

논문 2010-47SC-6-9

슬라이딩 모드를 이용한 롤투롤 인쇄 시스템을 위한 분산 처리 장력 관측에 관한 연구

(Study on Distributed Tension Observer for Roll-to-Roll Electronic
Printing System Using Sliding Mode)

이 학 성*

(Hak-Sung Lee)

요 약

본 논문에서는 롤투롤 프린팅 공정을 위한 분산 처리 장력 관측 방법을 제안한다. 제안된 분산 처리 장력 관측기는 최소 차수 관측기 이론을 이용하여 설계된다. 제안된 방법은 인접 공정 영역의 속도와 장력 정보를 바탕으로 해당 공정 영역의 장력을 관측하는 특성을 가지고 있어 분산 제어 구조에 사용이 가능하다. 또한 제안된 방법은 슬라이딩 모드를 채용하여 모델 변동에 대해서도 효과적인 추정 성능을 갖는다.

Abstract

In this paper, distributed tension observer for R2R process is proposed. The minimal order observer theory is utilized to design the distributed tension observer. The proposed method estimates the tension of a specific sub-process based on the speed and tension information from its adjacent sub-processes. Utilizing its properties, the proposed method can be applied to decentralized control structure. In order to achieve high estimation accuracy, sliding mode technique is also adopted to the proposed method.

Keywords : Tension Observer, Sliding Mode, Distributed Observer

I. 서 론

유연 전자 소자(flexible electronic device) 제조에 있어 최근 관심을 끌고 있는 롤투롤(roll-to-roll) 인쇄 공정에서 생산 품질의 향상을 위해서는 고수준의 장력 제어가 요구된다. 이러한 장력 제어를 위해서는 로드 셀(load cell)이나 댄서 롤(dancer roll)등의 장력 측정 센서가 필수적이다^[1]. 그러나 이러한 장력측정 방식은 이동하는 웹(web)에 직접 접촉이 필요하므로 고속의 생

산에서는 웹의 품질을 떨어트리는 등의 문제가 있다^[2].

이러한 문제를 해결하기 위해 롤투롤 공정에서의 장력 관측 방법에 대한 다양한 연구가 수행되어 왔다. Song 등^[3]은 롤러 스탠드(roller stand)의 토크 균형을 기반으로 한 장력 관측을 제안했고 Lin 등^[4]은 마찰 등의 보상 기능을 갖는 관측기 기반의 궤환 제어 구조를 제안하였다. 또한 Lynch 등^[5]은 장력 관측을 위해 비선형 관측기에 대해 연구하였다.

한편, 대부분의 롤투롤 공정은 복잡한 대규모(large-scale) 시스템이어서 집중화된 다변수 제어 구조의 채용은 실용적이지 못한 경우가 많기 때문에 분산 또는 계층 제어 구조가 널리 사용되고 있다^[6~8]. 따라서 장력 관측기도 분산 처리 형태로 설계되는 것이 바람직하다. Angermann등^[8]은 두가지 유형의 분산 자기 동조

* 정회원, 세종대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering, Sejong University)

※ 이 논문은 2007년도 세종대학교 교내연구비 지원에 의한 논문임
접수일자: 2010년3월12일, 수정완료일: 2010년11월3일

(self-tuning) 관측기를 제안하였고, Claveau등^[6]은 인접한 두 개의 국부 관측기 기반 제어기를 중첩함으로써 집중화된 제어기만큼의 효율성을 확보할 수 있음을 보였다.

일반적으로 관측기의 성능은 대상 시스템의 모델의 정밀도에 큰 영향을 받는다. 그러나 너비 길이(span length)와 같이 장력에 영향을 미치는 변수들을 일정하게 유지시키는 것은 매우 어렵다.

따라서 본 논문에서는 최소 차수 관측기 이론을 적용하여 분산처리가 가능한 장력 관측기를 설계하고 설계된 관측기에 슬라이딩 모드 방법을 적용하여 모델 변동에 대해서도 우수한 추정 성능을 갖는 분산 처리 장력 관측기를 제안하고자 한다.

II. 롤투롤 공정의 장력 모델과 가관측성

그림 1에서 나타난 바와 같이 일반적인 롤투롤 공정은 웹을 풀고 감는 unwind/rewind 영역과 다수의 공정 영역으로 나뉘게 된다. 각 공정 영역에 질량 보존 법칙을 적용한 각 공정의 동적 모델은 다음과 같다^[5, 7].

$$\frac{d}{dt}(J_k \omega_k) = (t_{k+1} - t_k)R_k + \tau_k - b_{fk} \omega_k \quad (1)$$

$$L_k \frac{d}{dt} t_k = A E (v_k - v_{k-1}) + t_{k-1} v_{k-1} - t_k v_k \quad (2)$$

여기서 J_k , R_k , ω_k 과 v_k 는 각각 k -번째 공정에서의 roll의 관성(inertia), 직경, 회전 속도 및 선속도를 나타내며 t_k 와 L_k 는 각각 $(k-1)$ 번째와 k 번째 roller 사이의 장력과 웹의 너비 길이(span length)를 나타낸다. 식(1)에서 τ_k 와 b_{fk} 는 각 roll을 구동하는 모터의 토크와 마찰 계수이며, 식(2)에서 A 는 웹의 단면적이고 E 는 웹 재료의 탄성 계수(modulus of elasticity)이다^[5, 7].

장력에 관련된 식(2)를 재정리하면 다음과 같다.

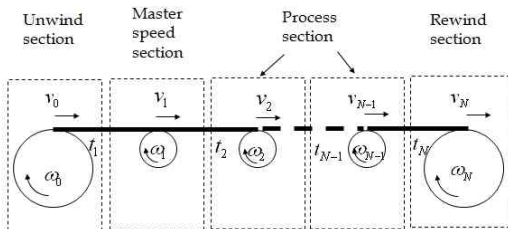


그림 1. 일반적인 웹 처리 라인
Fig. 1. Example of Web Processing Line.

$$\frac{d}{dt} T = \begin{bmatrix} -\frac{v_1}{L_1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{v_1}{L_2} & -\frac{v_2}{L_2} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -\frac{v_{N-1}}{L_{N-1}} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \frac{v_{N-1}}{L_N} & -\frac{v_N}{L_N} \end{bmatrix} T + \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_{N-1} \\ g_N \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\equiv F \cdot T + G$$

식(3)에서 $T = [t_1 \ t_2 \ \dots \ t_{N-1} \ t_N]^T$ 이고

$$g_k = \begin{cases} \frac{AE}{L_1}(v_1 - v_0) + \frac{v_0}{L_1} t_0 & \text{if } k = 1 \\ \frac{AE}{L_k}(v_k - v_{k-1}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

이다.

전체 공정이 정상 상태에 도달하여 각 선속도가 적절히 유지되고 있을 때 장력 t_k 가 측정된다고 가정하자.

$$t_k = [0 \ \dots \ 1 \ \dots \ 0] T = C_k T \quad (4)$$

이 때 식(3)의 가관측성을 확인하면 다음과 같다.

$$V_k = \begin{bmatrix} C_k \\ C_k F \\ C_k F^2 \\ \vdots \\ C_k F^{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \frac{v_{k-1}}{L_k} & -\frac{v_k}{L_k} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & * & \left(\frac{v_k}{L_k}\right)^2 & \vdots & 0 \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ * & \dots & * & * & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(5)에서 가관측성 행렬 V_k 의 rank는 k 이다. 만약 rewind 영역에서의 장력 t_N 이 측정된다고 하면 가관측성 행렬 V_k 의 rank는 N 이 되어 장력 t_N 을 제외한 나머지 장력들은 모두 관측가능하다.

III. 축소 차수 장력 관측기

본 절에서는 축소 차수(reduced order) 관측기 이론^[9]을 식(3)에 기술된 장력 모델 식에 적용하여 특정 공정의 장력을 추정하는 관측기를 설계하고자 한다. 이를 위해 다음과 같이 변환된 장력 벡터 \tilde{T} 를 정의하자.

$$\tilde{T} = [t_k \ t_1 \ \dots \ t_N]^T = \begin{bmatrix} t_k \\ t_X \end{bmatrix} = P T \quad (6)$$

여기서 t_X 는 장력 벡터 T 에서 t_k 를 제외한 $(N-1) \times 1$ 벡터이다. 식(6) 변환 행렬 P 를 이용하여 식(3)의 장력 모델 식을 변환하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \tilde{T} &= PFP^{-1}\tilde{T} + PG \\ &= \begin{bmatrix} -\frac{v_k}{L_k} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & -\frac{v_1}{L_1} & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & 0 \\ \frac{v_k}{L_{k+1}} & 0 & \cdots & -\frac{v_{k+1}}{L_{k+1}} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & -\frac{v_N}{L_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_k \\ t_1 \\ \vdots \\ t_{k+1} \\ \vdots \\ t_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_k \\ g_1 \\ \vdots \\ g_{k+1} \\ \vdots \\ g_N \end{bmatrix} \quad (7) \\ &\equiv \tilde{F} \cdot \tilde{T} + \tilde{G} \end{aligned}$$

식(7)을 t_k 와 t_X 로 구분하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} t_k \\ t_X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{F}_{11} & \tilde{F}_{12} \\ \tilde{F}_{21} & \tilde{F}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_k \\ t_X \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{G}_1 \\ \tilde{G}_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

t_X 는 측정이 가능하다고 가정하고 측정된 t_X 를 통해 t_k 를 관측하는 최소 차수 관측기를 설계하기 위해 새로운 신호 w 를 다음과 같이 정의하자.

$$w = \frac{d}{dt} t_X - \tilde{F}_{22} t_X - \tilde{G}_2 \quad (9)$$

식(9)의 w 와 식(8)을 이용하면 다음과 같은 관측기를 생각할 수 있다.

$$\frac{d}{dt} \hat{t}_k = \tilde{F}_{11} \hat{t}_k + \tilde{F}_{12} t_X + \tilde{G}_1 + E(w - \tilde{F}_{21} \hat{t}_k) \quad (10)$$

여기서 \hat{t}_k 는 식(10)의 관측기에 의한 장력 t_k 의 추정치이다. 이제 추정 오차를 $e_k = t_k - \hat{t}_k$ 로 정의하고 식(8), (9), (10)에 의해 e_k 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} e_k &= \tilde{F}_{11} t_k + \tilde{F}_{12} t_X + \tilde{G}_1 \\ &\quad - [\tilde{F}_{11} \hat{t}_k + \tilde{F}_{12} t_X + \tilde{G}_1 + E(w - \tilde{F}_{21} \hat{t}_k)] \\ &= (\tilde{F}_{11} - E\tilde{F}_{21}) e_k \end{aligned} \quad (11)$$

식(11)에서 알 수 있듯이 만약 $(\tilde{F}_{11} - E\tilde{F}_{21})$ 의 고유치가 음수이면 식(10)의 관측기는 장력 추정이 가능하다. 한편, \tilde{F}_{21} 은 k -번째 행만 값을 갖고 나머지는 모두

0인 $(N-1) \times 1$ 벡터이므로 행렬 E 는 k -번째 열에서만 값을 갖고 나머지는 모두 0인 $1 \times (N-1)$ 벡터이므로 식(10)의 관측기가 수렴 가능하다. 이에 행렬 E 를 다음과 같이 정의하자.

$$E = [0 \cdots \alpha \cdots 0] \quad (12)$$

식(12)의 행렬 E 에 의해

$$\begin{aligned} E(w - \tilde{F}_{21} \hat{t}_k) \\ = \alpha \left(\frac{d}{dt} t_{k+1} + \frac{v_{k+1}}{L_{k+1}} t_{k+1} - g_{k+1} - \frac{v_k}{L_{k+1}} \hat{t}_k \right) \end{aligned} \quad (13)$$

이 되며 식(10)의 관측기는 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{d}{dt} \hat{t}_k = -\frac{v_k}{L_k} \hat{t}_k + \frac{v_{k-1}}{L_k} t_{k-1} + g_k + \alpha h_k \quad (14)$$

여기서

$$h_k = \frac{d}{dt} t_{k+1} + \frac{v_{k+1}}{L_{k+1}} t_{k+1} - g_{k+1} - \frac{v_k}{L_{k+1}} \hat{t}_k \quad (15)$$

이며 α 는 수렴 속도를 조절하는 설계 변수이다.

한편 식(15)의 h_k 는 식(2)에 의해 다음과 같다.

$$h_k = \frac{v_k}{L_{k+1}} t_k - \frac{v_k}{L_{k+1}} \hat{t}_k = \frac{v_k}{L_{k+1}} e_k \quad (16)$$

즉 h_k 는 식(14)의 장력 관측기의 추정 오차이다. 따라서 식(14)의 관측기는 식(2)의 장력 관련 식에 오차 항 h_k 가 추가된 형태로 구성된다.

IV. 슬라이딩 모드를 이용한 분산 처리 장력 관측기

식(14)의 장력 관측기는 k -번째 공정 영역의 장력을 추정하기 위해 모든 공정 영역의 장력 정보 t_X 를 사용하는 것이 아니라 인접한 영역에서의 속도와 장력 정보만을 사용한다. 즉 식(14)에서, k -번째 공정 영역의 장력(t_k)은 $(k-1)$ 번째 공정 영역에서의 속도(v_{k-1}) 및 장력(t_{k-1}) 정보와 $(k+1)$ 번째 공정 영역의 속도(v_{k+1}) 및 장력(t_{k+1}) 정보만을 이용하여 추정된다.

본 논문에서는 제안된 장력 관측기의 이와 같은 성질을 이용하여 그림 2와 같은 분산 장력 관측 방법을 제안한다. 그림 2에서 개별 국부(local) 장력 관측기는 인접한 국부 장력 관측기와 속도 및 장력 정보를 서로 교

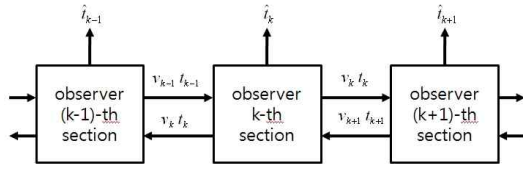


그림 2. 분산처리 장력 관측기
Fig. 2. Distributed Tension Observer.

환하고 교환된 정보를 바탕으로 해당 장력 정보를 추정한다. 따라서 제안된 분산 장력 관측 방법은 대규모 롤투롤 공정에서 일반적으로 채용되고 있는 분산 또는 계층 제어 구조에 적합한 장력 추정 방식이다. 또한 인접 공정 영역에서 로드 셀이나 텐서 롤 등의 장력 측정 센서가 사용되어 국부 장력 관측기를 대체한다 하더라도 제안된 방식은 적용이 가능하여 실용적이다.

한편 일반적으로 관측기는 대상 시스템에 대한 모델을 사용하는 까닭에 모델의 정확성 등에 의해 그 관측기의 성능이 크게 좌우된다. 또한 장력에 영향을 미치는 너비 길이 L_k 등을 일정하게 유지 시키는 일은 매우 어렵다. 이와 같은 모델 변동에 강건하게 하여 궁극적으로 관측기의 추정 성능을 높이기 위해 본 논문에서는 다음과 같이 슬라이딩 모드 방법^[10]을 채용한 장력 관측기를 제안한다.

$$\frac{d}{dt} \hat{t}_k = -\frac{v_k}{L_k} \hat{t}_k + \frac{v_{k-1}}{L_k} t_{k-1} + g_k + \alpha h_k + \rho \operatorname{sign}(h_k) \quad (17)$$

식(17)에서 제안된 관측기는 식(14)의 관측기에 슬라이딩 모드 항인 $\operatorname{sign}(h_k)$ 이 추가된 형태로 구성되며, α 와 ρ 는 각각 관측기의 수렴 속도와 모델 변동에 대한 강인성을 조절하는 설계 변수이다. 제안된 관측기의 특성을 살펴보기 위해 관측기에 사용되는 장력 모델 식(8)에 변동이 생겨서 다음과 같이 외부요인 $d(t)$ 로 표시된다고 하자.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} t_k &= \widetilde{F}_{11} t_k + \widetilde{F}_{12} t_X + \widetilde{G}_1 + d(t) \\ &= -\frac{v_k}{L_k} t_k + \frac{v_{k-1}}{L_k} t_{k-1} + g_k + d(t) \end{aligned} \quad (18)$$

이 때 식(17)의 관측기를 적용하여 관측 오차 e_k 를 살펴보면 다음과 같다.

$$\frac{d}{dt} e_k = -\left(\frac{v_k}{L_k} + \alpha \frac{v_k}{L_{k+1}}\right) e_k - \rho \operatorname{sign}(h_k) + d(t) \quad (19)$$

한편 식(17)에 의해 $\operatorname{sign}(h_k) = \operatorname{sign}(e_k)$ 이다. 이제 다음과 같은 Lyapunov function V 를 생각하자.

$$V = \frac{1}{2} e_k \cdot e_k \quad (20)$$

식(20)의 Lyapunov function V 를 미분하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} V &= e_k \cdot \frac{d}{dt} e_k \\ &= e_k \left[-\left(\frac{v_k}{L_k} + \alpha \frac{v_k}{L_{k+1}}\right) e_k - \rho \operatorname{sign}(h_k) + d(t) \right] \\ &= -\left(\frac{v_k}{L_k} + \alpha \frac{v_k}{L_{k+1}}\right) e_k^2 - \rho e_k \operatorname{sign}(e_k) + e_k d(t) \quad (21) \\ &\leq -\left(\frac{v_k}{L_k} + \alpha \frac{v_k}{L_{k+1}}\right) e_k^2 - \rho |e_k| + |d(t)| |e_k| \\ &= -\left(\frac{v_k}{L_k} + \alpha \frac{v_k}{L_{k+1}}\right) e_k^2 - (\rho - |d(t)|) |e_k| \end{aligned}$$

관측기 설계 변수 ρ 가 모델 변동에 의한 $d(t)$ 보다 크게 설정이 되면 식(21)의 우변이 음수가 되어 장력 추정 오차는 0으로 수렴하게 된다.

V. 모의 실험

제안된 장력 관측기의 성능을 검증하기 위해 참고 문헌 [7]의 모델식과 상수들을 이용하여 Simulink로 모의 롤투롤 공정을 구성하였고(그림 3), 분산 관측기의 성능을 확인하기 위해 그림 3의 process 블록은 모두 5개의 공정 영역으로 구성하였다(그림 4). 각 영역의 장력 및 속도 제어기는 참고 문헌의 방식에 따라 구현되었다.

그림 4의 5개 공정 영역에서 2,3,4 번째 장력을 추정

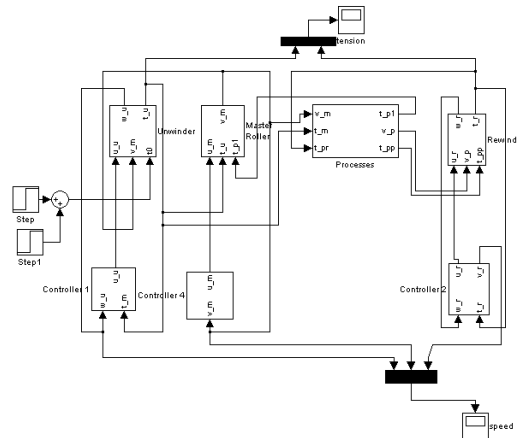


그림 3. R2R 모의 실험 구성
Fig. 3. Simulation of R2R Process.

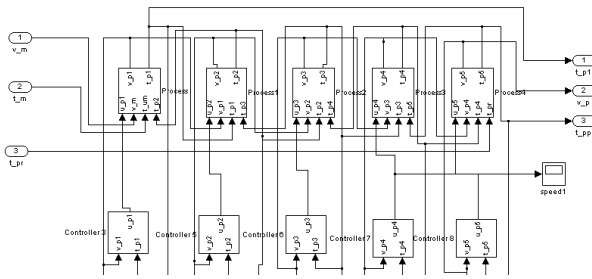
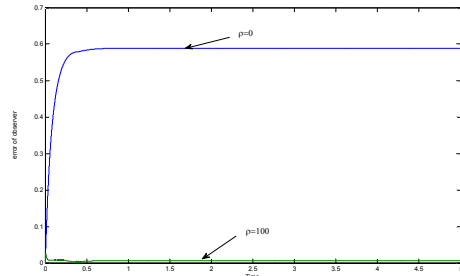


그림 4. Process 블록 구성
Fig. 4. Configuration of Process Block.



(a)

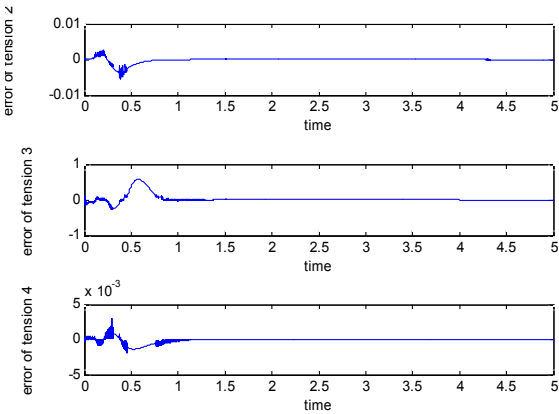
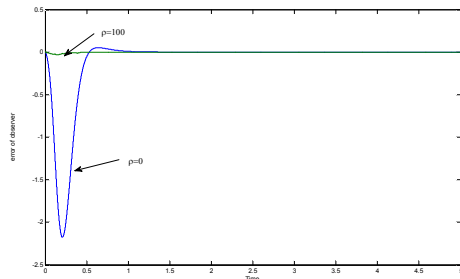


그림 5. 제안된 관측기의 오차
Fig. 5. Error of Proposed Observer

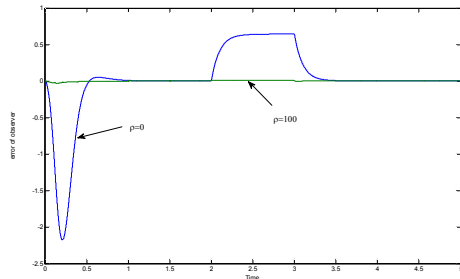
하는 3개의 국부 관측기를 설계하여 그림 2와 같은 구성으로 모의 구현하였다. 장력 관측기 식(17)의 설계 변수는 $\alpha=1$, $\rho=100$ 으로 3개의 분산관측기 모두에 동일하게 적용하였으며 슬라이딩 모드에서 생길 수 있는 과도한 채터링을 방지하기 위해 식(17)의 $sign()$ 함수는 쌍곡선 탄젠트 함수로 대체하여 모의실험을 수행하였다. 그림 5는 3개의 국부 장력 추정기의 오차를 나타내고 있다. 3개의 장력 제어 목표치가 각각 50, 55, 60 임을 감안할 때 최대 추정 오차가 1%미만으로 제안된 분산 처리 장력 관측 방식이 유용함을 나타내고 있다.

또한 슬라이딩 모드를 채용한 제안된 관측기의 강인성을 살펴보기 위해 다음과 같은 3개의 상황을 상정하여 슬라이딩 모드가 작동하는 경우($\rho=100$)와 작동하지 않은 경우($\rho=0$) 각각에 대해 다음 세 가지 경우의 모의 실험을 수행하였다.

- Case 1 : 식(19)의 $d(t)$ 가 100인 경우
- Case 2 : 관측기 모델에서 L_k 가 10% 오차가 있는 경우
- Case 3 : L_k 가 10% 오차가 있으며 2~3초 사이에 $d(t)$ 가 100인 경우



(b)



(c)

그림 6. 관측 오차 비교
(a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3
Fig. 6. Comparison of Observer Error.
(a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3

그림 6은 각각 Case 1, Case 2, Case 3에 대해 $\rho=100$ 와 $\rho=0$ 로 하여 장력을 관측하였을 때 추정 오차를 비교하고 있다. 그림 6에서 알 수 있듯이 슬라이딩 모드를 채용함으로써 제안된 방식은 관측기 모델의 부정확성이나 장력 외란 등 관측 오차 요인에 효과적으로 대처하고 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 대규모 롤투를 공정에 대해 분산 제어 구조에 적합하고 모델 변동에 강인한 분산 처리 장력

관측 방법을 제안하였다. 축소 차수 관측기 이론을 적용하여 분산 처리에 적합한 장력 관측기를 유도하였고 슬라이딩 모드를 채용하여 모델 변동 등에 강건한 관측기를 제안하였다. 제안된 방법은 인접한 공정 영역 간에 서로 장력 및 속도 정보를 교환하는 것으로 구성된다. 또한 모의 실험을 통해 제안된 방법이 너비 길이의 변화와 외부 외란에 대해서 우수한 장력 관측 성능이 있음을 확인하였다.

제안된 방법은 직접 장력 측정이 어려운 공정에 국부적으로 사용될 수 있는 장점이 있어 실용적이다. 한편 본 논문에서 보고되지 않았지만 식(15)의 오차 추정에서 모델의 부정확성이 있을 경우 추정 오차가 발생하는 문제가 있어 추후 이에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] N. A. Ebler, R. Armason, G. Michaelis, and N. D'sa, "Tension control : Dancer rolls or load cells", *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 20, pp. 727-739, July/Aug 1993.
- [2] C.-W. Cheng, C.-H. Hsiao, C.-C. Chunag, K.-C. Chen and W.-P. Tseng, "Observer-based tension feedback control of direct drive web transport system", *Proc. of IEEE Intern. Conf on Mechatronics*, pp. 745-749, Taipei, Taiwan, 2005.
- [3] S.-H. Song and S.-K. Sul, "A new tension controller for continuous strip processing line", *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 36, no. 2, pp. 633-639, Mar/Apr 2000.
- [4] K. C. Lin, "Observer-based tension control with friction and inertia compensation", *IEEE Trans. Contr. Syst. Technol.*, vol. 11 no. 1, pp. 109-118, Jan. 2003.
- [5] A. F. Lynch, S. A. Bortoff, and K. Robenack, "Nonlinear tension observers for web machines", *Automatica*, vol. 40, pp. 1517-1524, 2004.
- [6] F. Claveau, P. Chevrel and M. A. "A cooperative local observers - based control for web handling systems: a dilated LMI solution", *Proc. of 14th Mediterranean Conference on Control and Automation*, pp. 1-6, June 2006.
- [7] P. R. Pagilla, N. B. Siraskar, and R.V. Dwivedula, "Decentralized Control of Web Processing Lines", *IEEE Trans. Contr. Syst. Tech.*, vol. 15 no. 1, Jan. 2007.
- [8] A. Angerman, A. Joerg, T. Patri, and D. Shroeder, "Decentralized self-tuning observers for processing plants with continuous moving

webs", *Proc. of 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, pp.4591-4594, Aachen, Germany, 2004.

- [9] C. T. Chen, *Linear System Theory and Design*, Oxford USA, 1998.
- [10] S. V. Drakunov, "Sliding-Mode Observers Based on Equivalent Control Method", *Proc. of 31th Confon Descision and Control*, pp. 2368-2369, 1992.

저 자 소 개



이 학 성 (정회원)

1989년 KAIST 전기및전자공학과
학사졸업.

1991년 KAIST 전기및전자공학과
석사졸업.

1996년 KAIST 전기및전자공학과
박사졸업

1996년~1998년 LG 종합 기술원

1999년~2000년 LG 정밀

현 세종대학교 전자공학과 부교수

<주관심분야 : 지능제어, 색역사상, 신호처리>