원면품질관리교육 Ⅰ

- 원면품질분석 HVI (3) -

2.3 섬도, 성숙도 및 마이크로네어(Fineness, Maturity and Micronaire)

섬도는 주어진 굵기의 실단면에 얼마나 많은 수의 섬유가 존재하는가를 결정하게 된다. 방적사의 단면에는 최소한도로 30개의 섬유가 필요하나 보통은 100개가 넘는다. 섬유의 섬도는 주로 다음과 같은 면에 영향을 미치게 된다.

· 방적한계(spinning limit)

· 방적사의 강력

· 방적사의 충만감(fullness)

· 방적사 직물의 드레이프성

· 광택

· 촉감

양모와 hair 섬유를 제외하고는 섬유의 단면은 대부분 원형이 아니고, 따라서 실 측정이 용이하지 않기 때문에 철사와 같이 그 직경만 가지고 섬도를 나타낼 수 없다.

원면의 섬도 즉, 굵기를 평가하는 방법으로는 ①단위길이당 중량 즉, 선밀도(linear density) ②단면적의 크기 ③원주의 길이 ④섬유직경 ⑤섬유 비표면적 ⑥micronaire 등이 있다. 이 중에서 상업적으로 가장 많이 사용되는 것은 마이크로네어(micronaire)로서 마이크(mike)라고 부르기도 하는데, 이것은 원면 뭉치의 공기투과도를 측정하여 원면의 비표면적을 추정하는 방법으로서 평가되기 때문에 섬도에 대한 측정치(measurement)가 아니고 추정치(estimate)가

된다. 즉, 마이크로네어 값이 항상 섬유의 실제 섬도를 나타내 주는 것만은 아니라는 사실을 염두에 두어야 한다. 공기투과법을 사용하기 때문에 많은 비율의 미숙면이 존재할 경우 평균치를 얻게 되며 이 값은 방적가능한 섬유의 참값과 일치하지 않는다.

원면의 마이크로네어를 지배하는 인자는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 원면 종자의 유전학적 인자로서 농경학자의 연구에 따른 섬유의 원주와 둘째, 경작환경(토양, 비료, 습도, 경작기간, 온도 등)에 따른 인자로서 원면내의 셀룰로스의 양(세포벽의 두께)이 곧 원면의 마이크로네어 값을 결정하게 된다. 마이크치에 대한 일반적인 평가기준은 다음과 같다.

<표 2> 마이크로네어의 평가

3.0 미만	Very fine
3.0 ~ 3.9	Fine
4.0 ~ 4.9	Average
5.0 ~ 5.9	Coarse
6.0 이상	Very coarse

면섬유는 세포벽과 중공으로 이루어져 있다. 여기에서 성숙도지수(maturity index)는 세포벽의 두께에 따른 것이다. 완전히 성숙된 보울 일지라도 약 5% 정도의 미성숙 섬유가 존재하기 때문에 미성숙 섬유가 전혀 포함되어 있지 않은 원면은 상상할 수 없는 일이며 다만 그 양이 문제가 된다 하겠다. 미성숙면은 강력도 적절치 못하고 길이 방향의 강연도도 적당하지 못한다. 따라서 이들 미성숙면은 다음의 원인이 된다.

· 방적사의 강력 저하

· 넵

· 단섬유비율의 증가

· 서로 다른 염색성

· 주로 소면공정에서의 공정상 까다로움

원면의 성숙도를 나타내기 위하여 [Degree of wall thickening] 개념을 도입하여 Θ라고 했을 때 이 값은 면섬유 단면이 갖는 원주길이와 동일한 원주를 갖는 원의 면적환산치에 대한, 실제 섬유벽으로 채워진 면적의 상대적 비율로 정의된다. Θ값은 면섬유가 완전히 soild하고 원형의 단면을 갖는 경우 1.0에 가깝지만 2차층 두께가 얇은 미성숙면은 이 값이 아주 작아진다. 성숙면이던 미성숙면이던 개개의 구성 섬유간에는 매우 다양한 세포벽 두께 분포가 형성된다.

면섬유를 가성소다 용액에 담그면 길이 방향으로는 수축되고 폭방향으로는 괄목할만한 팽윤 현상이 일어난다. 이러한 현상은 섬유의 세포벽 두께를 증가시키고 단면 형태를 변화시키며 천연꼬임의 개수와 형태도 변화시킨다. 성숙도가 우수한 알찬 섬유들은 천연꼬임을 상실하여 둥근기둥모양이 되며 루멘은 수축하거나 없어진다. 미성숙한 원면은 천연적 꼬임이 완전히 없어지지 않고 남게되며 루멘도 뚜렷하게 보인다. 2차층이 거의 없는 사섬유는 리본모양의 단면을 그대로 유지하게 된다. 이러한 섬유벽의 차이를 갖는 면섬유들의 팽윤효과의 차이에 의해서 성숙도의 간접적인 측정이 가능한 것이다 (수산화나트륨 팽윤법).

가성소다 처리 후 현미경조사에 의하여 면섬유의 성숙도에 따라 다음과 같이 3가지 유형의 섬유를 구분하여 성숙도를 평가하는 지표로 삼는다.

(a) 정상섬유 (N%) : 팽윤 후 루멘은 없어지거나 있다고 하더라도 계속 보이지 않고 섬유단면이 마치 둥근 기둥모양을 나타내는 성숙면

(b) 사섬유 (D%) : 팽윤 후 섬유벽의 두께가 최대폭의 1/5이하가 되는 미숙면, 또는 2차벽이 거의 없고 납작한 리본모양을 나타내는 극히 미성숙한 면.

(c) 세벽섬유 (100-N-D%) : 정상섬유와 사섬유에 속하지 않는 중간정도의 성숙도를 갖는 섬유로서 rod 모양으로 정상섬유처럼 보이나 계속 연결되는 루멘이 뚜렷이 보이는 비교적 성숙한 섬유에 가까운 상태에서부터, 섬유벽이 아주 얇지만 전체폭의 1/5이상이 되는 비교적 미성숙면에 가까운 종류 등 다양하다(상기 구분방법은 영국식을 이용하였음).

Θ와 N-D값과의 관계식을 구하면 Θ=0.00309(N-D)+0.403과 같다. 여기서 실용적인 목적으로 maturity count(N-D)의 표준값을 구하여 이 값을 기준치로 하여 어느 원면의 상대적인 Θ값을 대비해서 나타낼 수 있다면 성숙도 평가에 편리한 자료가 될 것이다. 여기서 N-D=60을 표준치로 정하여 사용하기로 한다. 이 값은 이집트나 수단면의 겨우 성장조건이 매우 좋은 원면에서는 흔히 도달될 수 있는 값이다.

앞의 회귀식에서 N-D=60의 표준치를 대입한 값을 Θs로 표시하면 0.588을 얻을 수 있다. Θs에 대한 어느 원면의 세포벽 두께의 평균치 Θ와의 비율은

$$\frac{\theta}{\theta s} = \frac{0.00309(N-D)+0.403}{0.588} = 0.0052(N-D)+0.68 = \frac{N-D}{200}+0.70$$

으로 간단히 기술되는데 이 값을 성숙비(maturity ratio, M)이라 하고 실용화하여 편리하게 사용되고 있다.

한편 섬유의 표면적을 체적으로 나눈 값으로 정의되는 비표면적(specific fiber surface 또는 surface area per unit volume) 또한 섬유섬도와 밀접한 관계를 가지고 있으며 특히 이후 언급하게 될 섬도와 성숙도의 종합평가 방법의 하나인 공기투과도 시험에 의한 마이크치 산출원리에 깊이 관련되어 있다.

일반적으로 섬유의 비표면적 So는 섬유 원주 P에 비례하고 선밀도 H에 반비례한다. 또한 성숙도가 일정한 경우에 선밀도 H는 섬유원주 P^2에 비례하며 따라서 위식에서 So는 P에 반비례한다. 따라서 원주가 작은 가는 섬유는 비표면적이 높은 값을 나타낸다. 그러나 So의 값은 섬유의 고유섬도(intrinsic

fineness, 원주)에만 영향을 받는 것이 아니고 성숙도에도 관계된다. 원주가 일정한 경우의 섬유의 선밀도는 성숙도가 증가함에 따라 증가하고 따라서 비표면적 So도 감소한다. 원주길이 P의 값을 직접 측정하기란 여간 어려운 것이 아니며 따라서 직접 이 값을 구하여 So를 구하는 것은 합리적이지 못하며 대신에 섬유뭉치를 일정한 플러그에 넣어 공기투과도를 측정하는 간접 방법에 의해 So의 값을 구하는 방법이 개발 사용되고 있다.

앞에서 원면섬유의 원주길이는 일단 원면품종이 결정되면 성장조건이나 성숙도 등에는 별로 영향을 받지 않고 일정한 값을 유지한다고 했고, 섬유의 선밀도는 세포벽두께의 정도와 고유섬도에 따라 좌우된다고 했다. 그리고 maturity count (N-D)는 원면의 고유섬도에 관계없이 세포벽두께의 정도를 나타낸다고 했다.

여기서 1cm당 섬유무게(선밀도, H)와 maturity count(N-D)와의 상관관계를 구한 것이 H=0.6513(N-D)+91.15로서 이 식은 같은 조건에서 생장한 면섬유에만 적용된다. 따라서 일반적으로 사용할 수 있는 식을 만들려면 N-D=60을 성숙도의 표준치로 하여 이 값에 대한 1cm당의 섬유무게를 서로 비교한다. 즉 앞 식에서 N-D=60으로 치환하여 이 표준치에 대한 1cm당 섬유무게를 Hs라고 하면 Hs=130.2가 되며, 다시 앞 식을 Hs로 나누어 정리하면 H/Hs=0.00500 (N-D)+0.700이 된다.

앞부분에서 소개한 식과 연결하여 다음 결론식을 유도해 낼 수 있다.

$$M = \text{성숙비} = \frac{\theta}{\theta s} = \frac{\text{average degree of wall thickening}}{\text{standard degree of wall thickening}}$$

$$= \frac{H}{Hs} = \frac{\text{1cm당 평균섬유무게}}{\text{1cm당 표준섬유무게}} = \frac{N-D}{200} + 0.70$$

즉 원면 1cm당 표준섬유무게는 성숙비 1인 표준수준과 일치하고 둘레가 변하지 않고, 그대로 있는 생장조건일 때의 면의 1cm당 평균 섬유무게이다. 만일 성숙비가 1보다 작으면 Hs는 H보다 크다. 즉, 성숙비가 1보다 큰 성숙한 섬유에 대해서 Hs는 H보다 작다. 원면의 Hs의 차는 성숙비와는 무관하고 오직 평균 원주의 차에만 관계된다. 따라서 Hs를 고유섬도로 간주할 수 있다.

또는 Hs = 상수$\times P^2$, So = 상수$\times \frac{P}{H}$ 및 $H = M \cdot Hs$ 등의 관계에 의하여 섬유의 비표면적은 $So = \frac{\text{상수}}{\sqrt{Hs}} = \frac{\text{상수}}{\sqrt{M \cdot H}}$ 로 표시된다.

공기는 섬유를 팽윤시키지도 않고 오염시키지도 않으며, 또 불균일한 형태의 입자의 집단을 통과하는 속도는 그 입자의 크기와 형태에 관계되는 원리를 이용하여 섬유집단을 통과하는 유체의 속도로부터 섬유의 섬도를 추정할 수 있다. 공기가 특정한 용기속에 채워진 원면사이를 통과하는 흐름은 일단 층류의 범주로 간주하여 고찰해볼 때 공기의 투과도는 공기가 투고할 수 있는 기공율이 크면 클수록 증가하고 공기가 스치고 지나가는 섬유의 표면적이 크면 클수록 저항이 증가하여 공기투과도는 감소한다.

이 경우 다공성매질을 통과하는 유동의 기본법칙인 Darcy의 이론식, 매끄러운 원통형관을 통과하는 층류에 대한 Poiseuille의 이론식 및 기공도의 개념이 포함된 Kozeny의 이론식에 따르면 유속(volumetric flow rate) Q는 비표면적제곱에 반비례한다는 사실($Q \propto 1/So^2$)을 알 수 있다. 이 비례관계와 앞에서의 So = 상수/$\sqrt{M \cdot H}$ 식과 관련지어 $Q \propto M \cdot H$의 중요한 관계식을 얻어낼 수 있는데, Q 값 자체는 공기투과 정도를 나타내는 [마이크] 값으로 실용화되어 사용한다. 나아가 Shirley Fiber Maturity Tester(FMT)를 이용하여 다음과 같은 성숙비, 섬도 및 마이크로네어 값간의 상관관계가 실험적으로 확립되었다.

$$M \cdot H = M^2 \cdot Hs = 3.86(Mic)^2 + 18.16(Mic) + 13.0$$

(단, H는 섬도로서 millitex 단위를 사용하며 Mic/0.0254 = millitex의 관계가 있음.)

이 식으로부터 나타나는 성숙비의 범위에 따라 미국 upland면에 대한 일반적인 평가기준은 다음과 같다.

<표 3> 성숙비 평가

0.70 미만	Uncommon
0.70 ~ 0.80	Immature
0.80 ~ 0.85	Below Average
0.85 ~ 0.95	Mature
0.95 ~ 1.00	Above Average
1.00 이상	Very Mature

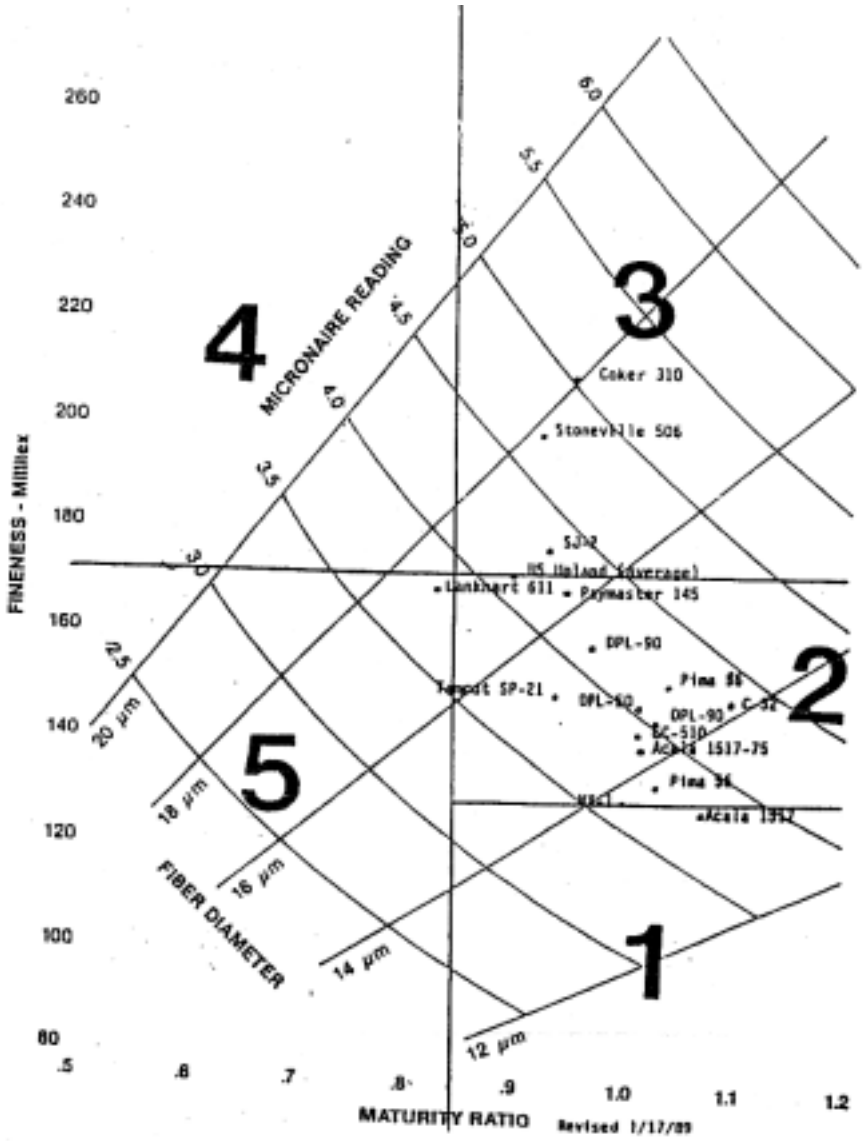
또한 성숙비(M), 섬도(H;millitex) 및 섬유의 직경(D;㎛)간의 상관관계도 다음 식으로 표시될 수 있다

$$D^2 = 1.452 \times \frac{H}{M}$$

이상의 고찰로부터 면섬유의 마이크로네어값, 직경(㎛), 섬도(millitex), 성숙비와의 종합적인 관계가 <그림 7>에 나타나 있다.

섬유의 고유섬도가 일정한 경우 즉 동일품종면에서는 마이크치가 높으면 성숙도가 우수한 원면이며 이 값이 낮으면 미성숙면의 증거로 받아들여도 무방할 것이다. 이 경우에 성숙도의 차이가 마이크에 미치는 효과는 극대화 됨을 알 수 있는데 예를 들어 고유섬도 Hs가 같은 두 샘플 즉 같은 종자의 경우 한쪽은 성숙도 M=0.9이고 다른 한쪽은 M=1.0일 경우 전자가 후자에 비해 성숙도는 10% 낮지만 MIC $\propto M^2 \cdot Hs$ 공식에 따라 M^2값이 각각 0.81, 1.00이 되므로 이 차이는 19%가 된다. 고유섬도 Hs의 단위는 보통 10^{-8}g/cm으로 사용되는데 원면에서 보통 흔한 값인 Hs = 200을 대입하면 $M^2 \cdot Hs$의

값이 각각 162와 200이 되며 이때 앞의 마이크로네어, 섬도 및 성숙도와의 관계식에 의해 각각의 마이크치에 따라 상관되는 M · H값을 구하여 나타낸 표가 <표 4>이다.



<그림 7> 마이크로네어, 섬유직경, 섬도 및 성숙비의 관계

결론적으로 마이크 값의 의미는 그 값이 면섬유의 비표면적을 나타내는 복합적인 지표라는 것을 알 수 있다.

재래식의 마이크로네어 시험기는 오직 마이크치 측정만 가능했으나 만일 원면 샘플의 선밀도 H값도 동시에 측정이 가능하다면 MIC ∝ Q = 상수 · M · H 공식에 의거하여 성숙도 M의 값도 정확하게 산출해 낼 수 있는 바, Shirley FMT가 개발 시판된 이후 품질관리 측면에서 많은 도움이 되고 있다.

HVI에서 섬도의 측정에는 두 기종 모두 현재 널리 보급되어 있는 마이크로네어식 측정기를 채용하고 있는데 처리속도를 빠르게 개선하였다.

<표 4> 마이크로네어 및 $M^2Hs = MH$의 관계

Micronaire $M^2Hs = MH$ Value (10^{-8}g/cm)		Micronaire $M^2Hs = MH$ Value (10^{-8}g/cm)		Micronaire $M^2Hs = MH$ Value (10^{-8}g/cm)	
2.0	-	4.0	147	6.0	261
2.1	-	4.1	152	6.1	268
2.2	-	4.2	157	6.2	274
2.3	75	4.3	163	6.3	281
2.4	79	4.4	168	6.4	287
2.5	83	4.5	173	6.5	294
2.6	86	4.6	178	6.6	301
2.7	90	4.7	184	6.7	308
2.8	94	4.8	189	6.8	315
2.9	98	4.9	195	6.9	322
3.0	102	5.0	200	7.0	329
3.1	106	5.1	206	7.1	337
3.2	111	5.2	212	7.2	344
3.3	115	5.3	218	7.3	351
3.4	119	5.4	224	7.4	359
3.5	124	5.5	230	7.5	367
3.6	128	5.6	236	7.6	374
3.7	133	5.7	242	7.7	382
3.8	138	5.8	248	7.8	390
3.9	143	5.9	255	7.9	398

종래의 마이크로네어식 섬도측정기에서는 시료의 중량을 정확히 3.24g±6mg으로 조정하지 않으면 안되었으나 HVI에서는 측정기 본체와 저울이 연동하므로 시료의 중량이 일정 범위내(MCI에서는 3~3.3g, Spinlab HVI에서는 8.5~11.5g)에 들면 자동적으로 조정되어 마이크로네어지수(μg/in)로 표시하도록 되어 있다. 이와 같은 개선에 의해 처리 속도가 수배 향상되었다고 할 수 있다.

또한 측정결과를 비교해 보아도 종래의 것과 사실상 전혀 차이가 없으며 데이터의 신뢰성이 높다는 것이 확인되었다. 특히 Spinlab HVI에서도 종래보다도 약 3나 많은 시료를 시험할 수 있기 때문에 한층 더 측정 정확도가 높아졌다. 또한 공기압력도 Sheffield 마이크로네어의 경우 4.75 psi를 사용하지만 MCI HVI의 경우 2.5psi에서 측정한다. 여기서 면섬유의 선밀도를 측정하기 위하여 FMT를 사용할 경우 비교적 정확히 면섬유의 선밀도를 산출할 수 있으나 측정 속도가 느려 HVI와 연결시켜 사용하기에는 아직 문제점이 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 FMT를 사용하면 성숙도를 구할 수가 있어 실의 물성을 추정하는데 보다 정확한 실을 유도할 수가 있어 궁극적으로는 HVI 시스템과 연결되어야만 하며 이에 대한 연구가 한창 진행중에 있다.