

3 cylinders-belt system에서의 축방향 belt운동 modeling에 관한 연구

허 유, 홍 승 관

경희대학교 기계.산업시스템 공학부

A study on the modeling of axis-direction belt movement in the 3 cylinders-belt system

You Huh, Seung Kwan Hong

Department Textile of Engineering,

Kyunghee University, Yongin, Korea

1. 서 론

섬유산업은 fiber로부터 시작하여 yarn, fabric을 거쳐 최종 섬유제품인 clothing을 생산하는 긴 stream을 가지고 있으며, 이와 같이 여러 단계의 공정을 거치는 가운데 섬유물은 새로운 형태를 가지게 되며 부가가치가 형성된다.

특히 garments manufacturing 공정에는 fusing press기가 사용되는데 이 방식은 같은 각속도와 지름을 가진 cylinder로 구동되는 두 개의 상하 벨트구동기구와 내부에 열전식 heater로 구성되어 상하 벨트의 내부로 원단과 심지를 통과시키며 열을 가함으로써 원단과 심지를 접착시킨다. 이러한 벨트구동 방식의 fusing press기에서 가장 먼저 개선되어야 할 문제점은 원단과 접착심지를 이동시켜주는 벨트구동기구의 동작 불균일로 인한 벨트의 cylinder축 방향 쓸림이 발생하는 현상이다.

벨트의 cylinder 축방향 쓸림 현상은 주로 구동 cylinder축 간 사행도, 벨트의 물성 불균일, 접착물의 두께변화 등으로 발생될 수 있다.

본 연구에서는 광폭 평벨트 구동기구에서 벨트의 cylinder 축방향 쓸림현상의 제어를 위한 선행 연구로써 지지축의 위치를 변화시킬 수 있는 guide cylinder를 설치하여 축의 움직임에 따른 벨트의 사행도를 관찰하였고, 이러한 쓸림현상에 대한 모델링을 제시하였으며 관찰결과를 통해 제시된 수학적 모델링의 타당성을 검증해 보았다.

2. 모델링

본 연구의 대상이 되는 3 cylinders-belt system은 2개의 평행 cylinder와 두 cylinder 사이에 놓여진 guide cylinder, 그리고 광폭 belt로 구성되어 있으며 모델링을 위하여 ¹⁾벨트의 축 방향 쓸림은 벨트에 걸리는 장력과 cylinder 각속도 및 guide cylinder 경사각 θ 에 비례하며, ²⁾벨트에 걸리는 장력은 벨트의 인장변형에 비례한다고 가정하였다. 먼저 첫 번째 가정에 의해 벨트의 축방향 운동과 벨트에 걸리는

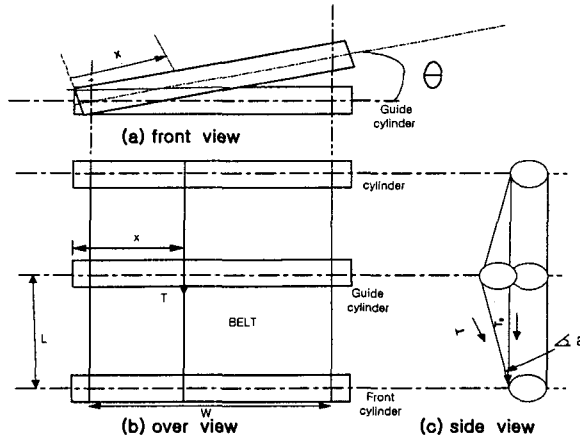


Fig. 1 Schematic description of belt-drive system controlled by cylinder

장력과의 관계를 나타내면

$$-\frac{dx_c(t)}{dt} \propto k \cdot T_{belt} \cdot \sin \theta \cdot \omega_r \text{ 로 나타낼수 있다.} \quad (1)$$

(k:비례상수, x_c :벨트 중심선의 실린더 축방향 변위, ω_r : roller의 각속도, 단 $x_c > 0$)
 한편 가정 2)에 의해 Fig.1에서 보는 바와 같이 벨트가 수평상태에 있을 때의 장력을 초기장력 T_0 , guide cylinder 축의 경사각 θ , guide cylinder의 지지점부터 x 만큼어진 지점에서 front cylinder와 벨트가 이루는 각을 a 라 하면 $x \cdot \sin \theta = L \cdot \tan a$ 관계가 성립된다. 따라서 guide cylinder의 경사각이 θ 일 때 x 위치에서의 벨트장력을 T 라 하면 벨트 장력 분포는

$$T = T_0 (1 / \cos \theta) \quad (2)$$

$$T = T_0 \cdot \sqrt{1 + (x \cdot \sin \theta / L)^2} \quad (3)$$

주어진다. 그런데 $(x \cdot \sin \theta / L)^2 \ll 1$ 이므로 $T = T_0 \cdot (1 + \frac{1}{2}(x \cdot \frac{\sin \theta}{L})^2)$ (4)

이라 할 수 있다.

따라서 중심선의 위치가 x_c 이고 폭 W 인 벨트 전체에 걸리는 장력 T_{belt} 는

$$T_{belt} = \int_{x_c - W/2}^{x_c + W/2} T(x) dx \quad (5)$$

이므로 이를 정리하면

$$T_{belt} = T_0 (W + \frac{1}{2} (\frac{\sin \theta}{L})^2 \cdot x_c^2 \cdot W + \frac{1}{24} (\frac{\sin \theta}{L})^2 \cdot W^3) \quad (6)$$

벨트 중심선의 운동을 묘사하기 위하여 벨트의 힘의 균형을 나타내는 식 (1)에 식(6)을 대입하고 정리하면

$$-\frac{dx_c(t)}{dt} = k \cdot T_0 \cdot (w + \frac{1}{2} (\frac{\sin \theta}{L})^2 \cdot w \cdot x_c(t)^2 + \frac{1}{24} (\frac{\sin \theta}{L})^2 \cdot w^3) \cdot \omega_r \cdot \sin \theta \quad (7)$$

이 된다.

식(7)의 계수들을 A, B로 정리하면 중심선의 실린더축 방향 이동속도는 (8)식과 같다.

$$-\frac{dx_c(t)}{dt} = A \cdot x_c^2(t) + B \quad (8)$$

$$A = \frac{1}{2} T_0 \left(\frac{\sin \theta}{L}\right)^2 \cdot W \cdot k \cdot \omega_r \cdot \sin \theta$$

$$B = T_0 \cdot k \cdot W \cdot \sin \theta \cdot \omega_r \left(1 + \frac{1}{24} \left(\frac{\sin \theta}{L}\right)^2 \cdot W^2\right)$$

belt 중심선의 cylinder 축방향 이동 즉, 식(8)에서 볼 수 있는 바와 같이 벨트 중심선의 움직임을 나타내는 식은 비선형 방정식으로 주어진다. 이 식의 해를 구하면

$$x_c(t) = -\sqrt{\frac{B}{A}} \tan(t \cdot \sqrt{A \cdot B} - \arctan(\sqrt{\frac{A}{B}} \cdot x_0)) \quad (\text{단, } x_c > w/2) \quad (9)$$

이다. (x_0 : t=0일때의 벨트 중심선 위치)

본 연구에서는 벨트 중심선 운동을 x의 cosθ값에 대하여 역방향으로 설정하여 측정하였으므로 벨트의 중심선 운동 측정값 $x_m(t)$ 는

$$x_m(t) = (x_0 - x_c(t)) \cos \theta \quad (10)$$

그러므로 벨트의 중심선 운동 측정값을 나타내는 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$x_m = (x_0 + \sqrt{\frac{B}{A}} \tan(t \cdot \sqrt{A \cdot B} - \arctan(\sqrt{\frac{A}{B}} \cdot x_0))) \cdot \cos \theta \quad (11)$$

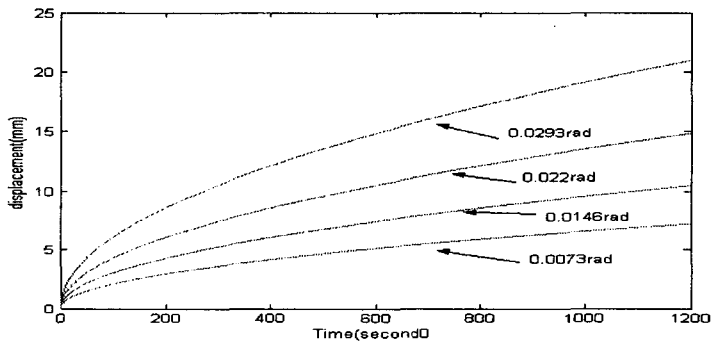


Fig.2 The simulation of modeling

초기장력 $T_0 = 35\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$, 벨트폭 $W = 0.4\text{m}$,
cylinder 각속도 $\omega_r = 5\text{rad/s}$ 비례상수 $k = 0.003$.

Fig.2 는 앞에서 얻은 식(11)을 guide cylinder의 각도를 달리하여 그림으로 나타낸 결과이다. 이에 의하면 주어진 초기조건에서 벨트는 빠른 속도로 위치가 변하며 시간이 경과함에 따라 일정한 기울기로 계속 증가함을 알 수 있으며 guide cylinder의 경사각을 0.0073rad씩 증가함에 따라 기울기 값이 거의 일정하게 증가함을 볼 수 있다.

3. 실험

3.1. 실험장치의 구성

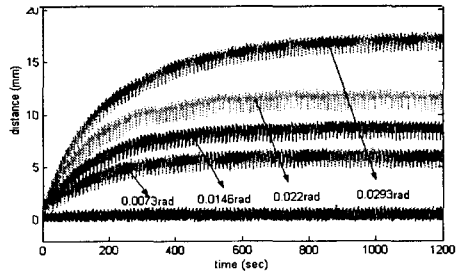
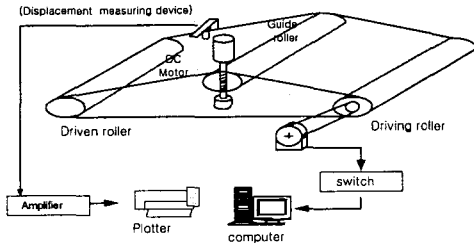


Fig.3 The schmatic diagram of experiment device

Fig.4 The result of experiment

Fig.3은 본연구의 대상이되는 3 cylinders-belt system의 실험장차를 보여준다. 두 축이 서로 평행인 cylinder 사이에 guide cylinder가 놓여져 있다. guide cylinder 한쪽 지지점에 DC 모터를 설치하고 벨트의 중심선의 이동 변위를 측정할 수 있는 sensor를 부착하여 guide cylinder의 가변 축을 수직으로 변화시켜 guide cylinder의 경사각을 증가 및 감소 시키면서 실험하였다.

3. 2. 실험결과 및 discussion

Fig.4는 실험으로써 얻은 결과이다. 그림에서 보는 것처럼 각각의 곡선들은 초기 구배가 일어나다가 어느 일정한 위치에서 벨트의 중심선이 고정되어 더 이상 변위가 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 이 결과로 이미 앞에서 얻어진 Fig.2와 비교할 때 각각의 곡선들이 초기에 큰 구배를 가지며 변하는 현상과 잘 일치한다. 즉, 본 모델링의 결과 초기 벨트운동은 실제와 잘 일치한다고 볼 수 있다. 그러나 시간이 경과함에 따라 model과 실험 결과 변위구배에 차이가 나타남을 알 수 있다. 벨트의 운동을 guide cylinder의 부착을 통하여 제어하려는 경우 벨트의 변위가 나타나기 시작하는 초기에 제어가 이루어져야 하므로 앞으로 본 연구에서 얻어낸 모델을 바탕으로 제어시스템을 구축하고자 한다.

4. 결론

- (1) 3 cylinders-belt system에서의 cylinder축의 경사에 따른 벨트의 운동을 수학적으로 묘사하면 아래와 같이 비선형 방정식으로 나타낼 수 있으며

$$-\frac{dx_c(t)}{dt} = A \cdot x_c^2(t) + B$$

- (2) 수학적 모델링은 실험과 비교할때 초기 변위에서 벨트의 축방향 변위 거동을 잘 묘사함을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

1. Gerry Cooking, "Fusing technology", Textile inst., 1990
2. Delores M. Etter "engineering problem solving with matlab", 1997