

섬유수학

- 기구의 요소(4)-

5. 마찰구동(friction drive)

5.1 개 요

섬유기계중에는 구동체와 피동체간의 마찰에 의한 구동방식을 응용한 것이 많다. 대표적인 예로는 벨트 또는 로프에 의한 구동, 실을 콘 또는 치즈로 만들기 위한 드럼 구동, 경사빔을 만들기 위한 드럼구동, 드래프트장치에서 톱 롤러의 구동 등을 들 수 있다. 이러한 예에서 2개의 요소중 하나는 거친 표면을 가지며, 다른 하나는 상대적으로 미끄러운 표면을 갖는 일반적인 형태를 가진다. 그러나 거친표면과 미끄러운 표면간의 마찰구동식은 좀처럼 이용되지 않는다.

5.2 드럼에 의한 구동

<그림 11>에서 아래의 원은 치즈권사기에서 흠이 파져 있는 구동드럼을 나타낸다. 치즈는 드럼의 상단에 접하여 표시된 방향으로 회전한다.

드럼 표면속도 즉, 드럼의 축에 대해 직각인 방향의 속도를 v_s 라고 하면

$$v_s = n_1 \times \pi \times d_1$$

이 된다. 또한 드럼과 치즈간에 미끄러짐이 없다고 가정하면 치즈의 표면속도도 v_s 로 될 것이다. 그러므로

$$v_s = n_2 \times \pi \times d_2$$

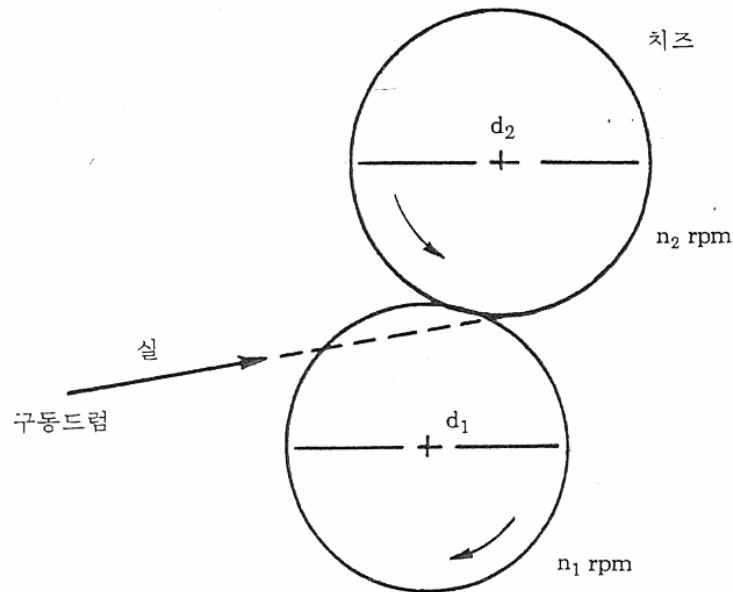
따라서

$$n_1 \times \pi \times d_1 = n_2 \times \pi \times d_2$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \dots\dots\dots (5)$$

n_1 의 회전속도를 알고 n_2 의 회전속도를 알려고 하면

$$n_2 = n_1 \frac{d_2}{d_1} \dots\dots\dots (6)$$

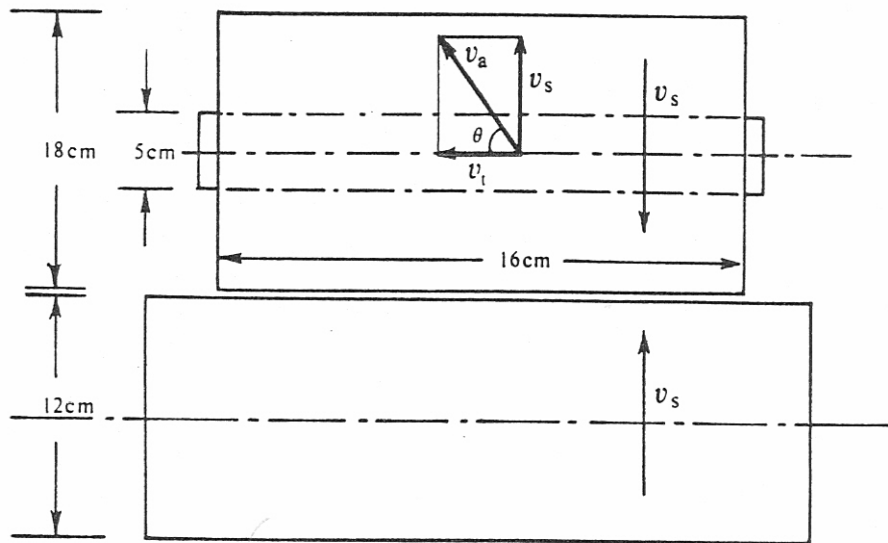


<그림 11> 치즈의 마찰구동

식(5)에서 두 요소간의 속도비는 이들의 직경비에 반비례함을 알 수 있다. 실의 좌우로 느린 속도로 트래버스되면서 감긴다면 실제 권취속도는 드럼 또는 치즈의 표면속도와 거의 같아질 것이다. 그러나 실제로는 패키지 양끝에서의 사층의 안정화를 위해 실의 트래버스 속도를 빠르게 해 준다. <그림 12>는 이를 나타내기 위한 것으로서 실과 트래버스 방향간의 각도 즉, 권취각도 θ 는

$$\tan\theta = \frac{v_s}{v_t} = \frac{\text{표면속도}}{\text{트래버스 속도}}$$

로 나타내진다.



<그림 12> 드럼 구동식 패키지에서 실제 권취속도

[예제 11]

실이 직경 5cm인 지판에 원통형으로 권취되고 있으며 만관시의 직경은 20cm이다. 구동드럼의 직경은 12cm이고 드럼이 2회전 할 때의 트레이버스 길이가 16cm일 때 (a)실제 권취속도, (b) 치즈의 초기 rpm, (c) 치즈의 직경이 18cm일 때 치즈의 rpm, (d) 초기의 권취각도, (e) 치즈의 직경 18cm일 때 권취각도를 구하라. 들머의 회전수는 2,650rpm이다.

(a) 치즈와 드럼간에 미끄러짐이 없다고 가정하면 표면속도는 다음과 같이 항상 일정하다.

$$\frac{2,650 \times 12 \times \pi}{100} = 1,000\text{m/min}$$

또 드럼이 2회전 할 때 실이 16cm 트레이버스되므로

$$\frac{16 \times 2,650}{100 \times} = 212\text{m/min}$$

그러므로 실제 권취속도는 피타고라스 정리를 이용하여

$$\begin{aligned}\text{실제권취속도} &= \sqrt{(1,000)^2 + (212)^2} \\ &= 1,022\text{m/min}\end{aligned}$$

(b) 초기의 패키지 회전속도는

$$\frac{2,650 \times \text{드럼의 직경}}{\text{지관의 직경}} = 2,650 \times \frac{12}{5} = 6,360\text{rpm}$$

(c) 직경 18cm일 때의 패키지의 회전수는

$$2,650 \times \frac{12}{18} = 1,767\text{rpm}$$

(d) 권취각도는 $\tan$ 값은

$$\tan\theta = \frac{\text{표면속도}}{\text{트래버스 속도}} = \frac{1,000}{212} = 4.7$$

그러므로 $\theta \doteq 78^\circ$

(e) 트래버스 속도와 표면속도는 항상 일정하므로 권취각도도 78° 로 일정하게 유지된다.

여기서 권취각도가 미리 주어져 있다면 실제 권취속도는 다음과 같이 계산한다.

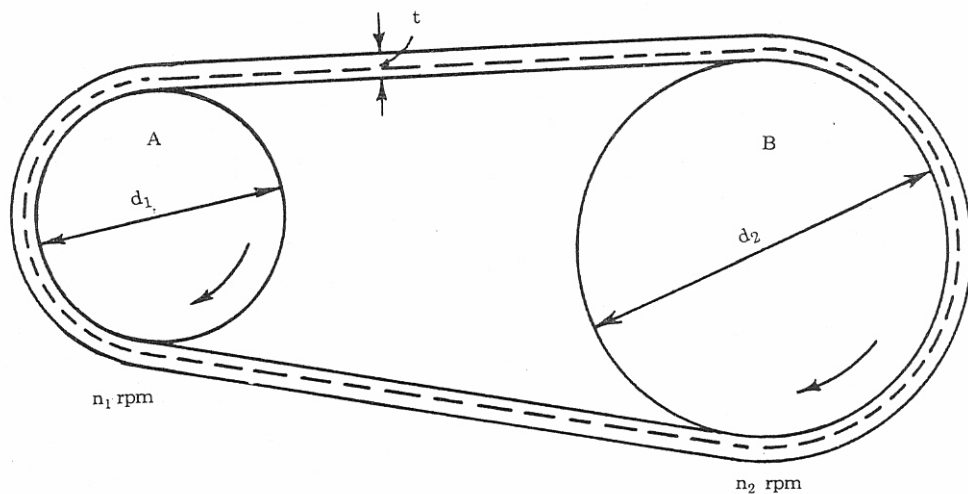
$$\begin{aligned}v_a &= \frac{v_s}{\cos(90^\circ - \text{권취각도})} \\ &= \frac{1,000}{\cos(90^\circ - 78^\circ)} = \frac{1,000}{0.9781} \doteq 1.020\text{m/min}\end{aligned}$$

실제에 있어서는 드럼과 치즈간에 미끄러짐이 없이 실이 감기게 되면 실은 트레버스의 주기에 따라 한 부분에 집중적으로 감기게 되므로 사층의 형성이 불안정하게 된다. 따라서 이러한 현상을 방지하기 위해서는 일부러 약간의 미끄러짐이 생기도록 해야 한다.

이러한 현상은 트레버스운동에 대한 패키지의 회전속도가 어떤 특정한 값을 취할 때 일어나게 된다.

5.3 벨트에 의한 구동

5.3.1 평벨트에 의한 구동



<그림 13> 평벨트에 의한 구동

<그림 13>은 플렉시블 벨트(flexible belt)에 의해 연결된 풀리를 나타낸 것으로 벨트의 두께를 표시하기 위해 벨트의 두께를 과장하여 그린 것이다. 풀리 A가 구동체이고 풀리 B가 피동체일 때 벨트와 풀리간에 미끄러짐이 생기지 않는다면 두 풀리의 표면속도는 같아져야 한다. 즉, 벨트의 두께를 0이라고 하면 다음의 관계식이 적용된다.

$$n_2 = n_1 \times d_1/d_2 \dots\dots\dots (7)$$

그러나 벨트의 두께가 t일 때 이 식은 수정을 해야 한다. 벨트가 풀리의 원주를 통과할 때 풀리에 접촉되는 부분은 약간 수축되고 바깥부분은 늘어나게 된다. 그러나 벨트의 중심부에서는 신장 또는 수축이 일어나지 않는 것으로 밝혀졌다. 그런데 풀리의 반경에 작용하는 벨트의 두께는 $\frac{1}{2}t$ 이므로 유효 풀리 직경을 나타내는 전 두께를 가산해 주어야 한다

따라서 식 (7)은

$$n_2 = n_1 \times \left(\frac{d_1 + t}{d_2 + t} \right) \dots\dots\dots (8)$$

로 변형된다.

[예제 12]

<그림 13>에서 풀리 A의 rpm이 120, 직경이 30cm이며, 풀리 B의 직경은 50cm이다. 벨트의 두께가 0.6cm라고 할 때 풀리 B의 회전속도를 구하라. 다만, 벨트의 미끄러짐은 무시한다.

식(7)로부터

$$n_2 = 120 \times \frac{30 + 0.6}{50 + 0.6} = 120 \times \frac{30.6}{50.6} = 72.6\text{rpm}$$

5.3.2 벨트의 미끄러짐

실제로 벨트는 어느정도 미끄러지게 되므로 벨트 구동방식에 있어서 합리적인 속도를 구하기 위해서는 이를 계산에 넣어 주어야 한다.

[예제 13]

[예제 12]에서 벨트의 미끄러짐이 4%라고 가정할 때 다음을 계산하라

(a) 폴리 A가 100rpm일 때 B의 rpm

(b) B의 rpm이 72.6이 되어야 한다면 A의 rpm을 얼마로 해야 하는가?

(a) 미끄러짐이 4%이므로 폴리 B의 회전속도는

$$72.6 \times \frac{96}{100} = 69.7\text{rpm}$$

(b) 유효속도가 120rpm이 되어야 하므로 실제 회전속도는

$$120 \times \frac{100}{96} = 125\text{rpm}$$

여기서 120rpm을 104/100로 곱하지 않도록 주의해야 한다. 답에서는 별로 차이가 나지 않겠지만, 논리적으로 유효속도 120rpm은 실제속도의 96/100이지 실제속도의 100/104이 아니라는 점이다.

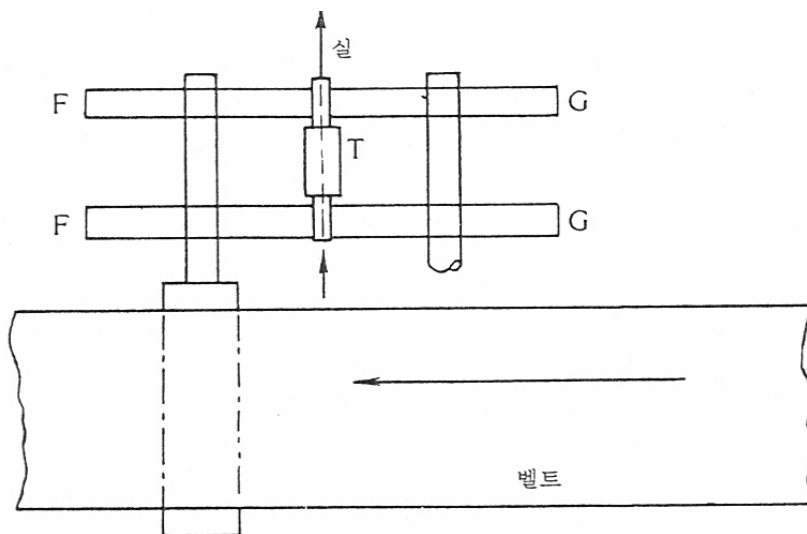
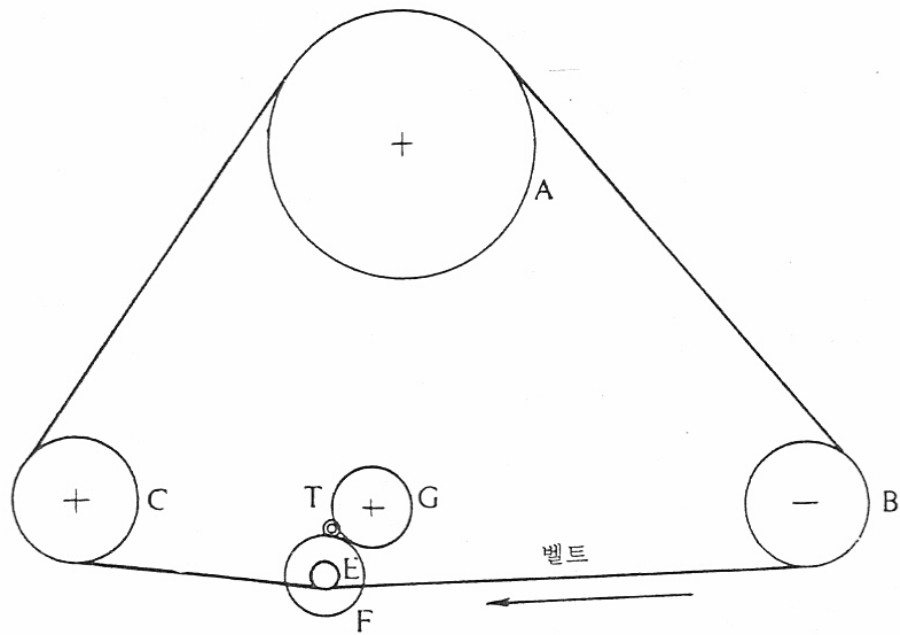
5.3.3 벨트와 마찰원판에 의한 구동

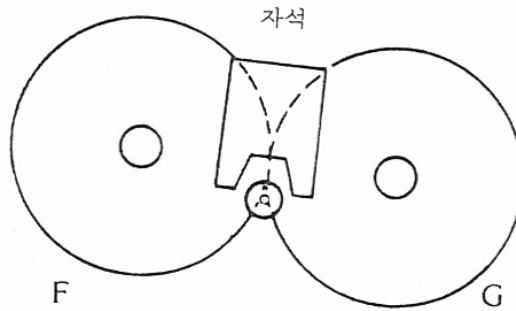
두 가지 소극적 구동방식이 가연장치에 응용된다. <그림 14>는 이 장치를 나타낸 것으로서 A는 전기모터와 증속장치에 의해 고속으로 회전된다. 벨트는 가이드 폴리 B와 C를 통과하도록 되어 있으며, 가이드 폴리 사이에 있는 가연장치 T는 마찰 폴리 E가 벨트를 눌렀다 떼었다 할 수 있도록 설치되어 있다. 그러므로 E가 벨트에 접촉되면 고속으로 회전하게 된다. 축 E에 딱딱한 고무로 된 한쌍의 원판이 있으며, 원판 G는 원판 F와 살짝 접촉되어 있다. 또한 가연 튜브 T는 영구자석의 작용에 의해 원판 F와 G에 접촉되어 있다. 튜브 상하의 축은 매우 작은 직경(약 2mm)을 가지고 있어 원판들의 직경을 약 40mm로 가정하면 이 부분에서의 증속비는 약 20:1이 된다.

폴리 A가 15,000rpm으로 회전하며 직경이 20cm라고 하고, 폴리 E의 직경을 1.5cm라고 하면 가연 튜브의 회전속도는

$$15,000 \times \frac{20}{1.5} \times \frac{40}{2} = 400,000 \text{rpm}$$

이러한 가연장치에서는 실제로 이보다도 높은 고전회전이 이용되며, 기계설계에서도 일반적인 베어링을 사용하지 않고 초고속을 낼 수 있도록 하는 고도의 기술이 요구된다.





<그림 14>가연장치의 구동

5.3.4 타이밍 벨트(timing belt)에 의한 구동

최근 도입된 벨트구동방식의 하나가 타이밍 벨트를 사용한 구동방식이다. 기어에 의한 구동방식에서의 단점중의 하나는 구동축과 피동축간의 거리가 멀 때 동력전달이 어렵다는 것이다. 즉, 아주 큰 기어를 사용하든가 여러 개의 아이들러(idler) 또는 전달기어를 사용해야 한다. 한편 벨트에 의한 구동방식의 단점은 소극적 구동방식이며, 벨트의 미끄러짐이 생긴다는 것이다. 타이밍 벨트는 이러한 2가지 단점을 보완한 것이다. 이 벨트는 견고하고 유연성이 있으며 신도가 작도록 제조된 평벨트의 내부에 네오프렌(neoprene)으로 된 톱니를 붙인 것이다. 구동 및 피동 풀리도 이 톱니에 맞도록 되어 있어서 이 장치는 적극적 구동방식을 취하게 된다. 그러므로 이 장치에서 속도계산은 정상적인 기어구동방식에서와 동일한 방법으로 할 수 있다. 즉, 구동 및 피동 풀리의 계수로서 속도계산이 된다.

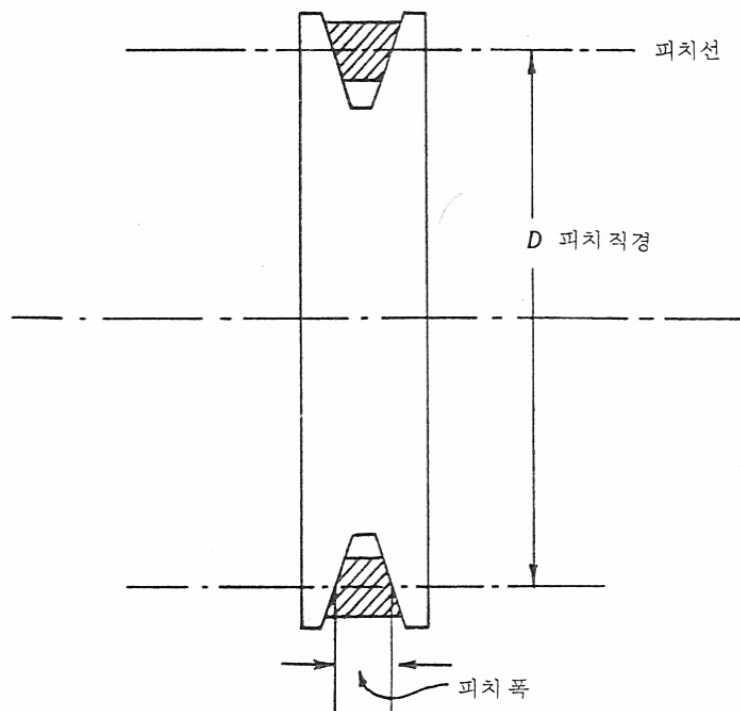
드문 예이지만, 어떤 가연기에서는 모터로부터 증속기어박스까지 입력축간의 동력전달에 타이밍 벨트를 사용하고 있다. 그러므로 이러한 가연기에서는 가연 튜브를 회전시키는데 마찰원판과 벨트에 의한 구동방식, 기어에 의한 구동방식 및 타이밍 벨트에 의한 구동방식을 조합하여 각 방식의 이점을 선택적으로 이용하고 있는 것이 된다.

5.3.5 V벨트에 의한 구동

평벨트에 의한 구동방식에서 단지 속도계산방법만을 취급하였다. 힘과의 관계

을 취급한 기구학 참고서를 보면 새로운 흥미를 찾을 수 있다. 그러나 동력전달에 관한 수식들을 응용하지 않아도 평벨트가 전달할 수 있는 힘에는 한계가 있다고 말할 수 있다.

벨트의 구조와 쐼기작용(wedging effect)에 의해 V벨트는 같은 단면적을 갖는 평벨트에 비해 약 4배나 되는 동력을 전달할 수 있으므로 전기 모터와 기계의 주축 등 축간의 동력전달에 매우 유용하다. V벨트는 보통 두 개의 평행한 축간에 사용되지만, 때로는 2축이 서로 직각을 이루는 직각결이 구동(quarter-turn drive) 방식에도 사용된다.



<그림 15> V벨트 구동방식에서의 용어 정의

V벨트는 V홈을 가진 풀리의 속으로 들어가므로 여기서 토의해야 할 문제는 "풀리의 유효직경을 어떻게 계산하는가"하는 것이다. V벨트는 구동풀리와 피동풀리간을 어떠한 선속도를 갖고 움직이게 된다. V벨트도 평벨트에서와 같이 굴곡현상으로 인해 벨트의 외부가 내부보다 속도가 빨라지게 된다. V벨트에서 단면의 어느 부분은 V벨트 전체의 선속도와 같아지는 곳이 있다. 이러한 위치를 피치선

(pitch line)이라 정의하며, 피치선에서의 V벨트의 폭을 피치폭(pitch width)이라고 정의한다. <그림 15>. 따라서 풀리는 그림에서와 같이 직경 D인 피치도를 갖는 것으로 생각될 수 있으며, 구동 및 피동 풀리의 상대속도는 이들의 피치직경에 의해 결정된다.

[예제 14] 어떤 V벨트의 선속도가 1,200m/min이다. 모터 풀리와 기계풀리의 피치직경이 각각 16cm, 30cm라고 할 때 모터 및 기계의 속도를 구하라

$$\text{선속도} = \text{풀리의 회전속도} \times \pi \times \text{피치직경}$$

그러므로 모터의 회전속도

$$= \frac{1,200 \times 100}{\pi \times 16} = 2,385\text{rpm}$$

기계의 회전속도

$$= \frac{1,200 \times 100}{\pi \times 36} = 1,060\text{rpm}$$

[예제 14]에서의 계산은 벨트의 미끄러짐과 굴곡피로(flexural fatigue)등을 무시하고 계산한 것이다. V벨트 제조회사는 사용자로 하여금 가장 적합한 풀리와 벨트를 선택할 수 있도록 특수한 도표를 제공하고 있다. 또한 벨트의 수는 계산치의 소수점을 절상하여 결정하는 것이 보통이다. 예를 들어 어떤 장치의 동력전달에 소요되는 V벨트의 수가 4.57로 계산되었다면 5개의 벨트를 사용한다.