



4주차 회전운동

1교시 회전운동 세상

친숙한 회전 운동

우리 주변에 일어나는 많은 운동현상은 회전운동과 관련되어 있습니다. 바퀴의 회전, 놀이 기구의 회전, 지구의 자전, 심지어 눈에 보이지 않는 원자나 분자들도 회전을 합니다. 회전운동에 관련하여 아래 물음에 대해 생각해 봅시다.

빨리 달리는 자전거가 왜 더 안정할까요?

롤러코스터에는 회전관성에 의한 가상의 힘이 어떻게 작용할까요?

1. 원운동

✎ 물체의 운동을 자세히 살펴보면 매우 복잡함을 알 수 있습니다.

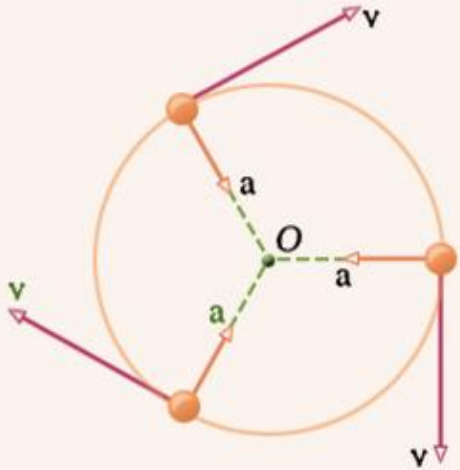
예를 들어 공중으로 던진 망치는 회전운동을 하면서, 망치의 중심점은 포물선 운동을 합니다. 다이빙 선수가 몸을 돌리면서 다이빙할 때, 다이빙 선수의 중심점 역시 포물선 운동을 합니다. 물론 다이빙 선수의 몸은 이 중심점을 중심으로 회전하고 있습니다. 이와 같이 물체를 대표하면서 공중으로 던졌을 때 포물선 운동을 하는 점을 **질량중심(center of mass)**이라 합니다. 따라서 물체의 운동은 **질량중심점의 운동(병진운동)**과 질량중심점을 중심으로 회전하는 **회전운동**의 합성으로 해석할 수 있습니다.

등속 원운동

가장 간단한 회전운동 중에서 등속 원운동을 생각해 봅시다. 등속 원운동(또는 고른 원운동)은 일정한 반지름의 원을 따라 물체가 일정한 크기의 속력(속도의 크기)으로 운동하는 상태를 말합니다.

※ 가속도란? 속도(속도는 벡터로 크기와 방향을 가짐)의 변화를 뜻함

2. 구심가속도와 구심력



그림과 같이 등속 원운동 하는 물체의 순간 속도 벡터의 크기는 일정하지만, 방향은 계속 변합니다. 즉, 속도가 시간에 따라서 변하므로 물체가 등속 원운동 하는 동안 가속도가 존재합니다.

즉, “**등속 원운동 하는 물체는 ()된다.**”

이 때 생기는 가속도를 “구심 가속도(centripetal acceleration)”라 합니다.

<등속 원운동 하는 물체와 구심 가속도의 방향>

구심 가속도의 크기 = (속도의 제곱) / 반지름

물체에 가속도가 작용하기 때문에 물체는 힘을 받습니다. 이 힘이 바로 물체를 원운동 하도록 붙잡아 주는 힘인데, 이 힘을 구심력(centripetal force)라 합니다. 구심력의 방향은 구심 가속도와 같은 방향이고 구심력의 크기는,

구심력의 크기 = (물체의 질량) (구심 가속도의 크기)

▶ 지구가 태양 주위를 공전할 때 구심력은 어떤 힘에 의해서 생기는가?

▶ 회전하는 원판 위에 놓인 물체가 미끄러지지 않고 있다. 이 물체의 구심력은 무엇인가?

예제 1)

고속도로 주변에는 왜 수많은 파손된 타이어 조각이 나뒹굴까?

풀이)

대형 트럭은 재생 타이어를 많이 사용한다. 재생 타이어는 헌 타이어 위에 새 타이어 조각을 접착제로 붙여서 만든다. 타이어가 회전할 때 재생 타이어가 받는 구심 가속도를 계산해 보자. 트럭 바퀴의 반지름을 50cm 정도 이고, 트럭의 속력이 80km/h 라 하자. 트럭의 속력을 환산하면 약 22m/s 이다.

따라서 접착된 타이어에 가해지는 구심 가속도는

$$\text{구심가속도} = \frac{(\text{속력})^2}{\text{반지름}} = \frac{(22\text{m/s})^2}{(0.5\text{m})} = 968 \text{ m/s}^2$$

이 가속도는 중력 가속도의 100배 정도이다. 만약 새로 붙인 타이어 조각의 질량이 10kg 이면 타이어가 회전할 때 받는 구심가속도는 9680N 이다. 만약 타이어 조각의 접착력이 이 정도의 힘을 견디지 못하면 타이어 조각은 떨어져 나갈 것이다. 구심 가속도는 속력의 제곱에 비례하므로 트럭이 더 큰 속력으로 운행한다면 더 쉽게 타이어 조각이 떨어져 나갈 것이다.

이러한 이유 때문에 여러분은 고속도로 주변에서 파손된 타이어 조각을 자주 볼 수 있는 것이다.

3. 회전운동에 의한 가상의 힘

원심력

✎ 여러분이 놀이 공원에서 회전하는 원판에 서 있으면 원의 중심에서 바깥쪽으로 밀리는 힘을 느끼게 됩니다. 이 힘을 "**원심력**"이라 부릅니다. 원심력은 관성에 의한 "**가상의 힘(apparent force)**"입니다. 뉴턴의 관성의 법칙에 따르면 물체는 직선상의 운동을 하고 싶어 합니다. 회전판이 중심을 향하여 가속되므로 원판 위의 사람은 계속 직선 상의 운동을 하려고 하기 때문에 마치 어떤 힘이 사람을 바깥쪽으로 밀어내는 것처럼 느끼게 됩니다. 이 현상은 자동차의 가속 페달을 갑자기 밟았을 때 자동차에 타고 있는 사람이 자동차의 뒤쪽으로 밀리는 것과 같은 현상입니다. 이 때 뒤쪽으로 밀어내는 어떤 힘도 존재하지 않습니다. 좌석의 등받이가 우리를 밀고 있으며 우리를 가속시키고 있습니다. 즉, 우리 몸의 ()으로 인하여 자동차에 타고 있는 사람이 뒤로 밀린다고 느끼게 됩니다.



3. 회전운동에 의한 가상의 힘

✎ 가속도가 존재할 때 언제나 그 가속계에 타고 있는 관측자는 “가상의 힘”을 느끼게 됩니다.

로켓을 발사할 때 우주 비행사가 큰 가속도로 인하여 큰 가상의 힘을 느끼듯이, 이러한 상황의 효과는 물론 실제로 존재합니다. 그러나 이러한 겉보기 힘은 **계의 가속에 의한 효과에 지나지 않습니다.**

등속 원운동할 때 물체는 계속 원의 중심 쪽으로 구심 가속도를 받기 때문에, 회전하는 원판 위에 타고 있는 사람은 계속해서 “원의 바깥 방향으로” 가상의 힘인() (centrifugal force)을 느끼게 됩니다.

“가속하는 기준계의 관측자는 가상의 힘을 느낀다.”

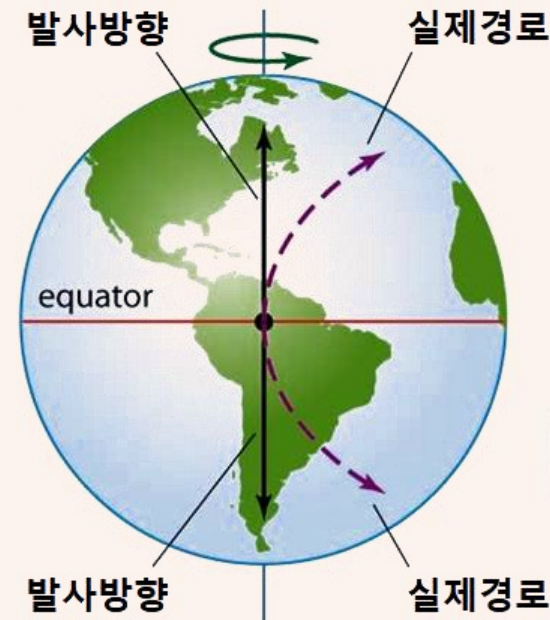
3. 회전운동에 의한 가상의 힘

코리올리의 힘

원 운동에서 나타나는 또 다른 겉보기 효과가 코리올리의 힘(coriolis' force)입니다. 이 효과는 원운동하는 물체의 궤도 ()이 변할 때 나타나는 가상의 힘입니다. 수직으로 발사된 로켓이 지구상의 관측자에게는 마치 측면에서 힘을 받는 것처럼 직선 경로를 벗어나는 것으로 보입니다.

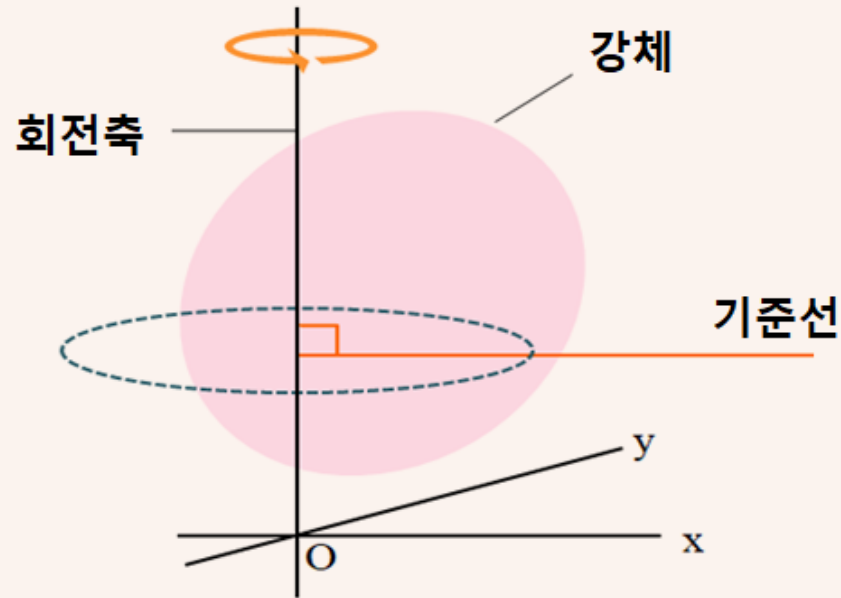
그러나 우주 공간의 관측자에게는 로켓이 직선 경로를 따라 움직이는 것으로 보입니다. 비슷하게 원판 위의 양편에서 있는 두 사람이 공을 서로 주고 받는다면, 마치 공에 힘이 작용하여 옆으로 휘는 것처럼 느끼게 됩니다. 그러나 회전축에 서 있는 사람에게는 공은 완전한 직선 운동을 하고 있는 것으로 보입니다.

공을 주고 받는 사람들의 원 운동으로 말미암아 그들이 공의 경로에서 벗어나는 것입니다.



4. 각속도와 각가속도

- ✎ 물체가 회전하면 각도가 변합니다. 따라서 어떤 기준선을 중심으로 물체가 현재 있는 위치까지의 각도와 반지름을 알면 물체의 위치를 알 수 있습니다.



<회전하는 물체의 회전축과 기준선>

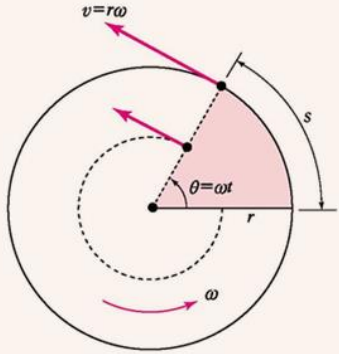
그림에서와 같이 기준선에서 물체까지의 각이 θ 있고, 반지름이 r 이고, 호의 길이가 s 이면, 반지름과 호의 길이가 모두 거리이므로 각은 단위가 없는 양이 됩니다. 보통 각은 라디안으로 표현하는데 라디안은 순수한 숫자를 뜻합니다.

$$\theta = \frac{s}{r}$$

▶ 라디안은 어떻게 정의되는 각인가?

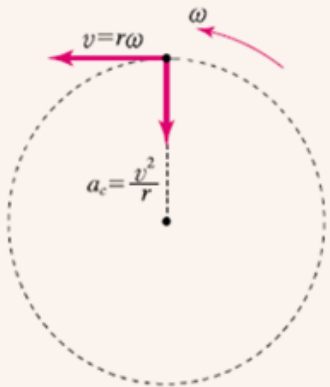
4. 각속도와 각가속도

- 원 운동하는 물체의 각도는 시간에 따라 변합니다.
- 각속도(angular velocity)는, 다음과같이 정의합니다.



각속도 = 단위 시간당 각의 변화량

- 각속도 역시 시간에 따라 변할 수 있습니다.
- 속도가 변하면 가속도가 생기듯이 각속도가 시간에 따라 변하면 각가속도(angular acceleration)가 생깁니다.

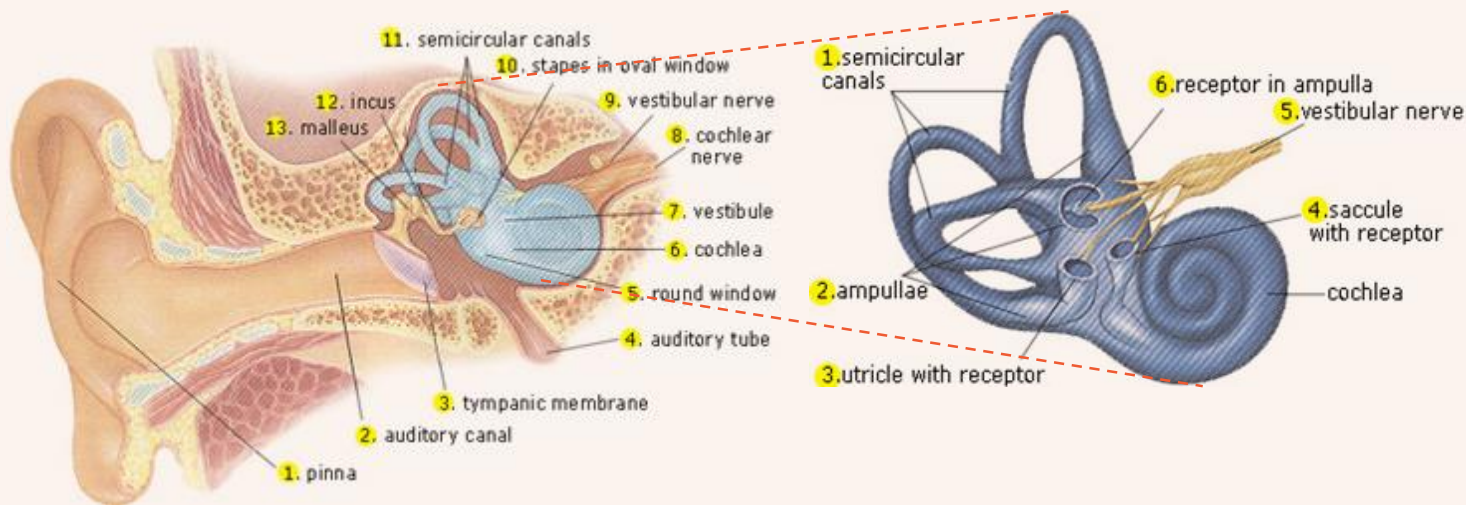
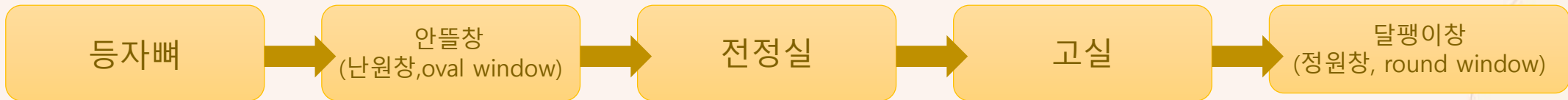


각가속도 = 단위 시간당 각속도의 변화량

5. 인체의 평형감각계

- 전정감각계 - 몸의 회전, 움직임 및 평형을 감지
- 동적평형(dynamic equilibrium) - 각운동 또는 회전운동
 - 정적평형(static equilibrium) - 전후 움직임과 상하 움직임

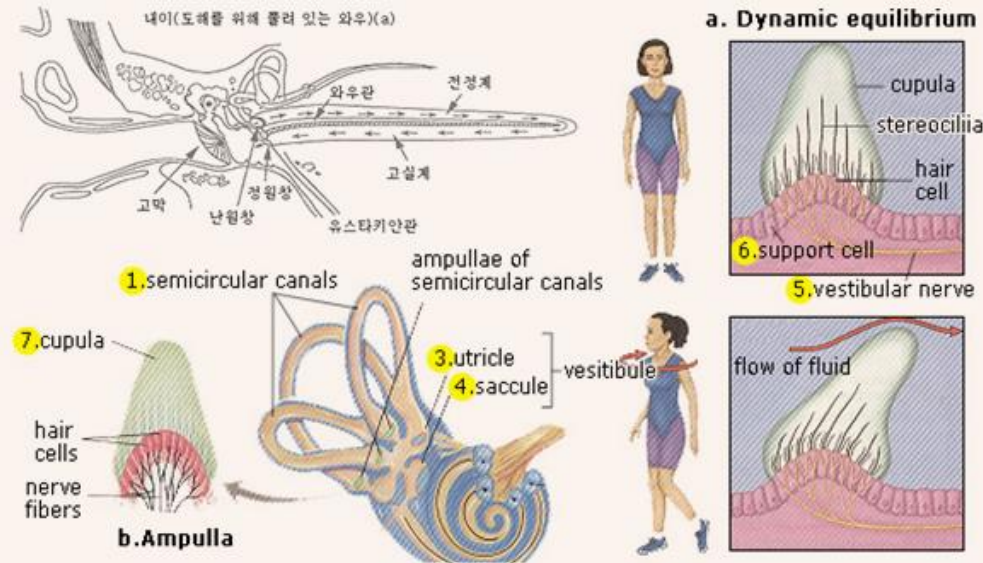
- ✎ 내이의 전정계는 5 개의 개별적인 센서(반원고리뼈관 3개), 원형주머니(sacculle), 타원주머니 (utricle)로 구성되어 있다.
- ✎ 움직임 센서 내에 있는 청각세포의 물리적 원리는 코르티 기관의 청각세포와 같다.
- ✎ 움직임 센서의 청각세포는 내이에 있는 청각세포보다 크기가 더 크다.



- 1 semicircular canals(반고리뼈관, 반원관)
- 2 ampullae(팽대, 팽대부, 膨大部, 내이 병(bottle))
- 3 utricle(타원주머니, 타원낭, 난형낭, 卵形囊)
- 4 sacculle(원형주머니, 구형낭, 球形囊)
- 5 vestibular nerve(안뜰신경, 전정신경)
- 6 receptor in ampulla(팽대 수용기)

동적평형 감지 - 회전운동 (그림)

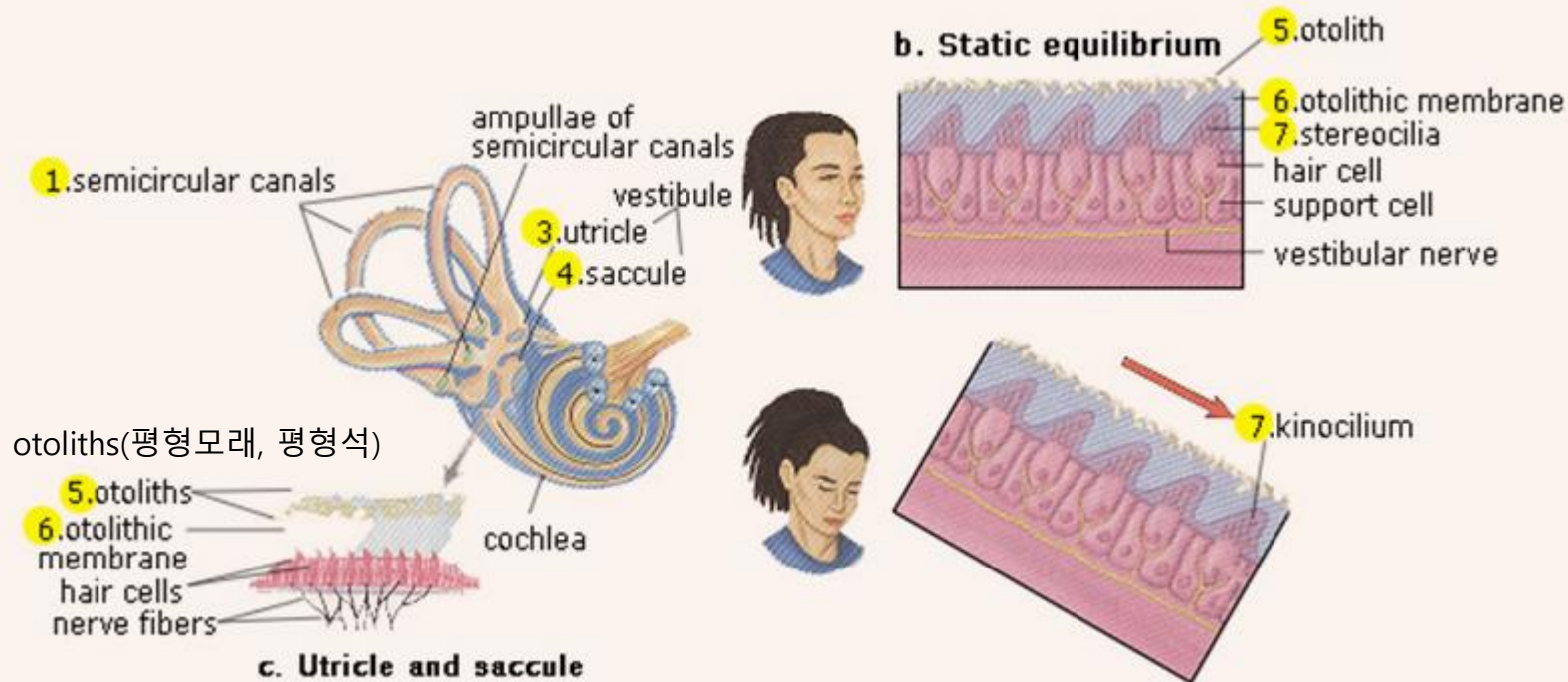
- 반고리뼈관(반원관, semicircular canals)은 3개의 관이 서로 90도를 이루고 있다.
- 각 반원관은 각 관의 끝 부분에 작은 항아리 모양의 **소모(cupula)**와 격막에 의해 분리되어 있으며, 내림프액(속림프액)으로 채워져 있다.
- 가속되는 동안 액체의 움직임은 격막을 밀어 청각세포가 있는 소모를 움직인다.
- 소모가 움직이면, 청각세포의 **부동섬모(stereocilia, 입체섬모)**가 구부러지면서 전기 신호가 발생한다.
- 전기 신호는 전정신경(vestibular nerve)을 따라서 뇌에 전달된다.
- 반원관의 유체가 연속적으로 움직이면 멀미(motion sickness)를 일으킨다.



[그림] 동적평형 감지

정적움직임 감지 - 전후, 상하 움직임

- 원형주머니(구형낭, saccule): 수직한 운동(또는 상하운동)을 감지.
- 타원주머니(난형낭, utricle): ()운동(horizontal movement)과 머리를 구부리는 운동을 감지



지금까지 회전운동에 대해 알아보았습니다.
다음시간에는 원운동과 돌림힘에 대해서 살펴봅시다.