

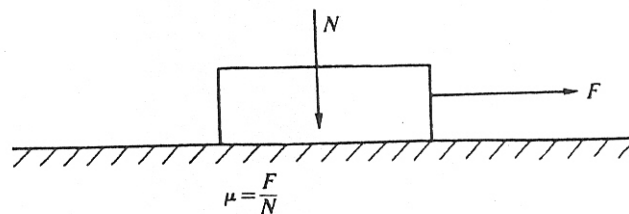
섬유수학

- 원사 준비(yarn preparation) (4) -

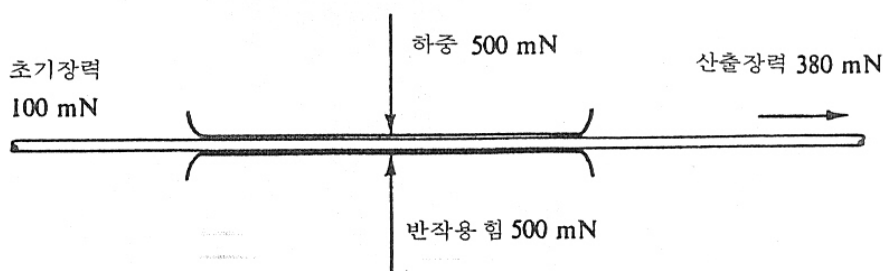
5. 실의 장력과 장력장치(yarn tension and tension device)

주행하는 실에 장력을 주는 가장 보편적인 방법은 한 표면에 대해 실을 마찰시키거나 또한 2개 이상의 표면사이로 실을 통과시킴으로써 발생하는 마찰을 이용하여 실에 장력을 주는 방법이다. 이렇게 발생한 마찰력은 실이 주행되는 과정에서 실 자체가 갖고 있는 장력에 가산된다.

고체상태의 물질이 다른 고체물질과 접하여 끌어 당기면 미끄러짐 운동이 발생되고 미끄러짐 운동을 계속 유지하기 위해 힘 F 가 요구되는 것을 <그림 15>에서 볼 수 있다. 표면에 수직으로 작용하는 힘 N 에 대한 힘 F 의 비를 마찰계수라 하며 μ 라는 기호로 나타낸다.



<그림 15> 평면마찰의 원리



<그림 16> 디스크 장력장치

따라서 두 물체 사이에서 발생하는 마찰계수 $= \mu = F/N$ 이다. 만약 이 둘 물체 중 하나가 실이라고 가정하고 이 실이 <그림 16>에서와 같이 2개의 표면사이에서 압축된 상태로 실을 잡아당기는데 필요로 하는 힘은 $F = 2\mu N$ 이라는 간단한 공식에 의해 구해진다.

[예제 6]

2개의 금속디스크로 이루어진 장력장치에 실이 공급될 때 500mN가 가해지고 있다. 실에 가해지는 초기장력이 100mN이고 실과 금속디스크간에 마찰계수가 0.28이라고 하면 장력장치를 통과한 후에 실이 받게되는 장력을 계산하라

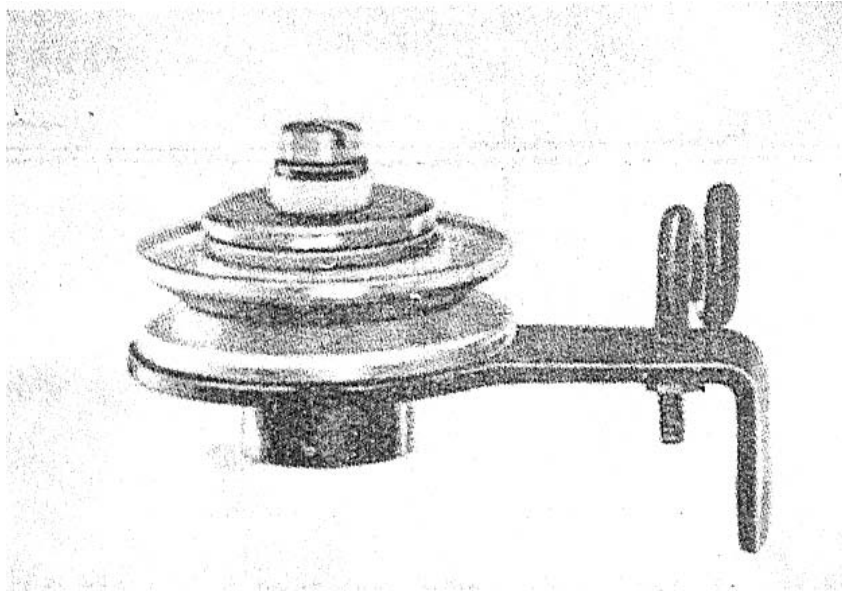
부가장력 (added tension) $= 2 \times 0.28 \times 500$ 즉, 280 mN이며, 부가장력 280mN을 초기장력 100mN에 더하면 실이 장력장치를 지난 후에 얻어지는 장력은 380mN이 된다.

아울러 이와 같은 과정을 거쳐 실에 600mN의 하중이 가해지는 2번째 장력장치를 통과할 경우 2번째 부가장력은 $2 \times 0.28 \times 600$ 즉, 336mN이므로 최종적으로 얻어지는 실의 장력은 $380 + 336 = 716\text{mN}$ 이 된다.

장력장치를 통과한 후 실에 나타나는 장력의 증가는 실이 장력장치를 통과하는 과정중 발생하는 장력을 초기장력에 더해줌으로 해서 얻어진다는 사실은 매우 중요한 사실이다. 이런 이유로 해서 위의 예제에서 사용된 장력 장치를 가산형 장력장치(additive tensioning system)라고 부른다. <그림 17>은 자중형 디스크 장력장치(deadweight disk tensioner)이다. 만약 실이 이 장력장치를 지난 후 직선상태가 계속 유지된다면 이것은 가산형 장력장치가 된다.

만약 실이 곡선모양의 표면을 지난다면, 이 때 얻어지는 장력을 계산하는데 있어 다른 계산법이 필요하다. 이런 장력장치를 지난 실의 장력은 초기장력의 배수가 된다. 이 같은 이유로 곡선모양의 표면을 갖는 장력장치는 적산형 장력장치(multiplicative tensioning system)라고 부른다. 여러 형태의 장력장치들 가운데서 가

산형과 적산형 장력장치가 가장 많이 사용되고 있다.



<그림 17> 디스크 자체의 하중으로 장력을 부여하는 장력장치(만약 디스크를 통과하고 있는 실이 직선형태를 유지할 경우 가산형 장력방식이 됨)

[예제 7]

<그림 18>에서와 같이 50mN의 초기장력을 갖는 실이 3개의 가이드와 2개의 장력장치를 지나 주행하고 있으며, 이 때 2개의 장력장치에 가해지는 하중은 각각 50mN과 100mN이며, 실과 3개의 가이드와의 접촉각 (angle of lap)이 90° 이다. 실과 가이드 표면간의 마찰계수가 0.2라고 할 때 최종적으로 산출되는 장력을 mN으로 계산하라.

디스크 장력장치에서 발생되는 장력은 $2 \times 50 \times 0.2 = 20\text{mN}$ 이 된다. 여기에서 주의해야 할 점은 하부디스크에서 작용하는 힘을 계산상 유념해야 한다는 점이다.

그러므로 b부분의 장력 = a부분의 장력 + 20 = $50 + 20 = 70\text{mN}$ 이 된다. (디스크장력 장치는 가산형 장력장치임).

연결된 2개의 가이드는 가이드의 표면에 실이 μ 라디안 또는 180° 각도로 동시에 걸쳐있는 하나의 가이드로 간주하여 a부분의 장력은 다음과 같은 공식으로 나

타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\text{a부분의 장력} &= \text{b부분의 장력} \times e^{\mu\theta} \\ &= 70 \times e^{0.2\pi} \\ &= 70 \times 1.875 \\ &= 131.25\text{mN}\end{aligned}$$

두 변사이에서 발생하는 장력

$$\begin{aligned}&= 2 \times 100 \times 0.2 \\ &= 40\text{mN}\end{aligned}$$

따라서

D와 e사이에 나타나는 장력

$$\begin{aligned}&= 131.25 + 40 \\ &= 171.25\text{mN}\end{aligned}$$

이 된다.

최종적으로 또 하나의 적산형 장력장치에서 접촉각은 $\pi/2$ 이므로,

$$\begin{aligned}\text{f부분의 장력} &= \text{e부분의 장력} \times e^{\mu\theta} \\ &= 171.25 \times e^{0.1\pi} \\ &= 171.25 \times 1.37 \\ &= 234.6\text{mN}\end{aligned}$$

[예제 8]

정경공정에서 권사장력의 영향으로 인해 실이 절단되는 현상을 조사하여 다음의 관계식을 구하였다.

$$\begin{aligned}B &= 0.008t^2 + 0.04 \\ w &= \frac{0.6}{t} + 0.01\end{aligned}$$

여기서, b = 실 1kg을 코이(conning) 하는 도중에 발생하는 사절수

w = 실 1kg을 코이(coning)하는 도중에 발생하는 사절 수

t = 실이 콘에 권사되는 동안에 걸리는 실의 장력이다.

실이 콘에 권취되는 도중 사절로인해 기계가 정지할 때마다 소요되는 비용은 0.3펜스(4원. 1펜스 = 12.38원) 이며, 정경에서 기계가 정지할 때마다 소요되는 비용은 7.5펜스(93원) 이다. 실의 장력을 얼마로 해야만 권사공정과 정경공정에 소요되는 비용이 가장 경제적인가?

이러한 문제를 해결하명 있어 최소비용은 $(b \times 0.3) + (w \times 7.5)$ 가 되리라는 것을 알 수 있다. C 를 권사공정 및 정경공정에 소요되는 비용이라고 하면

$$C = 0.3(0.08 t^2 + 0.04) + 7.5(0.6/t + 0.01)$$

$$= 0.024 t^2 + 0.012 + 4.5/t + 0.075$$

$$= 0.0024 t^2 + 4.5/t + 0.087$$

이 문제를 해결하기 위해서 아주 기초적인 미분을 도입하였다.

c 를 t (실의 장력)에 대해서 미분하면,

$$\frac{dc}{dt} = 0.0048t - \frac{4.5}{t^2}$$

최소값을 얻기 위해 $\frac{dc}{dt} = 0$ 으로 하면,

$$0.0048t - \frac{4.5}{t^2} = 0$$

양변에 t^2 를 곱하면,

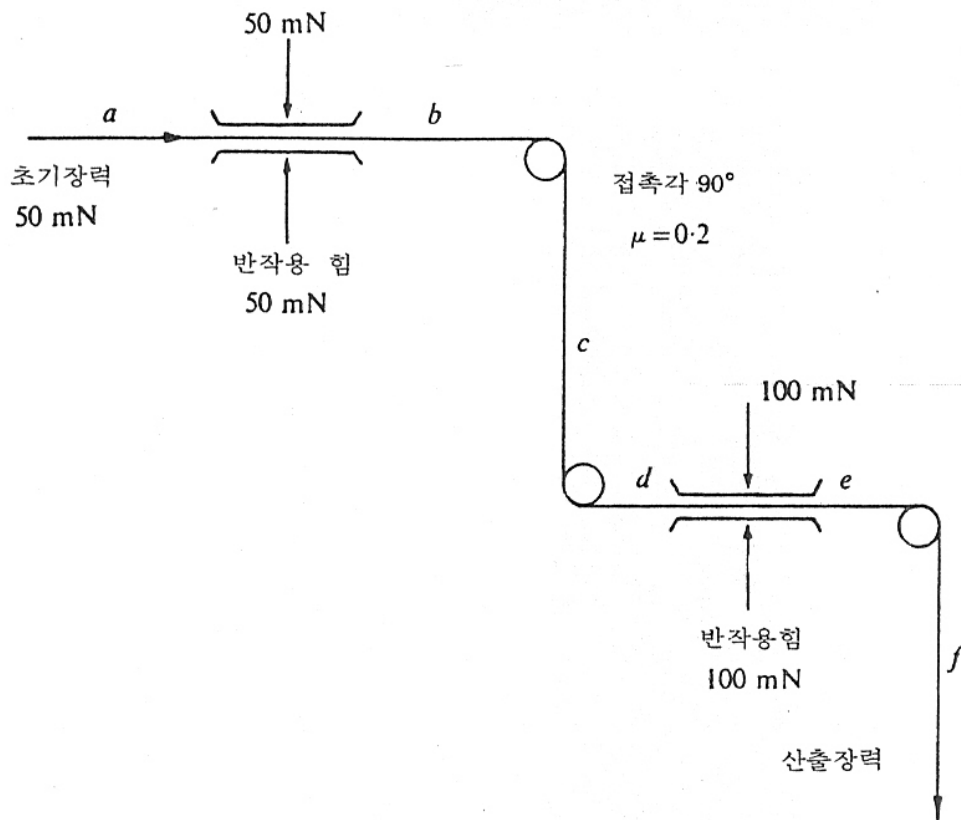
$$0.0048t^3 - 4.5 = 0$$

$$\text{이때 } t^3 = \frac{4.5}{0.0048} = 937.6$$

$$\text{따라서 } t = \sqrt[3]{937.6}$$

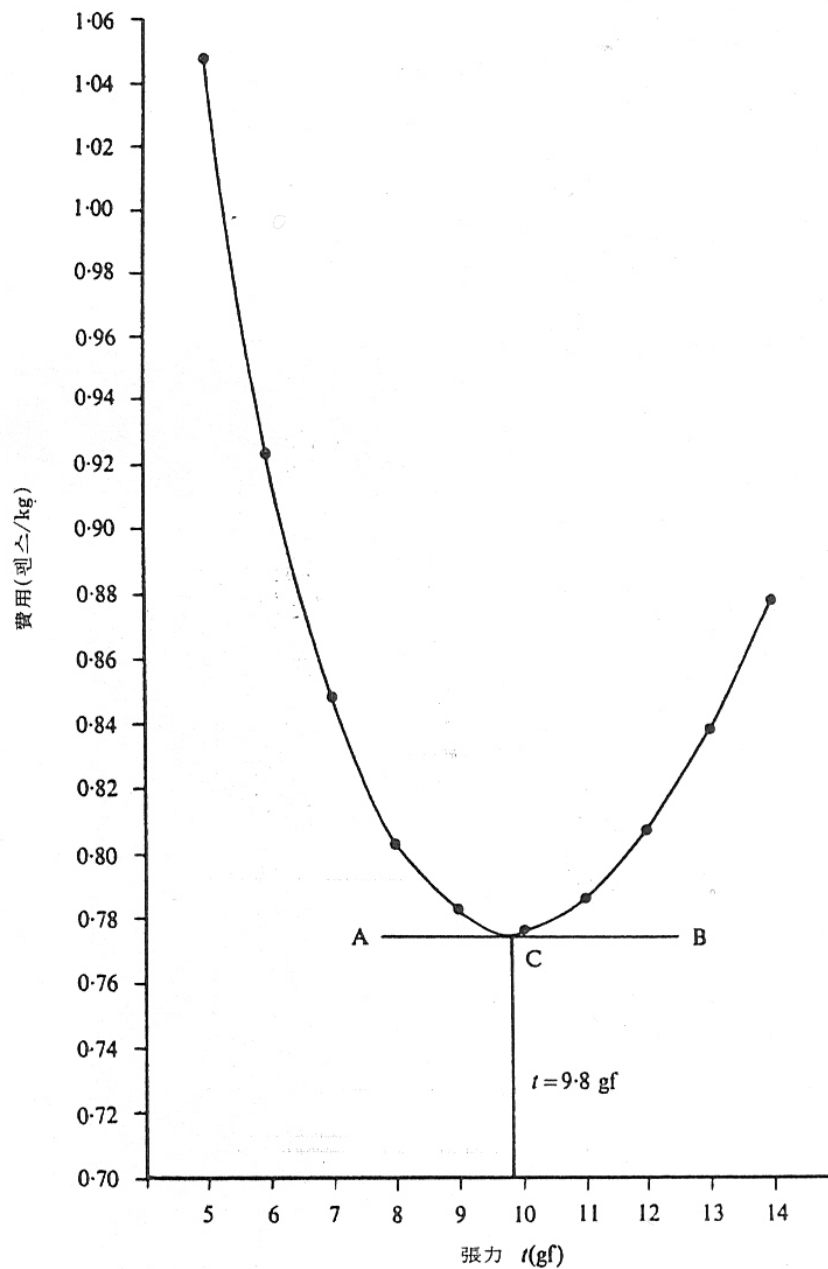
$$= 9.786 \text{gf 가 된다.}$$

위에서와 같이 미분을 사용하지 않는다면, c 값을 얻기 위해 공식에 여러 t 값을 대입해야 하며, 이러한 과정을 거쳐 얻어진 c값을 그래프에 옮겨야 하는 번거로움이 따른다. 이런 방법으로 작성된 그래프를 관찰함으로써 최소비용을 구할 수 있으며, 이에 상당하는 장력 t를 구할 수 있다. 물론 이 방법은 시간이 걸린다.



<그림 18> 가산형 장력장치와 적산형 장력장치의 조합

<표 5>는 이와 같은 방법을 사용하여 구한 c값을 나타내고 있으며 <그림 19>에서는 <표 5>에서 제시하고 있는 값들을 그래프로 나타내었다. 최소비용은 <그림 19>에서 같이 곡선상에 접선 AB를 그려서 구하며, 점 C는 포물선에서 최소점으로 이점에서 실의 장력 t는 약 9.8gf가 된다.



<그림 19> 권사시 소요되는 비용과 정경시 받게 되는 장력간의 관계

<표 5> 여러가지 실 장력에 대한 소요비용

(비용 계산 공식 : $c(\text{펜스}) = 0.0024t + 4.5/t + 0.087$)

t(g)	c(pence)
5	1.047
6	0.9234
7	0.8474
8	0.8031
9	0.7814
10	0.7777
11	0.7864
12	0.8067
13	0.8388
14	0.8788