

〈研究論文(學術)〉

심지용착기의 압착벨트 운동에 대한 연구

허 유¹ · **안성기 · 장승호

경희대학교 기계 · 산업시스템 공학부, 용인, 경기도 449-701
*경희대학교 대학원 섬유공학과, 용인 경기도 449-701 (*주)나노엔씨

A Study on the Press Belt Motion in the Fusing Press M/C

You Huh¹, **Seong-Gi Ahn and Seung-Ho Jang

Faculty of Mechanical and Industrial Systems Engineering,
Kyunghee University, Yongin, Gyunggi-Do, 449-701, Korea

*Department of Textile Engineering, Graduate School, Kyunghee University,
Kyunghee University, Yongin, Gyunggi-Do, 449-701, Korea (*NanoNC Co. Ltd)

(Received June 4, 2005/Accepted September 13, 2005)

Abstract— Fusing press m/c is used for heating and pressing the specimens that are fed into between the two moving belts. Therefore the belt movement, belt temperature, and the pressure between belts must be kept constant. Especially, the belts should move in a limited operation range. When the belts run far out of the operation point, the machine has to be stopped, which results in a product defect because the fusing conditions, e.g., temperature and pressure, change during the transient process time period. It is important to avoid the belt stopping by maintaining the belt movement in a limited range. This study reports about the movement of the endless fusing belt in a long-span roller fusing m/c. The belt position changes as the 1st-order system does; if the roller axes are slanting each other with a certain angle, the belt running around the two rolls shows a dynamic behavior with the time that deviates fastly at the beginning from the initial condition and slows down. Then it reaches at a final position. The skewer the axes, the greater the position change. The initial change rate of the belt becomes large as the skewness of the axes between the two rollers increases.

Keywords : fusing press m/c, belt movement, roller axes, slanting angle, 1st-order system

1. 서 론

Fusing press기는 롤러로 구동되는 무한벨트 사이로 공급되는 섬유물을 이송하면서 heater로 열을 가하고, 동시에 압력을 부여하여 섬유물 표면에 분포하는 접착제를 용융시켜 적층된 섬유물을 서로 접착시키는 단위 기계이다. 따라서

용착된 섬유물의 품질을 일정하게 유지하기 위해서는 적층된 섬유물의 파지, 이동, 가열, 압착 시켜주는 벨트의 운동과 압착시의 온도 및 압력 분포를 일정하게 유지하는 것이 대단히 중요하다. 특히, 무한 벨트를 이용한 섬유물의 파지 및 이동에는 벨트가 항상 일정 위치에서 운동을 해야 하는데,

- 벨트 장력 분포의 분균일,
- 가열장치에 의한 벨트의 열변형,

¹Corresponding author. Tel. : +82-31-201-2516 ; Fax. : +82-31-202-1946 ; e-mail : huhyou@khu.ac.kr

- 벨트의 장력이완,
 - 벨트 구동 roll축의 gauge변화,
- 등에 기인하여 벨트의 운동 경로가 변하게 되어
- 적층된 섬유물간의 장력 불일치,
 - 벨트가 제한된 구동폭을 벗어남에 따른 잦은 기계정지,
 - 벨트 변부의 변형/마손,
 - 기계 정지시 벨트에 가해지는 fusing energy의 과도 공급에 의한 벨트 손상,
 - 섬유물의 오염

등이 나타나고 가공된 섬유제품의 품질과 공정 효율이 저하하는 문제가 발생한다¹⁻³⁾.

지금까지 이러한 벨트 운동선의 변화에 대응하여 사용하고 있는 방법은 1) 벨트 변부에 횡방향 이동을 강제하기 위한 기계요소 (예를 들어, snap button)를 부착하고, 구동 roll의 표면에 guide groove를 부여하는 방법, 2) 위치센서를 부착하여 벨트가 일정범위를 벗어나면 롤러 축의 각도/위치제어를 통하여 벨트 경로를 자동제어하는 방법, 3) 기계를 정지시키고 롤러 축의 위치를 볼트로서 수동으로 미소 조정하는 방법이 사용되고 있다. 그러나 벨트의 경로제어는 기존의 설비를 크게 변화시켜야 하고, 많은 정비가 필요하므로 시장의 요구에 따라 정확한 기계의 설계 및 제작에 의한 원활한 기계의 동작이 가능하도록 하는 것이 필요하다. 이에 따라 일반적으로 롤러-벨트 기구의 정밀 수동 조정이 가능하도록 기계개발이 이루어져 있으나, 여전히 잦은 기계정지 및 스넵의 파손, 미숙련에 의한 벨트의 손상이 많아 문제점이 해결되지 못하고 있는 실정이다.

일반적으로 폴리-벨트 시스템에서 벨트의 운동은 기구학적 측면에서 다루어지고 있으며, 벨트가 풀리에서 벗겨지지 않고 일정경로를 유지하기 위하여 풀리의 림을 증고형상, 즉 림의 중앙부 직경이 가장자리보다 크게 설정한다^{4,5)}. 그러나 롤러 퓨징 프레스기에서는 롤러의 직경 변화를 허용할 수 없다.

롤러를 이용한 섬유물의 이동가공에 관한 연구^{6,7)}에서는 롤러의 속도차에 의한 가공물의 장력과 두께 변화에 관하여 연구가 이루어진 바가 있으나, 롤러 구동 벨트의 경로 운동에 관한 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 위에 언급된 바와 같은 문제점을 해결하고자 롤러 퓨징 프레스기에서의 벨트 운동을 해석하고 이를 실험으로 확인하고자 한다.

2. 퓨징 프레스 벨트의 운동 모델링

롤러 퓨징 프레스기는 Fig.1에서 볼 수 있는 바와 같이 롤러-벨트 시스템으로 생각할 수 있다. 롤러-벨트 시스템에서 벨트거동을 묘사하기 위하여, 두 개의 롤러 축이 공간중에 놓여 있는 경우를 생각해 보자.

먼저, 주어진 시스템에서의 좌표계는 Fig.1에서와 같이 구동로울러 축과 평행한 방향을 z축으로, 구동로울러에 수직인 벨트의 운동 방향을 y축으로, 그리고 z축, y축에 수직방향을 x축으로 정하였다. 종동축의 한쪽 끝을 고정점으로 하고 다른 한쪽 끝을 가변점으로 조절하도록 하면, 종동축상의 벨트 중심선의 위치를 P라고 할 때, 원점에서부터 P점의 위치를 나타내는 위치벡터 r_P 는

$$r_P = r_x \hat{i}_x + r_y \hat{i}_y + r_z \hat{i}_z$$

로 나타낼 수 있다. 이때, $\hat{i}_x, \hat{i}_y, \hat{i}_z$ 는 각각 x, y, z 방향의 단위벡터이며, r_x, r_y , 그리고 r_z 는 점 P의 x, y, z, 방향으로의 거리를 나타낸다.

따라서 r_x 는 벨트 중심선에서 벨트면에 수직되는 방향으로의 종동 로울러 축의 변위이며, r_y 는 구동 축과 종동 축간의 사행도에 의한 벨트 중심선의 거리차를 나타낸 변위이고, r_z 는 원점에서부터 구동축과 평행한 방향으로의 벨트 위치성분이 된다.

벨트의 거동을 단순하게 다루기 위하여 두 롤러의 축이 동일 평면상에 놓여 있다고 가정하고, 두 축이 서로 평행하지 않다면, Fig.2와 같이 벨트의 중심선이 종동축을 떠나는 점, 즉 퇴출점 (point of delivery) P에서 벨트에 작용하는 힘의 평형을 생각할 수 있다.

종동축 방향의 단위 벡터를 \hat{i}_z 벨트면에 포함되며, 종동축에 수직인 단위벡터를 \hat{i}_y 벨트 중심선에서의 축간 거리 방향 단위 벡터를 \hat{i}_x 라고 하면, 벨트의 중심선에 작용하는 인장력

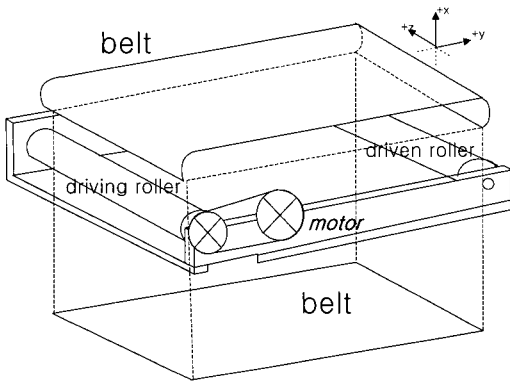


Fig. 1. Schematic representation of a roller-belt system.

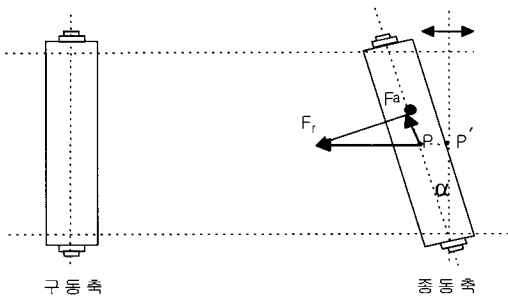


Fig. 2. Force components acting at the point P on the driven roller axis.

$F i_y$ 는

$$F i_y = F_r i_r + F_a i_a \quad (1)$$

(where, F_r : force component of the belt tension rotating the roller due to the friction of the belt

F_a : force component of the belt tension pushing out the belt along the roller axis)

로 나타낼 수 있다. 따라서 벨트 중심선에서 벨트 장력이 종동축 방향으로 벨트를 밀어내려는 힘은

$$F_a = F \sin \alpha \quad (2)$$

으로 나타낼 수 있다.

한편, 벨트 장력이 벨트를 롤러 축 방향으로 밀어내는 힘 F_a 는 벨트 운동 경로의 변화를 일으키는데, 변위 r_z 의 시간당 변화율, 즉 v_z 에 비례한다고 가정하면

$$F_a = b \frac{dr_z}{dt} = b v_z \quad (3)$$

(b : a constant)

이다. 롤러의 두 축이 서로 평행인 경우의 축간 거리를 L , 이때의 벨트에 걸린 장력을 F_0 라 하면, 종동축의 한쪽 지지점이 구동축 방향으로 움직여서 벨트의 중심선에서의 축간 거리 δL 만큼 작아졌을 때,

$$\frac{(F-F_0)}{A} = -E \frac{\delta L}{L} \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다. 이때, A 는 벨트의 단면적, E 는 벨트의 영률이다.

그런데, 초기 위치로부터 벨트 중심선의 위치 r_z 와 δL 은

$$\delta L \cong r_z \sin \alpha$$

이므로 식(4)는

$$F = F_0 - AE \sin \alpha \left(\frac{r_z}{L} \right) \quad (5)$$

이 된다.

식(3)과 식(5)에 의하여 종동축 상에서의 벨트 중심선에 작용하는 힘의 평형은

$$F_a = F_0 \sin \alpha - \frac{AE \sin^2 \alpha}{L} r_z = b \frac{dr_z}{dt} \quad (6)$$

로 나타낼 수 있다.

따라서 벨트의 중심선 위치와 축간 사행각과의 관계는

$$\frac{dr_z}{dt} + f(\alpha, L, b) r_z = \frac{F_0 \sin \alpha}{b} \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다.

단, $f(\alpha, L, b) = \frac{AE \sin^2 \alpha}{bL}$ 이다.

3. 실험

3.1 실험장치의 구성

본 연구를 위하여 간단한 실험용 광폭벨트 구동 시스템을 구성하였다. 로울러 축간의 거리 변화는 종동축의 한쪽 지지점을 고정시키고, 다른 쪽을 가변 지지점으로 구성하고, 위치 변화가 가능하도록 로울러 축 변위용 control bolt를 설치하였다. 또 벨트의 운동경로 측정을 위하여

벨트 면과 직접 접촉하여 벨트 측면의 위치 변화를 측정할 수 있도록 sensor를 부착하여 A/D converter를 통해 computer로 신호를 받아 분석하였다.

Fig.3은 만들어진 실험장치의 개략도를 보여 준다.

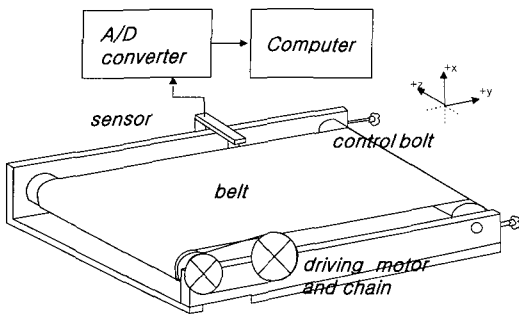


Fig. 3. Schematic description of the experimental belt drive system.

Table 1. Experimental conditions

Driving velocity of belt	8.38 m/min
Diameter of the roller	59 mm
Distance of the roller axes	860 mm
Width of the belt	400 mm
Sampling frequency	2 Hz
Sampling duration	1200 sec.

3.2 실험조건

본 연구에서 사용된 광폭벨트구동 시스템의 실험조건은 Table 1과 같다.

실험은 front 롤러의 축은 고정되어 있고, back 롤러 축을 지지하는 지지점의 한 쪽을 hinge 점으로 고정시키고 다른 쪽의 위치를 변화시킴으로써 벨트 장력분포가 변하도록 하였으며, 이에 따라 벨트의 운동선 변위를 측정하였다.

3.3 로울러 퓨징 프레스 시스템에 영향을 미치는 요인

로울러-벨트 시스템에서 광폭 벨트가 이용되는 경우, 벨트의 물성과 로울러 축의 배열이 벨트 운동에 영향을 미치는 중요한 요인이라고 할

수 있다. 일반적으로 롤러 퓨징 프레스기에서 벨트는 일정 시간이 경과하면 교환되는 소모성 재료부품이다. 따라서 벨트의 물성이 불균일하거나 변화가 일어나더라도 가능한 한 벨트의 운동경로가 일정하게 유지될 수 있도록 하는 것이 중요하다.

주어진 벨트 물성하에서 로울러-벨트 시스템의 벨트운동에 영향을 미치는 중요한 요인은 로울러 축의 사행도(skewness)라고 할 수 있다. 공간중의 로울러 축의 배치는 좌표계에 대한 좌표 축의 값으로 나타낼 수 있다; 즉, 로울러는 각 축의 양단에서 bearing으로 지지되므로 bearing 지지점을 축의 중심선 지지점으로 생각하여 각 축의 배치를 나타낼 수 있다.

Fig.4에서 (1)의 경우는 두 로울러 축의 한쪽 고정 지지점을 각각 기점으로 할 때, 다른 지지점의 x, y좌표가 모두 같으며, 2)의 경우는 두 로울러 축의 다른 지지점에 대한 y 좌표가 같고, x 좌표에 차이가 있는 경우이며, 3)의 경우는 두 로울러 축의 한쪽 끝의 지지점에 대한 x 좌표가 같고, y 좌표에 차이가 있는 경우라고 할 수 있다. 그리고 4)의 경우는 두 로울러 축의 한쪽 지지점에 대한 x 좌표, y 좌표에 모두 차이가 있는 경우에 해당된다.

로울러 퓨징 프레스기에서는 벨트에 열을 가하는 가열장치가 장착되어 있으므로 벨트의 온도와 로울러 축의 간격은 벨트의 장력에 큰 영향을 미친다. 벨트에 발생하는 인장 스트레스가

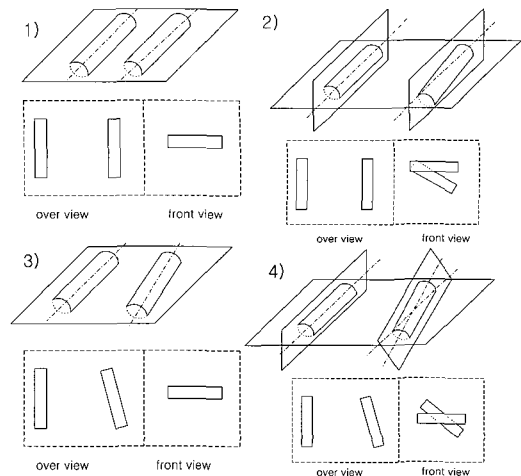


Fig. 4. Various possible arrangements of two rollers.

균일하지 않은 경우에는 벨트의 변형이 불균일하게 되어, 결국은 벨트거동이 달라지게 된다. 벨트의 장력은 로울러 축의 양단 좌표와 벨트의 길이에 의하여 결정된다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 로울러-벨트 시스템에서의 벨트 운동 경로에 영향을 미치는 요인을 두 로울러 축의 양단의 지지점에 대한 x-좌표, y-좌표로써 나타내었으며, 각각의 값에 변화를 주어 벨트경로 동적 거동을 측정하고, 동시에 벨트에 부과되는 장력을 측정하였다.

4. 실험결과 및 검토

4.1 평행 로울러

로울러의 두 축이 평행인 상태에서의 가변 지지점의 위치를 기준점 (0,0)으로 하여 벨트 운동 경로를 시간에 따라 측정한 결과는 Fig.5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 벨트는 일정한 경로를 따라 안정되게 운동하는 것을 볼 수 있다.

4.2 수평 사행 로울러와 벨트 운동 경로

벨트의 운동 경로의 변화가 없는 상태를 기준으로 하여, 가변 지지점의 위치를 변화시킴으로써 축의 수평 사행도를 실현시켰다. 각각의 축의 수평 사행도에 대한 벨트 운동 경로를 측정한 대표적인 결과는 Fig.6에 주어져 있다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 종동축의 가변 지지점의 위치를 수평 방향으로 스텝 함수 형태로 옮김에 따라 벨트 경로는 초기 변화가 급격히 발생한 후, 시간이 경과함에 따라 일정한 위치에 접근해 가는 것을 알 수 있다.

이는 시스템 동특성 측면에서 일정 입력에 대한 1차계의 출력 특성과 같으며, 이러한 특성은 앞에서 얻은 동역학적 모델(식 7) 결과와 잘 일치한다.

4.3 수직 사행 로울러와 벨트 운동 경로

벨트의 운동경로에 변화가 없는 상태, 즉 로울러의 두 축이 평행인 상태에서의 가변지지점의 위치를 기준점 (0,0)으로 하여 축의 수직 사행도는 가변 지지점의 위치를 수직 방향으로 변화시킴으로써 실현시켰다. Fig.7은 축의 수직 사행도에 대한 벨트 운동 경로를 측정한 대표적 결과를 보여 준다.

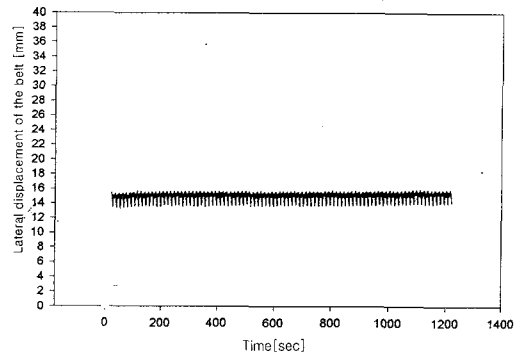


Fig. 5. Measured belt position for the optimal condition with the hinge point of $x=0\text{mm}$ and $y=0\text{mm}$.

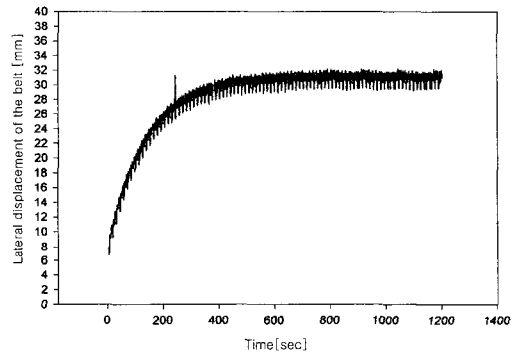


Fig. 6. Measured belt position for the horizontal axial skewness with the hinge point of $x=0\text{mm}$ and $y=-2\text{mm}$.

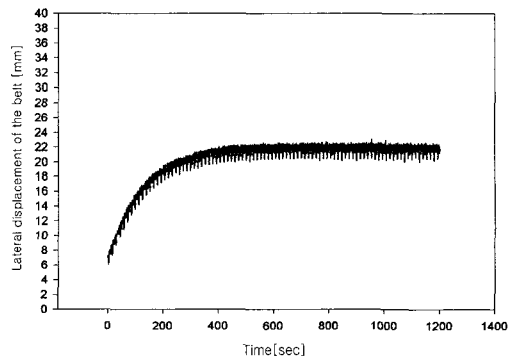


Fig. 7. Measured belt position for the vertical axial skewness with the hinge point of $x=-2\text{mm}$ and $y=0\text{mm}$.

이 결과에 의하면, 종동축의 가변 지지점 위치를 수직 방향으로 옮김에 따라 벨트의 운동 경로가 수평 사행도를 갖는 경우와 같이 1차계의 시스템 특성으로 나타낼 수 있다는 것을 알 수

있다. 그러나 벨트 경로의 초기 변화율과 최종 변위는 수평 사행도를 갖는 축의 배열에 비하여 작게 나타난다.

4.4 공간 사행 로울러와 벨트 운동 경로

공간내의 두 축의 사행도는 가변 지지점의 위치를 수평방향과 함께 수직 방향으로 동시에 변화시킴으로써 실현될 수 있다.

두 롤러 축의 공간 사행도에 따른 벨트운동의 경로를 측정한 대표적 결과가 Fig.8, Fig.9에 주어져 있다.

Fig.5, Fig.8, 그리고 Fig.9를 서로 비교하면, 벨트 구동축 및 종동축이 수평 방향뿐만 아니라 수직 방향으로 동시에 어긋나는 경우, 벨트의 횡방향 위치의 변화가 급격하게 일어나며, 벨트가 정상상태 최종변위에 도달하기 전에 운동 제한 폭을 벗어나게 되는 것을 볼 수 있다.

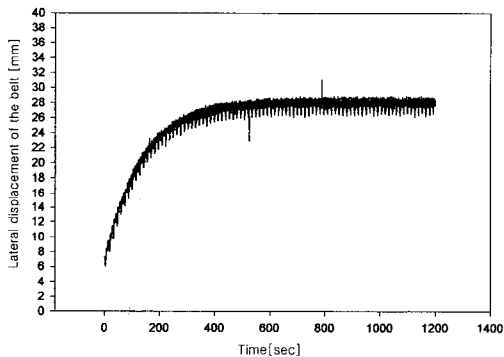


Fig. 8. Measured belt position for the spatial axial skewness with the hinge point of $x=-1\text{mm}$ and $y=-1\text{mm}$.

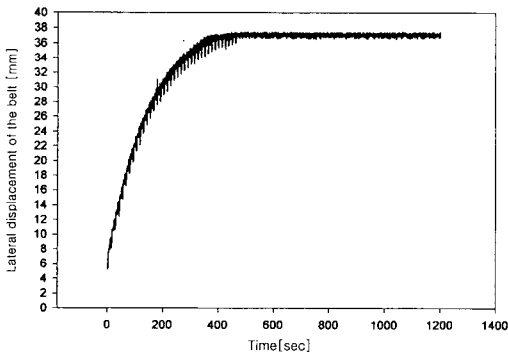


Fig. 9. Measured belt position for a saturation of the belt movement. (hinge position $x: -2\text{mm}$, $y: -2\text{mm}$)

4.5 로울러 축의 사행도와 벨트의 운동 특성

두 축의 사행도에 따라 나타나는 벨트 운동 경로는 수평 사행 및 수직 사행에 대하여 공히 1차 시스템 특성을 가지므로 벨트의 경로 변화 특성을 묘사하는 특성치는 ultimate deviation 과 초기 경로 변화율로 나타낼 수 있다. 따라서 벨트경로의 최종 변위와 초기 변화 기울기를 Fig.10과 Fig.11에 나타내 보았다.

Fig.10에서 볼 수 있는 바와 같이 두 축이 동일 평면상에 있을 때, 두 축의 지지점 간격이 달라서 평행하게 놓이지 않으면, 벨트의 운동궤적이 달라지며, 축간 사행도가 커짐에 따라 벨트의 변위도 커진다. 이러한 현상은 롤러의 축이 동일 평면상에 있지 않고 공간 중에 어긋나 있는 경우에는 더욱 크게 나타남을 알 수 있다.

이러한 벨트 변위 측정 결과로부터 축간 사행

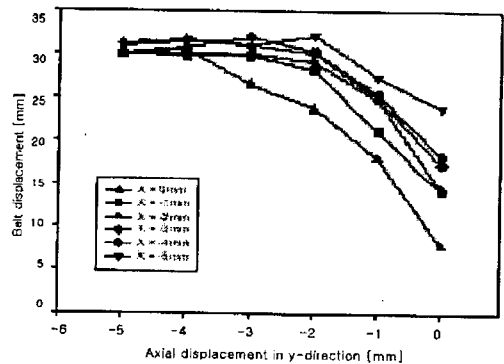


Fig. 10. Dependence of the ultimate belt displacement on the horizontal axial skewness.

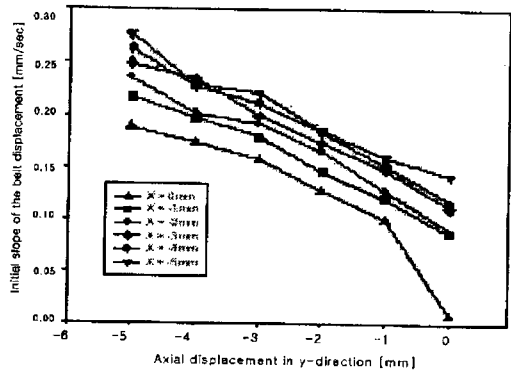


Fig. 11. Dependence of the initial velocity of lateral movement of the belt on the horizontal axial skewness.

도에 따른 벨트 중심선의 초기 이동 속도를 구해보면 Fig.11과 같다. Fig.11에서 볼 수 있는 바와 같이 두 축이 동일 평면상이던 공간 중이던 상관없이 축간 사행도가 클수록 초기 이동 속도가 커짐을 알 수 있다.

한편, 벨트의 경로 변화의 방향을 보면, 수평 방향으로 축의 한쪽 지지점이 이동 배치되면, 벨트 운동선은 벨트 경로가 작아지는 방향으로 이동하며, 반면에 수직 방향으로 지지점 위치가 바뀌면 벨트는 경로가 커지는 방향으로 운동하게 됨을 알 수 있다. 이는 실제 벨트의 운동 경로에 영향을 미치는 요인이 벨트의 장력뿐만이 아니라, 로울러의 공간 배치에 따라 로울러-벨트 간의 마찰상태가 달라지고 벨트의 물성에 기인한 벨트 변형에서 인장성뿐만 아니라 전단성이 작용하기 때문으로 판단되며, 식(7)의 우변항에 이러한 요인을 감안하는 항이 보완되어, 실제 벨트 중심선의 운동경로를 묘사하는 일반 모델은

$$\begin{aligned} \frac{dr_z}{dt} + f(\alpha, \beta, L, A, E, G, a, b) r_z \\ = \frac{F_0 \sin \alpha}{b} - f(\alpha, \beta, L, A, E, G, a, b) \end{aligned}$$

- (where, α : horizontal scew angle of axes,
- β : vertical scew angle of axes,
- L : distance between axes along the belt center line,
- E, G : tensile modulus and shear modulus of press belt,
- a, b : parameters describing the contribution of friction between the belt and the roller to the belt movement in tensile or shear direction.)

의 형태로 보완되어야 할 것으로 판단된다. 그러면 위 식에서 우변항이 양의 값으로 주어지는가, 또는 음의 값이 주어지는가에 따라 벨트 중심선의 운동 방향이 달라지며, 본 연구에서는 수직 사행각이 주어지는 경우 음의 값이 되는 것으로 나타났다.

벨트 운동 경로의 이동 현상은 벨트 구동 롤러 축의 사행도에 따라 벨트에 발생하는 장력과 롤러 표면과 벨트와의 마찰에 의하여 일어난다고 볼 수 있다. 일반적으로 기구학적인 측면에서 벨트-폴리 구동에서는 진입측(advancing side of

belt)에서의 폴리 심평면과 벨트 중심선이 일치하는 경우에는 연속적인 벨트 구동이 가능하나 그렇지 못한 경우에는 벨트가 벗겨지게 된다¹⁾. 롤러로 구동되는 광폭 벨트도 이러한 관계가 성립되지만 롤러 축의 평행도를 유지하는 것이 대단히 어려울 뿐만 아니라, 더욱이, Fig.11에서 볼 수 있는 바와 같이 롤러 두 축의 사행도가 작은 경우, 벨트 운동선의 초기 변화 기울기가 대단히 작으므로, 시간이 경과함에 따라 서서히 벨트가 제한된 운동범위를 벗어나게 된다. 이는 퓨징 프레스기의 연속적인 가동을 어렵게 만들며, 용착 제품의 품질을 저하시키는 요인이 된다.

실제 로울러 퓨징 프레스기를 이용한 가공 공정이 연속적으로 이루어지기 위해서는 벨트의 운동선이 일정 범위를 벗어나지 않아야 한다. 벨트는 설비에 이미 장착된 상태로 공급되므로 벨트의 물성은 주어진 것으로 간주할 때, 벨트의 운동선이 일정 범위를 벗어나지 않도록 하려면 로울러 축의 배치가 최적화되어야 한다. 축간 사행도에 따른 벨트 중심선의 운동 경로에 대한 본 연구 결과, 로울러 축의 최적 배치 방법은 두 축을 로울러 축의 중앙에서 교차시키고, 일정 거리 떨어진 나란한 평면상에 놓여지도록 하는 것이 좋다고 판단된다.

5. 결 론

평행 동작을 하는 두 개의 벨트를 롤러로 구동하고, 상,하 벨트를 가열하는 로울러 퓨징 프레스기에서는 적층된 섬유물의 파지, 이동, 가열, 압착시켜주는 벨트의 동작과 섬유물간의 접촉 온도 및 압력분포를 균일하게 유지하며, 벨트가 일범위를 벗어나지 않고 연속적인 운동이 가능하도록 공정조건을 설정하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 로울러 퓨징 프레스기를 롤러-벨트 시스템으로 간주하고, 벨트의 거동을 묘사하는 모델을 구하고 실험으로 확인하여 보았다. 그 결과, 동일 평면상에 놓여 있는 두 롤러의 축이 이루는 각도에 따라 벨트의 중심선 위치를 나타내는 동역학적 모델은 1차 시스템으로 나타낼 수 있으며, 실험 결과는 이론적 모델과 잘 일치하였다. 수직 사행을 갖는 두 축의 배열에서도 그 결과는 마찬가지로 나타났다.

또, 축간 사행도가 커짐에 따라 벨트의 변위

와 초기 이동속도는 커지며, 축의 수평 사행 배열의 경우, 벨트는 롤러 축간 간격이 작은 방향으로 이동하지만, 수직 사행 배열의 경우에는 축간 간격이 커지는 방향으로 이동한다. 이러한 현상은 롤러의 축이 동일 평면상에 있지 않고 공간 중에 어긋나 있는 경우에는 더욱 크게 나타난다. 또, 수직 방향으로의 축의 사행도는 수평 방향에 비하여 벨트의 경로 변화에 미치는 민감도가 낮다.

참고문헌

1. G. Cooklin, "Fusing technology", Textile Inst., 1990.
2. S. NAGANO, Proper Evaluation and Quality Design of Garment Interlining, Objective Measurement Evaluation of Apparel Fabrics, JTN, 235~242(1984).
3. Fusible Interlining Council, How to Bond Fusible Interlining Properly, JTN, Aug, pp.66~67, 1980.
4. W. Matek, D. Muhs, H. Wittel, M. Becker, "Roloff/Matek Maschinenelemente", Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, p.607, 1994.
5. 정선모, 이형식, 기구학, 동명사, p.110, 1969.
6. K.N.Reid and K.C. Lin, "Control of Longitudinal Tension in Multi-span Web Transport Systems during Start Up", Proceedings on Internal Conference on Web Handling, pp.77~95, 1995.
7. 허유, 이동가공공정에서 속도차에 기인한 장력 변동의 자동제어에 관한 연구, 한국섬유공학회 춘계 학술발표회 논문집, pp.197~202(1998).