

평형과 안정성

차례

Part 1 · 개념 정리 1
알짜힘과 힘의 평형 1
돌림힘 6
역학적 평형과 구조물의 안정성 12
Part 2 · 기본 문제 18
Part 3 · 심화 문제 20
Part 4 · 정답과 해설 28
개념 체크 정답 28
기본 문제 해설 29
심화 문제 해설 31

Part 1 · 개념 정리

1 알짜힘과 힘의 평형

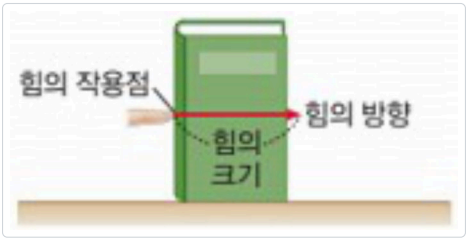
무게가 다른 여러 가지 모형이 양쪽에 달린 모빌은 한쪽으로 기울어지지 않고 균형을 유지한다. 모빌이 균형을 유지할 수 있는 까닭은 모빌에 작용하는 여러 가지 힘이 평형을 이루기 때문이다.

1. 힘

(1) **힘**: 물체의 모양이나 운동 상태를 변화시키는 원인이다.

(2) **힘의 3요소**: 물체에 힘이 작용할 때 힘의 3요소인 힘의 크기, 힘의 방향, 힘이 작용하는 작용점(힘의 작용점)에 따라 물체의 운동 상태가 달라진다.

> **힘의 표시** 힘을 화살표로 나타낼 때 화살표의 시작점은 힘의 작용점, 화살표의 길이는 힘의 크기, 화살표가 가리키는 방향은 힘의 방향을 뜻한다.
> **힘의 단위** N(뉴턴)을 사용한다. 지구 표면에서 질량이 1 kg인 물체에 작용하는 중력의 크기(무게)는 약 9.8 N이다.



(3) **여러 가지 힘**

① **중력**: 질량을 가진 물체 사이에 상호작용하는 힘이다. 이 힘에 의해 지구상의 모든 물체는 지구가 끌어당기는 힘을 받는데, 이 힘을 지구의 중력이라고 한다. 중력은 물체의 질량에 비례하고, 지구 중심 방향(연직 아래 방향)으로 작용한다.

② **탄성력**: 변형된 물체가 원래 모양으로 되돌아가려는 힘이다. 용수철의 경우 탄성력은 용수철이 변형된 길이에 비례하고, 작용한 힘과 반대 방향으로 작용한다.

③ **수직 항력**: 접촉면이 물체에 수직으로 작용하는 힘을 수직 항력이라고 한다. 책상 위에 놓인 물체에 작용하는 수직 항력은 중력과 크기는 같고 방향은 반대이다.

④ **마찰력**: 두 물체의 접촉면 사이에서 물체가 미끄러지는 것을 방해하는 힘이다. 수평면에 정지해 있는 물체를 옆으로 끌 때 힘의 크기가 특정한 값 이하에서 물체는 움직이지 않는다. 이때를 **정지 마찰력**이라고 하며, 크기는 물체를 당기는 힘의 크기와 같다. 물체가 움직이기 시작하면 물체에는 당기는 힘의 크기와 관계없이 일정한 크기의 힘이 작용하며, 이때를 **운동 마찰력**이라고 한다.

⑤ **장력**: 줄에 추를 매달면 줄을 통해 힘이 작용하는데, 이때 줄의 각 부분들이 서로 이웃한 부분을 잡아당기는 힘을 장력이라고 한다. 손으로 줄을 잡아당길 때 잡아당기는 힘과 줄이 손을 당기는 장력은 크기는 같고 방향은 반대이다.



▲ 마찰이 없는 수평면에서 나무 도막에 매단 줄을 당길 때 장력

▲ 마찰이 있는 수평면에서 나무 도막을 끌어당길 때 작용하는 여러 가지 힘

중력 지구가 물체를 당기는 힘으로, 무거운 물체일수록 작용하는 중력의 크기가 크다.
탄성력 힘을 받아 변형된 물체가 원래 모양으로 되돌아가려는 힘으로, 작용한 힘이 클수록 탄성력의 크기가 크다.
마찰력 두 물체의 접촉면에서 물체의 운동을 방해하는 힘으로, 접촉면이 거칠수록, 물체의 무게가 무거울수록 마찰력의 크기가 크다.

개념 체크 A 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 물체에 힘이 작용할 때 힘의 크기, 힘의 방향, 힘의 _____ 에 따라 물체의 운동 상태가 달라진다.
2. 줄에 추를 매달았을 때 줄의 각 부분들이 서로 이웃한 부분을 잡아당기는 힘을 _____ 이라고 한다.
3. 용수철의 탄성력은 용수철이 변형된 길이에 비례하고, 작용한 힘과 같은 방향으로 작용한다. ( )
4. 수평면에 정지해 있는 물체를 옆으로 끌어도 물체가 움직이지 않을 때, 정지 마찰력의 크기는 물체를 당기는 힘의 크기와 같다. ( )

2. 알짜힘

(1) **알짜힘**: 한 물체에 여러 힘이 동시에 작용할 때 여러 힘과 같은 효과를 내는 하나의 힘을 **합력** 또는 **알짜힘**이라고 한다. 이때 힘의 합력을 구하는 것을 **힘의 합성**이라고 한다.

(2) **한 물체에 두 힘 F_1, F_2가 같은 방향으로 동시에 작용할 때 알짜힘 F**

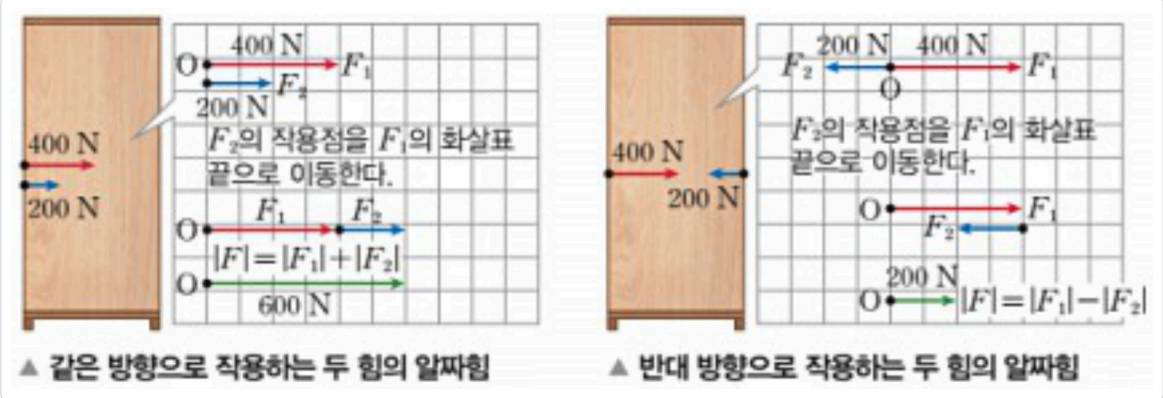
① 알짜힘의 크기: $|F| = |F_1| + |F_2|$

② 알짜힘의 방향: F_1, F_2와 같은 방향

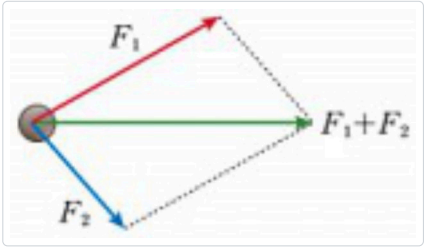
(3) **한 물체에 두 힘 F_1, F_2($|F_1| > |F_2|$)가 반대 방향으로 동시에 작용할 때 알짜힘 F**

① 알짜힘의 크기: $|F| = |F_1| - |F_2|$

② 알짜힘의 방향: F_1의 방향



한 물체에 두 힘이 나란하지 않은 방향으로 작용할 때 알짜힘 물체에 나란하지 않은 두 힘 F_1과 F_2가 동시에 작용할 때 두 힘의 알짜힘은 두 힘을 나타내는 화살표를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선이다.



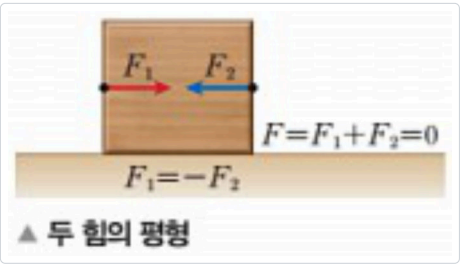
3. 힘의 평형

(1) **힘의 평형**: 물체에 여러 힘이 동시에 작용할 때 알짜힘이 0이 되는 경우 **힘의 평형**을 이룬다고 한다. 물체에 작용하는 힘이 평형을 이룰 때 물체의 운동 상태는 변하지 않고, 정지해 있거나 등속도 운동을 한다.

(2) **두 힘이 평형을 이루기 위한 조건**

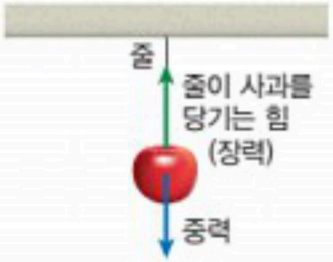
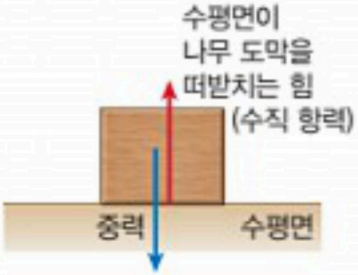
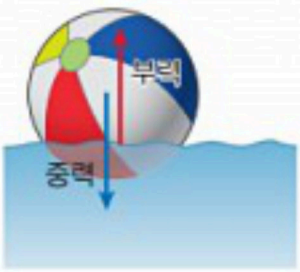
① 힘의 크기가 같고, 힘의 방향이 서로 반대이어야 한다.

② 한 물체에 동시에 작용하여야 한다.



▲ 두 힘의 평형

(3) **두 힘이 평형을 이루는 예**

줄에 매달린 사과	수평면에 놓인 나무 도막	물 위에 떠 있는 튜브
		
사과에 작용하는 중력과 장력은 힘의 평형을 이룬다.	나무 도막에 작용하는 중력과 수직 항력은 힘의 평형을 이룬다.	튜브에 작용하는 중력과 *부력은 힘의 평형을 이룬다.

부력 액체나 기체가 그 속에 있는 물체를 위로 밀어 올리는 힘으로, 액체나 기체에 잠긴 물체의 부피가 클수록 부력의 크기가 크다. 중력과 반대 방향으로 작용한다.

개념 체크 B 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 한 물체에 작용하는 여러 힘의 합력을 구하는 것을 힘의 _____ 이라고 한다.
2. 한 물체에 크기가 400 N과 200 N인 두 힘이 서로 반대 방향으로 동시에 작용할 때 알짜힘의 크기는 _____ N이다.
3. 물체에 작용하는 힘이 평형을 이룰 때 물체는 정지해 있거나 등속도 운동을 한다. ( )
4. 크기가 같고 방향이 반대인 두 힘이 서로 다른 물체에 각각 작용해도 두 힘은 평형을 이룬다. ( )

4. 뉴턴 제1법칙(관성 법칙)

(1) **관성**: 운동장에 놓인 공에 힘을 작용하지 않으면 공은 그대로 정지해 있다. 그러나 공을 발로 차면 공에 힘이 작용하여 공이 움직인다. 운동장을 굴러가던 공을 가만히 두면 점차 속력이 감소하여 정지하는데, 이는 마찰력이 작용하기 때문이다. 만약 마찰력이 작용하지 않는다면 공은 속력이 감소하지 않고 계속 굴러갈 것이다. 즉, 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 정지해 있는 물체는 계속 정지해 있고, 운동하고 있는 물체는 계속 운동하게 된다. 이처럼 물체가 현재의 운동 상태를 그대로 유지하려는 성질을 **관성**이라고 한다.

① **물체의 질량과 관성**: 물체의 질량이 클수록 관성이 크다.

② **관성에 의해 나타나는 현상**



▲ 버스가 갑자기 출발하면 사람은 정지 상태를 유지하려고 하므로 뒤로 쏠린다.

▲ 이불을 두드리면 먼지는 정지 상태를 유지하려고 하므로 떨어진다.

(2) **뉴턴 제1법칙**: 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 정지해 있는 물체는 계속 정지해 있고, 운동하던 물체는 계속 일정한 속도로 등속도 운동을 한다.

개념 체크 C 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 물체가 현재의 운동 상태를 그대로 유지하려는 성질을 _____ 이라고 한다.
2. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 운동하던 물체는 계속 일정한 속도로 _____ 운동을 한다.
3. 물체의 질량이 클수록 관성이 크다. ( )
4. 버스가 갑자기 출발하면 버스 안의 사람은 정지 상태를 유지하려고 하므로 앞으로 쏠린다. ( )

심화 ⊕ 뉴턴 운동 법칙

뉴턴 운동 법칙

① 뉴턴 제1법칙(관성 법칙): 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체의 운동 상태는 변하지 않고 그대로 유지된다.

② 뉴턴 제2법칙(가속도 법칙): 물체의 가속도의 크기는 물체에 작용하는 알짜힘의 크기에 비례하고 물체의 질량에 반비례한다.

③ 뉴턴 제3법칙(작용 반작용 법칙): 두 물체 사이에 힘이 작용할 때 동시에 같은 크기의 힘이 서로 반대 방향으로 작용한다.

자동차와 기차의 안전띠 자동차에는 안전띠가 있지만 기차에는 안전띠가 없는 까닭 중 하나로 관성이 있다. 자동차보다 기차의 질량이 커 관성도 크므로 기차의 속력 변화가 급격히 일어나지 않기 때문이다.

관성에 의한 여러 현상 식탁보 위에 접시를 놓고 식탁보를 세게 당기면 식탁보만 빠져나온다. 컵 위에 종이와 동전을 올려놓고, 손가락으로 종이를 세게 튕기면 동전은 컵 속으로 떨어진다.

뉴턴 운동 법칙 아이작 뉴턴은 물체의 운동을 연구하여 1687년에 출판된 『프린키피아(Principia, Mathematical Principles of Natural Philosophy)』에서 뉴턴 운동 법칙을 발표하였다. 뉴턴 운동 법칙은 물체의 운동을 설명하는 3개의 물리 법칙이다.

실을 당길 때 관성에 의해 나타나는 현상 양쪽에 실을 매단 추를 스탠드에 걸고 아래쪽 실을 짧은 순간 세게 당기면 질량이 큰 추의 관성 때문에 아래쪽 실이 끊어지고, 아래쪽 실을 천천히 당기면 당기는 힘과 추의 무게에 의해 위쪽 실이 끊어진다.



2 돌림힘

우리 주변에는 자전거 바퀴, 여닫이문, 돌려서 여는 병뚜껑과 같이 물체에 힘이 작용할 때 회전 운동을 하는 물체들이 있다. 물체를 회전시키는 원인이 되는 물리량을 돌림힘이라고 한다.

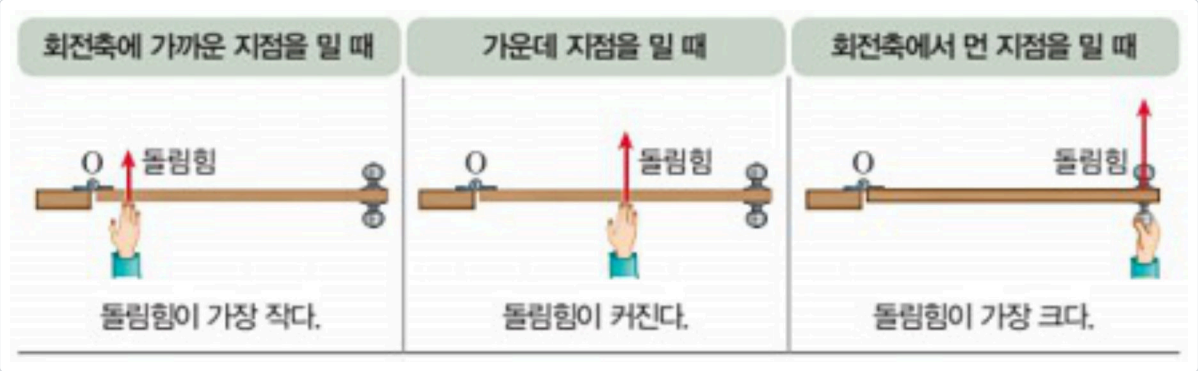
1. 돌림힘

(1) **돌림힘의 정의**: 여닫이문을 여닫을 때와 같이 회전축에서 일정한 거리만큼 떨어진 지점에 힘을 작용하면 물체가 회전축을 중심으로 회전한다. 이처럼 물체가 회전 운동하는 원인이 되는 물리량을 **돌림힘** 또는 **토크**(torque)라고 한다. 돌림힘은 크기와 방향을 가지는 물리량이다.

(2) **돌림힘의 크기**

① **물체에 작용하는 힘의 크기와 돌림힘**: 여닫이문을 열 때 큰 힘을 작용하면 더 잘 회전한다. → 물체에 작용하는 힘이 클수록 돌림힘이 크다.

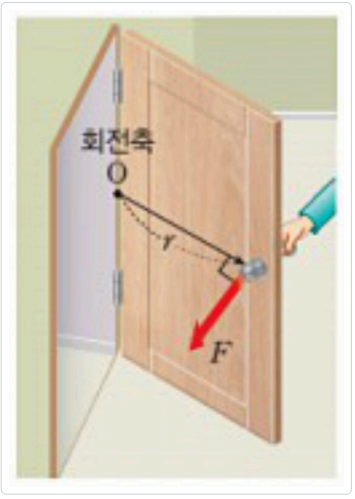
② **팔의 길이와 돌림힘**: 문을 같은 크기의 힘으로 밀더라도 회전축 O에서 멀수록 문이 잘 회전한다. 회전축에서 힘이 작용하는 지점까지의 거리를 **팔의 길이**라고 한다. → 같은 힘을 작용하더라도 팔의 길이가 길수록 돌림힘이 크다.



③ **돌림힘의 크기**: 회전축에서 팔의 길이가 r만큼 떨어진 지점에 크기가 F인 힘이 수직으로 작용할 때 돌림힘의 크기 τ(타우)는 팔의 길이 r와 회전 팔에 수직으로 작용한 힘의 크기 F의 곱으로 나타낸다. 이때 돌림힘의 단위는 N·m이다.

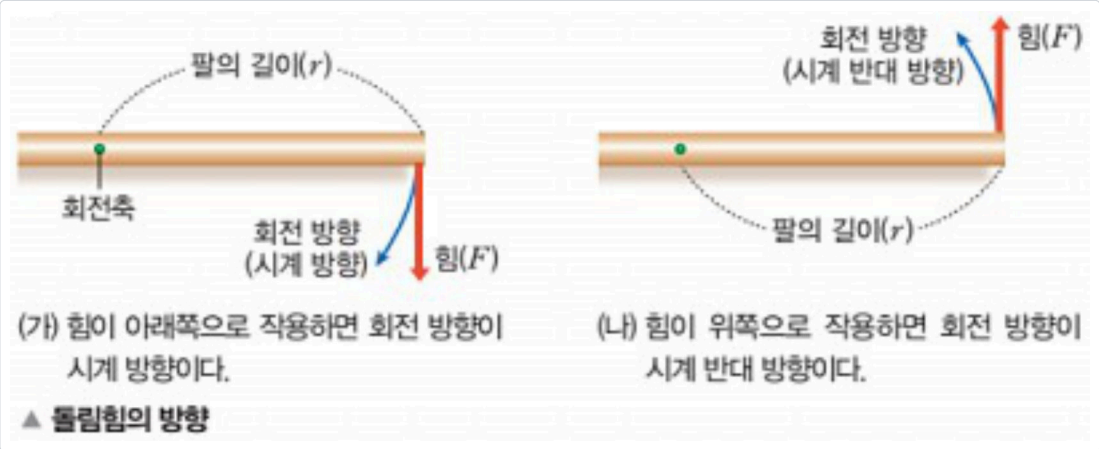
돌림힘 = 팔의 길이 × 힘, $\tau = rF$ [단위: N·m]

> **스칼라량과 벡터량**
> • 스칼라량: 크기만 가지는 물리량이다. 예 질량, 이동 거리, 속력, 일, 에너지, 열량, 온도 등
> • 벡터량: 크기와 방향을 모두 가지는 물리량이다. 예 힘, 변위, 속도, 운동량, 충격량, 돌림힘 등



회전하는 여닫이문에 작용하는 힘

(3) **돌림힘의 방향**: 힘의 방향이 반대가 되면 돌림힘의 방향도 반대가 된다. 돌림힘은 크기와 방향을 가지는 물리량으로 회전축이 하나일 때 물체의 회전 방향은 두 가지이고, 돌림힘의 방향 하나를 (+)로 나타내면 반대 방향의 돌림힘은 (−)로 나타낸다.



▲ 돌림힘의 방향

시계 방향과 시계 반대 방향 시곗바늘이 돌아가는 방향과 같은 방향으로 회전할 때, 즉, 위에서 오른쪽 아래로 돌아가는 방향을 시계 방향이라고 한다. 반대로 위에서 왼쪽으로 돌아가는 방향을 시계 반대 방향 또는 반시계 방향이라고 한다.

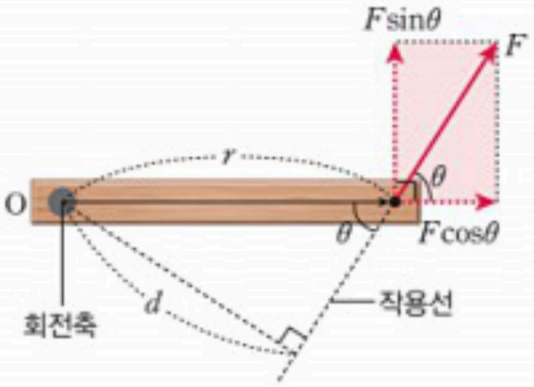


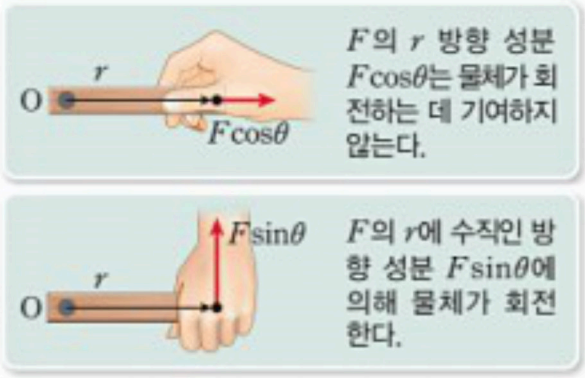
개념 체크 D 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 물체가 회전 운동하는 원인이 되는 물리량을 돌림힘 또는 _____ 라고 한다.
2. 회전축에서 힘이 작용하는 지점까지의 거리를 _____ 라고 한다.
3. 회전축에서 2 m 떨어진 곳에 10 N의 힘이 수직으로 작용하면 돌림힘의 크기는 20 N·m이다. ( )
4. 돌림힘은 크기만 가지는 물리량이다. ( )

심화 회전축과 힘의 방향이 직각이 아닐 때의 돌림힘

그림과 같이 물체에 회전축 O에서 r만큼 떨어진 지점에 r와 각도가 θ를 이루는 힘 F가 작용할 때는 F를 r 방향과 r에 수직인 방향으로 분해하여 분석한다. 힘 F를 r 방향과 r에 수직인 방향으로 분해하면, 힘의 성분 중 r 방향의 힘의 성분인 $F\cos\theta$는 물체의 회전에 기여하지 않는다. 즉, 물체의 회전에 기여하는 것은 r에 수직인 방향의 힘의 성분인 $F\sin\theta$이다. 따라서 돌림힘의 크기는 $rF\sin\theta$이다.

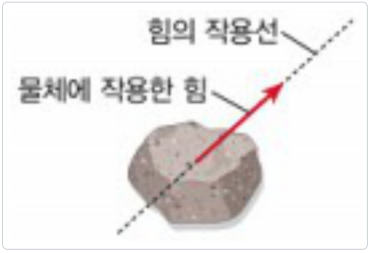




즉, 물체에 회전축 O에서 r만큼 떨어진 지점에 r와 각도가 θ를 이루는 힘 F가 작용할 때 돌림힘의 크기 τ는 다음과 같다.

$$\tau = rF\sin\theta \text{ [단위: N} \cdot \text{m]}$$

힘의 작용선 물체에 힘이 작용할 때 힘의 방향을 연장한 선을 힘의 작용선이라고 한다.

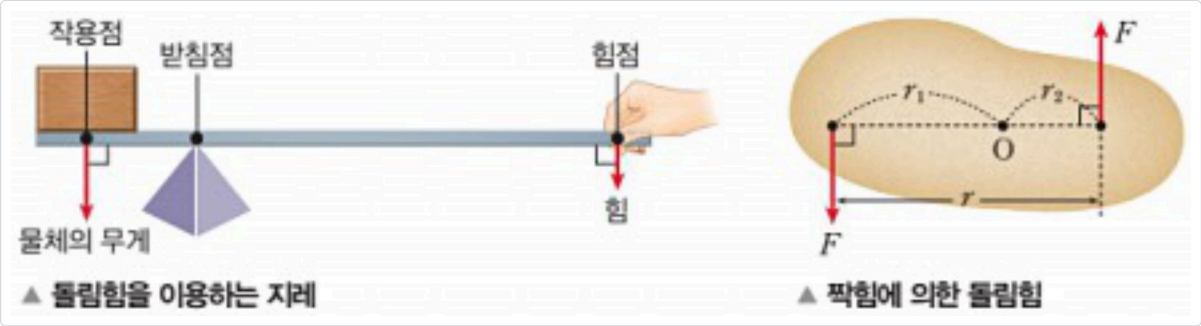


(4) **생활 속에서 돌림힘의 이용**: 사람이 낼 수 있는 힘의 크기에는 한계가 있기 때문에 팔의 길이를 길게 하여 돌림힘을 크게 하는 방법으로 돌림힘을 많이 이용한다. 지레, 자동차 운전대, 도르래, 렌치 등에 돌림힘이 이용된다.

① **지레**는 일반적으로 돌림힘을 이용하여 무거운 물체를 물체의 무게보다 작은 힘으로 들어 올리는 도구이다. 무거운 물체를 들어 올릴 때 회전축으로부터 물체까지 거리보다 더 먼 거리에서 힘을 작용하면 물체의 무게보다 작은 힘으로도 물체를 들어 올릴 수 있다.

② **자동차의 운전대**는 짝힘을 이용하여 돌림힘의 팔의 길이가 더 길어진 효과를 얻어 물체에 더 큰 돌림힘을 작용한다. 두 힘의 크기가 같아 힘의 평형을 이루지만 작용선이 서로 다른 두 힘을 **짝힘**이라고 하며, 짝힘은 회전식 수도꼭지, 드라이버를 돌릴 때 등에도 이용된다. 회전축 O로부터 거리가 r_1인 곳에 힘 F가 작용하고 r_2인 곳에 힘 F가 반대 방향으로 작용하는 물체가 있다면, 이 물체에서 짝힘에 의한 돌림힘의 크기는 다음과 같이 회전축을 어느 지점으로 하든 같다.

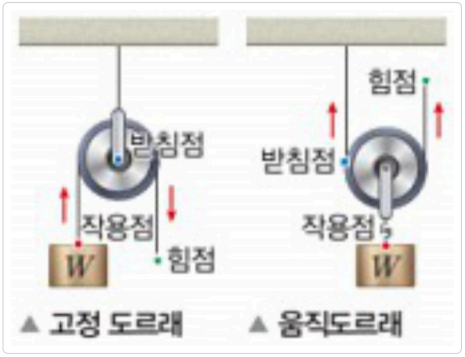
$$\tau = r_1F + r_2F = rF$$



▲ 돌림힘을 이용하는 지레 ▲ 짝힘에 의한 돌림힘

도르래 바퀴에 홈을 파고 줄을 걸어서 돌려 물건을 움직이는 장치를 도르래라고 한다. 두레박, 기중기 따위에 이용되며, 고정 도르래와 움직도르래가 있다. 고정 도르래는 도르래가 고정되어 있으며, 줄을 당기면 물체가 당기는 방향과 반대 방향으로 이동하므로 힘의 방향이 바뀐다. 한편 움직도르래는 도르래가 고정되어 있지 않으며, 줄을 당기면 도르래가 움직여 물체가 힘의 방향과 같은 방향으로 움직인다.

힘점, 받침점, 작용점 지레 따위로 어떤 물체를 움직일 경우 힘점은 그 물체에 힘이 작용하는 점, 받침점은 물체를 떠받치는 지렛대를 괸 고정된 점, 작용점은 물체에 힘이 작용할 때에 그 힘이 미치는 점이다.



▲ 고정 도르래 ▲ 움직도르래

렌치 자전거의 너트를 조일 때 렌치를 사용하면 힘을 작용하는 지점이 회전축으로부터 멀어져 작은 힘으로도 너트를 강하게 조일 수 있다.

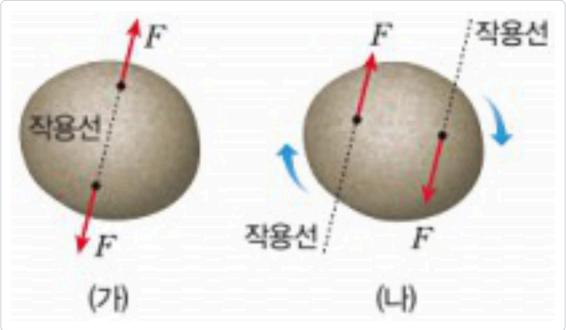


개념 체크 E 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 회전축 O에서 r만큼 떨어진 지점에 r와 각도가 θ를 이루는 힘 F가 작용할 때 돌림힘의 크기는 _____ 이다.
2. 두 힘의 크기가 같아 힘의 평형을 이루지만 작용선이 서로 다른 두 힘을 _____ 이라고 한다.
3. 힘 F를 r 방향과 r에 수직인 방향으로 분해할 때, r 방향의 성분인 $F\cos\theta$는 물체의 회전에 기여하지 않는다. ( )
4. 지레로 무거운 물체를 들어 올릴 때 회전축으로부터 물체까지 거리보다 더 가까운 곳에서 힘을 작용해야 작은 힘으로 들어 올릴 수 있다. ( )

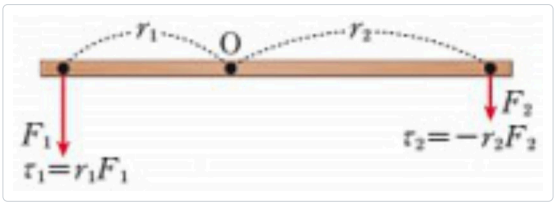
2. 돌림힘의 평형

(1) **힘의 평형을 이룬 물체와 돌림힘**: 물체에 크기가 같은 두 힘이 반대 방향으로 작용하면 힘의 평형을 이루어 물체의 운동 상태가 변하지 않는다. 이때 물체에 작용하는 힘의 작용점의 위치에 따라 물체가 정지해 있기도 하고 회전하기도 한다. 그림 (가)와 같이 물체에 크기가 같은 두 힘이 서로 반대 방향으로 동일한 작용선상에서 작용하면, 두 힘은 힘의 평형을 이루고 물체는 계속 정지 상태를 유지한다. 그러나 그림 (나)와 같이 물체에 크기가 같은 두 힘이 서로 반대 방향으로 작용하고 두 힘의 작용선이 다르면, 두 힘은 힘의 평형을 이루지만 돌림힘이 생겨 물체가 회전한다.



힘의 평형과 운동 한 물체에 작용하는 힘이 평형을 이룬다고 해서 물체가 항상 정지해 있는 것은 아니다. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이라는 것은 물체의 속도가 일정함을 의미하므로, 계속해서 정지해 있거나 일정한 속도로 운동하는 경우를 모두 포함한다.

(2) **돌림힘의 평형**: 한 물체에 여러 돌림힘이 작용할 때 모든 돌림힘의 합이 0이 되면 **돌림힘의 평형**을 이룬다고 한다. 돌림힘의 평형을 이루면 물체는 정지해 있거나 일정한 속력으로 회전한다. 물체가 회전 운동에 대해 평형을 이루기 위해서는 임의의 어떤 점을 회전축으로 정해도 돌림힘의 합이 0이 되어야 한다. 그림과 같이 O점을 회전축으로 하는 막대에 두 힘 F_1, F_2가 막대에 수직으로 작용하여 막대가 정지해 있을 때, F_1에 의한 돌림힘 τ_1의 방향과 F_2에 의한 돌림힘 τ_2의 방향이 서로 반대 방향이고 τ_1과 τ_2의 크기가 같으면 돌림힘이 평형을 이룬다.



$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = r_1F_1 + (-r_2F_2) = 0 \ \rightarrow \ r_1F_1 = r_2F_2$$

개념 체크 F 빈칸을 채우고, ◯ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

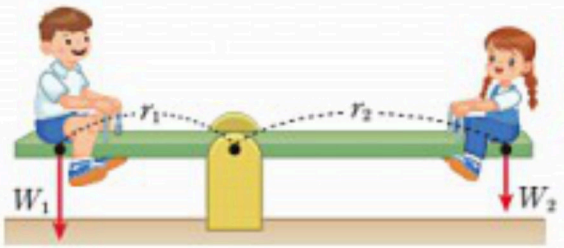
1. 한 물체에 여러 돌림힘이 작용할 때 모든 돌림힘의 합이 _____ 이 되면 돌림힘의 평형을 이룬다고 한다.
2. O점을 회전축으로 하는 막대에 두 힘 F_1, F_2가 막대에 수직으로 작용하여 돌림힘이 평형을 이루면 $r_1F_1 =$ _____ 이다.
3. 물체에 크기가 같은 두 힘이 서로 반대 방향으로 작용하고 두 힘의 작용선이 다르면 물체가 회전한다. ( )
4. 돌림힘의 평형을 이루는 물체는 항상 정지해 있다. ( )

알짜 돌림힘 한 물체에 돌림힘 여러 개가 동시에 작용할 때 모든 돌림힘의 합과 같은 효과를 내는 하나의 돌림힘을 알짜 돌림힘이라고 한다.

분석 시소에서 돌림힘의 평형

그림과 같이 몸무게가 W_1, W_2로 서로 다른 두 사람이 시소를 탈 때 시소 중심에서 두 사람이 앉는 자리까지의 거리가 몸무게에 반비례하도록 앉아야 돌림힘이 평형을 이룬다.

$$r_1W_1=r_2W_2$$



3 역학적 평형과 구조물의 안정성

고층 빌딩은 태풍이 불어도 견뎌야 하고, 다리는 트럭이 덜컹거리며 지나갈 때도 안정한 상태를 유지해야 한다. 고층 빌딩이나 다리 등의 구조물은 구조물에 작용하는 모든 힘과 돌림힘이 역학적 평형 상태를 이루어야 한다.

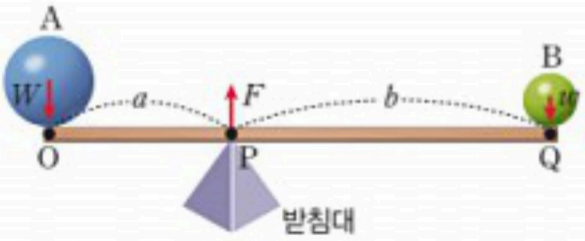
1. 역학적 평형

(1) **역학적 평형의 정의**: 물체에 여러 힘이 작용하지만 물체의 운동 상태가 변하지 않을 때 **역학적 평형**을 이룬다고 한다. 물체가 역학적 평형을 이루려면 다음의 두 조건을 동시에 만족해야 한다.

- 물체에 작용하는 알짜힘의 합이 0이 되어야 한다.
- 물체에 작용하는 모든 돌림힘의 합이 0이 되어야 한다.

> **정적 평형 상태와 동적 평형 상태** 물체가 회전하지도 않고 움직이지도 않은 채 가만히 정지해 있을 때 정적 평형 상태에 있다고 하고, 등속도로 운동하거나 일정한 속력으로 회전할 때 동적 평형 상태에 있다고 한다. 이때 물체가 전체적으로 이동하는 운동을 병진 운동이라고 하고, 물체가 이동하지도 않고 고정된 한 점을 중심으로 돌아가는 운동을 회전 운동이라고 한다. 병진 운동의 예에는 마찰이 없는 면에서 등속도 운동하는 물체, 빗면에서 내려오는 물체 등이 있으며 회전 운동의 예에는 시곗바늘의 운동, 선풍기 날개의 운동 등이 있다.

(2) **역학적 평형을 이룬 물체와 회전축**: 그림과 같이 무게가 W인 물체 A와 무게가 w인 물체 B가 크기와 질량을 무시할 수 있는 판자 위에서 수평을 이루고 정지해 있을 때 물체들은 평형 상태에 있다. 이때 회전축을 어디로 정하여 돌림힘을 구하여도 돌림힘은 평형을 이룬다.



▲ A와 B의 역학적 평형

분석 역학적 평형을 이룬 A와 B에서 회전축을 다르게 할 때 돌림힘의 평형

받침대가 판자를 위로 밀어 올리는 힘을 F, 돌림힘의 방향이 시계 반대 방향일 때를 (+)로 하고 회전축을 P나 O로 정하면 힘과 돌림힘의 평형은 각각 다음과 같다.

① P점을 회전축으로 할 때 힘의 평형: $W+w=F$

P점을 회전축으로 할 때 돌림힘의 평형: $a\times W+0\times F-b\times w=0$

$\rightarrow aW=bw,\ F=\left(\frac{a+b}{a}\right)w=\left(\frac{a+b}{b}\right)W$

② O점을 회전축으로 할 때 힘의 평형: $W+w=F$

O점을 회전축으로 할 때 돌림힘의 평형: $0\times W+a\times F-(a+b)\times w=0$

$\rightarrow aF=(a+b)w,\ F=\left(\frac{a+b}{a}\right)w=\left(\frac{a+b}{b}\right)W$

개념 체크 G 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 물체가 회전하지도 않고 움직이지도 않은 채 가만히 정지해 있을 때 _____ 상태에 있다고 한다.
2. 물체가 이동하지도 않고 고정된 한 점을 중심으로 돌아가는 운동을 _____ 이라고 한다.
3. 물체가 역학적 평형을 이루려면 물체에 작용하는 알짜힘의 합과 모든 돌림힘의 합이 동시에 0이 되어야 한다. ( )
4. 역학적 평형을 이룬 물체에서는 특정한 한 점을 회전축으로 정할 때에만 돌림힘이 평형을 이룬다. ( )

2. 구조물의 안정성

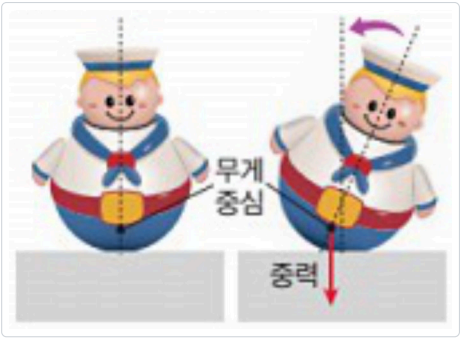
(1) **물체의 안정성**: 물체가 평형 상태를 그대로 유지하려는 성질을 **안정성**이라고 한다. 물체가 안정하려면 물체에 작용하는 모든 힘과 돌림힘이 평형을 이루어야 하며, 물체가 역학적 평형 상태에서 일정 범위만큼 벗어나더라도 복원력이 작용하여 다시 원래의 역학적 평형 상태로 돌아올 수 있어야 한다.

(2) **안정 평형과 불안정 평형**: **안정 평형**은 물체가 평형 상태에서 벗어나더라도 다시 평형 상태로 되돌아가려는 방향으로 변화가 일어나고, **불안정 평형**은 물체가 평형 상태에서 벗어났을 때 점점 변화를 가속시키는 방향으로 변화가 일어난다.

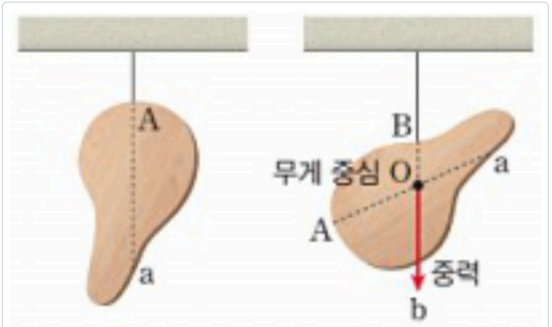
> **안정 평형과 불안정 평형** 오목한 그릇의 중앙에 있는 물체는 안정 평형 상태이고, 볼록한 그릇의 중앙에 놓인 물체는 불안정 평형 상태이다.



> **넘어지지 않는 오뚝이** 오뚝이는 둥근 아랫부분에 질량이 큰 물체를 넣어 무게 중심이 구조물의 아래쪽에 위치하도록 한 장치이다. 오뚝이가 가만히 놓여 있을 때는 중력과 수직항력이 힘의 평형으로 이루고 있고, 좌우에서 작용하는 중력에 의한 돌림힘도 평형을 이루고 있다. 오뚝이를 옆으로 기울였다가 놓으면 중력에 의한 돌림힘에 의해 오뚝이가 다시 일어난다.

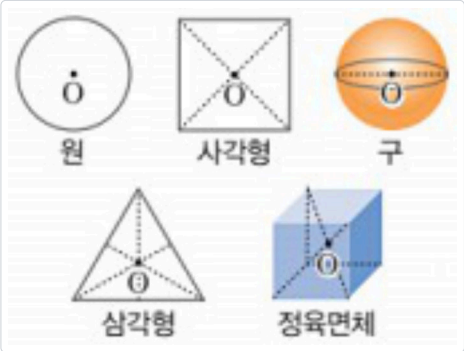


(3) **무게 중심**: 크기가 있는 물체는 질량이 연속적으로 분포되어 있으므로, 물체를 이루는 각각의 질량 요소마다 중력이 작용한다. 이때 물체의 모든 부분을 고려하는 대신에 물체의 전체 무게가 한 점에 작용하는 것으로 보고 알짜힘이나 돌림힘을 구한다. 이 점을 **무게 중심**이라고 한다. 그림과 같이 물체의 여러 점을 실에 매달아 실을 연장한 선 $\overline{Aa}$와 $\overline{Bb}$가 교차한 점 O가 그 물체의 무게 중심이 된다.



▲ 모양이 불규칙한 물체의 무게 중심

모양이 대칭인 물체의 무게 중심 밀도가 균일하고 모양이 대칭인 물체는 무게 중심(O)의 위치가 기하학적인 중심과 일치한다.



심화 무게 중심 구하기

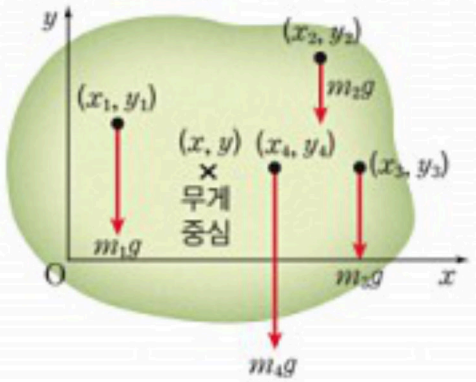
그림과 같이 xy 평면 위에 놓여 있는 질량 M인 물체는 (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)…인 위치에 놓여 있는 질량이 m_1, m_2, m_3 …인 입자들로 이루어져 있다고 나타낼 수 있다. 원점 O를 회전축으로 할 때 (x_1, y_1)인 위치에 있는 입자에 작용하는 중력 m_1g는 크기가 x_1m_1g인 돌림힘을 만들고, 물체의 모든 부분에 작용하는 중력에 의한 돌림힘의 합은 무게 중심에 중력 Mg가 작용하여 생기는 돌림힘과 같으므로, 무게 중심의 좌표를 (x, y)라 할 때 무게 중심의 x좌표는 다음과 같다.

$$xMg = x_1m_1g + x_2m_2g + x_3m_3g + \cdots$$

$$x = \frac{x_1m_1g + x_2m_2g + x_3m_3g \cdots}{Mg} = \frac{\sum x_im_i}{M}$$

같은 원리로 무게 중심의 y 좌표는 다음과 같다.

$$y = \frac{y_1m_1g + y_2m_2g + y_3m_3g \cdots}{Mg} = \frac{\sum y_im_i}{M}$$



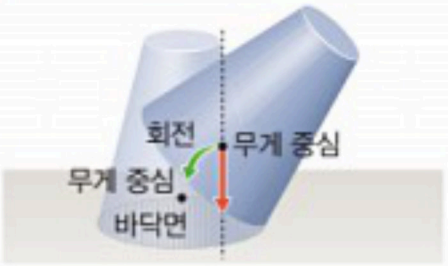
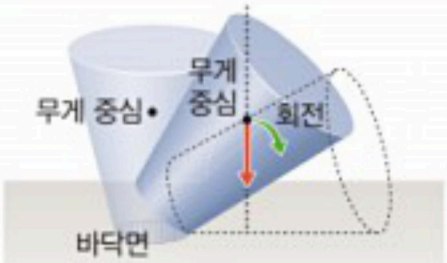
개념 체크 H 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 물체가 평형 상태를 그대로 유지하려는 성질을 _____ 이라고 한다.
2. 물체의 여러 점을 실에 매달아 실을 연장한 선들이 교차하는 점이 그 물체의 _____ 이다.
3. 오목한 그릇의 중앙에 있는 물체는 불안정 평형 상태이다. ( )
4. 밀도가 균일하고 모양이 대칭인 물체는 무게 중심의 위치가 기하학적인 중심과 일치한다. ( )

(4) 무게 중심의 위치와 물체의 안정성

① 물체의 무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면 범위 안에 있는 경우: 물체를 기울였을 때 돌림힘이 처음 위치로 되돌아가는 방향으로 작용하여 물체가 넘어지지 않는다.

② 물체의 무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면 범위 밖에 있는 경우: 물체를 기울였을 때 돌림힘이 물체를 기울이는 방향으로 작용하여 물체가 넘어진다.

구분	무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면 범위 안에 있는 경우	무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면 범위 밖에 있는 경우
물체를 기울일 때		
	중력에 의한 돌림힘이 처음 위치로 되돌아가는 방향으로 작용한다.	중력에 의한 돌림힘이 물체를 기울이는 방향으로 작용한다.
물체의 안정성	물체의 무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면 범위 안에 있을 때 물체가 안정적이다.	

안정한 구조물과 불안정한 구조물 피사의 사탑은 탑이 지금보다 더 기울어져 무게 중심이 바닥면을 벗어나면 쓰러진다. 반면 마이산 돌탑은 바닥면이 넓어 안정된 구조를 갖는다.



▲ 피사의 사탑

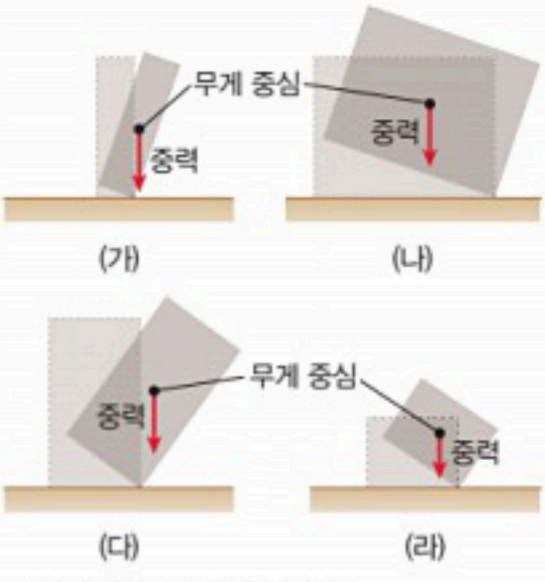


▲ 마이산 돌탑

(5) **구조물의 안정성**: 일반적으로 물체는 **바닥면이 넓을수록, 무게 중심이 낮을수록** 안정하다.

① 같은 각도로 기울였을 때 바닥면이 좁은 (가)는 무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면을 벗어나지만, 바닥면이 넓은 (나)는 무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면 범위 안에 있다. → 물체의 바닥면이 넓을수록 안정하다.

② 같은 각도로 기울였을 때 무게 중심이 높은 (다)는 무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면을 벗어나지만, 무게 중심이 낮은 (라)는 무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면 범위 안에 있다. → 무게 중심이 낮을수록 안정하다.



▲ **여러 가지 구조물과 안정성**

(6) **생활 속에서 구조물의 안정성을 높이는 예**

① 크레인으로 무거운 물체를 들어 올릴 때 물체를 들어 올리는 쪽의 반대편에 **균형추**를 달면 돌림힘이 평형을 이루어 크레인이 쓰러지지 않는다.

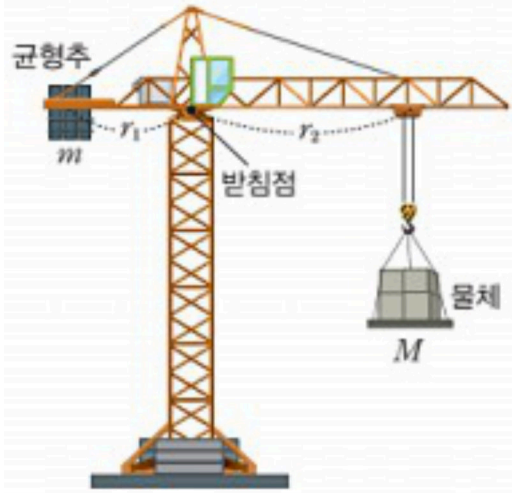
② 주차 안내 등을 위한 원뿔 구조물은 바닥면을 넓게 만들어 쉽게 넘어지지 않는다.

③ 서핑을 하는 사람은 몸을 낮추어 무게 중심을 낮춘다.

④ 천체 망원경으로 천체를 관측할 때 균형추가 있어 망원경이 넘어지지 않게 한다.

⑤ 사진기를 삼각대에 설치하여 바닥면을 넓히면 쉽게 넘어지지 않는다.

> **균형추** 균형추는 돌림힘의 평형을 맞추는 추로, 외부에서 작용하는 힘과 균형을 잡기 위하여 기계나 장치 등에 설치한다.

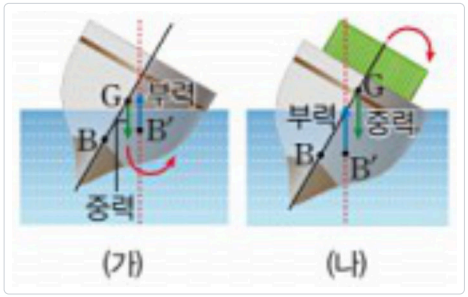


▲ **크레인의 균형추** 균형추의 무게가 m, 물체의 무게가 M, 받침점에서 수직 항력이 N, 중력 가속도가 g일 때 힘의 평형은 $mg+Mg=N$이고 돌림힘의 평형은 $r_1mg=r_2Mg$이다.

개념 체크 Ⅰ 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 일반적으로 물체는 바닥면이 넓을수록, 무게 중심이 _____ 수록 안정하다.
2. 크레인으로 무거운 물체를 들어 올릴 때 물체를 들어 올리는 쪽의 반대편에 _____ 를 달면 돌림힘이 평형을 이루어 크레인이 쓰러지지 않는다.
3. 물체를 기울였을 때 무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면 범위 밖에 있으면 물체가 넘어진다. ( )
4. 같은 각도로 기울였을 때 바닥면이 좁은 물체일수록 더 안정하다. ( )

배의 만재흘수선 배는 부력과 중력이 평형을 이루어 물에 떠 있다. 배가 기울면 물에 잠긴 부분의 모양에 따라 부력의 작용점이 이동한다. 그림 (가)와 같이 배의 무게 중심 G의 높이가 낮은 경우 배가 약간 기울어 부력의 작용점이 B에서 B′으로 이동하여도 부력과 중력에 의한 돌림힘이 배가 평형 상태로 되돌아가는 방향으로 작용하여 배는 원래 상태로 되돌아간다. 그러나 그림 (나)와 같이 배의 무게 중심 G의 높이가 높으면 배가 기울어졌을 때 부력과 중력에 의한 돌림힘이 배가 넘어지는 방향으로 작용한다. 즉, 배에 짐을 지나치게 높이 실어 무게 중심이 높아지면 배가 불안정해져 배가 전복될 위험이 크다. 따라서 배에는 적재 한계량을 배의 표면에 만재흘수선으로 표시하여 무게 중심이 일정 수준 이상 높아지지 않게 한다.



스스로 정리

- **힘**은 물체의 모양이나 운동 상태를 변화시키는 원인으로, 힘의 크기·방향·작용점(**힘의 3요소**)에 따라 물체의 운동 상태가 달라진다. 중력, 탄성력, 수직 항력, 마찰력, 장력 등이 있다.
- 한 물체에 작용하는 여러 힘과 같은 효과를 내는 하나의 힘이 **알짜힘**이며, 알짜힘이 0이면 **힘의 평형**을 이루어 물체는 정지해 있거나 등속도 운동을 한다(**뉴턴 제1법칙**, 관성).
- **돌림힘**은 물체를 회전시키는 원인이 되는 물리량으로 크기와 방향을 가지며, 크기는 $\tau = rF$(힘이 r와 각 θ를 이룰 때 $rF\sin\theta$), 단위는 N·m이다.
- **짝힘**은 크기가 같고 방향이 반대이며 작용선이 서로 다른 두 힘으로, 짝힘에 의한 돌림힘의 크기는 회전축을 어느 지점으로 하든 같다. 지레·운전대·렌치 등은 팔의 길이를 길게 하여 돌림힘을 크게 한다.
- 모든 돌림힘의 합이 0이면 **돌림힘의 평형**($r_1F_1 = r_2F_2$)을 이루어 물체는 정지해 있거나 일정한 속력으로 회전한다.
- **역학적 평형**을 이루려면 알짜힘의 합과 모든 돌림힘의 합이 동시에 0이어야 하며, 이때 회전축을 어디로 정해도 돌림힘은 평형을 이룬다.
- **무게 중심**은 물체의 전체 무게가 작용하는 것으로 보는 점이며, 무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면 범위 안에 있으면 물체가 넘어지지 않는다.
- 물체는 **바닥면이 넓을수록, 무게 중심이 낮을수록** 안정하며, 균형추·넓은 바닥면·몸 낮추기·삼각대 등으로 구조물의 안정성을 높인다.

Part 2 · 기본 문제

9문항 · 정답과 해설은 Part 4.

개념 기본 문제

01 여러 힘이 동시에 작용하는 물체에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 물체에 작용하는 모든 힘이 평형을 이루면 알짜힘이 0이다.

ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때 물체는 항상 정지해 있다.

ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 돌림힘도 평형을 이룬다.

02 관성에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

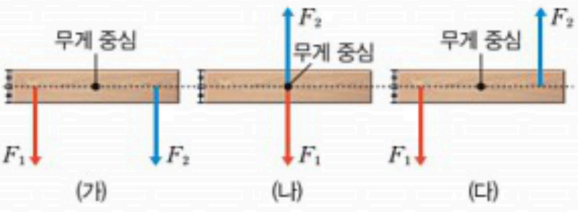
보기

ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때 물체가 현재의 운동 상태를 그대로 유지하려는 성질이다.

ㄴ. 물체의 질량이 클수록 관성이 크다.

ㄷ. 정지해 있는 물체에는 관성이 없다.

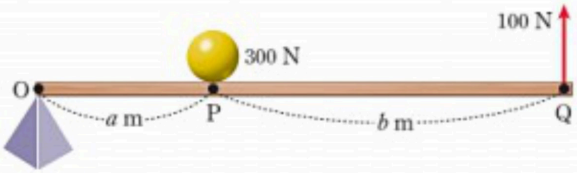
03 그림 (가), (나), (다)와 같이 수평면에 놓인 동일한 나무 막대에 크기가 같은 두 힘 F_1, F_2가 각각 작용하고 있다. F_1, F_2는 (가)에서는 작용점이 다르고 방향은 같고, (나)에서는 작용점이 같으나 방향은 반대이고, (다)에서는 작용점이 다르고 방향은 반대이다.



(1) 나무 막대에 작용하는 두 힘이 평형을 이루는 것을 고르시오.

(2) 나무 막대에 작용하는 돌림힘이 평형을 이루는 것을 고르시오.

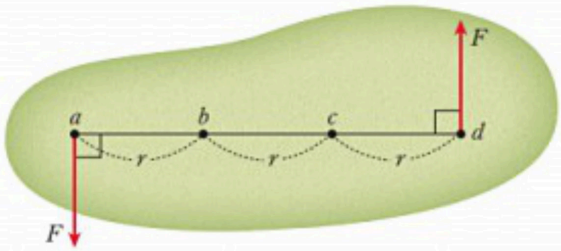
04 그림과 같이 지레 위의 점 P에 무게가 300 N인 물체를 놓고 점 Q에 100 N의 힘을 작용하여 수평을 유지하였다. 받침점 O에서 P까지의 거리는 a m이고, P에서 Q까지의 거리는 b m이다. (단, 지레의 질량은 무시한다.)



(1) 물체가 지레에 작용하는 돌림힘의 크기를 구하시오.

(2) a : b를 구하시오.

05 그림과 같이 물체의 두 점 a, d에 서로 반대 방향이고 크기가 F인 힘을 각각 작용하였다. b, c는 a와 d 사이의 거리를 3등분한 두 점으로, b와 c 사이의 거리는 r이다.



회전축을 다음의 점으로 할 때, 두 힘이 작용하는 돌림힘의 합의 크기를 구하시오.

(1) a

(2) b

(3) c

(4) d

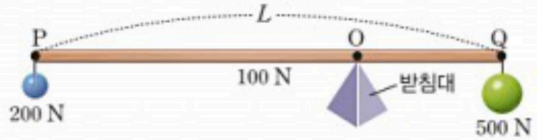
06 그림과 같이 O를 중심으로 자유롭게 회전할 수 있는 막대에 양쪽으로 추를 매달 수 있는 눈금이 있다. 이 막대에 손으로 받친 질량 5 kg의 추를 왼쪽 눈금 4에 매달았다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이고, 막대의 질량 및 모든 마찰은 무시한다.)



(1) 질량이 4 kg인 추를 매달고 추에서 손을 떼었을 때 막대가 수평이 되게 하려면 4 kg의 추를 어디에 매달아야 하는지 구하시오.

(2) 질량이 10 kg인 추를 오른쪽 눈금 2인 위치에 매달고 추에서 손을 떼었을 때 막대가 수평이었다면, O가 막대를 떠받치는 힘의 크기를 구하시오.

07 그림과 같이 받침대 위에 무게 100 N, 길이 L인 밀도가 균일한 막대를 올려놓고, 막대의 점 P에 200 N의 물체를 매달고 점 Q에 500 N의 물체를 매달았더니 막대가 수평을 이루며 정지하였다. (단, O는 받침점이다.)

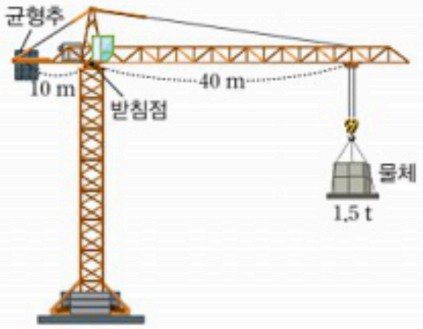


(1) 막대의 무게 중심은 P로부터 얼마만큼 떨어져 있는지 구하시오.

(2) 받침대가 막대에 작용하는 힘의 크기는 몇 N인지 구하시오.

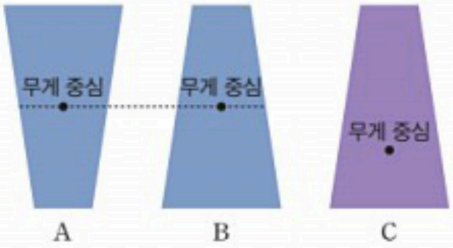
(3) P에서 O까지의 거리는 얼마인지 구하시오.

08 그림과 같이 크레인의 받침점으로부터 오른쪽으로 거리가 40 m인 곳에 질량이 1.5톤(1.5 t)인 물체가 매달려 있다.



역학적 평형을 이루기 위해 받침점으로부터 왼쪽으로 10 m인 곳에 균형추를 매달려고 할 때, 균형추의 질량을 구하시오. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이고, 크레인 자체의 무게는 무시한다.)

09 그림과 같이 모양이 같은 세 물체 A, B, C가 수평면에 정지해 있다. A와 B의 무게 중심의 높이는 같고, C의 무게 중심의 높이는 A와 B보다 낮다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

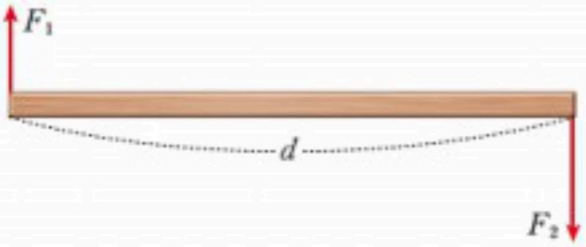
ㄱ. A는 B보다 안정하다.
ㄴ. B는 C보다 불안정하다.
ㄷ. 물체를 넘어뜨리기 위해 기울여야 하는 각도는 A가 가장 크다.

Part 3 · 심화 문제

12문항 · 정답과 해설은 Part 4. 각 문항의 접근 Point는 해설에 수록.

개념 적용·도전 문제

01 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에 놓여 있는 길이가 d인 막대의 양 끝에 두 힘 F_1, F_2가 막대에 수직으로 작용한다. 이때 F_1과 F_2의 크기는 F로 같고 방향은 반대이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 막대의 밀도와 굵기는 균일하고 크기는 무시한다.)

보기

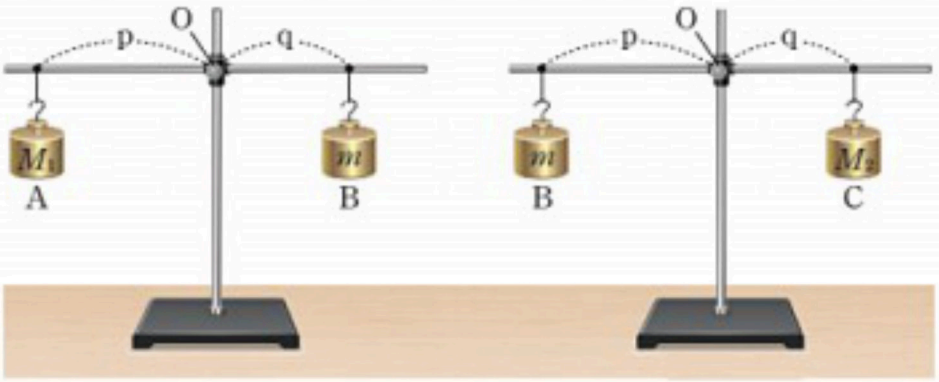
ㄱ. 막대는 시계 방향으로 회전한다.

ㄴ. 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. 막대에 작용하는 모든 돌림힘의 합의 크기는 $2Fd$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림 (가)는 O를 중심으로 자유롭게 회전할 수 있는 막대에 왼쪽으로 p만큼 떨어진 곳에 질량이 M_1인 물체 A를 매달고 오른쪽으로 q만큼 떨어진 곳에 질량이 m인 물체 B를 매달았더니 수평을 이룬 모습이다. 그림 (나)는 같은 막대에 왼쪽으로 p만큼 떨어진 곳에 질량이 m인 물체 B를 매달고 오른쪽으로 q만큼 떨어진 곳에 질량이 M_2인 물체 C를 매달았더니 수평을 이룬 모습이다. 이때 $p>q$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 막대의 밀도와 굵기는 균일하고, 실의 질량 및 모든 마찰은 무시한다.)

보기

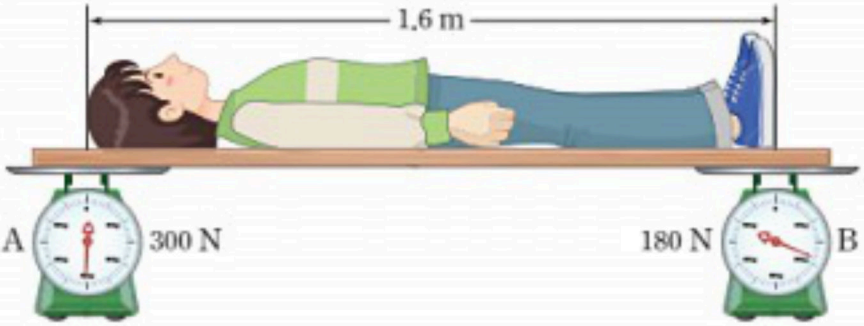
ㄱ. (가)에서 O를 회전축으로 할 때, 돌림힘의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄴ. O를 회전축으로 할 때, 돌림힘의 크기는 (나)의 C가 (가)의 A보다 크다.

ㄷ. $m=\sqrt{M_1M_2}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

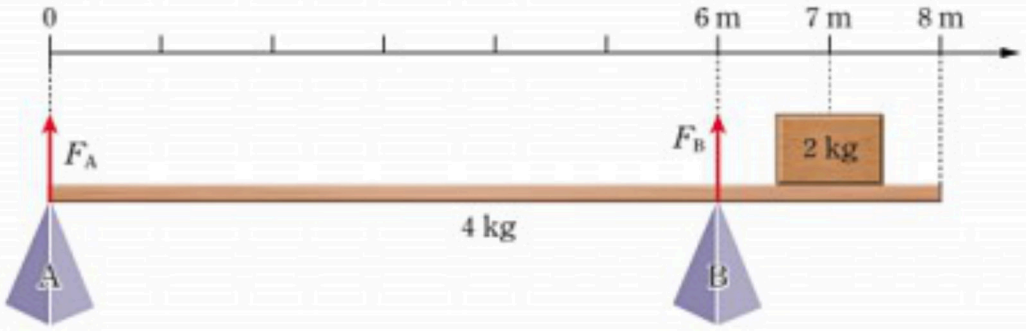
03 그림과 같이 저울 A, B를 1.6 m 떨어뜨려 놓고 나무판을 올려놓은 후 저울의 눈금이 0이 되도록 조정하였다. 이 나무판 위에 영희가 누웠더니 저울 A가 300 N, 저울 B가 180 N을 가리키며 나무판이 수평을 유지하였다.



이때 저울 B로부터의 영희의 무게 중심까지의 거리 x는? (단, 나무판의 질량은 무시한다.)

① 0.5 m ② 0.6 m ③ 1 m
④ 1.2 m ⑤ 1.6 m

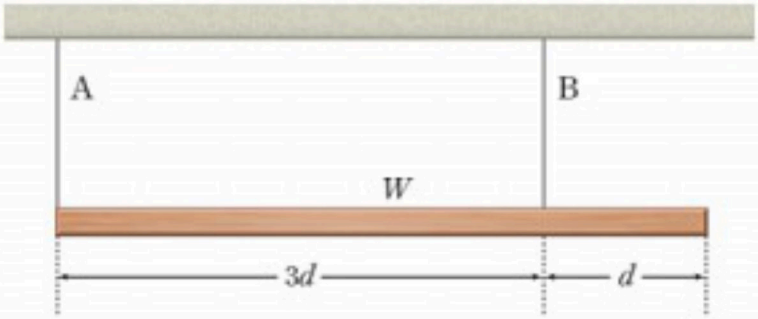
04 그림과 같이 길이가 8 m이고, 질량이 4 kg인 막대를 왼쪽 끝에 받침대 A, 왼쪽에서 6 m인 지점에 받침대 B 위에 올려 두었다. 이 막대 위에 질량이 2 kg인 물체를 왼쪽에서 7 m인 지점에 두었을 때 막대가 수평을 유지하였다.



이때 A가 막대에 작용하는 힘의 크기 F_A와 B가 막대에 작용하는 힘의 크기 F_B는? (단, 중력 가속도는 10 m/s²이고, 막대의 밀도와 굵기는 균일하다.)

	F_A	F_B
①	10 N	40 N
②	10 N	50 N
③	20 N	40 N
④	20 N	50 N
⑤	30 N	30 N

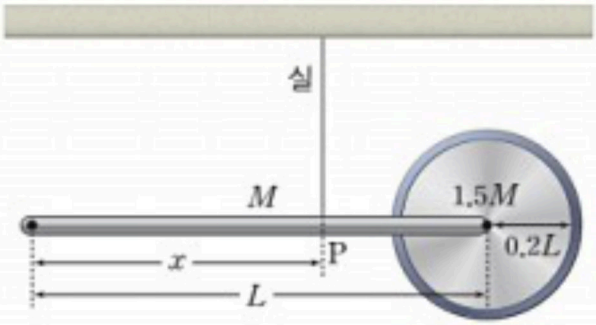
05 그림은 무게가 W이고 길이가 $4d$인 균일한 막대가 실 A와 B에 매달려 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. A는 막대의 왼쪽 끝에 연결되어 있고 A와 B 사이의 거리가 $3d$이다.



A와 B가 막대에 작용하는 힘의 크기를 각각 F_A와 F_B라 할 때 $F_A : F_B$는? (단, 실의 무게는 무시한다.)

① 1 : 1 ② 1 : 2 ③ 1 : 3 ④ 2 : 1 ⑤ 3 : 4

06 그림과 같이 길이가 L, 질량이 M인 막대에 왼쪽에서 x만큼 떨어진 점 P에 실을 연결하여 매달고, 오른쪽 끝에는 반지름이 $0.2L$, 질량이 $1.5M$인 납작한 원판의 중심을 연결하였다.



막대가 수평을 이루며 정지해 있을 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대와 원판의 밀도는 균일하며, 막대의 크기와 원판의 두께 및 실의 무게는 무시한다.)

보기

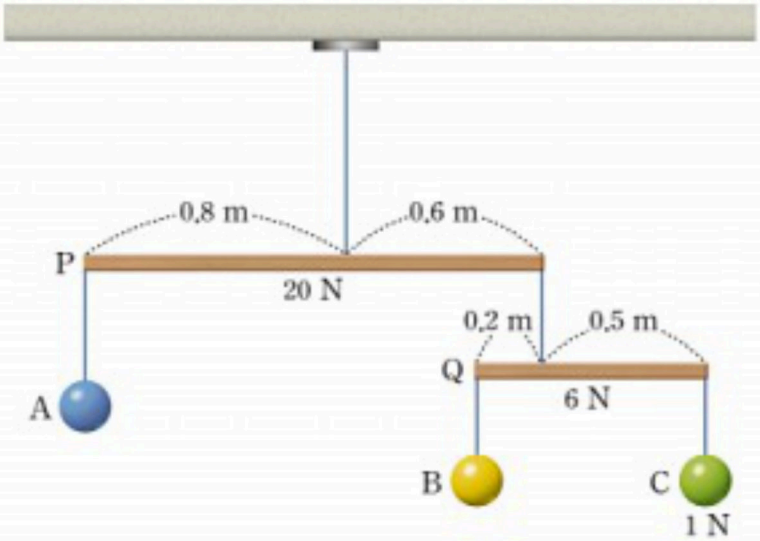
ㄱ. 막대와 원판을 한 물체로 볼 때, 실은 이 물체의 무게 중심에 연결되어 있다.

ㄴ. 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 $2.5Mg$이다.

ㄷ. $x=0.8L$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

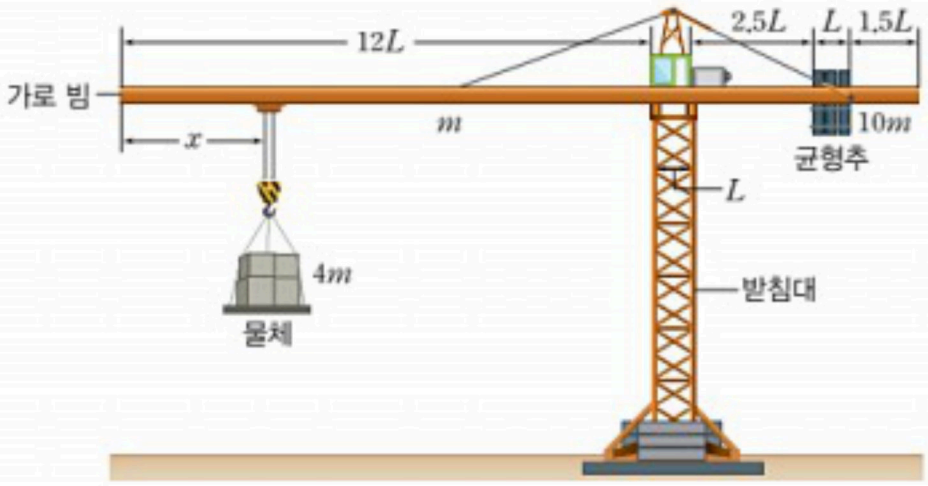
07 그림과 같이 물체 A, B, C가 매달린 균일한 막대 P, Q가 수평인 상태로 정지해 있다. P, Q의 무게는 20 N, 6 N이고, C의 무게는 1 N이다. P, Q의 길이는 각각 1.4 m, 0.7 m이다.



A와 B의 무게 W_A와 W_B는? (단, 실의 무게는 무시한다.)

	W_A	W_B		W_A	W_B
①	1.05 N	0.4 N	②	2.625 N	2.5 N
③	6 N	2.5 N	④	6 N	7 N
⑤	8 N	7 N			

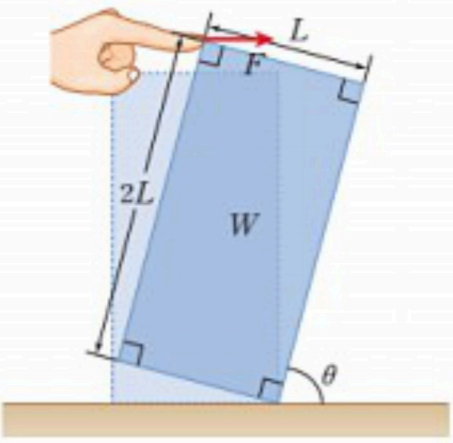
08 그림과 같이 전체 길이가 $18L$인 크레인의 가로 빔 왼쪽에는 질량이 $4m$인 물체가 왼쪽에서 x만큼 떨어진 곳에 매달려 있고, 오른쪽에는 질량이 $10m$이고 가로 길이가 L인 균형추가 오른쪽에서 $1.5L$만큼 떨어진 곳에 매달려 있다.



크레인이 안정적으로 수평을 유지할 수 있는 x의 범위는? (단, 가로 빔의 굵기와 밀도는 균일하며, 가로 빔의 질량은 m이다. 중력 가속도는 g이며, 받침대의 가로 길이는 L이고, 빔 위쪽 구조물의 무게는 무시한다.)

① $\frac{11}{5}L \le x \le \frac{14}{3}L$ ② $\frac{11}{5}L \le x \le \frac{15}{2}L$ ③ $\frac{9}{4}L \le x \le \frac{9}{2}L$
④ $\frac{11}{4}L \le x \le \frac{13}{2}L$ ⑤ $\frac{13}{3}L \le x \le \frac{16}{3}L$

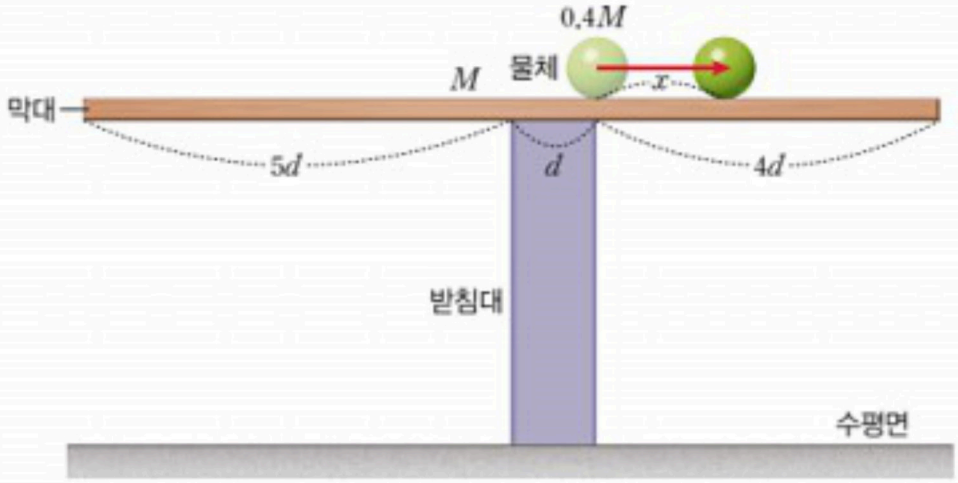
09 그림과 같이 밀도가 균일한 직육면체 물체에 힘 F를 수평 방향으로 작용하였더니 물체가 수평면과 θ의 각을 이루고 정지해 있다. 이때 물체의 가로 길이는 L, 세로 길이는 $2L$이며, 무게는 W이다.
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



보기
ㄱ. F의 크기가 클수록 θ가 커진다.
ㄴ. 지면이 물체를 떠받치는 힘의 크기는 W이다.
ㄷ. $\tan\theta$가 2보다 작아지면 물체는 쓰러진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 그림과 같이 받침대 위에 수평으로 놓인 질량이 M이고 길이가 $10d$인 막대 위에 질량이 $0.4M$인 물체를 막대의 오른쪽 끝에서 $4d$인 지점에 놓았다. 막대의 왼쪽 끝에서 받침대 왼쪽 끝까지의 거리가 $5d$이고, 받침대의 가로 길이는 d이다.

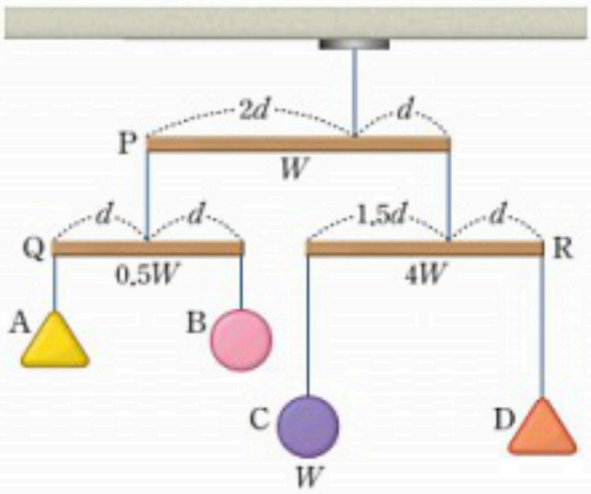


물체가 오른쪽으로 서서히 이동할 때 막대가 받침대에서 쓰러지지 않을 때까지 물체가 이동하는 거리 x의 최댓값은? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 굵기와 밀도는 균일하며, 모든 마찰은 무시한다.)

① $0.5d$ ② $1.25d$ ③ $1.5d$ ④ $2.5d$ ⑤ $3d$

11 그림과 같이 물체 A, B, C, D가 실로 연결된 모빌에서 막대 P, Q, R가 수평을 이루어 정지해 있다. P, Q, R의 길이는 각각 $3d$, $2d$, $2.5d$이고 P, Q, R의 무게는 각각 W, $0.5W$, $4W$이며, C의 무게는 W이다. P, Q, R의 왼쪽 끝에서 실이 매달린 곳까지의 거리는 각각 $2d$, d, $1.5d$이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 모빌의 크기와 실의 무게는 무시한다.)



보기

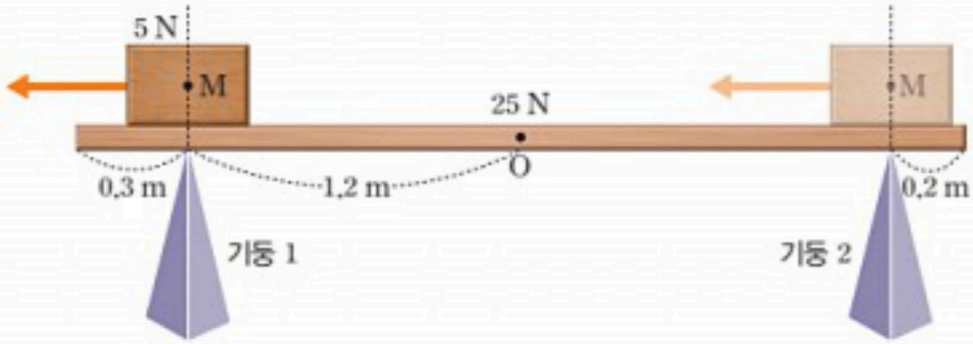
ㄱ. D의 무게는 $2.5W$이다.

ㄴ. A의 무게는 B의 무게의 $\frac{1}{2}$이다.

ㄷ. 천장에 매달린 실이 P를 당기는 힘의 크기는 $6.5W$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 그림과 같이 길이가 3 m이고 무게가 25 N인 다리가 기둥 1과 기둥 2 위에 놓여 있다. 기둥 1은 다리 왼쪽으로부터 0.3 m인 지점에, 기둥 2는 다리 오른쪽으로부터 0.2 m인 지점에 있으며 O는 다리 중앙의 점이다. 무게 5 N의 물체가 기둥 2에서 기둥 1까지 서서히 이동하는 동안 물체의 무게 중심 M은 기둥 2와 다리가 만나는 점의 연직선상에서 기둥 1과 다리가 만나는 점의 연직선상으로 이동한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 다리의 밀도는 균일하고, 물체와 다리의 크기 및 모든 마찰은 무시한다.)

보기

ㄱ. 기둥 2가 다리를 떠받치는 힘의 최댓값은 17 N이다.

ㄴ. 물체가 이동하는 동안 기둥 2가 다리를 떠받치는 힘의 최댓값과 최솟값의 차이는 5 N이다.

ㄷ. 물체가 O 위에 있을 때 기둥 1이 다리를 떠받치는 힘은 15.6 N이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Part 4 · 정답과 해설

1 개념 체크 정답

A	1. 작용점	2. 장력	3. ×	4. ○
B	1. 합성	2. 200	3. ○	4. ×
C	1. 관성	2. 등속도	3. ○	4. ×
D	1. 토크	2. 팔의 길이	3. ○	4. ×
E	1. $rF\sin\theta$	2. 짝힘	3. ○	4. ×
F	1. 0	2. r_2F_2	3. ○	4. ×
G	1. 정적 평형	2. 회전 운동	3. ○	4. ×
H	1. 안정성	2. 무게 중심	3. ×	4. ○
I	1. 낮을	2. 균형추	3. ○	4. ×

2 기본 문제 해설

개념 기본 문제

정답

01	ㄱ	02	ㄱ, ㄴ
03	(1) (나), (다) (2) (가), (나)	04	(1) $300a$ (N·m) (2) 1 : 2
05	(1) $3rF$ (2) $3rF$ (3) $3rF$ (4) $3rF$	06	(1) 오른쪽 눈금 5 (2) 150 N
07	(1) $\frac{L}{2}$ (2) 800 N (3) $\frac{11}{16}L$	08	6톤
09	ㄴ		

01 ㄱ. 물체에 여러 힘이 동시에 작용할 때 알짜힘이 0이 되는 경우 힘의 평형을 이룬다고 한다.

바로알기 ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때 물체는 정지해 있거나 등속도 운동을 한다.

ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이라도 작용한 힘의 작용선이 다르면 돌림힘은 평형을 이루지 않는다.

02 ㄱ. 물체가 현재의 운동 상태를 그대로 유지하려는 성질을 관성이라고 한다.

ㄴ. 물체의 질량이 클수록 운동 상태를 변화시키기 어렵다.

바로알기 ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 정지해 있는 물체는 계속 정지해 있고, 운동하고 있는 물체는 계속 운동한다.

03 (가)의 나무 도막은 회전하지 않으면서 두 힘의 방향으로 가속 운동을 하고, (나)의 나무 도막은 힘과 돌림힘이 모두 평형을 이루어 정지해 있다. (다)의 나무 도막은 무게 중심을 회전축으로 회전한다.

(1) (나)와 (다)에서 물체에 작용하는 두 힘이 크기가 같고 방향이 반대이므로 힘의 평형을 이룬다.

(2) (가)와 (나)에서 무게 중심을 회전축으로, 두 돌림힘의 크기가 같고 방향이 반대이므로 돌림힘의 평형을 이룬다.

04 (1) O가 회전축일 때 지레에 작용하는 돌림힘의 크기는 $a\,\mathrm{m}\times 300\,\mathrm{N}=300a(\mathrm{N\cdot m})$이다.

(2) 물체의 무게에 의한 돌림힘과 100 N의 힘에 의한 돌림힘이 평형을 이루므로 $a\,\mathrm{m}\times 300\,\mathrm{N}=(a+b)\,\mathrm{m}\times 100\,\mathrm{N}$에서 $2a=b$이다. 따라서 $a:b=1:2$이다.

05 물체에 작용하는 두 힘은 돌림힘의 방향이 같은 짝힘이다. 짝힘이 작용할 때 회전축을 어느 지점으로 하든 두 돌림힘의 합의 크기는 같다.

(1) a가 회전축일 때 돌림힘은 팔의 길이가 $3r$인 힘 F에 의한 것이므로 돌림힘의 크기는 $3rF$이다.

(2) b가 회전축일 때 돌림힘은 팔의 길이가 r인 왼쪽 힘 F와 팔의 길이가 $2r$인 오른쪽 힘 F에 의한 것이므로 돌림힘의 크기는 $rF+2rF=3rF$이다.

(3) c가 회전축일 때 돌림힘은 팔의 길이가 $2r$인 왼쪽 힘 F와 팔의 길이가 r인 오른쪽 힘 F에 의한 것이므로 돌림힘의 크기는 $2rF+rF=3rF$이다.

(4) d가 회전축일 때 돌림힘은 팔의 길이가 $3r$인 힘 F에 의한 것이므로 돌림힘의 크기는 $3rF$이다.

06 (1) 질량이 5 kg인 추가 눈금 4에 매달린 막대에 질량이 4 kg인 추를 눈금 x에 매달아 막대가 수평이 되게 하려면 돌림힘이 평형을 이루어야 한다. 따라서

$5\,\mathrm{kg}\times 10\,\mathrm{m/s^2}\times 4=4\,\mathrm{kg}\times 10\,\mathrm{m/s^2}\times x$에서 $x=5$이므로 4 kg의 물체는 오른쪽 눈금 5에 매달아야 한다.

(2) 질량 10 kg의 추를 오른쪽 눈금 2인 위치에 매달면 돌림힘이 평형을 이루어 막대가 수평을 유지한다. 이때 회전축 O가 막대를 떠받치는 힘의 크기는 5 kg인 추와 10 kg인 물체의 무게의 합과 같으므로

$15\,\mathrm{kg}\times 10\,\mathrm{m/s^2}=150\,\mathrm{N}$이다.

07 (1) 모양이 대칭인 물체의 무게 중심은 물체의 중앙에 있으므로 막대의 무게 중심은 P로부터 $\frac{L}{2}$만큼 떨어져 있다.

(2) 막대가 수평을 이루며 정지해 있으므로, 막대에 작용하는 모든 힘이 평형을 이루어야 한다. 즉, 받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기는 중력 방향으로 작용하는 모든 힘의 합력의 크기와 같으므로 받침대가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $200\,\mathrm{N}+100\,\mathrm{N}+500\,\mathrm{N}=800\,\mathrm{N}$이다.

(3) P에서 받침점 O까지의 거리를 x라고 하고, O를 회전축으로 할 때 돌림힘이 평형을 이룬다. 따라서

$x\times 200\,\mathrm{N}+\left(x-\frac{L}{2}\right)\times 100\,\mathrm{N}=(L-x)\times 500\,\mathrm{N}$에서 $x=\frac{11}{16}L$이다.

08 크레인이 역학적 평형을 이루고 있으므로 물체에 의한 돌림힘과 균형추에 의한 돌림힘이 평형을 이루어야 한다. 균형추의 질량을 M이라고 하면, 물체에 의한 돌림힘의 크기는 $40\ \mathrm{m} \times 1.5\ \mathrm{t} \times 10\ \mathrm{m/s^2} = 10\ \mathrm{m} \times M \times 10\ \mathrm{m/s^2}$에서 균형추의 질량 M은 6 톤(6 t)이다.

09 ㄱ. A와 B의 무게 중심의 높이는 같지만 바닥면이 A가 B보다 작으므로 A는 B보다 불안정하다.
ㄴ. B와 C는 바닥면이 같지만 무게 중심이 C보다 B가 높으므로 B는 C보다 불안정하다.
ㄷ. A, B, C 중 A가 가장 불안정하므로 물체를 쓰러뜨리기 위해 기울여야 하는 각도는 A가 가장 작다.

3 심화 문제 해설

개념 적용·도전 문제

정답

01	③	02	④	03	③	04	②	05	②	06	⑤	07	⑤	08	④
09	④	10	④	11	①	12	⑤								

개념 적용·도전 문제 01번

접근 Point 돌림힘은 팔의 길이와 팔의 길이에 수직으로 작용한 힘의 곱과 같다.

01 ㄱ. F_1과 F_2에 의한 돌림힘의 방향이 모두 시계 방향이므로 막대는 시계 방향으로 회전한다.

ㄴ. 막대에 크기가 같은 힘이 반대로 작용하므로 힘의 평형을 이룬다. 따라서 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.

바로알기 ㄷ. 막대의 왼쪽 끝을 회전축으로 모든 돌림힘의 합을 구하면 $0\times F+d\times F=dF$이다. 이때 모든 돌림힘의 합의 크기는 회전축을 어느 곳으로 잡아도 dF이다.

개념 적용·도전 문제 02번

접근 Point 돌림힘의 크기가 같고 방향이 반대일 때 두 돌림힘이 평형을 이룬다.

02 ㄴ. (가)에서 돌림힘이 평형을 이루므로 돌림힘의 크기는 (가)의 A와 (가)의 B가 같다. 또, (나)에서 돌림힘이 평형을 이루므로 돌림힘의 크기는 (나)의 B와 (나)의 C가 같다. 이때 B는 (가)보다 (나)에서 회전축에서 더 먼 지점에 매달려 팔의 길이가 길므로, B가 막대에 작용하는 돌림힘의 크기는 (가)에서보다 (나)에서 크다. 따라서 돌림힘의 크기는 (나)의 C가 (가)의 A보다 크다.

ㄷ. (가)에서 돌림힘은 $M_1g\times \mathrm{p}=mg\times \mathrm{q}$이므로 $\frac{\mathrm{q}}{\mathrm{p}}=\frac{M_1}{m}$이다. (나)에서 돌림힘은 $mg\times \mathrm{p}=M_2g\times \mathrm{q}$이므로 $\frac{\mathrm{q}}{\mathrm{p}}=\frac{m}{M_2}$이다. 따라서 $\frac{\mathrm{q}}{\mathrm{p}}=\frac{M_1}{m}=\frac{m}{M_2}$에서 $m=\sqrt{M_1M_2}$이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 A와 B의 돌림힘이 평형을 이루므로, A와 B의 돌림힘의 크기는 같다.

개념 적용·도전 문제 03번

접근 Point 돌림힘이 평형을 이룰 경우 어느 지점을 회전축으로 잡아도 돌림힘의 합이 0이다.

03 나무판은 힘의 평형을 이루므로 영희의 몸무게는 저울에 측정된 무게의 합인 300 N+180 N=480 N이다. 나무판은 돌림힘의 평형을 이루므로 저울 B를 회전축으로 할 때 영희의 무게에 의한 돌림힘과 저울 A에 측정된 무게에 의한 돌림힘의 크기가 같다. 따라서 $300\ \mathrm{N}\times 1.6\ \mathrm{m}=480\ \mathrm{N}\times x$에서 저울 B로부터 영희의 무게 중심까지의 거리 $x=1\ \mathrm{m}$이다.

개념 적용·도전 문제 04번

접근 Point 모든 힘이 평형을 이루어 합력이 0이어야 하고, 동시에 돌림힘의 합도 0이어야 역학적 평형을 이룬다.

04 막대의 모양이 대칭이므로 무게 중심은 왼쪽에서 4 m인 지점이다. 막대는 역학적 평형 상태이므로 모든 힘의 합력이 0이고, 돌림힘이 평형을 이룬다. 따라서 A를 회전축으로 할 때 막대에 작용하는 돌림힘은 $4\ \mathrm{m}\times 40\ \mathrm{N}+7\ \mathrm{m}\times 20\ \mathrm{N}=6\ \mathrm{m}\times F_\mathrm{B}$에서 $F_\mathrm{B}=50\ \mathrm{N}$이다. 그리고 막대에 작용하는 힘은 평형을 이루므로 $F_\mathrm{A}+F_\mathrm{B}=60\ \mathrm{N}$에서 $F_\mathrm{A}=10\ \mathrm{N}$이다.

개념 적용·도전 문제 05번

접근 Point 역학적 평형을 이루기 위해서는 알짜힘이 0이어야 하고, 모든 돌림힘이 평형을 이루어야 한다.

05 실 A와 B의 장력의 크기를 F_A, F_B라고 할 때, 막대에 작용하는 장력과 무게가 힘의 평형을 이루므로 $F_\mathrm{A}+F_\mathrm{B}=W$이다. 그리고 막대에 작용하는 돌림힘도 평형을 이루므로 막대 왼쪽 끝을 회전축으로 할 때, 막대의 무게에 의한 돌림힘과 B의 장력에 의한 돌림힘의 크기가 같다. 따라서 $2d\times W=3d\times F_\mathrm{B}$에서 $F_\mathrm{B}=\frac{2}{3}W$이고, $F_\mathrm{A}=W-F_\mathrm{B}=\frac{1}{3}W$이므로 $F_\mathrm{A}:F_\mathrm{B}=1:2$이다.

개념 적용·도전 문제 06번

접근 Point 상하좌우 대칭인 물체의 무게 중심은 물체의 중앙에 있다. 대칭이 아닌 물체의 무게 중심은 물체의 여러 점을 실에 매달았을 때 실을 연장한 연직선이 교차하는 점이다.

06 ㄱ. 막대가 수평을 이루며 정지해 있으므로 실은 막대와 원판의 무게 중심에 연결되어 있어야 한다. 실이 무게 중심이 아닌 곳에 연결되어 있으면 막대와 원판의 무게에 의한 돌림힘과 실의 장력에 의한 돌림힘이 평형을 이루지 않아 돌림힘이 큰 방향으로 회전하게 된다.

ㄴ. 막대가 정지해 있으므로 힘의 평형을 이루고 있다. 따라서 아래쪽 방향으로 막대에 작용하는 중력 Mg와 아래쪽 방향으로 원판에 작용하는 중력 $1.5Mg$의 합이 위쪽 방향으로 작용하는 실의 장력 T와 같다. 즉 $T=Mg+1.5Mg=2.5Mg$이다.

ㄷ. 막대의 길이가 L이고 모양이 대칭이므로 막대의 무게 중심은 막대의 왼쪽 끝으로부터 $\frac{L}{2}=0.5L$만큼 떨어져 있는 막대의 중심이다. 원판도 모양이 대칭이므로 원판의 무게 중심은 원판의 중심이며, 막대의 왼쪽 끝으로부터 L만큼 떨어져 있다. 원판이 연결된 막대가 실에 매달려 돌림힘이 평형을 이루므로 막대의 왼쪽 끝을 회전축으로 할 때 $x\times 2.5Mg=0.5L\times Mg+L\times 1.5Mg$에서 $x=0.8L$이다.

개념 적용·도전 문제 07번

접근 Point 줄에 물체를 매달면 물체에 작용하는 중력과 줄이 물체를 당기는 장력은 힘의 평형을 이룬다.

07 막대가 정지해 있어 역학적 평형 상태이므로, 힘과 돌림힘이 모두 평형을 이룬다. 막대 P의 길이가 1.4 m이고 모양이 대칭이므로 P의 무게 중심은 P를 매단 실에서 왼쪽으로 0.1 m 떨어진 지점이고, 마찬가지로 막대 Q의 무게 중심은 Q를 매단 실에서 오른쪽으로 0.15 m 떨어진 지점이다. A와 B의 무게를 W_A, W_B라고 하고 막대 Q를 매단 실을 회전축으로 할 때 돌림힘이 평형을 이루므로 $0.2\text{ m}\times W_B=0.15\text{ m}\times 6\text{ N}+0.5\text{ m}\times 1\text{ N}$에서 $W_B=7\text{ N}$이다. 그리고 막대 P에서 매단 실을 회전축을 할 때 돌림힘이 평형을 이루므로 $0.8\text{ m}\times W_A+0.1\text{ m}\times 20\text{ N}=0.6\text{ m}\times(7\text{ N}+6\text{ N}+1\text{ N})$에서 $W_A=8\text{ N}$이다.

개념 적용·도전 문제 08번

접근 Point 물체의 위치에 따라 크레인 기둥의 왼쪽 끝이나 오른쪽 끝을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 구해야 한다.

08 가로 빔 자체는 모양이 균일하여 무게 중심이 가로 빔에서 $9L$인 지점이고 균형추도 모양이 균일하여 무게 중심이 균형추에서 $0.5L$인 지점이다. 받침대의 왼쪽 끝을 회전축으로 할 때 균형추에 의한 돌림힘이 가장 크므로 x가 최소가 되고, 받침대의 오른쪽 끝을 회전축으로 할 때 균형추에 의한 돌림힘이 가장 작으므로 x가 최대가 된다.

따라서 받침대 왼쪽 끝을 회전축으로 할 때, 돌림힘은

$4mg\times(12L-x)+mg\times 3L$

$=10mg\times(L+2.5L+0.5L)$에서 $x=\frac{11}{4}L$이다.

받침대 오른쪽 끝을 회전축으로 할 때, 돌림힘은

$4mg\times(13L-x)+mg\times 4L=10mg\times(2.5L+0.5L)$

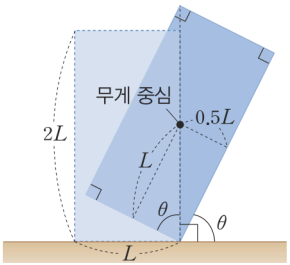
에서 $x=\frac{13}{2}L$이다.

개념 적용·도전 문제 09번

접근 Point 물체의 무게 중심에서 내린 연직선이 바닥면을 벗어나면 물체가 쓰러진다.

09 ㄴ. 지면이 물체를 떠받치는 힘의 크기는 물체의 무게와 같은 W이다.

ㄷ. 물체의 무게 중심은 물체의 중앙이고 무게 중심에서 내린 연직선이 물체의 바닥면(가로 변)을 벗어나면 물체는 쓰러진다.



따라서 물체의 무게 중심은 가로 길이가 $0.5L$, 세로 길이가 L인 점이고 $\tan\theta=\frac{L}{0.5L}=2$일 때 무게 중심이 지면과 접촉한 점의 연직선 위에 있게 된다. 따라서 $\tan\theta$가 2보다 작아지면 무게 중심에서 내린 연직선이 물체의 바닥면을 벗어나 안정성이 깨지므로 물체는 쓰러진다.

바로알기 ㄱ. 물체에 작용하는 힘의 크기를 크게 하면 물체가 많이 기울어지므로 θ의 크기가 작아진다.

개념 적용·도전 문제 10번

접근 Point 물체가 이동하는 최대 거리는 회전축을 받침대의 오른쪽 끝으로 할 때 막대가 쓰러지지 않고 돌림힘의 평형을 이룰 때이다.

10 물체가 오른쪽으로 이동하여 막대의 무게 중심에 의한 돌림힘의 크기보다 물체의 무게에 의한 돌림힘의 크기가 커지면 막대는 시계 방향으로 회전하면서 쓰러진다. 받침대 오른쪽 끝을 회전축으로 할 때 막대의 무게 중심에 의한 돌림힘과 물체의 무게에 의한 돌림힘이 평형을 이룰 때까지 막대는 수평을 유지하므로 $d\times Mg=x\times 0.4Mg$에서 $x=2.5d$이다.

개념 적용·도전 문제 11번

접근 Point 막대 양쪽에 작용하는 돌림힘이 평형을 이룰 때 막대가 정지해 있다.

11 ㄱ. R가 수평을 이루어 정지해 있으므로 돌림힘이 평형을 이루고 있다. D의 무게를 W_D라고 하고, 실이 매달린 점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 구하면 $1.5d \times W + 0.25d \times 4W = d \times W_D$에서 $W_D = 2.5W$이다.

바로 알기 ㄴ. P가 수평을 이루어 정지해 있으므로 돌림힘이 평형을 이루고 있다. P가 매달린 실을 회전축으로 돌림힘이 평형을 이루므로, Q와 A, B의 무게의 합을 x라고 하면 $2d \times x + 0.5d \times W = d \times (W + 4W + 2.5W)$에서 $x = 3.5W$이다. 따라서 Q의 무게 $0.5W$를 제외한 $3W$가 A와 B의 무게의 합이다. A의 무게를 W_A라고 하면 B의 무게 $W_B = 3W - W_A$이다. Q에 매단 실을 회전축으로 할 때 돌림힘이 평형이므로 $d \times W_A = d \times W_B$에서 $W_A = W_B = 1.5W$이다. 따라서 A와 B의 무게는 같다.

ㄷ. 천장에 매달린 실이 P를 당기는 힘의 크기는 P, Q, R와 A, B, C, D의 무게의 합과 같으므로 $W + 0.5W + 4W + 1.5W + 1.5W + W + 2.5W = 12W$이다.

개념 적용·도전 문제 12번

접근 Point 물체의 위치에 관계없이 힘과 돌림힘이 평형을 이루어야 한다.

12 물체가 기둥 2에서 기둥 1로 이동하는 동안 기둥 2가 다리를 떠받치는 힘은 감소하고 기둥 1이 다리를 떠받치는 힘은 증가한다. 따라서 기둥 2가 다리를 떠받치는 힘의 크기는 물체가 기둥 2에 있을 때 최대이고 물체가 기둥 1에 있을 때 최소이다.

ㄱ, ㄴ. 물체와 다리의 무게는 기둥 1과 기둥 2가 떠받치는 힘과 힘의 평형을 이룬다. 물체가 기둥 2에 있을 때 기둥 1과 기둥 2가 떠받치는 힘을 F_1, F_2라 하면 힘의 평형은 다음과 같다.

$F_1 + F_2 = 25\ \text{N} + 5\ \text{N}$ …… ①

O를 회전축으로 할 때 돌림힘의 평형은 다음과 같다.

$1.2\ \text{m} \times F_1 + 1.3\ \text{m} \times 5\ \text{N} = 1.3\ \text{m} \times F_2$ …… ②

따라서 ①, ②에서 $F_1 = 13\ \text{N}$, $F_2 = 17\ \text{N}$이다.

물체가 기둥 1에 있을 때 기둥 1과 기둥 2가 떠받치는 힘을 F_1', F_2'이라 하면 힘의 평형은 다음과 같다.

$F_1' + F_2' = 25\ \text{N} + 5\ \text{N}$ …… ③

O를 회전축으로 할 때 돌림힘의 평형은 다음과 같다.

$1.2\ \text{m} \times F_1' = 1.3\ \text{m} \times F_2' + 1.2\ \text{m} \times 5\ \text{N}$ …… ④

따라서 ③, ④에서 $F_1' = 18\ \text{N}$, $F_2' = 12\ \text{N}$이다. 즉, 물체가 이동하는 동안 기둥 2가 다리를 떠받치는 힘의 최댓값과 최솟값의 차이는 $17\ \text{N} - 12\ \text{N} = 5\ \text{N}$이다.

ㄷ. 물체가 O 위에 있을 때 기둥 1, 2가 다리를 떠받치는 힘의 크기를 각각 F_1'', F_2''이라고 하면 힘의 평형과 O를 회전축으로 한 돌림힘의 평형은 다음과 같다.

$F_1'' + F_2'' = 25\ \text{N} + 5\ \text{N}$ …… ⑤

$1.2\ \text{m} \times F_1'' = 1.3\ \text{m} \times F_2''$ …… ⑥

따라서 ⑤, ⑥에서 $F_1'' = 15.6\ \text{N}$, $F_2'' = 14.4\ \text{N}$이다.