

컨버팅 머신의 댄서 동특성 해석

강현규*, 성창엽(건국대 대학원 기계설계학과), 신기현(건국대 기계항공공학부)

Dynamics of Dancer Systems in Converting Machines

Hyun-Kyoo Kang, Chang-Youp Seong (Mechanical Design Dept. KKU), Kee-Hyun Shin (Mechanical and Aerospace Eng. Dept. KKU)

ABSTRACT

Dancer systems are most widely used mechanism for attenuation of tension disturbances. Lately, demands for high speed converting machines over 500mpm(m/min) are raising but domestic converting industries can not come up with the machines because capacities for a designing of the converting machine are restricted lower than 300mpm. Moreover roll-to-roll is attracted flexible display manufacturer's attention as a effective method for productivity. A constant tension level in the span before the first printing cylinder is the key of high speed quality printing. This paper presents a modeling and simulations of dancer systems on converting machines.

Key Words : Dancer modeling (댄서모델링), Converting machine (컨버팅 머신), Tension control (장력제어), roll-to-roll (롤투롤), Flexible display (플렉서블 디스플레이)

1. 서론

웹이란 필름, 제지, 철강, 섬유등과 같이 유연하고 길이 방향으로 연속적인 소재를 의미하며, 많은 산업현장에서 웹의 형태로서 압연코일 혹은 필름, 제지등과 같은 중간/최종단계의 생산품을 저장하고 있다.^[1] 종이 혹은 OPP, LDPE, PET같은 웹에 다중 컬러 인쇄를 하는 시스템을 컨버팅머신(converting machine)이라 한다.^{[2][3]}

또한 R2R(roll-to-roll)시스템을 적용한 플렉서블 디스플레이(flexible display) 생산이 원가절감을 위한 새로운 시도로 주목되고 있는 시점에서, 컨버팅머신에 대한 연구는 R2R-플렉서블 디스플레이 생산을 위해 지속적인 연구가 필요한 기술분야이다.^[4]

본 연구는Shin^[1]의 장력모델을 이용하여 공압실린더를 사용한 댄서시스템의 수학적모델을 개발하고, 시뮬레이션을 통하여 300mpm에서의 장력제어성능을 평가하였다.

2. 댄서시스템의 수학적 모델링^[1]

다음의 Fig. 1 과 같은 댄서 시스템에 대한 스트레인은 다음의 식(1), (2)와 같이 댄서롤의 움직임으로 인한 스트레인 변화(ϵ_{id})와 양단롤의 속도차에 의한 스트레인 변화(ϵ_{iv})의 선형조합으로 이루어진다고 가정한다.

$$\epsilon_1(t) = \epsilon_{id}(t) + \epsilon_{iv}(t) \quad (1)$$

$$\epsilon_2(t) = \epsilon_{2d}(t) + \epsilon_{2v}(t) \quad (2)$$

이때, 댄서롤의 움직임으로 인한 스트레인은 다

음의 식(3), (4)와 같다.

$$\epsilon_{1d}(t) = \frac{l_2 \theta(t)}{l_u} \quad (3)$$

$$\epsilon_{2d}(t) = \frac{l_2 \theta(t)}{l_d} \quad (4)$$

또한 양단롤의 속도차에 의한 스트레인은 다음의 식(5), (6)과 같다.

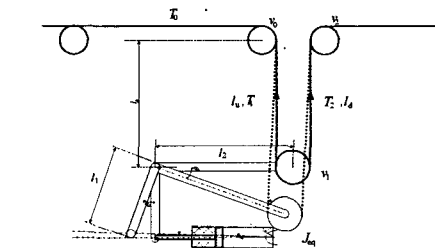


Fig. 1 Schematic of dancer systems

$$l_u \dot{\epsilon}_{iv}(t) = v_1(t) - v_1(t)\epsilon_{iv}(t) - v_0(t) + v_0(t)\epsilon_{0v}(t) \quad (5)$$

$$l_d \dot{\epsilon}_{2v}(t) = v_2(t) - v_2(t)\epsilon_{2v}(t) - v_1(t) + v_1(t)\epsilon_{1v}(t) \quad (6)$$

식(5), (6)에 식(3), (4)를 대입하여 선형화 및 근사화시켜 정리하면 식(7), (8)과 같다.

$$l_u \ddot{T}_1(t) = AE \{V_1(t) - V_0(t)\} + v_{00} T_0(t) - v_{10} T_1(t) + \frac{l_2}{l_u} AE v_{10} \theta(t) + AE l_2 \dot{\theta}(t) \quad (7)$$

$$I_d T_2 = AE(V_2 - V_1) + v_{10} T_1 - v_{20} T_2 + AE(v_{20} \frac{l_2}{l_d} \theta - v_{10} \frac{l_2}{l_u} \theta + l_2 \dot{\theta}) \quad (8)$$

식(7), (8)을 통하여 텐서를 전후의 선형화된 장력모델식을 얻을 수 있다.

3. 아이들롤(idle roll)의 모델링

아이들롤의 속도는 양단 장력차와 베어링 마찰에 의해서 결정된다. 따라서 아이들롤에서 장력에 의해 발생하는 토크는 다음의 식(9)과 같다.

$$J_d \ddot{\theta}_d(t) = \{t_2(t) + t_1(t)\} r_d - b_d \dot{\theta}_d(t) \quad (9)$$

식(9)를 선형화하면 속도모델 식(10)을 얻는다.

$$J_d \dot{V}_d(t) = \{T_2(t) - T_1(t)\} r_d^2 - b_d V_d(t) \quad (10)$$

결국 텐서 아이들롤의 속도는 롤 양단의 장력과 롤러의 관성모멘트, 롤러 반경, 베어링 마찰에 의해 결정된다.

4. 댄서암(dancer arm)의 모델링

텐서롤에 발생하는 장력과 공압 실린더에서 발생하는 스프링력, 공기압력으로 인하여 댄서암이 회전운동을 하게 되며 이에 대한 운동방정식은 식(11)과 같다.

$$J_{eq} \ddot{\theta}(t) = -l_2 \{t_1(t) + t_2(t)\} + \{P_0 A_0 - F_K(t)\} l_1 - b \dot{\theta}(t) \quad (11)$$

식(11)을 선형화하면 댄서암에 대한 운동방정식(12)을 얻는다.

$$J_{eq} \ddot{\theta}(t) = -l_2 \{T_1(t) + T_2(t)\} - \frac{24}{0.078} l_1^2 \theta(t) - b \dot{\theta}(t) \quad (12)$$

결국 댄서암의 운동은 T_1, T_2 에 의해 결정된다.

5. 시뮬레이션 및 고찰

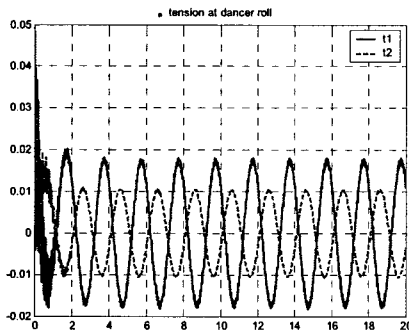


Fig. 2 Tension disturbances adjacent to dancer roll

식(7), (8), (10), (12)를 통하여 운전속도 300mpm 일 때, 장력외란 $20\sin(\pi \cdot 0.5)(N)$ 의 입력에 대한 출력장력을 Fig. 2에 도시하였다. t_1, t_2 는 각각 텐서를 전후 스패의 장력을 의미한다. 입력장력외란 크기인 20N 대비 0.01N으로 장력외란이 제어되며, 이는 컨버팅 머신의 요구조건인, 운전장력대비 2% 장력제어를 만족함을 확인하였다. Fig. 3은 댄서암의 회전각도를 의미한다. 댄서암의 회전 각도를 이용, 텐서를 통한 장력외란의 측정도 가능할 것이다.

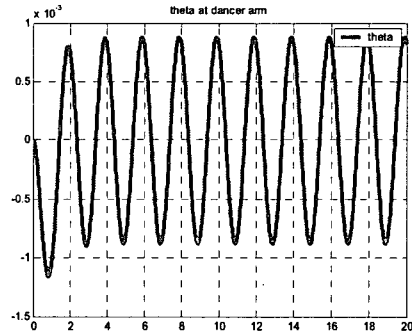


Fig. 3 Angle of dancer arm

6. 결론

본 연구는 장력모델을 이용하여 컨버팅머신에 장착된 댄서시스템의 수학적모델을 개발하고, 시뮬레이션을 통하여 300mpm에서의 장력제어성능을 평가하였다.

후기

본 연구는 (주)성안기계와의 “고속 운전을 위한 Converting machine의 설계에 대한 연구”의 일부로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Kee-Hyun Shin, “Tension Control,” Tappi Press, Atlanta, 2000.
2. Herbert L. Weiss, “Rotogravure and flexographic printing presses,” converting technology corp., Milwaukee, 1985.
3. Brandenburg, G, “New mathematical models for web tension and register error,” In proceedings of third international IFAC conference on instrumentation and automation in the paper, rubber and plastics industry, Vol.1, pp.411-438, 1977.
4. Gregory P. Crawford, “Flexible Flat Panel Displays,” John Wiley & Sons, Ltd, 2005.