

극세섬유 방적을 위한 혼타면 및 소면 설비(1)

1. 서 언

스테이플 섬유를 방적하기 위한 혼타면공정과 소면공정에 관한 기술은 현재도 여러 가지 관점과 관련한 연구나 출판물의 주제가 되고 있다.

본고에서는 1dtex 이하의 극세 데니어 섬유의 방적에 초점을 맞추고자 하며, 특히 혼타면공정과 소면공정에 관해서만 본고에서 다루고자 한다.

먼저 데니어가 서로 다른 섬유간에는 어떤 물성의 차이가 수반되는지를 열거하여 비교함으로써 극세섬유를 방적할 때 일어날 수 있는 문제점을 부각시키고자 한다.

두번째로는 극세섬유를 처리하기 위해 혼타면공정과 소면공정에 필요한 기계의 특징에 대해 살펴본 후, 특히 두 가지의 전형적인 설비라인에 대해 논의할 것이다. 두 가지 설비 라인 중 한 라인은 순수하게 인조섬유를 방적하기 위해 계획되었으며, 다른 한 라인은 인조섬유와 면섬유의 혼방을 위해 계획되었다.

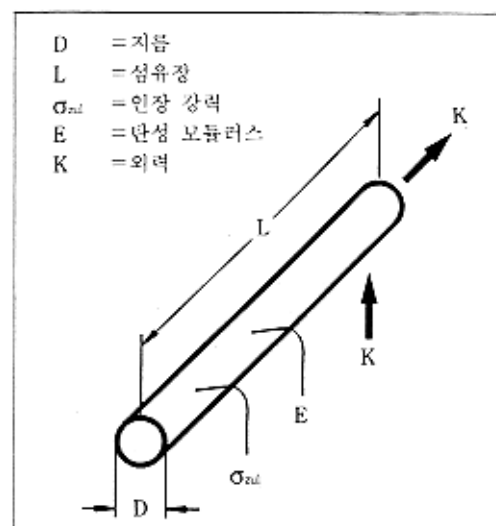
마지막으로는 실제로 소면 슬라이버까지 방출한 상태에서 슬라이버의 품질 결과에 대한 논의가 있으나, 이미 Bayer사와 Schulz가 작년 9월에 오스트리아의 뉘른베르크에서 개최된 '92 인조섬유학술회의에서 극세섬유를 사용한 소면 및 정방 결과에 대한 자세한 보고를 한 바가 있으므로, 본고에서는 주로 혼타면공정에서 소면공정에 이르기까지의 설비구성에 중점을 두고자 한다.

2. 극세섬유의 성질

방적성에 영향을 미치는 극세섬유의 물성에 대해 흥미로운 점이 있다. Erbacher, Heidenreich 등은 서로 다른 데니어를 갖는 섬유간 물성을 비교하여

결과적으로 나타나는 제품의 품질에 대한 연구를 수행하였으며, 이 경우 극세섬유의 정방특성 및 이용도 면이 가장 큰 관심의 대상이었다. 굵은 섬유와 가는 섬유에 대한 다음의 비교결과를 혼타면공정 및 소면공정 중에 일어날 수 있는 문제점을 발견하거나 또 그 문제점을 이해하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

<그림 1>에 나타나 있는 섬유의 지름, 섬유장, 비강도, 탄성 모듈러스등은 방적공정중에 섬유에 가해지는 기계적인 응력과 그에 따른 섬유의 변형이 일어날 때 중요성을 갖는다.



<그림 1> 섬유의 기본 물성

굵은 섬유와 가는 섬유간 물성의 비교에서 탄성 모듈러스(E)와 비강도(σ_{zul})는 제외될 수도 있는데, 이는 굵은 섬유나 가는 섬유 모두 같은 물질로 만들어질 수 있기 때문이다. 섬유장과 섬유에 가해지는 외력은 동일하게 고정되었으며, 따라서 여기서는 섬유의 지름을 가장 주의 깊게 보아야만 하게 되었다.

방적공정중에 섬유는 압축되기도 하고 비벼지기도 하며 잡아당겨지거나 굽혀지기도 하는데 압축력이나 마찰력등은 수치로 평가하기가 어려운 것들이다.

섬유에 작용하는 가장 큰 응력은 무엇일까? 단순히 섬유의 다면이 원형이라고 가정한다면 섬유에 작용하는 응력은 수치적으로 평가될 수 있다. 방적공정중에 섬유에 작용하는 인장력과 굽힘력은 가장 결정적인 응력들이라고 가정할 수 있으며, 이는 인장응력과 굽힘응력이 발생하면 그에 따른 인장변형 및 굽힘변형이 발생한다는 가정에 이르게 한다.

다음에서 인장과 굽힘에 대한 응력과 변형이 다루어지는데, 섬유의 지름에 의해 영향을 받음을 알 수 있다. 응력이란 용어는 단위면적당 작용하는 힘을 의미한다. 동일한 인장력하에서 힘이 작용하는 단면적이 큰 경우에 비해 단면적이 작은 경우에 더 큰 응력이 작용한다. 인장응력하에서의 변형은 신장의 형태로 이루어진다.

인장응력 등에 관련된 식들은 다음과 같다.

$$\text{인장응력} : \sigma_z = \frac{K}{F}$$

$$\text{인장변형(신도)} : \frac{\Delta l}{l} = \frac{K}{E \cdot F}$$

$$\text{단면적} : F = \frac{\pi D^2}{4}$$

단, σ_z = 인장응력, E = 탄성 모듈러스, K = 외력, F = 단면적, Δl = 섬유의 신장, l = 섬유장, D = 섬유지름.

인장응력과 인장변형(즉 신도)는 섬유단면적 F 에 좌우되며, 나아가 섬유지름의 제곱에 좌우된다. 따라서 인장응력은 D^2 에 반비례하고, 인장변형도 D^2 에 반비례한다.

$$\text{굽힘응력} : \sigma_b = \frac{M}{W}$$

$$\text{굽힘변형} : f_{\max} = \frac{L^3}{48E} \cdot \frac{K}{J}$$

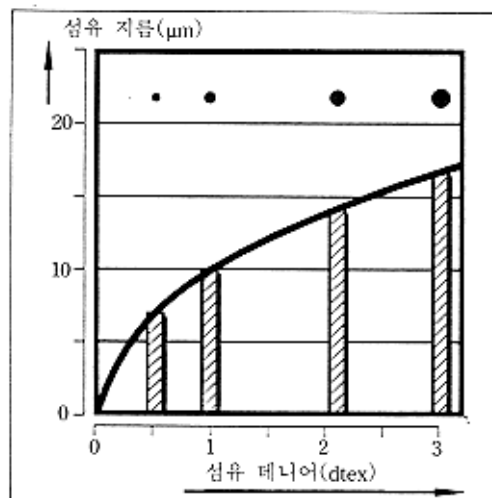
$$\text{저항모멘트} : W \approx \frac{D^3}{10}$$

$$\text{관성모멘트} : J \approx \frac{D^4}{20}$$

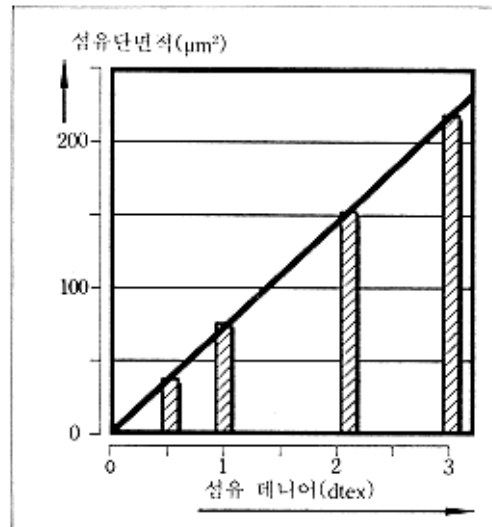
단, σ_b =굽힘응력, M = 굽힘모멘트, W =저항모멘트, f =변형, L =굽힘길이, J =관성모멘트

굽힘응력의 경우에는 저항모멘(W)가 관련이 있으며, 굽힘변형의 경우에는 관성모멘트(J)가 결정적인 인자이다. 따라서 굽힘응력은 D^3 에 반비례하고, 굽힘변형은 D^4 에 반비례한다.

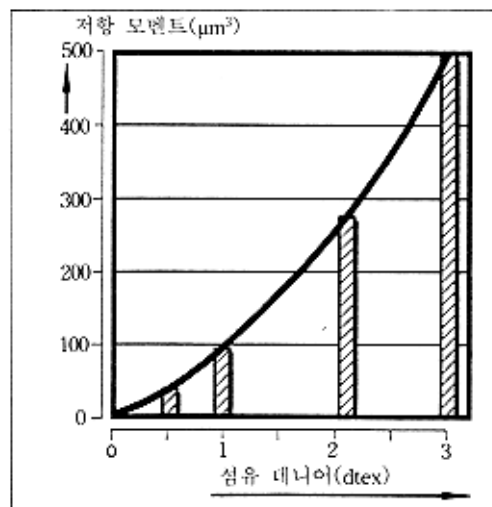
단순하게 섬유의 단면형태가 원형이라고 가정하면 데니어가 다른 섬유들에 대해 몇 가지의 비교가 가능하게 되고, 이에 따라 <그림 2>에서 <그림 5>까지는 섬유의 데니어에 따른 섬유지름, 단면적, 저항모멘트 및 관성모멘트와의 관계를 각각 보여주고 있다. 데니어가 커짐에 따라 섬유지름은 무리함수에 대응하는 체감적인 특성을 나타내고, 단면적은 직선적으로 비례하며, 저항모멘트는 2차식으로 증가하고, 관성모멘트는 3차식으로 증가한다.



<그림 2> 섬유 지름과 데니어와의 관계

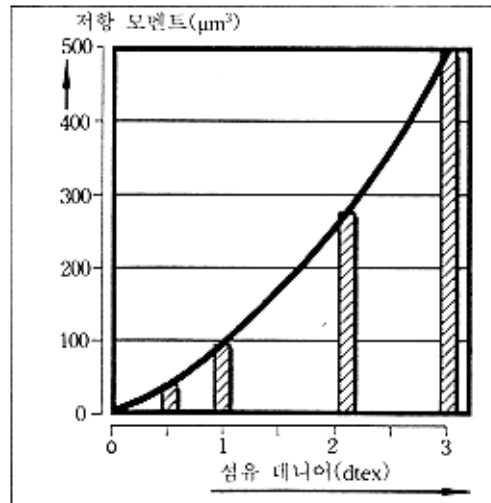


<그림 3> 섬유 단면적과 데니어와의 관계



<그림 4> 저항 모멘트와 데니어와의 관계

곡선의 값들이 클수록 응력과 그에 따른 변형에 대해 유리한 점이 있는 것으로 생각할 수 있는데, 예를 들어 관성모멘트가 크면 굽힘변형이 작아진다. 역으로 생각하여 만약 굽기가 가는 섬유에서 관성모멘트 값이 작으면, 응력과 그에 따른 변형이 커지게 되어 좋지 않은 결과를 가져다 줄 것이다.



<그림 5> 관성모멘트와 데니어와의 관계

곡선들로부터 0.5dtex 및 1.7dtex 섬유의 물성들을 각각 비교해 보면, 0.5dtex 섬유가 얼마나 민감하게 다루어지어야 하는지, 또는 앞에서 정의한 응력 및 그에 따른 변형에 관해 1.7dtex 섬유보다 얼마나 더 위험스러운 상태에 놓여 있는지를 알 수 있다. <표 1>에서는 이러한 결과들이 요약되어 있다.

<표 1> 0.5dtex 및 1.7dtex 섬유의 응력 비교

	인장응력	인장변형	굽힘응력	굽힘변형
비율	3	3	5	10
피영향인가	섬유손상			넌

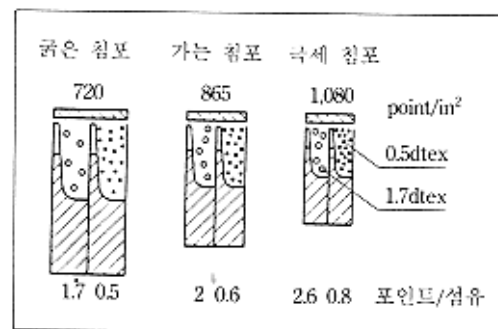
<표 1>의 첫줄에는 섬유에 작용할 수 있는 응력이 표시되어 있으며, 마지막줄에는 응력부과의 결과로 섬유에 나타날 수 있는 나쁜 영향이 표시되어 있고, 가운데줄에는 곡선형태로부터 유도되어 굽은 섬유(1.7dtex)에 대한 가는 섬유(0.5dtex)의 민감도 비율을 표시하고 있다.

인장에 의한 섬유손상과 관련하여 0.5dtex 섬유는 1.7dtex 섬유보다 인장응

력 및 변형에 3배나 더 민감하게 반응함을 알 수 있고, 굽힘에 의한 섬유손상과 관련하여 0.5dtex 섬유는 1.7dtex 섬유보다 5배나 더 민감하게 반응한다.

굽힘변형으로 인해 넵이 유발된다고 할 때 0.5dtex의 가는 섬유는 1.7dtex의 굵은 섬유보다 네 형성에 10배나 더 민감하게 반응한다.

실제로 섬유손상 및 넵 형성에 관한 것은 혼타면공정 및 소면공정에서 극세섬유를 처리할 때 고려해야 할 두 가지 중요한 사항으로서, 기계설비, 기계부속품 및 세팅을 선택할 때 특별한 주의가 있어야 한다. 즉 섬유의 지름이나 단면적의 크기등을 고려하여 섬유와 기계부속품 사이의 상호작용이 원만하게 이루어져야 하는데, 예를 들어 카펫사를 제조하기 위한 기계는 면방적에 사용되는 기계와는 그 특성이 매우 다르다는 점을 생각할 때, 길고 굵은 섬유들을 처리하고자 할 때에는 길고 굵은 기계요소(톱니, 핀, 침 등)에 의해 개선되어야 하며, 실린더의 크기나 핀 사이의 거리 등도 큰 양으로 조정되어야 한다. 가늘고 짧은 섬유는 가는 기계요소에 의해 처리되어야 하며 처리되는 섬유 올수가 많은 것에 대응하여 기계요소의 수 또한 많아야 한다. 이와 같이 섬유의 특성과 기계요소와의 조화는 매우 중요한 것으로서, 특히 소면기의 실린더에서 각 섬유의 개섭이 일어날 때는 더욱 중요한 사항이 된다.



<그림 6> 섬유와 침포간 상태 비교

이 같은 이유로 <그림 6>에서는 실린더 침포에 관한 이상적인 상태를 나타내고 있는데 침간 틈에 있는 섬유는 원형으로 표시되었으며, 윗부분의 공간은 실린더의 덮개 플레이트에 의해 제약을 받음을 알 수 있고, 0.5 및 1.7dtex 섬유의 단면과 각각 720, 865, 1,080point/in²의 카드 침포가 비교되고 있다.

나중에 결과적으로 보여주는 것과 같이, 극세섬유는 30kg/hr의 소면생산속도로 처리될 수 있으며, <그림 6>에서 표시한 비교값들은 이러한 생산속도와 관련이 있다. <그림 6>에 의하면 각 침포의 침간 틈에는 5올의 1.7dtex 섬유가 있으며 17올의 0.5dtex 섬유가 있으므로 0.5dtex 섬유는 1.7dtex 섬유에 비해 3.4배나 더 많은 양이 동시에 처리되거나 동시에 실린더 위에 있게 됨을 알 수 있다. 비록 이상적으로는 각 섬유에 대해 하나씩의 카딩 포인트가 있을지라도 단면 패턴으로 묘사되는 것이 같을 수 있다고 보는 이유는 섬유의 길이가 두개의 카딩포인트간의 거리보다 본질적으로 길기 때문이다. 만약 실린더 주위로 한 섬유가 여섯 차례나 머무르고 있다고 한다면, 이론적으로 실린더상에 존재하는 섬유 올수는 1.7dtex 섬유인 경우 260만올, 0.5dtex 섬유인 경우 900만올에 이른다.

또한 <그림 6>에 의하면 침포의 밀도가 커질수록 증가하는 섬유당 평균 카딩포인트의 수는, 1.7dtex의 굵은 섬유인 경우 1.7에서 2.6으로 커지고, 0.5dtex의 가는 섬유인 경우 0.5에서 0.8 정도의 작은 값을 가짐을 알 수 있다.

따라서 여기서 결론적으로 생각할 수 있는 것은, 예를 들어 극세섬유의 섬유당 카딩포인트 수가 1.6이 되기 위해서는 극세침포의 카딩포인트의 수가 두배가 되어야만 한다는 점이다.

그러나 카딩포인트 주위의 자유 공간에 섬유가 채워지는 수준을 생각하면

중대한 병목현상이 나타나게 됨을 알 수 있다. 비록 극세침포라고 할지라도 침포의 높이가 낮고 그 폭이 좁으므로 극세섬유로 인해 중대한 병목현상이 나타나므로 이 경우 섬유와 섬유간의 마찰과 섬유와 금속간의 마찰이 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

0.5dtex 섬유의 전체 표면적은 1.7dtex 섬유의 그것보다 두배나 크므로 그만큼의 방적처리가 더 있게 되고, 이로 인해 굵은 섬유와 가는 섬유간에는 마찰과 미끄러짐에 관한 거동이 현저하게 달라지게 되는데, 오늘날 이 분야에 대한 연구는 깊이 있게 논의되지 못하고 있는 실정이다.

마찰상태는 방적처리에 의해 크게 영향을 받으며, 방적처리에 따라 공정중에서 일어나는 섬유의 미끄러짐 거동 및 정전기 발생 정도가 결정되므로, 올바른 방적처리기술이야말로 의심의 여지없이 중요한 인자임에 틀림없다. 비록 방적성에 영향을 미치는 모든 다른 인자의 크기가 최적 상태를 유지한다고 할지라도 방적처리기술 그 자체는 여전히 어떤 특정의 섬유원료에 대해 설비나 기계 등의 운전이 정상적으로 가능할 것인가 여부를 결정할 것이다. 여러 해를 지나오면서 섬유제조 기술자들은 이 분야에서 많은 경험을 쌓아왔다.

만약 극세섬유를 사용하여 방적처리할 때 문제점이 생긴다면 섬유제조 기술자에 의해 극세섬유 생산에 따른 어떤 변경조치도 뒤따를 수가 있으므로 섬유제조기술자와 항상 긴밀한 협조가 유지되어야 한다. 한편 방적처리기술 그 자체뿐만 아니라 많은 기계적인 운전조건들 역시 조업에 장애를 일으키지 않도록 항상 주의깊게 유지되어야 한다.