

벨트형 연신가연기의 장력제어시스템 개발

배한조 · 전순용* · 한성수

영남대학교 섬유패션학부, *동양대학교 시스템제어공학부

Development of Tension Control System for Draw-Texturing Machine

Han Jo Bae, Soon Yong Chun**, Sung Soo Han

School of Textiles, Yeungnam University, Kyongsan, Korea

*School of System Control Engineering, Dongyang University, Yongju, Korea

1. 서 론

본 연구는 현재 일반적으로 가장 많이 사용되고있고 다른 방식에 비해 생산성이 높은 벨트방식 가연기의 장력제어에 관한 연구이다. 벨트방식(belt twister)의 가연력은 사(絲)의 장력에 관계없이 벨트에 작용하는 법선력과 사(絲)와 벨트 표면간의 마찰 계수에만 의존한다. 가연공정에서 사의 장력은 일정하게 유지되어야 하는데 사의 장력에 변화가 생기면 다음공정인 제직 공정이나 후가공 공정에서 치명적인 불량 의 원인이 된다. 그래서 사가공 공정에 있어서 사의 장력 제어는 매우 중요한 공정 조건이며, 벨트방식의 가연기에서 생산된 사의 장력에 영향을 미치는 주요한 인자를 살펴보면 벨트 접촉압력(belt contact pressure), B/Y의 비(ratio of between belt speed and yarn speed), 벨트 교차각(belt angle), 사(絲)와 벨트의 표면 특성 등이 있다. 이 중에서도 특히 큰 영향을 미치는 공정인자는 벨트 접촉압력(belt contact pressure), 즉 벨트에 작용하는 법선력(normal vector)이다.

1.1 기존의 장력제어시스템

사가공에 있어서 장력을 일정하게 유지하기 위하여 기존에 사용하고 있는 장력제어 방식은 공압(air compressure)을 이용하고 있다. 그런데 이 방법은 한 기계에서 24 추를 한 단위로 하여 장력을 제어하는 것으로 이는 한 추 한 추 개별제어가 불가능하고 실시간 장력제어가 어렵다. 또한 모든 단위추가 같은 공압으로 설정되어 있다 할지라도 각각의 추에 작용되어지는 공압은 공압의 전달경로에 따라 조금씩 차이가 있다. 또한 기구적으로 살펴보면 위쪽 벨트의 한 축은 고정되고 나머지 한 축이 스윙되면서 다른 쪽 벨트에 접촉하는 형태이기 때문에 접촉면에 접촉각이 생기고 이에 따라 벨트의 접촉이 완전하지 않아 정확한 장력제어가 불가능하다.[1-2]

1.2 연구목적 및 방법

본 연구의 목적은 기존의 이러한 공압제어 방식의 문제점을 해결하기 위하여 연신 가연기의 가연부에 스텝 모터(step motor)를 사용하여 가연부를 제어하는 장력제어시스템을 만드는 것이다.

즉 본 연구에 의해 개발된 장력제어시스템은 실시간(real-time) 장력 제어가 가능하고 각각의 추를 개별적으로 장력제어 할 수 있으며 수평이동을 통한 면압 제어를 하므로 정밀한 장력제어를 가능하게 한다.

2. 본 론

2.1. 공정 변수 설계

벨트 가연부의 가연기구는 사(絲)가 벨트를 지나면서 꼬임이 가해지고 다시 해연되는 것으로서 여기에 영향을 미치는 공정변수들은 매우 많다. 그 중에서도 일반적인 연신가연기에 있어 사(絲)의 물성에 영향을 미치는 주된 인자들은 4T(time, twist, temperature, tension)이다. 여기서 우리는 사의 장력을 제어하고자 하는데 이때 고려되어야 하는 사항들이 너무 복잡하다. 따라서 시스템을 보다 간단하게 분석하기 위해서 일반적으로 다음과 같이 가정을 한다.[3]

- ▷ 사경로(yarn path)는 곧게 유지된다.
- ▷ 사(絲)는 두 개의 벨트 표면에 연속적으로 접촉한다.
- ▷ 해연되는 동안의 마찰력, 사속, 사의 직경변화는 모두 무시한다.
- ▷ 벨트의 접촉압력은 접촉 영역에서 사를 따라 일정하다.
- ▷ 사는 벨트 표면을 지나는 동안 어디에서도 미끄러짐이 발생하지 않는다.
- ▷ 벨트의 교차각은 고정되어 있다.

본 논문은 이러한 가정 하에서 사의 장력 관계식을 구하고 이에 따라 사의 장력을 제어하고자 한다.

2.2. 벨트 가연부의 공정제어 변수

가연부의 벨트 전후에서 사에 작용하는 장력을 계산하기 위하여 사에 작용하는 힘의 평형식을 다음과 같이 나타내었다.[4]

$$T + dF_1 \cos \delta_1 + dF_2 \cos \delta_2 = T + \frac{\partial T}{\partial S} dS \quad (1)$$

이 관계를 이용하여 가연직전과 직후의 장력 관계를 식으로 나타내면

$$\frac{T_2}{T_1} = 1 + \frac{2\mu NS}{T_1} \cos \delta \quad (2)$$

과 같이된다.

위 식은 가연 시스템에서 주된 변수들의 관계를 보여준다. 즉 가연 직전 사의 장력(T_1)과 가연 직후 사의 장력(T_2)은 벨트의 마찰력과 법선력(N), 벨트에 접촉하는 접촉면의 길이, 벨트 교차각에 의존한다. 본 시스템은 미리 지정된 장력(target tension)을 입력한 후 유동하는 가연 후 장력인 T_2 장력이 지정된 장력을 정확히 추종하도록 제어함으로써, 최적의 가공 조건에 도달할 수 있도록 하고 이것은 최종적으로 가공된 사의 품질을 우수하게 할 것이다.

3. 결과 및 토의

3.1. 공압을 이용한 기존의 장력제어장치와 스텝모터를 이용한 장력제어장치

기존에 사용되고 있는 일본의 MURATA series는 공압을 이용한 장력제어장치를 사용하고 있다. 이 시스템은 공압의 전달 경로가 매우 길어짐에 따른 공압의 손실분으로 인해 실제 압력 변동은 더 클 것이라 예상된다.

이러한 장력제어시스템을 기계 기구적 측면에서 살펴보면 Figure 1 과 같이 나타낼 수 있는데 Figure 1(a)는 기존의 방식으로 한 축이 고정된 상태에서 축을 중심으로 각을 이루며 다른 쪽 벨트와 접촉하는 방식을 나타내고 있으며 두 벨트의 접촉면에 기울기가 생겨서 정확한 그립(grip)상태에 도달하지 못하고 미끄럼(slippage)이 발생하여 정확한 장력제어가 불가능하게 된다.

Figure 1(b)는 스텝모터에 의한 축 자체의 수평유동으로 이동 벨트가 유동하면서 고정되어진 위쪽벨트와 접촉하는 것을 모형으로 보여주고 있다.

즉, 본 논문에서는 기존의 공압 방식의 장력제어장치가 가지고 있는 문제점을 보완하여 사가 벨트 표면에 정확하게 접촉하도록 이동 벨트의 축을 스텝모터와 연결하여 평행하게 좌우 유동시킴으로서 사와 벨트의 접촉을 정확하게 하고 또한 사에 부여되는 장력을 조절할 수 있도록 하였다.

3.2. 개발된 제어시스템의 구성 및 동작

Figure 2 는 개발된 제어 시스템의 전체 구성도를 보여주고 있다. 본 제어시스템에서의 구체적인 동작들은 몇 가지로 구분하여 설명하였다.

본 제어시스템은 DC motor 에 의해 구동되는 두 개의 벨트와 벨트의 위치를 수평이동 시키는 스텝모터 그리고 스텝모터를 구동시키는 스텝모터 제어부와 시스템 모니터링 및 공정조건을 설정하는 컴퓨터로 구성되어 있다.

먼저 벨트는 두 개이며 각각의 축으로 연결되어있다. 그 중 하나의 벨트 축은 고정된 상태이며 다른 하나의 벨트 축은 두 개의 지지대로 구성되는데 한쪽 면은 슬라이더(slides)로 이송방향에 따라 자연스럽게 미끄러지고, 다른 한쪽 면은 스텝모터에 연결되어진 볼 스크류(ball screw)에 의해 지지되고 있다. 또한 가연부 전후에는 장력 측정기(tensiometer)를 설치하여 측정된 장력을 컴퓨터로 전달한다.

컴퓨터는 장력과 모터 속도를 모니터링하고 마우스나 키보드를 통하여 최종 목표치의 장력과 펄스 파라미터(pulse parameter), 장력 허용 오차, 펄스 수(pulse count) 등을 입력받은 후 장력 측정치를 스텝모터 제어부와 데이터를 주고받는다. 이때 통신 방식은 RS232C 시리얼(serial) 통신 포트를 이용하였다. 스텝모터 제어부는 ADC 2 포트로 입력을 받고 펄스와 스텝모터의 방향을 출력하는 기능을 가지며 전원은 5V DC 와 24V DC의 전력 공급원(DC power supply)을 내장하고 있다.

사경로(yarn path)에 따라 이송되는 사(絲)는 가연부 전후에 설치된 장력 측정기에 의해 장력이 측정된다. 이론적으로 보면 가연부 전후의 장력이 동일할 때 최적의 가연 조건($T_1 = T_2$)이 된다. 여기서 실제구동을 살펴보면 가연 후 장력은 순간순간 변화하기 때문에 연속적인 장력 제어가 필요하게 된다. 벨트 가연부 전후에 200 g 의 장력측정기를 설치하여 가연부의 사에 걸리는 장력의 크기를 측정하여 디지털화 한 후 이 신호를 제어부에 전달한다. 이렇게 장력측정기로부터 신호를 전달받은 제어부는 신호에 따라 적절한 제어 신호를 스텝모터로 전달하여 이동 벨트를 수평으로 이동시켜 일정한 장력을 유지하게 한다.

가연부(belt twister)에는 두 개의 벨트를 구동시키는 DC 모터가 장착되어 있으며 이 DC 모터는 MMC 보드(multi motion controller board)로부터 신호를 전달받아 구동된다. MMC 보드는 4축으로 구성되어 있으며 제어방식은 PID 컨트롤 로직(control logic)을 사용한다. 스텝모터의 제어 방식은 처음 스텝모터가 유동할 수 있는 장력 설정(target tension)값을 입력 한 후 시스템을 구동시키면 장력측정기에서 연속적으로 장력신호를 받게 된다. 이때 측정된 장력이 설정장력과 허용범위이상 차이가 생길 경우 프로그램에 입력된 조건문에서 순환 루프를 이용하여 장력차이를 계산한 후 스텝모터의 펄스를 증감시키면서 이동 벨트를 구동시켜 설정장력에 근접시키게 된다. Figure 3 은 장력 측정부 및 벨트부를 나타내고 있고 Figure 4 는 스텝모터 제어부를 나타내고 있다.

3.3. 시스템 모니터링과 장력제어 시뮬레이션

제어환경 설정과 제어과정, 2 개의 구동롤러의 입력 속도와 출력속도와 장력측정기로부터 측정된 장력의 변화를 모니터링하고 표시하기 위하여 나타낸 것이 Figure 5 의 사 장력 모니터링부 이다. 장력제어는 자동모드(auto mode)와 반자동모드(semi - auto mode) 그리고 수동모드로 설정 할 수 있다.

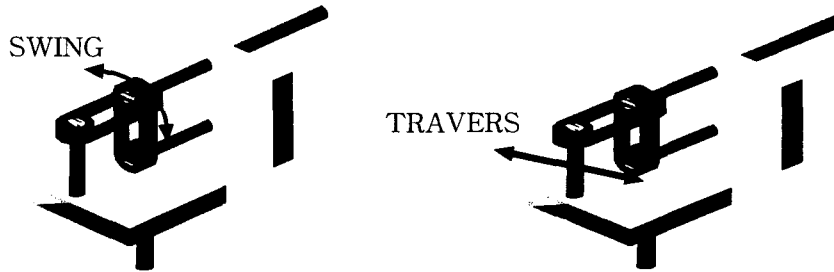
4. 결 론

본 논문은 사(絲)의 물성변화에 지대한 영향을 미치는 가연부 전후의 장력을 기존의 압축펌프(compressor)를 이용한 공압방식이 아닌 step motor를 사용하는 새로운 방식을 채택하였다. 본 연구에서 개발 된 스텝모터를 이용한 장력제어시스템의 경우 장력측정기로부터 진행되는 사의 장력을 연속적으로 스텝모터 제어기로 입력받는다. 이는 실시간(real-time)으로 변화하는 장력에 민감히 대처하여 장력제어를 가능하게 한다. 또한 벨트 접압점의 허용오차를 최소화하고, 가연 벨트의 수평 이동을 통하여 벨트부에서 발생하는 미끄러짐(slippage)을 최소화함으로써 완벽한 그립(grip)상태를 이루게되어 정밀한 장력제어를 가능하게 하고 또한 실질적인 개별제어가 가능하도록 하는 장력제어기이다. 뿐만 아니라 각각의 장력 신호와 모터 속도(motor speed)를 모니터링 하는 소프트웨어를 개발하여 모터속도와 장력과의 상관관계를 살펴볼 수 있었고 향후 각 데이터(data)의 변화를 DB화시켜 최적의 공정조건 설계에 좀 더 다가설 수 있을 것이다.

감사의 글 : 이 논문은 영남대학교 지역협력연구센터(RRC)의 연구비에 의하여 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 한성수, 지역협력연구센터'96연차보고서, pp. 225(1997)
2. T. J. Kang and Aly El-Shiekh, T. R. J., 53, 1, 1(1983)
3. 김종섭, 이재곤, 강태진, 한국섬유공학회, 27, 8, 27(1990)
4. Wei Li, T. J. Kang and Aly El-Shiekh, T. R. J., 59, 719~725(1988)
5. 정윤기, Borland C++, 크라운출판사, pp. 335-337(1994)
6. 이용일, 남궁연, 볼랜드 C++ 활용, 세운, pp. 593~693(1992)



(a) Air pressure method (좌)

(b) Development method by step motor (우)

Figure 1. Comparison of tension control system between air pressure and step motor method

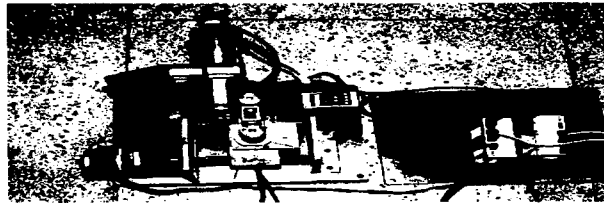


Figure 2. Tension control unit of draw texturing machine

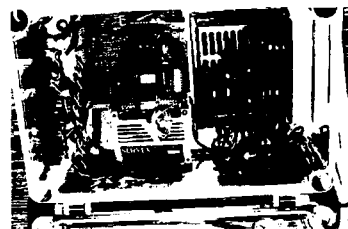
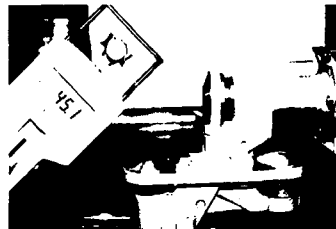


Figure 3. Tension measurement unit and belt unit (좌)

Figure 4. Step motor control system (우)

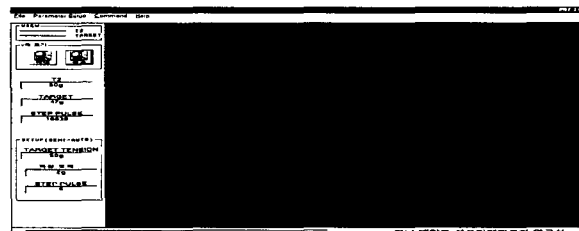


Figure 5. Monitoring of the semi-auto control mode