

마찰 집속과정의 실험적 고찰

허유*, 임정호¹, 김종성¹, Beata Lehmann²

*경희대학교 기계산업시스템 공학부, ¹경희대학교 섬유공학과, ²드레스덴 공과대학

Study on the Experimental Investigation of Bundle Formation by Friction

You Huh*, Jung H. Lim¹, Jong S. Kim¹, Beata Lehmann²

^{*}Department of Mech. and ind. Systems Eng., Kyunghee University, Yongin, 449-701, Korea

¹Department of Textile Engineering, Kyunghee University, Yongin, 449-701, Korea

²Department of Mechanical engineering, TU-Dresden, Dresden, 01062, Germany

1. 서론

섬유상 원료를 사(絲)의 형태로 구조화 시키는 정방법은 그 형태와 방법에 따라 다양한 형태의 집속구조를 만든다. 그중 표면마찰을 이용한 집속화 공정은 적용원료의 다양성 및 생산효율과 속도 면에서 우수하여 널리 이용되고 있으나, 사 형성과정에 대한 메커니즘이 아직 명확히 알려지지 상태이며, 공정변수가 사의 구조에 미치는 영향 또한 정확히 밝혀지지 않은 실정이다. 특히 꼬임의 경우는 굵기 변동에 기인해 집속체 내부에서 발생하는 토크에 의해 삼입되는 꼬임과[1], 구성섬유의 표면배열에 의한 꼬임, 그리고 집속화 구간을 빠져 나온 이후에 부여되는 실꼬임(Real-Twist)등이 복합적으로 나타나므로 꼬임에 대한 정의를 내리기 매우 어렵다. 이로 인하여, 마찰사의 경우 타 방적법에 비해 출력된 Yarn의 구조 및 배열이 복잡하고, 역학적 특성이 링 방적사 또는 로터 방적사 등에 비해 낮으므로 제품의 활용 범위가 크게 제한되고 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 제품의 품질에 직접적으로 관여하는 공정변수들의 사의 형성과정에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 이에, 본 연구에서는 마찰에 의하여 섬유를 집속하고 꼬임을 부여하는 마찰 정방법을 대상으로 집속 메커니즘을 이해하기 위하여 실험을 통해 집속구간 내에 위치하는 집속체의 굵기 및 꼬임 분포를 측정하고, 이를 선행 연구를 통하여 얻어진 섬유 집속과정에서의 굵기 변동 및 꼬임수 분포 모델의 수치해와 비교하여 보았다.

2. 이론모델

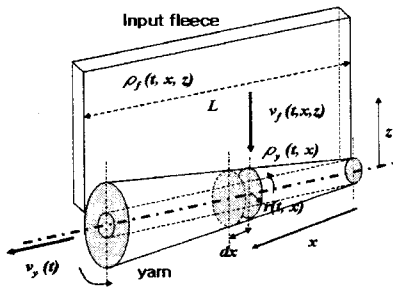


Fig. 1 Infinitesimal yarn section in friction spinning.

2.1. 굵기 변동 모델

Fig. 1에서의 미소 마찰구간 내 집속체의 굵기 분포는 다음과 같은 모델로 묘사될 수 있다[2].

$$\frac{\partial A_y(t,x)}{\partial t} + \frac{\partial [v_y(t,x) \cdot A_y(t,x)]}{\partial x} - \frac{\alpha}{\sqrt{\pi} \cdot \rho_y(t,x)} \cdot \sqrt{A_y(t,x)} = \frac{\rho_f(t,x) \cdot v_f(t,x) \cdot D(t,x) - m_0}{\rho_y(t,x)} \quad (1)$$

($D(t)$: 입력 플리스의 두께, $\rho_f(t,x)$: 입력 플리스의 체적 밀도, $\rho_y(t,x)$: 집속체의 체적 밀도, $v_f(t,x)$: 입력 플리스의 공급 속도, m_0 : 초기질량)

2.2. 꼬임수 분포 모델

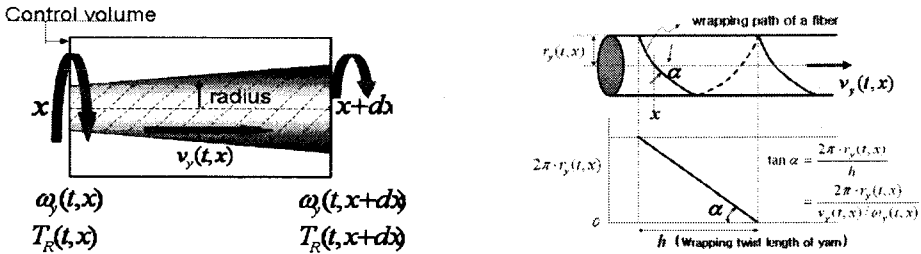


Fig. 2 Mechanism of twists generation by a) torque, b) fiber wrapping.

마찰 집속화 구간 내에서 발생하는 꼬임은 크게 1) 집속체의 굵기 분포에 의존하는 축 방향 회전속도 차에 의해 발생하는 토크 꼬임과 2) 입력 플리스의 속도와 입력 각도, 그리고 집속체의 축 방향 이동 속도에 의존하여 발생하는 섬유배열 꼬임으로 나누어지며, Fig. 2는 집속구간 내에서 발생하는 a) 토크꼬임과 b) 배열꼬임의 원리를 보여준다. Fig. 2a와 같은 미소 제어 체적에 대하여 꼬임수 보존을 고려한 토크 꼬임은 수식(2)와 같다.

$$\frac{\partial T_R(t,x)}{\partial t} = -v_y(t) \cdot \frac{\partial T_R(t,x)}{\partial x} + v_d(t) \cdot (1-S) \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2\pi \cdot r_y(t,x)} \right) \quad (2)$$

이때, 파라미터 S는 마찰 표면과 집속체 사이에 발생하는 미끄러짐률(Slippage rate)로 수식 (3)과 같이 드럼표면의 선속도에 비례하고, 집속체의 굵기에 반비례 하며, $0 \leq S \leq 1$ 사이의 값을 갖는다.

$$S = \frac{v_d - v_{yo}}{v_d} = k_r - k_r \cdot \frac{r}{v_d} \quad (3)$$

한편, 입력 섬유플리스에 의하여 발생하는 섬유 배열 꼬임은 적층되는 집속체의 회전속도와 입력 각도, 그리고 권취롤러에 의한 축 방향 병진운동의 조합에 의하여 수식(4)와 같이 주어진다.

$$T_W = \frac{v_d(t,x) \cdot (1-S)}{2\pi \cdot r_y(t,x) \cdot v_y(t,x)} \quad (4)$$

이때, 섬유 배열에 의한 꼬임은 토크꼬임과 반대 방향으로 부여 되므로, 마찰 집속화 공정 중 집속구간에서 집속체에 부여되는 꼬임의 총량은 토크 꼬임 T_R 과 배열 꼬임 T_W 의 차이만큼 주어진다.

$$T_T = T_W - T_R \quad (5)$$

3. 실험

3.1. 장치구성

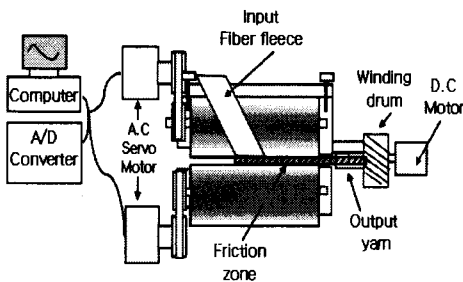


Fig.3 Schematic diagram of experimental system

Fig. 3은 실험을 위하여 설계 및 제작한 마찰 집속화 장치의 개략도를 나타낸다. 마찰 집속부는 두 개의 Cylindrical drum을 이용하여 구성하였으며 정확한 속도 제어를 위해 드럼에 AC Servo 모터를 연결해 컴퓨터로 제어 가능토록 하였다. 마찰 집속이 일어나는 구간의 드럼간 거리 조절을 위하여 Lead screw를 설치해 간격의 미세조정이 가능토록 하였다. 한편 일정한 이송속도를 유지하고, 생산된 마찰사를 보빈에 균일하게 권취하기 위하여 Winding traverse drum과 D.C geared Motor를 이용하여 권취 장치를 구축하였다.

3.2. 마찰 집속화 실험

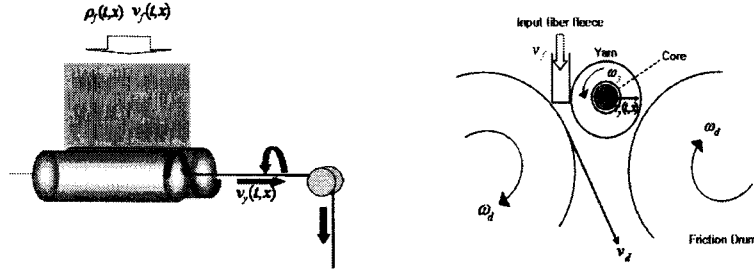


Fig. 4 Schematic representation of rotation and delivery direction of experimental system.

실험이 진행되는 동안의 공정조건은 Table. 1과 같으며, Table. 2는 시뮬레이션을 위하여 공정조건을 변환시켜 놓은 것이다. 마찰 드럼의 회전방향 및 집속체의 이송방향은 Fig. 4와 같이 하여 토크 꼬임은 S-꼬임, 섬유 배열 꼬임은 Z-꼬임이 발생하도록 조정 하였다. 한편 실험을 통하여 얻어진 집속구간 내 집속체의 굵기 분포는 레이저 비입(Laser beam)을 이용한 굵기 측정 장치[3]을 이용하였으며, 집속체에 부가된 꼬임의 정도를 확인하기 위하여 광학 장치 및 프레임 그래버를 이용하여 집속사의 표면을 관찰 하고, 입력 영상 및 이미지에서 꼬임각도 및 꼬임수를 측정하기 위하여 MatlabTM을 이용해 영상처리를 수행하였다.

Table 1. Process conditions

Friction drum speed	rpm	300
Drum Diameter	mm	65
Input fleece width	mm	30
Length of spinning zone	mm	30
Delivery speed	mm/s	60

Table 2. Simulation condition

Fleece feeding velocity	mm/s	915
Yarn delivery speed	mm/s	60
Forming length	mm	30
Density of input fleece	g/mm ³	0.0025
Initial radius	mm	0.275

4. 결과 및 고찰

Fig. 5는 공정조건에 의한 실험을 통하여 얻어진 마찰 집속구간 내부에서의 집속체의 모습을 보여 주고 있으며, 집속사의 표면에 나타나는 꼬임 방향 및 각도를 관찰하기 위하여 실선으로 꼬임을 표현 하였다. 결과에 따르면 집속체의 굵기 분포는 집속체의 축 방향을 따라 출력부에 다가감에 따라 점점 굵어져 쐐기모양(Wedge shape)의 굵기 분포를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 또한 입력 플리스의 구성섬유들이 집속체를 감싸며 집속체의 중심축과 이루는 배향각도는 집속체 전 구간에 걸쳐 거의 일정한 정도로 나타남을 확인할 수 있으며, 토크꼬임과 섬유배열 꼬임이 모두 합쳐져 Z-twist가 삽입되었음을 확인할 수 있다. 한편 집속체에 부가된 꼬임수는 측정된 꼬임 각도를 꼬임수로 환산하여 사용하였다.

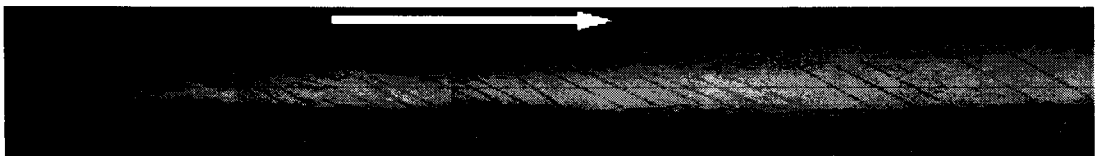


Fig. 5 Photograph of half-yarn in a spinning zone

Fig. 6은 Table. 1의 공정조건과 동일한 조건하에 얻은 시뮬레이션 결과와 실험데이터를 비교하여 나타낸 그림이다. 결과에 따르면 공정 중 공급 플리스의 손실과 마찰면과 집속사의 미끄럼을 고려하여

시뮬레이션 하였을 때, 굵기 분포(Fig 6a) 및 꼬임수 분포(Fig. 6b)에 대한 시뮬레이션 결과가 실험 결과와 대단히 잘 일치함을 확인할 수 있다. Fig. 6a의 결과를 살펴보면 정상상태에서의 집속구간내의 굵기 분포는 집속 구간의 초기위치에서 드럼의 출구에 이르는 동안 점점 증가 하는 것으로 나타났다. 이러한 굵기 분포는 상대적 위치에 따른 회전수 차이를 발생 시켜 집속체에 토크꼬임을 유발시키는 원인이 된다.

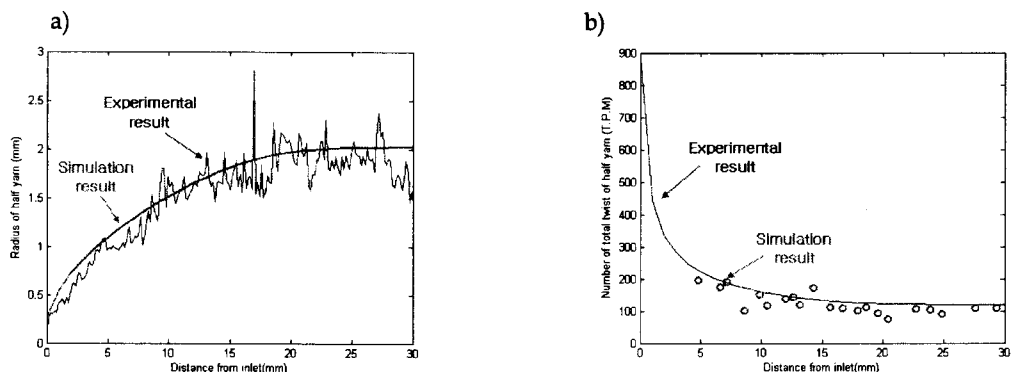


Fig. 6 Comparison of experimental and simulated profile of a) radius and b) twist of half yarn in steady state.

Fig. 6b를 살펴보면 실험을 통하여 생산된 집속체에 부가된 꼬임은 양의 값(Z-twist)이 지배적임을 확인할 수 있다. 이는 공정이 진행되는 동안 섬유 배열에 의한 꼬임이 토크 꼬임에 비해 상대적으로 많이 발생하였음을 의미한다. 즉, 집속구간 내의 마찰 면과 집속체 사이의 미끄럼이 위치에 따라 다르게 나타나서, 상대적으로 굵기가 가는 부분에서 미끄럼이 크게 발생하고, 굵은 부분에서는 미끄러짐이 거의 발생하지 않아, 결과적으로 집속체의 굵기에 의존하여 위치에 따른 회전수 차이가 크게 발생하지 않고, 비교적 작은 정도의 토크 꼬임이 삽입된 것으로 판단된다. 이러한 마찰 표면과 집속체 사이의 미끄럼은 집속공정을 원활하게 하지 못할 뿐만 아니라 집속사의 구조를 벌키하게 하고 출력사의 물성을 떨어뜨리는 요인이 된다.

5. 결론

본 연구에서는 플리스의 마찰정방 공정에 대한 이해를 위하여 실험을 통해 마찰 집속사를 생산하고, 집속구간내에 위치하는 집속체의 굵기 분포 및 꼬임 분포를 측정하였으며, 측정결과를 선행연구를 통하여 얻은 동적 거동 모델의 시뮬레이션 결과와 비교해 보았다. 결과에 따르면 마찰 집속구간내에서의 집속체의 굵기 분포는 경험적으로 알려진 바와 같이 집속 초기 위치에서 집속구간의 출구에 이르는 동안 증가하는 것으로 나타났다. 꼬임의 경우에는 집속체와 마찰 드럼 표면 사이에 작용하는 미끄러짐에 의하여 집속체의 굵기 분포에 기인하여 발생하는 토크꼬임에 비하여 입력 섬유 플리스에 의하여 발생하는 섬유 배열 꼬임이 상대적으로 많이 발생 하는 것으로 나타났다.

REFERENCE

1. M. Wei, "The Twisting Dynamic Analysis of Friction Spinning", The Journal of the Textile Institute, 87(3), 457-466 (1996).
2. You Huh, Jong. S. Kim, Jung. H. Lim and Beata Lehmann, "Fiber Orientation and Twists of the Half-Yarn on the Drum Surface in Friction Spinning", Asian Textile Conference. (2007)
3. Y.Huh, J.S.Kim, S.H.Kim, M.W.Suh, "Characterizing Yarn Thickness Variation by Correlogram", *Fibers and Polymers*, 6(1), 66~71 (2005)