

마이크로네어 시험기에 의한 면섬유의 성숙도 측정

I. 서 론

마이크로네어 시험기는 구멍이 많은 플러그를 통하여 공기를 통과시키는 원리를 이용하는데, 그 구조가 튼튼하고 결과가 매우 일관성있게 나오기 때문에 섬유의 섬도를 측정하는데 널리 사용되고 있다. 근래에는 이 시험기를 사용하여 성숙도를 동시에 측정하려고 시도하여 왔다.

Arealometer는 면시료의 비표면적을 2수준의 압축으로 측정하기 위한 설비를 가지고 있으며 Hertel와 Craven은 이들 두 조건에 의한 비표면적의 차이를 상관시켰다. 마이크로네어 시험기에는 그러한 설비가 없다. 그러나 Chapman과 Staten, 그리고 Sundaram과 Iyengar는 마이크로네어 시험기에 스페이서(spacer)를 사용하여 역시 2수준의 압축도로 실험하였는데 동일한 시료에 대하여 2가지 조건으로 시험하여 마이크로네어 시험기에서 읽은 값의 차이를 섬유의 성숙도와 상관시켰다.

스페이서를 사용하는 방법에서는 시료와 참바의 용량을 증가시키므로써 섬유플러그의 압축도를 더욱 낮게 할 수 있으며 시료의 양을 변경시킴으로써도 이와 비슷한 효과를 얻을 수 있다. 이를 기초로 하여 시료의 양을 2가지로 사용하여 마이크로네어 시험기로 측정한 값을 기록하므로써 면의 성숙도를 측정하기 위한 새로운 방법을 개발하였다. 이 새로운 방법을 여기에 약술하였으며 스페이서를 사용하는 방법과 비교하였다.

정규시험과는 다른 조건으로 하여 마이크로네어 눈금을 읽은 값은 엄격히 마이크로네어 값으로 취할 수 없다. 그러나 그러한 값과 정규시험을 한 마이크로네어 값과의 차이가 섬유의 성숙도와 커다란 상관관계가 있다는 것을 알았으므로 그러한 상관관계에 대한 이론적인 근거를 이해하기 위하여 연구

를 착수하였다.

II. 실험 방법

1. 새로운 방법의 설명

이 방법에 있어서는 각 시료의 양을 두 가지로 하여 마이크로네어 시험기로 각각 시험을 하고 마이크로네어 눈금을 읽어서 그 값의 차이를 기록한다. 이 방법으로써 섬유의 성숙도와 섬도를 함께 측정하려고 하므로 두 가지 크기의 시료 중에서 하나는 정규 마이크로네어 시험을 할 때 사용하는 표준크기(50grain)로 하여야 한다. 정밀한 시험을 해 본 결과 두번째 시료의 무게가 40grain일 때 마이크로네어치에 가장 큰 격차를 보였고 따라서 감도가 가장 컸다. 시험은 ① 한 시료를 40grain으로 하고 다른 하나의 시료를 50grain으로 하거나, ② 처음에는 40grain으로 시험을 하고 그 다음 시험에서는 그 시료에다 10grain을 추가하여서 할 수 있을 것이다. 두번째 방법에서는 소요되는 면의 양이 더 적고(90grain에 비하여 총 50grain) 섬유를 거의 같게 두고서 두 가지 압축도로 시험을 하게 되므로 뒤의 방법을 택하였다. 위의 방법을 표준화하기 위하여 행한 상세한 시험방법을 다음에 기술한다.

실제로 시험을 하기 위하여 잘 개면된 50grain의 시료(65% RH, 27°C의 표준 상태로 적당히 방치한)를 하나는 40grain을 칭량하고 다른 하나는 10grain을 칭량하여 두 가지로 분리하였다. 40grain의 시료를 시료참바에 넣고 정규시험 방법으로 마이크로네어 시험을 하여 곡선눈금에 나타난 값을 기록하였으며 (미 주지면에 대하여), 시료 플러그를 뒤집어서 시험을 반복하였다. 정규시험을 할 때 처럼 50grain을 칭량하기 위하여는 플러그를 제거하고 10grain의 시료를 추가하여 복합시료를 만들었다. 복합시료를 뒤집어서 네번째 측정한 마이크로네어 눈금을 기록하였다. 40grain과 50grain의 시료를 시험하여 얻은 평

균치의 차이를 기록하여서 나중에 성숙도 계수와 상관시켰다. 이러한 방법으로 얻은 값을 여기서는 “마이크로네어차(새로운 방법), M_1 ”이라고 부른다.

2. 스페이서를 사용하여 마이크로네어 눈금의 차를 측정

이 연구에 사용한 면은 대부분이 인도원산이며 Sundaram과 Iyengar가 사용한 방법에 따라 9.52mm(3/8in)의 스페이서를 사용하여 마이크로네어 눈금을 읽은 값의 차이를 측정하였다. 이 값을 뒤의 검토에서는 M_2 라 부른다.

3. 섬유 성숙도 측정

여러가지 시료의 섬유 성숙도는 Indian Standard Test Method가 추천한 가성소다 팽윤법으로 측정하였다. 측정한 결과로부터 “성숙도계수치”(M_0)는 다음의 Iyengar와 Ahmad의 공식을 사용하여 계산하였다.

$$M_0 = \frac{M + 0.6H + 0.4I}{100}$$

여기서 M , H 및 I 는 각각 시험한 시료의 성숙, 반성숙, 미성숙의 퍼센트이다.

4. 시 료

식물학상 다른 종속에 속하는 총 130가지의 시료를 시험하였다. 이들 가운데 30가지는 *G. arboreum*에, 40가지는 *G. herbaceum*에, 그리고 40가지는 *G. hirsutum*에 속하고 나머지 20가지는 *G. barbadense*, 개량종 등으로 구성되었는데 뒤의 검토에서는 “기타”로 부른다. 각 방법에서 시료마다 $\pm 2\%$ 의 표준오차를 가지는 평균치를 갖도록 4개의 플러그를 시험하였다.

III. 결과 및 검토

각 특성(모든 종족에 있어서)에 대한 격차와 평균이 표 I에 나타나 있다. 측정을 달리한 것 사이의 상관계수(γ)는 표 II에 나타나 있는데 단순상관계수는 모두 1% 수준에서 대단히 유의하다는 것을 알 수 있다. γ_{01} 과 γ_{02} 는 전체의 모집단에서와 *G. arboreum*을 제외한 모든 종족에서는 사실상 서로 같으며 여기서 γ_{01} 의 숫자가 더 크다는 것을 관찰하였다. 그리하여 섬유율의 섬유도와 함께 성숙도를 빨리 측정하기 위하여는 “새로운 방법”을 유용하게 사용할 수 있다는 것이 명백하다. 마이크로네어 시험으로부터 성숙도 M_0 를 계산하기 위하여 다음의 회귀방정식들을 사용하였다.

$$M_0 = 0.1634 M_1 + 0.4195 (\text{측정오차 } 0.049)$$

$$M_0 = 0.1720 M_2 + 0.4085 (\text{측정오차 } 0.052)$$

둘째방정식은 Sundaram과 Iyengar의 식

$$\text{즉 } M_0 = 0.1694 M_2 + 0.4508 \text{과 큰 차이가 없다.}$$

<표 I> 성숙도를 다른 방법으로 측정한 평균과 격차

특성		G. arb. n = 30	G. hirs. n = 40	G. herb. n = 40	기타 n = 20	전체의 모集團 n = 130
成熟度係數 M_0	平均	0.807	0.738	0.689	0.666	0.728
	隔差	0.222	0.307	0.352	0.296	0.399
	限界	0.690—0.912	0.590—0.897	0.526—0.878	0.513—0.809	0.513—0.912
마이크로네어差 (새로운 방법) M_1	平均	2.281	1.950	1.805	1.339	1.889
	隔差	1.10	1.73	2.17	1.46	2.27
	限界	1.62—2.72	0.86—2.59	0.51—2.68	0.45—1.91	0.45—2.72
3/8in. 스페이서를 使用한 마이크로 네어差 M_2	平均	2.217	1.924	1.771	1.342	1.855
	隔差	0.98	1.78	2.04	1.22	2.08
	限界	1.61—2.59	0.70—2.48	0.70—2.74	0.66—1.88	0.66—2.74

n=試料數

<선밀도의 영향>

단위길이당 섬유무게(절단법에 의한 면밀도)가 기류법으로 측정한 성숙도에 영향을 미치는가를 알기 위하여 *G. hirsutum*과 *G. herbaceum*에 속하는 80가

지 시료에 관한 결과를 분석하였다. 이들 종족들은 팽윤된 잔털의 직경의 차이가 크다는 점을 고려하여 선택하였다.

부분상관계수(표 II)는 *G. herbaceum*에 대하여는 모두 대단히 유의하지만 *G. hirsutum*에 대하여는 그렇게 뚜렷하지 않다. 모든 부분상관계수는 그들 각각의 γ_{01} 이나 γ_{02} 보다 낮다. 이 두 종족에 속하는 시료에서 얻은 데이터를 합하면 단순상관계수인 γ_{01} 과 γ_{02} 가 각각 0.866과 0.859인데 반해 부분상관치 $\gamma_{01 \cdot 3}$ 와 $\gamma_{02 \cdot 3}$ 는 0.747과 0.732인 것을 알았다. 즉 그 값이 떨어지는 정도는 그 종족들을 개개로 생각할 때 보다 훨씬 더 작다. 따라서 섬유 중량이 영향을 받지 않도록 한 후에라도 일반적으로 M_0 와 M_1 , 혹은 M_2 사이에는 뚜렷한 상관 계수가 존재한다는 것을 알게 된다.

<표 II> 성숙도와 섬도의 측정을 달리한 것 사이의 상관계수

相關係數	<i>G. arb.</i> <i>n</i> = 30	<i>G. hirs.</i> <i>n</i> = 40	<i>G. herb.</i> <i>n</i> = 40	<i>G. hirs.</i> 와 <i>G. herb.</i> 의 複合母集團 <i>n</i> =80	全體의母集團 <i>n</i> = 130
r_{01}	+0.558 ^a	+0.817 ^a	+0.899 ^a	+0.866 ^a	+0.861 ^a
r_{02}	+0.399 ^a	+0.788 ^a	+0.898 ^a	+0.859 ^a	+0.847 ^a
r_{12}	+0.818 ^a	+0.924 ^a	+0.956 ^a	NC	+0.959 ^a
r_{03}	NC	+0.822 ^a	+0.812 ^a	NC	NC
$r_{01 \cdot 2}$	NC	+0.317 ^b	+0.558 ^a	+0.747 ^a	NC
$r_{02 \cdot 1}$	NC	+0.270 ^c	+0.431 ^a	+0.732 ^a	NC

a = 1% 수준에서 매우 유의함

b = 5% 수준에서 유의함

c = 유의하지 않음

n = 시료수

NC = 계산하지 않았음

IV. 몇가지 이론적인 고찰

1. 수식의 유도

두 가지 압축도로 비표면적을 측정하여 그 차이를 섬유의 성숙도와 상관

시켜서 다음 수식을 유도하였다. 구멍이 많은 플러그를 통과하는 가스의 유속을 계산하는 Kozeny 방정식은 다음과 같다.

$$Q = \frac{a\Delta p}{K\mu S^2 L} \cdot \frac{V_3}{(1-V)^2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

여기서 Q = 가스의 유속

K = Kozeny 상수

Δp = 플러그 끝 간의 압력의 차이

a = 플러그의 단면적

V = 다공성, 즉 공간체적/전체체적

μ = 공기의 점도

S = 섬유원료의 비표면적

L = 플러그의 길이

마이크로네어 시험기로 시험했을 때 이 방정식은 다음과 같이 환산된다.

$$S^2 = \frac{C(\rho aL - m)^3}{QKm^2L^2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

여기서 $C = \Delta p / \mu \rho$, m = 섬유플러그의 질량, ρ = 면섬유의 유효밀도이다. 만약 Q, C 및 $(\rho aL - m)^3 / KL^2 m^2$ 을 안다면 방정식 (2)로부터 S를 계산해 낼 수 있다. C의 마이크로네어 시험기에 대한 상수이며 실험중에는 ΔP 가 변경되지 않으므로 Q의 값은 실험적으로 측정할 수 있다. 요인 $(\rho aL - m)^3 / KL^2 m^2$ 은 시료의 양과 사용한 압축도, 그리고 그 결과로서 생기는 다공성에 따라 결정된다. 그러나 한차례의 시험에 사용한 시료의 양과 압축도의 어떤 주어진 방식에 대하여 이 요인, $(\rho aL - m)^3 / KL^2 m^2$ 은 특별한 방식에 대한 일정한 값이라고 생각되며, 이 “결합된 상수”의 값(k)은 계산할 수 있다.

방정식 (2)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$S^2 = \frac{C}{Q} \cdot k \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

여기서 k 는 위에 언급한 “결합된 상수”이다.

2. Q의 계산

마이크로네어 시험기에서는 유속을 직접 읽지 못한다. 그러나 마이크로네어 튜브는 목적에 따라 유속에 관하여 직선적으로 생각할 수 있으므로 시험기의 곡선눈금에서 기록된 값(Y)을 눈금이 직선일 때 기록된 것과 동일한 값(X)으로 다음과 같은 관계식을 사용하여 환산할 수 있다.

$$Y = 0.101X^2 + 0.0413X + 2.314 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (4)$$

$$\text{고로 } X = \frac{Y - 2.314}{0.101} - 0.2045 (\text{제1근사치}) \cdot \cdot (5)$$

그리하여 유속이 $Q = AX+B$ 라는 형태의 식으로 표현됨을 알 수 있으므로 주어진 곡선눈금을 읽은 값에 대하여 그와 일치하는 직선눈금을 찾아낼 수 있다. 여기서 X 는 직선눈금을 읽은 값이고 A 와 B 는 시료참바 내에 이 T 는 솜뭉치의 성질과는 관계가 없는 상수이다.

3. k 의 계산

결합된 상수 k 의 값을 계산하기 위하여는 다공성에 따르는 Kozeny상수 K 의 값을 아는 것이 필요하다. 다공성 V 는 다음 식으로 계산한다.

$$V = 1 - \frac{4m}{D^2 L \rho} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (6)$$

여기서 m , D 및 L 은 각각 구멍이 많은 플러그의 질량, 직경 및 길이이다. 섬유(Lunmen을 포함한)가 차지하고 있는 부피가 다공성을 결정하므로 이를 계산하기 위하여는 여러 문헌들이 제시한 3가지 값의 평균치인 1.343g/cm^3 이라는 값을 사용하였다.

마이크로네어 시험기에서 유속에 대한 Lord의 실험방정식을 이론방정식(방

정식(1))과 항등식으로 비교하면

$$K = \frac{(1-V)^{-0.609}}{0.903V^2} \dots \dots \dots (7)$$

이다.

위에서 고찰한 것을 기초로 하여 세가지 다른 조건의 마이크로네어 시험에 대한 다공성의 값, Kozeny 상수 K 및 결합된 상수 k 를 계산하여 표 III에 나타내었다.

<표 III> 압축상태를 달리한 다공성과 Kozeny 상수

마 이 크 로 네 어 試 驗 條 件	多 孔 性 (V)	Kozeny 常 數 (K)	結 合 된 常 數 의 값 (gal·m ³)/KL ² m ²	
			常 數 의 값	表 示
플런저를 정상으로 한 50 grain 의 試料	0.8127	4.9965	8.8722	k_1
플런저를 정상으로 한 40 grain 의 試料	0.8500	4.8667	15.0366	k_2
플런저에 3/8in 스페이서를 사용한 50 grain 의 試料	0.8637	4.9965	13.5045	k_3

Y_1 , Y_2 및 Y_3 는 위의 3가지 시험조건에서 마이크로네어 눈금을 실제로 읽은 값이라 하자. 직선눈금에 일치하는 값 X_1 , X_2 및 X_3 는 방정식 (5)를 사용하여 계산할 수 있다. 만약 S_1 , S_2 및 S_3 가 위의 시험조건에 따른 유효 비표면적이라면

$$S_1^2 = \frac{Ck_1}{Q_1} = \frac{Ck_1}{AX_1 + B}$$

$$S_2^2 = \frac{Ck_2}{AX_2 + B}, S_3^2 = \frac{Ck_3}{AX_3 + B} \text{가 된다.}$$

윗 식에서

$$\left(\frac{1}{S_1^2} - \frac{1}{S_2^2} \right) = \frac{A}{C} \left(\frac{X_1}{k_1} - \frac{X_2}{k_2} \right) + \frac{B}{C} \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \right)$$

그리고

$$\left(\frac{1}{S_1^2} - \frac{1}{S_3^2}\right) = \frac{A}{C} \left(\frac{X_1}{k_1} - \frac{X_3}{k_3}\right) + \frac{B}{C} \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_3}\right)$$
 임을 알 수 있다. 이제 어떤 특성치로서 $\left(\frac{1}{S_1^2} - \frac{1}{S_2^2}\right)$ 과 $\left(\frac{1}{S_1^2} - \frac{1}{S_3^2}\right)$ 을 상관시키기 위하여 $\frac{A}{C}$, $\frac{B}{C} \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2}\right)$ 및 $\frac{B}{C} \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_3}\right)$ 항이 상수이므로 $\left(\frac{X_1}{k_1} - \frac{X_2}{k_2}\right)$ 와 $\left(\frac{X_1}{k_1} - \frac{X_3}{k_3}\right)$ 항을 대신 사용해도 된다. 이들로부터 비표면적 제곱의 역수를 취한 차이는 다른 시험조건으로 측정된 마이크로네어값의 차로부터 구할 수 있게 된다. 면의 비표면적은 시험조건에 관계없이 보통 같다고 생각된다. 그러나 Hertel과 Craven이 보임 것처럼 섬유의 미성속도가 주원인으로 작용하여 다른 시험조건에서는 비표면적의 뚜렷한 차이를 가져온다. 압축도를 달리해서 마이크로네어 값을 측정할 때 차이는 비표면적 제곱의 역수를 취한 값의 차이와 상관하여 위에 나타냈으며 이들 차이는 섬유의 성속도에 따라 달라지게 된다. 이것은 이 연구에서 사용한 60가지 면시료의 매개변수를 계산하여 얻은 $\left(\frac{X_1}{k_1} - \frac{X_2}{k_2}\right)$, $\left(\frac{X_1}{k_1} - \frac{X_3}{k_3}\right)$ 와 성속도 계수사이에 각각 0.83과 0.84의 유의한 상관으로 입증된다.

V. 요약 및 결론

마이크로네어 시험기를 사용하여 면섬유의 성속도를 측정하기 위한 간단한 방법이 개발되었다. 이 방법에서는 40grain과 50grain의 시료로서 시험을 행하였으며 마이크로네어 시험기에서 읽은 값의 차이를 기록하였다. 이들 차이는 가성소다 팽윤법으로 측정한 것처럼 섬유의 성속도와 매우 큰 상관관계가 가지고 있으며 이 방법이 스페이서를 사용한 방법만큼 유효하다는 것을 알았다. 관찰된 결과는 다른 압축조건에서 섬유플러그를 통과하는 기류의

이론적인 고찰에서 설명되었다.