

창립 40주년 기념 특집부록

헤어리니스

목 차

1. 서론
2. 헤어리니스의 정의
 - 2.1 헤어리니스의 개요
 - 2.2 헤어리니스의 종류
3. 헤어리니스의 측정
 - 3.1 측정방법
 - 3.1.1 광학적인 방법
 - 3.1.2 광전자를 이용하는 방법
 - 3.1.3 전기용량식 방법
 - 3.1.4 털태우기에 의한 방법
 - 3.1.5 기타
 - 3.2 측정기기
 - 3.2.1 Zweigle G565 헤어리니스 시험기
 - 3.2.2 Uster Tester 3
 - 3.2.3 Shirley 헤어리니스 시험기
 - 3.2.4 기타
 - 3.3. 시험방법간 비교
4. 헤어리니스에 영향을 미치는 요인들
 - 4.1 섬유 변수들의 영향
 - 4.2 잔털에 대한 실험 변수들의 영향
 - 4.3 혼방사의 잔털

5. 방적 공정이 헤어리니스에 미치는 영향

5.1 링 방적

5.1.1 전방공정

5.1.2 정방공정

5.1.3 권사공정

5.2 오픈엔드 방적

5.3 기타 방적

5.3.1 사이로 스판 방적과 더블 로브 방적

5.3.2 코어 방적사

5.4 방적 시스템간 비교

6. 기타

1. 서 론

헤어리니스에 대한 개념은 1952 3년경에 처음으로 실에 대한 정량적 특성의 하나로서 정의되었다. 그러나, 정의되기 이전에도 헤어리니스는 때때로 방적공정을 방해하거나 제직과 편직 공정중에 문제를 발생시킬 수 있는 특이한 성질로 여겨졌다.

이후 헤어리니스를 측정하기 위한 다소 조잡한 기술(이러한 기술중 현재까지 이용되고 있는 것은 없다)이 개발됨으로써 비로소 헤어리니스는 사품질을 나타내는 인자중의 하나로 자리잡게 되었다.

링정방외 다른 방적기술(Open-end, self-twist 등)이 개발되었을 때 헤어리니스는 측정되고 관리되어야 하는 바람직하지 않은 요인으로 등장하였다. 따라서 연속적으로 헤어리니스를 측정할 수 있는 장치의 개발이 요구되었으며, 또한 많은 연구원들이 실의 헤어리니스를 연구하게 되었다.

그러나 실의 헤어리니스는 다소 복잡한 개념으로서 한가지 특성에 의해서 완벽하게 정의될 수는 없다. 이는 헤어리니스가 정의된 후부터 40가지 이상의 측정방법이 개발되어졌다는 것에서도 알 수 있다.

헤어리니스를 측정할 수 있는 몇 가지 측정기기가 상업화됨에 따라 헤어리니스가 많은 관심을 끌게 되었다. 즉, 헤어리니스는 방적, 제직 및 편직 공정에 영향을 미치고, 직물의 결점 및 완제품의 특성에도 영향을 미침으로써 헤어리니스의 측정은 이제 연구실뿐만 아니라 방적공장에서도 일상적인 시험의 하나가 되었다.

2. 헤어리니스의 정의

2.1 헤어리니스의 개요

Barella는 Morton과 Yen의 연구를 기초로 하여 1953년에 헤어리니스 이론을 만들었다. 지금도 이 이론은 일부 수용되고 있으며, 최근의

연구결과에 의해 개선되었다.

헤어리니스는 섬유의 한 끝이 실 코어(core)로부터 돌출된 것, 코어밖으로 나와 루프를 형성한 것, 와일드 섬유(wild fiber, Morton에 의해 정의됨)로 불리는 것 등으로 구분된다. Barella는 돌출된 섬유단(端)의 수는 실 단면적에서의 섬유수와 상당히 비슷하다는 것을 발견하였다. 이것은 섬유의 양쪽 단중 어느 한쪽은 코어에 묻히고, 다른 쪽은 실의 코어밖으로 돌출된다는 가정과 일치한다. 돌출된 섬유의 대부분은 섬유의 꼬리(tails, 약 56-64%)에 해당하며, 머리(head)의 수는 약 30-40%를 구성하며, 꼬리나 머리가 아닌 것으로 판별되는 수는 작다(2-10%).

그 뒤에 Pillay는 트레이서 파이버(tracer fiber)를 이용하여 Barella의 결론을 수정하였다. Pillay는 돌출섬유와 단면적에서의 섬유 올수간에는 높은 상관성(상관계수 0.78)이 있음을 증명하였고, 면섬유의 경우 현미경으로 계산했을 때 단면적의 섬유 올수중 실에서 한쪽 끝이 나오거나 돌출된 것은 31%이나, 털태우기 방법을 사용(이 경우 루프도 포함)했을 때는 그 비율이 42%까지 증가하였다. 돌출섬유의 약 55%가 섬유의 꼬리에 해당되어 Barella의 가설을 확인하였으며, 섬유의 양끝이 모두 실 밖으로 나오거나 실속에 남아있는 섬유도 있다는 것을 밝혀냈다.

헤어리니스는 대개 단(短)섬유에 의해 발생되며, 돌출섬유와 루프를 비교하면 루프의 수는 면사 헤어리니스의 약 2/3로, 이것은 레이온 방적사에 대하여 Jackowski가 밝혀낸 것과 비슷한 비율이다. Barella는 소모사(worsted yarn)의 경우 잔털의 약 1/4이 돌출섬유에 의한 것이며, 방모사(wollen yarn)에서는 돌출섬유의 비율이 전체 헤어리니스의 1/2이라고 하였다. 그러나 이 비율은 변화가 크므로 일반적인 특성이나 절대적인 값으로 생각할 수 없다. 또한 Jackowski에 의하면 두 변수간의 상관성은 높지 않다.

돌출섬유의 수는 꼬임과는 무관하다(Barella, Boswell과 Townend, Pillay에

의해 연속적으로 발견됨). 그러나, 꼬임이 증가하면 섬유간의 집속력이 증가하기 때문에 루프의 수는 감소한다. 와일드섬유(wild fiber)의 수(별도로 계산된다면)는 실 표면에 위치하기 때문에 꼬임에 의해서는 매우 적게 감소한다.

실에서 루프의 길이뿐만 아니라 돌출 섬유의 길이를 고려할 때, 헤어리니스의 평균값은 실의 단면적이 증가하면 증가하고, 루프의 길이가 감소하면 감소한다. 꼬임의 증가는 섬유단의 길이를 짧게 하는 경향이 있기 때문에 헤어리니스는 실의 꼬임에 의해 영향을 받는다.

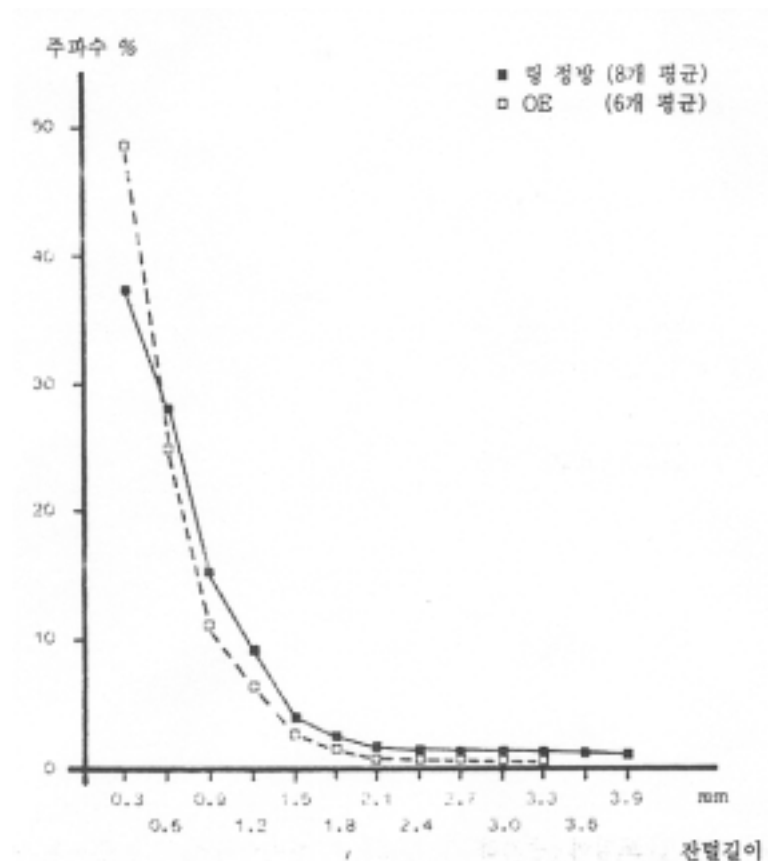
그러므로 실의 헤어리니스는 코어에 달라붙어 있지 않은 실의 최외곽층의 섬유들에 의해 결정된다. 그중 일부는 섬유의 한쪽 끝이 실의 코어에 있는 다른 섬유들에 의해 파지되어 있으며, 다른 끝은 섬유의 역학적 성질(강성, 형태 등)에 의해 실의 표면으로 나오게 된다. 실이 꼬임을 받는 동안에, 섬유의 한쪽 끝은 코어에 붙잡힌 채 실 코어로부터 실의 표면으로 더 나가게 된다. 섬유의 비틀림과 실의 꼬임은 루프의 형태에 영향을 미칠 수 있다. 돌출섬유의 대부분은 외곽 층으로부터 나오게 된다.

와일드섬유는 꼬리가 프런트 로울러에 의해 파지되어 있는 동안 윗부분만이 꼬임을 받는 것이며, 정방기에서 드래프팅을 받는 섬유속의 가장자리에 있는 일부 섬유가 섬유속으로부터 약하게 분리되어 생기는 가장자리(marginal) 섬유들이다. 이때 보텀 로울러는 섬유의 이주(migration)를 막고 헤어리니스를 생성한다. 드래프팅 영역에서 섬유 웹(web)의 폭이 넓다면, 보텀 로울러와의 접촉 및 마찰로 인하여 섬유 자체를 집속시키는 성능을 감소시켜 헤어리니스가 발생된다. 이러한 효과는 꼬임이 적은 굵은 실에 좀 더 많다. 이 결과는 드래프팅 영역에 있는 콜렉터(collector)의 중요성을 강조한다. 꼬임의 증가는 가장자리 섬유의 돌출섬유단을 짧게 할 뿐 아니라 루프의 수도 감소시키는 경향이

있음을 알 수 있다.

잔털 변수들의 통계적인 면을 보면, 돌출섬유 길이의 평균값이 0.8mm보다 짧을 때는 돌출섬유의 수는 정규분포를 따르지 않으며, 면, 레이온 스테이플의 카드 및 코우머 소모사에서는 돌출섬유의 길이는 지수법칙에 따라 분포한다. 면사의 경우 돌출섬유와 루프의 75%이상이 1mm보다 짧으며, 대부분의 면사는 돌출섬유의 오직 1%만이 3mm이상이다.

오픈엔드 방적사는 특별한 구조로 인하여 링방적사의 개괄적인 이론에 몇 가지가 수정된다. 로우터 방적사는 링 방적사에 비해 3mm보다 긴 돌출섬유의 수가 적다. 3 6mm 사이의 돌출섬유의 비율은 약 3.5 3.8배 정도이다(그림 2-1 참조).

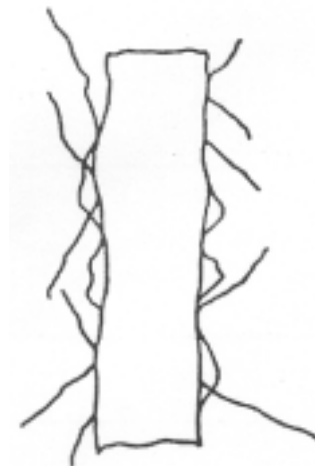


<그림 2-1> 기존의 링 및 로우터 방적사의 잔털 길이 분포

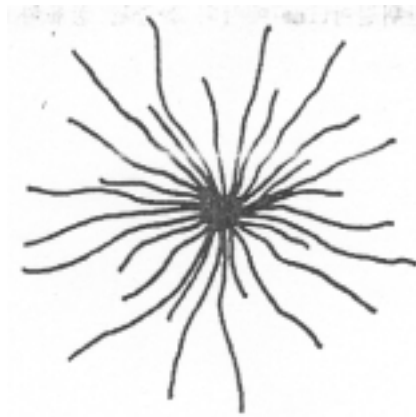
2.2 헤어리니스의 종류

확대된 실의 측면을 스크린위에 투영(그림 2-2 참조)한다면 잔털은 (a)돌출 섬유, (b)실 코어로부터 돌출된 루프 섬유, (c)와일드 섬유(wild fibres) 등으로 구분된다. 이때 실에서 돌출부분이 루프 형상인 것은 고리형태로 나타난다. 일반적으로 섬유의 끝은 섬유의 실제 크기로 투영되지 않으며, 초점을 맞추기 위해 사용된 장치의 광학적 특징에 영향을 받으므로 광학면으로부터 점점 사라져 짧게 나타날 수 있다.

잔털을 표시하는 다른 방법(그림 2-3 참조)은 섬유 축에 수직인 평면에 투영하는 것으로 이 경우에는 돌출 섬유만이 나타난다. 위와 같은 이유로 실제 길이로 투영되지 않으며, 초점에 대해서도 동일하다. 이러한 투영방법은 실제로 얻기가 어렵지만, 이를 측정할 수 있는 기기를 만들어 섬유축에 평행한 평면에 투영하였다.



<그림 2-2> 실축에 평행한 면에 투영된 실의 상



<그림 2-3> 실축에 수직인 면에 투영된 실의 상

3. 헤어리니스의 측정

3.1 측정방법

1953년 이후에 개발된 여러 가지 잔털 측정 방법중에서 상업적으로 실용화된 것도 있으며, 이들 중 몇 가지는 지금도 사용되고 있다.

측정에 사용된 여러 가지 물리적 원리들은 다음과 같다.

- 광학적인 방법
- 사진을 이용하는 방법
- 광전자를 이용하는 방법
- 전기 용량식 방법
- 소모에 의한 무게 감소에 의한 방법
- 비디오 카메라를 이용한 실의 횡단면 조사 방법
- 레이저 광선을 이용하는 방법
- 기타 방법

몇 가지 방법은 위에서 나열된 방법 중에서 2가지 원리를 혼합하는 방법

3.1.1 광학적 방법

이 방법의 대부분은 확대된 실의 측면을 스크린이나 현미경에 투영시켜 실의 이미지를 검사하는 것에 기초를 두고 있다.

Barella는 80 100 배율의 투영을 이용하여 단위길이(1mm)에서의 돌출된 섬유와 루프를 형성한 섬유의 수를 세어서 헤어리니스를 결정하였으며, 또한 돌출된 섬유의 길이도 측정하였다.

Onions and Yates는 투영 현미경으로 실을 조사하여 미리 만들어진 표준 사진과 실의 가장자리 모습을 비교하였다. 이때 잔털 평가는 0 7까지의 8단계로 구성되며, 평가되는 값은 주관적인 방법으로 결정된다.

Ford는 아크릴 시멘트(acrylic cement)를 이용하는 특수한 방법으로 실 코어의 섬유와 헤어리니스의 원인이 되는 섬유를 고정한 후, 실의 단면 및 측면 형태 모두를 검사하였다. 실의 단면은, 실의 무게 중심, 그것을 포함하는 지역, 실의 경계 등 각각에 대응하는 3개의 동심원을 가지는 특수 스크린에 실을 투영하는 현미경을 이용하여 조사하였다. 가장 큰 원밖의 지역은 헤어리니스와 관련된 섬유를 포함하였다. Ford는 섬유 혼섬에 대한 연구를 위하여 잘 알려진 트레이서 기술을 이용하였다.

Pillay는 돌출 섬유와 루프의 수, 길이 및 특성을 발견하기 위하여 2가지 현미경적인 기술을 이용하였다. 1번째 과정은 3mm의 실 길이(50배 확대)를 조사하기 위하여 Projectina기를 이용하여, 실 10mm당 돌출된 섬유와 루프의 수로 표시하였고, 돌출된 섬유의 길이는 실의 이미지를 추적할 수 있는 Curvimeter로 측정하였다. Pillay의 두 번째 기술은 Ford의 트레이서를 이용하는 방법과 유사하다. 검사용 실을 5in(127mm)×1in(25.4mm)의 유리판 위에 길이방향으로 고정하고, 1/8in(3.2mm)의 간격으로 배열하였다. Projectina 현미경으로 관찰하기 전에 실을 methylsalicilate와 α -bromonaphthalene 용액으로 포화시켜서 실에서의 섬유 굴절률(면; 1.556)과 비슷하게 하였다. 이 방법에서는 실의 몸체는 현미경으로 보이지 않으며, 염색된 섬유들(tracers) 즉 돌출된 섬유와 루프는 쉽게 볼 수 있게 된다.

Goswami는 광원을 간단히 배열하고, 스크린에 실의 이미지를 투영하기 위하여 만들어진 카메라를 갖춘 현미경을 이용하였다. 실이 투영되었을 때

투영된 섬유중에는 투영된 실 이미지의 2차원적 특징 때문에 가려지거나 보이지 않는 섬유도 발견된다. 이러한 결점을 극복하기 위하여 관측시 실을 회전하기 위한 장치가 시스템에 부착되었으며, 특별한 섬유가 투영면에 나타나지 않을 때 회전하게 된다. 돌출된 섬유의 길이는 Curvimeter에 의해서 측정되었다.

Singh는 100배 확대된 실 측면으로부터 각 2cm 떨어진 두 평행한 보조선을 그어 하나에 겹쳐지는 섬유만을 파악함으로써 엉킴에 의해 실이 주위와 인접하여 발생하는 문제점을 피하였다. 나머지 부분(0.2mm 보다 작은)은 계수시 제외하였다.

Load와 Nichols는 현미경 기술의 도움으로 트레이서 섬유를 적용하였다. 실이 용액속에 잠겨있을 때의 실의 굴절률은 섬유의 굴절률과 거의 일치하나 트레이서 섬유는 반대로 두드러진다. 트레이서 섬유의 이미지는 바닥의 유리 스크린에 투영되며, 헤어리니스 비율은 실 몸체의 직경에 대한 돌출섬유를 포함하는 실 직경의 비율로서 구하여진다; 사용된 장치는 실제로 Gupta와 Hamby에 의해 개발된 장치와 비슷하다. 체코슬로바키아에서 개발된 OEMST 장치와 Kapaek 장치는 동일한 원리에 기초한 것이나 헤어리니스의 측정정보는 실 기하학의 연구를 위해 개발되었다.

면섬유의 테이퍼(taper)에 관한 Seshaan의 연구에서는 트레이서 섬유를 포함한 실을 Methylsalicilate가 담긴 물통을 통과시킨 후 Projectina 장치를 이용하여 검사하였다. 트레이서 섬유는 돌출된 잔털을 구별하기 위하여 뿌리 부분은 검은색, 머리 부분은 빨간색으로 염색하여 준비하였다.

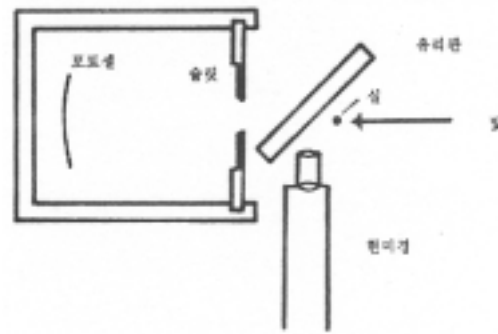
위에서 간단히 살펴본 광학적 기법들은 매우 느리기 때문에 상업적으로는 이용되지 않는다. 그러나 몇가지 방법은 실행이 쉽고, 실의 구조나 기하학과 관련된 연구에 매우 유용하다. 평면에 실을 투영하는 방법의 주된 결점은 돌출된 섬유와 루프의 실제 길이의 측정이 정확하지

않다는 것이다.

3.1.2 광 전 자 를 이 용 하 는 방 법

이 방법에 관한 종류는 매우 많으며, 실제로 헤어리니스를 정량적으로 측정하려는 첫 번째 시도는 실의 직경을 광학적 방법과 광전자적 방법으로 동시에 측정하는 것이다. 스크린에 확대된 이미지를 투영하여 측정한 것과 광전자 셀을 이용하여 측정한 실 직경의 두 값을 비교하면 서로 차이가 있다. 직경을 광도계로 측정할 때, 측정된 값은 헤어리니스에 의해 영향을 받는다. 따라서 실제 직경보다 광도계에 의한 직경이 더 크다. 두 직경의 비율이 헤어리니스 지수(헤어리니스 계수)이며, 이것은 2가지 측정방법에 있어서 다른 측정기술이 존재한다는 것을 나타낸다.

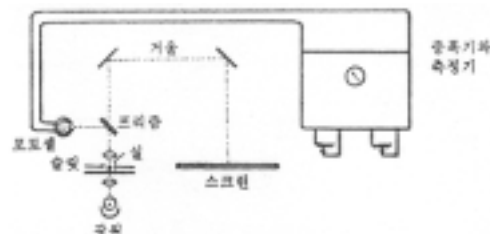
Onions와 Yates는 Chamberlain photometer(그림 3-1 참조) 장치를 이용하였다. 이 장치는 셀에 떨어지는 빛의 세기에 직접 비례하는 전압계의 수치를 읽는 전자 증폭기를 갖춘 광전기 셀로 구성되어 있다. 빛은 $1/2\text{in}(12.7\text{mm})$ 및 가변성을 가진 폭의 슬릿을 통과하여 셀의 음극에 입사되며, 실에 의해서 부분적으로 가로막혀 실의 헤어리니스가 조사된다. 실과 슬릿사이의 기울어진 유리판은 확대된 실 이미지를 스크린에 투영하도록 광선의 일부를 현미경으로 편향시킨다. 스크린으로부터 실 코어의 직경을 측정할 수 있다. 따라서 광도 측정 직경과 투영된 직경이 결정될 수 있다. 슬릿의 폭은(실 직경의 2, 4, 6배) 중요한 요소로서 적당한 막이나, 이미 알고있는 폭을 갖으며 평행하고 시료에 관계없이 변화될 수 있는 슬릿을 가진 판에 의해 조정되어진다.



<그림 3-1> Onions와 Yates에 의해 사용된 장치의 개략도

또 다른 중요한 요소는 사장력이다. 스크린 상에서 실제 실의 직경을 결정하는 것을 피하고, 서로 다른 슬릿 폭 상에서 측정된 2개의 광도측정값을 사용함으로써 측정방법이 개선될 수 있었다. 그러나 이렇게 개선된 방법으로 얻어진 헤어리니스는 실제 헤어리니스를 의미하지는 않는다. 이 실험으로 Barella에 의해 증명된 것과 같은 상대적인 헤어리니스의 계수를 얻었다.

Barella와 그의 동료들은 최초로 반 연속적인 잔털 측정 장치를 개발하였으며 이 장치는 스페인(Vieluba A-B형 1995년과 1996년)에서 몇 년 동안 상업화되었다. 이 장치는 균제도 측정기(겉보기 실 직경의 균제도 측정을 위해 고안)로 만들어 졌으나, 헤어리니스의 결정에도 사용할 수 있었다. 그 원리는 Onions와 Yates에 의해 만들어진 측정기와 비슷하나 일부 항목은 개선되었다: 반 연속적인 작동, 슬릿 폭의 기계적 조작, 장력측정기 부착, 전자 부분의 쉬운 캘리브레이션 등이다(그림 3-2 참조).



<그림 3-2> Vieluba A-B형 기기의 개략도

프랑스에서 개발되고 상업화된 CRITER II 장치로 잔털들은 정전기장에 의해서 기모되고, 실 축으로부터 3mm의 거리에 위치한 광전자 요소에 의해 측정되어진다. 이 장치는 셀에 떨어지는 임펄스(impulse)를 증폭 또는 변조시킨 후, 정해진 실 길이에서 3mm를 넘는 잔털의 개수를 측정하였다. 이 장치에서는 실에서 전기장을 일으키는 전극들이 실 원주 전체에 작용하지 않고 실 축에 수직인 평면에 작용한다(그림 3-3 참조). 이 방법의 주된 결점은 3mm넘는 돌출 섬유만이 계산되는 것이다. 한편, 실제로 잔털은 이와 같이 배열되지 않기 때문에 섬유를 기모시킨다는 것은 고려되어야 할 새로운 요인이 추가된다는 것을 의미한다. 그러한 조건아래서 이 결과는 시각적 헤어리니스를 반영할 수 없으며, 합성 섬유를 측정할 때는 어떤 어려움이 나타날지도 모른다. 이 경우에 Ducrocq는, 주입기, 건조기 및 적극 구동장치로 구성되는 보조장치를 이용하여, 실에 전하의 형성을 용이하게 하기 위하여 정전기 방지제를 투입함으로써 이 문제를 해결하였다.



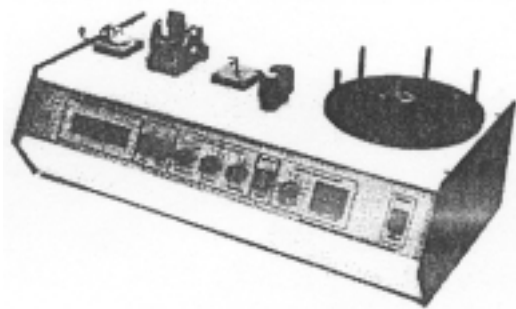
<그림 3-3> CRITER-DAM II 기기의 개략도

그 후, Wegener와 Thonneszen는 CRITER II 장치로 얻어지는 결과를 개선하기 위하여 Aachen II의 다중연산 및 평가 장치를 이용하였다. Lunenschloss 등은 하나의 포토셀을 일련의 6개의 포토셀로 교체하여, 실의 중심으로부터 2, 3, 4, 5, 6, 7mm 이상 되는 섬유를 동시에 측정하였다.

Lappage와 Onions는 스크린에 실 그림자의 확대된 이미지를 투영시키는 장치를 개발하였는데, 이 스크린 위의 포토셀은 헤어리니스에 의해 생긴 섬유 그림자의 통과를 탐지하게 된다. 실 축에 수직으로 셀을 배치하여 축으로부터 다른 거리에서 섬유의 통과를 감지할 수 있다. CRITER II

측정기와 같이 이 장치도 초당 21cm의 속도로 연속적으로 측정되며 그 결과는 m당 섬유수로 표시된다. 헤어리니스에 대한 완벽한 연구를 위해서는 실의 각 측면에 대하여 매번 실 축에 수직 방향으로 셀을 배치함으로써 다양한 수준에서 탐지하여, 여러번 계산하는 것이 필요하다.

Slack은 잘 알려진 Shirley 헤어리니스 시험기(그림 3-4 참조)를 개발하였다. 이는 현재도 전 세계적으로 많이 사용되고 있는 장치이다. 이 장치는 실 주위 (70°)를 검사하며 미리 세팅된 길이(0 10mm)보다 큰 잔털을 측정하는데, 일반적으로 3mm이상의 잔털을 측정한다. 이 범위내의 잔털만이 측정되어 지는데, 실 잔털의 총계는 이 숫자에 비례함이 알려져 있다. 이 장치를 통과하는 실의 속도는 55 110m/min이며 작동중에 측정된 잔털의 총계는 디지털 카운터에 표시된다. 또한 이 장치는 실을 감는 장치를 갖추고 있다. 이 장치는 최근에 특별한 프로그램 카드로 프로그래밍할 수 있는 프린터와 연결되었으며, 차트 기록기로 헤어리니스의 변동과 다른 헤어리니스 특징들을 나타낼 수 있다.



<그림 3-4> Shirley 헤어리니스 시험기

Tanaka는 1,000 6,000 V의 전기장 아래에서 잔털을 기모하는 장치를 갖춘 광전자 장치를 개발하였다.

Kubota 등은 헤어리니스 측정에 새로운 방법을 이용하는 장치를 개발하였다. 사용된 새로운 원리는 움직이는 실의 잔털을 실 축에 직각인

스크린에 투영시켜서 헤어리니스를 광도계로 측정하는 것이다. 스크린상의 원형 슬릿들은 실 원주상의 잔털의 수와 길이를 측정한다. 돌출 섬유단을 세우기 위한 정전기장을 이용하여 측정하였다. 그러나, 이 방법은 적용하기 어렵고, 그 결과가 실의 불균제도, 넵수, 장치의 민감도 등에 의해 영향을 받는다.

Bollen이 A.K.U.(Holland)에서 개발한 장치는 실 코어(1mm)로부터 미리 지정된 거리에서 나타나는 잔털의 그림자를 광트랜지스터(phototransistor)로 감지하여 발생된 전파를 전자적으로 계수하는 것이다. 이 장치를 통과하는 실의 속도는 30m/min 이다.

Barella와 Viaplana는 실 축에 평행하며 서로 수직인 2개의 평면에 실을 투영하며 스캐닝하는 검사방법을 제시하였으나, 이 원리에 의한 장치는 만들어지지 않았다.

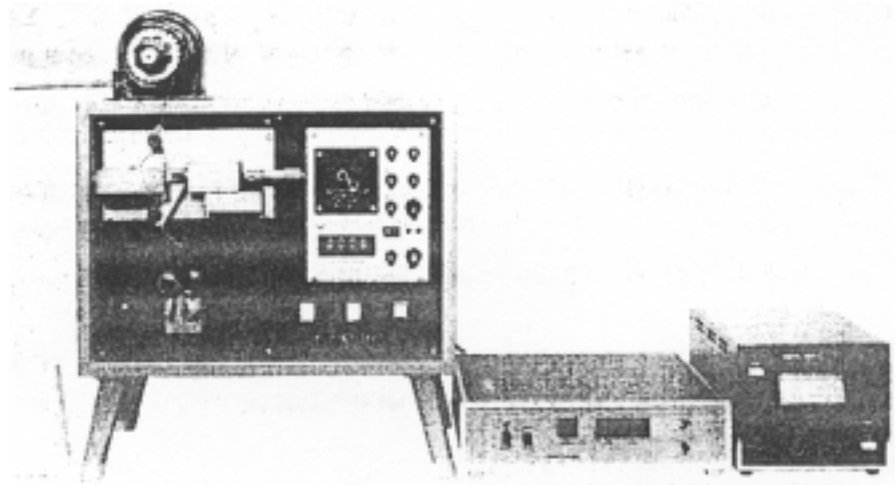
Ronse에 의해 개발된 매우 정교한 장치는 실을 실 축에 평행한 평면상에 투영시키나, 그 이미지는 실 축에 어느 정도 수직으로 읽혀진다. 각각의 스캔에 대하여 스캐닝 빔이 실 이미지에 남기는 포인트는 실 코어로부터 투영된 섬유와 교차되는 조사빔의 포인트까지 거리를 측정하기 위한 참조 위치로 삼는다. 이 장치는 광원, 반사경(reflector) 및 콘덴서 등을 포함하고, 4m/min의 속도로 움직이는 실에 균일하게 조명하는 시스템이다. 렌즈는 광 감지기가 위치한 평면상에 회전하는 거울을 통해서 실의 확대된 이미지를 투영한다. 얻어진 신호는 투영된 섬유의 분포에 대한 정보뿐만 아니라 투영된 실의 직경을 직접 측정한다. 적절한 전자 회로는 투영섬유를 분류하여 실 중심으로부터 0.5, 1, 2, 4, 8, 12mm 거리 간격의 6등급으로 나누어 계수하고, 그 결과를 누적 또는 非누적 형태로 자동적으로 프린트할 수 있다.

Stejskal은 실의 기하학적 불균제와 헤어리니스를 연속적으로 측정하기 위해 광 측정 장치를 이용하였다. 이 장치의 주된 특징은 실의 짧은

헤어리니스와, 스캐닝 구역을 감소시킴으로써 미리 정한 길이 보다도 더 길게 코어로부터 돌출된 잔털을 측정할 수 있다는 것이다.

일본 연구원들은 Shirley 헤어리니스 시험기와 비슷한 원리의 F-Index 시험기, 헤어리니스 카운터라 불리는 2가지 상업적 측정기를 개발하였다. 후자는 Toray사와 Itoh & Co, Ltd에서 개발하였는데, 이 장치는 실 이미지를 광학적으로 확대시켜 사용하였다. 탐지부는 측정기의 몸체로부터 분리되어 있어서 실이 방출되는 동안 정방기에 직접 고정시킬 수 있으며, 여기에는 F와 S의 2가지 타입이 있다. F타입은 연속필라멘트사에 적합하고, S타입은 방적사에 적합하다. 이 장치는 광전자 변환기를 움직일 수 있기 때문에 잔털 길이에 의하여 잔털의 분포를 측정할 수 있다.

F-Index 시험기(그림 3-5 참조)에서는 실은 실 표면으로부터 미리 선정된 거리에서 시료에 정확하게 수직이면서 실 축에 평행한 광에 의해서 스캔된다. 광에 의해 형성된 가상적인 면에 교차하는 잔털의 수는 F-Index에서 고안된 헤어리니스 지수로 표시된다. 이 지수는 실제적으로 정의하기 어려운 수치이다. 그러나 이 방법의 개발자에 의하면 이 수치는 평균잔털길이의 수치값, 실 주위의 잔털 수, 집중된 잔털길이, 임의로 지정된 길이를 넘는 잔털의 수를 나타낸다고 한다. 연구원들은 실 축으로부터 서로 다른 거리에서 만들어진 2가지 측정값에 의해서 잔털의 총 양과 평균 잔털 길이, 잔털의 총 개수를 얻는 것이 가능하다고 주장한다. 이 장치를 통과하는 실의 속도는 30m/min이며, 그 결과는 도표로 기록되어 진다.



<그림 3-5> F-Index 헤어리니스 시험기

마지막으로 Pai 등은 Digital Fibrograph 230A를 이용하는 방법을 개발하였다. 사실, 그들은 새로운 방법을 개발한 것이 아니라 널리 사용되며 잘 알려져 있는 광측정기를 사용하는 방법을 독창적으로 연구하였다.

이 장치는 광 측정된 실 직경을 원료와 실 선밀도의 함수로 계산된 표준 실 직경과 비교하는 것이 이 기술의 뛰어난 장점이다. 그 결과는 잔털계수와 비교된다.

헤어리니스를 측정하기 위해 개발된 많은 광 측정방법 중에서 몇 가지만이 상업화되었다. 현재, 가장 잘 알려진 측정기는 Shirley 헤어리니스 시험기, Toray 헤어리니스 카운터, F-Index, Zweigle G565 등이다. 이런 장치는 실제의 헤어리니스가 아닌 헤어리니스의 특징들 중에서 한가지만 반영하는데도 상업적 목적 및 일상적인 관리에 유용하다.

3.1.3 전기 용량에 의한 방법

CRITER는 최초의 연속적으로 작동하는 상업화된(CRITER-DAM I) 헤어리니스 측정기로 전기용량을 기초로 한 기술을 개발하였다. 이 장치는

본질적으로 고전압 전기장에 의해서 잔털을 기모하는 것이다; 실이 2개의 관 모양의 전극을 통과하게 되는데, 첫 번째 것은 잔털을 기모하여 실린더의 표면에 접촉하는 잔털에 전류를 흐르게 한다. 두 번째 전극은 실을 방전시킴과 동시에 실에 의해 전도된 전류를 흐르게 한다. 헤어리니스가 클수록 더 강한 전류를 발생시키므로, 더 많은 섬유단이 전극들의 내벽에 접촉하게 된다. 그 결과는 실에서의 전류에 비례하는 헤어리니스 지수로 표현되어 진다. 이 장치는 습도에 의해서 실의 전기용량이 변동하기 때문에 보정이 필요하며, 장치에 그러한 보정을 허용하도록 하였다. 4m/min의 속도로 실이 통과하며, 전극의 내경은 5mm이다. 따라서 실 중심으로부터 2.5mm 이상의 잔털만이 전극과 접촉할 수 있다. 이 방법의 단점은 CRITER II 장치에서 설명한 것과 같다. 즉 잔털의 기모와 미리 정해진 길이(여기서는 2.5mm)이상의 잔털만이 계산되며, 가장 짧은 잔털과 조절된 잔털 자체의 길이는 무시된다.

3.1.4 털태우기에 의한 방법

이 기술은 모두 동일한 원리에 기초한다. 즉 소모(燒毛, 털태우기)에 의해 헤어리니스 제거 전·후에서의 실의 일정 길이에 대한 중량의 차이로 결정하는 것이다. Boswell 등은 소모장치에서 1yd/sec(0.91m/sec)의 속도로 실을 통과시켰다. 이때 헤어리니스는 실 100yd(91m)당 중량감소(g)로 표현된다. Lopez-Amo 등은 소모처리 전·후에 선밀도의 함수로 헤어리니스의 중량계수를 결정하였다. Pillay는 Mettler 소모기를 사용하기 전에 특정한 물질과 실 선밀도에 따른 최적 소모조건(사속, 버너의 온도 등)을 광학적 방법을 통하여 미리 결정하였다. 실은 소모전·후에 컨디셔닝하였으며, 중량감소는 실 1g에 대해서 나타내었으나, 이 방법은 실패하였다. 왜냐하면 소모를 강하게 할지라도 모든 헤어리니스를 제거할 수 없으며, 또한 비교를 위한 기준이 되는, 즉 잔털이 없는 실이 존재하지

않기 때문이다. 게다가 헤어리니스의 소모 효과는 구성 섬유의 특성, 실 선밀도에 따라 다르며, 동일한 선밀도의 실과 비교하여 사용하는데 한계가 있다.

소모(燒毛)에 의한 잔털 제거 과정에는 4가지 상태가 고려될 수 있다. (a) L_1 (돌출 섬유단의 평균 섬유장)의 감소와 함께 돌출 섬유단을 짧게 하는 것은 N_1 (실의 단위 길이당 돌출 섬유수)이나 N_2 (실의 단위 길이당 루프수)의 약간의 변형도 없이 일어난다. (b) 더 강한 소모는 돌출 섬유 길이를 짧게 하는 것과 동시에 루프의 수를 절단시키는 결과를 나타낸다. 따라서 L_1 과 N_2 는 감소하나 N_1 은 증가한다. 이것은 루프의 절단이 새로운 돌출 섬유단을 출현시키기 때문이다. (c) 섬유단을 짧게 할 뿐만 아니라 루프와 섬유단을 동시에 사라지게 한다. 변수 N_1 , N_2 와 L_1 값이 감소한다. 이것은 일반적인 소모의 한계로 불려지는 것이다. (d) 소모의 2회 반복도 헤어리니스 전체를 제거하지 못한다. 그러나 많은 루프와 섬유단이 사라지고 섬유단은 짧아진다. 3가지 변수들은 계속적으로 감소하나 헤어리니스는 여전히 존재한다.

이러한 결과는 헤어리니스를 결정하기 위한 무게 측정기법의 사용에 신중한 주의를 요한다. Lappage 등의 나중의 연구는 이러한 주장(소모되지 않은 실의 경우 $N_1L_1 = 1.22$, 소모 후의 동일 실의 경우는 0.18)을 간접 확인하였다. 비록 이 경우에는 소모된 실에서 낮은 값이 얻어졌지만 이때 버너를 통과하는 실의 통과 속도는 60m/min로, 산업용 소모기의 속도보다 훨씬 낮았다.

3.1.5 기타 방법

1) 직물의 헤어리니스 측정 방법

직물의 헤어리니스를 측정하기 위해 몇 가지 방법이 개발되고 있다. 이것들은 다양한 기술을 기초로 하고 있다. Jackowski는 공기가 통과되는

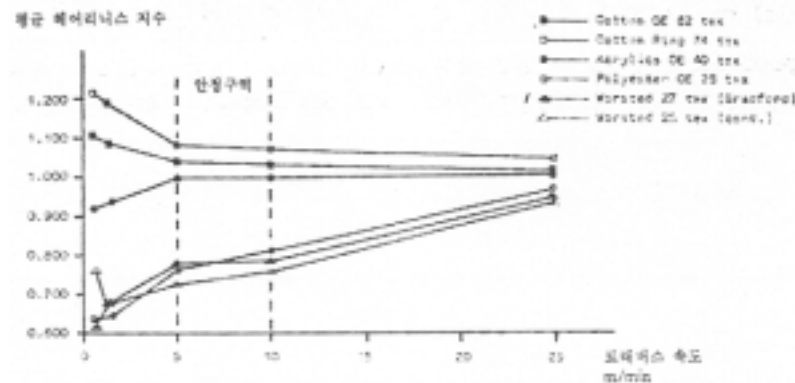
표준 식물(조직과 밀도가 주어짐)을 제직하는데 기초가 된 투과 과정을 응용하였다. 공기저항도의 증가는 식물에서 실의 헤어리니스에 비례한다. Subrahmanya Sarma와 그의 동료들은 광학적 과정(250배 확대하여 스크린에 투영)을 식물에 적용하여 식물에서 실의 헤어리니스에 대하여 연구하였다. 섬유단이 나타나지 않거나, 짧은 섬유단이 있는 셀의 수, 긴 섬유단이 있는 셀의 수, 섬유단의 총수(ends/in²로 표시)를 고려하였다. Verzhboulaskas는 β -선의 응용에 기초한 식물 헤어리니스 측정을 위한 방법을 기술하였다.

2) 연속적인 헤어리니스 측정기에서의 사속의 영향

일반적으로 헤어리니스 측정기를 통과하는 실의 속도는 표준화되어 있으며 측정기(Shirley 헤어리니스 시험기에서는 55 110m/min, F-index 시험기에서는 30m/min)에 따라 다르다. 측정 방법 자체가 속도에 영향을 미칠 수 있으며, 실 축에 평행한 평면에서의 스캐닝방법이 횡 스캐닝에 기초한 방법보다 사속이 빠른 것을 나타낸다.

Digital 헤어리니스 시험기에서의 트레이버스의 실 통과속도와 측정 결과 사이의 관계를 <그림 3-6>에 나타내었다. 여러 가지 섬유원료(면, 모, 합성섬유)와 방적시스템으로 만들어진 실에 대하여 평균 헤어리니스 지수를 결정하기 위해 0.65 25m/min 범위의 속도로 시험하였다. 몇 가지 실에서는 통과속도가 증가함에 따라 헤어리니스 지수가 감소되는 경향을 볼 수 있으나, 그 밖의 실에서는 통과속도에 따라 헤어리니스 지수가 증가하였다. 0.65 5m/min 영역은 매우 불안정하며, 속도가 10에서 25m/min로 증가될 때 몇 가지 형태의 실은 안정적이다. 모든 섬유에 대해서 가장 안정된 지역은 5 10m/min 영역으로 적합한 통과속도는 10m/min이다. 다른 헤어리니스 측정기에서도 동일한 경향을 나타내었다.

실 형태에 따라 서로 다른 거동을 나타내는 것은, 강도, 섬도, 크림프와 같은 섬유특성, 측정기의 기계 부품과 실의 마찰, 측정기에 실이 통과될 때 정전기 전하를 초래하는 섬유의 자화율(磁化率) 등과 관계가 있는 것 같다.

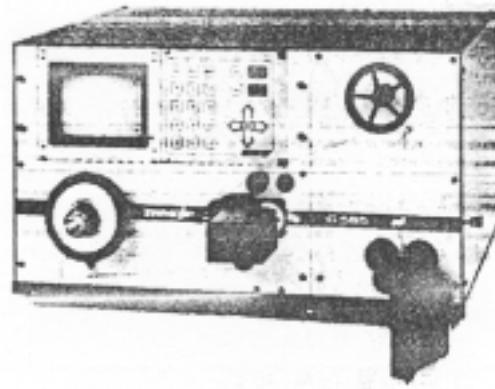


<그림 3-6> 트래버스 속도와 헤어리니스간의 관계

3.2 측정기기

3.2.1 Zweigle G 565 헤어리니스 시험기

Zweigle G 565 헤어리니스 시험기는 폭넓게 사용되고 있다. 이 시험기는 실로부터 돌출된 잔털의 길이(실 축에 수직으로 돌출)를 일련의 포토셀(photocells)에 의해서 25mm까지 계수한다. 최초의 모델에서는 4개의 선택된 잔털 길이를 동시에 기록할 수 있었지만, 최근의 모델에서는 실 코어로부터 돌출된 길이가 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 및 25mm인 잔털의 도수 다이어그램도 얻을 수 있다. 또한 이 시험기는 측정이 끝난 후 각 길이 구간에 해당하는 잔털 수와 헤어리니스 지수(H)를 계산한다. 이 지수는 선택된 길이 구간에 대해서 기록된다(그림 3-7 참조).



<그림 3-7> Zweigle G 565 헤어리니스 시험기

측정 길이는 실의 10 9999m범위에서 조정할 수 있으며, 실의 통과 속도는 50m/min이다. 영점 조정은 완전히 컴퓨터에 의해 조정된다. 입력 사항과 결과는 80×100mm의 비디오 화면에 표시되어지며, 자료는 헤어리니스의 주기적 변동을 확인하기 위해서 프린터나 컴퓨터로 전송할 수 있다. 서로 다른 10개의 측정 프로그램을 마이크로프로세서의 메모리에 저장할 수 있다.

200개 이상의 면 링방적사 및 로우터 방적사를 Zweigle G 565 시험기로 측정한 결과를 Shirley 헤어리니스 시험기와 ITQT 디지털 시험기로 비교하였다. Zweigle과 Shirley 시험기간에는 실 코어로부터 3mm이상 돌출된 100m당 잔털수의 상관계수가 0.73이었으며, Zweigle 자료와 ITQT 디지털 자료간에는 상관이 낮았다. 링 방적사에서는 상관계수가 0.58이었으나, 로우터 방적사에서는 상관계수가 낮아졌다.

Zweigle 시험기에서 제공되는 헤어리니스 지수(H)의 속성은 사용자가 이 지수를 해석하기가 매우 어렵기 때문에 검토되었다. 적용된 최대 헤어길이(i , in mm)와 이 미리 결정된 길이보다 긴 100m당 헤어 수(n_e)를 H와 관련시킨 실험적 관계가 만들어졌다.

$$H = 0.82in_e$$

이 식은 n_e 가 매우 높지 않을 때($n_e < 100$)는 매우 잘 맞는다. $n_e > 100$

이면, 이 식은 시험기에서 주어진 수치와 비교해서 지수를 다소 과대 평가한다.

Barella 등은 Zweigle 헤어리니스 지수 H의 실용적인 사용을 연구하였다. 이 지수 H는 최대 잔털 길이 세팅과 관련된 미리 결정된 조건하에서만 유용하다. 이와 같이 길이 세팅은 비교하려는 일련의 실에서의 최대 잔털 길이보다 작아야 한다.

30개 면사에 대해 세팅 길이를 6mm로 조정하여 실의 H 지수를 시험기에서 주어진 일반적인 헤어리니스 인자 및 이것으로부터 유도된 인자(S_3 ; 3mm보다 긴 잔털수/m, T_p ; 1mm 보다 긴 잔털수/m, L ; mm/cm로 표시되는 누적 잔털 길이)와 비교하였다. 각각의 상관계수는 H와 S_3 간에는 0.923, H와 L간에는 0.684, H와 T_p 간에는 0.556이었다. 따라서 H 지수와 실 코어로부터 3mm이상 돌출된 잔털수 사이에는 높은 상관성이 있었다. 일반적으로 이 단위는 Shirley 헤어리니스 시험기의 개발 이후에 실의 헤어리니스를 나타내는 것으로 일반적으로 인식되어있다.

반대로 비록 Zweigle 시험기의 인자 중에서 L 변수가 Uster Tester 3의 H 지수와 가장 유사한 것이지만, H와 L의 상관관계는 Zweigle과 Uster Tester 3 시험기의 H 지수간에는 어떠한 비교도 할 수 없음을 나타낸다.

면 링방적사의 경우 H 지수를 비교하기 위해서는 최대 잔털길이의 적절한 세팅은 6mm이었다. 작동중 시험기의 마이크로프로세서가 필요한 모든 자료(6mm 이상의 구간에서의 잔털길이 분포)를 제공할 수 없기 때문에 일부 경우에는 VDU 화면에 나타나는 정보로 얻어진다. Krause 등은 직기 성능 연구에서 믿을만한 H 값을 얻기 위해서 표준적인 3mm 길이 한계를 채택하였다.

Barella 등은 다양한 면사와 폴리에스테르/면 혼방사에서의 정해진 길이에 대한 Zweigle H 지수의 값을 도표화하였다. 결과는 정해진 길이 증가에 따라 매우 크게 감소하는 곡선을 나타내었다. 이 경향은 면

링방적사에서는 잘 표시된다. 최대 H 값이 반드시 최소 세팅길이와 일치하지 않으며, 폴리에스테르/면 로우터 방적사에서도 항상 일치하지는 않았다. 반면에, H 지수는 실의 선밀도 증가에 따라 감소하는 경향이 있다. 이 경향은 세팅길이가 증가할 때 더 크게 나타난다.

면 방적사 품질에 대한 일반적 연구를 위해 15개의 정방기로 방적된 78개의 링 방적사를 Zweigle G 565 헤어리니스 시험기로 시험하였다. 이 실은 다양한 원료로 방적되었다. 그 결과, 헤어리니스는 각 실에 대해서 독특한 인자로 많은 요소에 의존한다. 예를 들어 다른 방적기로 제조되었으나 동일한 조성의 실에서 헤어리니스와, 선밀도 및 연계수와 같은 다른 인자간에는 상관성이 높다는 것을 이론적으로 정확히 증명하기는 어렵다. 일반적으로, 정소면 방적사는 소면 방적사보다 잔털이 더 적었다.

폴리에스테르/면(67/33) 혼방사는 폴리에스테르/면(50/50) 혼방사보다 잔털이 적었고 폴리에스테르/면 혼방사는 100% 면사보다 잔털이 더 적었다. 또한 폴리에스테르 방적사와 폴리에스테르/모다크릴 혼방사는 약간의 잔털만이 있었다. 또한 100% 아크릴 방적사와 아크릴/면 혼방사는 100% 면사와 헤어리니스가 비슷하였다. 폴리에스테르/비스코스 혼방사는 매우 잔털이 많았다..

S₃ 평균값과 최대 잔털 길이 세팅(i)에 의해 사(동일한 조성이나 혼방)의 동종 그룹을 분류하는 것은 가능하지만, 앞의 논문에서 검토된 것처럼 최대길이 세팅에 의존하기 때문에 H 지수를 고려하는 것은 불가능하였다..

Zweigle 시험기로 구한 잔털길이 분포의 몇 가지 특징이 Barella 등에 의해서 연구되었다. 시험은 여러가지 섬유, 혼방, 다양한 방적방법으로 생산된 85개 실을 시험하였다. 분포는 항상 3mm보다 짧은 잔털과 3mm보다 긴 잔털 각각에 대해서 2가지 지수 메커니즘으로 형성됨을 알았다. 첫 번째 메커니즘은 이론적 지수 분포아래에서 유효하나, 두 번째 메커니즘은

이론적 분포 위에 위치하는 경향이 있다. 섬유나 혼방 형태와 방적시스템의 역할은 세미 로그 도표위에 그려질 때 분포를 나타내는 직선의 기울기의 변화로 제한된다.

전체 잔털에 대해서 계산된 3mm이상 잔털 비율은 실 선밀도와 선형 관계이며 방적공정과 섬유장에 의해서 간접적으로 영향을 받는 것 같다. 소모 방적과 로우터 방적은 면 링 방적보다 높은 값이었으나 콘덴서(condenser) 방적과 에어젯 방적은 이들보다 낮았다. 2합연사는 이 인자에 대하여서는 낮은 값을 갖는다. 실이 자기 마모 작용(self-abrasion action)을 받게되면 헤어리니스의 전체적인 증가나 감소와 관계없이 3mm이상 잔털수는 마모 후에 항상 감소한다.

Zweigle 시험기는 잔털길이 분포 다이어그램에 의해서 공정결함이 있는 정방기나 결함을 고치는 방법을 알 수 있기 때문에 공정관리에 가장 적합한 것 같다.

3.2.2 Uster Tester 3에 헤어리니스 시험기 부착

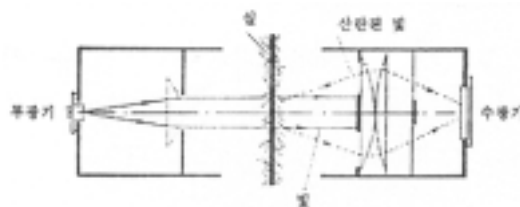
우스터 테스터 3에 부착된 새로운 헤어리니스 시험기는 C.T.R.M.(The Centre de Recherches Textiles de Mulhouse)에서 개발하였다.

C.R.T.M은 새로운 레이저 헤어리니스 시험기의 원형을 개발하였다. 이 시험기는 사 구조에 기초한 모델로서 최초로 개발되었다. 이 모델에 의하면 실은 본질상 표면의 요동 기능과 밀착 기능(실의 코어로 콤팩트하게 함)의 결과이다. 헤어리니스는 단지 요동 기능에 영향을 미치며, 레이저 빛을 흡수하는 코어와 이 빛을 산란시키는 표면 구조간의 차이와 같다. 얻어진 레이저 영상에서 실 코어는 검게, 헤어리니스(표면구조를 형성하는 섬유)는 붉게 나타난다.

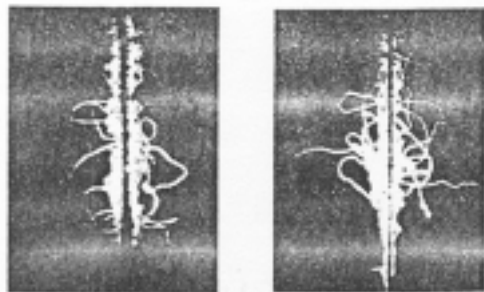
이 시험기의 원형은 픽업 센서, 인테그레이터(integrator) 및 푸리에(Fourier) 분석기로 구성되었으며, 총 헤어리니스 지수, 이 지수의 변동계수, 헤어리니스 변동의 도표 기록 및 헤어리니스의 도수 스펙트럼을

구한다. 이 시험기의 또 다른 특징은 실 몸체로부터 다양한 길이로 돌출된 잔털과 일반적인 통계분석을 할 수 있는 수단을 제공하는 계산 시스템이다.

우스터 테스터 3에 부착된 헤어리니스 시험기에서 측정부는 평행광(적외선 레이저)의 균질한 부분으로 형성된다. 실이 이 측정부에 있다면 실의 코어로부터 돌출된 섬유에 의해서 산란된 산란광만이 검출부에 도달한다. 산란광은 분리된 섬유(즉, 돌출섬유는 밝게 보임) 각각에서 굴절(reflexion), 회절(diffraction), 반사(refraction)의 결과이다. 산란광이 헤어리니스의 크기이며 전기적으로 측정될 수 있다. 반면에 직접광은 검출부의 구멍으로 흡수되어진다. 측정부에 실이 없다면 광 검출부에 빛이 도달하지 않게 되어 전기적으로 측정할 수 있는 신호를 일으키지 못한다(그림 3-8, 3-9 참조). 검출부는 도달한 빛을 이에 비례하는 전기신호로 변환시켜 여러 가지 방법으로 평가할 수 있다.



<그림 3-8> 우스터 테스터 3의 측정 원리



<그림 3-9> 우스터 테스터 3의 잔털 사진

우스터 테스터 3는 다음의 측정 특성이 있다.

(a) 측정된 결과는 시험기간에는 차이가 없다.

(b) 측정은 고속으로 짧은 시간에 완전 자동으로 이루어 질 수 있다.

(c) 측정과정은 먼지와 티끌, 실 가이드 방법, 시험속도 등에 방해받지 않는다. 결과평가에 많은 방법이 제공되어, 실 길이 방향에 대한 헤어리니스를 다이어그램의 형태로 표현할 수 있으며, 평균 헤어리니스는 수치 값으로 제공되고, 실 길이 방향에 대한 헤어리니스의 CV를 구할 수 있다.

주기적 헤어리니스 변동은 스펙트로그래프로 나타낼 수 있으며 나아가 도수 분포 다이어그램, 다양한 절단 길이에서의 헤어리니스 결정 등의 형태로 헤어리니스를 표현할 수 있다. 측정결과는 이미 만들어진 우스터 헤어리니스 통계와 비교할 수 있다.

헤어리니스 측정단위에서, 대략 1cm 실 길이의 헤어리니스가 고려되어진다. 계산된 수치값을 더 잘 이해하기 위해서, 헤어리니스 지수(H)는 1cm 감지 길이에 대한 돌출 섬유의 총 길이로 정의되어진다. 이 정의는 헤어리니스 지수 H의 의미의 기본적인 평가를 제공한다. H가 2가지 길이(잔털과 실)간의 관계를 제공한다면 이것은 단위가 없는 양이다.

섬유 직경, 투명도 및 광택은 측정값에 약간의 영향을 미친다. 측정부가 적외선으로 작동하기 때문에 측정값은 섬유 염료가 적외선에서 밝은 색으로 나타나므로 실제로는 실 색깔과 무관하다.

이 점에도 불구하고, 일부 염료는 적외선을 흡수할 수 있으며 헤어리니스 측정값은 염색된 실의 경우에는 낮은 값이 얻어진다. 이것은 염료 속성에 따른다. 몇 가지 경우에서(대량 염색된 인조섬유의 검은 색 실), 시험기로 측정된 값은 실제 헤어리니스의 10~20%만을 나타낸다. <표 3-1>은 다양한 섬유와 염료의 경우에서 염색이 안된 실과 비교해서 염색된 실의 기대되는 헤어리니스 값을 나타낸다.

실 변수는 헤어리니스와 헤어리니스의 표준 편차에 영향을 미친다. 이 그래프는 정소면사의 경우에 유효하며 우스터 통계(50% 수준)의 예이다. 이런 종류의 잠정적인 통계는 다양한 실 형태에 대해서 성립되었다.

<표 3-1> 염색된 실에서의 기대되는 헤어리니스

(염색되지 않은 실 : 100%)

염료	색	텍스타일 원료			
		셀룰로오스, 면, 비스코스	모		합성섬유 (대용량 염색)
			실	톱	
반응성	clear	80-90			
	dark	70-80			
	black	60-70			
배트	cold and clear	80-90			
	hot and strong	80-90			
	medium	70-80			
	black and dark	60-70			
sulphur	clear and medium	75-85			
	black	20-30			
metal-complex	grey and dark blue		85-90		
	black and dark grey		80-85		
chrome	dark and black			70-80	
mass-coloration	medium				40-60
	black(soot)				10-20

이 시험기에 의해서 몇 가지 실험이 다음과 같은 다양한 주제에 대해서 수행되었다.

(1) 헤어리니스에 대한 스핀들 속도의 영향 : 헤어리니스는 패키지의 위 부분보다 아래 부분이 더 높고 속도증가에 따라 증가하나, CV는 고속의 스핀들 속도에서는 감소한다.

(2) 링 정방기(소면과 정소면)에서 드래프팅 요소의 로울러 코트경도의 영향은 적었다(속도 증가에 따라 약간 증가).

(3) 헤어리니스에 대한 링 레일 상승 영향 : 링 레일 상승의 증가에 따라 헤어리니스는 상당히 증가하였으나 이것은 패키지의 위쪽과 아래쪽 부분과 관련해서 서로 교차되어 측정된 값은 특성 선분과 결합된 것이다. 이것은

헤어리니스 지수 H와 결합된 것이다.

(4) 헤어리니스에 대한 링 트래블러 사용 시간(Running Time) 영향 : 링 트래블러 사용 시간 동안에 거의 일정한 H 지수와 CV를 나타냈다.

(5) 헤어리니스에 대한 권취속도의 영향 : 권취속도에 따라서 H 지수와 CV 모두 증가하였다. 일반적으로 이러한 예는 헤어리니스 변동과 관련되어 이미 알려진 사실을 확인하였다. 다른 주제는 헤어리니스에 대한 콧 구조와 실 꼬임의 영향과 관련된 것이다.

우스터 테스터 3 시험기의 응용과 관련된 다른 논문들이 있으며 이중 몇가지는 특히 관심 있는 것이다. 헤어리니스 연구는 다양한 제조업자에 의해서 헤어리니스의 정도가 다양하게 요구되고 팩키지 내의 낮은 변동이 요구된다. 제직된 직물에 미치는 헤어리니스 영향(필링 등)이 검토되었다. 그러나, 최적 품질 조절은 인간의 시각만으로 이룩될 수 없으며 정확한 측정에 의존해야 한다.

Zellweger Uster 시험기는 헤어리니스 측정과 실의 표면 구조의 분석을 향상시키는데 사용되었다. 결론적으로 실의 중량 변동은 표면 구조와 분리되어 평가해야한다. 이와 같은 분리로 실 표면 구조에 대한 실의 제조 공정의 영향을 더 잘 이해할 수 있다. 링 방적사와 오픈 엔드 방적사를 모두 조사하여 표면구조에서의 놀랄만한 변동을 밝혔다. 이러한 결과는 수치와 그래프로 표현되어졌다.

3.2.3 Shirley 헤어리니스 시험기

Shirley 헤어리니스 시험기는 헤어리니스 측정에 널리 사용되는 측정기이지만 측정 작업을 개선하기 위해서 몇가지 새로운 시도가 수행되었다. 이 시스템에서는 헬륨 네온 레이저로 면사의 헤어리니스 측정이 기술되었다. 실은 정적과 동적 조건하에서 시험될 수 있으며

연구원은 시험이 95% 정확도로 수행될 수 있다고 주장하였다. C.I.R.M.은 빛을 흡수하는 실 몸체와는 반대로 빛을 산란시키는 실 표면으로부터 나온 섬유에 대한 ‘총 헤어리니스(total hairiness)’로 불리는 것을 측정하는 형태의 기기 개발을 발표하였다.

이 측정기는 4가지 수준의 계측기, 탐지부, 인터그레이터, 아날로그 출력 주파수를 결정하기 위한 푸리에 분석기 등으로 구성되어진다. 이 측정기는 총 헤어리니스 지수와 변동계수, 실 길이의 함수로 헤어리니스 주기의 스펙트럼을 구한다. 총 헤어리니스는 하나의 계산으로는 구할 수 없는 정보를 제공하며 직물에서의 위단의 원인을 탐지하는데 유용하다.

10 15cm 실 시료의 헤어리니스 측정에 광학 섬유에 투영된 이미지를 이용하는 측정기는 긴 연속적인 시료의 측정, 실 축 주위의 4사분면에서 잔털을 측정, 자동적인 데이터 수집과 분석을 위한 컴퓨터와의 접속시 변형될 수 있다.

Shirley 헤어리니스 시험기의 결과와 다른 ITOT 디지털 측정기와 같은 다른 측정기들 결과 사이에 존재하는 상관성에 대한 몇가지 새로운 데이터가 발표되었다. 미터당 잔털수(Shirley)와 평균길이 지수(Digital)의 상관계수는 기존의 링 방적면사의 경우 0.75, 오픈엔드 방적면사의 경우 0.60이다.

Shirley 헤어리니스 시험기는 헤어리니스 측정에서 가장 익숙한 시험기이며, 다음의 3가지 장치가 포함되어있다.

(1) Shirley 헤어리니스 시험기는 다음과 같은 주된 특징이 있다.

- 시험속도와 실 길이는 반복을 위하여 조정할 수 있다.
- 관리되지 않는 시험을 위해 시험횟수를 지정할 수 있다.
- 방적사, 필라멘트사 등의 대부분의 실에 적합한 10mm까지의 잔털길이를 조정할 수 있다.
- 조절 및 디스플레이 화면은 작동이 쉽도록 인체 공학적으로

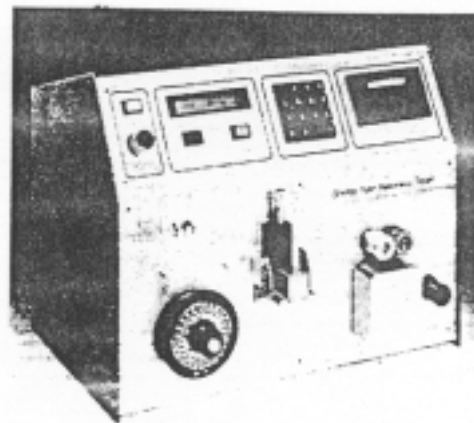
설계되었다.

- 시험기는 자료 획득 및 결과 분석을 위해 마이크로컴퓨터, 디스플레이, 프린터 등으로 구성되어있다.

- 시험이 끝난 시료는 공기 석션 장치에 의해 제거된다.

- 이 시험기는 끊어진 필라멘트사의 검출에도 적합하다.

(2) 헤어리니스 모니터/Compulog 장치는 헤어리니스의 변동자료로 끊어진 필라멘트, 로우터의 더스트 축적, 도핑 튜브 조건, 가이드와 트래블러의 마모를 포함한 생산조건을 감지할 수 있도록 한다. 이것은 생산 중 Compulog 장치에 연결된 모니터로 검사할 수 있다(그림 3-10 참조).



<그림 3-10> Shirley 헤어리니스 시험기

전체 장치는 다루기 쉽게(무게가 가볍다) 만들어 졌으며, 제한된 실 경로 입구에는 확장케이블을 사용할 수 있다. 측정결과는 글자를 깨끗이 읽을 수 있도록 4자리 LCD상에 13mm 크기의 문자로 표시되어진다. 시험기간동안 지속적인 기록이나 판독을 위해서 변동시간 게이트가 포함되어있다.

(3) Compulog SDL 103A는 시험위치(즉 기계와 로우터 번호)를 확인하기

위해서 자료를 입력하는 12키 패드, 헤어리니스 수치의 자동 입력, 결과를 정리하고 분석하기 위하여 마이크로컴퓨터에 적당한 표준 인터페이스 등으로 구성된다. 실 가이드는 3mm이상 잔털을 측정하기 위해 미리 지정되어있다(특수한 명령으로 다른 길이도 측정될 수 있다) ..

3.2.4 기타 방법

Ghosh 등은 황마사의 헤어리니스를 측정하기 위한 전자장치를 기술하였다. 이 기기는 사 코어로부터 일정한 거리에 있는 잔털 수를 세는 기본 원리에 기초한 것이다. 실은 센서에 도달하는 평행한 빛이 실의 축에 수직이 되도록 잡아주는 가이드 위를 일정속도(27m/min)로 통과하게 된다. 실이 가이드 위를 통과할 때, 돌출된 섬유가 순간적으로 빛을 가로막으면 이것을 실리콘 광트랜지스터 또는 센서로 감지한다. 황마사보다 가는 실에서도 사용할 수 있도록 신호 조건과 디스플레이뿐만 아니라 시험기의 표준화도 주어지며, 그 결과는 투영 방법 자료와 상당히 일치한다.

Korobova 등은 헤어리니스의 일부 특징에 대해서 연구하여, 스테이플 방적사의 헤어리니스를 결정할 수 있는 방법을 분류하였다. 러시아, 독일, 일본, 스페인 및 유럽 텍스타일 연구원들에 의해 개발된 모든 방법이 기술되었다. 스테이플 방적사의 헤어리니스를 측정할 때 투영 측정법은 투영 제어 특성에 의한 정보 부족 때문에 부적합하여 측정값은 계산결과에 오류가 생긴다. 이에 대한 정확한 원인과 잘못된 계산결과가 밝혀졌으며, 표면의 형태 변경이 필요 없고 자료의 비대칭(Skew)이 없이 좀더 정확한 측정방법이 추천되었다.

제직 중 헤어리니스를 측정할 수 있는 일부 방법이 개발되었다. Fedoseev 등은 가벼운 직물, 무거운 직물 및 파일 직물의 표면을 조사할 수 있는 새로운 광학 장치에 대하여 기술하였다. Weinsd rfer 등은 제직중 경사의 마모를 연구하였다. 제직 전 · 후의 헤어리니스는 일정한 직기 요소에 의한

영향을 평가할 수 있는 평가기준이다. 경사와 위사밀도 및 다른 측면도 고려되었다. 동일 연구원은 직기에서 움직이는 경사간의 섬유 엉킴을 대부분의 실의 타입에 대해서 측정할 수 있는 방법을 개발하여 경사간의 섬유 후크의 엉킴 수에 미치는 헤어리니스와 섬유 섬도의 영향을 확인하였다.

Fraytec는 연속적인 필라멘트 실에서 끊어진 필라멘트의 수를 감지할 수 있는 장치이다. Hinze 등은 헤어리니스를 포함한 섬유와 실 성질 조절에 이미지 분석기를 사용하였다. Ryndin 등은 편성용으로 고안된 향상된 실의 헤어리니스의 측정을 위한 시험기를 기술하였다.

헤어리니스 연구의 보완으로서 실의 직경 측정도 많은 연구원들의 관심 대상이었다. 실의 직경 측정 방법의 개략은 Pijanowski에 의해서 발표되었다. Joice-Label 3 CS 포토측정기는 다른 방법보다 몇가지 장점을 나타내는 비접촉식 광학적 측정장치이다. 이중 컴퓨터화된 자료수집과 평준화된 실의 밀도를 보장하는 정확성을 갖는 자동측정은 장점 중 일부이다.

Sarovyagin는 직물의 두께와 밀도 계수를 결정하기 위해 사 직경을 정확하게 측정하였다. 헤어리니스를 위한 이상적인 측정 방법을 수립하기 위해 마/비스코스 혼방사를 시험하였다.

헤어리니스를 모니터링하기 위한 새로운 휴대용 Meiners Del 헤어 스캔과 기계와 관련 위치의 정보를 얻기 위한 바코드 리더가 부착되었으며 헤어리니스 자료 수집을 위한 Memo-Random이 주목받았다. 후자는 균제도와 다른 운전중인 실의 시험을 위해 온라인으로 사용할 수 있고 PC 및 프린터와 연결될 수 있다. 에어젯 제직에서 Nissinbo와 Toyoda에 의해 개발된 광학적 헤어리니스 측정기도 관심을 받았다.

Barcoprofile은 투영된 이미지를 이용하여 헤어리니스를 포함한 다양한 사 균제도 특징을 빠르게 분석할 수 있는 적외선 장치이다.

새로운 Meins Del 헤어리니스 시험기는 공장에서 순회 모니터링에 이용할 수 있는 휴대용 모듈을 갖춘 실험 장치이다. 기본 장치는 0.05mm간격으로 0.05부터 9.00mm까지 헤드 간격범위를 자동적으로 조절할 수 있다. 부착된 사권취기로 90 300m/min의 시험속도로 시험할 수 있다. 시험 자료는 모듈의 기억장치로 저장되고 이후 분석을 위하여 PC에 전달될 수 있다.

특정 장치를 포함한 최근 개발된 것은 T.R.I 실의 단면적 모니터이다. 이 시험기는 움직이는 실의 단면적을 연속적으로 모니터링할 수 있다. 어떤 형태도 다룰 수 있고 개개 잔털 또는 기타 표면으로부터 돌출된 것을 감지하기 위한 적절한 해상도와 감도를 가진다.

3.3 시험방법간 비교

헤어리니스 시험기와 관련하여 일부 논문은 서로 다른 시험기에 의해 측정된 자료의 해석에 대한 것이다.

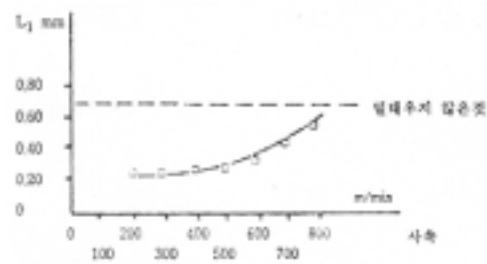
Zachert는 3가지 시험기(F-Index, Zweigle G 565 및 Uster Tester 3)를 비교하였다. 그 결과는 처음 두 측정기에서는 측정기간에는 상관관계가 좋으나, 두 측정기와 우스터 테스터 3의 상관성은 만족스럽지 못했다(F-Index 시험기와 Zweigle 시험기간의 상관계수는 0.9이나 Uster Tester 3와 상관 계수는 0.7보다 낮았다). 반면에 이 측정기에서는 헤어리니스와 실 선밀도간에는 상대적으로 높은 상관계수인 0.7로 관찰되었다. 이것은 다른 두 시험기에는 나타나지 않았다. 3가지 시험기에서 헤어리니스 CV도 고려되었다.

Shirley 헤어리니스 시험기와 같은 빠른 시험기로 면사에서 여러 길이의 돌출된 섬유단의 수의 통계적인 분포는 지수적임을 다시 확인하였다. 이 연구는 헤어리니스 시험기에서 이용할 수 있는 잔털길이 세팅을 비교하면 추천된 3mm 잔털길이가 적합하며, 이점이 있음을 나타낸다. 더욱이 Shirley

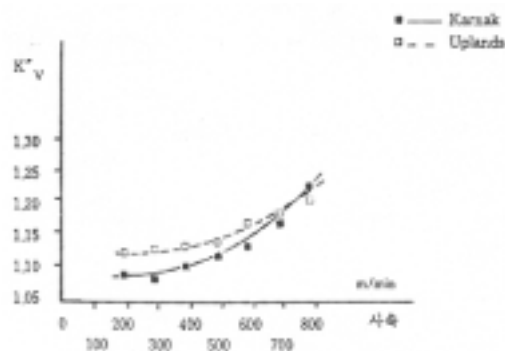
헤어리니스 시험기(잔털수/100yd)와 이 연구에서 고안된 Digital Fibrograph와 개량된 Jedryka방법에 의해서 측정된 다른 헤어리니스 지수간에는 상관성이 높았다.

12와 15 tex의 왁스사와 非왁스사의 헤어리니스의 최근의 광학적 측정값을 Shirley 시험기로 얻어진 측정값과 비교되었다.

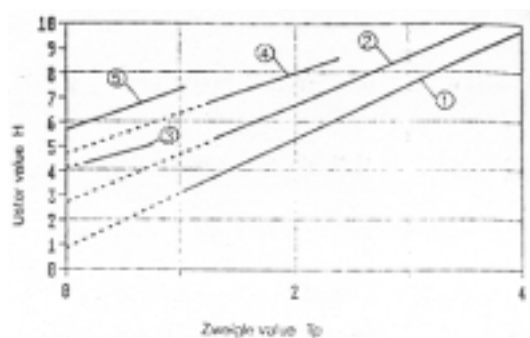
Barella 등은 Digital ITQT 시험기 및 Zweigle G 565와 Uster Tester 3 시험기로 동시에 측정된 헤어리니스 측정값에 관련된 일부 실험 자료를 기초로 실의 헤어리니스는 하나의 유일한 수치로 나타낼 수 없으며, ITQT 시험기에서처럼 사 코어로부터 1mm보다 적게 돌출된 잔털을 포함하는 전체적인 헤어리니스 인자와 잔털길이를 정의하는 또 다른 인자, 즉 2가지 인자가 필요하다고 주장하였다. 동일 논문에서, Zweigle G 565와 Uster Tester 3 시험기로 얻어진 결과간의 첫 번째 비교에서 Uster Tester 3는 가장 짧은 잔털을 포함한 전체 헤어리니스를 정의하는 수치를 제공하나 잔털길이에 대한 어떤 정보도 제공하지 않으며, Zweigle G 565는 가장 짧은 잔털을 제외한 1mm이상의 헤어리니스 검출에 의해서 일부 반대되는 값이 있었다. 실에서 실의 코어로부터 발생하는 잔털수는 중요하며 반대로 잔털길이가 상대적으로 짧은 실은 Uster Tester 3에서는 매우 잔털이 많게 나타날 수 있으나 Zweigle 시험기에서는 다소 적게 나타난다. 이 경우는 벌키한 오픈엔드 방적사 및 다소 특이한 섬유가 포함된 실에서 나타난다(그림 3-11, 3-12, 3-13 참조)



<그림 3-11> 100% 면방적사에 대한 Uster Tester 3의 H 지수와 Zweigle G565 헤어리니스 시험기의 L 지수간의 관계($r=0.871$)



<그림 3-12> 링방적에서 면 및 화섬 방적사에 대한 Uster Tester 3의 H 지수와 Zweigle G565 헤어리니스 시험기의 L 지수간의 관계($r=0.825$)(Pes=폴리에스테르, Co=면, Vi=비스코스)



- 1: 면(링방적), 2: 폴리에스테르/면 및 비스코스(링방적), 3: 모달 및 모달/면(OE방적),
4: 아크릴(링방적), 5: 아크릴 및 아크릴/면(OE방적)

<그림 3-13> Uster Tester 3의 H 지수와 Zweigle G565 헤어리니스 시험기의 T_p 지수간의 관계

비슷한 연구가 Ten brink 등에 의해서 최근에 발표되었다. 변수와 꼬임수가 다양한 총 98개의 천연 및 인조섬유 실을 Zweigle 시험기와 우스터 시험기로 시험하였다. 일반적으로, 두 시험기의 자료는 시험방법이 기본적으로 다르기 때문에 통계적 확실성의 범위에서 상관관계가 낮았다. 오스트리아와 독일 정방공장에 대한 조사는 시험 정도, 헤어리니스 시험 방법 및 공장에서는 어떻게 헤어리니스를 정의하며 최종제품에 대한 영향을 결정하기 위해 시행되었다.

모든 예에서 적합한 순서는 가장 짧은 잔털을 포함한 전체 헤어리니스와 관련된 것과 잔털 길이와 관련된 것의 2가지 인자를 구하는 것이다. 이것은 Digital ITQT 시험기를 채용하여 해결될 수 있다. 그러나 불행하게도 이 시험기는 판매되지 않고 있다. 이러한 문제점에도 불구하고 상업적인 헤어리니스 시험기의 어느 것도 산업체에서 필요로 하는 실의 헤어리니스에 대한 모든 정보를 제공하기 위해서 2인자를 제공하지는 않는다.

4. 헤어리니스에 영향을 미치는 요인들

4.1 섬유 변수들의 영향

섬유 변수들이 헤어리니스에 미치는 영향은 측정에 사용되는 측정 원리의 본질 때문에 결과들이 때때로 일치하지 않는다.

Jackowski는 잔털에 영향을 미치는 섬유특성을 다음과 같이 열거하였다. 즉 길이, 직경(단면), 휨강도(flexural rigidity), 비틀림강도(torsional rigidity), 강도(tenacity), 절단신장, 섬유단면의 모양 등이다. 이들 변수들은 필요하다면 추가되는데, 모 섬유의 경우에는 크림프와 압축저항도가 추가되어진다.

<표 4.1>에 섬유 잔털에 대한 섬유 특성의 영향에 관해서 여러 연구원에 의해 발견된 대부분의 결과를 요약하였다. 광학적 또는 그와 관련된 방법,

소모에 의한 중량 감소에 의한 방법, 전자 장치(CRITER 측정기, Shirley 헤어리니스 시험기, B-V 헤어리니스 시험기, Digital 헤어리니스 시험기)와 같은 측정방법의 3가지 그룹은 만들어져 있었다.

헤어리니스에 대한 섬유 길이의 영향은 섬유길이가 길수록 헤어리니스가 적다. 이 점은 연구원들과 측정방법에 따라서도 일반적으로 일치한다. Digital 헤어리니스 시험기(V_{max} , L_{max})의 경우만이 일반적 경향에 일치하지 않으며, 소모사의 경우에도 섬유길이에 따라 증가한다.

면 섬유의 경우 마이크로네어 지수, 모의 경우 섬유직경, 합성섬유의 경우 선밀도로 표현되는 섬유 섬도는 채택되는 변수에 따라 실의 헤어리니스에 다르게 영향을 미친다. 대부분의 경우에는 헤어리니스와 섬유 직경은 동일하게 변화하나 섬유단면 또는 단위 길이에 대한 무게는 일반적으로 잔털과 동일하게 변화한다. 그러나 돌출 섬유수(N_1)만을 고려했을 때는 상관 부호의 변화가 있다.

면 섬유에서 잔털의 표현(돌출섬유수 N_1 , 소모에 의한 중량감소)에 사용되는 시스템에 따라 다른 상관부호를 나타내는 몇 가지 섬유 변수들이 있다. 이러한 변수들은 힘강도, 비틀림 강도, 단섬유 비율, 성숙도 등이다.

섬유 절단 강도와 절단 신도는 여러 가지 측정 방법에서 잔털과 반대로 변화한다.

섬유 크립(모의 경우)와 압축 저항도는 잔털과 반비례 관계가 있다.

섬유 강연도는 잔털과 비례 관계가 있다.

산업체의 일상적인 분석에서는, 몇 개의 섬유변수만이 측정된다. 이런 이유 때문에 실제적인 목적을 위해 주로 섬도, 길이와 같은 주요 변수들의 영향을 강조하는 것이 편리하다. 그러나 변수들간의 상호작용으로 결과가 감춰지는 경우가 자주 있다.

면사에서 중회귀 방정식의 β 계수에 기초한 여러 가지 변수들의 상대적 중요성은 Pillay에 의해 연구되었다. 이 연구에 의하면, 중량에 의한 측정일

경우에 가장 중요한 두 가지 요소는 휨강성과 비틀림 강성이며, 그 다음이 섬유길이와 단면적이다. 광학적 방법으로 측정했을 때는 휨강성과 섬유길이가 잔털에 가장 큰 영향을 주는 특성이며, 그 다음은 단섬유 비율과 비틀림 강성이 중요하다.

<표 4-1> 헤어리니스에 있어서 원료특성의 영향

섬유물성	광학적 측정의 요인			소모의 중량손실			전자측정		
	요인	원료	상관 부호	요인	원료	상관 부호	요인	원료	상관 부호
섬유장	N_f	면, 소모 레이온	음	1g당 중량손실	면	음	V	면	음
	N_1L_1	레이온	음				$N_1 \text{ for } L_1 > 2.5\text{mm}$	면	음
	N_1	면 레이온	음				$N_1 \text{ for } L_1 > 3\text{mm}$	면	음
섬유장CV	N_f	면, 소모 레이온	양				V	면	양
	N_1	면, 레이온	양				$N_1 \text{ for } L_1 > 3\text{mm}$	면	양
단위길이당 중량	N_1L_1	레이온	양	1g당 중량손실	면	양			
	N_1	면	음						
휨강도	N_1	면	음	1g당 중량손실	면	양			
비틀림강도	N_1	면	음	1g당 중량손실	면	양			
강력	N_1	면	음	1g당 중량손실	면	음			
절단신도	N_1	면	음	1g당 중량손실	면	음			
단섬유함유율	N_1	면	양	1g당 중량손실	면	음			
성숙도	N_1	면	음	1g당 중량손실	면	양			
강연도	N_yL_1	소모 합성섬유	양				$N_1 \text{ for } L_1 > 2.5\text{mm}$	면	양
							V	면	양

돌출섬유 루프의 수는 섬유특성과 사실상 관련이 없으며, 돌출섬유수는 평균 섬유길이와 평균 섬유중량의 곱에 반비례하며 다른 섬유 특성들에 의해 영향 받지 않는다. 루프섬유의 수는 돌출섬유의 약 2배 정도이고,

면의 섬유 특성에 약간 의존한다는 점에서 잔털의 시각적 평가만이 유일한 실 특성이다. 이 결과는 그것이 사실인지 아닌지를 증명하기 위해 더 많은 조사가 필요하다.

잔털에서 뿌리단(端)이 돌출된 섬유는 머리단(端)보다 더 자주 관찰된다. 평균적으로 돌출섬유의 71%가 뿌리단으로 구성되며 머리단보다 17%정도 길다. 게다가, 일반적으로 뿌리단이 튀어나온 섬유는 머리단이 튀어나온 섬유보다 돌출 잔털이 약 6%정도 길다.

무거운 섬유는 실의 원주방향으로 움직이려는 경향을 가지고 있어, 밖으로 나오려는 무거운 요소의 경향은 단섬유에도 작용한다. 따라서, 머리단보다 무거운 뿌리단이 돌출섬유의 대부분을 형성하려는 우선적인 경향이 있다. 이러한 잔털은 좀더 긴 돌출섬유길이를 갖는다. 이것은 다음과 같은 2가지 이유 때문이다. 무거운 뿌리단에 작용하는 큰 원심력이 더 큰 길이, 더 두꺼운 부분, 더 단단한 부분을 좀더 돌출시키려는 경향이 있다. 섬유에서의 선밀도의 변화에 관련되었기 때문에 테이퍼가 실의 돌출잔털의 형성에 섬유의 끝 부분이 다르게 작용하는 원인으로 생각된다.

면사는 합성섬유로부터 방적된 실보다 잔털이 적은 것으로 알려져 있다. 이것이 가능한 이유는 두 섬유의 측면을 보면 알 수 있다. 한쪽 끝이 테이퍼 형상이기 때문에, 오직 한쪽 섬유단, 즉 면 섬유의 무거운 뿌리부분이 면사에서 돌출 섬유단으로 나오려는 경향이 있다. 그러나 합성섬유의 경우는 양쪽 끝이 돌출 섬유단으로 나오려는 가능성은 동일하므로 합성섬유로부터 방적된 실에서는 일반적으로 큰 잔털이 관찰되는 이유중의 하나이다.

방적사에서는 실에서의 미끄러짐(slippage)에 대한 섬유의 저항도가 실의 제직성에, 잔털이 실로 제직된 직물의 필링에 중요한 관계가 있다. 미끄러짐 힘과 실의 기하학적 구조의 관계로부터 잔털발생에 대해 얻어진 실험결과들과 높은 상관성이 있다.

유도된 몇 가지 관계는 잔털을 이주(migration)와 미끄러짐(slippage)에 대한 섬유 저항도와 연결시켰다. 잔털길이는 이론적으로 계산했을 때 섬유이주와 반비례한다. 섬유의 마찰계수와 크림프가 증가하면 잔털이 발생되기 어렵다.

헤어리니스에 대한 섬유 변수들의 영향과 관련된 중회귀 방정식들은 대부분이 Shirley 헤어리니스 시험기에 의한 자료들이다. 헤어리니스 관련하여 사용된 변수들의 표시법은 다음과 같다(표 4-2 참조).

M_i : 마이크로네어 지수

SL : 스펠길이(in)

M : 실의 직경 밀도

H : 미터당 잔털수(Shirley 헤어리니스 시험기)

N_1 = 실의 단위길이당 돌출섬유수

N_2 = 실의 단위길이당 루프수

N_3 = 실의 단위길이당 'wild fiber'수

$N_f = N_1 + N_2 + N_3$

L_1 = 돌출섬유단의 평균섬유길이

L_2 = 루프의 평균섬유길이

L_f = 실의 코어로부터 빠져나온 섬유의 평균섬유길이

<표 4-2> 헤어리니스와 섬유물성간의 중회귀식

원료	시료수	중회귀식	비고
면	75	$H = -45.2SL + 0.79SL^2 + 0.79M_i \cdot M + 66.5$	링방적사
	75	$H = -2SL + 0.3M + 79$	링방적사
	14	$H = -0.69SL + 25.2$	오픈엔드 방적사

모든 식은 절대적이기 보다 상대적인 값을 가지고 있으며 주어진 실험 특성에서의 헤어리니스에 대한 섬유 변수들의 영향에 관한 정보를

나타낸다. 실 변수도 헤어리니스에 크게 영향을 미친다. 이러한 이유 때문에 실제로는 헤어리니스에 대해서는 실과 섬유의 변수들의 영향을 함께 고려하는 것이 더 유용하다.

중 상관계수에 대한 기여도가 높은 것은 섬유직경과 소모(梳毛)사에서의 크림프, 압축저항도와 같이 결합된 변수들이다. 이들 변수들이 전체 효과의 약 70~80%를 차지한다. 반면에 섬유길이의 기여도는 낮다(2%). 잔털을 Digital 측정기로 측정하면, 섬유직경과 결합된 변수들의 기여도는 더 높아지며 전체 효과의 95%가 몇 가지 변수들로 설명되어 진다.

4.2 잔털에 대한 실 변수들의 영향

헤어리니스에 가장 큰 영향을 주는 2가지 실 변수는 선밀도와 꼬임이다. 선밀도의 증가에 따라 잔털은 증가하며 꼬임의 증가에 따라 잔털은 감소하는 것은 일반적이거나, 그 효과의 크기에는 측정방법의 특성에 따라 몇 가지 차이점이 발견될 수 있다.

잔털과 선밀도, 신도, 실 직경사이의 직접적 관계에 대해서는 일반적으로 일치되는 경향이 있다. 그러나 실 직경의 경우는 일치하지 않는 점도 볼 수 있다. 예를 들어 소모사에서는 N_1 과 실 직경(상관계수는 0.6~0.8)사이에는 상당한 상관성이 있으나, 소면사의 경우(상관계수는 0.1~0.5)에는 상관성을 발견하지 못했다. 비록 면사의 경우에는 낮은 상관계수(0.4~0.5)를 얻었는데, 이는 1mm 길이 대신에 3mm길이에 대해서 측정했다는 사실로 설명할 수 있다.

꼬임의 효과는 측정된 잔털변수에 따라 약간 변화한다. 사실, 실 꼬임의 증가에 따라 어떤 잔털 변수 특히, N_2 (결국 N_f)는 감소하는 경향이 있으나, 꼬임은 N_1 에는 적은 영향을 미친다. 면사의 경우 연계수의 범위가 75~110(metric count와 관련된 계산)일 때 잔털은 처음에는 크게 감소되나 그 다음부터는 증가한다. 40mm 레이온섬유의 10.0den(11.1 dtex)로 방적된

실에서는 연계수가 80 140 사이에서 잔털의 지속적인 감소가 관찰되어진다. 이 때 계산된 잔털 길이는 3mm이다.

Shirley 시험기에서는 모헤어와 소모사의 경우, 중 상관계수에 대한 실 선밀도의 기여도가 9 13%이며, 연계수의 기여도는 크게 변화하나, 일반적으로 15 20% 보다 높지는 않다. Digital 측정기를 사용했을 때에는 실 선밀도에 대한 변수 $\bar{r}_m$ $\bar{V}$ 의 효과는 모헤어의 경우는 14%, 모의 경우는 95%이다. 변수 $\bar{r}_m$ $\bar{L}$ 을 사용했을 때는, 선밀도의 기여도는 모헤어와 소모사 둘 다에 매우 약하며, 꼬임의 영향 또한 매우 약하다. 이것은 측정기법이 이 문제에 중요한 역할을 하는 것으로 볼 수 있다.

4.3 혼방사의 잔털

레이온 스테이플을 아세테이트, 나일론, Perlon, Terylene, Orlon, Acrilan과 같은 섬유들과 혼방했을 때 구성요소의 분리 시험(혼방에서의 섬도의 크기를 고려하였고, 모든 실은 50/50혼방이며, 섬유길이는 대략 동일)에서 좀 더 굵은 섬유가 실 표면으로 이동하려는 경향이 있으며, 특히 길이가 더 길 때 표면 잔털이 증가된다. 비슷한 방법으로, 레이온 섬유를 좀 더 굵은 섬유와 혼방할 때 실 잔털의 증가가 관찰된다. 다른 섬유의 특성이 이 메카니즘에 영향을 미치므로 폴리에스테르와 셀룰로오스 아세테이트는 섬유 표면으로 이동하려는 경향이 더 크다.

섬유 섬도가 일정하게 유지되고 혼방섬유의 길이를 변화시키면, 긴 섬유는 실의 코어로 짧은 섬유는 표면으로 이동하려는 경향이 있다. Barella는 방모 시스템으로 毛와Perlon(Nylon 6), 레이온과 면을 다른 혼용률로 방직한 실을 연구하여, 모가 섬유표면으로 이동하려는 경향을 관찰했으며 혼방시 섬유의 비율이 헤어리니스에 큰 영향을 주며 반면에 면은 실 코어로 집중되려는 경향이 있다.

한 가지 원료로 이루어진 실은 혼방사보다 잔털이 적다. 두 종류 면의

혼섬으로 방적된 실에서의 헤어리니스는 기대된 것보다 높다.

면과 비스코스를 혼방했을 때, 방적사의 헤어리니스는 기대된 것보다 상당히 높다. 이것은 면 섬유가 표면으로 이동하기 때문이다. 섬유가 길고 균일하기 때문에 비스코스 방적사는 헤어리니스가 적어야 하나, 실제로는 헤어리니스가 기대된 것보다 크다. 이것은 섬유 포함성이 면의 포함성보다 작고 길이가 더 길기 때문이다.

면, 폴리에스터, 면/폴리에스터(50/50) 방적사의 3가지 선밀도와 3가지 연계수에 대한 헤어리니스 실험에서는 면사가 폴리에스테르 방적사보다 헤어리니스가 많으며, 혼방사가 중간 정도인 것으로 관찰되었다. 또한, 헤어리니스에 대한 선밀도와 꼬임의 변화 효과가 광범위하게 확인되었다. 즉, 굵거나 꼬임이 적은 실 또는 이런 효과가 결합된 경우에는 헤어리니스가 많았다.

Terylene/면 혼방사의 잔털을 조사하여, Terylene 폴리에스테르와 면을 50/50으로 혼방한 실이 67/33으로 혼방된 실보다 잔털이 적으며, 연조기에서 혼방된 실과 혼타면에서 혼방된 실 사이에 헤어리니스의 차이는 없다. 혼방사의 헤어리니스는 순면사의 헤어리니스보다 적다.

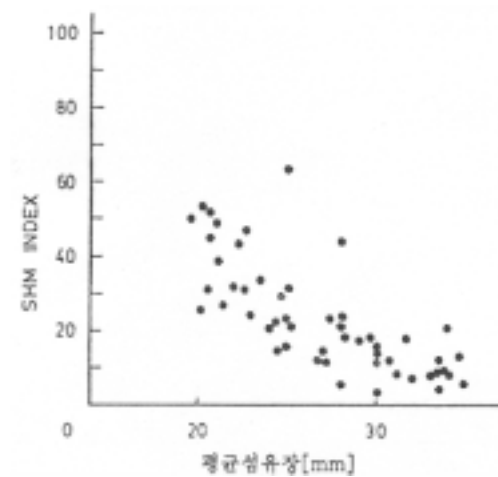
5. 방적 공정이 헤어리니스에 미치는 영향

Hunter는 업랜드 면의 특성과 미니어처 및 공장에서 방적된 로우터 및 링 방적사의 물리적 변수와의 상관성을 연구했으며, 중회귀분석으로 섬유와 사 특성과의 상관관계를 계산하였다. 잔털과의 상관계수는 로우터 방적사의 경우에 0.61, 링 방적사의 경우 0.68로 나타났다. 헤어리니스와 관련된 주요 섬유 변수는 50% 스펠길이, 신도 등이고, 로우터 방적사의 경우에는 섬유장 균제도비, 섬도, 마이크로네어 지수 등이며, 링방적사의 경우에 50% 스펠길이이다.

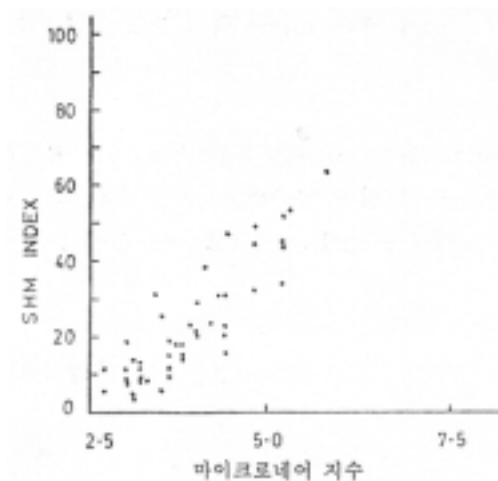
4개의 섬유 변수와 2개의 실 특성을 디지털 잔털지수와 관련시킨 Barella

등에 의해서 수행된 비슷한 연구는 잔털지수의 경우에 링 방적사보다 오픈 엔드 방적사의 상관계수가 더 높았다. 평균길이 지수의 경우에 상관계수는 0.85(로우터)와 0.66(링)이었다. 평균잔털지수의 경우에 상관계수는 0.78(로우터)와 0.51(링)이었다. 링 방적사의 경우에 평균길이 지수에 더욱 밀접하게 관련된 변수는 사 선밀도, 꼬임 및 섬유길이이며, 반면에 로우터 방적사의 경우 가장 큰 영향이 있는 변수는 섬유길이 및 마이크로네어 지수이었다. 평균 잔털 지수에 대해서는 가장 밀접하게 관계된 변수는 링 방적사 경우에는 사 특성, 사 선밀도, 섬유길이이었고, 오픈엔드 방적사 경우에는 마이크로네어 지수이었다.

일반적으로 기계적인 한계로 인하여 실에서 일정수준의 헤어리니스는 피할 수 없다. 따라서, 방적업자는 적절한 원료 선택이 헤어리니스에 미치는 섬유 물성의 영향을 파악하는데 관심이 있다. 어떤 논문에서는 일부 요인(섬유 섬도, 단섬유 함유율)에 대해서 반대되는 경향이 발표되었으나, 헤어리니스에 대한 다른 요인(균제도비, 섬유품질지수(FQI))은 보고되지 않았다. 섬유 특성 중 섬도가 헤어리니스에 가장 큰 영향을 주며 다음은 섬유장이었으나, 성숙도는 헤어리니스에 별 영향이 없었다. 섬도, 길이, 장섬유율은 혼합되어 헤어리니스 형성에 상당히 영향을 미친다. 결과 중 흥미있는 것은 헤어리니스와 장섬유 함유율은 통계적으로 유의하였으나 단섬유 함유율과 중섬유 함유율은 유의하지 않았다. 길이 분포는 헤어리니스와의 상관성이 떨어진다. FQI로 표현되는 혼합된 섬유특성은 헤어리니스의 예측에 별로 도움이 되지 않았다(그림 5-1, 5-2 참조).



<그림 5-1> Shirley 헤어리니스 시험기의 헤어리니스 지수(SHM 지수)와 평균 섬유장간의 관계



<그림 5-2> Shirley 헤어리니스 시험기의 헤어리니스 지수(SHM 지수)와 마이크로네어 지수간의 관계

텍사스 공과대학에서 발간된 몇 가지 논문은 3가지 조건(일반적인 조건, 높은 상대습도 및 높은 상대습도에 과도한 스프레이)하에서 점착성이 있는 원면의 처리에 대한 매우 흥미있는 연구를 다루고 있다. Shirley 시험기로 검출된 헤어리니스는 각각 1,085, 1,181, 1,219(잔털수/100yd)이었다. 과도한

스프레이의 사용은 실의 헤어리니스를 다소 증가시키는 경향이 있다.

5.1 링 방적

5.1.1 전방(前紡)공정

소면 및 정소면 링 방적사에 대한 시험에서 정소면사가 헤어리니스가 적게 나타났으나, 싱글 소면기나 텐덤 소면기를 사용한 실의 헤어리니스는 어떤 경향을 나타내지 않았다. 한 로트에서는 싱글 소면 방적사가 잔털이 더 많았고, 다른 2개의 로트에서는 텐덤 소면 방적사가 헤어리니스가 더 많았다.

헤어리니스에 대한 실 방적 공정의 영향은 대부분의 연구원에 의해 광범위하게 연구되어 왔다. 그들의 연구결과를 간략하게 <표 5-1>에 정리하였다.

코우밍작용은 헤어리니스의 중요 요소인 단섬유의 비율을 감소시키기 때문에 정소면사는 잔털이 적은 실이 된다. 노일을 5% 추출한 정소면사와 소면사간에는 명확한 차이가 나타난다. 추출된 노일의 비율이 증가함에 따라 헤어리니스는 점진적으로 서서히 감소한다.

3mm이상 긴 잔털만을 계산했을 때는 일반적으로 정소면사가 소면사보다 잔털이 많은 경향이 있다.

연조 패시지수는 섬유 평행도를 증가시킴으로써 후크수가 감소되므로 당연히 잔털이 감소한다. 카드 슬라이버를 캔에 담긴 역순으로 슬라이버를 푸는 것도 연조기 패시지수의 증가와 동일하게 잔털이 감소된다.

연조에서의 섬유 제어와 드래프팅 시스템은 헤어리니스에 영향을 미친다.

조사의 흠어진 정도는 정방기의 드래프팅 기구를 통과하는 동안 감소하는 경향이 있어, 헤어리니스에 영향을 주는 가장자리 섬유의 수를 감소시킨다. 조사 꼬임의 증가는 결국 헤어리니스의 감소를 의미한다.

<표 5-1> 링방적공정별 헤어리니스에 미치는 결과 요약

공정	요인	헤어리니스에 미치는 영향
연조	패시지수	패시지수가 많을수록 헤어리니스가 적다
	연조슬라이버를 정방기에 역순으로 공급	· 역순으로 공급하면 헤어리니스가 감소한다 · 연조기로부터 직접 방적은 헤어리니스가 더 커진다
조방	조사꼬임의 영향	꼬임이 많아질수록 헤어리니스가 적어진다.
정소면	코우밍의 영향	· 정소면사는 소면사보다 잔털이 적다 · 노일량이 많아질수록 헤어리니스가 적다 · 단섬유의 비율이 커질수록 헤어리니스가 커진다 · 정소면사는 소면사보다 3mm이상 돌출 섬유단이 많다
정방	조사밀도의 영향	조사밀도가 증가하면 헤어리니스가 증가한다(정방에서 동일 변수의 경우)
	더블 로빙의 영향	더블 로빙은 헤어리니스가 더 많다
	드래프팅의 영향	· 드래프트비가 높을수록 헤어리니스가 더 많다 · 더블 에이프런 드래프팅 시스템은 로울러 시스템보다 헤어리니스가 적다. · 펜듈럼 압 시스템은 O-M수퍼 드래프트 시스템보다 잔털이 더 많다
	섬유 제어의 영향	드래프팅중에 콘덴서에 의한 섬유제어가 클수록 헤어리니스는 감소한다
	메인 드래프트 영역에 있어서 콘덴서	· 콘덴서의 사용은 헤어리니스를 감소시킨다 · 콘덴서가 딜리버리 로울러전에 위치한다면 헤어리니스는 현저히 감소한다
	스핀들 속도의 영향	· 스핀들 속도가 빨라질수록 헤어리니스는 증가한다 · 정방 장력이 증가한다면 스핀들 속도가 증가함으로써 헤어리니스는 감소한다
	스핀들 편심의 영향	스핀들 편심은 헤어리니스를 증가시킨다
	실가이드 편심의 영향	실 가이드의 편심은 헤어리니스를 증가시킨다
	세퍼레이터의 영향	세퍼레이터는 헤어리니스를 크게 증가시킨다
	벌룬제어 링의 영향	벌룬제어링은 헤어리니스를 감소시킨다
	트래블러 무게의 영향	트래블러 무게가 증가하면 헤어리니스는 감소한다
	트래블러 형태의 영향	평면 및 라운드형 트래블러는 타원 및 안티 웨지형보다 헤어리니스를 감소시킨다
	트래블러 마모의 영향	마모가 많아지면 헤어리니스가 증가한다
	링직경의 영향	링직경이 커지면 헤어리니스가 감소한다
	콤팩트 빌딩의 영향	처음에는 헤어리니스가 감소하나 점차 증가한다 빌딩모션의 영향으로 헤어리니스는 주기적으로 변한다

5.1.2 정방 공정

링 정방기에 공급되는 조사절(切) 수만큼이나 조사 선밀도도 헤어리니스에 영향을 미친다. 조사 선밀도가 증가함에 따라 헤어리니스는 증가하고, 조사 2가닥을 함께 방적한 것이 1가닥의 조사로 방적한 것보다 잔털이 많다. 이것은 정해진 변수를 얻기 위해 더 높은 드래프트가 필요할 뿐만 아니라 가장자리 섬유의 수가 증가하기 때문이다. 그러나, 이 차이점은 크게 중요하지 않다. 조사 2가닥을 공급하기 위하여 더블링과 공정의 수를 증가시켜 생산하는 것이 굵은 조사 1가닥으로부터 생산하는 것보다 잔털이 더 적은 실을 생산하는 경향이 있다.

더블 에이프런 시스템에 의한 드래프팅 시스템이 로울러 형태에 의한 시스템보다 잔털이 많은 실이 생산된다. Pillay 등은 여러 시스템(더블 에이프런, 펜듈럼 압, OM 수퍼, 하이 드래프트 등)을 비교하여 잔털의 차이점을 발견하였다. 연조 슬라이버를 직접 방적하는 시스템은 헤어리니스가 낮았으며, 펜듈럼 압 시스템에서는 높았다. 이것은 콘덴서를 사용하기 때문에 드래프팅 부분에서 섬유 제어가 더 좋으며, 가장자리 섬유를 적게 하고 더 조밀해지기 때문이다. 최적 꼬임의 경우에 하이 드래프트에서 차이가 더 컸다. 실린더 각(角)때문에 OMS 시스템은 좀더 조밀한 실을 생산하며 헤어리니스의 발생을 억제한다.

콘덴서의 영향은 Pillay 등에 의해 연구되어 왔다. 콘덴서의 사용으로 섬유 제어가 좋아져 가장자리 섬유의 발생을 막고, 헤어리니스가 될 만한 것을 제거한다. 드래프팅 구역에서 콘덴서에 의해 만들어진 실은, 특히 이것이 메인 드래프트 구역에 위치한다면 콘덴서를 사용하지 않고 방적된 실보다 잔털이 적다. 브레이크 드래프트 구역에 콘덴서의 삽입은 헤어리니스 감소에 매우 영향이 적었다. 콘덴서를 정상적으로 갖추지 못한 드래프팅 시스템에 부착된 콘덴서는 헤어리니스의 효과를 혼란시키는 경향이 있다.

드래프트비도 헤어리니스에 영향을 미친다. CRITER 등은 드래프트비가 증가되었을 때 헤어리니스가 증가함을 나타내었다. 압력으로 섬유 제어에 영향을 주는 하이 드래프트의 사용에서는 조사 두께의 증가 때문에 부분적으로 헤어리니스의 원인이 되는 가장자리 섬유수의 증가가 관찰된다. 이 경향은 드래프트비가 30에 이르기까지 더 커진다.

스핀들의 속도가 증가함에 따라 헤어리니스가 증가하는 것이 일반적으로 관찰된다. 이는 트래블러의 무게나 사 장력을 일정하게 유지해도 나타나며, 스핀들 속도에 따른 헤어리니스의 증가는 원심력의 복합 작용 때문이다. 원심력은 섬유단을 밖으로 나오게 하고, 공기 저항을 더 크게 하고, 트래블러에 대한 실 마찰력을 더 크게 하며, 속도 증가에 따라서 세퍼레이터에 의한 작용이 더 커지게 하는 경향이 있다.

방출 장력은 헤어리니스에 상당한 영향을 미친다. 장력이 작을수록 헤어리니스는 더 커진다.

헤어리니스에 영향을 미치는 다른 중요한 요소는 스핀들의 편심률이다. 스핀들 편심률은 헤어리니스를 증가시킨다. 편심률이 낮으면 헤어리니스에 상대적으로 작은 영향을 미친다. 그러나 0.5mm이상에서부터 헤어리니스는 매우 급격히 증가한다. 헤어리니스가 얼마나 크게 편심률에 의존하느냐는 링과 보빈의 직경, 트래블러의 모양, 사 장력, 벌룬 등에 따라서도 크게 영향 받는다. 게다가 헤어리니스는 트래블러의 진동에 의해서도 크게 증가함이 관찰되었으며, 사 가이드의 편심률에 따라서도 증가한다.

헤어리니스에 영향을 주는 다른 중요한 요소는 트래블러의 형태, 무게, 조건이다. 그 결과들은 사용된 측정 방법의 차이점 때문에 항상 일치하지는 않는다.

일정한 방적 속도에서 헤어리니스에 대한 트래블러 무게의 효과에 대해서는 트래블러가 가벼울수록 실은 잔털이 더 많다(비록 증가는 다소 작음)는 것은 거의 일치한다. 이는 방적시 장력과 꼬임의 분포 조합에

기인된다. 몇몇 연구원은 너무 가볍거나, 무거운 트래블러는 헤어리니스를 증가시킨다는 것을 발견했다.

플랫 및 라운드 트래블러는 헤어리니스에 영향을 주지 않는다. 그러나 타원형의 트래블러와 안티 웨지 링에서는, 비록 이점에 대해서 일반적인 일치점은 없지만 잔털의 정도가 커지는 것이 관찰되었다. 실제로, 트래블러의 무게는 일반적으로 트래블러의 형태보다 헤어리니스에 더 큰 영향을 미친다. 그럼에도 불구하고, 헤어리니스의 과도한 변동과 높은 수준을 피하기 위해서는 방적시 만족스런 사절율과 조화되며, 가능한 무거운 트래블러를 사용하는 것이 좋다. 정해진 변수에 대해 트래블러의 적합한 무게는 다른 타입보다 몇 가지 트래블러 타입에서는 훨씬 더 무거울지도 모른다.

트래블러 마모는 실에 대한 마찰력의 증가 때문에 잔털에 확실히 영향을 미친다. 트래블러 운전 시간에 따라서 잔털의 점진적 증가가 증명되었다.

실 잔털에 대한 링 크기의 영향은 Walton에 의해 조사되었다. 2 in(5.08 cm)링으로 방적된 실은 잔털이 적으며, 1½ in(3.81 cm)링으로 방적된 실보다 보빈 전체에서의 변동이 적게 나타났다.

별론 세퍼레이터는 헤어리니스에 영향을 미친다. 헤어리니스가 증가하는 것은 실이 일정하게 세퍼레이터를 타격하기 때문이며, 세퍼레이터는 실로부터 섬유를 잡아채는 경향이 있다. 이 효과는 실이 보빈의 밑 부분에 감길 때 더 크게 되는데, 이 때 세퍼레이터를 타격하는 힘이 보빈의 상부층에 방적될 때보다 더 강하기 때문이다. 이것은 헤어리니스가 일정하지 않고 링레일의 위치에 따라 계속적으로 변화함을 나타낸다. 이 효과는 속도의 증가가 세퍼레이터에 대한 사 마찰력을 크게 증가시키기 때문에, 고속으로 방적할 때 이 효과는 더 크게 될 것이다. 또한 별론 조절 링도 세퍼레이터에 대한 실 마찰을 감소시키기 때문에 헤어리니스에 영향을 미친다. 세퍼레이터의 표면이 충분히 부드럽지 못하면 헤어리니스

증가의 원인이 되기 때문에 헤어리니스에 영향을 미칠 수 있다.

일반적으로 콧의 바깥 층이 콧의 안 층보다 헤어리니스가 많이 나타난다. 왜냐하면 바깥 층은 세퍼레이트 플레이트의 영향에도 불구하고 다른 실에 의해서 덮이지 못하기 때문에 원심력과 공기 마찰에 의해서 잔털이 더 많아진다. 그러나 이 경향의 반대 경우도 몇 가지 관찰되어 졌다. 세퍼레이트 플레이트와 접촉하지 않고 자유롭게 움직이는 별론의 경우, 헤어리니스는 콧이 감기기 시작할 때는 감소하나 나중에는 다시 증가한다.

방적중 대기중의 상대습도의 영향은 CRITER 등에 의한 연구에 의하면 별로 중요하지않다. 46 86%의 상대습도 범위 시험 및 25 80%의 상대습도 범위 시험의 조사에서는 헤어리니스가 작게 변동하였지만, 건조한 대기 중에서 방적된 실은 잔털이 더 많았다. 보빈 내에서의 잔털 변동은 세퍼레이터와 링 레일 운동의 복합된 효과 때문이라고 이미 주장되어 왔다. 이와 반대로 보빈간의 확실한 차이가 존재한다는 것은 이미 증명되었으며, 이는 특히 정방기에서 헤어리니스에 영향을 주는 수많은 인자로서 설명될 수 있다. 이러한 변동은 옷에서 색의 농도 또는 다른 외관 변동을 일으키므로 중요하다. 보빈내의 변동은 무거운 트레이블러만을 사용하거나, 보통 무게의 트레이블러와 함께 별론 조절 링을 사용하여 크게 감소시킬 수 있다. 두 경우 모두 실에서 세퍼레이터에 대한 마찰을 방지한다.

꼬임이 가해지는 지점 주위에 공기 압력을 증가시켜서 먼지를 감소시키면 헤어리니스의 감소는 크다. 헤어리니스는 압축시간(사 형성 속도와 관계됨)과 관련되어 있는 것으로 나타났다. 압축 컬럼(column)을 프런트 로울러와 래핏사이에 깔때기 모양으로 삽입하고, 꼬임이 가해지고 있는 실을 이 컬럼으로 통과시킴으로써 실에서의 헤어리니스가 상당히 감소되었다. 따라서 헤어리니스는 어떤 특정 압력값에서는 최소였으나, 낮거나 높은 압력에서는 증가하였다.

100% 면사에 대한 링 정방에서 개별 모터구동 링스핀들(IMDS)은 스핀들 속도의 증가에 따라 잔털이 크게 증가가 예상되기 때문에 동일한 원료로 탄젠셜벨트구동 정방기와 IMDS 정방기로 각각 10,000과 16,000r/min의 속도로 방적하였다. IMDS 방적기는 비교를 위해서 24,000r/min으로 작동시켰다. 방적사를 비교해보면 2, 4 및 6mm 거리에서의 잔털수는 재래식 정방기에서는 스핀들 속도의 증가에 따라 증가하였으나, IMDS 구동 정방기에서는 24,000r/min 속도에서만 증가하였으며 헤어리니스의 전체적인 수준도 상당히 낮게 유지되었다. 이러한 결과는 IMDS 정방기의 진동이 적기때문이다. 그러나 트래블러 형태와 같은 다른 요인들도 헤어리니스에 상당한 영향을 주는 것도 사실이다.

12,800r/min으로 운전하는 구형 링방적기(링 직경 45mm)로 생산된 초장섬유 정소면사(미면 사용)와 22,000r/min까지 운전되는 신형 정방기(링 직경 36mm)로 방적된 실을 비교하였다. 우스터 H값으로 나타나는 실의 헤어리니스는 실제로 변화되지 않았다.

폴리에스테르 마이크로 파이버 스테이플 방적사는 일반적인 폴리에스테르 섬유 방적사보다 긴 잔털이 적었다.

실의 헤어리니스, 단면적, 단단한 섬유속을 형성하는 폴리에스테르 섬유의 물성 등은 직물에도 영향을 미친다.

면사와 폴리에스테르/면 혼방사에 대한 혼방 성분, 꼬임, 트래블러 무게의 영향을 관찰하여, 모든 경우에 연계수와 트래블러 무게의 증가는 헤어리니스를 감소시켰다. 폴리노직/면 및 비스코스/면 혼방사에서 헤어리니스는 사용된 면 섬유의 량에 비례하였다. 폴리에스테르/면 혼방에서 사용된 면이 감소할 때 헤어리니스는 증가하였다. 합섬섬유 혼방은 긴 돌출 잔털을 가진다.

Nec 30 면사, Nec 50 폴리에스테르/면 혼방사, Nec 50 폴리에스테르/비스코스 혼방사, Nec 40 폴리에스테르/면 혼방사의

헤어리니스에서는 루프의 수는 돌출된 섬유단의 수보다 훨씬 많으며, 단섬유는 실에 잔털을 더 많게 만든다.

폴리에스테르 혼방사에서는 링과 트래블러의 부적절한 조합에 의해 발생하는 트래블러의 진동 및 링정방에서의 높은 습도는 과도한 헤어리니스의 원인임을 발견하였다. 보빈간 헤어리니스 변동은 작업시 발생된 스핀들 센터링이 맞지 않기 때문이며, 그 해결방법은 BTRA 링 클리너의 사용과 링에 윤활제 주입, 새로운 링의 사용, 새로운 트래블러의 사용, 스핀들 센터링에 주의를 기울여야 한다. 헤어리니스 감소는 67%까지 보고되었다.

폴리에스테르/면 혼방사에서의 헤어리니스에 영향을 미치는 중요한 원인은 섬유장, 섬도, 링의 사용시간, 트래블러 사용시간 등이다. 따라서 트래블러 무게의 최적화와 같은 전략이 필요하다.

링 정방기에서 실의 헤어리니스와 관련된 다른 요인은 고속 소면기와 텐덤 소면기의 영향, 방적중 섬유거동(크리핑, 섬유간의 마찰, 섬유와 금속간의 마찰)에 있어서 변동을 나타내는 방적전의 염색 아크릴 섬유의 영향 등이며, 이것은 결국 유연제와 방적중에 부가되는 다른 제품과 상호 작용하여 실의 벌키성과 헤어리니스에 영향을 미친다.

5.1.3 권사 공정

여러 가지 실(소면사, 정소면사, 폴리에스테르/면 혼방사, 비스코스 방적사)에서 권취작업은 일부 경우에 헤어리니스를 55%까지 증가시킬 수 있다.

권취전에 헤어리니스가 낮은 실은 마찰에 의해서 헤어리니스가 2~3배 증가한다. 헤어리니스가 높은 실도 권취로 인해 실제로 헤어리니스가 증가된다. 헤어리니스가 높은 실로 생산된 직물은 품질이 상당히 나쁘다.

헤어리니스와 이미 연구되어진 실에 대한 마찰 작용의 관계에서 실 1cm당 잔털수는 마찰 사이클수 30까지는 증가하였으나 그 후에는 약간

감소하였다. 꼬임이 다른 실에 대한 비슷한 실험에서는 마찰에 의해 생성되는 헤어리니스는 꼬임이 증가할수록 감소하였다.

헤어리니스 이론의 연구들은 돌출 섬유단에서 헤어리니스는 대부분 섬유 뿌리(tail)로 생성되는 것을 나타내고 있다. 섬유 뿌리는 해사시 섬유 머리(head)가 되며, 실이 받게되는 마찰이 잔털 길이를 증가시키는 경향이 있음을 나타낸다. 따라서 실은 권취 후에 잔털이 많아지는 것이 논리적이며, 이 사실은 CRITER에 의해 증명되었다. 그의 실험은 권취되는 실의 초기에 헤어리니스가 작을수록 헤어리니스의 증가는 더욱 커졌다. 권취 전의 헤어리니스 값이 다른 여러 가지 실은 권취 후에 상당히 비슷한 값을 가졌다. 헤어리니스의 정도가 높은 실만이 권취 후에도 거의 변화되지 않은 채 유지되었다.

Barella 등은 링 및 오픈엔드 정방기에서 면 및 비스코스 방적사의 헤어리니스에 대한 반복 권취의 효과를 연구하였으며, 면과 비스코스 실 양쪽 다 권취의 수가 증가할수록 헤어리니스가 증가함을 발견하였다. 일반적으로 1번째 권취 후에 헤어리니스의 증가가 크며, 그 후 일정해지는 경향이 있다. 링방적 면사의 경우, 헤어리니스는 대략 3번째 권취 후에 안정되나, 오픈엔드 방적사에서는 4번째 권취 후에 안정되었다. 권취하지 않은 실과 5회 권취한 실과의 차이는 오픈엔드 방적사보다 링방적사가 크다. 그러나 5회 권취 후의 오픈엔드 방적사의 헤어리니스는 권취하지 않은 링방적사의 헤어리니스보다 여전히 낮다.

헤어리니스에 대한 반복 재권취의 영향은 실제로는 (a) 오픈엔드 방적사보다 링방적사가, (b) 비스코스사보다 면사의 경우가 큰 것으로 생각된다.

권취속도는 헤어리니스에 영향을 미치나, 헤어리니스의 가장 중요한 증가는 권취 자체 운동에 의해서 발생되었다. 짧은 잔털수(3~5mm)는 긴 잔털수보다 더 빠르게 증가하였다.

사 꼬임이 증가할수록 헤어리니스는 감소하며, 파라핀 왁스 처리는 폴리에스테르사에서는 크게 영향을 미치지 않으나 아크릴사에는 현저하게 헤어리니스가 증가하였다. 자동 권사의 경우에도 위에 언급된 경향과 약간 유사하다. 파라핀 왁스 처리 후의 염색과 표백은 실의 잔털을 적게 한다.

5.2 오픈엔드 방적

오픈엔드 방적사의 헤어리니스는 많은 연구원들에 의해 연구되어 왔다. Barella 등은 링 방적사와 오픈엔드 방적사간에는 두 시스템의 구조적 차이로 인하여 오픈엔드 방적사가 동일한 원료와 동일한 선밀도의 면으로 방적된 링 방적사보다 잔털이 적다고 하였다. 오픈엔드 방적사는 정소면사보다 잔털이 적다.

고전적인 광학적 방법을 사용한 Barella와 Vigo의 연구에서는 돌출 섬유수는 링 방적사보다 오픈엔드 방적사가 적으나, 루프의 수는 링 방적사보다 오픈엔드 방적사가 많았다. 이것은 두 형태의 실의 구조적 차이에서 나타나는 것으로 예상할 수 있다. 돌출섬유의 평균길이는 링 방적사보다 오픈 엔드 방적사의 경우가 작으며, 또한 돌출 섬유의 수도 작다.

한편으로 돌출 섬유의 분포에 대한 연구는 매우 짧은 돌출 섬유와 긴 돌출 섬유의 비율에 가장 큰 차이가 있음을 나타낸다. 전자는 링 방적사보다 오픈엔드 방적사에서 매우 크게 나타난다(그림 2-1 참조). 긴 돌출 섬유의 경우 빈도 수는 링 방적사가 높았다. 이러한 2가지 형태에서 헤어리니스의 차이는 방적공정을 고려하여 설명될 수 있다. 즉, 링 정방기에서는 섬유의 꼬리단(tailing ends)이 방적시 발생하는 섬유의 이주때문에 실의 원주 밖으로 나오려고 할 때 헤어리니스가 야기되며, 오픈엔드 방적사에서는 헤어리니스에 관한 한 섬유들이 로우터안에서 더 잘 제어된다. 이런 이유로 오픈엔드 방적사는 짧은 잔털이 긴 잔털보다

우세하다.

Mohammed 등은 다른 변수, 꼬임수, 혼방으로 링 방적사 및 오픈엔드 방적사(BD 200 기계로 생산된)의 헤어리니스와 직경을 비교하였다. 직경과 헤어리니스는 자유로운 상태의 실을 현미경으로 연구하여, ‘헤어리니스 비율’을 실의 최대직경과 몸체직경의 비로서 정립시켰다.

오픈엔드 방적사가 더 벌키(대략 10%)하나 링 방적사보다는 잔털이 적다. 이것은 두 시스템에서 발생하는 섬유 이주의 다른 메커니즘, 다양한 섬유의 영향(길이, 섬도, 크립프, 마찰계수, 단면적 형태 등)때문이라고 생각되며, 다른 방적변수들이 논의되었다. 실의 현미경 검사로 링 방적사에서는 실의 최대 직경이 잔털 한 올의 돌출된 정도에 의해 결정되어지나, 오픈엔드 방적사에서는 때때로 루프의 돌출된 정도에 의해 결정되어지는 것을 알 수 있었다.

링 방적사보다 오픈엔드 방적사에서 헤어리니스는 불규칙하게 분포한다. 이것은 보빈간 및 보빈내에서의 변동계수는 링 방적사보다 오픈엔드 방적사가 큰 것을 나타낸다. 분석결과는 링 방적사와 오픈엔드 방적사 모두에서 유의 수준 1%에서 보빈간의 차이가 존재함을 나타내나, 보빈내에서의 차이는 일반적으로 유의하지 않다. 보빈간의 변동은 링 방적사와 오픈엔드 방적사 모두 보빈내의 변동보다 크다.

전방(前紡)공정의 특성은 실의 헤어리니스에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 소면공정의 오프닝 로울러속도는 헤어리니스에 뚜렷한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 핀 오프닝 로울러는 와이어 로울러보다 잔털이 적은 실을 생산하는 경향이 있다.

각각 다른 연조기종의 조합과 다른 오픈엔드 정방기로부터 얻어진 헤어리니스에 관한 자료로부터 모든 오픈엔드 정방기에 대해서 최소 잔털을 일관성있게 생산하는 연조기 조합을 구하지는 못했다. 따라서 잔털수는 방적기계 자체에 의존한다는 결론을 내렸다. 예를 들어 오프닝

로울러속도를 빠르게 하면, 헤어리니스가 적게 생산되는 것을 발견했으나, 이는 오프닝 로울러 표면속도와는 관계가 없었다. 주목할 추가적인 사항은 섬유와 로우터의 속도처럼 로우터 직경도 잔털수에 영향을 미칠 수 있다. 헤어리니스에 있어서 공급 슬라이버의 선밀도의 영향은 매우 적다.

로우터 방적사의 경우 정소면사의 헤어리니스와 소면사의 헤어리니스간의 차이는 없다.

로우터에 대한 슬라이버 공급 시스템은 헤어리니스에 영향을 줄 수 있다. 더블 에이프런 장치의 공급 시스템은 오프닝 로울러 시스템보다 잔털이 적은 실을 생산하는 경향이 있다. 이는 전자의 섬유배향도가 후자보다 좋게 유지되기 때문이다.

오픈엔드 아크릴 방적사의 헤어리니스에 대한 로우터 기하학과 다른 방적 변수들의 영향을 2가지 아크릴 섬유와 3가지 로우터 형태를 고려하여 BD200 로우터기로 방적하였다. 이 결과 헤어리니스에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 로우터 부분에 대한 실 마찰량이며, 로우터 자체에서 발생하는 공기 감압량이었다.

헤어리니스에 대한 로우터 직경의 영향은, 직경이 큰 로우터로 방적된 실이 실 몸체로부터 돌출된 부유섬유를 적게 가지는 것을 발견했다.

Sussen(45와 55mm 로우터)기로 방적된 면사에서는 로우터 직경이 커짐에 따라 헤어리니스가 증가하였다. 평균 헤어리니스와 평균 길이가 주로 영향을 미치고, 최대 헤어리니스 및 길이는 상대적으로 적게 영향을 미쳤다.

로우터 속도가 증가할 때 헤어리니스 평균 지수는 감소하나 최대 길이 지수는 증가한다. 다른 2가지 지수(최대 헤어리니스와 평균 길이)는 거의 영향을 받지 않는다. Shirley 측정기로 시험되었을 때 속도에 따른 헤어리니스 증가가 발견되었다.

Digital 헤어리니스 시험기로 측정된 면 오픈엔드 방적사의

헤어리니스(평균, 최대 잔털지수와 평균, 최대 잔털길이 지수), 라우터 직경과 속도, 연계수 등이었다. 이 결과 헤어리니스는 1%의 유의수준에서 주로 라우터직경에 의해 영향을 받았다. 그 다음으로 평균 길이 지수(5% 수준에서 라우터 직경의 2차 효과)와 최대 길이 지수(5% 수준에서 라우터 속도에 선형 효과)순 이었다. 적용된 꼬임 수준이 최대강도 꼬임점 근처이기 때문에 꼬임의 효과는 약했으며, 이 영역에서는 헤어리니스 변수에 영향을 미치지 않았다. 몇 가지 상호작용이 라우터 직경과 관련이 높은 것이 발견되었으나 지엽적이었다.

Barella 등은 면, 혼방, 합섬섬유로부터 방적된 실 특성에 대한, BD200 오픈엔드 정방기의 라우터에 실제로 축적되는 불순물(트래시, 먼지 등)의 영향을 연구하였다. 사질의 증가는 제외하고, 마모저항, 인장강도, 반복 신장 저항 등과 같은 변수들의 수치는 감소하였으며, 실 불균제도와 헤어리니스는 증가함이 관찰되었다. 따라서 정방기에 라우터의 지속적인 청소를 위한 장치를 부착하거나(Rotospin), 운전자에 의한 주기적인 청소는 결국 사품질 저하와 직물 결점의 원인이 되는 불순물의 축적에 의한 결점을 피하기 쉽다. 이 현상은 일반적으로 섬유의 정섬도에 의존하며 합섬섬유 방적보다 면 방적에서 자주 보여진다. 예를 들어, 일부 면사에서는 보빈의 어떤 부분에서의 헤어리니스는 다른 부분보다 헤어리니스가 2배이다. 전자는 더러운 라우터의 경우고, 후자는 깨끗한 라우터에 대한 것이다. 비슷한 효과는 면/폴리에스테르 혼방 및 폴리에스테르/폴리노직 혼방시에는 비슷한 경우가 발견되지 않았다.

스피닝 헤드에 부착된 소제장치는 헤어리니스에 약간 영향을 미치는 것 같다.

꼬임은 오픈엔드 방적사의 헤어리니스비를 약간 감소시킨다. 일반적으로는 섬유가 가늘수록 헤어리니스는 증가한다. 오픈엔드 방적사는 헤어리니스비에서 큰 변동을 보인다.

4가지 다른 전방 공정과 2가지 로우터 직경을 사용하여 생산한 98개의 면 로우터 방적사를 연구한 결과, 일정값 이상의 연계수에서는 실의 꼬임이 헤어리니스에 영향을 미쳤다; 평균 헤어리니스와 평균 길이는 영향을 받으나(꼬임이 증가할수록 잔털은 감소함), 최대 지수는 단지 약간 변경되었다.

방출사의 속도변화에서의 꼬임의 변화는 헤어리니스에 영향을 미친다. 왜냐하면, 이것은 섬유 평행화의 개선이 강도를 증가시키고 헤어리니스를 감소시키기 때문이다. Mitova 등은 헤어리니스에 대한 오프닝 로올러와 로우터 속도 및 꼬임의 영향을 연구하여, 꼬임이 증가할 때 헤어리니스가 감소됨을 발견하였다.

실 꼬임의 증가는 로우터 방적사의 헤어리니스를 다소 감소시키며, 또한 링 방적사의 헤어리니스도 감소시킨다. 그러나 변환점은 때때로 헤어리니스가 증가된 후에 도달된다. 도핑 튜브의 표면에 흠이 있거나 너무 거칠면, 헤어리니스는 반대로 영향을 받는 것이 발견되었다. 흠있는 도핑 튜브는 꼬임이 낮은 경우 사용될 수 있으나 실 표면이 거칠어지며, 부드러운 도핑 튜브는 부드럽고, 견고한 실을 생산한다. 여기서 표면이 울퉁불퉁한 도핑 튜브는 잔털이 더 많고, 부드러운 실을 생산한다. 세로 흠이 난 도핑 튜브의 사용은 부드러운 도핑 튜브와 비교하여 헤어리니스를 크게 증가시킨다. 흠이 있는 도핑 튜브는 헤어리니스를 증가시키고, 때때로 링 방적사보다 잔털이 많은 실을 생산한다.

Nield 등은 면 로우터 방적사의 헤어리니스에 대한 상대습도의 영향을 연구하였다. 헤어리니스는 Shirley 시험기로 측정하였다. 연구원들이 제안된 선형회귀식(1% 유의수준에서 상관계수가 -0.97임)에서 보면 방적중 상대습도의 영향은 매우 중요하며, 상대습도가 높을수록 좋다.

다른 로우터 정방기는 동일한 원료로부터 크게 다른 특성(특히 헤어리니스)을 갖는 실을 생산할 수 있다. 게다가, 혼섬시 다른 혼율을

갖는 섬유유 변수와 특성들은 헤어리니스에 영향을 미칠 수 있다.

헤어리니스는 선밀도가 증가할수록 증가하는 일반적인 경향이 있었다. 그러나 실제적으로는 이러한 경향은 원료와 공정조건의 차이에 의해서도 가끔 위장된다. 선밀도에 의한 헤어리니스 증가는 링 방적사보다 오픈엔드 방적사가 덜 하다. 면/폴리에스테르 혼방 효과에 대한 헤어리니스 평가에서는 여러 폴리에스테르 종류(예, 낮은 필링성, 고 벌크성, 정상)에 따라 다른 경향을 보인다. 그러나 일반적으로 100% 면 링 방적사는 100% 폴리에스테르사(낮은 필링성 폴리에스테르사를 제외)보다 더 잔털이 많다. 반면에, 모든 폴리에스테르 로우터 방적사는 모든 면 로우터 방적사보다 약간 더 잔털이 많다.

5.3 기타 방적

5.3.1 사이로 스판 방적과 더블 로브 방적

면사 특성에 미치는 사이로 스판 공정의 영향이 Sharma 등에 의해서 조사되었다. 사이로 스판 방적 시스템은 실의 강력, 헤어리니스, 마모 저항 및 우스터 균제도를 향상시키기 때문에 소모 방적에서 상업적으로 이용되었다. 기존의 2합연 면재봉사를 사이로 스판 면사와 비교하였다. 사이로 스판 면사는 기존의 2합연 면재봉사보다 변수 변동과 헤어리니스, 마모저항 및 시임 효율(Seam efficiency)이 적었다. 그러나 사이로 스판사의 스날 경향은 기존 사에서 보다 크다.

인자 분석법으로 더블 로브사의 헤어리니스에 미치는 스트랜드 공간, 꼬임 및 스핀들 속도의 영향을 연구하였다. 극단적인 조건하에서 선택된 변수간 상호작용을 연구하기 위해 꼬임 수준과 스핀들 속도의 범위를 넓게 하여 면, 폴리에스테르/면 등의 여러 섬유로 방적하여, 예전의 결과를 확인할 수 있었으며 헤어리니스에 대한 몇가지 새로운 결과를 얻었다. 즉 스트랜드 공간의 증가는 낮은 꼬임 정도와 높은 스핀들 속도를 제외하고는

헤어리니스를 감소시킨다. 꼬임 증가에 따라 헤어리니스가 증가하는 임계 꼬임 영역이 있다. 이 범위 밖에서는 헤어리니스는 꼬임 (스핀들 속도가 12000r/min까지)이 증가할 때 감소하였으나 스핀들 속도가 증가할수록 헤어리니스는 증가하였다. 이 속도 이상에서도 꼬임 정도가 낮다면 동일한 경향을 따르나 꼬임 정도가 높을 때에는 그 경향은 반대가 된다.

사이로 스판사는 싱글 로빙으로 생산된 실 보다 더 강하고, 균제하며, 잔털이 적었다.

5.3.2 코어 방적사

코어 방적사의 헤어리니스는 크게 고려되지는 않았다. 나일론/면 코어 방적사의 물리적 성질을 조사하여 꼬임이 증가할수록 헤어리니스는 감소한다는 결론을 내렸다. 코어사의 헤어리니스는 시이드 섬유의 선밀도가 감소할수록 증가하였으나, 꼬임이 증가할수록 감소하였다.

면/나일론 코어 방적사의 코어의 초하중 조절이 헤어리니스에 미치는 영향을 연구하였다. 모노 필라멘트 나일론 코어와 면 시이드의 코어 방적사는 더블 로브 공급, 필라멘트 배열, 스핀들 속도 및 트레이블러 무게를 고정하고, 필라멘트 코어의 초하중만을 조절한 상태에서 연계수를 변화시키면서 방적하였다. 이들은 연계수 수준이 동일한 조건하에서 제조된 동일한 100% 링 방적사와 비교하였다. 돌출 섬유단과 루프의 형태의 잔털 본질이 상세히 연구되었다. 나일론 코어 방적사는 100% 링 방적사보다 잔털이 더 적었다.

2합면 나일론/면 코어 방적사는 링 방적사보다 더블링 비(doubling ratio)가 낮은 상태에서 최적 꼬임 수준을 갖는다. 방적 꼬임 방향과 반대방향으로 꼬임이 주어진 이와 같은 실은 물리적 성질이 우수하기 때문에 100% 면 링 방적사보다 향상되었다. 다양한 더블링 비를 갖는 2합면사의 4가지 타입을 측정한 결과는 2합면사는 강력, 직경, 외관 및 헤어리니스가

향상되었고, 이와 같은 실은 재봉사 생산에 더욱 적합하였다.

5.4 방적 시스템간 비교

헤어리니스의 전체적인 양은 실 꼬임의 변경이나 섬유섬도와 섬유장(섬유 마이그레이션 인자)을 선택함으로써 조절할 수 있다.

비스코스 섬유의 오픈엔드 방적에서 긴 섬유보다는 38mm 스테이플을 사용한 섬유가 더 좋은 품질의 실이 얻어졌다. 32mm 보다 38mm 스테이플로 방적된 실이 리 강력적, 강도, 실 신도가 더 높다. 직경 45mm인 로우터가 더 좋은 품질의 실을 생산하기 때문에 55mm 직경의 로우터보다 바람직하다. 헤어리니스는 꼬임에 따라 증가하고 연계수가 3.0과 3.5인 두 실간에 사 품질 차이는 크지 않았다.

로우터 형태는 헤어리니스에 큰 영향은 없는 것 같지만, 때로는 사용 노즐 형태와 상호작용한다.

로우터 방적에 정소면 공정을 추가하여 세번수 면사의 제조공정을 최적화하였다. 로우터 정방기로 15와 18tex로 방출된 실에서의 헤어리니스와 강력에 미치는 정소면의 영향이 분석되었다. R1 및 R1/2 등급의 러시아 면으로 연구하여 적은 양의 노일이 제거되어도 실 품질은 향상되었으며, 사절수는 감소하였다.

노일이 8% 이상 제거될 때 헤어리니스는 많아진다. 섬유 및 실 절단강력은 코우밍으로 인하여 크게 증가하였다.

90,000r/min으로 작동하는 Schlafhorst Autocoro 오픈엔드 정방기로 방적된 실은 55,000r/min으로 작동하는 Rieter M1/1 오픈엔드 정방기로 방적된 실보다 다소 잔털이 많았다. 이것은 로우터 속도의 증가는 헤어리니스를 증가시킴을 나타낸다.

텍사스 면으로 기존의 링 정방으로 생산된 정소면사는 소면사보다 헤어리니스가 많았다. Schlafhorst Autocoro 정방기로 소면과 정소면

슬라이버로 생산한 오픈엔드 방적사에서도 동일한 경향을 나타냈다.

아리조나면(피마), 캘리포니아면(SJV), 텍사스면(High plains), 미시시피면(Delta) 등 4종류 면의 시험에서, 피마면이 가장 잔털이 많았고 헤어리니스는 섬유장과 반비례하였다. 실은 Schlafhorst Autocoro SPKP 로우터 정방기로 생산하였다.

면 방적시스템으로 섬유장이 짧은 모섬유 방적을 연구하였다. 면/모(80/20) 혼방사를 링 및 로우터 정방공정으로 방적하였다. 3가지 변수(Nec 16, 22, 24)로 방적되었고 Saco-Lowell SF-3H 링 정방기와 40,000r/min로 작동하는 66mm 로우터를 갖춘 Sussen Spintester를 사용하였다. 혼방은 연조공정 혹은 원료투입시에 하였다. 로우터 정방공정에서는 여러 가지 네이블(Navel) 형태(표면이 매끄러운 것과 홈이 있는 것)가 사용되었다. 혼타면 혼방으로 생산된 실은 다소 강하고 좀더 균일하였으며, 연조 혼방으로 방적된 것보다 헤어리니스가 높은 수준이었다. 로우터 방적사는 링 방적사보다 잔털이 적었으나 홈이 8개인 네이블의 사용은 너무 거칠고 불만족하였다.

Zweigle G 565 헤어리니스 시험기와 Shirley 헤어리니스 시험기로 시험된 214개 면 링 방적사와 로우터 방적사의 헤어리니스에 대한 상관성을 조사하여, 전자는 후자로 얻어진 결과와 동일한 경향이나 섬유인자의 영향은 적은 것을 나타냈다. 링 방적사의 헤어리니스에 영향을 주는 유일한 섬유 특성은 2.5% 스팬길이, 균제도비, 마이크로네어 지수였고, 로우터 방적사에서는 2.5% 스팬길이와 마이크로네어 지수만이 영향이 있었다. 앞의 경우에서 사변수는 헤어리니스 계수 결정 요인으로 섬유인자의 기여도는 태사에서는 5%, 세사에서는 40%였으나, 로우터 방적사 경우는 사변수에는 적게 의존하여 약 25%이다.

헤어리니스에 대한 섬유 인자의 영향을 입증하기 위해서 34개의 면 품종으로부터 64 세트의 링방적사 및 로우터 방적사가 ITQT, Shirley 및

Zweigle G 565시험기로 시험되었다. 사용된 시험기간에는 어느 정도의 일치가 있었다. 섬유인자와 헤어리니스 지수와 관련된 회귀방적식에 의한 중 상관계수는 링방적사의 경우에는 0.5 0.6, 로우터 방적사의 경우에는 0.40 0.63사이에서 변동하였다. 링방적사의 경우에는 Shirley와 Zweigle 측정값에 의한 상관이 높았고, 로우터 방적사(0.60 근처)의 경우에는 Shirley 측정값이 높았다. 링방적사의 경우에 섬유 특성은 헤어리니스에 영향을 미치나, 사변수와는 반비례한다. 대체로, 결정계수(R^2)에서 섬유 성질에 의해 설명되는 것은 태번수에서는 10%보다 적게, 세번수에서는 40%까지 추정할 수 있으나, 로우터 방적사에서는 사변수와 관련이 없으며 40%까지 추정될 수 있다.

2.5% 스펠길이의 영향은 세번수 링방적사에서는 약 60%, 태번수 링방적사에서는 20%이하로 추정되어진다. 사변수와는 관련이 없으며, 로우터 방적사의 경우에는 약 70%였다. 균제도비는 세번수 링 방적사 경우에는 거의 30%까지 영향을 주나, 태번수 링 방적사 및 로우터 방적사 경우에는 상당히 떨어진다. 마이크로네어의 영향은 세번수 링방적사 경우에는 8%까지 추정될 수 있다.

마이크로네어 지수가 낮은 면에서의 m당 잔털수(Shirley)는 감소하나, 마이크로네어 지수가 더 높은 면에서는 이 경향은 역전된다.

아크릴섬유(Leacril)에서 로우터 방적사는 링 방적사보다 잔털이 적었다. 40 및 46mm의 로우터가 사용되었으며, 헤어리니스는 2mm 잔털 길이로 조정된 Shirley 시험기로 측정되었다. 로우터 속도와 꼬임 증가는 헤어리니스를 감소시켰다. 로우터 직경도 헤어리니스에 영향을 미친다(46mm 로우터 경우가 적었다).

오픈엔드 방적중 헤어리니스의 컴퓨터화된 모니터링은 이제 매우 일반적이고 잘알려져있다. Uster Polygard, Peyer, St ber 장치 등은 가장 널리 사용되는 것이다.

6. 기타

가호 공정에서 전분 대 PVA비가 일정할 때 가호 면사의 헤어리니스(F-Index 시험기로 측정)는 압력 증가로 감소되었으나, 최적 압력 이상에서 가호의 점도와 압력의 증가와 함께 증가하였다.

가호는 헤어리니스를 표현하는 모든 변수들을 크게 감소시키기 때문에 본질적으로 헤어리니스를 변화시킨다. 이는 실제 가호 목적중의 하나이다. 헤어리니스 측정은 가호 효율을 평가하는 정보를 줄 수 있다.

Singh는 가호된 실의 헤어리니스를 연구하여, 가호로 인하여 헤어리니스가 크게 감소하였으며, 실의 가호 수준이나 비율은 가호된 실의 최종 헤어리니스에 크게 영향을 미치지 않는다고 하였다.

고속 제직은 높은 사품질이 요구되며, 일부 경우에 헤어리니스의 존재는 중요한 인자이다. 한 연구에서 모든 직기 정지의 30%는 헤어리니스와 관련된 것이었다. 특히, 에어젯 직기에서 헤어리니스는 매우 중요한 특성이다.

헤어리니스 증가에 따라 위사 정지가 증가하는 경향이 있다. 위사 정지에 있어서 공장간 변동의 약 75%가 헤어리니스로 설명할 수 있다. 과도한 변동은 주로 혼방 섬유사의 평균 헤어리니스가 높기 때문이다.

현미경을 통하여 검사하면 위단(weft bar)의 존재를 포함한 일부 결점들은 위사의 헤어리니스 변동에 의한 것임이 자주 관찰되어진다. Walton는 직물 결점의 정도에 따라 헤어리니스의 변화 효과를 나타내기 위해서 위사방향의 헤어리니스를 변화시킨 직물의 사진을 나타내었다. 그는 보빈아래 부분에서 헤어리니스의 변동이 있으며 이것은 직물에서의 위단이 될 만큼 충분히 크다는 것을 알았다.

직물의 헤어리니스는 바람직하기도 하며, 한편으로는 바람직하지 않은 성질이다. Zweigle사는 최근에 직물 헤어리니스의 객관적이고 재생 측정할

수 있는 직물 헤어리니스 시험기 T 690을 개발하였다. 이 시험기(그림 6-1 참조)는 털태우기 후의 헤어리니스와 티싱 및 에머라이징 후의 파일 두께를 측정한다. 이 시험기는 필링 시험을 생략할 수 있다. 유리 섬유 직물의 헤어리니스의 제어를 위한 레이저 광선시스템을 이용한 컴퓨터화된 Protechna 장치도 기술되었다.



<그림 6-1> Zweigle T 690 직물 헤어리니스 시험기

편성 또는 제직에서 위사로 사용되는 실에서는 헤어리니스가 높은 것이 바람직하다. 경사에서의 돌출 잔털은 엉키게 되어 제직에서 문제를 발생시킨다.

꼬임의 증가는 소면사와 정소면사에서 린트 발생을 선형적으로 감소시킨다. 반면에, 고속으로 방적된 실은 편직공정에서 적은 양의 린트를 일관되게 발생시킨다.

정련과 표백은 일반적으로 헤어리니스를 약간 감소시키나 소모되지 않은 실을 사용할 때는 아주 중요하다. 실이 이미 소모되었을 때 습윤처리는 부분적으로 헤어리니스를 발현시킨다. 비록 방적 후의 헤어리니스와는 일치하지 않지만, 실이 받는 처리 횟수가 많아질수록 헤어리니스는 더 커지게 된다.

헤어리니스와 실 마찰간의 관계에 대한 몇 가지 논문에서 Zweigle G 565 헤어리니스 시험기와 Zweigle G 555 Staff 시험기가 사용되었다. 두 시험기로 측정되는 인자간에는 차이점이 있다. Zweigle사에서 만든 Staff 시험기와 헤어리니스 시험기로 측정된 값은 광전자센서에 기초한 것이다. 전자는 마찰작용하에서 냅이나 필을 형성하는 실의 경향을 결정하기 위한 것이고, 후자는 1 25mm까지 실 코어로부터 돌출된 잔털을 계수하는 것이다. 여러 가지 실에 대해서 Staff 시험기의 감도를 여러 수준으로 변경하여 시험한 Staff 시험기 값과 잔털 시험기 인자간 상관계수는 낮아 통계적으로 유의하지 않았다. 이것은 두 측정기가 실제로 다른 특성을 측정한다는 것을 의미한다.

Staff 시험기는 자체 마찰(self-friction), 실과 금속간의 마찰, 복합 마찰 등의 여러 가지 다른 마모작용을 실에 적용시킬 수 있다. Staff 시험기로 실의 자체 마모를 하기 전·후에 다양한 형태의 40수 Z꼬임 실의 헤어리니스를 측정하여, 1개의 오른 방향 실 루프에 의해 마모 효과가 만들어질 때 헤어리니스와 마찰 인자를 분석하였다. 검출된 최대 잔털 길이는 자체 마찰작용 후 일반적으로 감소하나, 잔털 길이 분포의 전개, 헤어리니스의 증가나 감소는 마모중 실에서 떨어지는 물질뿐만 아니라 섬유 형태, 실 선밀도, 실 구조(링/로우터 방적사), 단사/2합연사, 마찰에 의한 필의 형성 경향에 좌우된다.

Zweigle G 555 Staff 시험기가 자체 마찰에 의한 마찰 측정에 사용될 때 실 루프 형성에는 오른쪽 및 왼쪽 방향의 2가지가 있다. 재조사에 의하면 실 꼬임 센서가 Z이면 오른쪽 루프가 왼쪽 루프보다 좀더 많이 생산된다. 이와 같은 특징은 8가지 그룹의 실에서 확인되었고, 그 결과로서 일어나는 헤어리니스 변화는 Zweigle G 565 시험기로 측정되었다. 헤어리니스 변동은 필 형성 경향과 실 마찰에 의해서 떨어진 섬유(섬유 조각 혹은 섬유 부스러기)와 관련되어 있다.

실 마찰과 헤어리니스간의 관계에 대한 시험이 다음의 2가지 다른 조건으로 확대되었다. 즉 금속 가장자리에 대한 실 마찰과 실 자체 마찰에 금속 가장자리에 대한 마찰을 추가한 것이다. Zweigle G 555 Staff 시험기는 2가지 시험에 사용되었으나 헤어리니스는 Zweigle G 565로 조사되었다. 이 실험은 7가지 그룹의 방적단사와 4개 그룹의 2합연사로 구성된 46개 실에 대해서 수행되었다. 특정 9가지 실에 대한 보충시험도 하였다.

실 자체 마찰은 금속 가장자리에 대한 실 마찰보다 헤어리니스와 필 형성에 더 큰 영향이 있다. 두 마찰조건이 실에 연속적으로 적용될 때 마찰 영향은 일반적으로 강화되어진다. 헤어리니스 감소가 실 마찰후 관찰되면 이 손실은 일반적으로 필수의 증가에 의해서 보상되어진다. 반대로 헤어리니스가 증가하면 마찰후 필수는 감소하는 경향이 있다. 1번째 영향은 일반적으로 세번수의 면 방적사와 인조섬유 스테이플 방적사에서 나타나고, 2번째 영향은 태번수 면방적사, 2합연사, 재생섬유에서 일반적이다. 마찰 전과 후의 3mm나 1mm보다 긴 잔털의 변화는 헤어리니스와 필 형성 경향의 증가나 감소와 관련되어있다. 이와 같은 결과는 2가지 특수한 시험과 특정 시험방법을 포함한 현 실험의 한계 밖으로 추정할 수 없다.

일부 연구원은 Zweigle Staff 시험기를 헤어리니스 시험기로 기술하지만, Barella 등에 의하면 두 시험기 모두 광전자 장치를 이용하지만 Staff 시험기로 측정된 인자와 Zweigle 헤어리니스 시험기로 측정된 인자간에는 약간의 차이가 있다. Staff 시험기 감도는 마찰 작용으로 넵이나 필을 형성하는 실 경향 평가에 사용되나 측정기의 최대 검출 수준에서도 실 코어로부터 1mm이상 돌출된 각각의 섬유를 감지할 수 없다. 44개 서로 다른 형태의 실(면사, 화섬사, 혼방사, 2합연사)로 시험된 Zweigle 헤어리니스 시험기와 Staff 시험기의 산출값간의 상관성에서 상관계수는 낮고(0.3) 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서 두 시험기는 서로 관계없는 결과를

구하는 것으로 생각되어야 한다.

32종류의 면방적사에서 헤어리니스(Shirley 시험기로 측정)와 마찰에 의한 무게감소간의 상관계수는 0.53이었다. 면섬유 특성들과 필 형성 경향간의 관계에서 섬유장은 가장 관련된 인자이나 필형성과 헤어리니스는 서로 다른 특성이다.