방적사 불균제도 평가의 기초

1. 서 언

이상적인 방적사란 기기학적 구조와 그 물리적 성질이 실의 길이에 다라서 완전히 균일한 실을 말한다. 여기에서 기하학적인 구조란 실의 지름, 섬도, 섬유혼방율(혼방사의 경우), 꼬임 수, 단위길이에 있는 잔털수 등을 말하고 물리적 성질이란 강력, 신도 및 기타 역학적 성질 등을 포함한다.

이러한 이상적인 방적사를 추구하는 방적기술자들의 꿈을 달성하려는 노력 때문에 문제되는 방적사의 성질이 불균제도(unevenness)이다. 불균제도의 정의는 ASTM에 의하면 연결된 스트랜드(strand)의 면섬도의 변동으로 이것을 나타내는 중요량에는 다음의 3가지가 있다.

( ) 변동계수(CV) : 방적사의 선밀도의 평균 선밀도로부터의 차의 제곱의 평균치의 제곱근을 측정길이 시료의 평균선밀도에 대한 백분율로 표시한 것

( ) 평균편차 백분율(υ) : 방적사의 선밀도의 평균선밀도로부터의 차의 색대치의 측정 길이 시료의 평균 선밀도에 대한 백분율로 표시한 것.

( ) 평균범위 백분율(R) : 일정길이 단위내의 선밀도 범위의 평균치의 측정길이 시료의 평균 선밀도에 대한 백분율로 표시한 것.

이와같이 방적사의 불균제도를 선밀도의 변동으로 규정하는 것은 방적사의 모든 기하적 및 물리적성질의 불균제도는 직접 또는 간접적으로 어떤 특별한 방법에 의하여 선밀도의 변동과 관련을 지을수 있기 때문이다.

불균제도의 측정 방법은 일반적인 공업측정원리대로 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 검출은 시료의 지름, 전기저항, 전기용량, 선의 흡수량 등 여러 가지로 시행할 수 있으나 가장 많이 사용되는 방법은 전기용량의 변화로 시행하는 것이다. 이 용량 변화를 전압으로 변환한 다음, 증폭하고

연산부에서 불균제도 평균치, 평균편차 백분율 등으로 계산하고 이것을 동시에 기록부에서 기술한다.

검 출 → 증 폭 → 연 산 → 기 록

<그림 1>. 공업측정 원리

불균제도 측정시 전기용량을 전압으로 변환하는 방법에도 주파수 변조법, 공진법, 교류 Bridge법 등 여러 가지가 있는데 주파수 변조법의 원리를 응용한 것이 Uster시험기이다.

2. Uster 불균제도 측정법

A. 측정원리

Uster 측정장치는 고주파 미소 용량 측정법을 그 원리로 한다. 즉 고정한 축전기의 사이에 시료를 보냄에 의하여 생기는 전기용량의 변화를 측정하는 것으로 어느 조건하에서 전기용량의 변화는 시료의 굵기에 비례하는 것을 그 원리로 한 것이다.

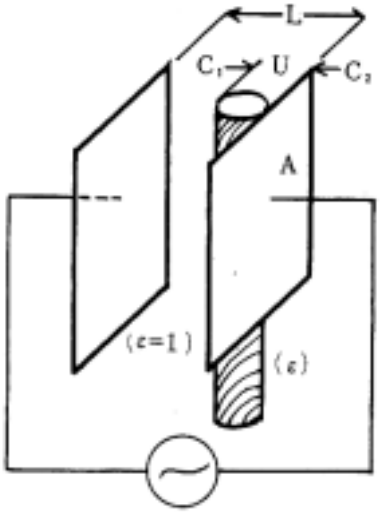
그림 2에 보인 판축전기에 있어서 그 극판의 넓이를 A, 극판간의 거리를 L, 극판사이의 유전율을 ε이라고 하면 전기용량 C는

$$C = \frac{\varepsilon A}{4\pi L} \text{ ----------(1)}$$

로 표시된다(공기의 경우 ε=1).

실제로 축전기 판면에 굵기 u, 도전율 ε의 시료가 들어있는 경우의 전기용량을 C, 없을 때의 용량을 C_0라고 하면 두 경우의 전기용량의 차 ΔC는

$$\Delta C = C - C_0 \text{ ----------(2)}$$



<그림 2> 판축전기의 원리

가 된다. 축전기안에 시료가 있을 대의 축전기는 두께(L-u)의 공기만을 함유한 축전기와 두께 u의 시료만을 채운 축전기를 직렬로 연결한 것이라고 생각하여 각각의 용량 C_1, C_2라고 하면

$$C_1 = \frac{A}{4\pi(L-u),} \quad C_2 = \frac{\varepsilon A}{4\pi u} \quad \text{----------(3)}$$

가 된다. 이 직렬 축전기의 전기용량의 합 C는

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{----------(4)}$$

의 관계가 있으므로 (3)식을 (4)에 대입하여 C에 관하여 풀면

$$C = \frac{\varepsilon A}{4\pi[\varepsilon(L-u)+u]}$$

가 된다. (2)식에 의하여 $\frac{\Delta C}{C_0}$ 관계를 만들면

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\varepsilon L}{\varepsilon(L-u)+u} - 1 \quad \text{----------(5)}$$

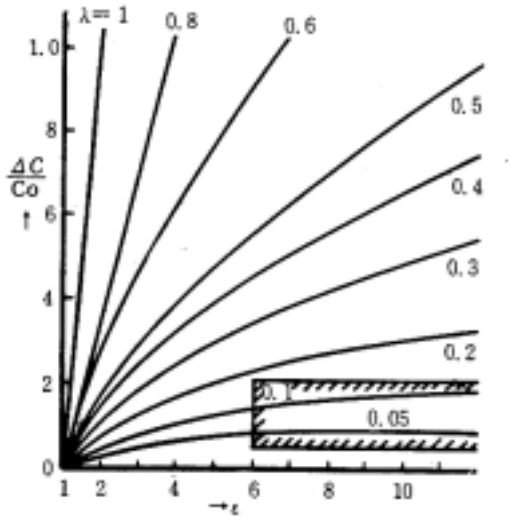
가 된다. 여기에서 극판거리에 대한 시료 굵기의 비를 $\frac{u}{L} = \lambda$라고 하면 (5)식은

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon(\frac{1}{\lambda} - 1) + 1} \quad \text{----------(6)}$$

이 된다. 시료가 극판사이를 점유하는 비율 λ가 1~0.05의 경우에 대하여 (6)식을 plot한 것이 <그림 3>이다. 이 그림에서 보면 λ가 0.2이하인 경우 시료의 유전율은 전기용량 변화에 민감하게 영향을 미친다. 즉 유전율이 커지면 용량변화도 증가하여 시료의 유전율이 용량변화에 큰 영향을 미친다. 그러나 λ가 0.1이하인 경우에는 시료의 유전율은 ΔC에 거의 영향을 받지 않는다. 이 때에는 $\varepsilon \gg 1$이고 $\lambda \ll 1$이므로 (6)식은

$$\frac{\Delta C}{C_0} \cong \lambda = \frac{u}{L} \quad \text{----------(7)}$$

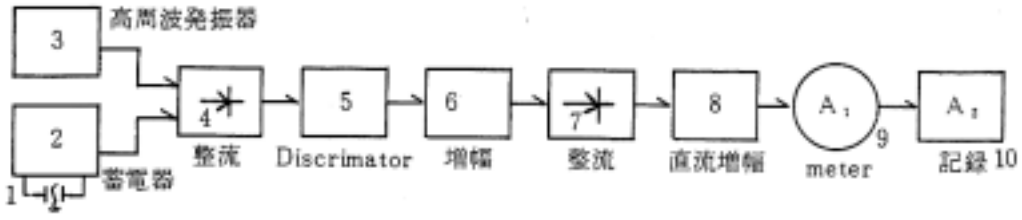
로 되어 전기용량의 변화는 시료의 굵기만에 비례하게 된다. 즉 시료의 극판사이의 점유율이 작은 경우(0.1이하)에는 시료의 수분율은 전혀 전기용량에 영향을 미치지 않고 시료의 굵기만이 전기용량 변화에 관계되며 실제로 Uster시험기는 각 전극의 측정범위가 극판점유율이 크면 시험을 행할 수 없게 설계되어 있다.



<그림 3> 유전율과 용량변화와의 관계

B. 작동원리

불균제도 측정기의 구성을 블록 다이어그램(block diagram)으로 나타낸 것이 <그림 4>이다. 이 시험기에는 2개의 고주파 발진기 2, 3이 있어 이것으로부터의 주파수를 중첩시킨다. 한 개의 발진기는 독립으로 일정한 주파수로 발진하나 다른 쪽 발진기의 주파수는 시료의 단면의 변화에 따라서 변화한다. 시료는 축전기 1을 통하여 주행하고 이 측정 축전기가 한족 발진기의 발진회로의 축전기가 된다. 시험 중 시료는 측정 축전기의 도전체의 일부가 된다. 시료가 축전기중에 없는 경우 2개의 발전기는 동일 주파수로 발진한다. 시료가 측정 축전기중의 주행하면 시료 단면의 변화가 축전기의 용량을 위의 (A)에서 설명한 바와 같이 변화시켜 발진 주파수가 변동한다. 이 발전기와 고정 발전기의 주파수의 차가 변동한다. 이 발전기와 고정 발전기의 주파수의 차가 디스크리메이터(discrimator) 5에서 전압으로 변환되어 전압변동이 된다. 이것이 증폭기 6에서 증폭되어 표시미터(meter) 9에 이른다. 기록계는 meter와 같은 회로에 연결된다.



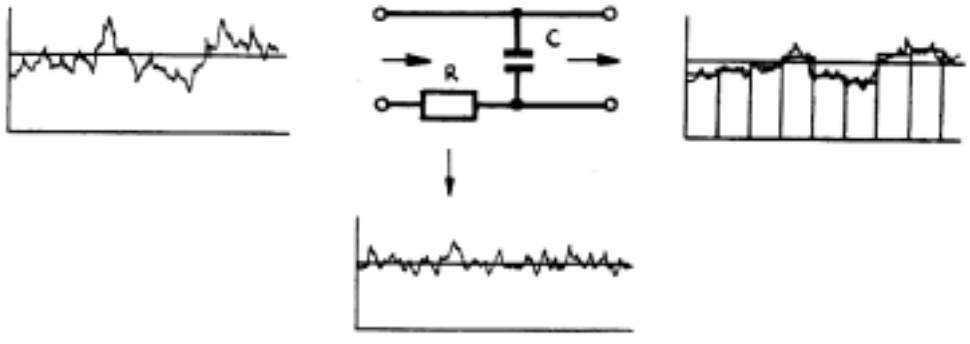
<그림 4> 불균제도 측정기의 Blockdiagram

미터의 눈금의 중앙과 기록계의 중심선은 시료의 평행치와 대응되고 시료의 단면 변동의 표시는 평균단면에 대한 백분율로 교정된다. Meter의 좌우는 각각 시료단면의 감소 또는 증가를 나타낸다. 눈금의 전 폭을 유효하게 사용하게 사용하기 위해서 전 눈금폭을 ±100%, ±50%, ±25%, ±12.5%의 4단계로 사

용한다.

C. Normal 시료와 Inert 시험

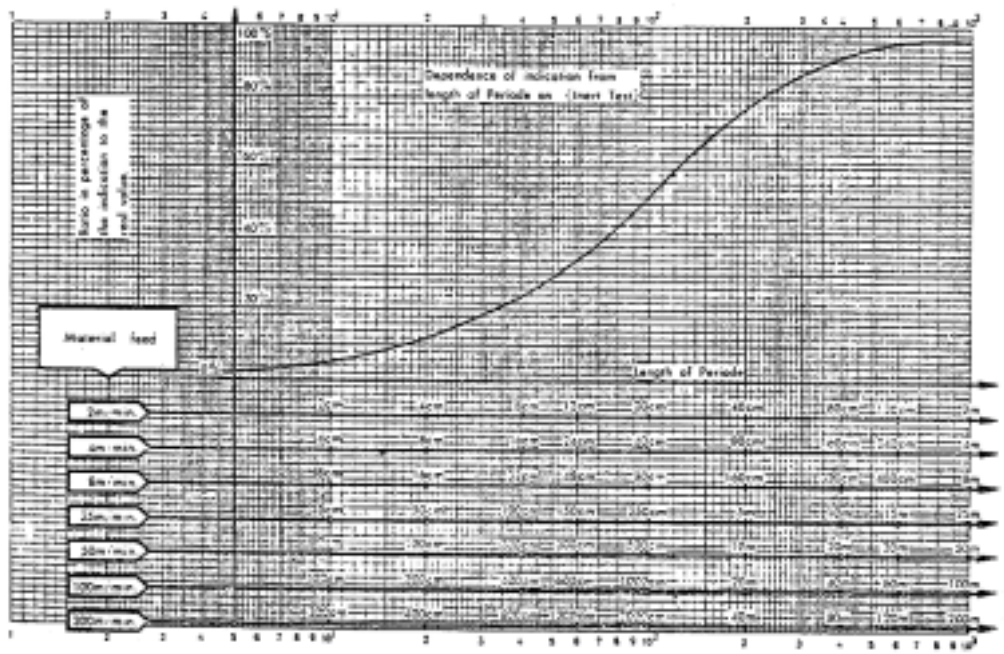
불균제도 측정기는 시료의 단면에 비례하는 전압을 발생시킨다. 그런데 실의 불균제도는 여러가지 파장의 변동으로 이루어지고 파자의 차는 주파수의 차에 대응된다. 그러므로 간단한 전기적 여과기에 의하여 장주기 변동과 단주기 변동을 분리할 수가 있다. 이 전기적 필터는 <그림 5>와 같은 간단한 저항과 축전기의 조합으로 이루어진다. 축전기 C의 양 끝에는 불균제도 곡선의 평균치에 상당하는 전압이 나타나고 저항의 양끝에는 단주기 변동에 해당하는 AC전압이 발생한다. 불균제도 측정기에서는 장치를 “Inert Test”로 고정하면 축전기 C의 전압이 나타난다. 어느 시료 속도로 시험기를 “Inert”에 고정하여 시험하면 그 속도에 대응하여 전극을 길게한 것과 같은 불균제도 곡선이 얻어진다. 이것은 길게 한 전극의 길이와 같은 길이로 시료를 절단했을 때의 절단 평량법의 결과와 같게 된다.



<그림 5> 전기적 필터

따라서 “Inert Test”는 장주기 변동을 조사하는 번수변동시험에 해당하며 이

때의 겉보기 전극길이는 이 시험과 동일결과를 나타내는 절단평량법의 절단 길이에 해당하는 것으로 이것을 해당절단 길이(equivalent cut length)라고 한다. 이 인공적으로 얻어진 전기 겉보기 길이는 시료의 속도에 따라 달라진다. <그림 6>은 “Inert Test”일 때 각 속도에서 어느 파장의 변동은 몇 %까지 표시하는가를 보인 것이다. 이 그림으로부터 어느 파장의 변동을 명확히 표시하기 위해서 어느 속도로 해야 하는가를 알 수 있다.



<그림 6>

D. 혼방사의 시험

어떤 방적사가 도전율이 다른 여러 섬유로 혼방된 경우에 이것이 방적사의 불균제도에 영향을 미친다. 그러나 실제의 경우 그 영향은 무시할 정도이다. 이것을 설명한다. 먼저 혼방사를 구성하는 사에 대한 불균제도 시험을 시행한다. 즉 면/폴리에스터 혼방사의 경우에는 순면사와 순폴리에스터사의 시험을 행한다. 또 각각의 섬도는 혼방 성분의 섬도이다. 즉

성분 1 tex 1 불균제도 U_1 %

성분 2 tex 2 불균제도 U_2 %

성분 3 tex 3 블균제도 U_3 %

혼방사 tex(1+2+…) 불균제도 U_M %

혼방사의 경우 어느 단면에서든지 성분섬유가 임의(random)로 분포하고 있다고 하고 계산한다. 무게를 기준으로 한 불균제도를 U_M 라고 하고 이것을 공칭치라고 한다. 한편 불균제도 측정기로 미리 측정치 U_M 를 얻는다. 이 U_M 은 불균제도 측정기로 혼방사를 시험하는 경우의 오차에 의하여 공칭치 U_M 와 약간 다를지도 모른다. U_M 는 다음 식으로 계산한다.

$$U_M = \frac{1}{tex(1+2+\cdots)} \times \sqrt{(U_1 tex_1)^2 + (U_2 tex_2) + \cdots} \quad \text{----------(8)}$$

예를 들면 면과 비스코스의 혼방사(50:50)의 섬도는 40tex이다. 그러므로 각각 20tex의 면사와 비스코스사의 U% 를 10.6%와 15.4%라고 하고 혼방사의 측정 U 값은 U_M =9.0%이다. 그런데 무게에 기준을 둔 방법에 의하여 구한 U_M 는

$$U_M = 1/40\sqrt{(10.6\times 20)^2 + (15.4\times 20)^2} = 9.3\%$$

이다. 여기에서 보면 불균제도 측정기에서 얻은 값은 0.3% 즉 상대치로 3% 적다.

혼방비가 1:1이 아니고 1:2, 1:3이 되면 오차는 무시할 정도로 작아진다. 즉

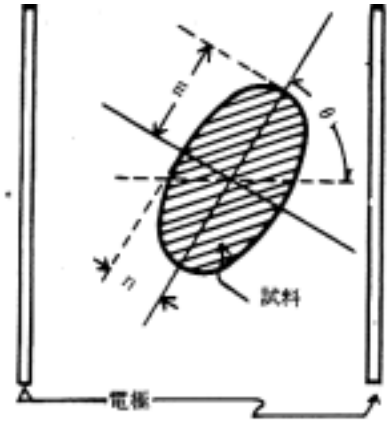
혼방사를 시험하는 경우 다소 오차는 있으나 거의 무시할 정도로 작다.

E. 시료 형태의 경향

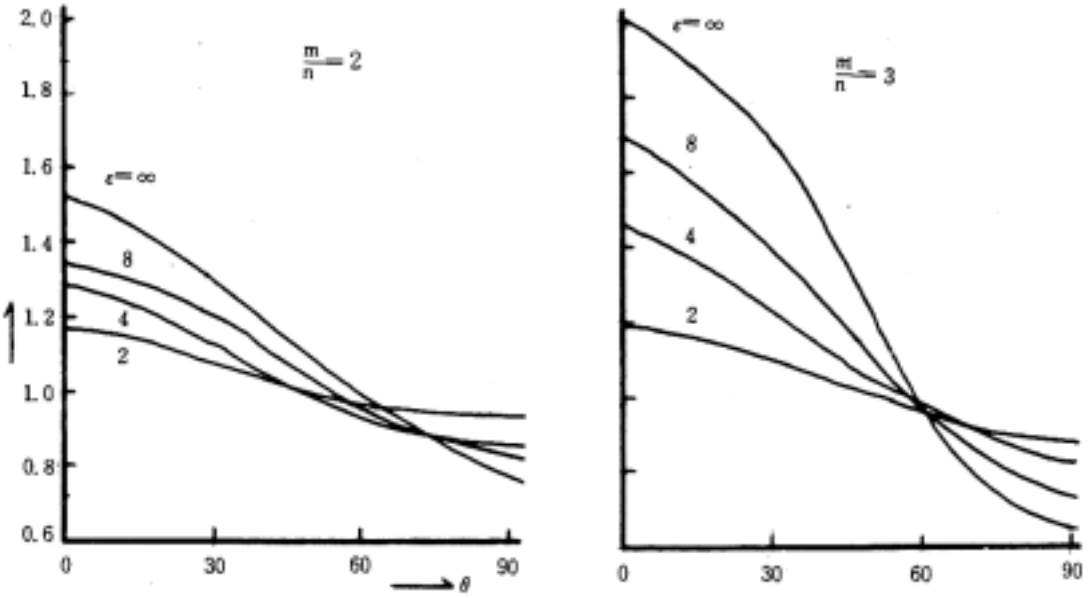
전극내에 들어가는 시료의 단면이 편평하든가 타원형이고 또 판극에 대하여 θ각을 이루고 있는 경우의 용량 변화에 미치는 영향에 대하여 생각한다. 지금 <그림 7>에 보이는 바와 같이 시료의 도전율을 ε, 타원 시료의 경우 장직경 m, 단직경 n, 경사각을 θ라고 하면 이 시료와 도전율, 단면적이 각각 서로 같고 단면이 완전한 원인 시료에 대한 용량비 ζ는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\zeta = \frac{(\varepsilon+1)(m+n)}{2}\left(\frac{\cos^2\theta}{m+\varepsilon n}+\frac{\sin^2\theta}{n+\varepsilon m}\right) \quad \text{----------(9)}$$

또 장단지경비 (m/n)가 2와 3일 때의 ζ, ε, θ의 관계가 <그림 8>에 도시되어 있다. 여기에서 보면 극판에 대한 경사는 장단직경비가 클수록 튼 영향을 미치므로 필라멘트 사용 Uster 시험기(C형)에는 가연장치를 부설하여 형태효과의 영향을 작게 하고 있다.



<그림 7> 타원시료의 영향



<그림 8> 시료경사각과 용량비와의 관계

3. 불균제도의 실용적 척도

방적사, 로빙, 슬라이버 등의 불균제도에는 측정기에서 읽은 통계적 방법에 의한 U%, CV% 등이 있다. 그러나 실용적 견지에서 볼때에 이 불균제도가 이상치(도는 표준치)와 얼마나 차가 나는 가를 알고 싶은 경우가 많다. 이때 불균제도의 이상치에 대한 비교값이 필요한데 이에는 I계수, L계수 등 여러 가지가 있다.

(A) U%

서론에서 언급했듯이 U%는 평균편차 백분율이다. 이것은 변동을 표시하는 한 방법으로 측정치의 평균치로부터의 일차 편차의 절대치 x_i의 도수를 f_i라고 하고 또 그 평균치를 μ라고 하면

$$m_d = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} f_i |x_i - \mu|$$

로 표시되며 U는

$$U = \frac{md}{\mu} \times 100(\%) \quad \text{----------(10)}$$

이다.

그런데 Uster 시험기에서 읽은 U%는 정확히 말하면 위의 U와 같지 않고 원리적으로만 비슷하다. 즉 Uster 측정기에서는 실의 불균제도의 변화를 충실히 재현하여 검출하는 것이 아니라 어느 폭을 가진 픽업(pick up)으로 측정하는 것으로 그 만큼 원래의 변동을 이동평균한 것에 대한 것의 평균편차 백분율 U를 아나로그(analog) 계산한 것이다.

불연속 변수인 x_i 대신에 연속변수 $x(t)$에 대한 평균편차는

$$md = \frac{1}{T}\int_0^T |x(t) - \mu| dt \quad \text{----------(11)}$$

이고

$$U = \frac{100}{T\mu}\int_0^T |x(t) - \mu| dt \quad \text{----------(12)}$$

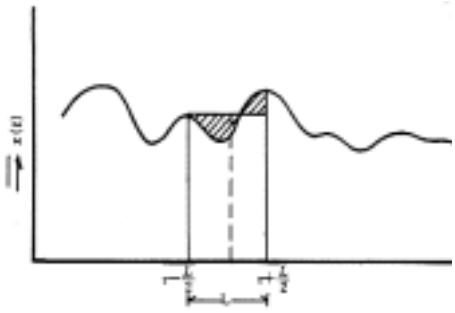
가 된다. 이 $U\%$와 CV%와의 관계는 data가 정규분포를 이루고 있는 경우에는

$$\frac{CV}{U} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cong 1.25 \quad \text{----------(13)}$$

로 나타낼 수 있다. 즉 $U\%$에 대해서만 생각하면 CV%에 관한 사항도 쉽게 알 수가 있다.

Uster의 U%의 의미

Uster 측정기의 픽업(pick up)부는 일정한 폭을 갖고 있고 그 폭사이를 통과하는 시료의 용량의 변화를 측정하는 것이다. 따라서 이 측정기로 얻은 곡선은 진 불균제도 곡선이 아니라 픽업의 폭에 상당하는 길이로 이동평균을 취한 결과의 곡선이다. 픽업의 폭이 실의 불균제도의 주기에 비하여 충분히 작으면 대체로 불균제도 곡선 자체가 얻어진다고 볼 수 있다. 그러나 10~50mm인 폭으로 측정한 결과는 통계적인 $U\%$와 Uster $U\%$는 차가 있다고 보아야 한다. 따라서 이대 얻어지는 이동평균 계열에 대한 평균편차 백분율이 Uster $U\%$인 것으로 불균제도의 진평균편차백분율에 근사하나 엄밀하게 같다고는 볼 수 없다.



<그림 9> 변동-시간 곡선

지금 <그림 9>에서 원변동을 $x(t)$라고 하면 이것이 폭 L인 Uster의 픽업헤드(pick up head)에서 평균되어 다음 식 $g(L,\tau)$와 같은 곡선이 된다. 즉

$$g(L,\tau)=\frac{1}{L}\int_{\tau-\frac{L}{2}}^{\tau+\frac{L}{2}}x(t)dt \quad \text{----------(14)}$$

$g(L,\tau)$의 평균치를 $\bar{g}$라고 하고 t를 길게 한 경우 $\bar{g}$는 $\bar{x}$와 같아진다. 따라서 이때 Uster 측정기로 계산된 $U\%$는 실제로는

$$Uster(\%) = \frac{100}{\bar{g}} \frac{1}{t} \int_0^t |g - \bar{g}| d\tau \quad \text{----------(15)}$$

이다. 즉 측정 헤드의 길이 L로 이동평균화를 행한 결과에 대한 평균편차 백분율이다. 예를들어 원변동을 간단히 정현곡선이라고 하면

$$x(t) = a + b\sin(\frac{2\pi}{T}t) \quad \text{----------(16)}$$

(a, b는 상수로 $a>b$ 임)

로 나타낼 수 있고 그 평균편차 백분율 U는

$$U = \frac{100}{a} \frac{1}{t} \int_0^t \left| b\sin(\frac{2\pi}{T}t) \right| dt$$

가 되고 한편 τ 의 위치에 있어서 길이 L간의 평균 굵기 즉 헤드구간 L의 이동평균 g는

$$g = \frac{1}{L} \int_{c-\frac{L}{2}}^{c+\frac{L}{2}} \{a + b\sin(\frac{2\pi}{T}t)\} dt$$

$$= a + \frac{bT}{\pi L}\sin(\frac{\pi}{T}L)\sin(\frac{2\pi}{T}\tau)\} \quad \text{----------(17)}$$

$$\bar{g} = a$$

가 되고 따라서 Uster U% 즉 Uster는

$$Uster(\%) = \frac{100}{a} \frac{1}{t} \int_0^t |g - \bar{g}| d\tau \quad \text{----------(18)}$$

이다. 여기에서

$g - \bar{g} = \frac{bT}{\pi L}\sin(\frac{\pi}{T}L)\sin(\frac{2\pi}{T}\tau)$ 이므로 (18)식은

$Uster = \frac{100}{at} \frac{T}{\pi L} \left| \sin\frac{\pi}{T}L \right| \int_0^t \left| b\sin(\frac{2\pi}{T}\tau) \right| d\tau$ 가 된다.

그러므로 Uster와 평균편차 백분율 U와의 비는

$$\frac{Uster}{U} = \frac{T}{\pi L}\left|\sin(\frac{\pi}{T}L)\right| \quad \text{----------(19)}$$

이 되고 head 폭이 주기 T에 비하여 충분히 작은 경우에는

$$\frac{Uster}{U} \cong 1$$

이 된다. 그러나 L이 커서 Uster가 U보다 크게 되는 수도 있다. 또 $L = \frac{T}{2}$가 되면 Uster 값은 0이 된다. 이와 같이 생각하면 Uster의 head의 폭을 선정하는 방법은 불균제도의 지배적인 주기에 대하여 언제나 작게해야 한다는 것을 알 수 있다.

(B) I 계수

Martindale 등의 물리적 연구에 의하면 스테이플 섬유로 만든 실은 완전히 균일할 수가 없다. 즉 아무리 완전한 조건에서 방출한다 하더라도 방적사는 구성섬유가 완전히 임의분포를 하고 있는 경우에 생길 수 있는 최소한의 불균제도를 갖는다. 이것을 임계불균제도(Limit Irrergularity)라고 하고 U_{lim}으로 표시하여 다음과 같은 관계를 갖는다. 즉

$$U_{lim} = \frac{80}{\sqrt{n}}\sqrt{1 + 0.0004V_D^2} \quad \text{----------(20)}$$

여기에서

n는 실의 단면의 평균섬유수

V_D는 섬유단면 지름의 변동계수

이때 어느 방적사의 실제불균제도(U_{eff})의 에 U_{lim} 대한 비를 불균제도지수(Irregularity Index)라고 하며 이것을 I로 표시한다. 즉

$$I = \frac{U_{eff}}{U_{lim}}$$ ----------(21)

이상적인 경우 I=1이 되나 실제로는 I는 1보다 크다. 즉 I값은 어던 시료가 이상적 조건과 얼마나 차가 나는가 또는 방적사가 어느 정도 좋은 조건에서 운전되고 있는 가를 나타낸다.

예를 들면 N_F를 섬유의 meter식 섬도, T_F 를 섬유의 Tex, d_F를 섬유의 지름, N_m을 실의 미터(meter)식 번수, T를 실의 tex라고 하면 면사의 경우 일반적으로 V_D를 무시하면

$$U_{\lim} = \frac{80}{\sqrt{n}} = 80\sqrt{\frac{N_m}{N_F}} = 80\sqrt{\frac{T_F}{T}}$$ ----------(22)

가 되고

$$I = 0.0125U_{eff}\sqrt{\frac{N_F}{N_m}} = 0.0125U_{eff}\sqrt{\frac{T}{T_F}}$$ ----------(23)

이 된다. 섬도 1.5DENIER인 면을 사용하여 N_m 10의 면사의 불균제도를 측정하여 U_{eff}=6.4%를 얻는 경우 불균제도지수 I는 1.5deneir는 6000 N_m 이므로

$$I = 0.0125(6.4)\times\sqrt{\frac{6000}{10}} = 1.96$$

이 된다.

(C) Z-계수

방적사의 실제 불균제도 U_{eff}는 임계불균제도 U_{lim}와 부가불균제도 U_{zus}는 섬유가 임의로 배열되지 못하여 생긴 불균제도, 기타 드래프트(draft)의 불균일 등 여러가지 원인으로 새긴 불균제도를 말한다.

여기에서

$U_{eff}^2 = U_{lim}^2 + U_{zus}^2$ ----------(24)

의 관계가 있고 또 경험에 의하면 U_{zus}^2은 U_{lim}에 비례하므로

$U_{zus}^2 = ZU_{lim}$ ----------(25)

로 둘때의 비례상수 Z가 방출사의 평가에 사용되는 지수(parameter)가 된다. (21)식의 제곱을 만들어서 (24), (25)식의 관계를 대입하면

$$I^2 = \frac{U_{eff}^2}{U_{lim}^2} = 1 + \frac{U_{zus}^2}{U_{lim}^2} = 1 + \frac{Z}{U_{lim}}$$ ----------(26)

이 된다. 그러므로

$Z = U_{lim}(I^2 - 1)$ ----------(27)

이 되며 이 Z-계수는 I 계수보다 편리하며 방출사의 번수에도 관계없이 품질의 급수(grade)를 나타낸다.

예를 들면 N_m 15, U_{lim} =4%, I=1.75인 경우의 Z-계수는 (27)식에 의하여 Z=8.25가 되며

N_m 60의 경우 U_{lim}는 $\frac{60}{15}$배로 되어 U_{lim}=8%가 된다. Z는 번수에 무관하므로 U_{eff}를

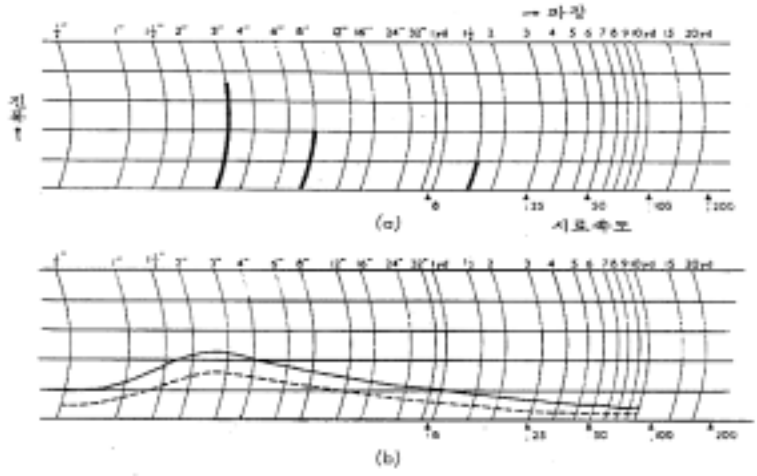
$U_{eff} = U_{lim}(U_{lim} + Z)$ 식에서 구하면 U_{eff}는 11.4%가 되며 I계수는

$I_{60} = \frac{11.4}{8} = 1.43$이 된다.

4. 스펙트로그램(spectrogram)

불균제도 측정기에 의하여 일반적으로 측정되는 양은 U%나 CV%로 이것은 시료의 단면변동의 정도를 뜻하다. 그러나 방적사는 방적공정 중에 부적

당한 기기조정, 기기의 결함, 원료 성질의 특이성 등 때문에 시료의 단면이 주기적으로 변동하는 수가 있다. 이렇게 방적기의 기기적 결함 때문에 주기적 변동이 생기면 결함의 장소는 방적기 구종와 그 변동의 파장으로부터 쉽게 찾아낼 수 있다. 이 주기적 변동의 차는 작더라도 최종제품에서는 그 영향이 크게 나타날 수도 있다. 주기적 변동이 현저하면 그 진폭과 파장은 비교적 간단히 구할 수 있으나 강한 주기 변동과 약한 주기 변동이 겹쳐 있어 그 진폭이 시료의 길이 방향에 다라서 변화하고 있는 경우는 주기 변동을 구하기 곤란하다. 스펙트로 그래프는 파장을 함수로 하여 주기 변동의 상대적인 값을 구한는데 사용하는 것으로 자동적으로 불균제도 스펙트럼이 기록된다. 종좌표는 선형으로 불균제도의 진폭을 나타내고 횡자표는 log scale로 되어 있고 파장을 나타낸다. 만일 어떤 시료가 파장 3^{yd}, 8^{yd}, $1\frac{1}{2}^{yd}$ 에서 주기적인 결함이 있을때에는 그것이 <그림 10>과 같이 보이면 3 in 파장의 주기적 변동이 제일 큰 진폭을 갖는다. 그러나 실제로 방적사는 파장이 다른 여러 불균제도를 동시에 함유하고 있으므로 <그림 10(b)>와 같은 연속적인 곡선이 된다. 이것을 불균제도 스펙트럼이라고 한다.



<그림 10> 스펙트로그램의 예

섬유의 임의 배열 때문에 어떤 방적사이건 임계 불균제도 이하로 불균제도를 작게 할 수 없다는 것은 이미 설명한 바 있다. 이와 마찬가지로 실제 방적사의 스펙트로그램을 검토하기 위해서는 임의배열에 의한 방적사가 어떤 형태의 스펙트럼을 나타내는 가를 알아 볼 필요가 있다. Felix의 이론적 연구에 의하면 이상적인 스펙트로그램은 실의 단면 올의 수와 섬유길이, 즉 원료의 스테이플 다이어그램(staple diagram)에 의하여 결정되는데 특정 섬유에 있어서 그 관계는

$$S(\log\lambda) = \frac{1}{\sqrt{\pi n}} \frac{\sin\frac{\pi l}{\lambda}}{\sqrt{\frac{\pi l}{\lambda}}} \quad \text{----------(28)}$$

여기에서 $S(\log\lambda)$= 횡축을 대수로 표시한 진폭 스펙트럼

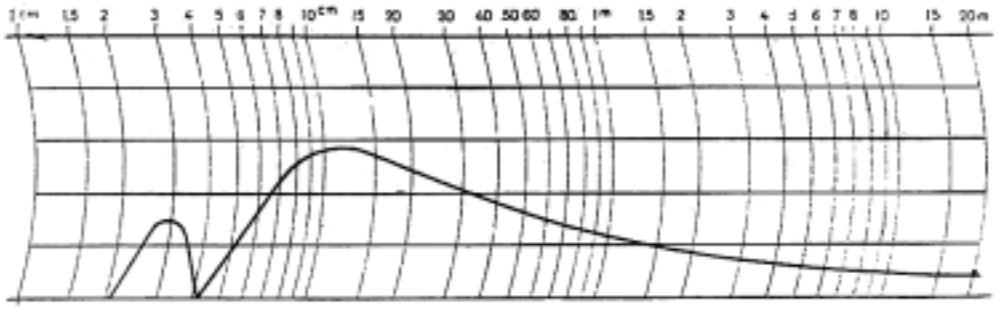
n=단면 평균 섬유수

l =섬유길이

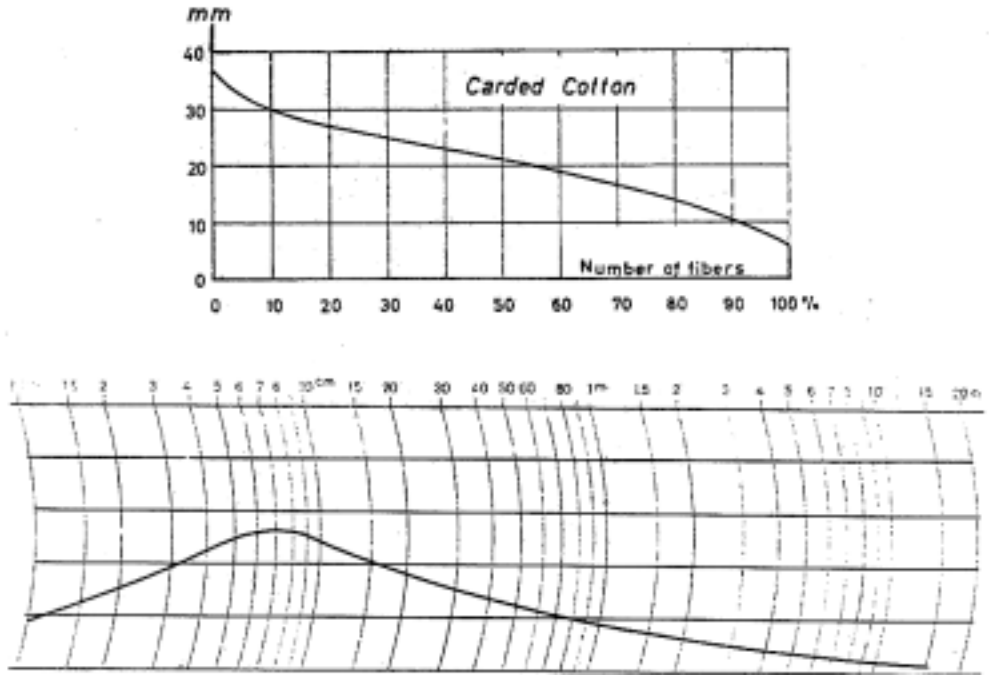
λ =파장

로 된다. 이것을 도시한 것이 <그림 11>이며 주기변동의 진폭의 최대점은 섬유길이의 약 2.7배의 파장의 곳에서 나타난다.

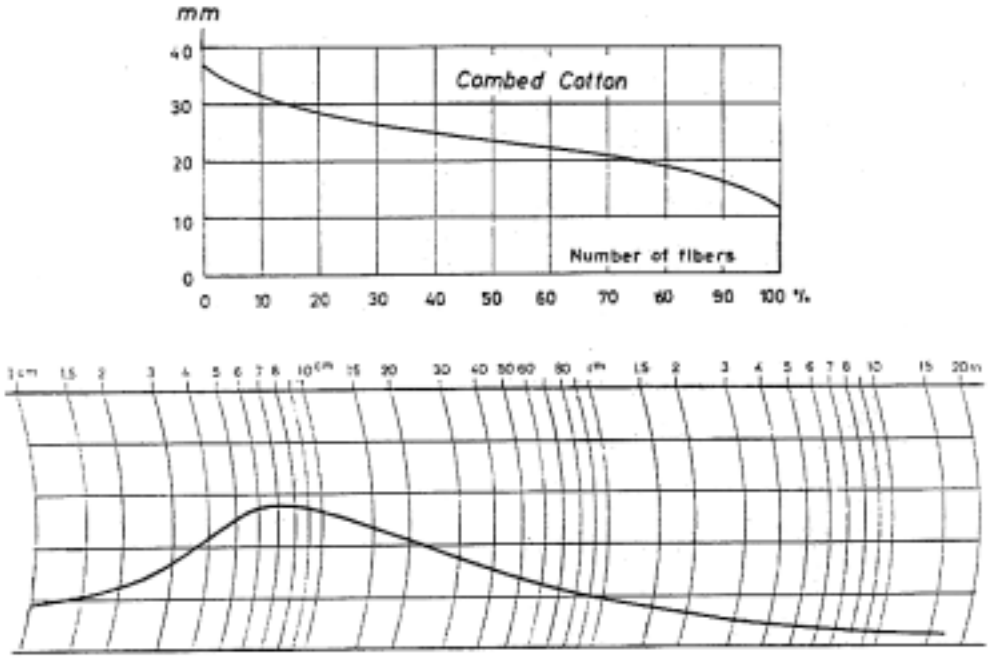
<그림 12>와 <그림 13>은 각각 소면사와 정소면사의 이상 스펙트로그램을 스테이플 다이어그램과 함께 보인 것이다.



<그림 11> 등장섬유 방적사의 스펙트로그램

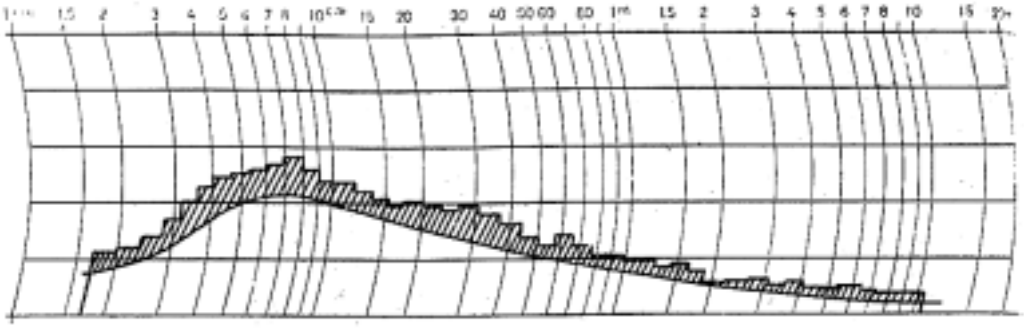


<그림 12> 소면사의 이상 스펙트로그램

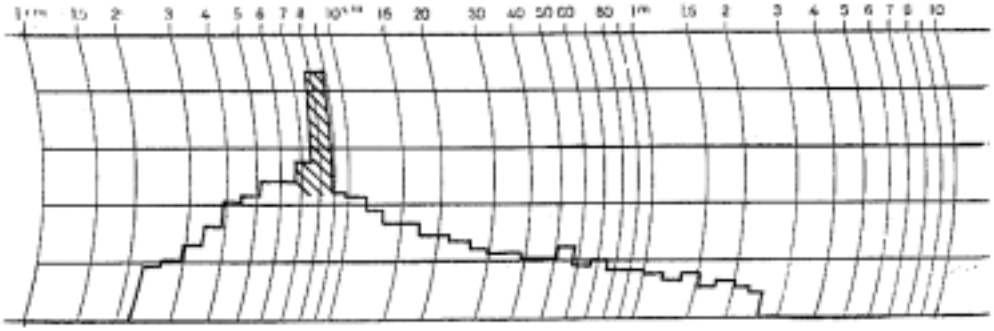


<그림 13> 정소면사의 이상 스펙트로그램

실제로 방적사에 있어서는 거의 기기적 결함이 없을지라도 I는 1보다 약간 크다.



<그림 14> 정규 스펙트로그램의 일예



<그림 15> 주기적 결함이 있는 스펙트로그램의 예

이와 같은 시료에 대하여 얻는 스펙트로그램은 이상 스펙트로그램에 대하여 전체적으로 진폭이 I만큼 큰 매끈한 곡선이 된다. 이것을 정규(normal) 스펙트로그램이라고 하며 한 예를 보인 것이 <그림 14>이다. 실제로 방적공정의 결함에 의하여 생긴 불균제도를 스펙트로그램으로 쉽게 찾아낼 수 있는데 그것은 정규 스펙트로그램으로부터의 차가 결함을 나타내기 때문이다. 주기적 결함이 있는 스펙트로그램의 한 예를 보인 것이 <그림 15>이다. 여기에서 보면 1개의 극대치가 있는데 이것은 롤러의 편심과 같은 회전부분의 결

함으로부터 생긴 주기적 결함이다. 이것은 40’s 정소면사의 경우로 톱 롤러(top roller)가 5/1000 편심되었기 때문에 생긴 것이다.

기타 주기적 변동을 생기게 하는 원인으로 보텀 롤러(bottom roller)의 편심, 치차의 편심 등 여러 가지가 있다.

5. 결 언

이사응로 간단히 전기용량형 불균제도 측정기로 평가할 수 있는 불균제도와 스펙트로그램의 기초에 관하여 생각하였다.