

## 보상롤 타입 컨버팅 머신의 레지스터 에러 동특성 해석

김정인\*, 강현규(건국대 기계설계학과), 신기현(건국대 기계항공공학부)

### Dynamics of Register error on Compensator Roll type Converting Machines

J. I. Kim , H. K. Kang, K. H. Shin (Mechanical and Aerospace Eng. Dept. KKU)

#### ABSTRACT

Recently, it is concentrated on productivity improvement in high speed operation by converting industries. Register error is becoming the one of the most issued problem. Moreover register control is the key to product flexible displays through roll-to-roll systems. This paper presents a derivation of register error modeling. And the dynamics of register error is simulated under various conditions. Register error is affected by both roll velocity and tension between the front and back span. And dynamics of register error is to be an interaction in succeeding spans.

**Key Words:** Register error(레지스터 에러), Converting machine(컨버팅 머신), Compensator Roll(보상롤), roll-to-roll(롤 투롤), Flexible Display(플렉서블 디스플레이)

#### 1. 서론

최근 컨버팅 머신(converting machine) 제작자들의 기술개발 방향은 고속운전에 의한 생산성 향상에 초점을 두고 있다.<sup>[1]</sup> 현재 고속운전에 있어서 가장 고려되는 문제 중 하나가 인쇄 작업 시 발생하는 레지스터 에러(register error)이다. 레지스터 에러는 요구되는 이미지의 위치와 실제 인쇄된 이미지의 위치의 차이를 의미한다.

특히, R2R(roll-to-roll)시스템을 적용한 플렉서블 디스플레이(flexible display) 생산이 원가절감을 위한 새로운 시도로 주목되고 있는 시점에서, 레지스터 에러에 대한 제어기술은 R2R-플렉서블 디스플레이 생산의 핵심 기술로서 지속적인 연구가 필요한 분야이다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 보상롤 타입 컨버팅 머신의 레지스터 에러의 수학적 모델을 유도하고, 그 동적 특성을 시뮬레이션을 통하여 해석하고자 한다.

보상롤 타입의 레지스터 컨트롤 시스템은 프린팅 유닛 사이의 보상롤이 수직으로 움직여 에러를 보정하는 시스템이다. 수학적 모델링을 위하여 보상롤의 역할을 Fig.1 과 같이 각 롤의 병진운동으로 대체하였다.

레지스터 에러의 수학적 표현을 위해서 아래와 같은 파라미터(parameter)들의 정의가 필요하다.

- $x_B$  : coordinate of a web point
- $x_F$  : coordinate of a formcylinder point
- $t_p$  : printing moment
- $w_R$  : peripheral velocity
- $w_T$  : translational velocity
- $Y$  : register error
- $\varepsilon$  : strain

#### 2. 수학적 모델<sup>[3], [4], [5]</sup>

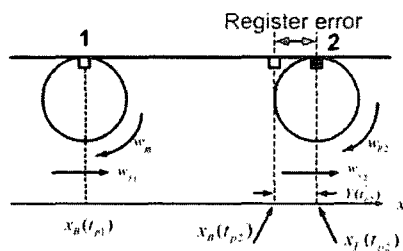


Fig. 1 Equivalent system & Definition of register error

Fig. 1 에서 볼 수 있듯이  $t_{p2}$  시점에서 레지스터 에러의 정의는 식(1)로 나타낼 수 있다. 또한 1 번 프린팅 롤에 의해 이동되는 소재의 길이는  $x_B(t_{p2})$  에 관한 적분방정식으로 유도될 수 있고, 식(2)와 같다.

$$Y(t_{p2}) = x_B(t_{p2}) - x_F(t_{p2}) \quad (1)$$

$$\int_{t_{p1}}^{t_{p2}} \frac{w_{R1}(t) + w_{T1}(t)}{1 + \varepsilon_{e1}(t)} dt = \int_{x_{F(t_{p1})}}^{x_{B(t_{p2})}} \frac{dx}{1 + \varepsilon_{e2}(x, t)} \quad (2)$$

식(2)의 양변을  $t_{p2}$  에 관하여 미분하고, 식(1)에 대입하면 식(3)의 레지스터 에러에 관한 최종식으로 정리할 수 있다. 식(3)에서  $\Delta x_B(t_{p2})$  는  $x_B(t_{p2}) - x_B(t_{p1})$  를 의미하고 식(2)를 이용하여 계산해 낼 수 있다.  $\Delta x_B(t_{p2})$  를 구하는 식에 스트레인(strain)의 변화와 속도변화가 포함되어 있다.

$$Y(t_{p2}) = \int_0^{t_{p2}-T} w_{r1} dt + \Delta x_B(t_{p2}) - \bar{I}_2 - \int_0^{t_{p2}} w_{r2}(t) dt \quad (3)$$

### 3. 레지스터 에러 시뮬레이션

레지스터 에러의 수학적 모델, 식(3)을 보면 레지스터 에러는 롤 속도와 스트레인에 의한 소재와 프린팅 실린더 사이의 위상차로 볼 수 있다. 따라서 레지스터 에러에 영향을 주는 파라미터들의 변화를 통해 레지스터 에러의 움직임을 시뮬레이션해보았다.

#### 3.1 속도변화로 인한 레지스터 에러

연속되는 2-스팬(span)시스템에서 보상롤을 움직여서 1 번 프린팅 유닛의 속도변화를 펄스(pulse)로 주었을 때, 레지스터 에러의 변화에 대하여 시뮬레이션 하였다. Fig.2 는 0.001 초 동안 0.001m/s 의 크기로 속도변화를 주었을 때 레지스터 에러의 응답이다.

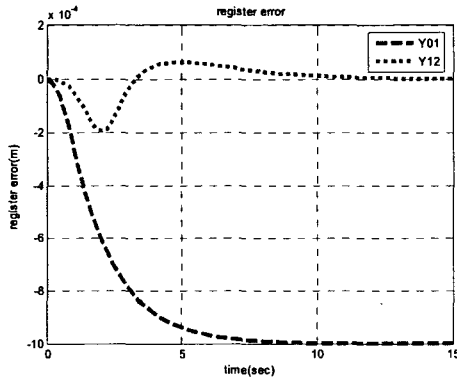


Fig.2 Register error by pulse input,  $V_1=0.001\text{m/m}$ , 0.001s

Fig.2를 보면 0, 1스팬에서 보상롤이 움직인 것은 물리적으로 스펠길이가 길어진 것과 동일한 의미이다. 따라서 Fig.2에서 0, 1스팬의 레지스터 에러는 정상상태로 수렴하는 경향을 보인다. 1, 2스팬은 속도변화는 없지만 전달된 장력으로 인한 과도응답이 나타난다.

#### 3.2 스트레인의 변화로 인한 레지스터 에러

레지스터 에러에 영향을 주는 또 하나의 요인으로는 스트레인의 직접적인 변화가 있다. Fig.3은 프

린팅 유닛 0의 스트레인 변화를  $\epsilon_0 = 5 \times 10^{-4}$ , 0.001s로 주었을 때, 0, 1스팬에서는 롤 속도의 변화가 없으므로 과도응답이 발생하나 다시 영으로 수렴하게 되고, 1, 2스팬은 이전스팬의 장력이 전달되어 미미한 과도응답이 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

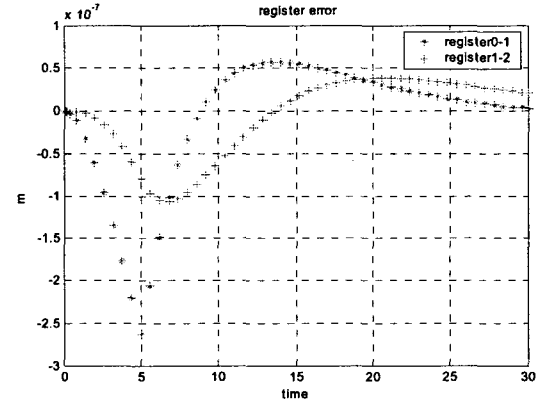


Fig.3 Register error by pulse input strain,  $\epsilon_0 = 5 \times 10^{-4}$ , 0.001s

따라서 레지스터 에러의 동특성은 앞, 뒤스팬의 인터액션(interaction)으로 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

### 4. 결론

본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 레지스터 에러에 영향을 주는 파라미터는 앞, 뒤스팬의 속도차와 스트레인 변화이다.
2. 레지스터 에러의 거동은 연속되는 스펠의 인터액션으로 나타난다.

### 후기

본 연구는 ㈜성안기계와의 연구과제의 일부로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

### 참고문헌

1. H. L. Weiss, *Rotogravure and Flexographic Printing Press*, Converting Technology Corp., 1985.
2. Gregory P. Crawford, "Flexible Flat Panel Displays," John Wiley & Sons, Ltd. 2005.
3. G. Brandenburg, "New mathematical models for web tension and register error," in *Proc. 3rd Int. IFAC Conf. Instrumentation and Automation in the Paper, Rubber and Plastics Industries (PRP 3)*, Brussels, Belgium, 1976, pp. 411-438.
4. Kee-Hyun Shin, "Tension Control," Tappi press. 2000.
5. Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, JR, "Mechanics of Materials," Mc Graw Hill, 1992.