

오픈 엔드 마찰 방적사의 섬유 이주거동에 관한 연구 (I)

김영률*, 허 유, 류운영

한국섬유기술연구소*, 경희대학교 공과대학 섬유공학과

1. 서 론

일반적으로 방적공정은 원료섬유를 평행화하여 섬유간의 결속력을 부여하기 위해 꼬임수단을 통하여 일축방향으로 연속적인 섬유집합체를 형성하는 공정을 말한다. 따라서 꼬임 부가방식에 따라 꼬임의 분포와 균제도 및 구성섬유의 배향도가 달라지게 되며 그 결과 방적사의 구조특성이 달라지고 최종 방적사의 물리적 성질을 결정하게 된다. 기존의 링 정방방식에서는 섬유집속과 꼬임 부가과정이 독립적으로 이루어지나 현재 방적사 제조에서 가장 고속생산이 가능한 마찰 정방은 섬유 스트랜드가 개개 섬유로 완전히 개섬된 후 새로운 섬유스트랜드로 재집속되어야 하므로 섬유집속과 꼬임부여과정이 겹쳐 있으며 이것이 마찰 방적사의 구조에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 기존의 방적사와는 가연기구가 다른 마찰 방적사의 기하학적 구조를 측정하고 정의하는 것은 매우 중요한 일이라 하겠다. 본 연구에서는 DREF-2 마찰 방적사를 대상으로 실의 기하학적 구조를 결정하는데 있어 상당히 중요한 역할을 하고 있는 꼬임을 변화시켜 image processing technique^(1,2)을 이용하여 꼬임의 변화가 실을 구성하고 있는 섬유의 이주거동^(3~9)에 미치는 영향을 파악함과 동시에 구성섬유 배향밀도⁽¹⁰⁾ 변화에 미치는 영향을 규명하고 아울러 섬유 이주거동과 실의 잔털과의 관련성을 파악하고자 한다.

2. 실 험

2.1 시료준비

실을 구성하고 있는 섬유의 구조를 알아보기 위하여 착색된 면섬유가 1% 정도 혼합되어 있는 면 슬라이버로 마찰 정방기(DREF-2)를 사용하여 권취속도는 일정하게 유지하면서 마찰 드럼속도를 변화시켜 꼬임정도가 다른 4가지의 오픈 엔드 마찰방적사를 생산하였다. 슬라이버의 규격과 방적조건은 Table 1 및 Table 2에 보이는 바와 같다.

Table 1. Sliver Specification

Linear Density	Mean Fiber Length	Content of Black Dyed Fiber	Micronaire value
4250 Tex (360gr/6yds)	28.6 mm	1 %	4.2

Table 2. Spinning Conditions

Spinning System	Spinning Drum Speed(rpm)	Outlet Roller Speed(m/min.)	Inlet Roller Speed(m/min.)	Suction Pressure (-mbar)	Friction Ratio	Yarn Count
DREF-2	1,700	140	0.64	20	3.1	59 Tex (Ne 10)
	2,300				4.1	
	2,800				5.0	
	3,400				6.1	

2.2 추적섬유의 궤적 측정

각 시료로부터 추적섬유의 위치측정은 G. Riding의 방법⁽⁴⁾을 근거로 한 image processing technique^(1,2)을 이용하여 추적섬유의 궤적을 가시화한 후, 실을 구성하고 있는 추적섬유 위치를 화소 수(pixel value)로 측정하였다.

2.3 구성섬유의 배향밀도 측정

추적섬유의 미소단위 길이를 직선으로 가정하고, 이 미소 길이요소의 방향이 실의 축방향과 이루는 각 θ_i 를 다음 식에 의거하여 구하였다. 여기서 X_i, Y_i 및 Z_i 는 추적섬유의 i 번째 궤적의 좌표이다.

$$\theta_i = \tan^{-1} \left[\frac{\{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2\}^{1/2}}{(Z_{i+1} - Z_i)} \right]$$

2.4 실의 잔털 측정

실 표면의 잔털량을 Zweigle Hairiness Tester (Type G565)를 사용하여 잔털지수를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 마찰 방적사의 구조

Fig. 1과 Fig. 2는 링 방적사와 마찰 방적사의 표면 및 내부구조를 보여준다. 마찰 방적사의 표면에서의 구조는 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 꼬임이 불규칙한 링 방적사의 구조(Fig. 1)와 유사하나 구성섬유의 형상은 엉클어진 상태의 불규칙한 나선구조를 형성하고 있다. 마찰정방에서 가연기구는 공기 흡입력과 회전드럼에 의한 마찰력에 의존하며 실의 형성은 개섬후 공기에 의해 공급된 섬유가 완전히 평행화가 이루어지기 전에 순방향으로 회전하는 공기 흡입장치를 갖춘 두 개의 다공드럼 표면에서 구르고 있는 실 선단에 삽입되므로 섬유 직선화 정도는 매우 낮다⁽¹¹⁾. 따라서 마찰 방적사는 구성섬유의 직선화 결핍과 마찰력에 의한 꼬임으로 형성된 특이한 구조를 나타낸다. 마찰 방적사 내부의 구성섬유 이주형태는 Fig. 3b에서와 같이 링 방적사(Fig. 3a)와는 상이한 이주거동을 보이고 있다.

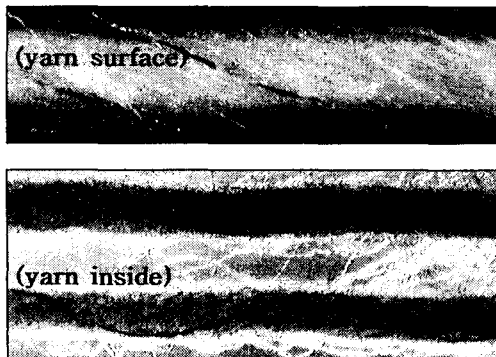


Fig. 1. Photograph of ring spun yarn

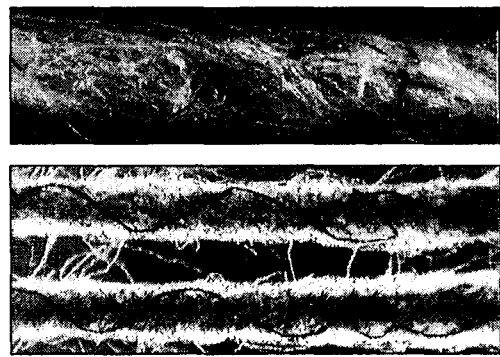


Fig. 2. Photograph of DREF-2 yarn

링 방적사의 섬유이주현상은 정방삼각형(spin triangle)에서 섬유들이 받는 장력과 실을 구성하는 섬유들의 위치에 의해 발생하는 반면에 마찰 방적사의 경우는 실 형성 단계에서 섬유이주가 발생할 수 있는 요인들이 거의 존재하지 않으며 구성 섬유에 걸리는 장력은 매우 낮다. Fig. 4는 마찰 정방공정에 있어 실 끝단의 원추형 오픈엔드에 섬유가 결합되는 것을 나타낸다. 입의의 섬유의 양 끝단을 a, d 섬유축상의 입의의 두점을 b, c라 하고 원추형 오픈엔드를 X, Y라 하면 섬유 위치 b가 원추형 오픈엔드 X, Y를 회전하는 동안에 섬유는 d의 위치에서 실에 결합하게 된다. 따라서 섬유는 원추형 오픈엔드 표면에 나선형으로 감기게 된다. 이렇게 볼 때 마찰 방적사의 이상적인 섬유이주 패턴은 실의 표면에서부터 실 축을 향하여 진행방향의 전환 없이 하나의 나선형 경로를 따라 움직이게 되며, 따라서 섬유의 한쪽 끝은 실의 표면부에 위치하고 다른 끝은 실의 중심부 근처에 위치하게 된다. 이러한 섬유이주 패턴은 실 내부에서 섬유의 평행화를 더욱 어렵게 하는 결과를 초래하게 되는 것으로 사료된다. Fig.

5는 실제 마찰 방적사 구성섬유의 radial position변화를 plot한 것으로 실 축방향으로 감에 따라 구성 섬유 위치가 점차 실 내부에 위치하는 경향을 보이고 있다. 그러나 앞에서 언급한 이상적인 마찰 방적사의 이주패턴과는 달리 radial position의 변화가 발생함을 알 수 있다. 이것은 실제 방적공정에서 원추 X, Y의 geometry는 시간과 방적조건의 함수이기 때문에 하나의 완전한 나선형의 경로를 기대하는 것은 어렵기 때문이라고 생각된다.

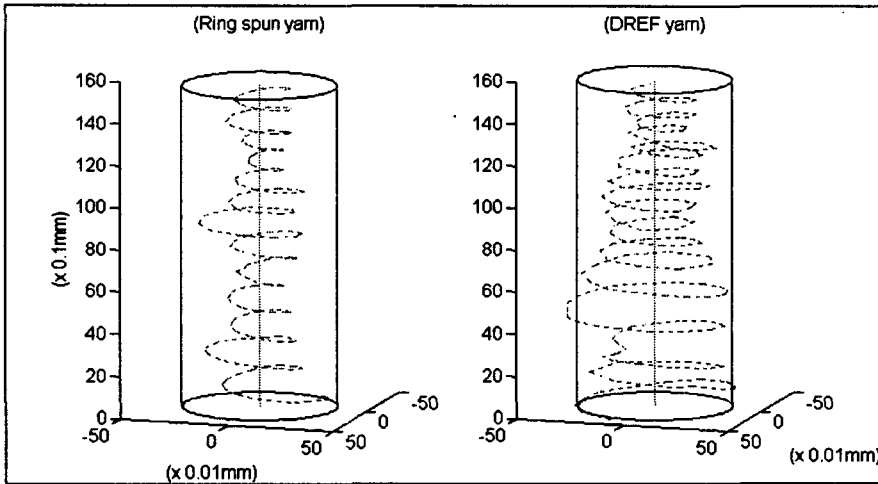


Fig. 3. Typical fiber migration pattern

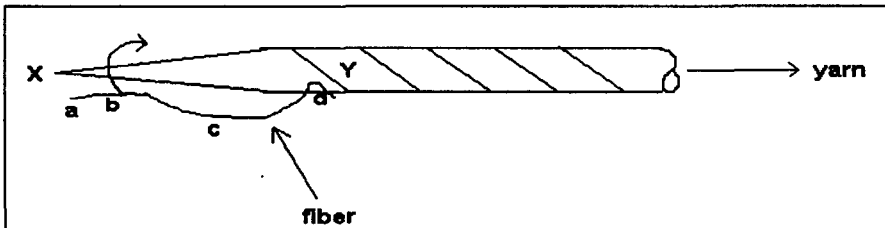


Fig. 4. Fiber assembly in friction spinning

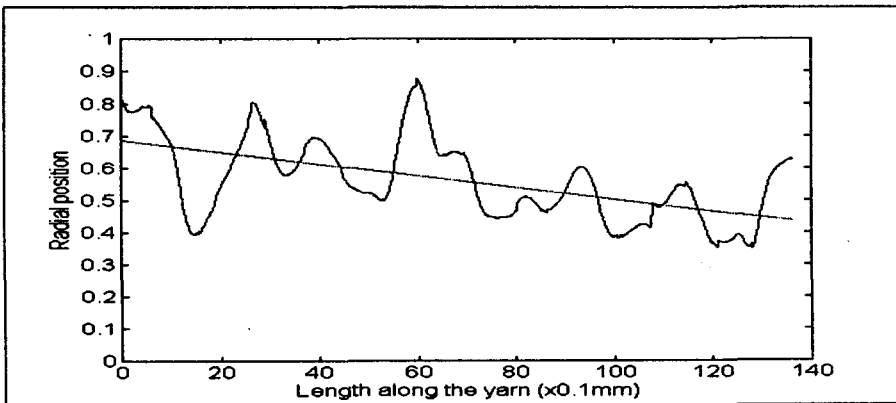


Fig. 5. Radial position of tracer fiber

3.2 꼬임이 섬유 이주거동에 미치는 영향

실험을 통하여 얻은 image data로부터 J.W.S Hearle이 제시한 이주인자를 구하는 식⁽⁵⁾에 의거 mean fiber position, rms deviation, mean migration intensity 및 migration frequency 를 구하여 각 인자들의 평균값을 Table 3과 Fig. 6에 각각 나타내었다. 이들 인자들과 꼬임간의 관계는 Table 3과 Fig. 6에서 보는 바와 같이 꼬임이 증가할수록 mean fiber position은 감소한 반면, migration intensity 와 frequency는 증가하는 것으로 나타났으며 rms deviation은 특이할 만한 경향을 나타내지 않았다. 꼬임수준 변화에 따른 mean fiber position의 결과치는 Table 3과 Fig. 7에 보이는 것과 같이 실의 표면에 섬유가 많이 위치하며 이는 실 내부의 섬유 충전밀도가 링 방적사⁽¹²⁾나 로우터 방적사에 비해 현저히 낮은 것을 의미한다. 특히 실의 외곽부분에 wild fiber의 형태로 많은 섬유가 존재하는 것을 알 수 있다. 이것은 마찰 방적사가 링 또는 로우터 방적사에 비해 공급되는 섬유의 배열이 나쁘며 일정한 위치에 개개로 분리된 섬유를 제어하기가 어렵고, 또한 실이 형성될 때 걸리는 장력이 낮은데 기인하는 것으로 해석될 수 있다.

Table 3. Effect of twist on migration parameters in a DREF yarn

Migration parameters	Friction Ratio				Value for ideal migration
	3.1	4.1	5.0	6.1	
Mean fiber position	0.74	0.68	0.61	0.55	0.5
rms deviation	0.17	0.23	0.23	0.20	0.29
Mean migration intensity (cm ⁻¹)	1.83	2.21	2.41	3.21	-
Equivalent migration frequency (cm ⁻¹)	1.45	1.48	1.55	2.30	-

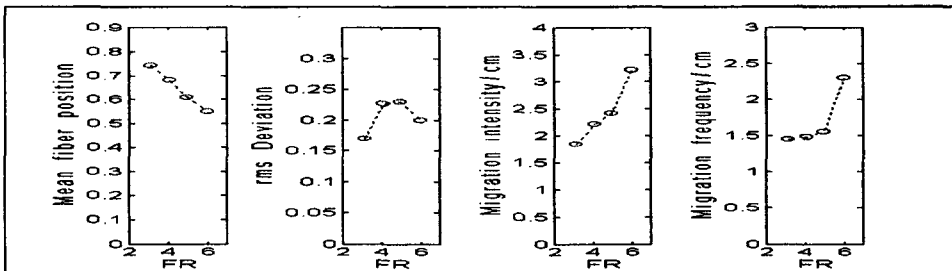


Fig. 6. Relationship between migration parameters and FR

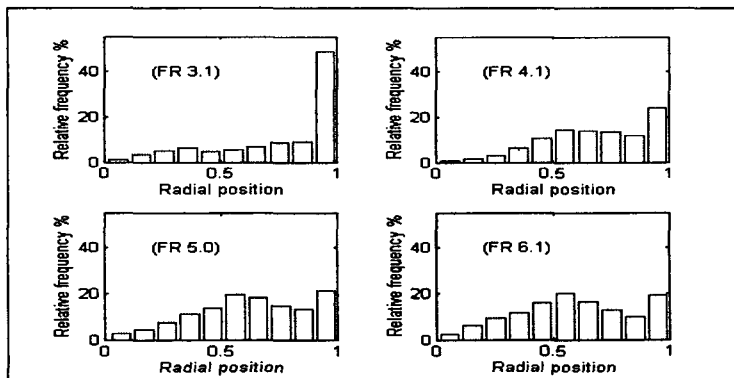


Fig. 7. Zonal distribution for individual fiber

실의 꼬임이 증가함에 따라 mean fiber position이 감소하는 것은 링 방적사와 로우터 방적사 그리고 마찰 방적사가 모두 같은 경향을 보이고 있으며 이는 꼬임이 증가하면 실의 외곽보다는 중심부를 구성하고 있는 섬유들의 축진밀도가 점차 커짐을 의미한다. 이것은 낮은 꼬임에서는 마찰 드럼에 의해 주어지는 마찰력이 적어 섬유들간의 결속이 약하여 내부의 축진밀도가 낮게 되고 실의 별키성이 커지는 반면에 꼬임이 증가할수록 실에 작용하는 마찰력이 증가하여 섬유간의 응집력이 향상됨에 따라 실 내부의 축진밀도가 증가되는 동시에 구성섬유가 실의 축을 따라 radial position 변화율이 커지게 되어 migration intensity와 migration frequency가 증가하는 것으로 사료된다.

3.3 구성섬유의 배향밀도

마찰 방적사의 구성섬유 배향밀도를 알아 보기 위하여 섬유 이주거동실험을 통하여 얻은 image data를 근거로 하여 마찰비(friction ratio) 변화에 따른 구성섬유의 미소길이 요소의 방향이 실의 축방향과 이루는 각인 방향각을 측정하였다. Fig. 8은 마찰비 변화에 따른 방향각 θ 의 분포를 보인 것으로 여기서 보이는 바와 같이 구성섬유 배향각이 링 방적사나 로우터 방적사에 비해 훨씬 넓게 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 이는 마찰 방적사는 엉클어진 섬유가 불규칙한 나선구조를 형성하고 있기 때문이다. 따라서 실의 구조에서 섬유의 결합정도는 낮아지고 배향도 또한 떨어지게 되어 다른 방적사에 비하여 현저한 강도저하를 일으키는 요인이 된다고 할 수 있다. 또한 마찰비 증가에 따른 실의 꼬임이 증가할수록 평균 방향각이 커지는 경향(Table 4)을 보이지만 그 영향은 크지 않으며 Fig. 8에서 보이는 바와 같이 분포형태도 크게 다르지 않다. 이런 현상은 꼬임이 실의 구조에 별다른 영향을 미치지 않음을 뒷받침해 준다. 마찰 방적사의 radial position 변화에 따른 방향각의 변화를 알아 보기 위해 각 radial position에 대한 방향각을 plot하고 이 방향각들을 회귀분석하여 얻은 회귀직선을 함께 마찰비별로 Fig. 9에 plot하였다. 링 방적사⁽¹²⁾나 로우터 방적사는 실 내부에서 실 표면으로 갈수록 방향각이 점차 증가하는데 반하여 마찰 방적사의 경우는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 실 내부와 실 표면에서의 방향각은 큰 차이를 보이지 않으며 마찰비가 증가하여도 큰 변화를 보이지 않는다. 이것은 마찰 방적사에서 실린더형의 마찰기구를 생각할 때 실과 실린더사이에 slip이 없다고 가정하면 실의 내부와 외부에서의 섬유배향각이 일정하게 된다. 실제로 실 선단의 1회전은 실의 한번 꼬임과 동일하며 실 선단의 회전 속도는 실린더의 직경 및 회전수와 방적되는 실 직경의 함수이므로 실 내부에서는 꼬임이 많이 발생하고 계속적으로 공급되는 섬유들이 실을 형성하게 됨에 따라 실 외부로 갈수록 실 직경이 점차 커지므로 꼬임이 감소하게 된다. 이로 인하여 실 내부와 외부를 구성하는 섬유들간의 방향각이 거의 같게 되는 것으로 해석할 수 있다.

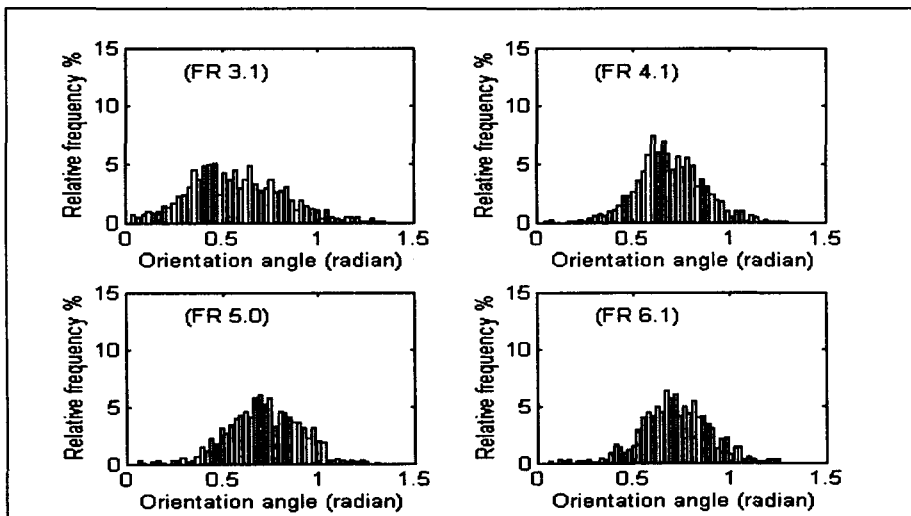


Fig. 8. Distribution of orientation angles

Table 4. Mean value of orientation angle

Friction Ratio	3.1	4.1	5.0	6.1
Orientation angle, radian (degree)	0.574 (32.9)	0.690 (39.5)	0.712 (40.8)	0.716 (41.0)

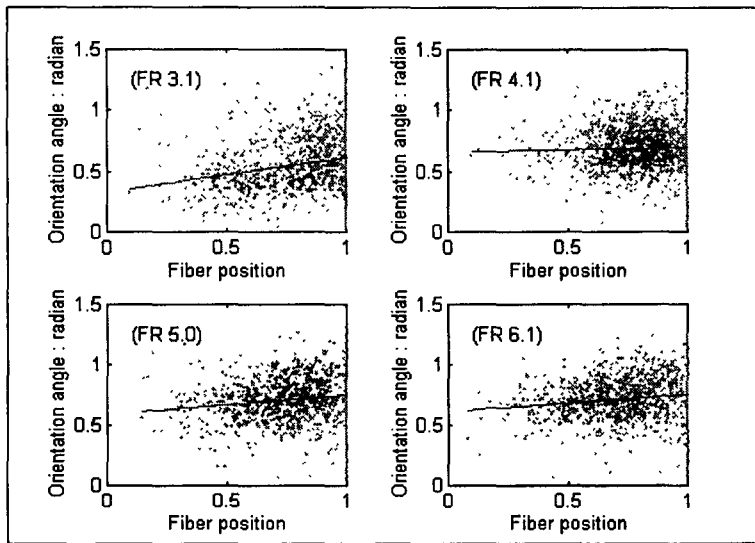


Fig.9. Experimental orientation angles

3.4 섬유 이주거동이 실의 잔털 발생에 미치는 영향

일반적으로 실 표면의 잔털은 방적 메카니즘 차이에 의한 실 구조 차이에 기인하는 것으로 생각할 수 있다. 본 연구에서는 마찰 방적사의 migration intensity의 변화가 실의 잔털발생 정도에 미치는 영향을 분석한 결과 Table 5 및 Fig. 10과 같은 결과를 얻었다. 여기서 보는 바와 같이 링 방적사⁽¹²⁾나 로우터 방적사의 분석결과와 동일하게 꼬임이 증가하면 migration intensity가 증가하며 실의 잔털은 크게 감소하였다. 이는 구성섬유의 migration intensity가 증가할수록 실의 내부 충전 밀도가 커지는 결과에 따라 실을 구성하고 있는 섬유가 실 내부에 놓이게 되고 섬유끝단이 실표면에 위치하게 되는 확률이 적어지게 되므로써 잔털발생이 적어지기 때문인 것으로 해석할 수 있다.

Table 5. Effect of migration intensity on hairiness

Hairiness	Migration intensity (cm ⁻¹)			
	1.83	2.21	2.41	3.21
H-index	279	166	130	86

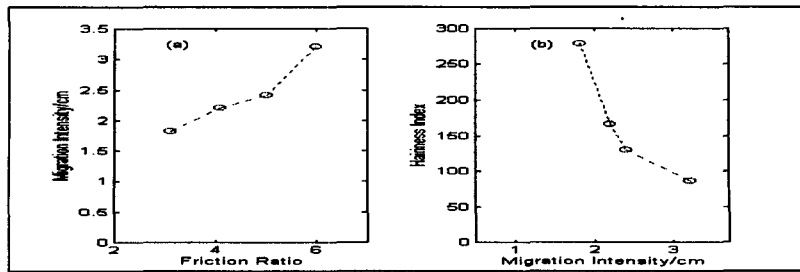


Fig. 10. Effect of FR and intensity on hairiness

4. 결 론

마찰 면방적사를 대상으로 한 본 연구에서는, 방적시 중요한 공정변수이며 또한 yarn parameter인 실의 꼬임이 실의 기하학적 구조에 어떻게 영향을 미치는지를 파악하기 위하여 마찰비 변화를 통한 꼬임수를 4가지 조건으로 변화시켜 꼬임 변화가 섬유 이주거동에 미치는 영향을 규명하였으며 실의 물성으로서 잔털과 섬유 이주거동간의 관련성을 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 마찰 방적사 내부의 구성섬유 이주형태는 링 방적사와는 상이한 이주거동을 보이고 있으며 구성섬유는 실의 외부에서 점차 실 내부로 위치하는 경향을 보인다.
- (2) 마찰 방적사 내부의 섬유 충전밀도는 링 방적사나 로우터 방적사에 비해 현저히 낮으며 실의 외곽부분에 wild fiber의 형태로 많은 섬유가 존재한다.
- (3) 구성섬유 배향각이 링 방적사나 로우터 방적사에 비해 훨씬 넓게 분포하고 있으며 평균 방향각은 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 정도이다.
- (4) 링 방적사나 로우터 방적사는 실 내부에서 실 표면으로 갈수록 방향각이 점차 증가하는데 반하여 마찰 방적사의 경우는 실 내부와 실 표면에서의 방향각은 큰 차이를 보이지 않으며 꼬임이 증가하여도 큰 변화를 보이지 않는다.
- (5) migration intensity의 증가는 실의 잔털을 크게 감소시킨다.

< 참고문헌 >

- (1) 김영렬, 허유, 류운영, 한국 섬유공학회 춘계학술발표회 논문집 p11 (1996)
- (2) Y. R. Kim, Y. Huh and W. Y. Ryu, Proceedings of the 4th Asian Textile Conference p402 (1997)
- (3) W. E. Morton, Text. Res. J., **26**, 325 (1956)
- (4) G. Riding, J. Text. Inst., **55** T9 (1964).
- (5) J. W. S. Hearle et al., Text. Res. J., **35**, 329 (1965).
- (6) L. R. G. Theloir and G. Riding, J. Text. Inst., **56** T381 (1965)
- (7) J. W. S. Hearle and B. C. Goswami, Text. Res. J., **38**, 780 (1968)
- (8) B. S. Gupta and D. S. Hamby, Text. Res. J., **39**, 55 (1969)
- (9) J. W. S. Hearle, Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabric, **Vol.1**, chapter 2 and 3 (1969)
- (10) T. Komori and K. Makishima, Text. Res. J., **48**, 309 (1978)
- (11) 주창환, 한국섬유공학회지 제27권 12호 p17 (1990)
- (12) Y. R. Kim, Y. Huh and W. Y. Ryu, Proceedings of the 4th Asian Textile Conference p410 (1997)