섬유속의 균제도(하)

3. 균제도측정기

3.1 역사와 분류

섬유관계 문헌이나 특허권을 훑어보면 50여종이상의 균제도측정기가 있는데 그 중에서 최초의 것은 우리가 아는 한 1920년과 1930년 사이에 출현된 것이다. 그런데 이들 시험기의 대부분은 시험단계에 그치거나 매우 짧은 기간동안 상업적으로 사용되었을 뿐이다. 3.2 및 3.3절에서는 다만 현재 상업적으로 많이 사용되는 시험기에 대해서만 설명하고 잔여시험기에 대해서는 그것이 어떻게 작용하는가와 그것이 실험단계에 그친 이유를 설명하는 것으로도 충분하다. 이러한 시험기들에 대하여 더 연구하고자 하는 속자는 이에 관한 문헌을 참조하기 바란다.(전반적인 참고문헌 [1]과 [2]는 이 문제에 관해서 매우 광범위한 자료를 포함하고 있다.)

균제도 측정기는 측정되는 물리적 변수에 따라서 구분할 수가 있는데 가장 중요한 변수들은 다음의 순서대로이다.

1. 국부번수T(x)
2. 겉보기 직경
3. 압력하에서 측정한 두께 혹은 부피

국부번수의 불균제도(혹은 질량불균제도)를 측정하는 가장 직접적인 방법은 절단-칭량(Cutting-weighing)법으로서 이것은 이 종류의 불균제도를 결정하는 간접적 방법을 평가하는 참고의 기준이 되는 것이다. 이 방법은 실을 연속되거나 단속된 많은 수의 길이가 같은 (예를 들면 1cm) 시험편으로 절단한 다음 각 시험편을 각각 칭량하고 이 칭량한 무게로부터 표준화한 분산을 구하는 것이다.

이 방법은 아주 정확한 것인데 다행히 1947년부터 전기용량의 변동에 의하여 국부번수를 결정하는 간접방법이 출현되었는데 이 장치의 생산으로 물질의 불균제도를 급속히 구하게 되었다.

이 장치는 현재 가장 널리 사용되고 있다 또한 최근에는 선밀도의 간접측정에 사용되는 실험실용 기계가 있는데 그것은 진동계(Vibroscope)이다. 이것의 원리는 일정한 장력하에서 일정한 길이의 실의 도수를 발견하는데에 있다.

C.S.I.R.O.균제도 측정기[3]에 있어서 공오진동은 반응계에 의하여 자동적으로 일어나고 측정은 연속적이다. 출판물에 의하여 보면(이 기계를 실제로 사용치 않고)그 조작이 보통 상업적으로 사용하기에는 약간의 난점을 갖고 있다.

즉 실이 너무 서서히 풀리고(진동장치의 감응이 느림) 시료장이 약 5cm이므로 감도로 볼 때 너무 길기 때문이다.

겉보기 직경을 측정하는 균제도측정기는 두 종류로 분류할 수 있다. 즉 (a) Barella균제도 측정기[4]와 같이 윤곽 또는 투영 직경을 측정하는 장치와 (b) 광전관에 의하여 등공의 광속직경을 측정하는 것이다.

전자의 종류의 시험기는 너무 느리며 또한 후자의 정점 때문에 거의 생산되지 않는다. 3.2절에서는 후자의 전자식 균제도 측정기에 대하여 논하겠다.

용량변화(Capacity variation)를 이용한 장치가 발명되기 전에는 부피(bulk)를 측정하는 균제도 측정기가 연구소에 널리 사용되었고 공업시험소에서 까지도 사용되었다.

어떤 종류의 시험기는 Sliver를 플런져(Plunger)에 의하여 Slit에 삽입한 다음 플런져의 수직변위를 측정하는 것도 있다. 측정은 일반으로 단속적이다.

이 종류의 기계에 있어서 중요한 것은 Huberty 균제도 측정기(Duesbery

Bossom에 의하여 제조된)와 Kusebauch의 것이다.

이 원리를 이용하여 만든 두번째 것은 Sliver와 top의 연속적인 측정을 할 수 있는 것으로 측정-스릿트식(Measuring-slit system)을 개량하여 만든 것이다. 스릿트는 상하한쌍의 Cylinder로 대치되어 있는데 아래의 것은 고정추에 연결된 흠달린 Cylinder이고 위의 것은 무거운 하중의 Cylinder이다. 상부 Cylinder의 축은 Lever에 의하여 조정되고 흠(groove)내에서의 수직요동 -측정되는 top의 두께의 변동에 의한- 은 Graph에 기록된다.

Saco-lowell 시험기는 이 종류의 전형적인 것이다.

3.2 전자식균제도 측정기

전자식 균제도 측정기가 소개됨에 의하여 단면균제도(실, Sliver, top)의 측정의 널리 보급되어 지금은 공장에서도 일상 많이 사용되고 있다.

구식 기계적 균제도 측정기는 지금은 거의 사용되고 있지 않은데 그것은 측정에 시간이 걸린다는 것과 결과를 얻기 위해서 계산을 더 해야 하므로 공업적으로 사용하기에는 적합치 못하기 때문이다. 그러나 전자식보다는 난점이 적으므로 실험실에서는 때때로 검증을 하는데 사용된다. 그러나 전자식 시험기도 꾸준한 발전으로 수년후에는 기계적인 것과 같이 의존도가 높고 정확하게 될 것이다.

최근의 전자식 균제도측정기의 대부분은 유전율의 변화를 용량의 변화로 변환하는 원리를 응용하여 용량 픽업(Capacitance pick-up 혹은 Senser)에 의하여 실 혹은 top의 국부번수의 변동을 측정한다.

사실상 상업적으로 만들어진 거의 모든 전자식 균제도기는 이런 종류의 것이다. 그러나 시험소에서 만든 기계와(상업적으로 소규모로 만든기계)중에는 다른 측정방법을 사용하는 것도 있다.

가장 잘 알려진 것은 광전관의 픽업에 의하여 실의 겉보기 직경의 변동을 측정하는 것이다. 이러한 기계에 있어서는 실에 의하여 부분적으로 차단된 Slit를 통하여 평광선속을 조사하는 것으로 이 Slit후면에 실의 직경의 변동에 비례하는 전류가 흐르게 된 광전관이 있다. 최초로 알려진 기계는 1928년 Stanbury양씨에 의하여 만들어진 것이다[6]. 이 원리를 응용한 가장 좋은 기계중의 하나는 산란광에 의하여 작용하는 Chamberlain광도계(Leeds University Lab.[7]참조)이다. 이 종류의 기계에 대하여 수 많은 연구가 진행되어 왔지만 (특히 Barella, Onion, Selwood에 의하여) 상업적으로는 많이 사용되지 않는다. (이 원리를 응용한 Vieluba기계의 제조자는 생산을 중단하고 있다.) 이 측정기는 두 가지 고유한 난점에 의하여 사용이 제한되고 있는데 그 난점은

1. 광전측정에 있어서 실의 핵심으로부터 이탈된 외부섬유(혹은 hairiness)의 영향

2. 측정 Slit에 있는 실의 위치의 영향

이 그것이다.

3.3 용량측정부가 있는 전자식 균제도 측정기

이 종류의 측정기에 있어서 측정되는 섬유시료는 고정된 두 장의 축전기 사이를 통과한다. 어떤 조건하에서는 이렇게 하여 생기는 용량의 변화는 판 사이에 있는 물질의 무게에 비례한다. 측정축전기는 용량의 변화를 전류의 변화로 변환시키는 전자장치로 연결되어 있다. 이 가변전류는 dial을 작동시키고 그 점에 선의 결과를 평가하는 한 개 또는 수개의 계산장치로 공급된다.

○ 작용원리

용량 픽업(혹은 Senser)의 원리는 절연매질에 의하여 분리된 두 평행 금속

판으로 구성된 고정된 축전기의 용량을 구하는 공식

$$C = \frac{\varepsilon s}{4\pi d} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

즉 d : 절연체의 두께

s : 판의 표면

ε : 두 판을 분리시키는 매질의 유전상수

을 생각하면 쉽게 이해할 수 있다.

유전상수는 각 절연체에 독특한 특성이다 대기압하의 공기는 그 값이 약 1이고 Nylon은 3.6, Cellulose Acetate는 6~8이다. 양모의 ε치는 4.5로서 이 값은 섬유의 수분율에 따라 변화한다. 그러나 그 값이 항상 1보다 훨씬 크므로 많은 수의 양모 섬유를 공기 축전기판 사이에 삽입하면 유전상수 ε은 증가하며 식 (11)에 따라서 용량도 증가한다. 어떤 조건하에서(상세한 것은 문헌 [10]을 참조) 용량의 증가는 삽입된 섬유물의 질량에 비례한다.

이 현상의 더욱 정확한 분석에 흥미를 갖는 속자는 문헌[11]을 참조하기 바란다.

섬유물의 개입에 의하여 생기는 용량증가는 아주 작아서 대체로 μμF(picofarad)의 $\frac{1}{10}$정도이다. 그러므로 용량 Senser에 의한 전자장치는 근본적으로 용량의 작은 변화를 연속적으로 측정할 수 있는 정밀-용량측정기(Micro-capacimeter)이며 이 용량변동에 비례하는 전압변동을 가져오게 하는 것이다. 전자장치는 섬유물의 질량에 비례하는 가변전압에 의하여 dial을 움직이는데 충분한 진폭과 힘을 주게 하는 증폭기가 구비되어 있다.

Micro-capacimeter의 발전에 이용된 원리는 상당히 많은데 이것을 고찰하려면 전자기술에 대한 제문제에 당면하게 된다. 측정 축전기를 통과하는 실의 단면의 급격한 변동을 완전히 추적하려면 이론적으로 무한히 짧은 전극이

필요하다.

한편 전압 변동을 가져 오는 전자 중계기에 공급할 충분한 용량 변화를 얻기 위해서는 전극의 길이가 일정 최소한계에 달해야 한다. 그 이유는 전자 장치의 감도를 최대치 이상으로 증가시키면 상당한 불안정을 초래하기 때문이다. 그러므로 전극의 길이를 고정해야 하는데 실제로는 절충하여 약 8~30mm로 한다.

만일 문헌 [10]의 필요조건이 모두 만족된다면 측정기의 출력 전압의 변동은 두 전극사이에 소입된 섬유물의 질량에 비례할 것이다. 그러므로 예를 들어서 10mm의 전극에 대해서 이 장치는 축전기판 사이에서 순간 U에 10mm 길이의 실의 질량에 해당하는 함수 f(u)

$$f(u) \div M(u\text{-}10mm, u)$$

를 연속적으로 측정한다.

이 때 그래프에 도시되고 실 10mm길이의 시험편의 질량의 분산을 계산하는 계산기에 전달되는 것은 이 함수 f(u)에 해당하는 전압이다. 분산은 매우 긴 길이 즉 측정중에 전극간을 통과하는 전길이에 대하여 측정된다.

(주) : 용량형균제도 측정기는 2.1절에서 말한 바와 같이 측정된 이론적 변수는 국부 변수에 비례하는 “용량밀도”(density of capacity)이다. 또한 2.2절에서 말한 바와 같이 전극크기에 해당하는 간격으로 이 밀도의 평균치를 효과있게 계산한다.

○ 적산기에 의한 불균도의 계산

섬유물의 균제도 측정에 있어서 산포도를 자동계산에 의하여 근사치를 구하기 위해 고안된 간단한 애너러그 계산기인 적산기라고 불리는 것이 있다.

위에서 순간 u에 측정되는 섬유속의 길이 δmm길이의 질량의 산포도를 평가하기에 충분히 긴 기간동안(상당히 긴 길이) 연속적으로 적산기에 공급

된다.

이 산포도로서 변동계수, 상대평균편차, 혹은 범위와 같은 통계치를 사용할 수 가 있다. 변동계수 CV는 많은 장점이 있으므로 이상적인 적산기에 있어서 산포도는 일정한 생산단위(실이나 Sliver의 한 bobbin, top의 한 can등)의 전장에 해당하는 매우 긴 길이 P내에서 매우 작은 절편 δ들의 질량의 변동계수이어야 한다고 말할 수가 있다.

이 이상적 적산기는 변동계수 C(S, P) 즉 C(S, ∞)를 다음 단계를 거쳐서 지시하게 된다.

1단계 : 전시료에 대한 f(u)의 평균을 계산

$$uf \equiv \bar{f} = \frac{1}{T}\int_{o}^{T} f(u)du \cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

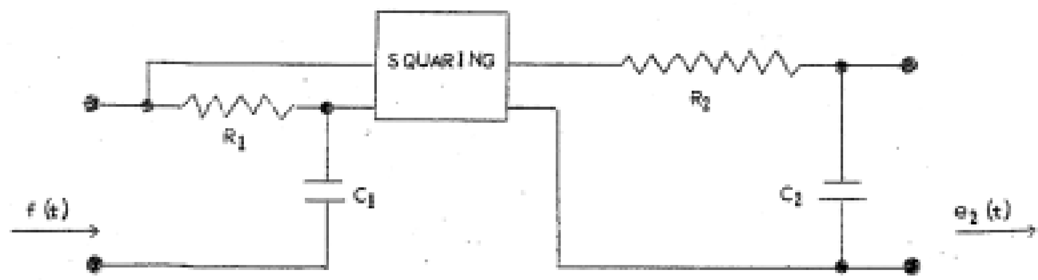
이 때 T는 충분히 큰 것으로 $T \to \infty$

2단계 : $f(u)-\bar{f}$

3단계 : 위의 차를 자승한다.

4단계 : 전시료에 대한 평방의 평균을 구한다.

$$E^2 = \frac{1}{T}\int_{o}^{T}[f(x)-\bar{f}]^2 du(T \to \infty)$$



<그림 6> 적산기의 결합상태를 보이는 그림

실제로 전압 E^2는 분산에 해당하지 않고 매우 간단한 장치에 의하여 표준화한 분산에 해당하게 된다. 즉 f(u)는 측정기간을 통하여 $\bar{f}$에 매우 근사한 값을 유지하는 전압의 일부분으로 직접 표시된다. 이것은 확실히 모든 측정에 우선하여 표준화를 요구한다.

1단계와 2단계는 입력 전압 $e_i(u)$를 출력 전압

$$e_o = \frac{1}{T}\int_o^T e_i(u)du$$

으로 변환시키는 이상적인 "Steep"적산기(2.2절 참조)에서만 행해져야 한다.

이러한 적산기는 물리적으로 확실히 불가능하다. 그러나 이 이상적인 적산기에 해당하는 "Smoothed"적산기(그림 5, B)를 만들수는 있지만 비용이 너무 많이 든다.

그러므로 대부분의 계산기는 1단계와 4단계에서 평균치를 얻기 위하여 RC 적분회로(간단한 저항-용량 회로)를 사용한다

이 적산기들을 결합하는 원리를 그림 6에 보인다. 제1회로 R_1C_1은 위에서 말한 1단계 즉 평균, $\bar{f}$를 얻기 위한 것이다.

축전기 C_1의 단자에서의 출력 전압 $e_1(v)$는 입력 전압 f(u)와는 방정식

$$e_1(v) = \frac{1}{R_1C_1}\int_o^v \exp[-\frac{v-u}{R_1C_1}] \times f(u)du \cdots\cdots\cdots(13)$$

의 관계가 있다

이 식을 이상적인 식(11)과 비교하고 또 식(10)과 비교해 보면 이렇게 구성된 적산기는 2.2절에서 설명한 지수 핵형이라는 것을 알 수가 있다. 그러나 이상적 적산기에 있어서는 함수 f(u)에 상수 1/T을 곱하고 실제적인 적산기에서는 현재의 순간의 1에서 출발하여 5RC전의 순간에는 거의 영으로 되는 즉 지수적으로 감소하는 무게의 인자를 곱한다.

R_1단자에서의 전압을 차인하면 전압 f(u)와 평균전압 $e_1(u)$간의 차를 얻을

수 있다. 그러므로 위에서 말한 2단계도 달성할 수 있다.

이 차는 편방회로에 전달되며 이것은 전, 후에 있는 RC회로에 아무런 반응도 주지 않았다.

이 회로로 부터의 출력 전압은 3단계에 해당하는 것으로 다음과 같다.

$$F^2(v) = (f(u) - \frac{1}{R_1C_1}\int_o^V \exp[-\frac{v-u}{R_1C_1}]f(u)du)^2$$

이 전압 $F^2(v)$가 일차 같은 이차 적산 회로, R_2C_2로 공급되면 이것은 4단계에서 정의한 이상적 평균 대신 지수 무게 인자의 평균을 유도한다.

축전기 C_2의 단자에서의 전압을 $e_2(t)$로 표시하면 아래 식이 성립한다.

$$e_2(t) = \frac{1}{R_2C_2}\int_0^t \exp[-\frac{t-v}{R_2C_2}] \times F^2(v)dv$$

적산기의 Galvanometer지시기가 축전기 C_2의 단자에 연결되어 있다. 어떤 주어진 순간 t에 있어서 적산기의 dial에 나타나는 값은 위의 식으로 표시되는 값이다.

이와 같은 종류의 적산기를 정상적으로 사용하려면 예를 들어 30초를 간격으로 하여 $e_2(t)$를 10 혹은 20번씩 연속하여 읽어서 그들의 평균치를 구한다. 시간상수 R_2C_2에 비하여 상당히 긴 전 측정시간 T에 대하여 다음 식을 유도할 수 있다.

$$E2 = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_o^T \exp[-\frac{t-v}{R_2C_2}] \times F_2(v)dv$$

이것은 또한 아래와 같이 된다.

$$E2 = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T F^2(v)dv$$

신뢰할만한 평방회로는 고가이므로 F^2은 $|F|$로 대치하는 경우가 많다. (변동전압의 절대치를 얻기는 적어도 원리상 아주 용이하다.

이러한 경우에 E_2는 변동계수의 fading-memory애너러그가 아니고 상대평균

편차의 애너러그이다.