

## 비선형관측기를 리용한 봉지포장기의 장력조종체계 설계와 실현에 대한 연구

리준일, 남광현

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《모든 부문, 단위들에서 과학기술에 의거하지 않고서는 그 어떤 일에서도 성과를 거둘수 없다는 관점과 입장을 가지고 과학기술발전에 선차적인 힘을 넣으며 모든 문제를 과학기술에 기초하여 풀어나가야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화 보고》 단행본 44페이지)

논문에서는 경공업부문의 제품포장에서 중요한 봉지포장기를 현대적으로 설계제작하는데서 제기되는 과학기술적문제들을 해결하였다.

선행연구에서는 포장재감기기계의 동력학모형화와 관련한 동력학적모형을 조절기설계와 세로장력관측기를 설계하는데 리용하였으며[1, 2] 두 경간의 앞착면부분토막에 대한 장력조종체계의 부분으로 관측기를 리용하였다.[3]

논문에서는 새롭게 설계제작한 봉지포장기의 장력조종체계를 장력수감부가 없이 설계실현하는데서 제기되는 과학기술적문제들을 설정하고 해결하였다.

### 1. 포장재당김계통의 동력학적모형화

포장재감기기계체계의 수학적모형작성을 위해 다음과 같이 가정한다.

- 포장재당김과정에 장력조절기구의 건달로라의 쓸림은 무시한다.
- 건달로라의 관성은 령이며 포장재는 포장과정에 미끌지 않는다.
- 롤과 포장재사이의 정전기효과는 무시한다.
- 경간길이는 일정하며 측면변형은 없다.

이 가정하에서 봉지포장기 포장재장력계통의 간략도를 그림 1에 보여주었다.

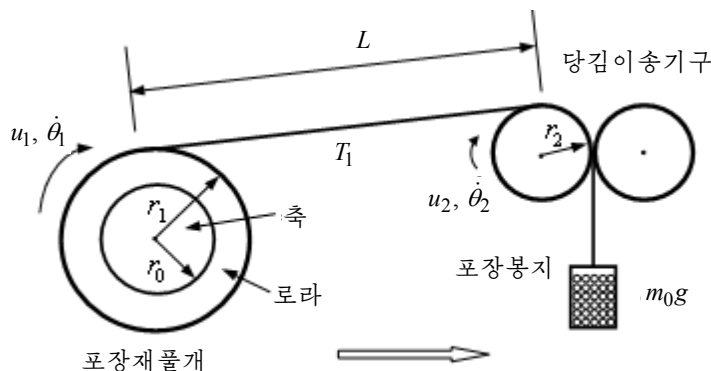


그림 1. 봉지포장기 포장재장력계통의 간략도

봉지포장기의 포장재이송에 관한 동력학적모형은 다음과 같다.

$$J_1(r_1)\ddot{\theta}_1 = u_1 + r_1T_1 - F_1(\dot{\theta}_1) \quad (1)$$

$$J_2\ddot{\theta}_2 = u_2 + (m_0g - T_1)r_2 - F_2(\dot{\theta}_2) \quad (2)$$

$$\dot{r}_1 = -e\dot{\theta}_1 \quad (3)$$

$$L\dot{T}_1 = G(r_2\dot{\theta}_2 - r_1\dot{\theta}_1) - r_2\dot{\theta}_2T_1 + r_1\dot{\theta}_1T_0 \quad (4)$$

## 2. 봉지포장기의 포장 및 장력조종체계의 설계

상태변수  $x^T = [x_1 \ x_2 \ x_3] = [\dot{\theta}_1 \ \dot{\theta}_2 \ T_1]$ 을 정의하면 모형 (1)–(4)는 다음과 같다.

$$\dot{x}_1 = J_1^{-1}(r_1)r_1x_3 + J_1^{-1}(r_1)[u_1 - F_1(x_1)] \quad (5)$$

$$\dot{x}_2 = -J_2^{-1}r_2x_3 + J_2^{-1}m_0gr_2 + J_2^{-1}[u_2 - F_2(x_2)] \quad (6)$$

$$\dot{x}_3 = L^{-1}(T_0 - G)r_1x_1 + L^{-1}Gr_2x_2 - L^{-1}r_2x_2x_3 \quad (7)$$

출력  $y^T = [y_1 \ y_2]$ 를 봉지포장속도와 경간장력으로 보고 식 (5)–(7)을 상태공간모형으로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} \dot{x} = A(x)x + B(t)\bar{u} + f_0 \\ y = Cx, C = \begin{bmatrix} 0 & r_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (8)$$

여기서  $\bar{u}^T = [\bar{u}_1 \ \bar{u}_2]$ ,  $\bar{u}_i = u_i - F_i(x_i)$ ,  $i = 1, 2$ 이고 상태 및 입력행렬은 다음과 같다.

$$A(x) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & J_1^{-1}(r_1)r_1 \\ 0 & 0 & -J_2^{-1}r_2 \\ L^{-1}(T_0 - G) & L^{-1}Gr_2 & -L^{-1}r_2x_2 \end{bmatrix}$$

$$B(t) = \begin{bmatrix} J_1^{-1}(r_1) & 0 \\ 0 & J_2^{-1} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad f_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ J_2^{-1}m_0gr_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

조종목적은 설정포장속도와 장력을  $y_{di}$  ( $i = 1, 2$ )로, 설정출력으로부터의 오차를  $\tilde{y}_i = y_i - y_{di}$ 로 표시할 때  $\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{y}_i = 0$ 을 만족시키는 포장재풀개와 압착롤의 회전모멘트  $u_1, u_2$ 를 결정하는것이다.

I/O선형화수법을 리용하면 포장속도 및 장력조종에 관한 비선형조종기는 다음과 같이 쓸수 있다.

$$\begin{cases} u_1 = F_1(x_1) + J_1(r_1)\{\beta_3\tilde{y}_2 + (G - y_2) \times \\ \times [L^{-1}(\beta_2 - y_1)y_1 - r_2J_2^{-1}\beta_1\tilde{y}_1] - (G - T_0) \times \\ \times [r_1^2J_1^{-1}(r_1)y_{d2} + (L^{-1}(\beta_2 - y_1)r_1 - ex_1)x_1]\} / (G - T_0)r_1 \\ u_2 = F_2(r_2^{-1}y_1) + r_2(y_2 - m_0g) - \beta_1\tilde{y}_1 \end{cases} \quad (9)$$

포장재의 장력관측기는 식 (9)로부터

$$\hat{w} = L\hat{y}_2 - r_1^{-1}\alpha J_1(r_1)x_1 \quad (10)$$

을 도입하여  $\hat{w}$ 에 관한 식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} \dot{\hat{w}} = & r_1 x_1 T_0 - L^{-1}(\alpha + y_1)[\hat{w} + r_1^{-1} \alpha J_1(r_1) x_1] - r_1^{-1} \alpha \bar{u}_1 + \\ & + G(y_1 - r_1 x_1) + r_1^{-2} e \alpha x_1^2 [r_1 J_1'(r_1) - J_1(r_1)] \end{aligned} \quad (11)$$

장력관측기 (10), (11)과 비선형조종기 (9)를 결합하면 포장속도 및 장력에 관한 비선형조종기가 얻어진다.

$$\begin{cases} \hat{u}_1 = F_1(x_1) + J_1(r_1) \{ \beta_3 (\hat{y}_2 - y_{d2}) + (G - \hat{y}_2) \times \\ \quad \times [L^{-1}(\beta_2 - y_1) y_1 - r_2 J_2^{-1} \beta_1 \tilde{y}_1] - (G - T_0) \times \\ \quad \times [r_1^2 J_1^{-1}(r_1) y_{d2} + (L^{-1}(\beta_2 - y_1) r_1 - e x_1) x_1] \} / (G - T_0) r_1 \\ \hat{u}_2 = F_2(r_2^{-1} y_1) + r_2 (\hat{y}_2 - m_0 g) - \beta_1 \tilde{y}_1 \end{cases} \quad (12)$$

장력관측기를 결합한 봉지포장기의 포장속도 및 장력조종에 관한 비선형조종체계의 구성도를 그림 2에 보여주었다.

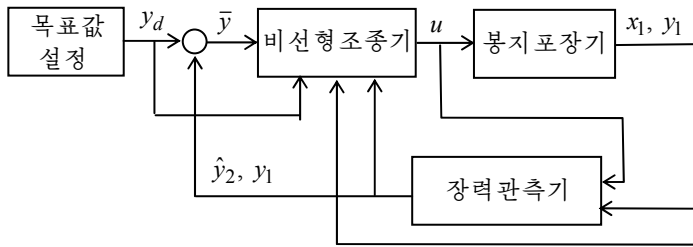


그림 2. 봉지포장기의 포장속도 및 장력조종에 관한 비선형조종체계의 구성도

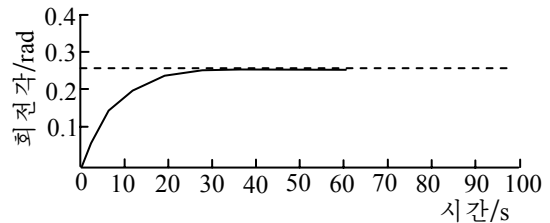
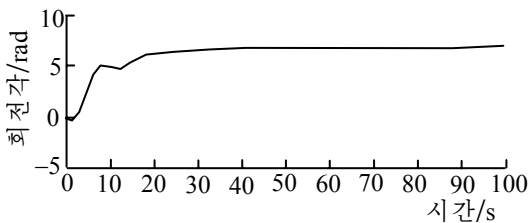
### 3. 모의 및 현장운전결과

봉지포장기에 장력측정기구를 설치하여 측정값과 모의값을 비교하는 방법으로 모형 검증 및 조종비교실험을 진행하였다.

비선형장력관측기를 결합한 포장속도 및 장력조종기의 성능평가모의에서는 관측기증폭도는  $\alpha = 10, 20, 30s^{-1}$ , 비선형속도 및 장력조종기의 파라미터들은  $\beta_1 = 0.05$ ,  $\beta_2 = 0.8$ ,  $\beta_3 = 1$ 로 주고 봉지포장속도는 60봉지/min으로, 경간장력은 각이하게 설정하였다.

그림 3에 장력관측기를 리용한 모의결과를 보여주었다.

모의곡선들은 관측기와 조종기에서 정상오차가 거의 령이고 파도특성은 설계파라미터의 가변으로 얼마든지 개선할수 있으며 모든 설계지표를 원만히 만족시킨다는것을 보여주었다.



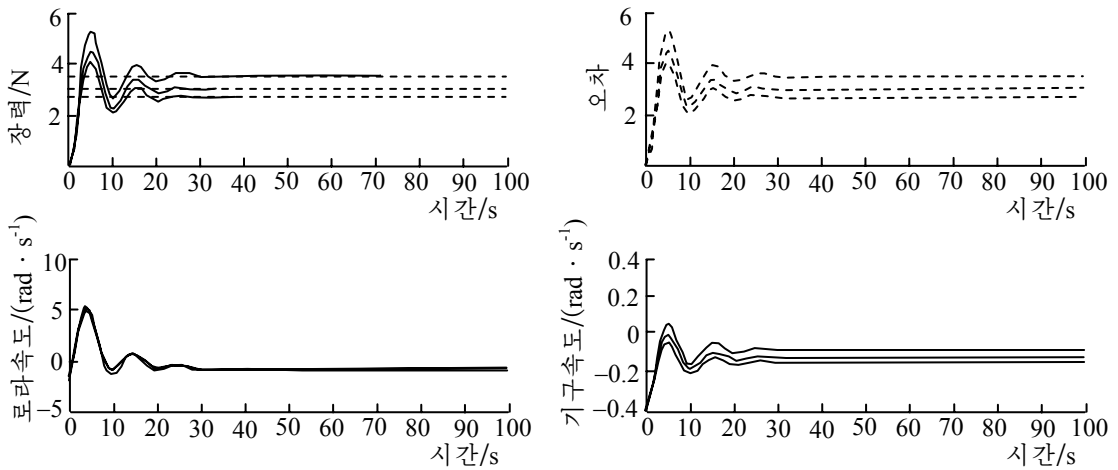


그림 3. 장력관측기를 리용한 모의결과

그림 3에서 점선은 실지대상의 출력, 실선은 관측기의 출력이다.

속도 및 장력복합조종체계의 현상시험결과(그림 4)에서는 비선형조종과 속도조종의 절환값은  $\pm 40\text{Hz}$  즉 오차절대값이  $40\text{Hz}$ 보다 클 때 비선형조종을 리용하며 오차절대값이  $40\text{Hz}$ 보다 작을 때에는 속도추종조종을 리용한다.

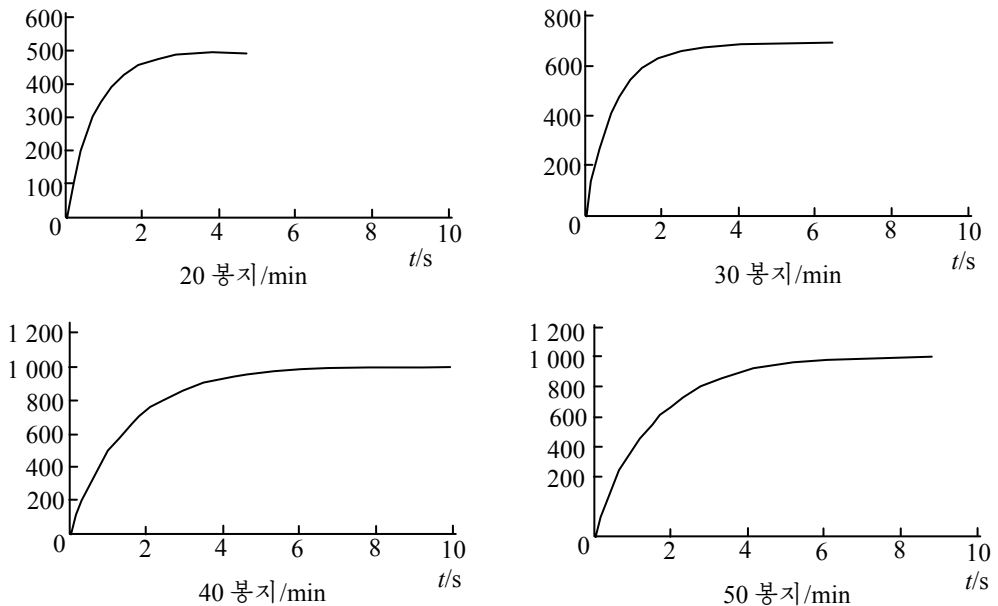


그림 4. 속도 및 장력조종방식에서의 봉지포장속도

그림 4에서 세로축은 포장재속도로서 단위는  $\text{cm/s}$ 이다. 포장재속도는 봉지포장에 필요되는 포장재료를 이동시키는 속도를 의미한다.

현상시험결과를 비교분석해보면 체계의 과도시간은  $t=6\text{s}$ , 과대조절량은 3.4%로서 장력수감부를 리용하지 않고도 지능장력수감부(경간장력관측기)를 리용하여 설계구축된 봉지포장기의 포장속도조종체계가 설계지표들을 정확히 만족시킨다는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

장력수감부를 리용하지 않고 지능장력수감부(경간장력관측기)를 리용하여 봉지포장기의 포장속도 및 장력조종체계를 설계하고 모의 및 현장시험을 통하여 구축된 봉지포장기의 포장속도조종체계가 설계지표들을 정확히 만족시킨다는것을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 57, 8, 48, 주체100(2011).
- [2] K. H. Knittel et al.; IEEE Transactions on Control System Technology, 10, 2, 197, 2003.
- [3] K. Y. Rama; Robust Control of Uncertain Dynamic Systems, Springer, 117~140, 2014.

주체107(2018)년 8월 5일 원고접수

### **Study on Design and Implementation of Tension Control Systems with Nonlinear Observer in Paper Bag Packaging Machine**

*Ri Jun Il, Nam Kwang Hyon*

In the paper, we designed the control systems for packaging speed and tension of paper bag packaging machine using intelligent tension sensor(span tension observer) without tension sensor, and verified the effectiveness of the proposed control systems through the simulation and site experiment.

Key words: nonlinear observer, web-handling machine, tension sensor