

방적공정중 중간제품의 취급

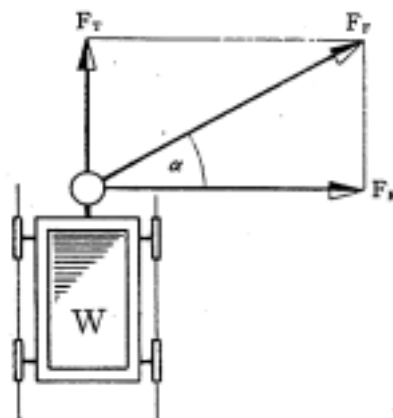
9.5.3 트래블러 부분에서의 힘과 장력의 관계

9.5.3.1 서 언

다음에 설명하게 되는 내용 가운데 일부 오류, 예를 들어 실제적으로는 3차원적으로 일어나는 사항을 2차원적으로 설명한 내용 등은 고의적인 것이다. 그와 같이 한 의도는 어떤 과학적인 이론이나 계산을 위한 자세한 기초적인 사항을 제시하고자 하는 것이 아니고 일상작업을 수행하는 섬유기술자들이 작용하는 힘(force)들의 상호작용을 확실하게 이해할 수 있게 하기 위함이다.

이런 목적으로 여기에서는 간략화한 모델을 사용하였으며, 현재 과학적으로 정확하게 사용할 수 있는 데 참고할 수 있는 이 부분의 문헌들은 다수 발표되어 있다.

전체적으로는 힘의 평행사변형에 기초를 두고 설명하였으며, 이해를 돕기 위하여 학교에서 가르치고 있는 이런 원리에 대해 여기에서 간략하게 다시 설명하기로 한다<그림 88>.



<그림 88> 힘의 평행사변형에서 힘의 분해

<그림 88>에서 보는 바와 같이 만약 수레(carriage)가 레일 상에서 앞으로 계속 움직여 주면, 수레는 F_T 와 같이 레일방향으로 직접적으로 잡아 당겨질 수 있다. 이때 전체적인 힘은 모두 수레가 앞으로 움직이게 하는 데 기여한다. 그러나 만약 당기는 힘이 F_F 방향으로 당겨지는 것처럼 옆방향으로 비스듬히 경사지면 사정은 달라지게 된다. 이 경우에는 사용되는 전체 힘(F_F)의 일부분(F_T)만이 수레가 전진하는 데 기여하게 된다. 힘의 일부(F_R)는 수레가 움직이는 방향에 대해 90° 방향으로 수레를 레일에 눌러주는 역할을 한다. 이 분력(component)은 수레의 전진운동에 관련되는 한 무효한 힘이다. 따라서 잡아 당기는 힘 F_F 는 두 개의 분력으로 분해할 수 있으며, 이 두 분력은 수레를 앞으로 끌어 당기는 접선력(tangential force) F_T 와 반지름 방향의 힘(radial force) F_R 이다. 그러므로 수레가 F_T 란 힘으로 앞 방향으로 움직이고 견인력이 각도 α 로 작동되면, 그 견인력은 F_F 만큼 커야된다.(여기에서 마찰력은 무시하였다.) 이들 힘은 그림으로 나타낼 수 있고 다음 공식에 의해 계산할 수 있다.

$$F_F = F_T / \sin \alpha$$

9.5.3.2 링 표면에서의 트레블러의 조건 <그림 89>

다음과 같은 힘들이 링(2) 표면상의 트레블러(1)에 작용되게 된다.

① 인장력 F_F 는 실의 권취장력으로부터 발생되며, 항상 콥(3)의 원주에 접선방향으로 작용된다.

② 마찰력 F_H 는 링과 트레블러 사이의 마찰력이다. 정지상태 즉, 트레블러의 속도가 일정할 경우에는 이 제동력 F_H 는 실의 장력 F_F 의 전진분력 F_T 와 균형을 이루게 된다. 따라서 다음 관계식이 성립한다.

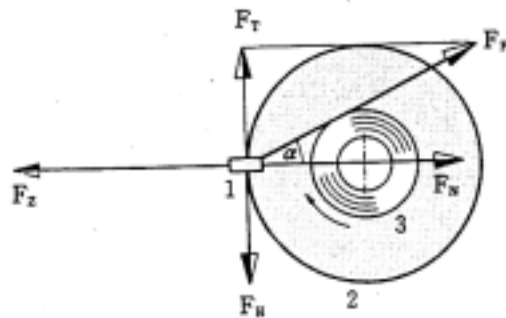
$$F_H = F_T, \quad F_H = F_F \sin \alpha$$

③ 힘 F_N 는 링 표면의 법선방향으로 작용되며, 트레블러가 링과 접촉하게

끔 밀어주는 작용을 하게 된다. 이 법선력(normal force)으로부터 발생하는 마찰력 F_H 는 다음 식이 성립한다.

$$F_H = \mu \times F_N$$

여기에서 μ 는 마찰계수이다.



<그림 89> 트래블러에 작용되는 힘

④ F_Z 는 원심력이며, 트래블러에 작용하는 가장 큰 힘이다. 이 원심력은 다음 관계식으로 계산할 수 있다.

$$F_Z = m_L \times \omega_L^2 \times d_R / 2$$

$$\omega_L = n_{spindle} \times \pi / 30$$

여기에서 m_L 은 트래블러의 질량이며, ω_L 은 트래블러의 각속도, d_R 은 링의 직경이다.

스위스의 Krause 교수는 이들 힘 간에 다음 식과 같은 관계가 있는 것으로 밝혀냈으며, 이 식으로 인장력 F_F 를 계산할 수 있다.

$$F_F = \frac{\mu \times F_Z}{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}$$

$$F_F = \frac{\mu \times m_L \times \omega_L^2 \times d_R}{2(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

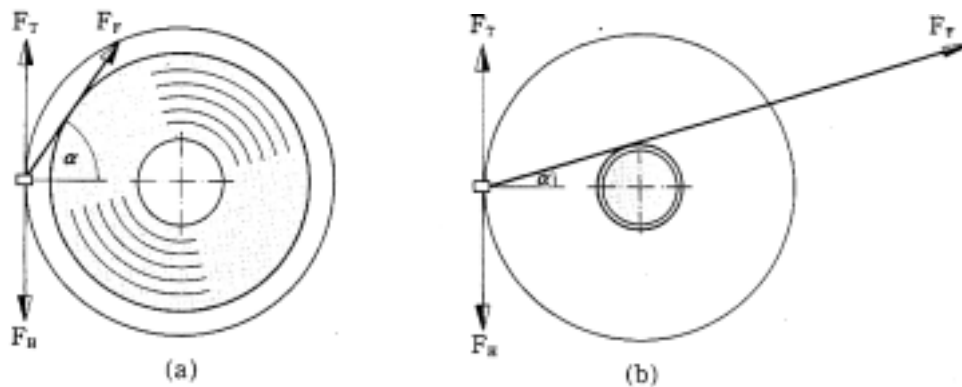
크게 보아 $\mu \cos \alpha$ 는 무시할 수 있기 때문에 다음과 같은 식을 유도할 수

있다.

$$F_F = \frac{\mu \times m_L \times \omega_L^2 \times d_R}{2 \sin \alpha}$$

9.5.3.3 힘에 관련된 조건의 변화

콥에 실이 감겨지는 동안 작동조건은 연속적으로 변화게 된다. 권취직경의 관점에서 보면 이 변화는 큰데, 맨 처음 튜브(tube : 본관이나 플라스틱관)에 실이 감기기 시작할 때는 직경이 작고 콥이 만관되었을 때는 큰 직경이 된다. 이와 같은 변화는 콥에 처음 실이 감기기 시작할 때(기부형성시) 뿐만 아니라 <그림 90>에서 보는 바와 같이 링 레일의 모 행정에서 매우 짧은 주기를 갖고 이런 변화가 일어나게 된다.



<그림 90> 실에 미치는 인장력(F_F)

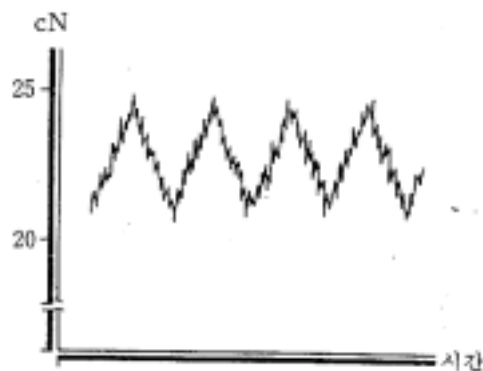
(a): 콥의 직경이 클 때

(b): 콥의 직경이 작을 때(빈 보빈일 때)

이미 언급한 바와 같이 인장력 F_F 는 권취점에서 발생하기 때문에 콥의 원주에 대해 접선방향으로 작용되는 것으로 여겨진다. 마찰력 F_H 는 매우 작은 변동만 받게 되고 양쪽이 같은 것으로 여겨진다. 이 역시 실 장력의 분력인 F_T 와 똑같다, 그러나 각도 α 가 다르기 때문에 인장력 F_F 도 다르게 된다. 앞에서 언급한 식에서 보면, 각도 α 에 대해 인장력 F_F 가 같은 영향을 받음을

알 수 있다. 트래블러에 진입하는 실의 각도가 다르기 때문에 처음 튜브에 실이 감길 때의 인장력이 콤이 만관되어 갈 때의 인장력보다 많이 커야 한다. 링 레일이 행정 상부에 위치할 때 링 레일이 최저 위치에 있을 때보다 튜브에 감기는 실의 장력이 실제 더욱 크다. 이와 같은 현상은 어떤 링 정방기에서도 벌룬(balloon)을 관찰함으로써 쉽게 알 수 있다. 만약 시간을 두고 실의 장력을 측정하면, <그림 91>에서 보는 바와 같은 그래프를 얻을 수 있다.

실의 장력변동이 너무 크지 않게 하기 위하여 튜브와 링 직경 간의 비율이 최소이어야 하는데, 대략 1:2 또는 1:2.2 사이이어야 한다.



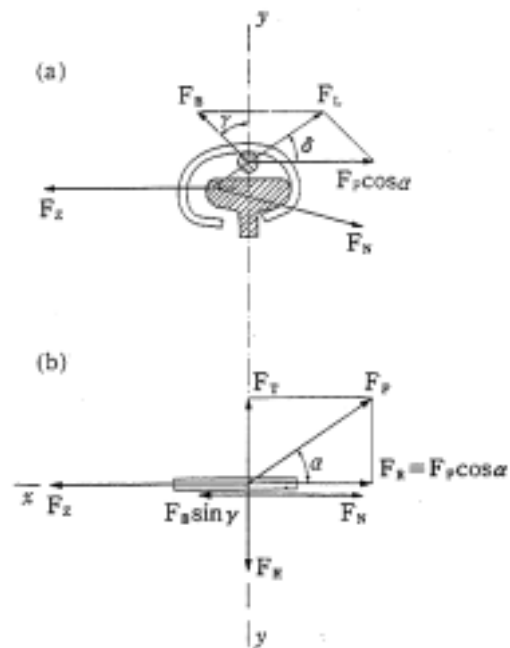
<그림 91> 콤 직경이 크고 작음에 따른 실의 장력 차이

9. 5. 3. 4 스펀들 축 구간내 수평면의 트래블러의 조건

<그림 92>에서 보는 바와 같이 트래블러에 영향을 미치는 실의 영향은 두 가지 힘으로 표시할 수 있다. 그중의 한 점은 인장력 F_F 이며, x축에 대하여 각도 α 로 작용한다. 다른 한 가지 힘은 F_B 인데, 벌룬 때문에 발생되며 벌룬 커브의 접선방향으로 작용되는 것으로 추정된다. 이 힘은 y축에 대하여 α 각도로 트래블러를 상부방향으로 끌어 당기는 작용을 한다. 따라서 트래블러는 두 개의 분력 F_B 와 F_F 의 합성력인 F_L 의 크기로 경사진 상부방향으로 잡아 당

기게 된다. 따라서 링 레일이 상하로 움직임에 따라 각도 δ 는 실제적으로 변하게 된다.

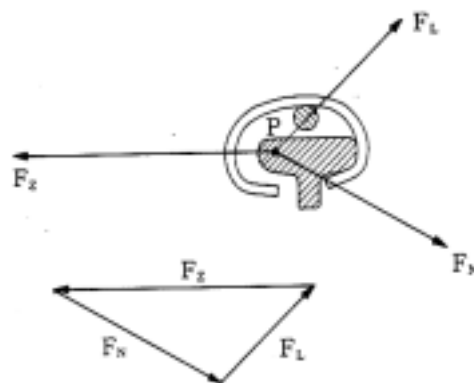
더욱이 트래블러는 힘 F_z (원심력)과 F_N (접선력)의 영향을 받는다. 여기에서 트래블러의 중량은 무시되었다.



<그림 92> 트래블러에 미치는 힘의 분해

(a) 상하간

(b) 평면상

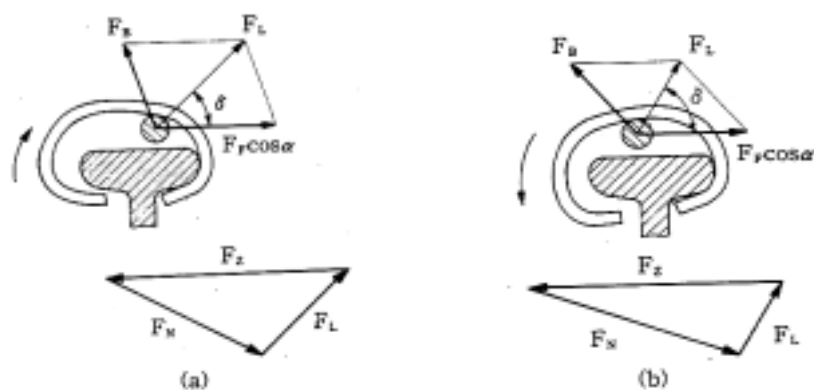


<그림 93> 실에 미치는 합성 인장력 F_L

트래블러의 속도가 일정할 때 3개의 힘 F_L , F_Z 및 F_N 은 서로 균형을 이루며 P점에서 서로 교차하게 되고 밀폐된 삼각형의 모양을 이루게 된다<그림 93>.

9.5.3.5 조건의 변화

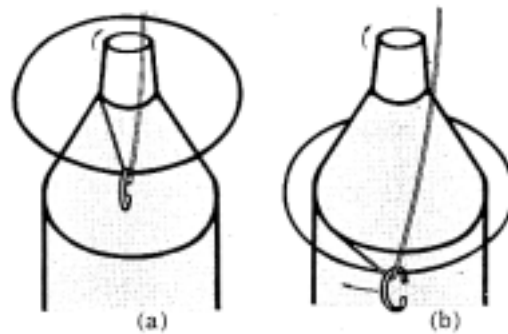
링 레일의 상하방향의 한 행정중 힘 F_F 와 F_B 및 각도 δ 에는 실제로 변동이 있게 된다. 이들 실제적인 변동은 곧 이들과 관련된 힘 F_L 의 변동을 의미한다. 또한 실이 트래블러를 통과하는 지점 역시 변하게 되는데, 그러나 이때 인장분력 F_L 의 크기와 실의 트래블러로 들어가는 각도 또한 변하게 된다. 링 레일이 그 행정의 상부에 있을 때(그림 94 a의 작은 콕의 직경) 실에는 장력이 크게 걸리게 되고, 실의 링의 약간 위에서 트래블러를 통과하게 되고, 트래블러의 자유단(free end : 잘려진 끝)을 좌측 상방향으로 끌어 당기게 된다. 이때 트래블러는 똑바로 서게 된다. 링 레일이 밑으로 내려갈 때는 인장력은 감소되고 벌룬은 폭이 넓어지며 실은 트래블러의 굴곡 부위 중간을 통과하게 된다. 트래블러의 자유단은 좌측 아래방향으로 약간 기울어지게 된다.



<그림 94> 트래블러의 들어 올림과 내리 누름

(a): 보다 큰 힘 F_L 에 의한 들어 올림

(b): F_L 의 감소에 의한 내리 누름



<그림 95> 링에서 트래블러의 기울기의 변화

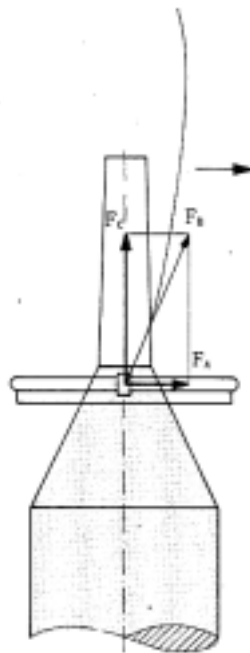
이와 같이 트래블러는 약간 기울어지는 것 외에 롤링 운동(rolling motion)도 하게 된다. 만약 실이 상부방향으로 트래블러를 통과하게 되면<그림 95 b>, 실이 트래블러를 통과하게 되는 지점은 링의 접촉표면으로부터 떨어지게 된다. 실은 트래블러 굴곡 부위의 상부를 통과하게 되는데, 이로 인해 트래블러는 좌측으로 기울어져 수직으로 들어 올려지게 된다. 반대 효과로써 링 레일이 상부방향으로 움직이는 동안 트래블러 내의 실은 링에 더욱 가깝게 접근한다. 즉, 실이 트래블러에 대하여 아래방향으로 움직임에 따라 트래블러는 똑바로 위치하게 된다<그림 95 a>

이와 같은 트래블러 움직임의 변화는 마찰 조건이란 측면에서 그리 좋은 현상은 아니나 다른 한편으로 트래블러가 힘의 변동이나 충격을 흡수하기 위해서는 이와 같이 자유롭게 움직이는 것이 필요하다.

9. 5. 3. 6 접평면(tangential plane)에서의 트래블러의 조건

실은 절대적인 수직방향으로 방출되는 것이 아니라 스핀들 축의 평면상을 통과하게 된다. 별론의 회전에 의해 생기는 공기의 저항으로 인해 곡선형태가 이루어진다. 따라서 앞에서 간단히 설명한 대로 별론장력 F_B 는 수직 인장력으로 작용하지 않으며, 실제적으로는 일정한 각을 가지고 상부방향으로 경

사지게 된다. 정확한 공식화를 위해서는 3차원적인 표시와 그에 상응하는 분석이 요구된다. 그러나 그러한 3차원적인 분석이 없이도 <그림 96>에서 보는 바와 같이 벌룬장력은 2개의 분력으로 분해할 수 있는데 즉, 트래블러를 링에 대하여 상부방향으로 밀어주는 분력 F_C 와 트래블러에 대해 억제력으로 작용하고 링과 트래블러 사이에서 나타나는 마찰로 인해 발생하는 억제력을 약간 더 보강시켜 주는 분력 F_A 로 분해할 수 있다. 여기에서 분력 F_A 의 크기는 비교적 작으며 무시될 수 있다. 또한 트래블러의 공기저항이 있는 것도 사실이다.



<그림 96> 경사진 벌룬을 포함한 힘의 분해

9. 5. 3. 7 벌룬의 장력(balloon tension)

벌룬 내에서 실의 장력(F_B)은 최종적으로 대부분 세 가지 힘의 분력 속에 침투되는데, 이는 실제적으로 사절의 큰 원인이 된다. 이 장력은 실이 안 가이드를 통과함으로써 약간 감소된다.

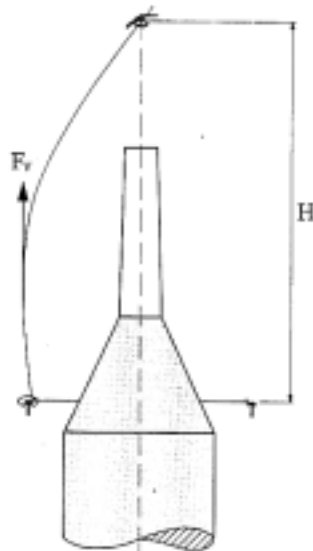
실의 장력 F_F 와 별론장력 F_B 사이의 힘의 균형은 반드시 이루어져야 한다. 실이 트래블러를 통과하고 거기에서 마찰이 생기기 때문에 이 균형은 다음가 같이 주어진다.

$$F_F = F_B \times e^{\mu \varepsilon}$$

여기에서 e 는 자연로그(2.718)의 기수이고, μ 는 실과 트래블러 사이의 마찰계수, ε 는 트래블러에 대한 콥에 감겨진 사층의 각도이다. 일반적으로 $e^{\mu \varepsilon}$ 는 1.2~1.8이다. 따라서 별론의 장력은 대략적으로 권취장력(F_F)의 절반이 된다. <그림 97>에서 보는 바와 같이 별론의 최대 직경점에서의 실의 장력 F_V 는 Krause 교수가 제시한 다음 공식에 의해 대략적으로 구할 수 있다.

$$F_V = k \times \omega_L^2 \times H^2 \times \sigma$$

여기에서 ω_L 은 트래블러의 각속도이고, H 는 별론의 높이, σ 는 실의 단위 질량-(실의 질량/실의 길이) $\approx \text{tex}$ 이고, k 는 상수이다.



<그림 97> 별론의 장력

따라서 주어진 실의 변수에서 별론 내의 실의 장력은 트래블러의 속도와 별론의 높이에 따라 크게 좌우된다. 트래블러의 속도가 크고 별론의 높이가 높으면 별론 내에서 매우 큰 실의 장력이 형성된다.

9.5.4 트래블러에 미치는 영향

여기에서 언급된 모든 힘들은 트래블러에 작용한다. 이 힘들은 그들 스스로 계속 변하고 있고, 트래블러를 통과해 들어 가는 실의 각도가 연속적으로 변하기 때문에 링 위의 트래블러의 상태도 역시 같이 변하게 된다. 분석 가능한 이들 변동들은 별론이나 링과 트래블러 사이의 마찰조건의 변동으로부터 발생하는 갑작스런 힘에 의해 더욱 강화되어 진다. 따라서 아주 조용하고 균일하며 안정적인 트래블러의 운동은 불가능하다. 이것이 링 정방이 가지고 있는 가장 큰 문제점 가운데 하나이다.

아직도 큰 문제의 하나로 남아 있는 것은 열의 발생이다. 트래블러는 그 자신이 스스로 움직이는 것이 아니라 스핀들을 따라 움직이기 때문에 트래블러의 운동은 제동이 걸리게 되며 열이 발생되지 않는 제동은 불가능하다. 따라서 트래블러에는 고온이 발생하며, 이 열은 400°C 가 넘을 때도 있다. 여기에서 실제적인 문제가 되고 있는 것은 열의 발생이 아니라 오히려 이 열의 소멸이다. 트래블러는 주어진 시간에 발생된 열을 공기중이나 링에 전달 시키기에는 그 질량이 너무 작다.

지금까지 언급한 다양한 설명은 링, 트래블러 및 실과의 상호작용에서 앞으로 괄목할 만한 발전을 이룩한다는 것은 매우 어렵다는 사실을 보여주고 있다. 이것은 또한 지금까지 트래블러가 가능한 최대의 속도에 도달해 있다는 사실을 의미한다. 양호한 조건하에서 트래블러의 가능한 최대속도는 약 $40\text{m}/\text{초}$ (약 $140\text{km}/\text{시간}$)이다.