

Performance Enhancement of Tension Controller for the Yarn Manufacturing Process

郭永信* · 林勳* · 李章明†
(Young-Shin Kwak · Hoon Lim · Jang-Myung Lee)

Abstract - This paper aims at the performance enhancement of tension controller for the yarn manufacturing process. The tension controller is required to keep the tension constant while the yarn is manufactured by a draw and twist machine, which is essential and critical for good quality production of yarn, steel, paper, etc. This paper proposes a linear model of tension control plant to develop a precise tension control system, which is derived by the close observation of the conventional mathematical model of motor driving and tension control systems. It is shown by experiments that the proposed control system precisely maintains the tension constant within the error bound of 0.05% while the conventional PI controller has about 0.2% error. The control performance of the system has been compared to that of conventional PI control not only for constant speed control but also for transient speed control experiments.

Key Words : Tension control, Draw and twist machine, Yarn manufacturing, PI controller

1. 서 론

섬유산업의 작업공정은 코일 또는 두루마리의 형태로 감긴 섬유를 풀림 롤 (Roll) 에서 풀어 물러를 거치면서 적절히 길이가 늘어나고 온도조절을 통하여 강하게 되어 감김 롤에 되감는 과정의 반복이 많다. 이러한 연속 공정라인의 장력제어는 전동기 제어장치의 응용분야 중에서도 가장 고정밀도를 요구하는 분야 중의 하나이다. 섬유의 진동을 방지하고 제품의 품질을 좋게 하려면 순시 장력의 변동을 최소화하는 것이 매우 중요하다[1].

장력제어 시스템은 전동기를 이용해서 연속된 재료를 이송, 가공하는 장치 및 그 제어를 의미하는 것으로 이와 같은 장력 제어 시스템은 섬유산업 외에도 제철, 제지, 인쇄, 섬유 등 우리나라의 주요산업들에서 많이 사용되고 있다.

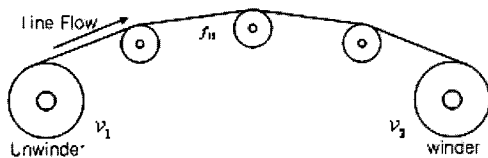


그림 1 장력 제어 시스템
Fig. 1 Tension Control System.

그림 1은 기본적인 장력제어기 구조로써 풀림 롤, 감김 롤 그리고 중간에 있는 보조 롤과 장력을 측정하는 롤로 구성되어있다. 이러한 공정제어기에서 제어목표는 감김 롤과 풀림 롤 사이를 이동하는 섬유에 일정한 장력을 유지하는 것이다. 롤의 부하상황이나 롤의 반지름, 실의 특성에 따라 실제 속도가 오차가 발생하면 실에 장력의 변동이 생기고 결국 제품의 품질에 나빠지고 생산성에도 떨어진다. 예로, 장력이 일정하게 유지되지 않으면 섬유의 단락이 발생하게 된다. 따라서 생산라인에서 구동되는 롤간의 장력을 일정하게 유지하는 것이 매우 중요하다.

장력을 제어하는 방법에는 드로(Draw) 제어[2], 댄서 롤을 이용한 방법[3], H_∞ 제어기[4-7], 센서 리스 장력제어 방법 등이 있다[8-9]. 드로 제어의 장점으로는 장력 센서가 필요 없는 공정에서 많이 사용되며, 단점으로는 소재의 성질에 따라 변하는 탄성을 때문에 속도의 설정량을 정확하게 결정하기 어렵다. 댄서 롤 제어의 장점으로는 소재의 장력에 따라 보조 롤의 위치를 가변 할 수 있는 기계적 구조로 과도적인 제어 오차를 기계에서 흡수 가능한 특징이 있어 복잡한 제어를 추가할 필요가 없다. 단점으로는 기계적인 구조로 인하여 전기적으로 장력의 설정을 변경 못하고 스프링 복원력이나 공기압 등 기계부분의 조정에 의존할 수밖에 없다. H_∞ 제어기의 단점으로는 제어기의 구성이 매우 복잡하고 시스템의 설계 및 구현이 어렵다는 것이다. 센서 리스 제어의 장점으로는 압력 센서 없이 속도와 토크 정보를 이용하여 장력을 관측하고 제어할 수 있다. 단점으로는 제어부의 구조가 많이 복잡하다.

본 논문에서 제시한 제어 알고리즘은 실이 이동하게 되면 센서가 있는 보조 롤에 진동이 발생하여 센서에 신호와 같이 잡음이 들오게 되는데, 본 제어기에는 보조 롤과 센서 사이에 스프링을 추가하여 센서에 입력되는 잡음을 제거하였다.

* 學生會員 : 부산대학교 대학원 전자공학과
† 교신저자, 正會員 : 부산대학교 전자공학과 正教授 · 工博
E-mail : jmlee@pusan.ac.kr
接受日字 : 2008年 7月 31日
最終完了 : 2008年 9月 10日

그리고 기존 제어기와 비교하더라도 구조가 복잡하지 않고 실의 종류가 변하여도 변경 없이 사용 가능하다.

플랜트에서 장력의 변화가 생기는 이유는 전동기에 의해 구동되는 감김 롤과 풀림 롤의 선속도 오차가 발생하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 고속 연산기능을 가진 디지털 신호 처리기(Digital Signal Processor, DSP)를 이용하여 일정 장력을 유지하는 장력제어기를 개발한다.

2. 장력 시스템의 수학적 모델

장력시스템은 소재의 감기와 풀기의 관계에서 생기는 속도변화에 따른 장력의 변화를 이용하는 시스템을 일컫는다. 재료를 푸는 쪽의 롤과 감는 쪽의 롤의 속도 차가 생기면 이로써 생기는 장력은 변화하게 된다. 이러한 장력의 변화는 소재의 품질을 낮추는 요인이 되어 제품의 원가를 증대시킨다. 그러므로 이러한 장력을 일정하게 만들어 주는 것이 제품의 생산에서 매우 중요하다. 본 절에서는 그림 1과 같이 논문에서 설명할 장력제어 시스템의 속도와 장력 모델을 유도한다.

2.1 구동 롤의 속도 모델

그림 1은 본 연구에서 사용할 장력제어기를 그린 그림이다. 풀림 롤, 감김 롤 그리고 감김 롤과 풀림 롤 사이에 있는 3개의 보조 롤로 구성되어 있다. 감김 롤과 풀림 롤은 알루미늄으로 만들어지며 3개의 보조 롤은 1.5cm의 크기에 재질은 가벼운 플라스틱으로 만들었다. 그리고 보조 롤은 지지대와 볼 베어링으로 연결되어 있어서 감김 롤, 풀림 롤보다 관성과 마찰이 매우 작다. 그러므로 장력제어 시스템의 모델링에서 보조 롤은 무시할 수 있다. 따라서 그림 1은 그림 2와 같이 간단한 모델로 표시 가능하다.

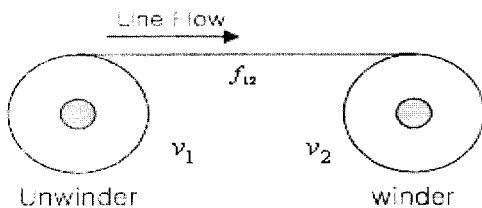


그림 2 장력 제어 시스템
Fig. 2 Tension Control System.

풀림 롤에서 감김 롤로 가는 실의 장력을 f_{12} 으로 표시한다. 그림 2에서 표시된 i 번째 롤러의 표면에서 토크 평형식은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$J_i \frac{d\omega_i}{dt} = \tau_i + r_i(f_{i,i+1} - f_{i-1,i}) \quad (1)$$

식 (1) 에서 J_i 는 롤러와 모터를 포함한 등가 관성 모멘트이고, ω_i 는 롤러의 회전각 속도를, r_i 은 롤러의 반지름을, τ_i 는 i 번째 롤의 토크, $f_{i,i+1}$, $f_{i-1,i}$ 는 각각 i 번째 롤에서 $i+1$ 번째 롤러 사이의 장력, $i-1$ 번째 롤에서 i 번째 롤러 사이의 장력을 나타낸다.

이때 롤러와 모터와의 마찰은 무시하고, 롤러의 표면에서 실과의 슬립은 발생하지 않는다고 가정하였다.

식 (1)을 이용하여 풀림 롤과 감김 롤에 각각에 대하여 소신호 관계식으로 만들면 다음과 같다.

$$J_1 \frac{d\Delta v_1}{dt} = r_1 \Delta \tau_1 + r_1^2 (\Delta f_{12}) \quad (2)$$

$$J_2 \frac{d\Delta v_2}{dt} = r_2 \Delta \tau_2 + r_2^2 (-\Delta f_{12}) \quad (3)$$

식 (2)-(3)의 v_i 는 $r_i \omega_i$ 로 근사적으로 표기한다.

2.2 소재의 장력식

장력의 모델링에 관하여 몇 가지 연구가 진행되어 왔다 [2,4,10]. 이러한 장력 모델링에서 중요한 것은 감김 롤과 풀림 롤의 속도 차가 소재의 변형과 장력의 형태로 나타나는 것이다. 본 논문에서는 이 속도차와 장력간의 관계를 나타내는 여러가지 모델 중 소재의 변형을 완전 탄성적이라고 가정하여 롤의 속도와 발생하는 장력과의 관계를 모델링한다 [2,11]. 그 결과 소재의 장력식은 아래와 같이 표현된다.

$$\frac{d}{dt} f_{12} = \frac{EA}{L_{12}} (v_2 - v_1) - \frac{1}{L_{12}} f_{12} v_2 \quad (4)$$

식 (4) 에서 E 는 탄성계수(Young's modulus)로서 힘과 변형률의 비례계수이다. 예를 들어 철은 약 $E \approx 200 \times 10^9 [N/m^2]$, 나일론 실은 약 $E \approx 1.69 \times 10^9 [N/m^2]$ 의 값을 가지며 주의의 온도와 습도의 영향을 받아 값이 변화할 수도 있다. A 는 장력을 제어할 소재의 단면적, 그리고 L_{12} 는 플랜트에서 풀림 롤과 감김 롤 사이의 거리를 나타낸다.

소신호 관계식을 유도하기 위해 속도와 장력을 다음과 같이 소량 변위(Perturbation) 변수를 정의한다.

$$\Delta v_1 \equiv v_1 - V \quad (5)$$

$$\Delta f_{i,i+1} \equiv f_{i,i+1} - F_{i,i+1} \quad (6)$$

또한 정상상태에서 초기 조건을 나타내면

$$0 = \frac{EA}{L_{12}} (V_2 - V_1) - \frac{1}{L_{12}} F_{12} V_2 \quad (7)$$

과 같다.

식 (5)-(7) 을 비선형 미분 방정식 (4) 에 대입해 2 차 항을 무시하고 정리하면 다음과 같은 식을 얻는다.

$$\frac{d\Delta f_{12}}{dt} = \frac{EA}{L_{12}} (\Delta v_2 - \Delta v_1) - \frac{V_2}{L_{12}} \Delta f_{12} \quad (8)$$

이 식은 실에 작용하는 장력의 변화량과 속도 사이의 관계를 나타내는 선형화된 동적 방정식이다. 여기서 실의 장력 변동은 주로 롤러에서의 속도 차에 의해 발생한다는 것을 알 수 있다. 풀림 롤과 감김 롤의 속도 V_1 과 V_2 는 정상상태일 때 거의 같은 값을 가지므로, 평균 동작 속도를 V_0 로 표기하고, 식 (8)을 라플라스 영역에서 다시 쓰면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta f_{12} &\cong \frac{1}{s + (V_0/L_{12})} \frac{AE}{L_{12}} (\Delta V_2 - \Delta V_1) \\ &= \frac{1}{s + C_{12}} [K_{12} (\Delta V_2 - \Delta V_1)] \end{aligned} \quad (9)$$

이때, C_{12} 는 모터의 동작속도를 감김 롤과 풀림 롤 사이

의 실의 길이로 나눈 것으로서 속도 차가 장력 변동으로 나타나는 시정수 T_{12} 의 역수가 된다. 특히, 시정수는 일정하게 값이 정해진 상수가 아니라 시스템의 동작속도 V_0 값에 따라 변화하는 값이다. 모터의 속도가 빠를수록 모터 속도의 변화 량이 장력의 변화로 나타나는 시간이 빨라진다.

C_{12} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{12} = \frac{V_0}{L_{12}} = \frac{1}{T_{12}} \quad (10)$$

또한, 식 (9) 에서 정의된 스프링계수 K_{12} 는 탄성계수 (Young's modulus) E , 소재의 단면적 A , 그리고 풀림 롤과 감김 롤 사이의 거리 L_{12} 로 구성된다.

$$K_{12} \equiv \frac{EA}{L_{12}} \quad (11)$$

식 (9)에서 보듯이 풀림 롤과 감김 롤에서 작은 속도 차가 발생해도 탄성계수 K_{12} 가 크면 큰 장력이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 식 (9)로부터 정상상태에서 장력과 속도 차와의 관계는 다음처럼 근사화 된다.

$$\frac{\Delta f_{12}}{(\Delta v_2 - \Delta v_1)} \cong \frac{EA}{V_0} \quad (12)$$

이 식에 의해 장력을 얻기 위한 속도 차를 계산할 수 있다. 이런 장력 제어 시스템을 통해 어떤 특정 장력을 얻으려면 한 쪽 모터의 속도가 빨라질수록 반대쪽 모터와의 속도 차가 커야만 원하는 장력을 일정하게 유지한다는 것을 식 (12) 을 통해 알 수 있게 되었다.

2.3 선형화된 단위 기계 블록도

소신호 토크 평형식 (2), (3) 을 다시 적으면 다음과 같이 된다.

$$\frac{d\Delta v_1}{dt} = \frac{f_1^2}{J_1} f_{12} + \frac{r_1}{J_1} \Delta \tau_1 \quad (13)$$

$$\frac{d\Delta v_2}{dt} = -\frac{f_2^2}{J_2} f_{12} + \frac{r_2}{J_2} \Delta \tau_2 \quad (14)$$

또한, 소신호 장력 모델 식 (8)을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\frac{d\Delta f_{12}}{dt} = \frac{EA}{L_{12}} (\Delta v_2 - \Delta v_1) - \frac{V_0}{L_{12}} \Delta f_{12} \quad (15)$$

위에서 얻은 소신호 수식 (13)-(15) 는 동작 점에서 선형화된 상수 계수를 가진 1 차 연립 미분방정식이므로 다음의 상태 방정식 형태로 정리할 수 있다.

$$\dot{X} = AX + BU \quad (16)$$

$$\text{여기서 } A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{r_1^2}{J_1} & 0 \\ -\frac{EA}{L_{12}} & -\frac{V_0}{L_{12}} & \frac{EA}{L_{12}} \\ 0 & -\frac{r_2^2}{J_2} & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{r_1}{J_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{r_2}{J_2} \end{bmatrix}$$

로 정의되며 상태변수 $X = [\Delta v_1 \ \Delta f_{12} \ \Delta v_2]^T$, 및 플랜트 입력, $U = [\Delta \tau_1 \ \Delta \tau_2]^T$ 에 대한 선형시스템을 나타낸다.

시스템의 출력은 상태 변수 중 임의의 것을 선택 가능하나, 각 모터 제어상태에 따라 장력 Δf_{12} 이 될 수도 있고, 속도 Δv_1 , Δv_2 가 제어 대상이 되기도 한다. 위의 시스템은 다중 입력, 다중 출력 (MIMO) 시스템이다.

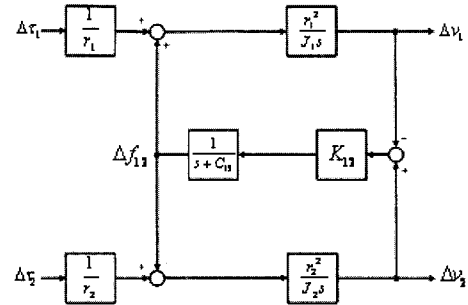


그림 3 장력시스템의 선형 모델
Fig. 3 Linear model of tension control system

수식모델에서 구동 물과 장력식을 구한 후 한 개의 식으로 만든 후, 그 식을 선형화 하였다. 그림 3은 이와 같이 선형화된 플랜트의 블록도이다.

3. 장력 제어기

3.1 제안된 장력 제어기

장력제어기의 성능을 개선하기 위한 제안한 모델에 기반한 제어 알고리즘을 제안한다. 페루프 제어를 위하여 PI 제어 기법을 이용한 장력제어 알고리즘을 제안한다. 제안한 장력제어기와 비교할 기존의 장력 제어 블록도는 그림 4에 나타내었다[12]. 이 방식은 감김 롤의 경우 입력받은 속도에 따라 속도제어를 하고 풀림 롤은 기구부의 장력을 측정하여 입력한 장력 값을 유지하도록 제어를 한다.

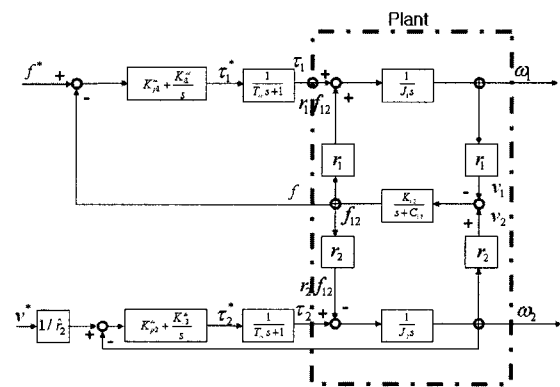


그림 4 기존의 장력제어 시스템 구성도
Fig. 4 Configuration of conventional tension control system

제안한 제어 알고리즘은 그림 5와 같이 풀림 롤과 감김 롤에 연결된 모터의 속도를 제어하는 2개의 PI 속도 제어기와 장력을 제어하는 1개의 PI 장력 제어기로 풀림 롤과 감김 롤이 각각 속도제어를 하고 풀림 롤에 추가적으로 장력 값을 보상하도록 구성되어 있다.

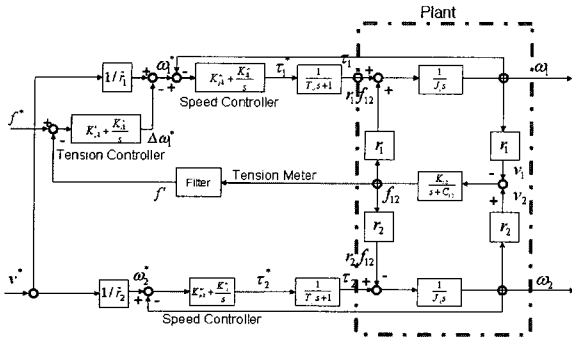


그림 5 제안된 장력제어 시스템 구성도
Fig. 5 Configuration of proposed tension control system

풀림 롤과 감김 롤은 각각 사용자가 입력한 속도 v^* 와 풀림 롤과 감김 롤에 연결된 증분형 인코더에서 나온 속도를 이용하여 각각 속도 PI제어를 한다. 그리고 풀림롤의 경우 속도값에 입력한 장력 f^* 와 측정된 장력 f' 을 이용하여 계산된 장력 값을 보상하게 된다. 그래서 장력과 속도가 일정하게 유지된다.

3.2 시뮬레이션

앞에서 구한 제어 시스템의 장력 모델은 속도와 장력의 곱의 형태가 나타나는 비선형이므로 시스템 해석이 용이하지 못하여 선형화 시스템으로 만들어서 Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 그림 6은 Simulink로 시뮬레이션한 모델이다. 토크 제어기는 앞에서 설명한 대로 1차 지연 요소로 모델링 하였고, 속도와 장력제어기는 PI 제어기로 하였다. 기준 입력을 스텝형태로 입력하여 시뮬레이션 하였다.

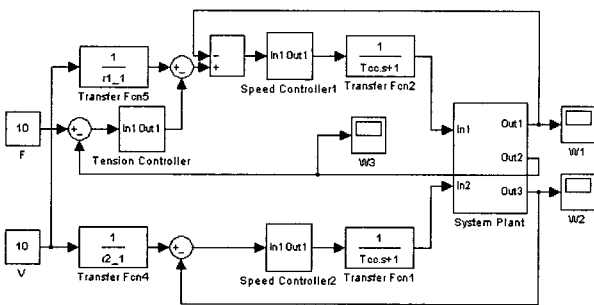


그림 6 제안한 장력제어기의 모델
Fig. 6 Proposed tension controller model

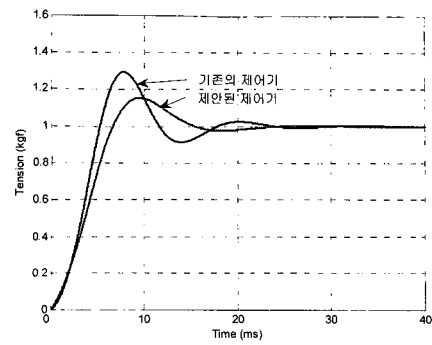


그림 7 제안한 장력제어기의 스텝 응답 특성
Fig. 7 Step response of proposed tension controller

그림 7는 시뮬레이션한 결과 파형이다. 그림에서 알 수 있듯이 장력의 기준 값이 0에서 1로 순간 변경되었을 때 출력되는 장력의 값을 그래프로 표시한 것으로 기존의 제어기의 오버슈트는 약 30%이고, 제안된 제어기의 오버슈트는 약 15% 정도이다. 그리고, Settling 시간을 비교하니 약 5ms 정도 줄어들었음을 알 수 있었다.

4. 실험

실험에 사용된 장력 제어시스템의 플랜트는 장력제어 알고리즘의 성능 및 기능 시험을 위해 20:1의 축소모델로 크기는 가로 35cm, 세로 50cm, 두 롤 간의 직선거리는 20cm이다. 제어기는 가로와 세로가 20cm이다.

4.1 실험환경

장력 제어 시스템은 크게 플랜트와 제어기 두 부분으로 이루어지며 장력제어 시스템의 플랜트 구성도를 그림으로 나타내면 그림 8과 같이 구성되어 있다.

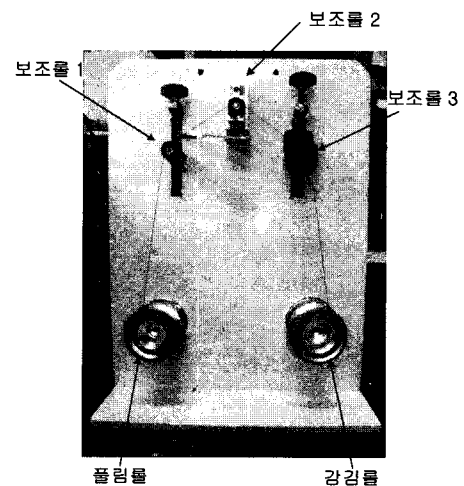


그림 8 장력 제어 플랜트의 사진
Fig. 8 Photo of tension Control plant

플랜트는 감김 롤, 풀림 롤, 3 개의 보조 롤로 구성되며, 감김 롤과 풀림 롤에는 각각 DC 모터가 연결된다. 1 번 보조 롤은 실을 이송할 때 지지 역할을 하고, 2 번 보조 롤은 상하로 움직일 수 있고 밑에는 장력 센서와 연결되어 장력을 측정하는 역할을 한다. 3 번 보조 롤에 있는 인코더는 실의 이동 량을 측정한다.

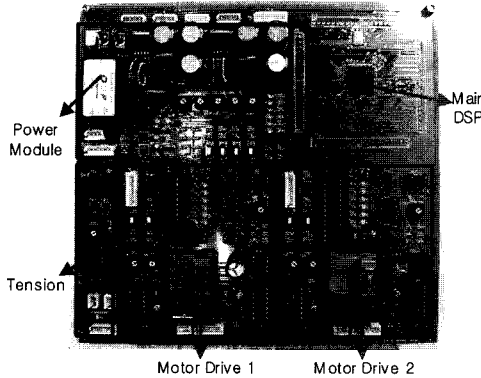


그림 9 장력제어기
Fig. 9 Tension Controller

그림 9은 3 개의 DSP가 사용되는 장력제어기의 사진이다. 장력 제어용 메인 DSP 1 개와 감김 롤과 풀림 롤의 모터를 제어하는 2 개의 모터 제어용 DSP로 구성된다. 각각의 모터 제어용 DSP는 메인 DSP와 SPI 통신으로 연결된다. 메인 DSP에서는 장력 센서에서 입력받은 장력 값과 2 개의 모터 제어용 DSP에서 모터의 속도 값을 받아 신호처리를 한 후 SPI 통신을 이용해 2 개의 모터 제어용 DSP에 각각 필요한 토크 값을 전달하도록 되어있다. 모터 제어용 DSP는 이 토크 값을 이용해 모터의 토크를 제어한다. 그 외에 모터의 전류 값을 측정하기 위한 전류센서와 스위치등이 내장되어 있다. 컨트롤러를 조정하기 위한 스위치, 가변저항 그리고 컨트롤러의 상황을 표시하는 LED가 내장되어 있다.

4.2 실험결과

본 장에서는 두 종류의 장력 제어 실험을 해보았다. 첫째, 모터 속도가 일정하게 유지되는 정상상태 운전 환경과 둘째, 모터 속도가 가변되는 과도상태 운전 환경을 설정한 뒤 각각의 실험 환경에서 기존의 제어 방법을 사용한 장력 제어 시스템과 본 논문에서 제안한 장력 제어 시스템 간의 성능을 비교한 후 분석했다.

4.2.1 속도 50 RPM, 장력 1 kgf 로 작동 시

그림 10은 기존의 제어기를 이용하여 실험한 것으로 설정한 감김 롤과 풀림 롤의 속도는 50 RPM 이고 기준 장력은 1 kgf 이다. 그림에서 보듯이 정상상태일 때 측정된 장력이 0.8 ~ 1.2 kgf를 나타낸다.

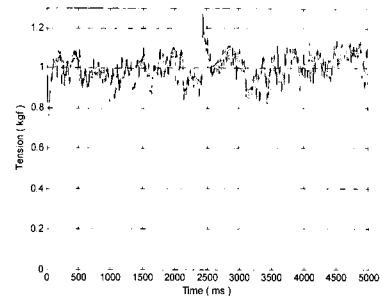


그림 10 기존의 장력제어기 (속도 50 RPM, 장력 1 kgf)
Fig. 10 Conventional tension controller (50 RPM, 1 kgf)

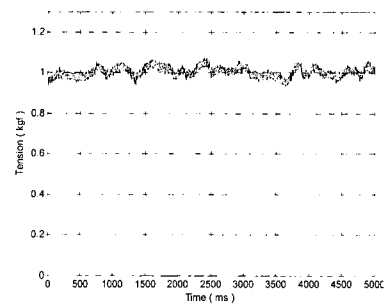


그림 11 제안한 장력제어기 (속도 50 RPM, 장력 1 kgf)
Fig. 11 Proposed tension controller (50 RPM, 1 kgf)

그림 11의 제안한 장력 제어기는 장력을 1 kgf 로 설정하였을 때 측정된 값이 0.94 ~ 1.07 kgf 이다. 실험결과에서도 알 수 있듯이 상당한 제어 성능의 향상을 가져온다는 것을 알 수 있다.

4.2.2 속도 150 RPM, 장력 2 kgf 로 작동 시

그림 12은 기존의 제어기를 이용해 실험한 것으로 설정한 감김 롤과 풀림 롤의 속도는 150 RPM 이고 기준 장력은 2 kgf 이다. 그림에서 보듯이 기존의 장력제어기는 모터가 150 RPM 으로 회전하는 정상상태일 때 측정된 장력이 1.5 ~ 2.4 kgf 를 나타낸다. 설정한 장력인 2kgf를 기준으로 오차가 ±0.4~0.5 kgf 정도이다.

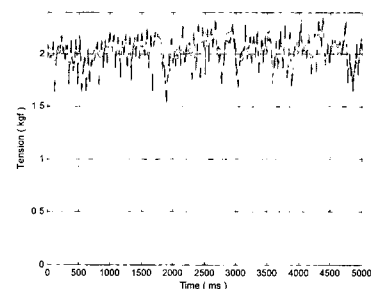


그림 12 기존의 장력제어기 (속도 150 RPM, 장력 2 kgf)
Fig. 12 Conventional tension controller (150 RPM, 2 kgf)

5. 결 론

본 논문에서는 실을 제조할 때 발생하는 장력을 원하는 일정 값으로 제어하려는 방법을 연구하였다. 장력제어 시스템의 정확도를 높이기 위한 알고리즘을 제안하고 실험을 통해서 검증하였다. 모터가 일정한 속도로 동작하는 정상상태 뿐만 아니라 속도가 변하는 과도상태에서도 기존의 장력제어 시스템보다 장력이 일정하게 유지됨을 알 수 있었고 다른 방식의 장력제어 기법보다 구조가 복잡하지 않아서 시스템의 설계 및 구현이 쉬웠다.

본 논문을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

장력 제어 시스템의 수학적 모델을 연구하였고, PI 제어를 이용하여 설정한 장력 값과 측정된 값을 비교하여 일정한 장력이 유지된다는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다. 장력측정용 보조 롤과 장력센서 사이에 스프링을 놓아서 장력을 측정할 때 발생하는 고주파 노이즈를 제거할 수 있었다.

본 논문의 실험에서 사용한 DC 모터 이외에 장력제어 산업에서 많이 이용되는 BLDC 모터를 이용해 제어를 하면 산업 전반에서 많이 사용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문(저서)은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-511-D00252)

참 고 문 헌

- [1] 한국 섬유기술연구소, "장력제어장치 응용기술에 대한 논술," <http://www.kotiti.re.kr>
- [2] Kee-Hyun Shin, "Distributed Control of Tension in Mult-span Web Transport System," Ph.D. Thesis, Oklahoma State Univ., 1991.
- [3] W. Wolfermann, "Tension Control of Webs-A Review of The Problems and Solutions in The Present and Future," Proc. of International Conference of Web Handling (IWEB4), pp.1~22, 1997.
- [4] T. Sakamoto and Y. Fujino, "Modeling and Analysis of A Web Tension Control System," Proc. of IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.358~362, 1995.
- [5] T. Sakamoto and Y. Fujino, "Decentralized Control Strategies for Web Tension Control System," Proc. of IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.1086~1089, 1997
- [6] T. Sakamoto and S. Tanaka, "Overlapping Decentralized Controller Design for Web Tension Control System," T.IEE-Japan, Vol. 118-D, No. 11, pp.1272~1278, 1998.
- [7] T. Sakamoto, "Analysis and Control of Web Tension

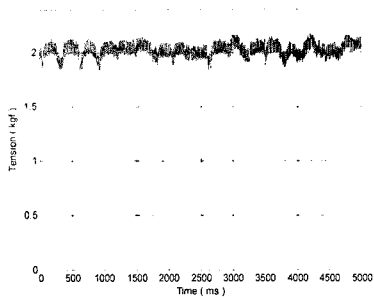


그림 13 제안한 장력제어기 (속도 150 RPM, 장력 2 kgf)
Fig. 13 Proposed tension controller (150 RPM, 2 kgf)

그림 13의 제안한 장력 제어기는 장력을 2 kgf 로 설정하였을 때 측정된 값이 1.8 ~ 2.15 kgf 이다. 설정한 장력을 기준으로 약 ±0.2 kgf 정도 차이가 난다. 실험결과에서도 알 수 있듯이 제안한 장력 제어기가 설정한 기준장력 1 kgf 에 가깝고 일정한 장력이 발생함을 알 수 있다.

4.2.3 속도가 30 RPM → 120 RPM → 30 RPM 로 변화 시

그림 14의 위 그림은 설정장력을 1 kgf 로 설정하고, 감김 롤과 풀림 롤의 속도를 처음에는 30 RPM로 1.5초 간 구동하다 120 RPM 로 2초 간 구동하고 다시 30 RPM 으로 동작한 모터의 속도 그래프이고, 그림 14의 아래 그림은 속도가 위 그림과 동일할 때 장력의 값을 나타낸 것이다. 그림에 나타나듯 모터가 30 RPM, 120 RPM 의 속도로 정상상태 동작을 할 때는 설정한 장력 값인 1 kgf 이 나온다. 속도가 30 RPM → 120 RPM 로 변경되는 과도 상태에서는 장력 값이 약 1.3 kgf 로 약간 상승했다가 다시 1 kgf 로 되고, 속도가 120 RPM → 30 RPM로 변경될 때는 약 0.8 kgf 감소하였다가 다시 1 kgf 되돌아오는 것을 알 수 있다.

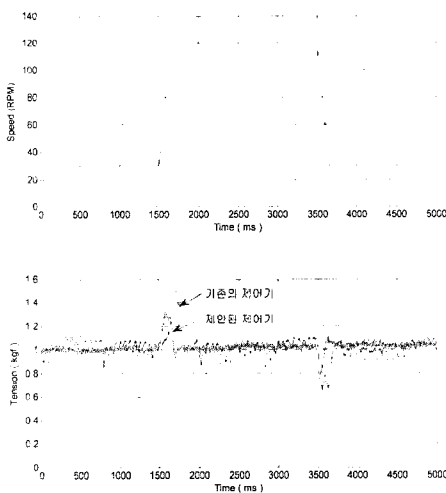


그림 14 제안한 장력제어기와 기존의 장력제어기 (속도 30 RPM → 120 RPM → 30 RPM, 장력 1 kgf)
Fig. 14 Proposed tension controller and Conventional tension controller (30 RPM → 120 RPM → 30 RPM, 1 kgf).

Control System,” Trans. of IEE-japan, Vol. 117-D, No. 3, March, pp.274~280, 1997.

- [8] W. Wolfermann and D. Schroeder, “New Decentralized Control in Processing Machines with Continuous Moving Webs,” Proc. of International Conference of Web Handling (IWEB2), pp. 96~116, 1993.
- [9] Nobert A. Ebler, Ragnar Arnason, Gerd Michaelis, and Noel DSa, “Tension Control: Dancer Rolls or Load Cells,” IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol. 29, No. 4, pp. 727~739, 1993.
- [10] K.N. Reid and K.C. Lin, “Control of Longitudinal Tension in Muilt-span Web Transport System During Start Up,” Proc. of International Conference of Web Handling IWEB3, pp77~95. 1995.
- [11] Kee-Hyun. Shin, A Study in the Real-Time Tension Control in Muilt-pan web Processing System, 한국과학재단, 1997.
- [12] 송승호, 설승기, “장력 관측기를 이용한 풀림률/감김률의 장력제어,” 대한전기학회논문집, Vol. 49, No. 1, pp.62 - 69, Jan 2000.



이 장 명 (李 章 明)

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업.
1982년 동 대학원 석사. 1990년 USC(미국 남가주대학교) 공학박사. 1992년~현재 부산대학교 전자전기공학부 교수

Tel : 051-510-2378

Fax : 051-514-1696

E-mail : jmlee@pusan.ac.kr

저 자 소 개



곽 영 신 (郭 永 信)

1980년 10월 30일생. 2006년 동의대 전자공학과 졸업. 2008년 부산대학교 대학원 전자공학과 석사 졸업

Tel : 051-510-1696

Fax : 051-514-1696

E-mail : ysin9@pusan.ac.kr



임 훈 (林 勳)

1980년 2월 29일생. 2007년 동의대 전자공학과 졸업. 2007년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정

Tel : 051-510-1696

Fax : 051-514-1696

E-mail : aptldk0229@pusan.ac.kr