변위, θ_r 은 롤러와 y 축 사이의 각도, θ_L 은 웹과 x 축 사이의 각도를 나타낸다.

2.2 Shelton의 2차 모델

2차 모델(Fig.2)은 움직이는 웹의 강성과 여러 가지 물리량들을 포함하여 폭방향 변위의 탄성변형을 고려한 것으로 롤러를 지나는 웹에 대해 식(2)와 같은 전달함수로 표현된다.

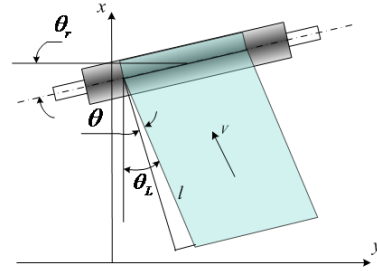


Fig.2 Second Model of Web passing Two Rollers

$$\frac{Y_L(s)}{Y_0(s)} = \frac{f_1(KL)}{s^2 + \frac{f_2(KL)}{\tau}s + \frac{f_1(KL)}{\tau^2}}, \quad \tau = \frac{L}{V} \quad (2)$$

$$f_1(KL) = \frac{(KL)^2 (\cosh(KL) - 1)}{KL \sinh(KL) - 2 \cosh(KL) + 2}$$

$$f_2(KL) = \frac{KL(KL \cosh(KL) - \sinh(KL))}{KL \sinh(KL) - 2 \cosh(KL) + 2}$$

$$f_3(KL) = \frac{KL(\sinh(KL) - KL)}{KL \sinh(KL) - 2 \cosh(KL) + 2}$$

여기서 τ 는 L/V 이고 $K = \sqrt{T/EI}$ 로 T 는 장력, E 는 웹의 탄성계수, I 는 단면에 대한 관성 모멘트이다.

3. 폭방향 위치제어

웹의 폭방향 위치 변위를 시뮬레이션하기 위해 평행한 롤러를 동일한 중심점을 기준으로 회전시키는 변위형 가이드(Displacement Guider, Fig.3)모델을 적용하였다.

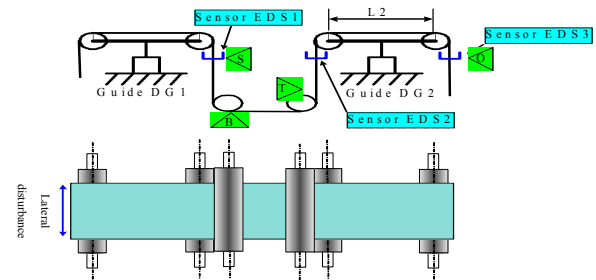


Fig.3 Displacement Guider Model

식(3)은 변위형 가이드의 수학적 모델을 나타내고 있으며 L_2 는 변위형 가이드의 길이, L_p 는 동일한 중심점을 기준으로 이동된 가이드 롤러의 거리를 나타낸다.

$$G_G(s) = \frac{Y_L(s)}{Z(s)} = \frac{\tau^2(L_2/L_p)s^2 + (1+L_2/L_p)\tau s + L_2/L_p}{\tau^2(L_2/L_p)s^2 + (1+L_2/L_p)\tau s + 1}, \tau = \frac{L_2}{V} \quad (3)$$

Fig.4는 DC모터 모델, 웹의 폭방향 변위 모델과 PID 컨트롤러를 결합한 블록다이어그램을 보여주고 있다.

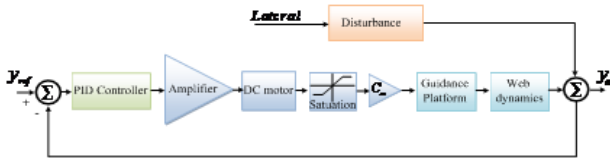


Fig.4 PID Control Block Diagram for Web Simulator

모델링하기 위해 사용된 Simulink는 다양한 기능들을 제공하지만 시뮬레이션을 시각화 하거나 실제 하드웨어와 연결하는 일은 쉽지 않다.

C++ 기반으로 제작된 LACOSIM은 움직이는 웹이나 DC모터의 수학적 모델을 구현할 수 있고, 가이드 시스템을 제어하기 위한 여러 가지 제어 알고리즘 (PID, Fuzzy, etc)을 적용할 있으며, 실제 가이드 시스템과의 연동 위한 제어 소프트웨어이다(Fig.5).

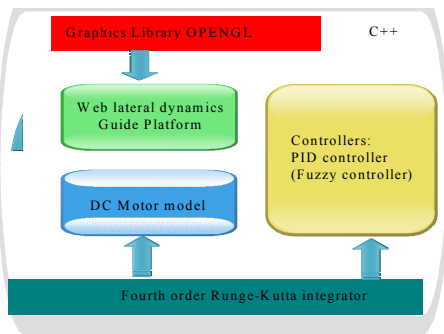


Fig.5 Structure of LOCOSIM

LACOSIM의 특징은 제어기의 출력 값과 수학적 모델들에 의해 생성된 출력 값들을 결합하여 그래픽 환경의 웹과 가이드의 움직임을 시각적으로 확인할 수 있다(Fig.6).

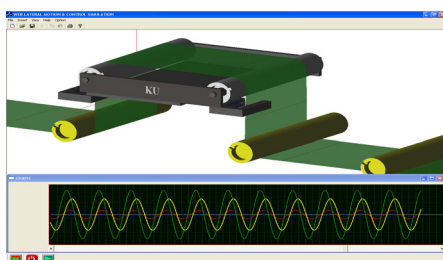


Fig. 6 Web lateral motion and control simulation software

3.3 시뮬레이션 결과

LACOSIM의 성능을 측정하기 위해 사인(Sine)과 스텝(Step) 신호를 입력하여 시뮬레이션이 수행되었으며 결과는 Fig.7과 같다.

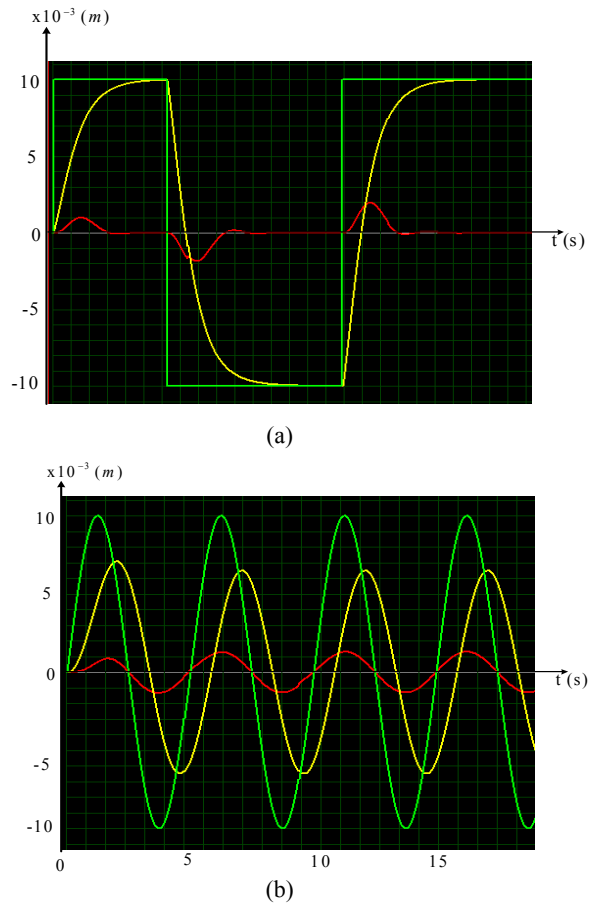


Fig.7 Simulation Results of Web Guide in LASOSIM with Sins(a), Step(b) Input

4. 결론

움직이는 웹의 폭방향 위치 제어를 위한 제어방법을 제시하고 시뮬레이션을 수행 하였다. 모델링, 시뮬레이션, PID 제어기법 결합한 LACOSIM 소프트웨어를 이용하여 효과적으로 폭방향 변위를 제어하였고 이는 가이드 시스템의 중요한 이정표를 보여 주고 있으며 R2R공정에서 매우 유용한 기능을 할 것이다.

그러나 시스템에 발생될 수 있는 error를 줄이면서 성능을 개선시키기 위해서 개선이 요구되며 차후에는 Fuzzy 컨트롤러를 LACOSIM에 적용하고, 실제 실험을 통한 시뮬레이터의 성능을 검증할 계획이다.

후기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 지원에 의해 수행 되었습니다.

참고문헌

- Shelton J.J. (1968). *Lateral dynamics of moving web*, Ph.D, dissertation Dept.Mech, Eng., Oklahoma State Univ., Stillwater, Oklahoma.
- Shin K.H., Kwon S.O., Kim S.H, Song S.H. (2004). Feedforward control of the lateral position of a moving web using system identification. *Industry Application, IEEE Transaction*, Vol. 40, 1637 - 1643.