



## 4주차 회전운동

2교시 돌리는 돌림힘

### 여러가지 원운동

- ✎ 회전과 관련된 생활 속의 예제
- ✎ 롤러코스터는 탑승자의 무게와 원운동의 가상 힘은 원심력의 합이 겉보기 힘이다.
- ✎ 돌림힘의 크기는 회전축으로부터 힘이 작용하는 점까지의 수직거리와 힘을 곱한 것이다.





### 예제 1)

단거리 경주에서 출발선의 위치가 서로 다르게 어긋나 있는 이유는 무엇인가?

풀이)

단거리 경주의 트랙은 곡선 부분을 포함하고 있고, 선수는 자신의 주로를 따라서 달려야 합니다. 경주로의 일부가 반원형의 곡선인 곳에서 바깥쪽 트랙을 달리는 선수의 거리가 늘어나게 됩니다. 따라서 이 거리를 보정해 주기 위해서 출발선의 위치를 어긋나게 합니다.

반면 선수들이 자신의 트랙을 고수할 필요가 없는 장거리 달리기에서는 출발선을 어긋나게 할 필요가 없으며, 따라서 선수들은 첫 번째 곡선 경주로를 만나기 직전에 안쪽으로 들어오려고 할 것입니다.



### 예제 2)

놀이공원의 롤러코스터를 탈 때, 사람이 거꾸로 뒤집혀도 떨어지지 않는다. 그 이유는 무엇인가?

풀이)

롤러코스터가 거꾸로 뒤집혔을 때 사람이 떨어지지 않는 이유는 ( )가속도가 중력 가속도보다 커지도록 롤러코스터를 충분히 빠르게 원 궤도를 달리게 하기 때문입니다. 사람의 몸무게보다 더 큰 구심력이 있어야 하는데, 이 힘은 좌석이 몸에 작용하는 수직하 힘으로 제공됩니다.

#### 다른 풀이 방법은 다음과 같습니다.

원형 궤도의 꼭대기에서 사람의 속도가 수평한 방향만 존재한다면, 사람은 포물선 궤도를 그리며 땅에 떨어질 것입니다. 열차의 원 궤도가 이 포물선 궤도보다 더 빨리 아래 방향을 향하여 굽어 있다면, 사람은 열차에 앉아 있게 됩니다.

### 예제 3)

왜 굽은 도로는 경사지게 만들었는가?

#### 풀이)

굽은 도로를 달리면, 굽은 도로의 원 중심을 향하는 **구심 가속도**가 있어야 합니다. 도로가 평탄하면 자동차 바퀴와 도로 사이의 **정지 ( )이 구심력 역할**을 합니다. 그러나 도로가 젖어 있거나 얼어 있으면 정지 마찰력이 줄어들기 때문에 충분한 구심 가속도를 제공할 수 없습니다.

이 때에는 자동차가 원의 접선 방향을 따라 직선으로 움직이려 할 것입니다. 따라서 자동차는 미끄러지면서 도로를 벗어나게 됩니다. 도로를 경사지게 만들면, **경사면에 수직한 힘의 구심 방향 성분**이 존재하여, 정지 마찰력과 더불어 자동차에 부가적인 구심력을 제공합니다.

굽은 도로를 만들 때, 자동차가 규정 속도로 달리면 안전하게 회전할 수 있도록 정지 마찰력에 상관없이 수직 힘의 성분만으로 충분한 구심력을 제공할 수 있도록 경사각도를 정합니다.



### 예제 4)

우주 왕복선이나 로켓은 왜 동쪽을 향하여 발사할까?

#### 풀이)

로켓을 지구궤도에 올려놓기 위해서는  $7,600\text{m/s}$  에 이르는 매우 큰 속도가 필요합니다. 따라서 이러한 속도를 얻기 위해서 다양한 아이디어가 동원되었습니다. 지구의 자전 때문에 적도에서 지구의 표면은 대략  $447\text{m/s}$  의 속도로 동쪽으로 돌아가고 있습니다. 따라서 적도에서 동쪽으로 로켓을 발사하면,

이미 필요한 속도의 6%에 해당하는 속도를 자동으로 얻은 셈이 됩니다.

반대로 서쪽을 행해서 로켓을 발사하면,  $447\text{m/s}$  에 해당하는 속력이 상쇄되므로  $7,600\text{m/s}$  를 얻기 위해서 더 많은 연료를 소모해야 합니다.

미국이 적도에서 벗어나 있으므로 지리적 이점을 살리기 위해서 발사기지는 미대륙의 최남단에 위치한 플로리다 주에서 로켓을 동쪽으로 발사하면 효과를 극대화할 수 있습니다.



**날씨만 고려하면 캘리포니아가 플로리다보다 훨씬 좋은데도 불구하고 왜 플로리다에서 발사할까?**

캘리포니아주도 플로리다 주만큼 남쪽에 위치해 있으며, 날씨가 훨씬 더 좋지만, 캘리포니아에서 로켓을 동쪽으로 발사하면 사고가 발생했을 때 로켓의 잔해가 인구 밀집 지역에 떨어집니다. 반면 플로리다에서는 잔해가 대서양으로 떨어집니다. 따라서 안전상의 이유로 발사기지가 플로리다의 케이프 케네베렐에 설치되어 있습니다.



# 1. 롤러코스터

✎ 롤러코스터가 가속할 때마다 탑승자는 가속도의 방향과 반대인 가상의 힘을 느낍니다.

이 가상의 힘은 아래 방향으로 작용하는 중력과 는 별개의 힘입니다. 물체가 가속하면 가상의 힘(또는 겉보기 힘)은 항상 가속도의 반대 방향으로 작용합니다. 따라서 탑승자는 자신의 무게에 해당하는 아래 방향으로 작용하는 중력과 가속도의 반대 방향으로 작용하는 겉보기 힘(=무게+가상의 힘)을 동시에 느낍니다.

사람이나 물체가 자유 낙하하면 중력 가속도의 크기로 아래로 가속됩니다. 따라서 위쪽 방향으로 무게와 정확히 같은 크기의 가상의 힘이 위쪽 방향으로 작용하여 자유 낙하하는 사람은 무중력 상태를 느끼게 됩니다. 여러분이 놀이공원에서 자이로드롭이란 놀이기구를 타보면 매우 짧은 시간 동안 자유 낙하하게 됩니다.



# 1. 롤러코스터

① **출발위치**: 무게만 적용

② **하강시작**

가상의 힘: 선로 뒤쪽 방향

걸보기 힘: 선로 안쪽이고 무게보다 작다.

③ **루프의 최하단**

가상의 힘: 루프의 바깥 방향

걸보기 힘: 루프의 바깥 방향  
( $2g \sim 3g$ )

④ **루프의 중간**

가상의 힘: 루프의 바깥 방향

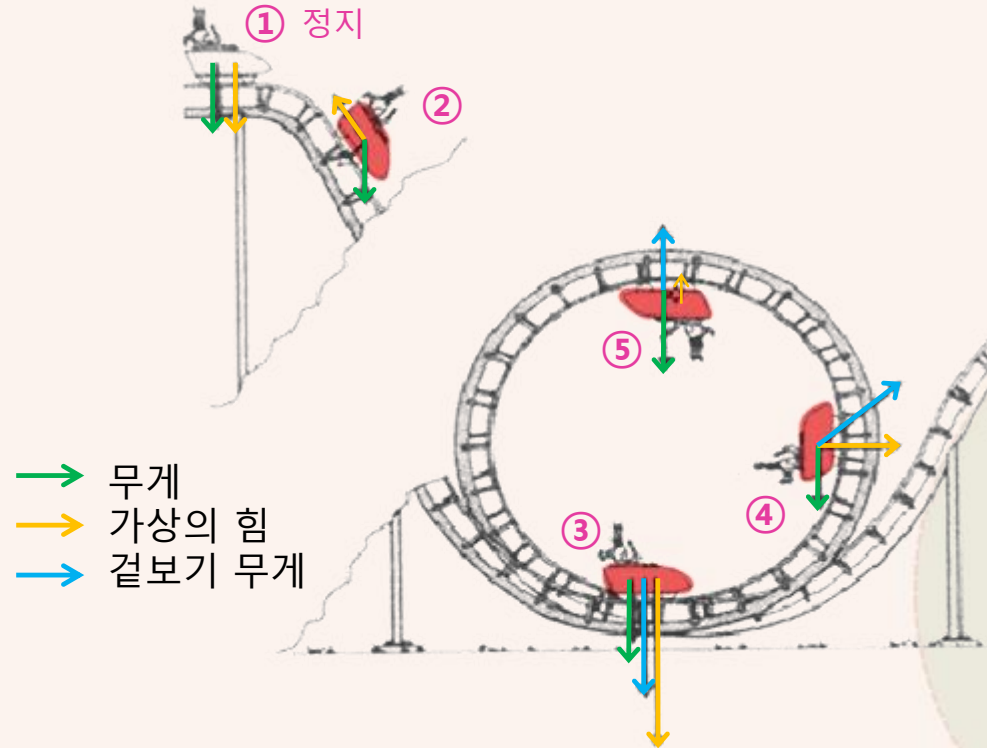
걸보기 힘: 루프의 바깥 방향

⑤ **루프의 꼭대기**

가상의 힘: 수직 상방

걸보기 힘: 수직 상방 (원운동 유지)

걸보기 힘(탑승자가 실제로 느끼는 힘) = 무게 + 가상의 힘



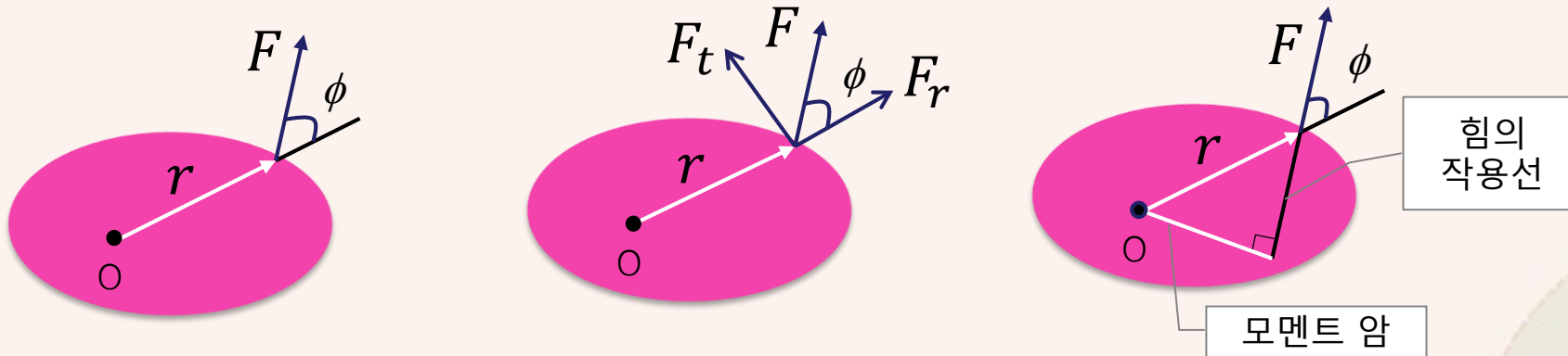


## 2. 돌림힘(토크)

- ✎ 직선운동에서 물체의 가속도는 물체에 힘이 가해질 때 생기며, 물체의 운동상태가 변합니다. 비슷하게 회전운동에 변화를 일으키려면 물체에 힘이 작용해야 하는데, 이 힘을 **돌림힘(또는 토크)**이라 합니다.

돌림힘(토크) = 회전운동에 변화를 주는 원인

- ✎ 돌림힘은 물체에 작용한 힘이 물체를 얼마나 효과적으로 회전시킬 수 있는지를 나타내는 양입니다.



그림과 같이 회전축으로부터 힘이 작용하는 곳까지의 거리를  $r$ , 작용하는 힘의 크기를  $F$ 라 하며, 그림과 같이 힘이 작용하는 방향으로 그은 직선을 힘의 작용선이라 합니다.

회전축으로부터 힘의 작용선까지의 수직거리를 그림에 나타내었습니다.

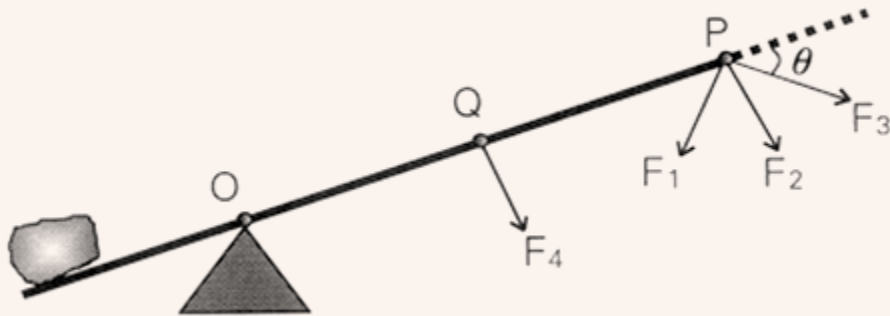
이 때 돌림힘의 크기는,

돌림힘의 크기 = (힘의 크기)(회전축으로부터 힘의 작용선까지의 수직거리)

## 2. 돌림힘(토크)

✎ 돌림힘은 회전축으로부터 힘이 작용하는 거리와 상관이 있습니다.

회전문을 열 때 돌쩌귀에서 가까운 쪽을 밀면 문이 잘 열리지 않지만, 돌쩌귀에서 먼 쪽을 밀면 문이 쉽게 열립니다. 또한 물체의 회전은 회전축의 선택에 따라 달라집니다. 돌림힘은 크기 뿐만 아니라 방향을 가지고 있습니다. 돌림힘의 방향은 회전축으로부터 힘이 작용하는 점까지의 위치 벡터에 오른손을 맞추어 손을 편 다음, 네 손가락을 힘의 방향으로 감아 쥐었을 때 세운 엄지 손가락의 방향이 돌림힘의 방향이 되고(오른손의 법칙), 이 돌림힘은 네 엄지 손가락 방향으로 회전변화를 일으키려 합니다.



<돌림힘의 크기>

◀ 왼쪽 그림에서는 네 힘의 크기가 같다면, 돌림힘의 방향은 모두 같습니다. 그러나 힘  $F_2$  에 의한 돌림힘이 가장 큼니다.

## 2.1 근육에 작용하는 힘

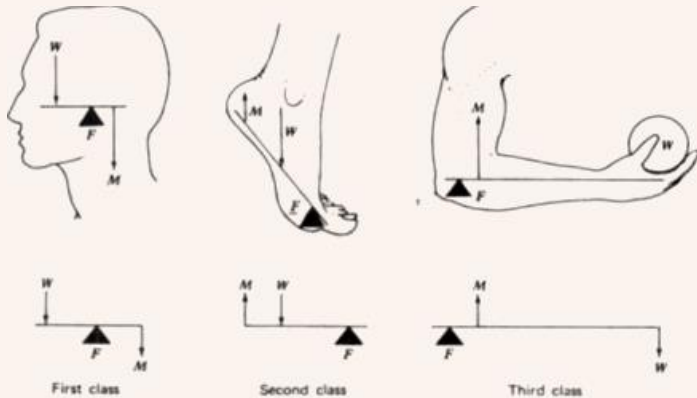
✎ 정적평형 조건: 인체에서 힘의 평형은 **지렛대의 평형**으로 해석할 수 있다.

힘의 평형

힘의 합이 (    )이다.

회전평형

돌림힘의 합이 영이다.



<인체에서 나타나는 지렛대의 종류>

✎ 인체에서 나타나는 지렛대의 종류

- 1급 지레 - 받침점이 가운데 있다.
- 2급 지레 - 받침점이 끝에 있고, 근육에 작용하는 힘이 반대쪽 끝에 있다.
- 3급 지레 - 받침점이 끝에 있고, 근육에 작용하는 힘이 받침점 근처에 있다.

✎ 인체에서 많이 나타나는 지레의 대소 관계

3급 지레



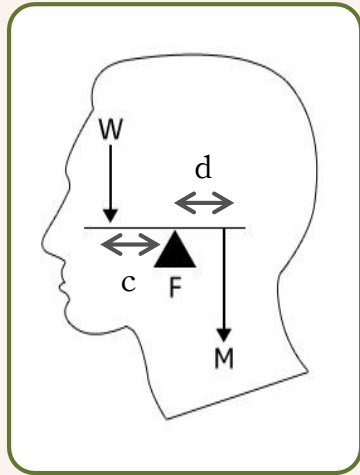
2급 지레



1급 지레



## 2.2 머리를 지탱하는 힘



지 레 에  
작용하는  
힘과 거리

$M$  = 목 근육이 잡아당기는 힘

$W$  = 머리의 무게

$F$  =  $M$ 과  $W$ 를 지탱하는 힘(목 뼈가 머리를 지탱하는 힘)

$d$  = 받침점에서 힘  $M$ 까지의 거리

$c$  = 받침점에서 힘  $W$ 까지의 거리

힘의 평형 조건  $W+M=F$

: 아래쪽으로 작용하는 두 힘  $W$ 와  $M$ 을 받침점에 작용하는 힘  $F$ 가 지탱한다.

돌림힘의 평형 조건  $dM=cW$

: 힘  $M$ 과  $W$ 는 받침점을 중심으로 회전력을 준다.

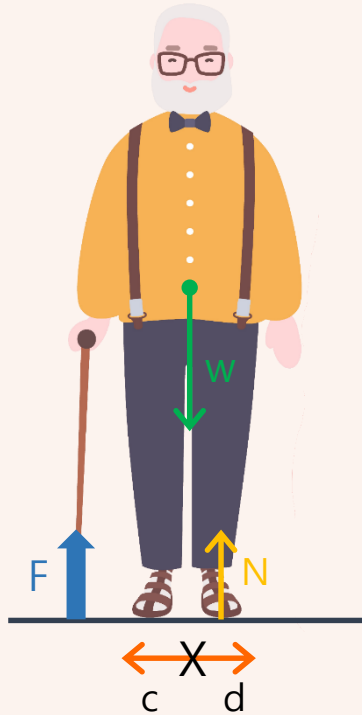
시소를 탈 때 마주 앉은 두 사람의 무게와 앉은 받침점으로부터 사람까지의 거리에 따라서 한 쪽으로 기울거나 균형을 이루는 것을 볼 수 있다.

$M$ 은 지레를 **시계 방향**으로 돌리려하고,  $W$ 는 지레를 **반시계 방향**으로 돌리려 한다.

이 돌림힘의 크기는 지렛대의 원리에 의해서

돌림힘의 크기 = (힘)  $\times$  (받침점에서 힘이 작용하는 점까지의 수직 거리)

## 예제 1) 지팡이



지팡이에  
작용하는  
힘

$N$  = 발이 지탱하는 힘

$W$  = 몸무게

$F$  = 지팡이에 작용하는 힘

$d = 30\text{cm}$

$c = 6\text{cm}$

힘의 평형 조건 :  $N + F = W$

돌림힘의 평형 조건 :  $cN = dF$

디딤발에 작용하는 힘:

$$F = \frac{W}{1 + \frac{d}{c}} = \frac{W}{1 + \frac{30}{6}} = \frac{W}{6}$$

$$N = \frac{5}{6} W$$

## 예제 2) 나사풀기

### 예제 2)

뽁뽁하게 조여진 나사를 풀려고 할 때 손잡이가 긴 나사집게를 사용하거나 긴 막대를 끼워서 돌리면 효과적이다. 그 이유는 무엇인가?

### 풀이)

똑같은 힘을 가해도 회전축까지의 수직거리가 길면 돌림힘이 커지기 때문이다.

지금까지 원운동과 돌림힘에 대해 알아보았습니다.  
다음시간에는 **각운동량**에 대해서 살펴봅시다.