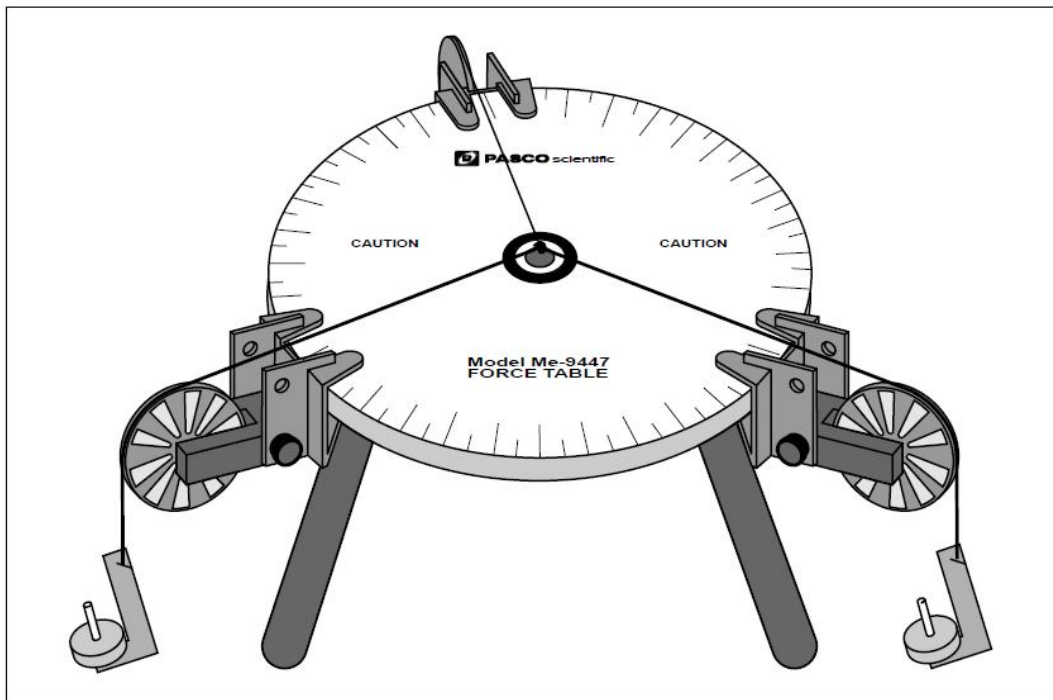


힘의 평형



장비

수량	이름	비고
1	중앙기둥	
3	다리	
3	도르래용 클램프	
1	추 세트	
3	추 걸이	
1	플라스틱 링	
1	실 패	
1	각도기	

서론

힘 평형장치는 평형의 개념을 이용하여 벡터의 합성을 물리학적으로 증명하는 실험 도구이다. 이 벡터는 도르래에 매달려있는 추의 무게에 의해 가해지는 힘이다. 주어진 각도들에 배치된 도르래에 매달려있는 두 개의 추는 다른 각도에 배치된 도르래에 매달려있는 또 다른 추에 의해 평형을 이루게 된다.

힘 평형장치는 다음의 몇 가지의 우수한 특징들을 가지고 있다:

- 가볍다.
- ★ 주의 : 각 도르래에 매단 질량이 200 g을 초과해서는 안된다.
- 좁은 공간에 보관할 수 있다.
- 도르래의 마찰이 매우 적다.
- 도르래 클램프를 이용하면, 줄을 평형장치 위의 각도 표시 지점에 가깝게 낚출 수 있어 각도를 읽을 때 오차가 감소한다.
- 매듭을 중앙에 놓거나(매듭을 이용하면 정확도를 높일 수 있다) 기존의 링을 중앙에 놓음으로써 평형을 이룰 수 있다.

조립

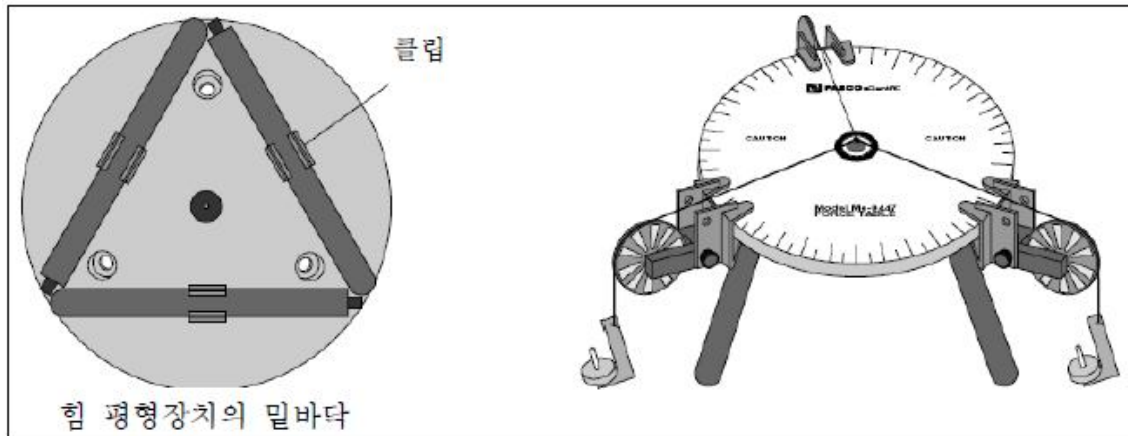


그림 1. 힘 평형장치: 조립 전, 후의 모습

- ① 힘 평형장치의 플라스틱 디스크 밑바닥에 있는 클립에서 3개의 다리를 분리한다.
- ② 디스크의 밑바닥에 있는 구멍에 다리를 돌려 끼운다(그림 1 참조).
- ③ 디스크 가장자리에 3개의 도르래와 클램프를 장착한다. 2개 이상의 힘을 합성할 계획이라면, 평형력을 획득할 수 있도록 1개의 도르래 외에 원하는 수의 도르래를 클램프로 고정시킨다.

테이블에 줄을 장착하는 방법은 두 가지이다:

첫 번째 방법은 힘 평형장치 중앙에 있는 기존의 링을 이용하는 것이고, 두 번째 방법은 힘 평형장치 중앙에 있는 구멍을 통과하는 고정 줄(anchor string)을 이용하는 것이다. 고정 줄의 장점은 힘 평형장치의 중앙에 크고 묵직한 링 대신에 단 한 개의 매듭이 놓이기 때문에 더 큰 정확도를 달성할 수가 있다는 것이다. 고정 줄은 장치가 평형을 이루지 못할 때 추가 한쪽으로 낙하하는 것을 막아준다.

★ 주의 : 두 방법 모두 도르래를 조정하여 줄이 힘 평형장치의 상부 표면에 평행하며, 최대한 상부 표면과 가까울 수 있도록 하는 것이 중요하다. 도르래를 조정할 때 상부 표면에 있는 링을 정지시켜서는 안 된다.

링을 이용한 방법 (추천)

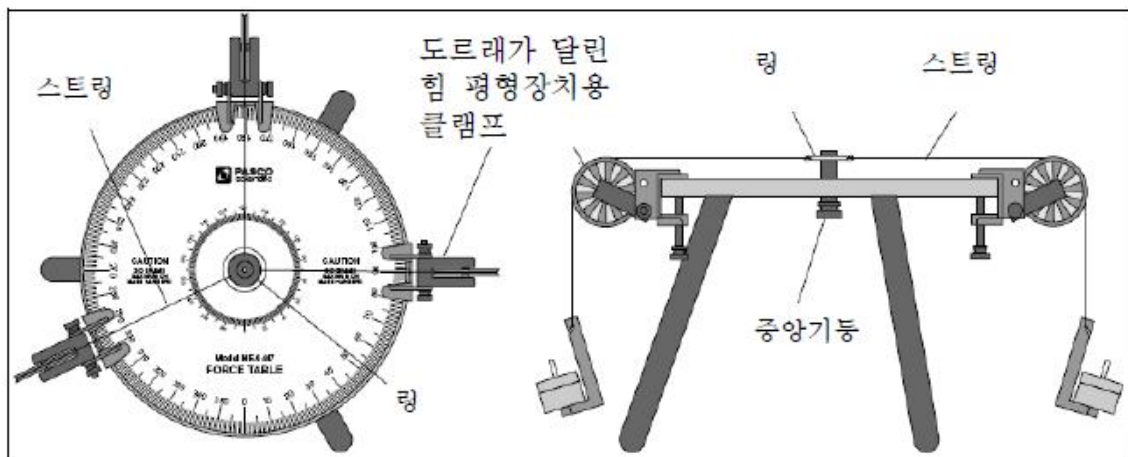


그림 2. 링을 이용하여 힘 평형장치에 줄을 매다는 방법

그림 2를 참조한다. 중앙기둥이 힘 평형장치 위로 튀어나올 수 있게 중앙기둥이 멈출 때까지 돌려서 위로 올린다. 중앙기둥에 링을 끼운 다음, 30cm 길이의 줄을 도르래 당 1줄씩 링에 묶는다. 줄은 도르래에 연결될 수 있을 만큼 충분히 길어야 한다. 각각의 줄을 도르래 위에 올려놓고 추 걸이를 묶는다.

★ 주의 : 추 걸이에 줄을 연결하려면, 줄을 각각의 추 걸이 위쪽에 있는 v자 홈에 4-5차례 감으면 된다.

고정 줄을 이용한 방법

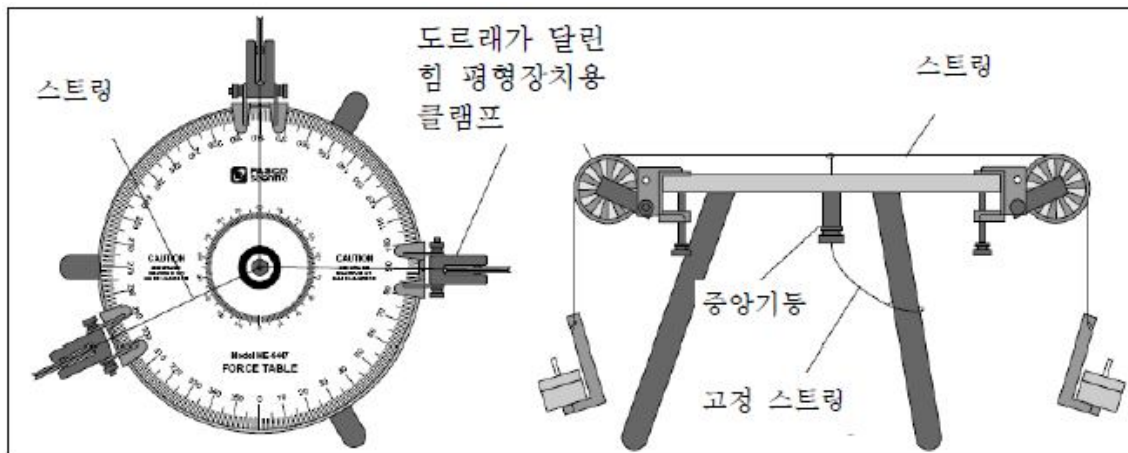


그림 3. 고정 줄을 이용하여 힘 평형장치에 줄을 매다는 방법

그림 3을 참조한다. 줄을 60cm 길이로 잘라서 중앙에 한꺼번에 묶는다("X"자 형태가 되어야 한다). 힘 평형장치의 중앙에 한꺼번에 묶어 놓은 줄 중 3개의 끝부분을 도르래 위에 늘어뜨린다. 네 번째 줄은 고정 줄의 역할을 할 수 있게 중앙기둥에 있는 구멍을 통과시켜 아래로 끼워 넣을 것이다. 힘 평형장치의 상부 표면과 중앙기둥의 높이가 같아지도록 중앙기둥을 아래로 돌린다. 고정 줄을 중앙기둥에 있는 구멍을 통과시켜 밑으로 끼워 넣은 다음, 그 끝을 다리 하나에 묶는다. 각각의 다른 줄을 도르래 위에 올려놓은 다음, 각 줄의 끝에 추 걸이를 묶는다.

★ 주의 : 추 걸이에 줄을 연결하려면, 줄을 각각의 추 걸이 위쪽에 있는 v자 홈에 4-5차례 감으면 된다.

벡터 합성

장비

수량	이름	비고
1	힘 평형장치	
3	도르래	
3	도르래용 클램프	
3	추걸이	
1	줄	
1	미터자	
1	각도기	
2	모눈종이	

목적

이 실험의 목적은 힘 평형장치를 이용하여 두 개의 힘과 평형을 이루는 다른 하나의 힘을 실험적으로 측정하는 것이다. 측정된 결과는 두 힘의 합을 힘의 성분을 이용하거나 그래프를 이용하여 구한 결과로 확인할 수 있다.

이론

이 실험은 세 가지의 방법으로 2개의 벡터를 합성한 결과를 확인한다. 세 가지 방법은 실험에 의한 방법, 성분을 이용하는 방법, 그리고 그래프를 이용하는 방법이다.

★ 주의 : 모든 경우에 있어서, 도르래에 매달려 있는 추의 질량과 중력가속도를 곱하면 도르래에 매달려있는 추가 작용하는 힘이 된다.

실험에 의한 방법

일정 각도로 배치된 도르래에 추를 매듭으로써 힘 평형장치에 2개의 힘을 가한다. 그 다음에는 다른 2개의 힘이 평형을 이루게 될 때까지 세 번째 도르래의 각도와 여기에 매달린 추를 조절한다. 이 세 번째 힘은 평형을 이루게 하는 힘이기 때문에 평형력($\vec{F}_E$)으로 부른다. 평형력은 합성력($\vec{F}_R$)과 같지 않다. 합성력은 2개의 힘을 합성한 것이다. 평형력은 합성력과 크기는 동일하지만, 합성력과 평형을 이루어야 하기 때문에 합성력과 반대방향이다(그림 4 참조). 따라서 평형력은 합성력에 대해 음수이다:

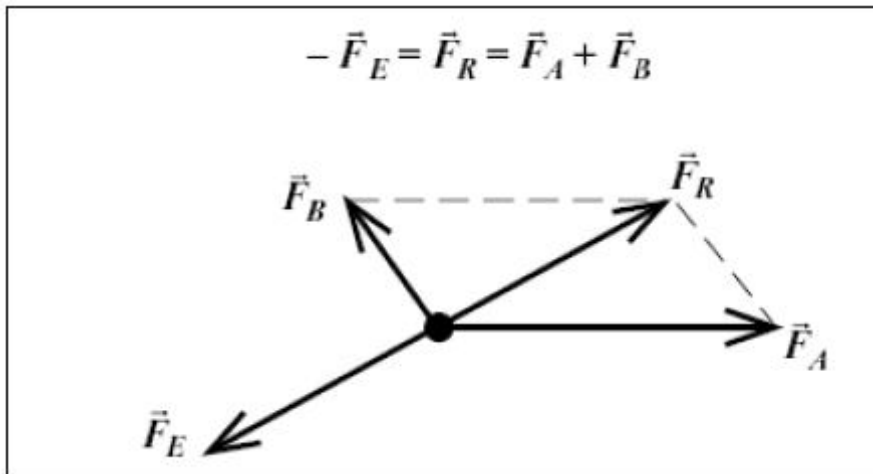


그림 4. 평형력은 합성력과 평형을 이룬다

성분을 이용하는 방법

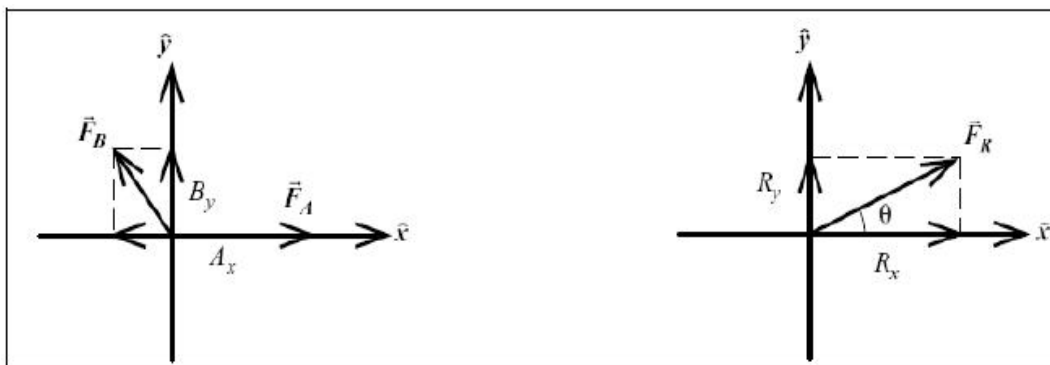


그림 5. 성분

힘의 x-성분과 y-성분을 더함으로써 2개의 힘을 합성한다. 먼저, 2개의 힘을 x-성분과 y-성분으로 나눈다:

$$\vec{F}_A = A_x \hat{x} + A_y \hat{y}, \quad \vec{F}_B = B_x \hat{x} + B_y \hat{y}$$

여기서 A_x 는 벡터 $\vec{F}_A$ 의 x-성분, $\hat{x}$ 는 x-방향의 단위 벡터이다. 그림 5를 참조한다. $\vec{F}_A$ 와 $\vec{F}_B$ 의 합을 구하려면, 그 성분들을 합성하여 합성력 $\vec{F}_R$ 의 성분을 구한다.

$$\vec{F}_R = (A_x + B_x) \hat{x} + (A_y + B_y) \hat{y} = R_x \hat{x} + R_y \hat{y}$$

분석을 완료하려면, 합성력이 크기와 방향(각도)의 형태로 존재하여야 한다. 따라서 성분들은 서로 직각이므로 피타고라스의 정리를 이용하여 합성력의 성분(R_x 와 R_y)을 합하여 F_R 을

구하면 다음과 같다:

$$F_R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

그리고 삼각법을 이용하여 각을 구하면 다음과 같다:

$$\tan(\theta) = \frac{R_y}{R_x}$$
$$\theta = \arctan\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$$

그래프를 이용하는 방법

자와 각도기를 이용하여 그래프에 2개의 힘을 그려서 두 힘을 합성한다. 두 번째 힘($\vec{F}_B$)의 꼬리가 첫 번째 힘($\vec{F}_A$)의 머리에 있게하여 두 번째 힘을 그린다. $\vec{F}_A$ 의 꼬리에서 $\vec{F}_B$ 의 머리까지 합성력($\vec{F}_R$)을 그린다. 그림 6을 참조한다. 그 다음에는 선택한 자를 이용하여 그림에서 직접 합성력의 크기를 측정하여 적절한 힘으로 전환할 수 있다. 또한 각도기를 이용하면 각도를 측정할 수 있다.

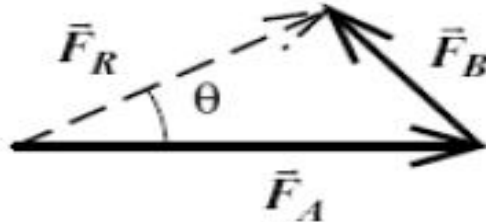


그림 6. 벡터의 머리를 꼬리에 합성하기

설치

- ① 위의 조립 방법과 같이 힘 평형장치를 조립한다. 3개의 도르래를 이용한다(2개의 도르래는 합성할 2개의 힘을 위한 것이고 1개의 도르래는 두 힘의 합과 평형을 이루는 힘을 위한 것이다).
- ② 링 방법을 사용하는 경우에는 2개의 도르래에 추를 매달 때 중앙기둥에 링이 유지할 수 있도록 중앙기둥을 위로 돌린다. 고정 줄 방법을 사용하는 경우에는 중앙기둥과 힘 평형 장치의 상부 표면이 같은 높이가 되게 한다. 반드시 고정줄은 2개의 도르래에 매달 추에 연결되어있는 줄을 유지할 수 있도록 힘 평형장치의 다리 하나에 묶어야 한다.
- ③ 2개의 도르래에 아래의 추를 매달고 클램프를 이용해 일정한 각도로 도르래를 고정시킨다:

힘 A = 0°에서 50g
힘 B = 120°에서 100g

실험방법

시행착오를 겪으면서, 두 추가 줄에 가하는 힘과 평형을 이루게 되는 세 번째 도르래의 각도와 질량을 알아낸다. 세 번째 힘은 평형을 이루게 하는 힘이기 때문에 평형력($\vec{F}_E$)으로 불린다. 평형력은 합성력에 대해 음수이다:

$$-\vec{F}_E = \vec{F}_R = \vec{F}_A + \vec{F}_B$$

장치가 평형을 이루었는지 확인하려면, 다음 기준을 적용한다.

① 링을 이용하여 평형을 확인하는 방법

장치가 평형을 이루면 링은 기둥 바로 위의 중앙에 있게 된다. 중앙기둥이 제자리에서 더 이상 링을 유지할 수 없도록 중앙기둥을 아래로 돌려 힘 평형장치의 상부 표면과 같은 높이로 만든다. 링을 한 쪽으로 살짝 당겼다 놓는다. 링이 중앙으로 되돌아가는지 확인한다. 링이 중앙으로 되돌아가지 않으면, 링을 한 쪽으로 약간 당길 때마다 매번 중앙으로 되돌아갈 때까지 세 번째 도르래의 질량과 각도를 조절한다.

② 고정 줄을 이용하여 평형을 확인하는 방법

장치가 평형을 이루면 매듭은 중앙 기둥의 한가운데에 있는 구멍 위에 있게 된다. 고정 줄은 느슨해야 한다. 줄이 힘 평형장치의 상부 표면과 가까워질 때까지 도르래를 아래쪽으로 조절한다. 매듭을 한 쪽으로 약간 당겼다 놓는다. 매듭이 중앙으로 되돌아가는지 확인한다. 매듭이 중앙으로 되돌아가지 않으면, 매듭을 한 쪽으로 약간 당길 때마다 매번 중앙으로 되돌아갈 때까지 세 번째 도르래의 질량과 각도를 조절한다.

장치를 평형이 되도록 하는 세 번째 도르래에 필요한 질량과 각도를 표 1에 기록한다.

분석

세 번째 도르래를 어떤 각도와 질량으로 매달아야 하는지를 이론적으로 측정하려면, 성분 방법과 그래프 방법을 이용하여 평형력($\vec{F_E}$)의 크기와 방향을 계산하면 된다.

① 성분방법

별개의 종이 위에, 평형력의 크기를 측정할 수 있도록 힘 A와 힘 B의 벡터 성분을 더한다. 삼각법을 이용하여 방향을 찾는다(평형력은 합성력의 방향과 정 반대임을 기억하라). 표 1에 평형력을 기록한다.

② 그래프 방법

별도의 종이 위에, 힘A와 힘B의 벡터를 나타내는 꼬리-머리(tail to head) 그림을 작도한다. 자와 각도기를 이용하여 합성력의 크기와 방향을 측정한다. 표 1에 결과를 기록한다. 합성력의 방향과 정반대인 평형력의 방향을 기록하는 것을 잊지 않도록 한다.

◇ 평형력의 이론상 크기 및 방향과 실제 크기 및 방향을 비교하면 어떠한가?

표 1. 세 가지 방법을 이용한 벡터의 합성 결과

방법	평형력(F_E)	
	크기	방향(θ)
실험		
성분 : $R_x =$ _____ $R_y =$ _____		
그래프		

부 록

보관

힘 평형장치는 도르래 및 도르래 클립을 장착한 채로 보관하거나 따로 분리해서 보관할 수 있다. 저장공간을 최소화하려면, 힘 평형장치에서 다리를 돌려 빼서 분리한 다음, 힘 평형장치의 밑바닥에 있는 클립에 끼운다. 그렇게 하면 힘 평형장치를 선반에 쌓아 올릴 준비가 끝난다.

각도기

다음 페이지에 있는 각도기는 힘 평형장치의 상부 표면에 있는 각도기보다 더 작은 형태의 각도기이다. 이들 각도기는 복사하고 수정할 수 있으며, 스트링의 위치를 그리고 투사(tracing)하고자 할 때 힘 평형장치 위에 덮어 오버레이로 사용할 수 있다.

