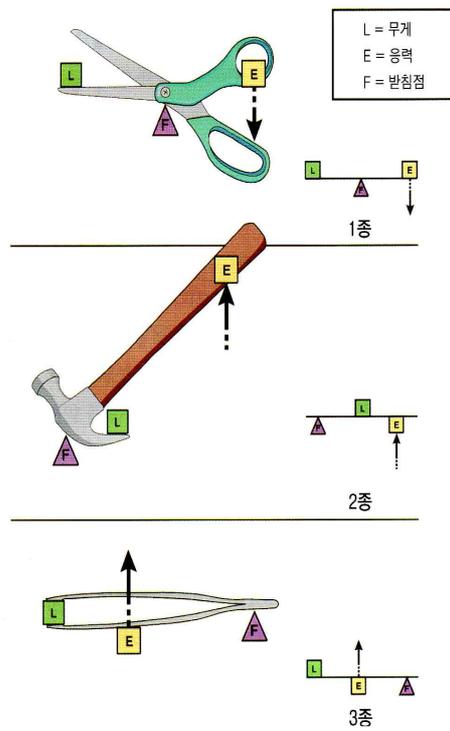


운동역학



사회체육학부
변재철

생체역학(biomechanics)

1. 역학의 개념들

1) 생체역학

- 생체역학(biomechanics): 생물학적 체계의 연구를 위해 역학적 원리의 적용.
- 힘을 받는 물체의 운동이나 형태의 변화 등을 연구.
- 신경역학적 초점: 생물학(신경생리학), 물리학(생체역학)으로부터 원리와 개념을 결합.

- 역학의 원리들을 생체에 적용하는 학문 영역.

- 인체운동의 전통적인 학문 영역인 키네시올러지(kinesiology)는 인체운동에 개입되는 모든 자연 과학적 양상을 연구 대상으로 하기 때문에 매우 광범위하였다.

(크게 해부학적 키네시올러지와 역학적 키네시올러지로 양분함).

● 역학적 키네시올러지(kinesiology)는 생체역학이라는 용어로 대체되어 사용됨.

따라서, 접두어 bio(희랍에서 비롯된 것으로 살아있다는 뜻을 가짐)와 물체에 가해지는 힘의 효과와 운동을 연구하는 학문인 mechanics와 결합된 것이다.

※ 생체역학은 스포츠나 체육활동과 같은 목적이고 의도적인 인체운동 뿐만 아니라 재활이나 정형외과 등의 의학 영역 및 생체와 관련된 모든 공학 영역의 내용도 포함하므로 매우 광범위하다.

- 연구 범위를 인간의 의도적인 신체활동이나 제도화된 신체활동(스포츠), 인체에 의해 유발되는 외부 물체의 운동 정도로 국한시킬 필요가 있다.

- 생체역학은 인체 운동 및 체육 장비의 운동, 이들 물체에 적용하는 힘과 운동을 연구하는 학문 영역이다.

- 인체나 다른 스포츠 용구 등에 작용하는 여러 가지 효과를 분석, 예견하는 학문이므로 이들 힘들간의 상호관계가 매우 중요한 요인이며, 인체에 작용하는 힘들은 서로 평형을 이루거나 비평형에 의한 운동상태의 변화를 유발한다. 그러므로 생체역학은 평형과 관계되는 분야와 비평형 즉, 운동 상태의 변화와 관계되는 분야로 분류해 볼 수 있으며, 세부적으로 동력학, 정력학, 운동학, 운동역학으로 나누어 연구할 수 있다.

2) 스포츠 생체역학

- sports와 biomechanics가 복합되어 생긴 것.

- 스포츠와 관련된 운동, 사람, 장비, 시설 등을 역학적 관점에서 연구하는 기초 영역 중 하나.

- 체육과 스포츠에 따른 운동과 사람 등이 주요 대상

ex) 사람의 움직임은 어떻게 이루어지는가?

☞ 요약

● 역학은 힘을 받는 생체의 운동이나 형태의 변화 등을 연구하는 학문.

- 연구대상 : 생명이 없는 강체(물체)

● 생체역학(Biomechanics)은 이 원리들을 인체에 적용하는 학문영역이다.

- 인체 운동 및 체육장비의 운동, 이들 물체(인체+체육장비)에 작용하는 힘과 운동을 분석하고 연구하는 학문영역이다.

2. 동작의 표현

- 대부분의 신체분절운동은 각 운동(관절의 각 운동)이다. 즉 인체의 골격은 관절을 중심으로 회전하며, 특정한 **운동축과 운동면**을 이룬다.

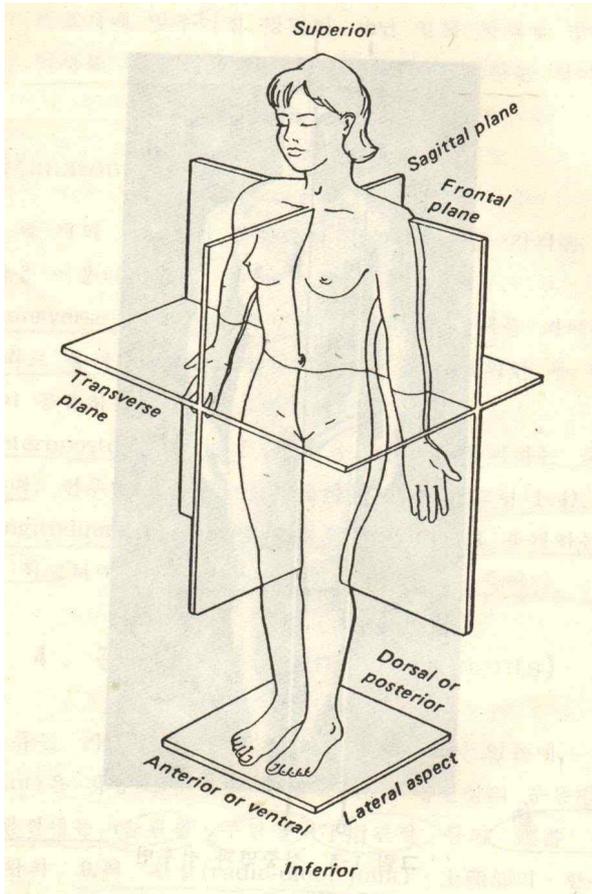
- 인간 움직임에 대한 올바르게 정확한 설명은 **위치, 속도, 가속도** 용어에 의해 완성됨.

- **측정규칙**; 과학적인 측정방법은 7개의 독립된 기본단위로 됨.

==> 길이(m), 질량(kg), 시간(s), 전류(A), 온도(K), 물질의 양(mol), 광도(cd)

1) 기준자세(standing position)

해부학적 자세 : 몸을 곧게 세운 상태로 관찰자를 향해 선후 손바닥이 전방을 향하도록 펴고 양팔을 동체의 측면으로 늘어뜨린 자세.



▣ 해부학적 면

1. 기본면(cardinal plane): 인체를 질량에 의해 반으로 나눈 세 개의 가상 수직면
2. 시상면(sagittal plane): 인체와 신체분절의 운동이 전, 후로 발생하는 면
3. 전두면(frontal plane): 인체와 신체분절의 운동이 측면으로 발생하는 면
4. 횡단면(transverse plane): 인체가 곧바 서 있을 때 인체와 신체분절의 운동이 수평적으로 일어나는 면

그림 1. 해부학적 자세

2) 면과 축(planes and axes)

인체는 3차원 공간을 점유하므로 인체 각 부위의 위치를 3차원 좌표로 표현할 수 있다. 인체의 모든 운동은 3개의 서로 직교하는 운동축과 이 축에 직각인 운동면을 통해 파악될 수 있다.

3) 운동면(planes)

1차면(primary planes): 인체 무게 중심을 통과하는 평면, 1차면에 평행하고 무게 중심을 통과하지 않는 평면을 2차면이라 함.

- 인체의 운동면에는 전후면, 좌우면, 수평면이 있다. 3개의 1차면은 해부학적 자세를 취하고 있는 사람의 무게 중심을 서로 직교하며 통과한다.

- **전후면 운동(sagittal planes)**은 해부학적 자세를 취하고 있는 사람을 좌우로 양분하는 수직면, 특히 체중을 정확히 2등분하는 전후면을 정중면(mid-sagittal planes)이라 함.

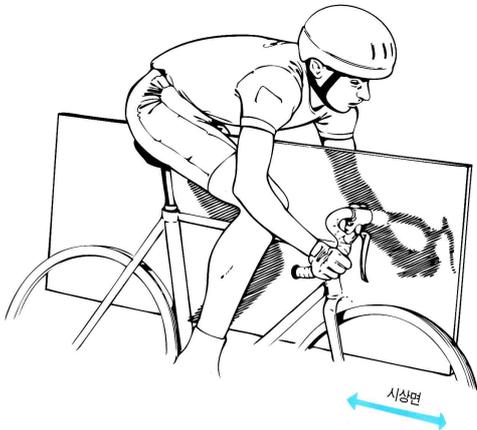
- **좌우면 운동(frontal planes)**은 해부학적 자세의 전후로 양분하는 수직면을 말

함.

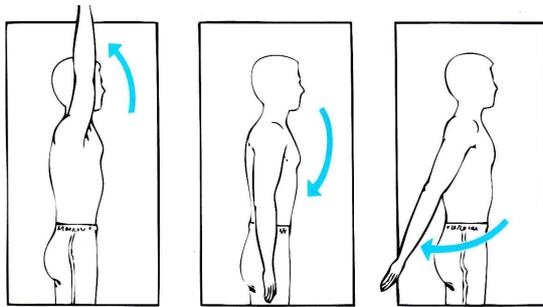
- 수평면 운동(transverse planes)은 해부학적 자세의 상하로 양분하는 면.
- 시상면 운동은 해부학적 자세의 시상면에서 발생하는 세 가지 주요한 운동(굽힘, 폼, 과다 폼)이 있다.
- 전두면 운동: 기본적인 전두면 회전운동은 벌림과 모음이다. 신체분절이 인체 중심선에서 멀어지는 운동, 모음은 신체분절이 인체 중심선에 가깝게 움직이는 운동. 다른 전두면 운동은 좌우옆굽힘이라는 몸통의 가쪽 회전을 포함한다.

* 이 그림에서 굽힘은 머리, 몸통, 위팔, 아래팔, 손, 엉덩이가 시상면으로 회전하는 운동, 뒤쪽에는 다리가 시상면으로 회전하는 운동이다.

폼 운동은 굽힘에서 해부학적 자세로 되 돌아오는 운동.



==> 어깨의 시상면 운동

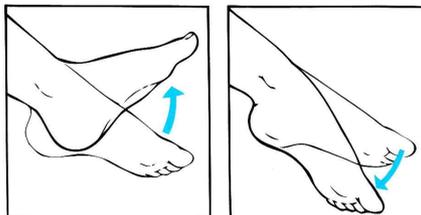


굽힘/굴곡

폼신전

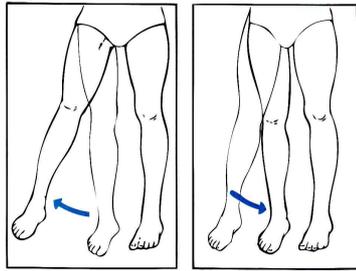
과다 폼/과신전

==> 발의 시상면 운동



등쪽굽힘/배측굴곡

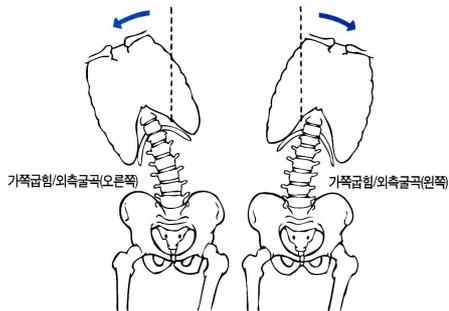
바닥쪽굽힘/저측굴곡



별림/외전

모음내전

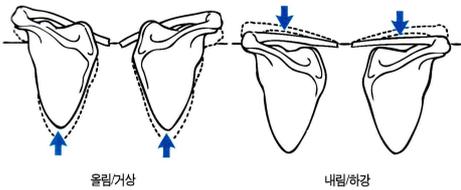
==> 엉덩관절의 전두면 운동



가쪽굽힘/외측굴곡(오른쪽)

가쪽굽힘/외측굴곡(왼쪽)

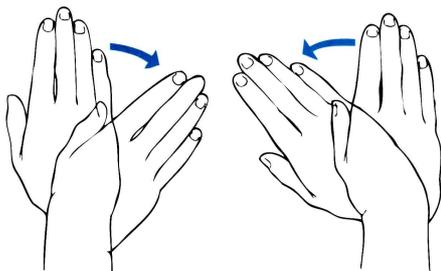
==> 척추의 전두면 운동



올림/거상

내림/하강

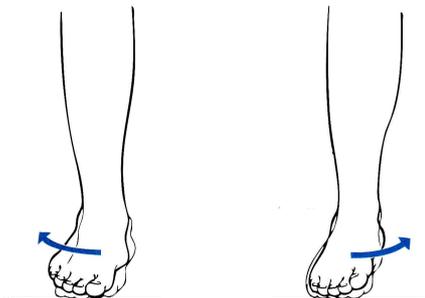
==> 팔이음뼈의 전두면 운동



자쪽치우침/척측편위

노쪽치우침/요측편위

==> 손의 전두면 운동



안쪽반짐/내번

가쪽반짐/외번

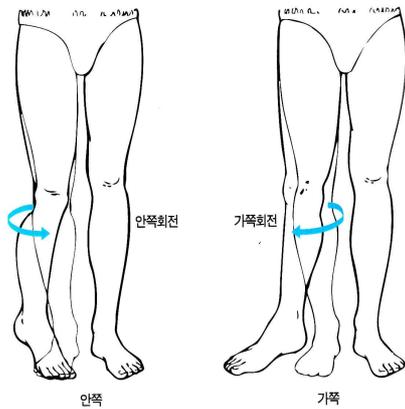
==> 발의 전두면 운동

- 횡단면 운동: 인체의 횡단면 운동은 장축에 대한 회전운동이다.

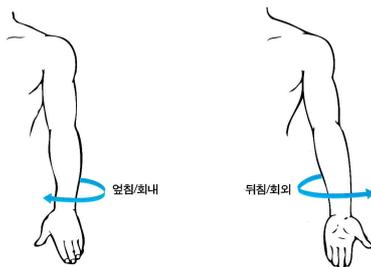
좌, 우회전은 몸통과 목, 머리의 횡단면 운동을 묘사하기 위해 사용되고, 팔이나 다리의 회전은 인체의 중심선쪽으로 회전하면 안쪽회전, 중심선으로부터 멀어지면 가쪽회전이라 한다.

아래팔의 회전운동에 특별한 용어가 있는데, 아래팔의 안쪽(뒤침; supination), 가쪽회전(옆침; pronation)이라 한다.

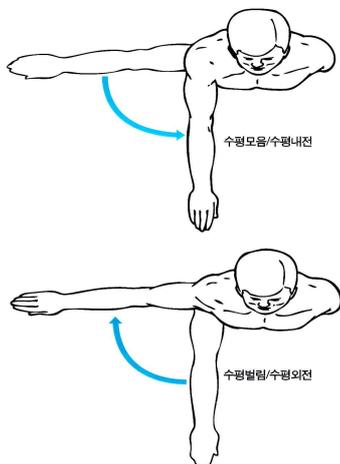
수평으로 옆으로의 운동은 수평벌림(horizontal abduction) 또는 수평펴, 옆쪽에서 앞쪽으로의 운동을 수평모음(horizontal adduction) 또는 수평굽힘이라 함.



==> 다리의 횡단면 운동



==> 아래팔의 횡단면 운동



==> 어깨에서의 횡단면 운동

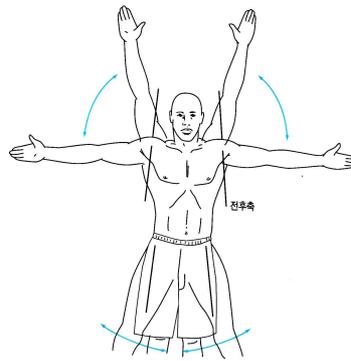
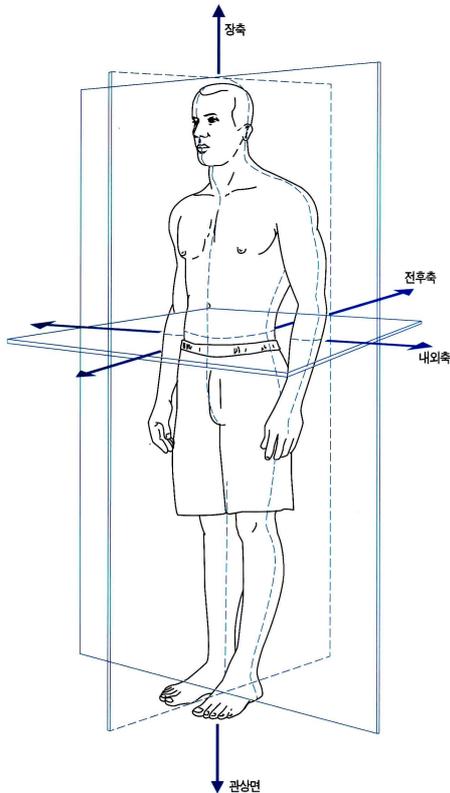
4) 방향에 관한 용어(directional terms)

일반적으로 사용하는 방향용어는 인체자체에 맞추어진 것이 아니라 인체와 인체 분절의 자세에 따라 위치 관계가 변한다. 방향용어에는 위, 아래, 앞, 뒤, 안, 밖, 원, 근 등이 있다.

- 위쪽(superior): 머리에 가까운 쪽
- 아래쪽(inferior): 머리로부터 먼 쪽
- 앞쪽(anterior): 인체의 정면쪽
- 뒤쪽(posterior): 인체의 등쪽
- 안쪽(medial): 인체의 중심쪽
- 가쪽(lateral): 인체의 중심으로부터 먼 쪽
- 몸쪽(proximal): 몸통에서 가까운 쪽
- 먼쪽(distal): 몸통으로부터 먼 쪽
- 얇은(superficial): 인체의 표면쪽
- 깊은(deep): 인체의 안쪽, 신체 표면으로부터 떨어진
- 올림(elevation): 위로 올림
- 내림: 아래로 내림

5) 축(anatomical axes)

- **좌우축:** 전후면과 직교하며 인체를 좌에서 우로 또는 우에서 좌로 통과하는 축으로 전후면을 제외한 두 평면(좌우면, 수평면)이 공유하는 축.
- **전후축:** 전두면에서의 회전은 시상축 또는 전후축이라 한다.
- **장축:** 횡단면 운동은 장축 또는 수직축에서 발생한다.



==> 팔벌려뛰기의 주된 회전축은 어깨와 엉덩이를 통과하는 전후축.

2. 관절운동(joint movement)

- 단축관절(자유도 1) 슬관절, 주관절, 수지관절 등의 접변 관절과 전완의 요골과 척골 관절이 있다.
- 양축관절(자유도 2) 2개의 평면상의 운동이 가능한 관절
 - 안장관절: 면이 안장모양을 하고 있으며, 서로 직각방향으로 움직이는 2축관절
Ex) 엄지의 손목, 손바닥 뼈 관절, 손가락 뼈 관절
- 삼축관절(자유도 3): 3개의 운동면상에서 운동이 가능함(견관절, 고관절 등)

1) 전후면상에서의 관절운동

- 굴곡(굽히기, flexion): 관절각이 감소하는 운동
- 신전(펴기, extension): 관절각이 증가하는 운동
- 과신전(hyperextension): 지나치게 관절각이 증가하는 운동

- * 수지관절의 경우: 굴곡운동만을 수행할 수 있다.
- * 발목관절의 경우: 발등이 경골을 향해 운동하는 것을 **배측 굴곡(dorsi flexion)**, 발바닥이 경골로부터 멀어지는 운동을 **저측 굴곡(plantar flexion)**이라 함.

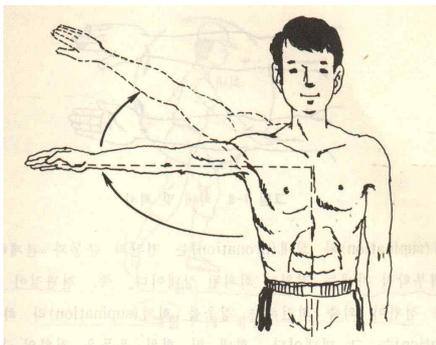
2) 좌우면상에서의 관절운동



<그림 5> 내전 및 외전

- **외전(abduction)**: 전후면을 중심으로 좌우면상에서 일어남. 인체의 중심선으로부터 멀어지는 운동 (예, 팔이나 다리가 해부학적 자세로부터 측면으로 들어 올리는 것)

- **내전(adduction)**: 외전의 반대



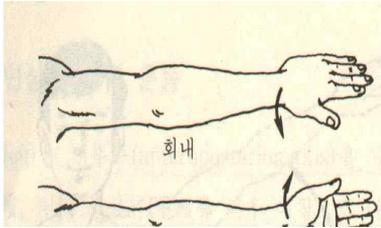
<그림 6> 수평 내전 및 외전

- **수평외전(horizontal abduction)**: 좌우면상에서 상완을 어깨 높이까지 외전시킨 후 수평면 위에서 팔을 신체 중심선으로부터 멀어지도록 이동시키는 관절운동.

- **수평내전(horizontal adduction)**: 수평외전의 반대

- 거상(elevation): 좌우면상에서 견갑대를 상위로 올리는 운동
- 강하(depression): 거상과 반대 운동

3) 수평면상에서의 관절운동



<그림 7> 회내 및 회외

- 회외(supination)와 회내(pronation): 전완의 운동과 관계있다. 견관절이 고정된 상태에서 전완이 외측으로 회전하는 경우를 회외, 회내는 그 반대 운동이다.

(발의 경우는 일반적으로 회내, 회외라 하지 않고 외반(eversion), 내반(inversion)이라 한다).

- 회전(rotation) : 분절의 장축(수직축)을 중심으로 분절내의 모든 점이 동일한 크기의 각 거리를 이동하는 운동.

4) 혼합운동



<그림 8> 회선

- 회선(circumduction): 전후면과 좌우면 운동의 혼합으로 양 운동면 사이의 경사면상에서 일어남.
 - 분절의 운동궤적이 원뿔을 형성하는 관절 운동이다.



<그림 9> 철봉의 대차륜시 회전축 변경

- ex) 철봉의 대차륜은 좌우축을 중심으로 하는 전후면 운동이다. 연기가 끝난 후 공중회전과 함께 착지한다면, 역시 전후면상의 운동이지만 좌우축은 철봉으로부터 무게 중심을 지나는 축으로 변경된다.

인체의 골격 명칭

사지골격 THE APPENDICULAR SKELETON

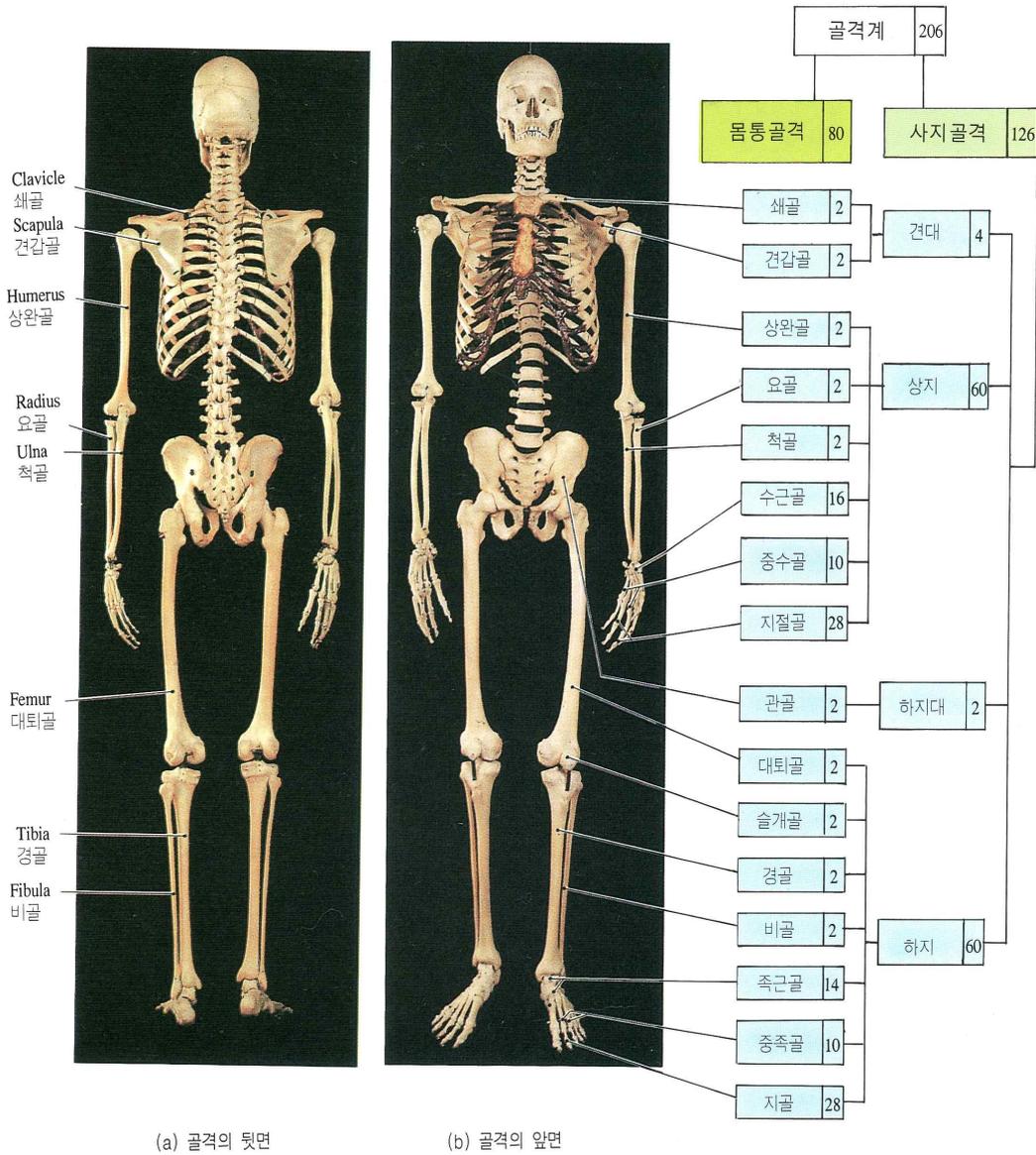


그림 2. 인체골격 명칭

주관절

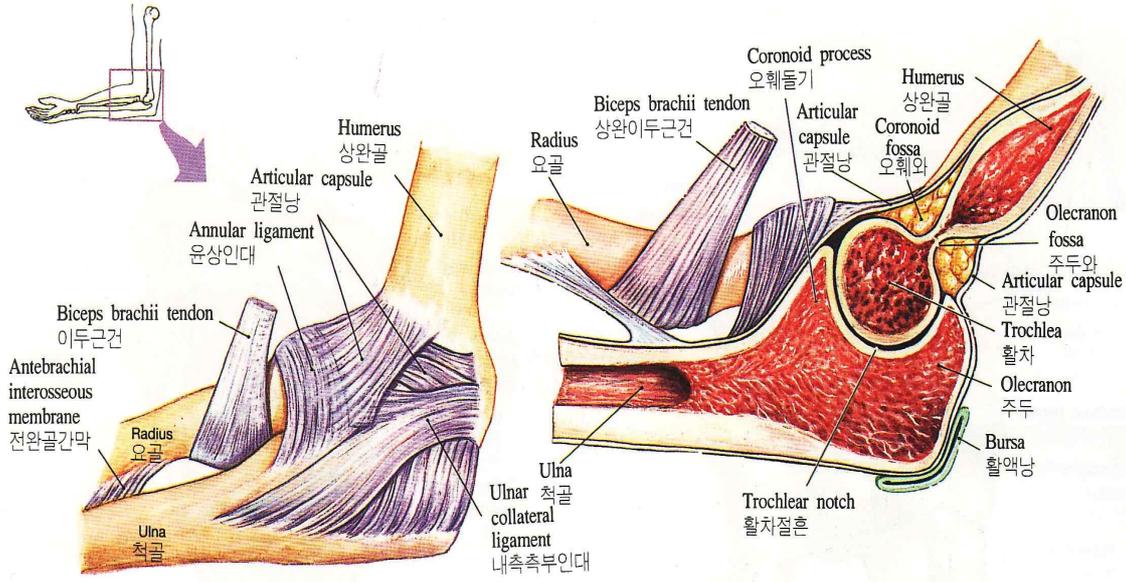


그림 3. 주관절의 모습과 각 명칭

발과 발목관절

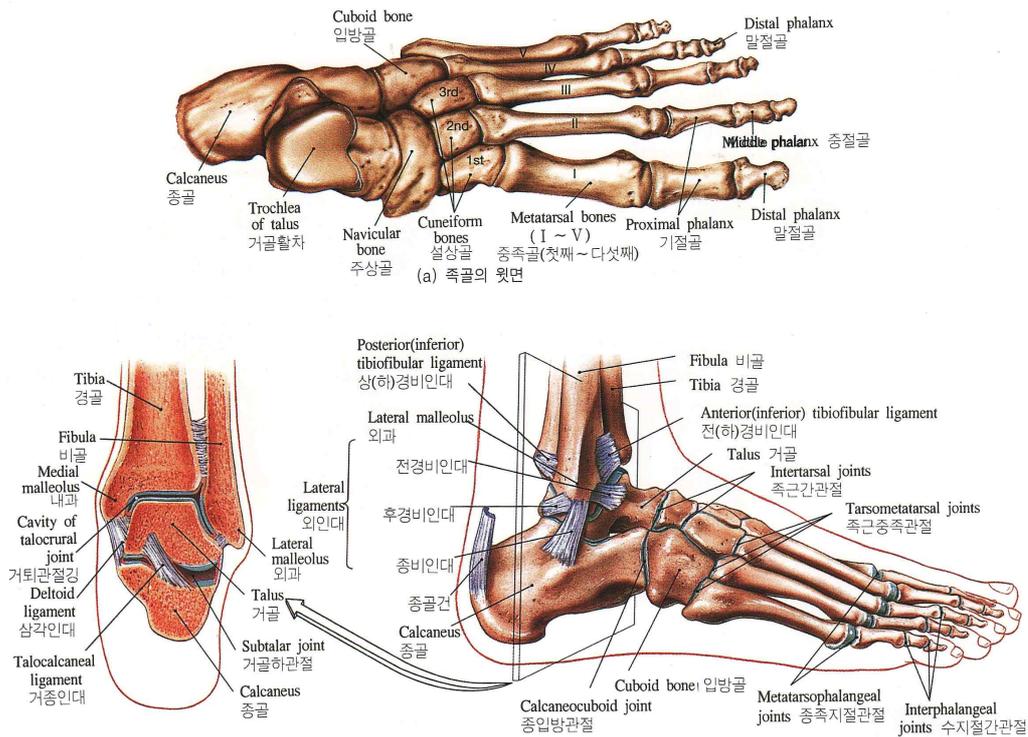


그림 4. 발목관절의 각 명칭

생체역학의 수학적 기초

- 역학에서 가장 기본이 되는 중요한 개념이 물질(matter), 시간(time), 공간(space). 이들 기본 개념을 특정한 단위를 사용하여 정량화한 것이 질량(mass), 시각(time), 길이(length)인데, 역학량을 구성하는 기본 요소이다.

1. 물리량 및 단위

1) **길이(length)**: 공간내의 위치를 나타내주는 기본 물리량이다. 기준 단위로 미터(meter)가 사용되며, m으로 표시. 보조 단위로 10^2 에 해당되는 센티미터(cm)와 0.3048m에 해당되는 피트(ft)가 흔히 사용됨.

- 길이(height): 발육의 지표로서 체격의 길이를 나타내는 것을 나타낼 때 사용.
(신장, 좌고, 상지장, 하지장 등)

2) **질량(mass)**: 물질의 양을 정량화한 기본 물리량이다. 기준 단위는 그램(gram)으로 g로 표시. 보조 단위로는 10^3 g에 해당하는 킬로그램(kg)과 14.59kg에 해당되는 슬러그(slug)이 흔히 사용됨.

3) **크기(volume)**: 신체의 무게이며 신체전체뿐 아니라 팔, 다리, 머리 등의 부분적인 무게도 포함

4) **너비(width; thin)**: 신체의 횡적인 폭과 두께를 나타냄
(어깨 폭, 가슴 폭, 허리 폭, 손의 폭, 머리의 폭 등)

5) **시각(time)**: 기준 시각으로부터 기산 경과를 의미하는 기본 물리량이다. 기준 단위는 초(second)이며, sec로 표시됨. 보조 단위는 60sec에 해당하는 분(min)과 3600sec에 해당하는 시간(h) 등이 있다.

6) 단위계: 흔히 사용하는 단위계에는 MKS 계, CGS 계 그리고 영국 단위계 등

- **MKS(meter-kilogram- second) 계**는 m, kg, sec를 기본 단위로 사용함.

- **CGS 계**는 MKS 계의 m, kg 대신에 cm, g, sec를 기본으로 사용함

=> (자연과학분야에서 많이 사용하는 단위계).

이 두 단위계를 통틀어 미터계라 하며 국제적으로 널리 사용됨.

※ **영국 단위계**에서는 feet, slug, sec를 기본 단위로 사용함. 그러나 실용단위로는 slug 대신에 파운드(pound; lb)를 사용하므로 FPS계라고도 함.

2. 벡터와 스칼라

● **스칼라(scalar):** 단순히 크기로만 정의되는 물리량(밀도, 체적, 온도, 질량 등).

● **벡터:** 크기와 방향 즉, 방향특성을 가지는 물리량

☞ 한 점에서 다른 한 점으로의 이동을 의미하는 것은 변위.

=> 그 외의 속도, 가속도, 힘이 벡터량이다.

- 벡터를 도식화 할 때 화살표로 표시하는데, 이때의 **화살표 길이가 벡터의 크기**에 해당되고, **꼬리는 작용점**, **머리는 작용방향**을 의미한다.

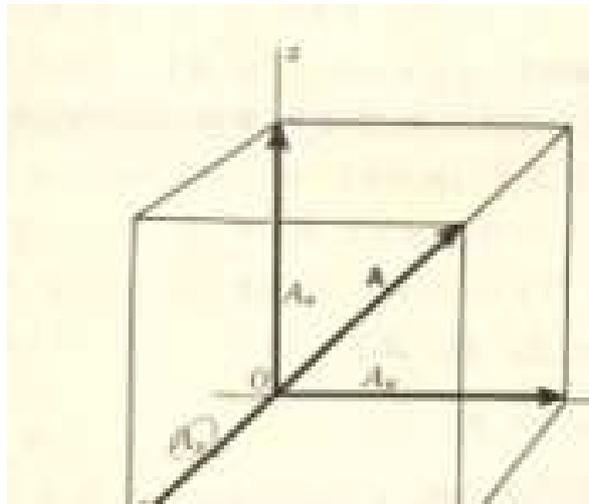


그림5. 직교 좌표에서의 벡터의 성분

Ex) 슷트랙의 아이스 링크를 한 바퀴 돌아서 원래의 자리(출발점)로 돌아온 선수 즉, 변위는 출발점과 종착점 사이의 직선거리이므로 0이 되어 그 결과 속도도 0이 된다.

※ **변위(displacement)**: 위치의 변화량, 크기와 방향을 가지는 벡터량. 이동거리와는 다른 개념.

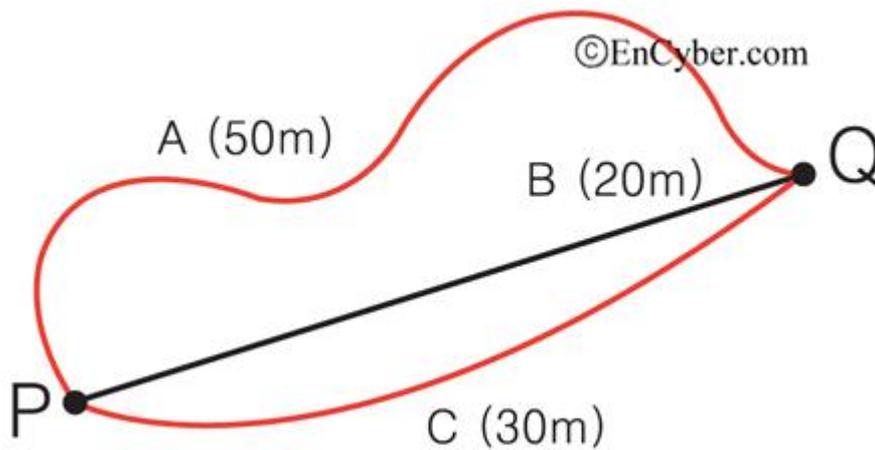


그림 6. 변위의 개념 설명

- 이동거리는 경로에 따라 달라지지만 변위는 경로에 무관하다. 예를 들어 직선 거리가 20m인 점 P와 Q가 있을 때, 곡선으로 이어진 길을 따라 P에서 Q로 이동하면 이동거리는 20m보다 크다. 하지만 변위의 크기는 20m이다. 그리고 P에서 출발하여 직선으로 된 길을 따라 Q에 갔다가 다시 P로 돌아온다면, 이동거리는 40m인 반면 변위는 결국 0이 된다.

- 변위가 시간에 따라 연속적으로 변화하는 경우에는 시간에 따른 변위의 변화율을 속도라고 정의한다. 따라서 속도 또한 방향이 있는 벡터량이며, 시간에 따른 이동거리의 변화율인 속력과는 구분해야 한다[출처] 변위 [變位, displacement] 백과사전.

☞ “벡터”는 크기와 방향에 의해서만 정의되므로 작용점의 위치는 가변적이다.

3. 무게 중심(center of gravity)

- 운동을 수행하는 인체나 스포츠 용구의 운동을 기술할 때 각각의 운동을 서로 분리할 필요가 있다. 무게중심은 가상점의 선 운동과 이 점을 중심으로 한 각 부분의 회전 운동을 분리하는 것으로 가능.

♣ 무게 중심

- 물체의 무게가 집중된 점으로 이점을 중심으로 물체는 완전한 균형을 이룸. 따라서, **신체나 신체의 일부분은 반드시 자신만의 무게 중심을 가진다.**

Ex) 굽히기 자세를 취한 다이버의 경우 동체의 전위에 큰 질량이 분포하므로 무게 중심은 사지, 동체가 이루는 삼각형내의 어느 한 점에 위치한다.

- 인체는 유연성을 가지기 때문에 정확한 무게 중심을 결정하는 것이 어렵다. 무게 중심은 순간적으로 고정된 자세에서 결정되는데, 운동은 자세를 지속적으로 변화시킨다. 따라서, 스포츠 기술을 구사할 때 무게 중심의 위치는 계속 변한다.

☞ 무게 중심의 측정(center of mass)

- 무게 중심: 중력에 의해 토크가 0인 점이다. 토크(torque)는 회전력이라 함.

- 물체의 각 부분에 작용하는 중력의 합력의 작용점을 말한다.

※ 물체의 무게중심이 윗부분에 있을 경우 물체는 매우 불안정, 아래 부분에 있을 경우 안정된 상태.



그림 7. 오투기의 무게중심

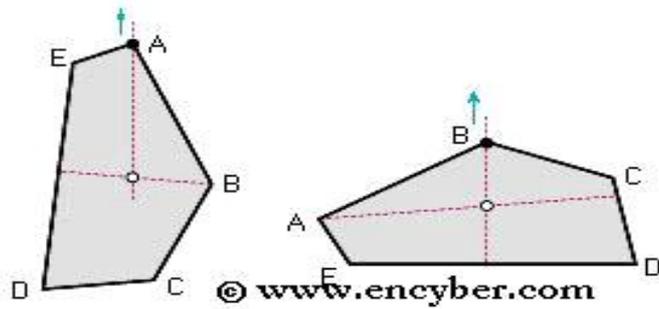


그림 7-1. 무게중심 설명

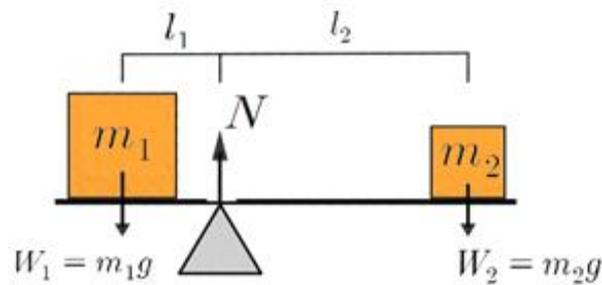


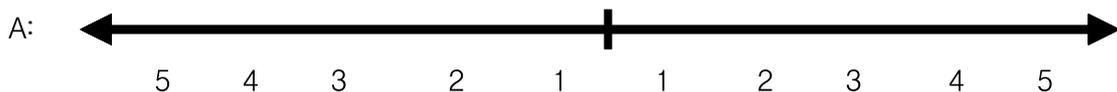
그림 7-2. 무게중심 설명

- 위 그림처럼 서로 다른 무게의 추를 매달고 있는 가벼운 막대를 생각해보자. 막대에 걸쳐있는 각각의 추에 작용하는 힘은 아랫방향으로 W_1 W_2 , 이다.

- 아르키메데스의 지렛대 법칙으로부터 무게중심이 $W_1h_1=W_2h_2$ 의 조건에 의해 결정된다. 여기서 h_1 과 h_2 는 지지점에 있는 무게중심으로부터 측정된다. 예를 들어, 이 20N, 30N, 막대의 길이가 1m라면 무게중심은 왼쪽의 물체로부터 0.6m인 지점이 무게중심이 된다.

※ Q & A

Q: 양 팀의 선수가 각각 20명씩 나뉘어서 줄다리기 시합을 한다고 가정하였을 때, 신체가 크고 힘이 센 사람들이 어디에 위치해야 승리할 확률이 높을까?



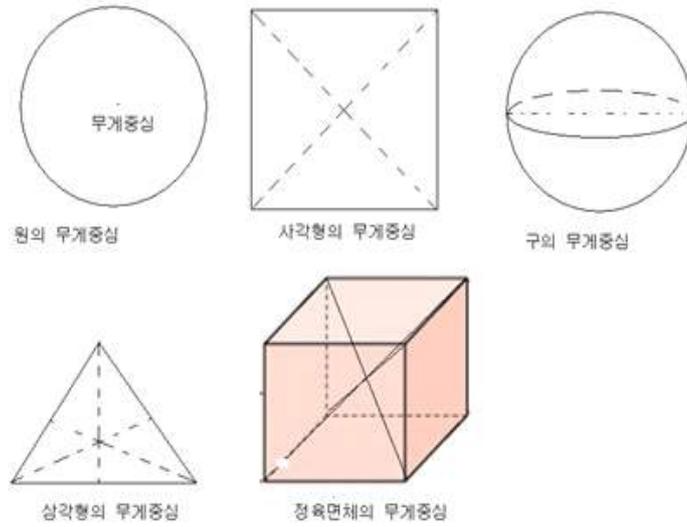


그림 7-3. 무게중심 설명

※ 무게중심이 낮고, 어떤 방향으로 기울어더라도 무게중심이 위로 올라가도록 놓인 물체는 기울었던 물체에서 손을 떼었을 때 무게중심이 원래 상태로 되돌아가기 때문에 잘 쓰러지지 않지만, 기울이면 무게중심이 아래로 내려가도록 놓인 물체는 조금만 기울여도 쓰러진다.

☞ 인체의 무게 중심 측정

- Demster는 냉동 시체를 이용하여 인체의 무게 중심을 측정하였고, Walton은 형판(template; 플라스틱제 시트)를 사용, 그 외에는 침수법(immersion technique)이나 반작용판(reaction board)를 사용하여 연구함.

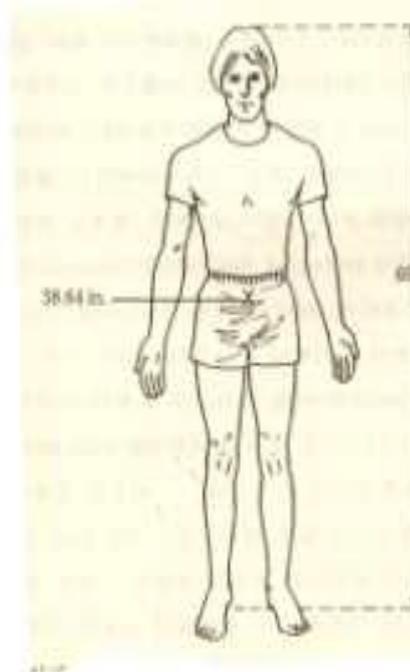


그림 7-4. 일반 남자의 무게 중심

● 직립 자세를 취한 사람의 무게 중심은 신장의 약 55-60% 높이, 즉 제2선추 부근에 위치한다.

☞ 성인보다는 아동의 중심고가 높고, 여성보다는 남성이 높다.

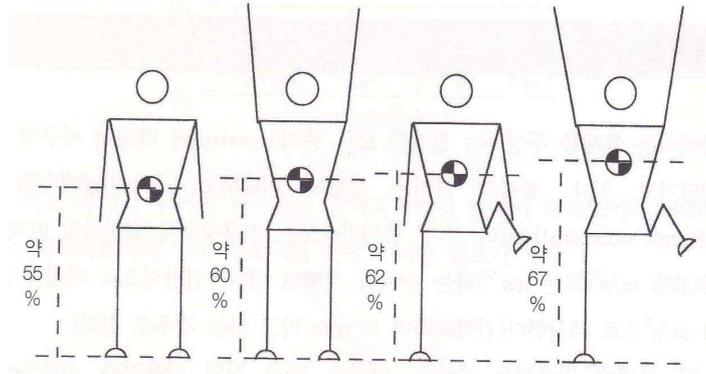
▣ 신체중심 측정법

- 신체중심의 측정방법을 운동역학적 분석에 필요한 신체부위의 중량, 중심위치, 관성모멘트를 산출하기 위해...
- 지구상에서 물체를 구성하는 질점은 모두 중력에 따라서 지구의 중심에 향해서 끌어당기고 있다.
- 중력의 크기는 중량에 비례, 그 비례계수를 중력가속도(gravitational acceleration)라

함. ==> 중력가속도 표준값: 9.80665m/s^2 이다(9.8 또는 0.91m/s^2 로 계산함).

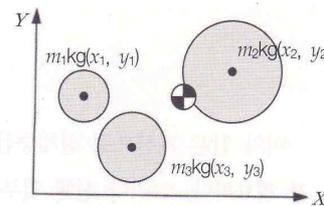
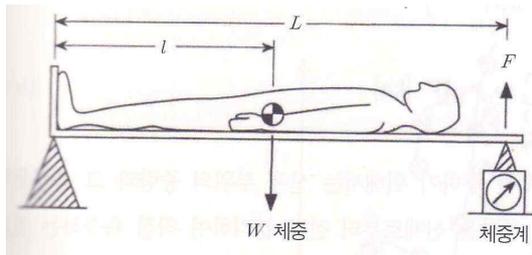
- 신체 각 부위에 작용하는 중력을 하나로 합친 힘의 작용점을 신체중심(COG)라 함.

- 신체중심은 자세에 따라 변한다.



<그림 7-5> 신체중심위치

■ 신체중심위치의 직접적 측정(중심판법)



<그림 4.2> 중심판법에 의한 신체중심 측정

<그림 4.3> 중심위치의 계산

- 중심판법에 의한 측정은 지레의 균형을 기초로 측정하고 있기 때문에 정확하게 측정이 가능함. 단, 운동 중의 중심위치와 신체 일부분의 중심위치를 아는 것은 곤란함.

선 운동(Linear Motion)

- 운동은 공간 및 시간 내에서의 위치의 이동으로 정의되는데, 그 원인이 되는 힘이 가해지지 않는 한 상태의 변화가 일어나지 않음.
- 인체의 운동이나 스포츠 용구의 운동에는 여러 가지 형태가 있으나 크게 두 가지 종류로 분류될 수 있다.

첫째: 운동체의 모든 부분이 동일한 위치 변화를 보이는 운동을 선 운동(linear motion)이라 함.

둘째: 특정한 축을 중심으로 동일한 각도 변화를 보이는 운동을 각 운동(angle motion)이라 함.

ex) 트랙을 달리는 단거리 선수는 팔과 다리의 각 운동을 통해 인체의 선 운동을 유발한다(질량 중심의 이동에 있는 스포츠 종목에 적용되는 경우에는 제한적임).

* 일반적으로 물체나 인체의 실제 운동은 이 두 가지 운동 유형이 복합되어 있기 때문에 선 운동과 각 운동으로 명확하게 구분하기는 어렵다.

● 선 운동과 각 운동이 동시에 일어나는 경우를 혼합운동이라 함(이 운동을 분석하기 위해서는 운동체의 무게 중심을 잘 활용해야 함).

※ 운동체의 운동은 그 무게 중심의 선 운동과 무게 중심을 지나는 축을 회전축으로 하는 각 운동으로 구성된다.

* 선 운동의 두 가지 분류

첫째; 물체가 한 점으로부터 다른 점으로 직선 경로를 이동할 때 직선운동(rectilinear motion)이라 함.

둘째; 곡선 경로를 이동할 때 곡선운동(curvilinear motion)이라 함.

☞ 속도가 일정한 선 운동을 등속운동(uniform motion),

속도가 변하는 운동을 비등속 운동 또는 가속도 운동(accelerated motion)

운동체의 가속도가 일정한 경우는 등가속 운동이라 한다.

1. 속도와 속력

- **속도:** 단위시간당 운동체의 변위(displacement)를 말하고, 크기와 방향을 가지는 벡터이다.

ex) 슷 트랙 선수가 아이스 링크를 한 바퀴 돌아서 원래의 자리(출발점)으로 돌아온 선수 즉, 변위는 출발점과 종착점 사이의 직선거리이므로 0이 되어 그 결과 속도도 0이 되지만, 속력은 절대로 0이 될 수 없다.

- **속력:** 단지 크기로만 나타내는 스칼라이다

(대부분의 슷포츠 상황에서는 이 두 가지의 구별이 중요하지는 않아서 혼용되기 때문에 하나로 통일하는 것이 좋다).

2. 포물체 운동

- 어떤 힘에 의해 공중으로 추진되어 자신의 관성에 의해 운동을 계속하는 물체를 포물체 또는 투사체라 함(공중을 날아가고 있는 공, 도약 후 공중 자세에 있는 높이뛰기 선수의 신체, 과녁을 향해 날아가는 화살 등)

* 포물체가 가지는 공통적인 특징은 중력만이 작용함.

3. 구심력과 원심력

- 운동체가 일정한 시간동안 일정한 거리를 움직이는 선 운동을 등속운동이라 함. 일정한 주기로 동일한 원주 위를 움직이는 운동을 등속 원운동이라 함. 이 경우 속도의 크기는 변하지 않으나 운동 방향이 계속적으로 변하는데, 물체의 운동 경로가 반드시 원주를 이루도록 하는 데에는 구심력(constraining force)이 필요함.

ex) 투원반의 턴 동작에서 원반이 손과 함께 원운동을 하는 이유는 원반이 손에 의해 구속되기 때문. 원반을 놓아버리면 그 순간의 원운동 경로의 접선 방향으로 선운동을 한다.

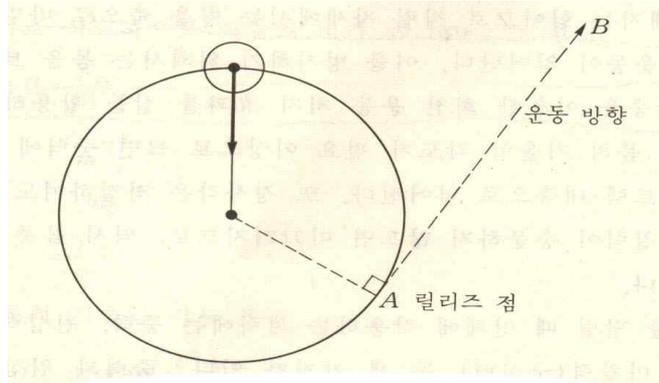
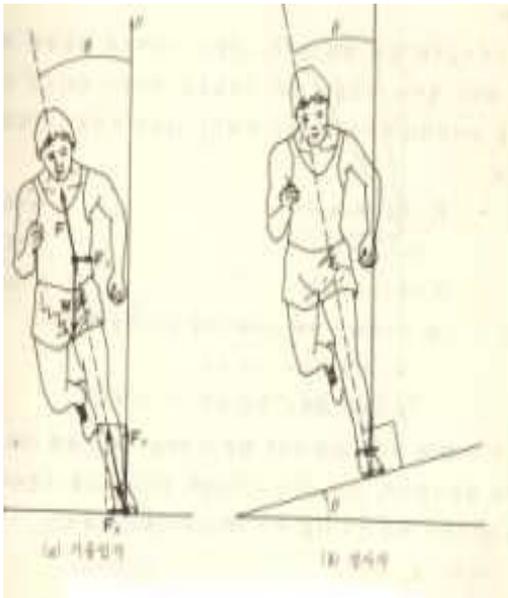


그림 8. 릴리즈 순간의 해머의 운동방향

- **구심력**: 힘이 물체를 구속시켜 원주 위를 운동하게 하는 것.
- **원심력**: 물체로부터 가해지는 구심력의 반작용



ex) **구심력**은 육상 경기의 트랙과 같은 전형적인 평면 곡선 주로에서는 스파이크와 트랙면 사이의 마찰력으로부터 얻는다. **원심력**은 무게 중심점에 가해지는 힘이므로 직립자세에서는 발을 축으로 바깥쪽으로 넘어지는 회전 운동이 일어난다.

그림 9. 몸의 기울임 각도와 트랙면의 경사각

☞ 이러한 현상을 방지하기 위해 몸을 트랙 내측으로 기울여 체중을 이용한 회전운동 저지 효과를 활용하게 된다(육상 트랙경기, 슛 트랙 스케이팅, 스키의 회전 등).

4. 자유도

- 힘이 신체에 대해 미치는 영향을 생각할 때, 신체에 작용하는 힘과 힘모멘트의 벡터, 이것을 **자유도(free diagram)**라 함.
- 그림 5의 (a)와 같이 달리는 동작 중 신체에 작용하는 중력, 지면반력, 공기저항을 나타내는 것으로 신체중심은 이것들의 외력에 의해서 운동이 결정됨.

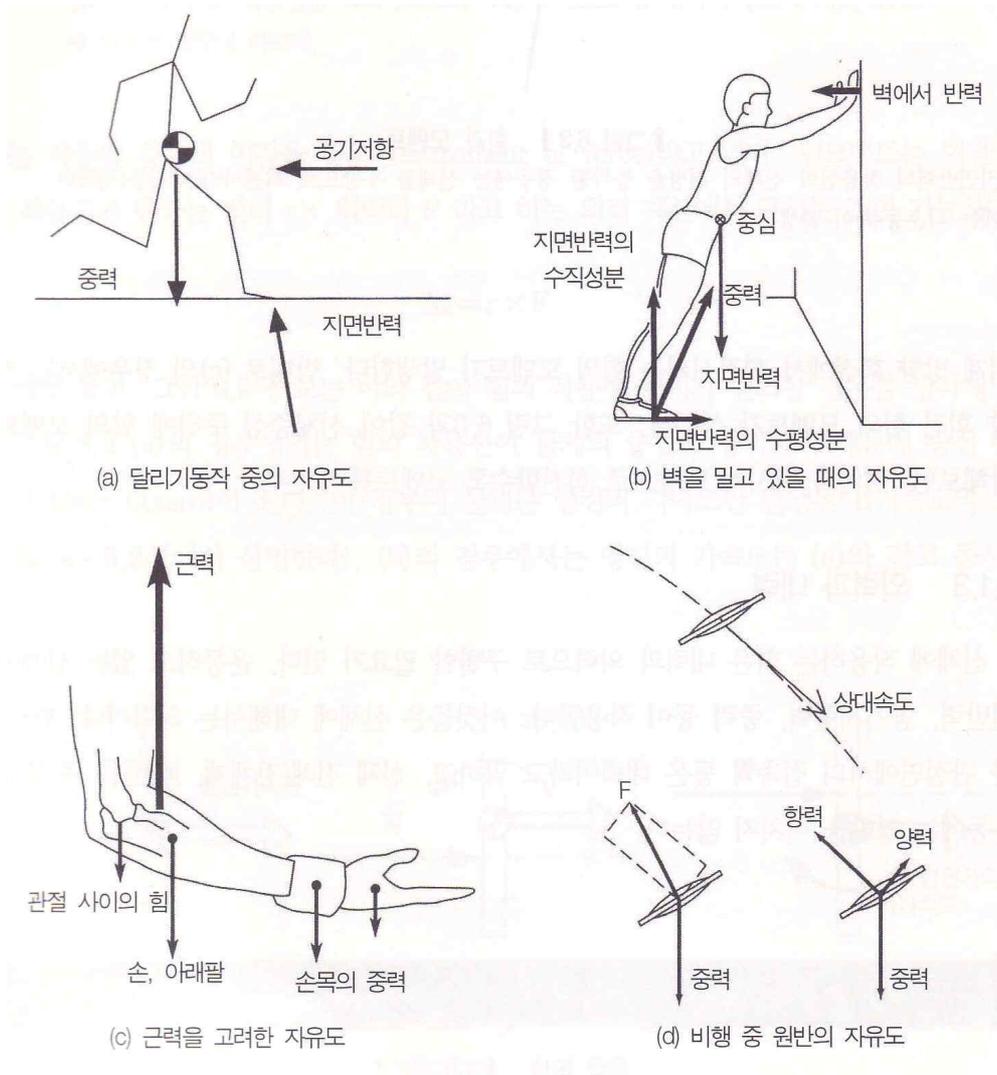


그림 10. 여러 가지의 자유도

5. 짝힘

- 힘의 크기는 같고, 방향이 반대인 2개의 힘이 작용하고 있는 경우를 **짝힘** (couple forces, 또는 **우력**)이라함.
- 힘의 모멘트에 관한 효과 즉, 회전효과만 가짐.

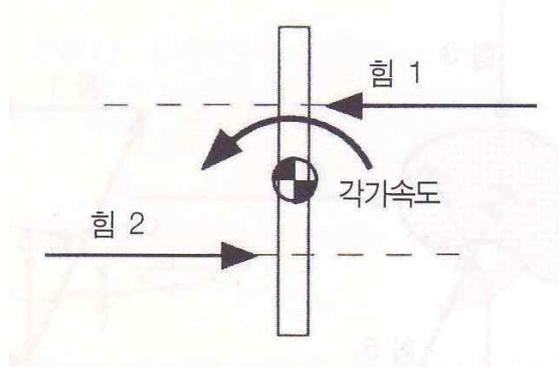


그림 11. 짝힘

6. 운동법칙

- 지면을 밟고 걷거나, 점프, 볼을 던지는 등의 운동을 역학적으로 분석하기 위한 기본 법칙으로는 “운동의 법칙”, “뉴턴의 법칙”이 있다.

1) 관성의 법칙(제1법칙)

- 관성(inertia)이란: 한 물체의 속도가 변화되어지기 어려운 것과 관계
 - 관성은 질량(mass)과 직접적인 관계, 물체의 운동 변화에 있어서 물체에 작용하는 저항으로 설명됨. 즉, 한 물체의 관성이란 그 물체가 가속되어질 때만 나타나는 물질의 성질이다(즉, 속도가 변화될 때).
- “한 물체는 그 물체에 작용되는 힘이 없다면 정지된 상태 또는 일정한 속도와 함께 직선운동으로 남는다” 즉, 외부로부터 어떠한 힘(작용)도 받지 않을 때 정지하고 있거나 등속운동을 계속한다.
- 다르게 말하면, **힘**은 정지, 출발하기 위해, 또는 운동을 바꾸기 위해 요구되어진다.
 - 중력이 없는 환경에서 명백하게 확인할 수 있다.
- (예) 우주 비행사가 무중력 상태에서 물체를 공중으로 토스하거나 공중돌기를 수행하는 일에서 확인된다.

2) 가속도의 법칙(제2법칙)

- “한 외력에 의해서 움직이는 물체는 그 힘이 시간에 대한 선운동량의 변화율과 동일하게 움직인다“



그림 12. 가속도의 법칙

- 운동량(momentum)(G)란 용어는 인체에 의해서 소유되는 운동의 양으로 설명되고, 질량(m)과 속도(v)의 곱으로 정의된다.

즉, 60kg의 질량을 가진 달리기 선수가 8m/s의 수평속도로 달렸다면 $480\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 의 운동량을 갖게 됨($G=mv$)

- m은 인간운동 중에는 변화하지 않기 때문에 작용된 힘(F)은 속도의 변화율과 질량의 곱에 비례한다.

- 힘 F를 가할 경우에 그 가속도 a는 중량 m과 반비례한다($F = ma$).

☞ 가속도: 시간에 따른 속도의 순간적인 변화량

※ 운동의 변화는 가해진 힘에 비례, 힘이 가해진 직선방향으로 일어남.

3) 작용과 반작용의 법칙(제3법칙)

- “두 물체가 서로 힘을 작용하고 있을 때, 그 힘은 물체들이 연결된 선을 따라서 작용하고, 두 힘 벡터들은 크기는 같고 방향은 반대이다”.

- 이 법칙은 신체에 작용하는 다른 힘들은 첫 번째 작용에 의한 두 번째 신체의 효과에 의해서 반작용되어진 모든 효과를 함축하고 있다. 예) 농구에서 점프 슛을 수행하는 사람을 생각....점프를 위해서 그 사람은 지면에 대해 힘을 작용하였고, 그 지면은 점프하는 사람에게 반작용력(지면반력)으로 대응한다. 즉, 작용-반작용 법칙은 점프하는 사람과 지면과의 사이에서 힘작용을 의미(크기는 같고 방향은 반대).

힘(Force)

- 물체가 다른 물체를 어떤 방향으로 밀거나 당기는 것으로 정의됨. 물체가 이동 또는 변형되는 것은 모두 힘의 작용 결과이다.

- 힘(force)은 크기와 방향을 가지므로 벡터이다.

힘의 작용은 운동상태의 변화를 일으키는 필요조건일 뿐이다.

- 힘의 크기, 힘의 방향, 힘의 작용점이라는 3개의 요소가 필요함.

- 힘은 물체를 병진(수평 이동)시키도록 하는 작용을 가지고 있는 것뿐만 아니라 물체를 회전시키도록 하는 작용을 갖는다. 이것을 힘모멘트(moment of force)라 함.

- 힘모멘트: 회전 중심에서 작용점에 향하는 벡터 $r \times$ 힘벡터 F 라는 계산에서 구함.

$$M = r \times F$$

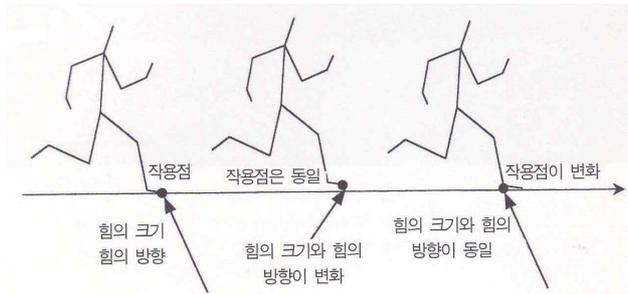


그림 13. 힘의 3요소

=> 3요소 중 하나의 변화에 따라 신체에 미치는 영향이 다름

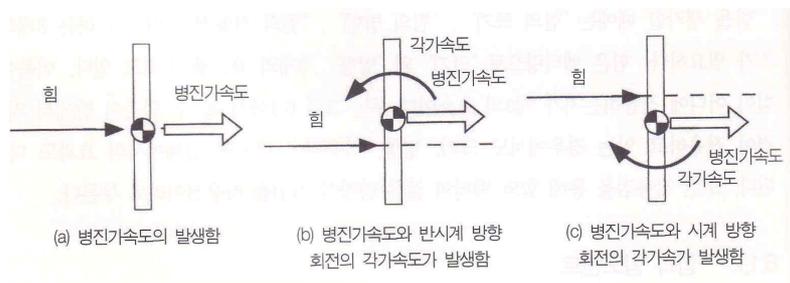


그림 14. 힘의 작용

=> 힘이 강체에 작용하는 경우, 작용점에 의해 병진, 회전 각속도의 발생되는 방향이 다름.

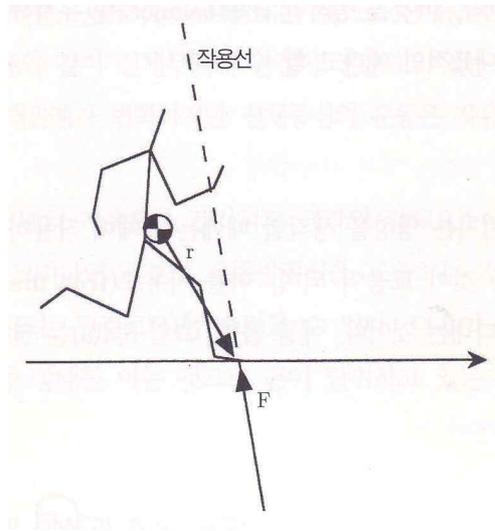


그림 15. 힘과 모멘트

=> 지면반력의 작용선이 신체의 전방을 통과할 경우에는 신체를 후방으로 회전시키는 작용(각운동량)이 발생됨.

=> 신체가 반시계 방향을 회전할수록 모멘트를 받는다.

▣ 역학적 일의 단위

- 신체운동을 에너지라고 하는 관점에서, 위치에너지와 운동에너지를 합친 역학적 에너지를 분석.

- **위치에너지**: 중력 상태에서 운동하기 위해 에너지가 필요한데, 이 에너지를 위치에너지(potential energy)라 함.

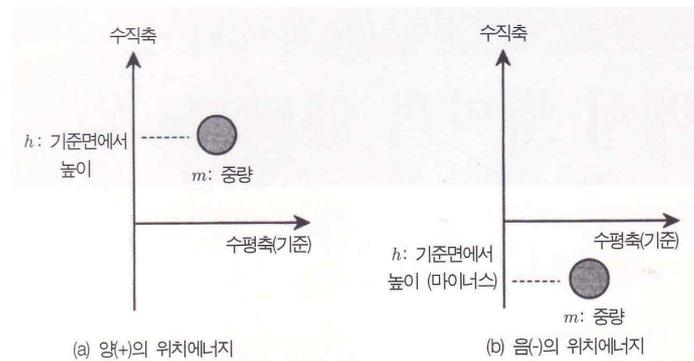


그림 16. 위치에너지의 정의

=> 위치에너지는 기준면에서의 높이에 비례하고 음(-)인 경우도 있다.

- **운동에너지**: 물체가 운동을 하고 있을 때(속도 또는 각속도)의 에너지를 운동에너지(kinetic energy)라 하며, 병진운동에너지와 회전운동에너지로 나눈다.

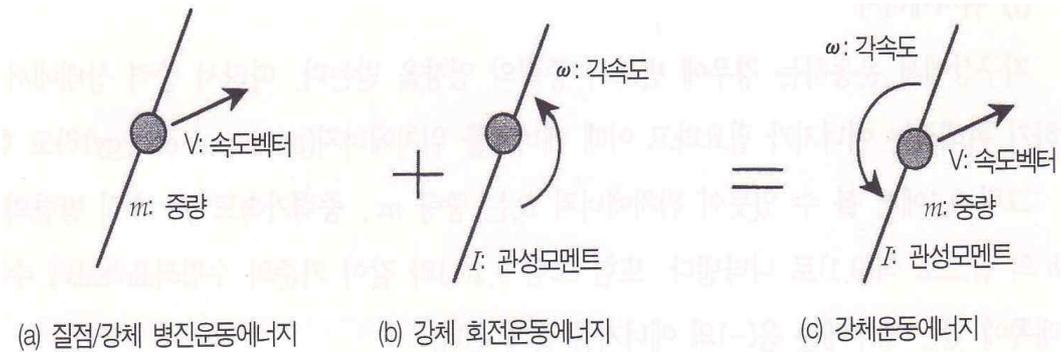


그림 17. 강체운동에너지의 정의

=> 강체운동에너지는 병진운동에너지와 회전운동에너지의 조합이다.

- 병진운동에서 일의 단위: $[N][m/s][s] \rightarrow [Nm] \rightarrow$ 역학적 에너지 $[J]$
운동에너지의 단위: $[kg][m/s] \rightarrow [kg][m/s^2][m] \rightarrow [J]$

- 회전운동에서 일의 단위: $[Nm][s^{-1}][s] \rightarrow [Nm] \rightarrow$ 역학적 에너지 $[J]$
운동에너지의 단위: $[kgm^2][s^{-1}]^2[m] \rightarrow [J]$

- 역학적 파워(mechanical power)란 단위시간당 일을 나타냄(일률; Joule 이라 함)
=> $1kcal = 4.186 (J)$

■ 에너지 역학

- 포환은 포물선을 그린 수직 높이와 속도를 변화시키면서 낙하하지만 공중에서의 역학적 에너지는 일정함. 이것은 포환에 작용하는 중력이 보존력이라는 특별한 힘이 있기 때문에 위치에너지와 운동에너지를 변환시키면서 운동을 지배하게 됨.

- 위치에너지가 크면 운동에너지가 작고, 운동에너지가 크면 위치에너지가 작다. 스프링(용수철) 진동의 경우도 성립된다.

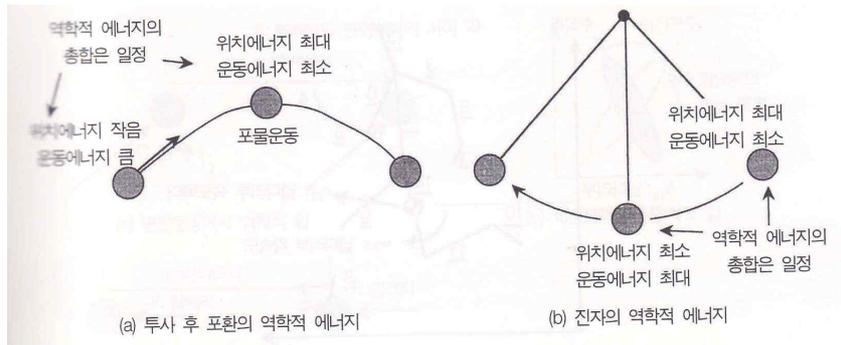


그림 18. 역학적 에너지보존의 법칙

=> 포물운동의 경우 위치에너지와 운동에너지는 변화하지만 그것들의 총합은 일정하다.

- 공기저항을 무시한 경우 공중에서 신체중심은 포물선 운동을 하지만 신체의 역학적 에너지는 일정하지 않다. 이것은 관절에서 회전모멘트(관절토크)에 의한 역학적 일이 존재하기 때문이다.

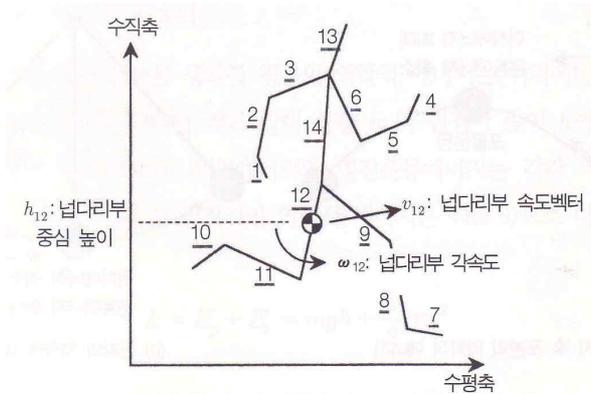


그림 19. 신체의 강체링크모델의 역학적 에너지

=> 신체분절의 역학적 에너지 총합은 신체에서 갖는 총 역학적 에너지가 된다.

▣ 병진운동에서 역학적인 일

- 평행이동하는 운동을 의미.
- 어떤 물체의 운동은 병진운동과 회전운동이 동시에 일어나기 때문에 나누어서 생각해야 함.
- 힘의 방향과 이동 방향이 일치하고 있을 때 일이 최대가 된다.

- 병진운동에서 일 W 는 힘벡터 F 와 속도벡터의 내적(파워)을 시간으로 적분함

$$W = \int (F \cdot v) dt$$

- 힘의 방향과 이동 방향이 반대인 경우(2개의 벡터가 이루는 각도가 90도를 넘었을 경우)에는 음(-)의 일을 한 것이 된다.

Ex) 날아온 볼을 잡을 경우 볼의 속도벡터와 볼에 가하는 힘 벡터는 반대방향으로 향하기 때문에 일은 음(-)이 된다.

▣ 회전운동에서 역학적 일

- 회전운동의 속도를 특징짓는 기본적인 양은 각속도이다.
- 외부의 힘에 의한 모멘트가 가해지지 않으면 회전축의 방향과 각속도는 변화지 않음 ==> 회전의 관성이라 함(물체의 질량이 병진운동을 할 때 관성의 정도를 나타내는 것과 같이 회전할 때는 관성모멘트가 나타남).
- 병진운동에서 역학적 일과 같은 형태로 일정한 모멘트가 작용하고 있을 경우 힘의 모멘트 크기와 각 변위의 곱, $W = T\theta$
- 힘의 모멘트 방향과 회전방향이 반대인 경우에는 음(-)의 일을 한다.

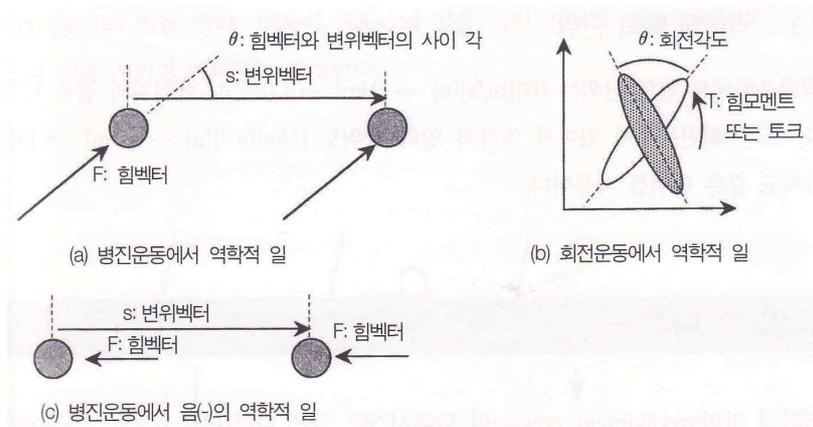


그림 20. 병진운동 및 회전운동에서의 일

▣ 역학적 에너지, 일, 파워의 관계

- 파워를 시간으로 적분한 것이 일
- 양(+의 파워를 발휘하면 양의 일, 음(-)의 파워를 발휘하면 음(-)의 일 => +의 일을 시킨 신체의 역학적 에너지는 증가하고, -의 일을 시키면 에너지는 감소함.

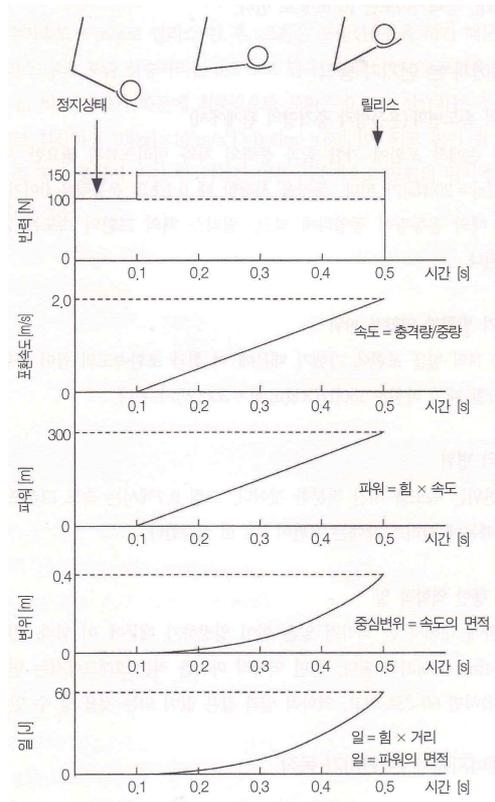


그림 21. 던지는 동작에 있어서 역학량의 변화

=> 역학적 일량은 포환이 갖는 에너지로 변환된다.

- <그림 9>에서 대상으로 던지기에서는 0.1초까지는 정지 상태 유지, 0.1초 이후에서 동작 개시하고 일정한 힘(150N)을 발휘하면서 0.5초에 릴리스 한다(동작시간은 0.4초). 포환의 중량을 10kg, 중력가속도를 10m/s^2 로 한다.

※ 위 그림을 통해 일에서 본 던지기 동작의 설명

1. 포환의 속도변화(운동량과 충격량의 관계에서)

- 충격량은 손에서 포환에 가한 힘과 중력의 차이와 릴리스까지 필요한 시간과의 곱.

$$50(\text{N}) \times 0.4(\text{s}) = 20(\text{Ns})$$

- 동작을 시작할 때 0.1초의 운동량은 0이기 때문에 충격량과 릴리스 때의 운동량이 동일하게 되고, 릴리스 때의 포환속도는 $20(\text{N}) / 10(\text{kg}) = 2(\text{m/s})$ 가 됨.

2. 신체가 발휘한 역학적 파워

- 손은 150N의 힘을 포환에 가했기 때문에 이 힘과 포환속도의 곱이 파워이다. 이결과 동작을 시작할 때 파워는 $150(N) \times 2(m/s) = 300(W)$ 가 된다.

☞ **Watt: 일률**(일의 시간에 대한 변화율) 1초에 1J($1J = 1N \cdot m = 1kg \cdot m^2/s^2$) (MKS 단위; 1N의 힘으로 1m 만큼 움직이는 데 필요한 에너지)일을 하는 일률을 1W로 정함.

☞ **1N**: 10^5 dyne에 해당됨. 중력가속도가 $9.8m/s^2$ 인 지점에서 1kg의 물체에 작용하는 중력의 크기는 9.8N이고, 1N의 힘으로 물체를 힘의 방향으로 1m 만큼 움직이는 동안에 한 일은 1J이다.

☞ **Dyne**: 힘의 CGS 단위. 질량 1g의 물체에 작용하여 $1cm/s^2$ 의 가속도가 생기게 하는 힘.

3. 포환의 변위

- 포환의 변위는 속도를 시간 적분한 것이다. <그림 9>에서 보는 것과 같이 속도 그래프의 면적과 동일하기 때문에 릴리스 때에는 포환이 0.4m 상승한다.

4. 손이 행한 역학적 일

- 손이 포환에 대해서 한 역학적 일은 일정하기 때문에 이 힘과 변위의 곱이 됨. $150(N) \times 0.4(m) = 60(J)$ 로 됨.

1. 힘의 효과

■ 힘 상태의 변화

힘은 크게 운동상태의 변화와 관련해서 추진력(propulsive force)과 저항력(resistive force)으로 분류.

- 추진력: 운동을 일으키는 힘.
- 저항력: 운동을 방해하는 수동적인 힘.

● 인체나 스포츠 물체의 운동을 방해하는 저항력에는 마찰력, 중력 등이 있다.

2. 힘의 작용선과 운동의 유형

- 물체나 인체의 운동은 가해진 힘의 작용선과 무게 중심의 위치 관계에 의해 그 형태가 결정된다.

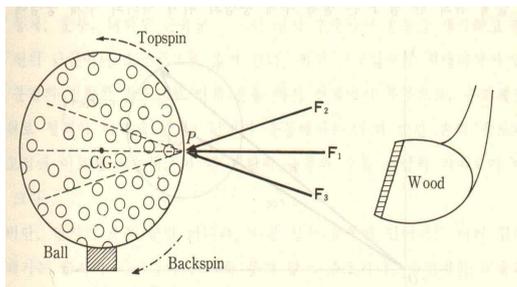


그림 22. 작용점이 같고 방향이 서로 다른 세 개의 힘 벡터에 의한 골프공의 운동

F_1 : 공의 무게 중심을 지남.

F_2 : 백스핀

F_3 : 톱스핀

☞ 운동유형의 차이는 가해진 힘의 크기가 아닌 힘의 작용선과 물체의 무게 중심 또는 회전축 사이의 위치 관계에 의해 구별되기 때문에 작용점과 힘의 작용방향이 매우 중요하다.

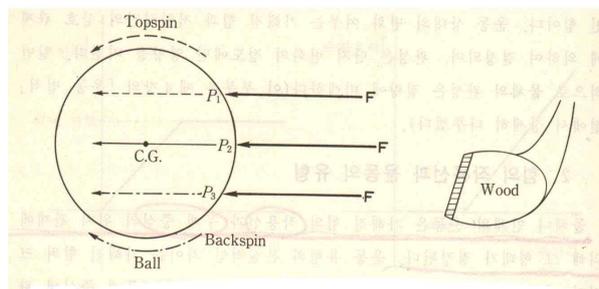


그림 23. 서로 다른 세 점에 작용한 동일한 힘 벡터에 의한 골프공의 운동

- 작용선이 물체나 인체의 무게 중심을 지나는 힘을 **항심력(concentric force)**, 무게중심을 지나지 않는 힘을 **편심력(eccentric force)**이라 함.

3. 힘 모멘트: 물체를 회전시키도록 하는 힘의 움직임

- 힘의 작용선이 볼의 중심을 통하면 볼은 우측방향으로 가속도를 받고 그대로 우측으로 병진운동 한다. 만약, 힘의 작용선이 볼의 중심을 벗어나서 작용하면 볼은 오른쪽으로 움직이면서 회전한다.
- 회전운동을 일으키는 힘의 효과를 힘 모멘트(moment of force) 혹은 토크(torque)라 함.

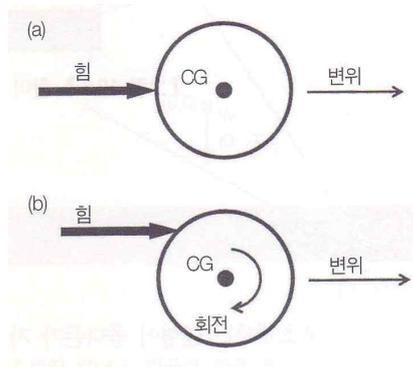


그림 24. 볼에 작용하는 힘의 효과

- 그림 <그림 24>에서와 같이 회전의 축과 힘의 작용선과의 거리를 모멘트 암이라 함.
- 모멘트 암을 0이 되어 큰 힘이 있어도 회전은 생기지 않으며, 회전의 축과 힘의 작용점을 연결하는 벡터와 힘의 방향과의 각도에 따라서도 힘 모멘트는 변화하고, 각도가 0도 혹은 180도이면 모멘트는 0이 된다. 그러나 90도일 때 모멘트는 최대가 된다.
- 힘 모멘트는 크기와 방향을 갖는 벡터량이다.

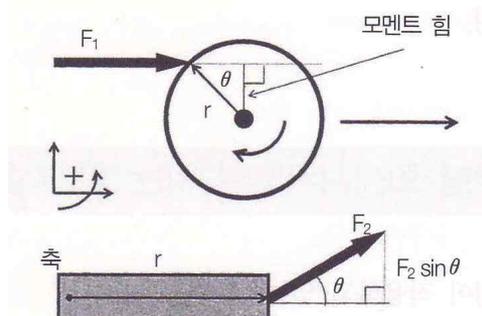


그림 25. 힘이 비스듬하게 작용할 경우 힘 모멘트

▣ 지렛대의 원리

● 1종 지레



<그림 26> 지렛대의 원리

- 축이 힘점과 작용점 사이에 있음.
- ▶ 시소와 같이 가운데에 받침점이 있고 한쪽에서 힘을 가하면 반대쪽으로 힘이 전해지도록 되어 있음. 펀치나 가위 등이 1종 지레의 원리를 이용.

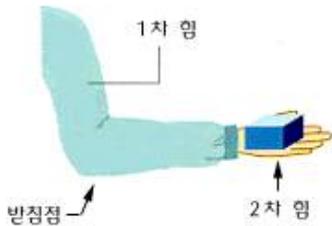
● 2종 지레



- 작용점이 축과 힘점 사이에 있음.

- ▶ 받침점이 한쪽 끝에 있고, 힘점과 작용점이 모두 같은 쪽에 있음. 즉, 힘을 주는 방향과 물체가 움직이는 방향이 모두 같음.
예) 병따개가 2종 지레의 원리 이용.

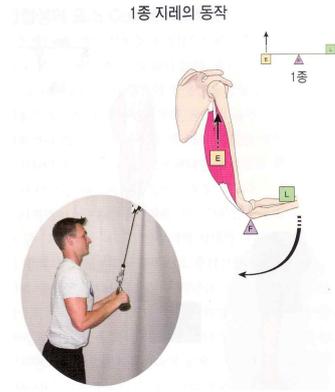
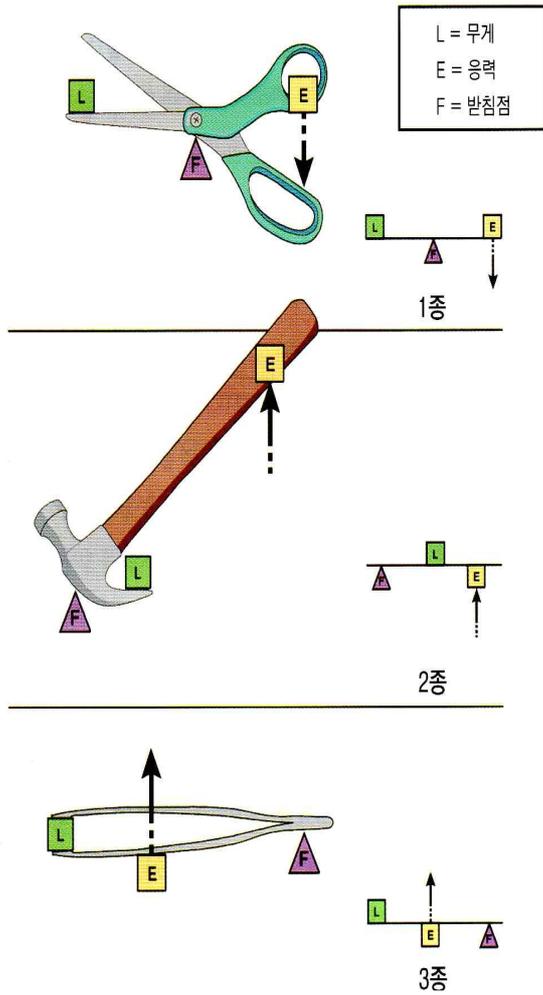
● 3종 지레



- 힘점이 축과 작용점 사이에 있음.

- ▶ 받침점과 힘점의 위치가 반대로 되어 있어 작용점이 힘점보다 먼 지레를 말함. 물체를 들어 올리려면 더 큰 힘을 주어야 함.
예) 인체의 팔의 뼈가 3종 지레역할을 함.

▣ 지렛의 형태(보충 설명)



<그림 26-1> 지렛대 원리의 이해

■ 운동에서 힘 모멘트 효과

- 웨이트 트레이닝 시 스쿼트 운동을 할 때, 이 자세에서 정지하고 있을 경우 바벨 중심에 의한 엉덩관절과 무릎관절 모멘트를 생각하면서 A에서는 엉덩관절의 모멘트 암(큰 부하가 걸림)이 크고, B에서는 무릎관절의 모멘트 암(큰 부하가 걸림)이 크다.

- 스쿼트 운동에서 몸통을 앞으로 굽히면 허리 통증이 쉽게 나타난다고 하는 것은 이와 같은 원인의 하나라고 생각됨.

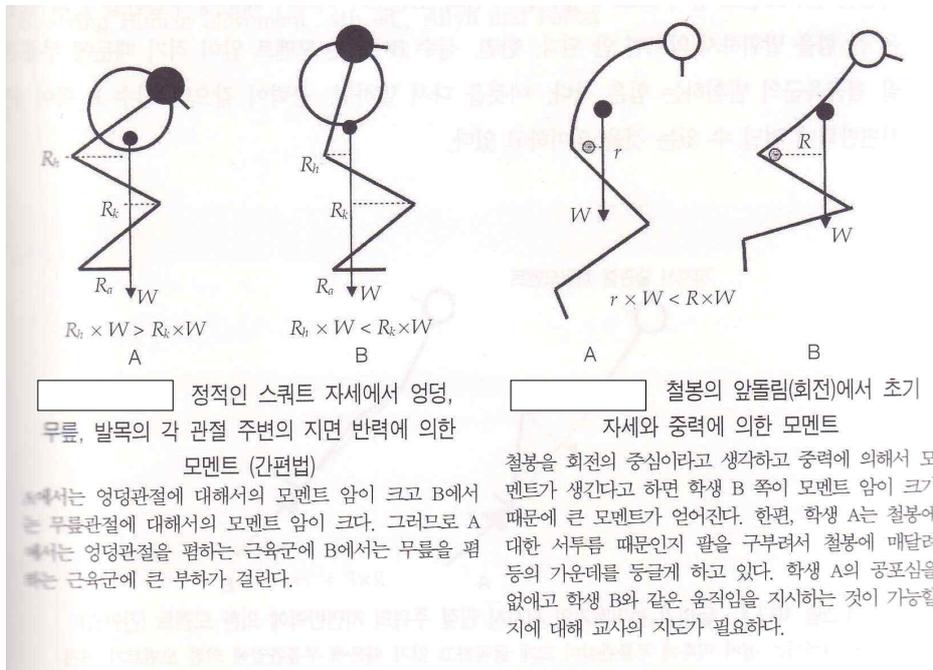


그림 27. 운동에서 힘 모멘트 효과

■ 토크(Torque)

- 모든 인간 운동은 관절 축에 대한 인체분절의 회전을 포함.
 - ==> 외부 부하와 근 활동과 연관된 힘의 상호작용에 의해 일어남.
- 인간의 동작은 회전을 일으키는 힘의 구성성분들 사이에서 불균형의 결과이다.
 - ==> 회전을 일으키는 힘의 능력은 토크(torque) 또는 힘의 회전력(moment of force)이라 정의됨.
- 토크는 작용한 힘과 회전축과 그 힘의 작용선 사이의 수직거리를 곱한 힘의 크기와 동일한 한 벡터이다.

$$T = r \times F$$

☞ $T = \text{토크}$. $r = \text{회전력 팔}$, $F = \text{힘}$

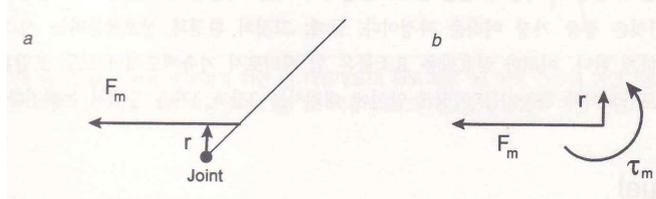


그림 28. 오른손 나사 법칙

- 토크 또는 힘의 모멘트는 항상 특정한 축(회전력 팔에 의해서 표시됨)에 상대적으로 결정.
- 부하 또는 근력의 회전효과를 알기 위해서는 회전이 발생한 점을 나타낼 필요.
=> 토크는 한 힘과 거리의 곱으로 계산되어지기 때문에 측정단위는 뉴턴 곱하기 미터($N \cdot m$).

☞ (a) 근 토크는 회전력 팔(r)과 한 근력(F_m)의 곱. (b) 그들의 꼬리를 연결해서 r 과 F_m 을 재편성 하면 T_m 의 방향은 오른손 나사 법칙으로 결정할 수 있다.

▣ 회전력 팔의 영향

- 벤치 위에 앉아서 무릎 신전운동 수행의 예
- 근 활동의 크기는 부하에 의존 -> 부착된 질량 + 정강이의 발 질량에 의해 무릎관절에 작용하는 토크이다.

$$T_1 = r \times F_w$$

☞ T_1 은 부하 토크, r 은 회전력 팔, 은 무게($F_w = mg$), m 은 시스템 질량, g 는 중력가 속도

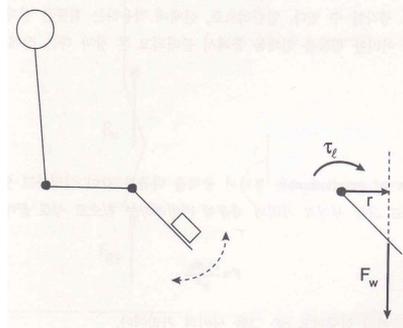


그림 29. 회전력 팔의 영향

■ 높이뛰기 시의 도약각과 지면반력 모델

- A의 경우 접지 직후에 무릎관절이 크게 굴곡하고 있기 때문에 무릎관절에 대해 지면반력의 모멘트 암이 크고, 무릎관절 주변의 모멘트가 커지기 때문에 무릎관절 근의 펌근은 큰 힘을 발휘해야 함.
- B의 경우 모멘트 암이 적기 때문에 무릎관절 펌근이 발휘하는 힘은 작다.

==> A와 B가 근력이 같으면 B쪽이 큰 지면반력에 견딜 수 있다는 것을 의미함.

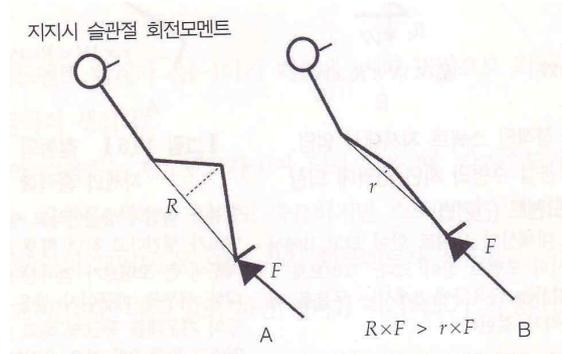


그림 29. 달리기 높이뛰기 시 관절 주위의 지면반력 모멘트

■ 각운동량 보존의 법칙

<회전과 각속도의 조절>

- <그림 30>과 <그림 31>에서 보는 바와 같이 관성모멘트가 크면 각속도는 느리고, 신체부위를 회전중심에 가까워 관성모멘트를 작게 한다면 각속도는 빨라진다. 그러나 다시 관성모멘트를 크게 하면 다시 각속도는 감소한다(**각운동량 보존의 법칙**).
- 다이버들은 팔을 껴안는 자세를 취하거나 신체를 펴서 신체 각속도를 조절.
- 피겨스케이터의 경우 팔을 신체에서 떨어지게 하거나 가슴에 껴안은 동작으로 회전 속도의 빠르기를 조절함.

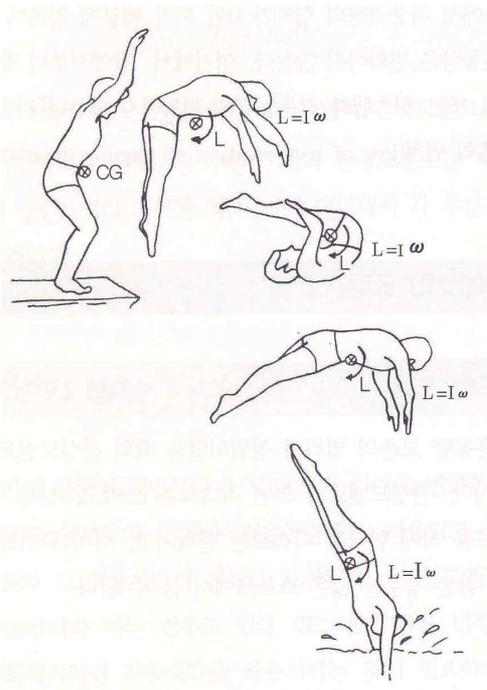


그림 30. 다이빙자세의 변화와 전신 각속도의 관계



그림 31. 각운동량 보존

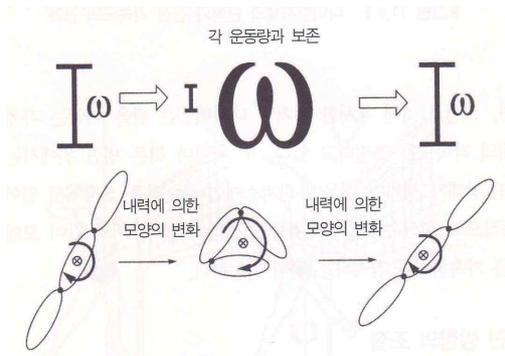


그림 31-1. 각운동량 보존된 경우 관성모멘트 변화와 각속도와의 관계

▣ 핵심 설명 ▣



그림 31-2. 각운동량 보존

▶ 돌림 힘은 회전운동의 원인으로 외부에서 돌림 힘을 가하지 않으면 각운동량은 시간이 지나도 변화가 없으므로 각운동량은 보존됨. 즉, 회전에의 각운동량은 항상 일정하게 보존된다는 법칙.

▶ 헬리콥터에 꼬리 날개가 있는 이유:

각운동량 보존은 항공 역학적으로도 매우 중요하다. 만약 헬리콥터에 주 날개만 있다면 헬리콥터는 정상적인 비행을 할 수가 없다. 정지한 헬리콥터 전체를 하나의 계로 생각해 보면 외부에서 돌림 힘이 전혀 작용하지 않는다. 따라서 각운동량의 값이 0으로 보존된다. 만약 주 날개가 돌기 시작하면 이 때문에 헬리콥터에는 없던 각운동량이 생긴다. 그러면 헬리콥터의 다른 부분에서 반대방향의 각운동량이 생겨서 주 날개에 의한 각운동량을 상쇄시켜야만 한다.

새로운 각운동량은 실제로 헬리콥터의 몸체 전체가 주 날개와 반대방향으로 돌면서 생성된다. 영화에서 꼬리날개가 파손된 헬기가 빙글빙글 도는 장면이 바로 이 현상이다. 달리 말하자면, 헬리콥터의 꼬리날개는 각운동량 보존에 의해 동체가 돌아갈 것을 막기 위해 필요하다(같은 원리로 꼬리날개에 의한 각운동량 보존을 위해 동체가 움직여야 하나 이 경우 중력이 동체를 당기는 힘이 워낙 커서 그 효과가 미미하다). 만약 꼬리날개를 따로 만들고 싶지 않다면 두 개의 주 날개를 달아 서로 반대방향으로 돌게 하면 된다. 미 육군의 치누크 헬기는 앞뒤로 두 개의 주 날개를 달았고 (텐덤 방식) 러시아제 공격헬기인 KA-50기는 두 개의 주 날개가 겹쳐져 서로 반대로 도는 2중 반전 로터의 구조를 채택한다. 이런 헬기들은 꼬리날개에 동력을 소모하지 않고 모든 동력을 기체의 양력에 쓸 수 있기 때문에 효율적이다.



그림 31-3. 각운동량 보존

■ 회전방향의 조절

- 엘리트 멀리뛰기 선수들은 공중동작에서 전방 회전 시 팔과 다리를 회전시켜 가위뛰기 스타일로 도약한다.

- 멀리뛰기의 도약동작에는 전하방에서 큰 힘을 받은 선수는 전방 회전의 각운동량을 가지고 구름판에서 떨어진다. 이때 그대로 있으면 몸통이 전방으로 기울어져 착지동작에 다리를 전방으로 내딛지 못하여 기록에 불리해진다. 즉, 공중동작에서 팔과 다리를 빠른 속도로 전방 회전시키면 전방 회전의 각운동량이 생성됨.

- 배구의 스파이크 동작에서, 볼을 칠 때 팔과 상반신의 각속도를 빠르게 움직이면 하반신이 반대로 회전해서 불안정하게 되므로 팔을 크게 가속하는 것이 어렵다. 따라서 두 다리를 좌우로 벌려서 수직축 주변의 관성모멘트(회전하는 물체가 그 상태를 유지하려고 하는 에너지의 크기)를 크게 하고, 다리가 반대 방향으로 크게 회전되지 않도록 스파이크 한다.

==> 관성모멘트가 클수록 각속도가 작아지게 됨.

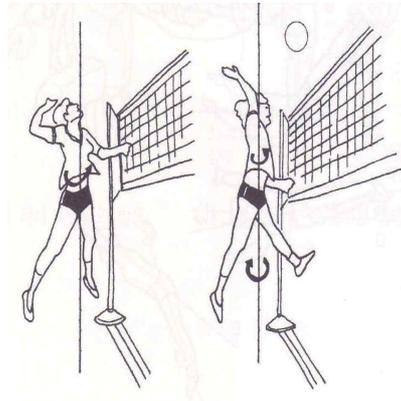


그림 32. 배구의 스파이크자세

- 도마 운동에서, 비틀림 동작이 생성되는 과정의 경우 엉덩관절을 굽혀서 손을 뗀 후 먼저 상반신을 비튼다. 만약 신체를 편 상태로 하반신의 수직축 주변의 관성모멘트는 작아지기 때문에 상반신을 비틀어도 하반신이 반대로 회전해서 비트는 동작이 잘되지 않을 것이다.

그러나 엉덩관절을 굽히고 있기 때문에 상반신의 축에 대해서 하반신의 관성모멘트는 매우 크고 상반신을 비틀어도 그 반대작용에 의해서 회전은 작다.

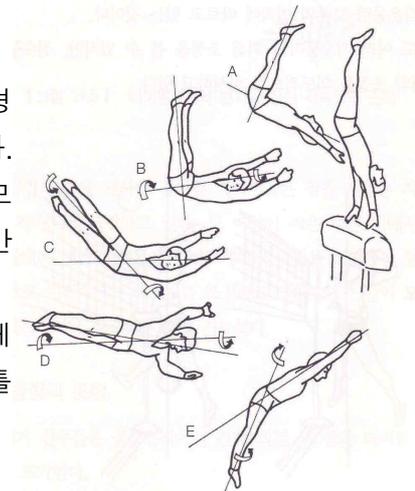


그림 33. 도마운동의 비틀림

4. 힘의 종류

1) 근력(muscle force)

인체의 기능적인 가동 단위인 관절계는 원동기에 해당하는 근육과 동력 전달기에 해당하는 골격, 그리고 골격과 골격이 연결된 축(관절)으로 구성된다.

● 근 수축의 유형

1. 등장성 수축(isotonic contraction): 힘을 받는 물체가 움직이는 수축 유형으로 근육군의 길이가 변한다(수축 속도가 증가할수록 근력은 감소한다).

- 단축성 수축(concentric contraction): 근육군에 의한 추진력이 물체가 근육군에 가하는 작용력보다 커서 근육이 단축되면서 물체의 이동이 일어나는 경우.

- 신장성 수축(eccentric contraction): 근육군에 의한 추진력이 저항력을 가하는 물체의 운동을 막을 만큼 크기 못하여 근육군의 길이가 길어지는 수축 유형.

2. 등척성 수축(isometric contraction): 근육군에 의해 발현된 추진력이 그 근육군에 작용하는 저항력과 같을 때 힘을 받는 물체의 운동상태와 근육군의 길이가 변하지 않는다.

※ 물체의 운동을 일으키는 근육군을 **주동근(agonist)**, 주동근의 반대쪽에 부착되어 주동근의 수축력을 제어하는 근육은 **길항근(antagonist)**이라 함.

2) 중력(Gravity)

- 지상의 물체 또는 인체와 지구 사이에 작용하는 인력을 중력이라 함.
- 뉴턴은 중력의 법칙(law of gravitation)을 통해서 모든 물체들은 질량의 곱에 비례하고 그들 사이의 거리의 제곱에 반비례하는 힘으로 서로 끌어당긴다.

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

☞ $m_1 m_2$ 는 두 물체의 질량, r 은 그들 사이의 거리.

- 중력은 해수면 이상으로 해발이 증가하면 감소하기 때문에 스포츠 경기시에 이러한 중력을 극복해야한다(예, 멀리뛰기, 투포환, 역도 등)

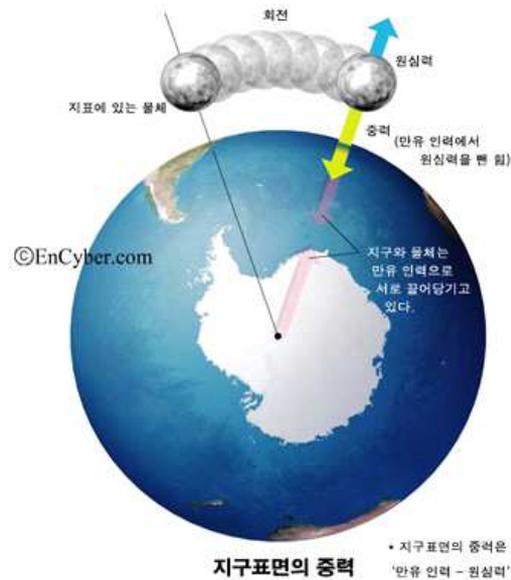


그림 34. 지구표면의 중력

▣ 뉴턴의 제 2법칙(가속도 법칙)

$$\Sigma F = ma$$

- 작용하는 힘(F)의 총합($\Sigma = \text{시그마}$)은 그 시스템의 질량(m)에 의존하여 시스템의 가속도(a)를 생성한다. 왜냐하면 중력의 작용은 단지 수직방향(y)으로 항상 작용하기 때문에....

- 사람의 중량(F_w)은 아랫방향(-)으로 나타내고, 지면반력($F_{g,y}$)의 수직성분은 위쪽 방향을 향하여(+)으로 나타낸다.

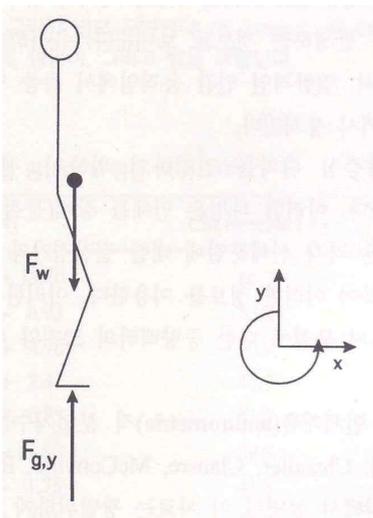
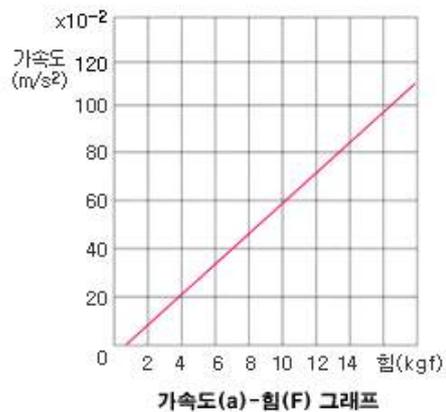
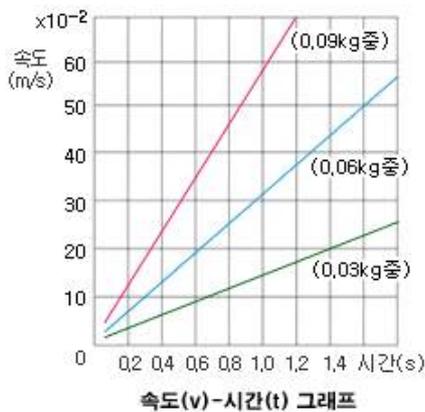


그림 35. 전신의 자유체도

- 속도는 물체의 빠르기와 방향을 나타내는 벡터량이며, 가속도는 속도 벡터가 단위시간 동안 얼마나 변했는지를 나타내는 벡터량이다.
- 힘은 물체를 가속시키고, 반대로 가속하는 물체에 는 힘이 작용하고 있다.



질량이 일정할 때 힘과 가속도의 관계

©EnCyber.com

▶ 중력가속도

- 나무에서 떨어지는 사과에 같이 지표면 가까이에서 낙하하는 물체는 일정한 크기의 가속도로 속력이 증가. 따라서 물체가 낙하하는 가속도의 크기는 약 $9.8m/s^2$ 으로 일정하며 이를 중력가속도라 함.

▣ 뉴턴의 운동법칙

- 지면을 밟고 걸거나, 점프, 볼을 던지는 등의 운동을 역학적으로 분석하기 위한 기본 법칙으로는 “운동의 법칙”, “뉴턴의 법칙”이 있다.

1) 관성의 법칙(제1법칙)

- 물체는 외부로부터 어떠한 힘(작용)이 작용하지 않으면 운동하는 물체는 계속 운동하려고 하고, 정지한 물체는 계속 정지해 있으려 한다.



그림 36. 관성의 법칙

2) 가속도의 법칙(제2법칙)

- 물체에 힘 F 를 가할 경우, 그 가속도 a 는 중량 m 에 반비례한다. $F = ma$

☞ 가속도: 시간에 따른 속도의 순간적인 변화량

※ 운동의 변화는 가해진 힘에 비례,
힘이 가해진 직선방향으로 일어남.



그림 37. 가속도의 법칙

3) 작용과 반작용의 법칙(제3법칙)

- 두 물체가 서로 힘을 작용하고 있을 때, 두 물체가 받는 힘은 그 크기가 같고, 방향은 항상 반대이다.

- 두 물체의 상호작용은 크기가 같고, 방향이 반대이다.

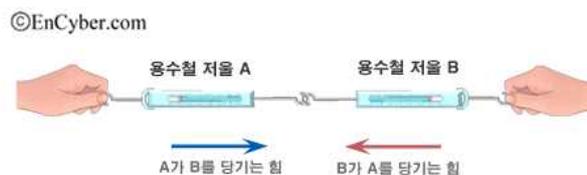


그림 38. 작용-반작용의 법칙

■ 지면 반력(ground reaction force)

- 움직임이 수행되는 지표면에 의해서 제공된 반작용.
- 모든 신체분절 가속도는 지면의 반작용으로 나타난다(뉴턴의 작용-반작용의 운동법칙).

※ 지면반력은 4가지 패턴으로 나타남.

- 1) 처음에 지면반력은 체중(상대 가속도)보다 컸고, 2) 그 이후에는 지면 반력이 체중(절대 가속도)보다 컸으며, 3) 공중에 있을 때는 지면반력이 0이 되었다 (가속도 = -9.81m/s^2), 4) 지면반력이 0이 된 후 점프하는 사람은 지면으로 돌아왔다.

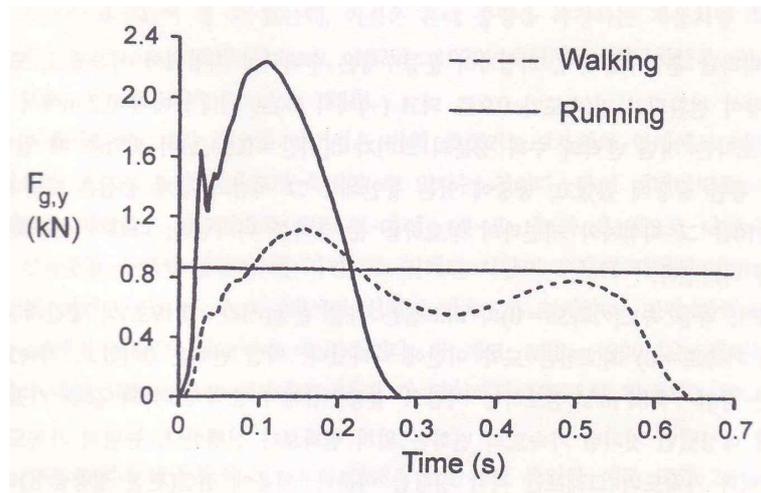


그림 39. 지면반력

==> 보행(점선)과 달리기(실선)를 할 때, 지면에 발을 지지하는 동안의 지면 반력의 수직성분($F_{g,y}$), 발은 시간이 0일 때 지면위에 놓여져 있었고, $F_{g,y}$ 가 0으로 되돌아 왔을 때 왼발이 지면위에 있다.

■ 마찰력(Frictional force)

- 두 물체가 접촉하여 운동할 때, 접촉면을 따라 그 운동을 방해하는 힘.
- 한 물체가 다른 물체와 접촉한 상태에서 상대적으로 운동하는 것을 마찰이라 함. 마찰에 의해 두 물체 사이에 작용하는 힘을 마찰력이라 함.

☞ 마찰력은 항상 저항력과 추진력의 양면성을 가진다.

※ 마찰계수에 영향을 주는 요인

- 접촉면이 거칠수록 마찰계수는 1에 가깝고, 저항력이 큼.
 - 접촉면이 미끄러운 얼음판일수록 마찰계수는 0, 저항력이 작음.
1. 접촉물체의 재질: 재질에 따라 미끄러지는 정도가 다르다.
 2. 접촉면의 상태: 거칠기, 습기, 윤활제, 또는 먼지의 유무, 선반 밑창에 부착된 클리프 등은 마찰 계수를 최대화하기 위해 고안된 것.
 3. 운동유형: 미끄럼 운동보다는 구름 운동시의 마찰 계수가 더 적다.
 4. 운동상태: 접촉 물체가 상대적으로 정지해 있는 경우의 마찰 계수가 운동시 보다 더 크다.

■ 구름마찰(rolling friction)

- 한 물체가 다른 물체의 표면 위에서 구를 때 생기는 마찰을 말함. 어느 한쪽이나 양쪽 모두의 순간적인 변형에 의해 생긴다.

ex) 볼링, 당구, 롤러스케이팅 등의 실내 스포츠의 경우와는 달리 실외 경기에서의 구름마찰 조건은 매우 가변적이다(재질이 굳을수록 변형정도가 감소하므로 두 물체 사이의 구름마찰력이 감소한다).

- 구기 종목의 경우: 공의 운동은 잔디의 높이, 지면의 굳기, 표면의 매끈한 정도, 습기의 유무 등의 영향을 받는다(특히, 골프).

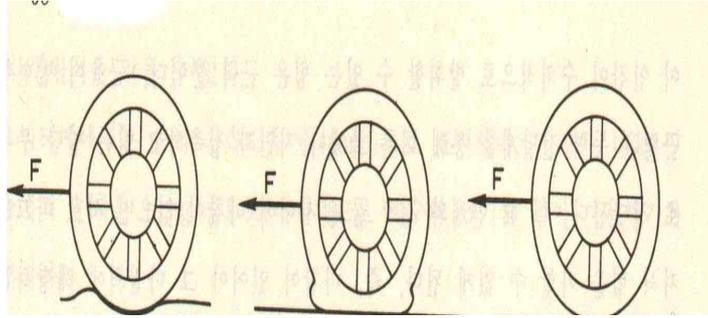


그림 40. 구름마찰과 접촉 물체의 변형

▣ 미끄럼마찰(Friction)

- 한 물체가 다른 물체와 접촉한 상태에서 움직이기 시작할 때 또는 움직이고 있을 때 그 접촉면에서 운동을 저지하려고 하는 현상.
- 상대적으로 미끄러질 때 발생하는 마찰(대표적으로 봅슬레이, 스키, 스케이트 등).
- 일상생활에서 마찰이라 하면 부정적인 면을 떠올림. 그러나 매우 중요한 역할 담당.

Ex 1) 정지해 있는 자동차를 밀어서 움직일, Ex 2) 얼음 위 또는 눈 위에서의 자동차 바퀴가 제자리에서 헛도는 것을 생각하면 됨. 즉, 스키, 스피드 스케이트 종목은 마찰을 최소화하여 속도를 향상시킴.

● 미끄럼마찰에 영향을 미치는 요인: 마찰면의 굳기, 거칠기, 습기의 유무 등.

ex) 스케이트의 경우: 날의 면적이 좁기 때문에 얼음에 가해지는 압력이 증가하여 어는점이 낮아지므로 물이 생겨 마찰력이 줄어든다. 반대로 추진할 때는 날을 이용하여 마찰력을 최대로 증가시킨다.

☞ 인체 운동에 있어서 추진력은 거의 대부분 미끄럼마찰로부터 얻는다.

▣ 정지마찰과 운동마찰

- 정지마찰: 정지한 상태의 물체를 움직이려고 할 때 생기는 저항.
- 운동마찰: 움직이고 있는 물체에 작용하는 저항.

● 정지마찰의 경우 마찰력이 일정하지 않아 가해진 추진력에 따라 그 크기가 변한다. 즉, 발생한 마찰력이 가해진 추진력보다 커질 수는 없기 때문에 정지 상태에 있는 물체는 항상 추진력과 마찰력이 평형을 이룬다.

▣ 유체 마찰(Fluid friction)

- 운동체가 유체를 통과할 때 발생하는 운동체 표면과 유체 사이의 마찰. 유체는 기체와 액체를 통틀어 일컫는 말로서 인체 운동과 밀접한 관계가 있는 유체로는 공기와 물을 들 수 있다. 즉, 유체마찰은 스포츠 장구나 공기나 물속에서 운동할 때 유발되는 마찰을 의미함.

● 유체마찰의 크기에 영향을 미치는 요인

1. 운동체와 유체 사이의 상대 속도
2. 운동체의 모양과 유체의 흐름과 직각을 이루는 횡단면적
3. 운동체의 표면구조
4. 유체의 압력
5. 유체의 운동 등

♣ 공기 저항은 특히 운동선수들에게 영향을 많이 미치는 유체마찰이다(특정 거리를 빨리 이동하는 것으로 특징 지워지는 운동. 즉, 트랙 경기, 필드 경기(창, 원반 던지기), 스케이트, 스키 등의 스포츠 종목에서는 공기 저항에 대한 배려가 필요하다.

- 공기마찰에 있어서 가장 중요한 측면 중의 하나가 회전에 대한 영향을 들 수 있다. 공기의 영향을 연구하는 가장 좋은 방법이 풍동 실험법이다.

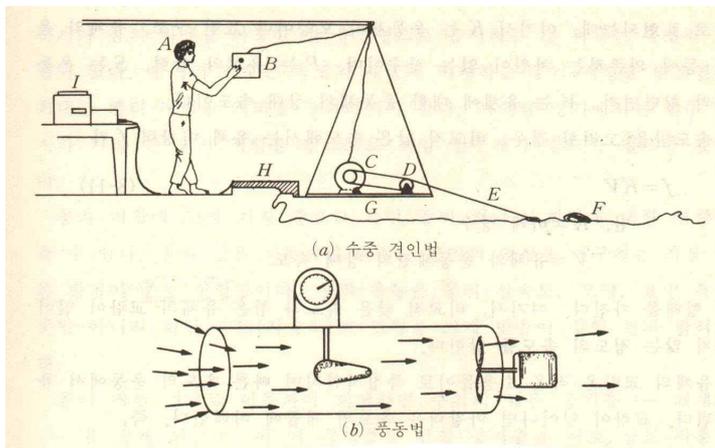


그림 42. 유체마찰에 의한 저항력 측정

=> 공의 운동은 공의 선속도, 모양, 표면 특성, 회전 속도(각 속도)의 영향을 받음.

● 공이 직선 경로로 이동하며 회전하면 주위의 얇은 공기층, 경계층을 끌게 된다. 이때 경계층은 인접 공기층과 서로 상호 작용한다.

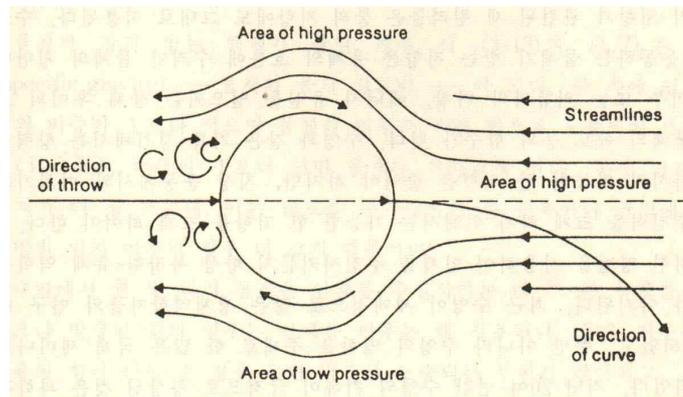


그림 43. 마그누스 효과

=> **톱스핀이 걸린 공과 그 주위의 공기층의 흐름을 보여준다**(실제로는 공이 톱스핀과 함께 우측으로 비행하지만 공은 정지한 상태에서 회전만 하고 공기가 좌측으로 흐르는 상황으로 가상할 수 있다).

☞ 공의 상단에서는 경계층이 인접 공기층과 반대 방향으로 운동하기 때문에 순 속도(net velocity)가 작아지며, 하단에서는 운동 방향이 같아 순 속도가 커진다. 따라서 유체의 운동 속도가 빠를수록 압력이 낮아진다는 “베르누이 정리(Bernoulli theorem)”에 의해 공의 상단이 하단보다 압력이 높아진다.

이러한 결과에 의해 회전하는 공의 상하단 사이에 발생하는 압력구배에 의해 공을 아래로 밀어내는 힘이 발생함.

ex) 야구경기에서 투수가 공을 던지는 구질에서 커브 현상이 바로 마그누스 효과(magnus effect)라 한다(또한 테니스, 골프, 축구 등 백스핀을 공에 가하면 공은 정상적인 포물선 궤도보다 상방으로 운동하게 된다).

유체역학

(공기의 힘과 스포츠)

▣ 투척물의 중량과 릴리스 스피드

- 포환 -> 성인 남자 : 7.257kg, 릴리스 스피드 : 10-16m/sec
- 핸드볼 공인구 -> 성인 남자 : 425-475g, 릴리스 스피드 : 20-30m/sec

☞ 참고

- 포 환 : 약 10m/sec (36km/hr)
- 핸드볼 : 약 20m/sec (72km/hr)
- 야 구 : 약 30m/sec (108km/hr)

● 동일한 크기이면서 중량이 다른 볼의 릴리스 스피드

둘레 23cm 볼		둘레 58cm 볼	
중량(g)	스피드(m/sec)	중량(g)	스피드(m/sec)
100	27.1	180	29.6
150	26.1	200	29.0
200	24.9	450	27.5
250	23.4	600	24.5
300	22.4	750	23.0
350	21.6	900	22.0
400	20.2		
450	19.4		
500	18.2		

▣ 릴리스 각과 속도 성분

- 던지기 목적에 따라 전방으로 던지느냐 상방으로 던지느냐와 같이 방향이 바뀔.
- 릴리스 각을 낮게 억제하면 수평방향의 속도비율이 커지고, 릴리스 각을 높이면 수직방향의 속도비율이 커진다.

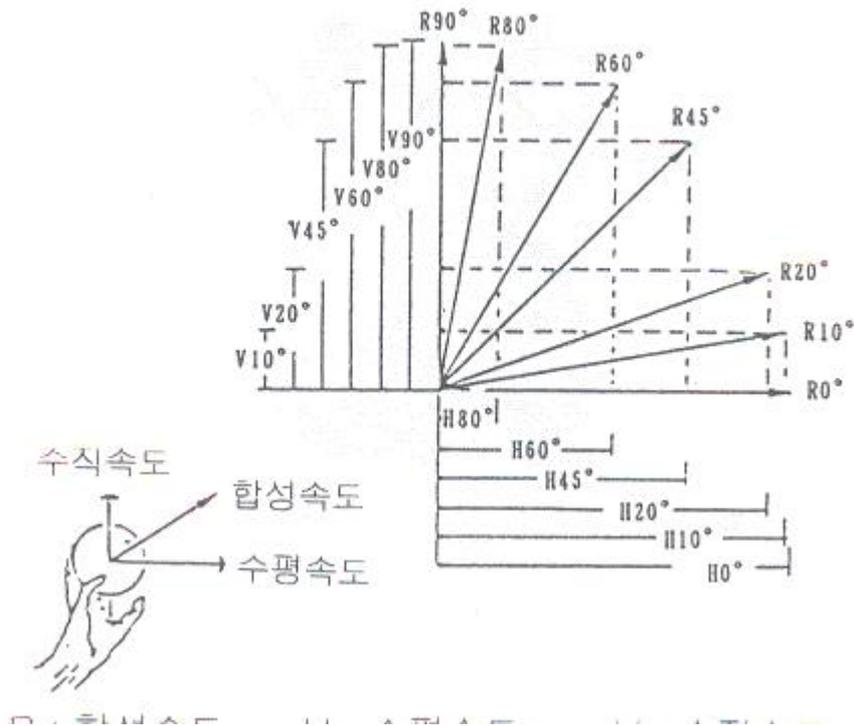


그림 44. 동일한 릴리스 스피드로 던진 경우, 수평과 수직 스피드 비교
(Kreighbaum, & Barthels, 1985)

※ 직진하는 속도와 회전하는 속도와의 관계(속도 비율 P로 나타냄)

$$P = \omega \cdot d / V$$

ω = 회전속도, d =구의 반경(cm), V = 직진속도(cm/sec)

▣ 던져진 물체는 똑바로 날지 않는다

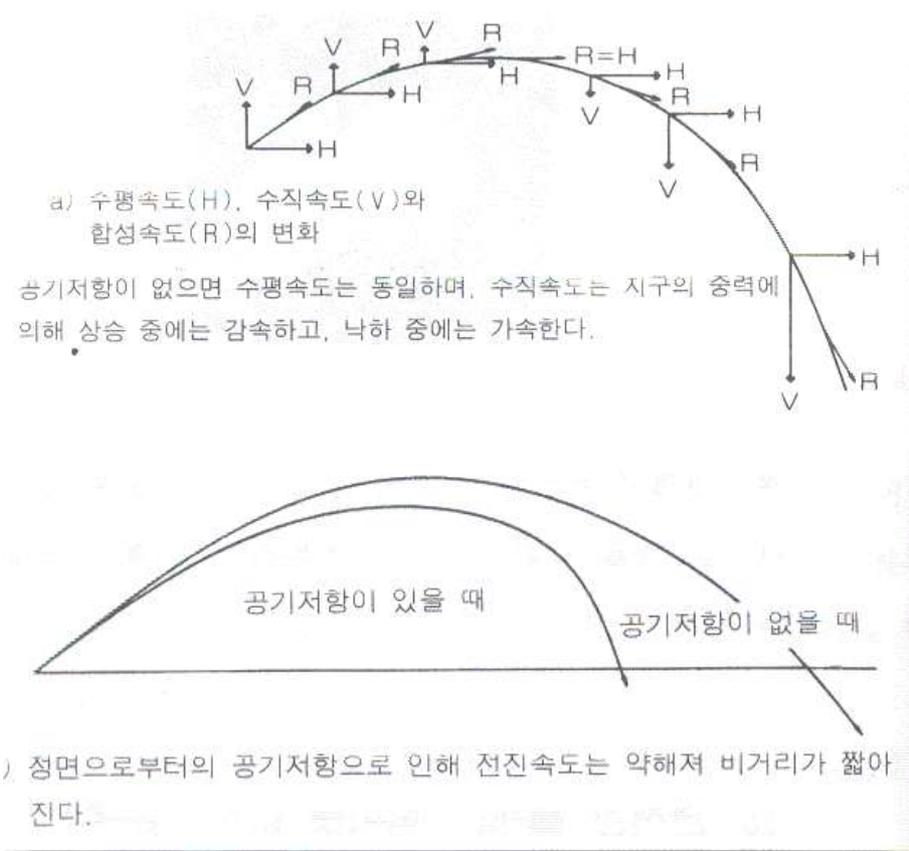


그림 45. 투척물의 궤적을 변화시키는 중력(Kreighbaum, & Barthels, 1985)

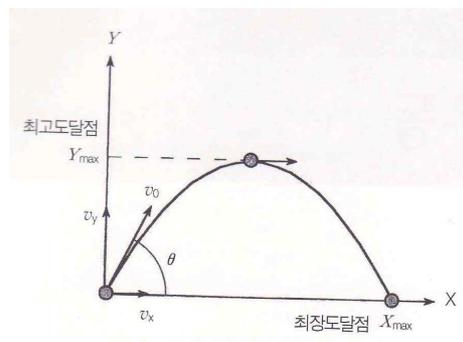


그림 46. 포물선 운동

- 초기의 속도와 투사각이 결정되면 수평 최장도달점 X_{max} 와 수직 최고 도달점 Y_{max} 가 결정됨
- 수평방향(X축 방향)의 속도와 위치 변화를 볼 때, 공기저항을 생각하지 않기 때

문에 물체에 대해 수평방향에 작용하는 힘은 없고, 수평방향의 가속도는 0이다.

- 수직방향에 대해서는 중력이 작용하기 때문에 운동의 제2법칙에서 수직방향 속도, 중력가속도는 $g = 9.8\text{m/s}^2$

▣ 수직높이뛰기에서 도약높이 추정

- 포물선운동 식을 이용하면 체공시간을 측정하는 것으로 수직높이뛰기와 드롭점프에서의 도약높이를 추정할 수 있다.

- 이지부터 착지까지 시간을 T, 이지 시와 착지 시의 신체중심높이 y를 0으로 한다.

$$v_0 = \frac{gT}{2}$$

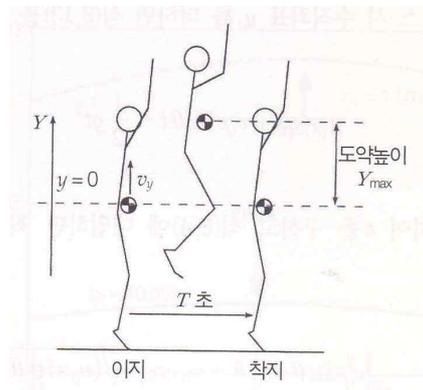


그림 47. 도약의 간단한 측정

==> 발이 지면에서 떨어지고 있는 시간을 측정하는 것으로 도약(높이뛰기)이 산출 가능함

■ 투사 위치가 지면보다 높은 경우에 투사체 운동

- 포환던지기, 원반던지기 등은 낙하지점(지면)보다 높은 곳에서부터 투척물을 투사하여 낙하지점까지의 거리를 측정한다.

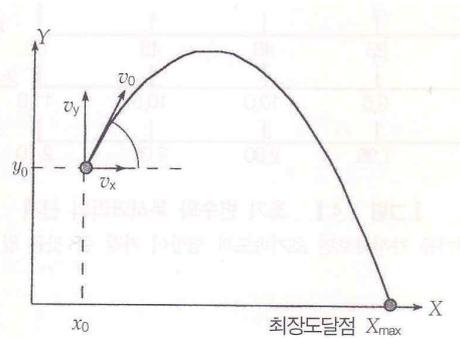


그림 48. 지면보다 높은 곳에서 릴리스 할 경우 최장 도달점 산출

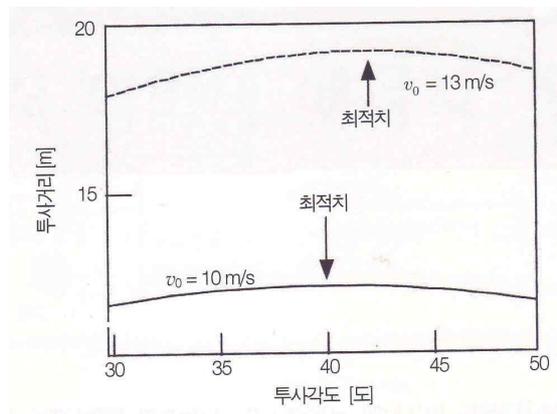


그림 49. 초기속도와 최적투사각도와와의 관계

※ 초기속도를 높일수록 투사거리는 늘어나고, 투사 높이를 높일수록 투사거리는 늘어남

- <그림 48>에서 보는 것과 같이 초기속도 10m/s와 13m/s에 대해서 투사각도와 투척거리의 관계를 나타낸 것이다. 초기속도가 높아지면 투척거리가 늘어나고, 동시에 최대투척거리를 얻었을 때 각도도 커지는 경향을 보임

▣ 공기저항의 성질

- 기술이 뛰어나거나 교묘한 동작을 잘 할 수 있다는 평가는 얼마만큼의 목적으로 하는 동작에 다가갔는가를 표현하는 것이다.

<포환던지기의 릴리스 기술>

- 투척자의 손가락 끝으로부터 릴리스 된 포환은 중력에 의해 시시각각 지면에 끌려 낙하하게 됨. 이때 중력에 대항해 원거리까지 투척물을 도달시키기 위해서는 릴리스 각을 고려할 필요가 있다.

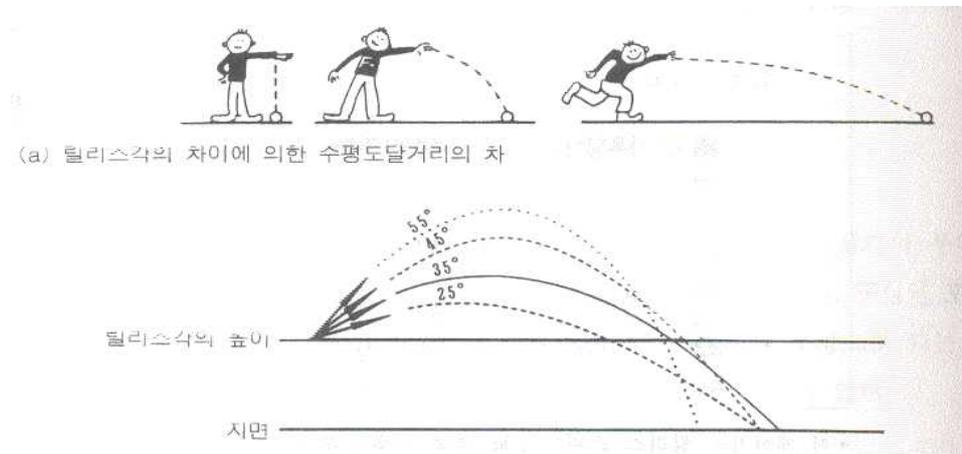


그림 50. 릴리스 각도와 수평도달거리

- 투척물을 릴리스 한 높이가 같아도 릴리스 각이 변하면 수평도달거리가 변한다
- 릴리스 한 높이의 수준에서 수평도달거리를 비교하면 45도에서 던졌을 때가 가장 먼 거리에 도달하고 있으나, 지표면상에서는 두 번째가 된다.
- 이유: 45도에서 릴리스 한 투척물은 릴리스 한 높이의 수준을 넘어 낙하하는 단계가 되면 수평거리가 향상되지 못하고(길어지지 못함), 지표면상에서의 수평도달거리는 35도에서 릴리스 한 것에 못 미친다.

※ 릴리스 시점에서 수평거리를 크게 하는 요소 : 릴리스 높이, 릴리스 각,
릴리스 스피드

=> 실질적으로 투포환경기에서 릴리스 했을 때 지표면상에 수평거리의 최대각도는 40-42도이다.

■ 릴리스 각도와 수평도달거리(石井)

(단위 : cm)

릴리스 각도	수평도달거리(m)	
	릴리스 높이(1.8m)	릴리스 높이 (2.0m)
38	11.83(-4)	12.00(-4)
39	11.85(-2)	12.02(-2)
40	11.86(-1)	12.04(0)
41	11.87(0)	12.04(0)
42	11.85(-2)	12.02(-2)
43	11.84(-3)	11.99(-5)
44	11.81(-6)	11.96(-8)
45	11.77(-10)	11.91(-13)

* 릴리스 스피드 10m/초로 산출됨. ()안의 수치는 최대거리와의 차.

■ 유체 저항(fluid resistance)

- 인간의 운동(스키 점프, 싸이클, 수영, 스카이 다이빙)과 투사체 운동(원반, 골프 공 등)은 양쪽 모두 운동 발생 중에 유체(기체, 액체)에 의해서 크게 영향을 받을 수 있다(유체 저항; 유체가 물체의 운동에 저항하기 때문에 발생).

- 물체는 두 가지의 효과를 일으킴. 1) **항력(drag force) = 물체의 전진운동을 방해하는 것**(물체 주변 유체흐름의 방향에 대해 평행하는 방향으로 힘을 가함).

2) **양력(surface drag) = 물체를 수직 위로 힘을 가한다.**

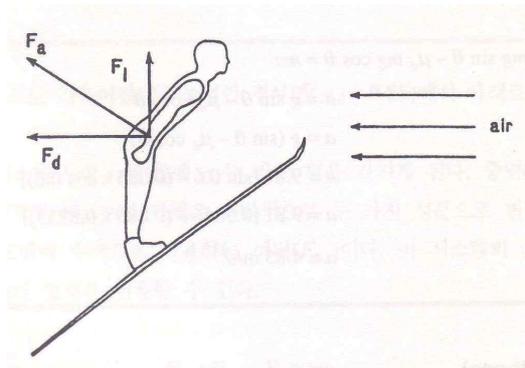


그림 51. 스키 점프 선수에 마주치는 공기저항

==> <그림 51>은 공기저항의 합성 벡터(F_a)는 항력(F_d)과 양력(F_l)이라는 두 가지 성분으로 분해된다.

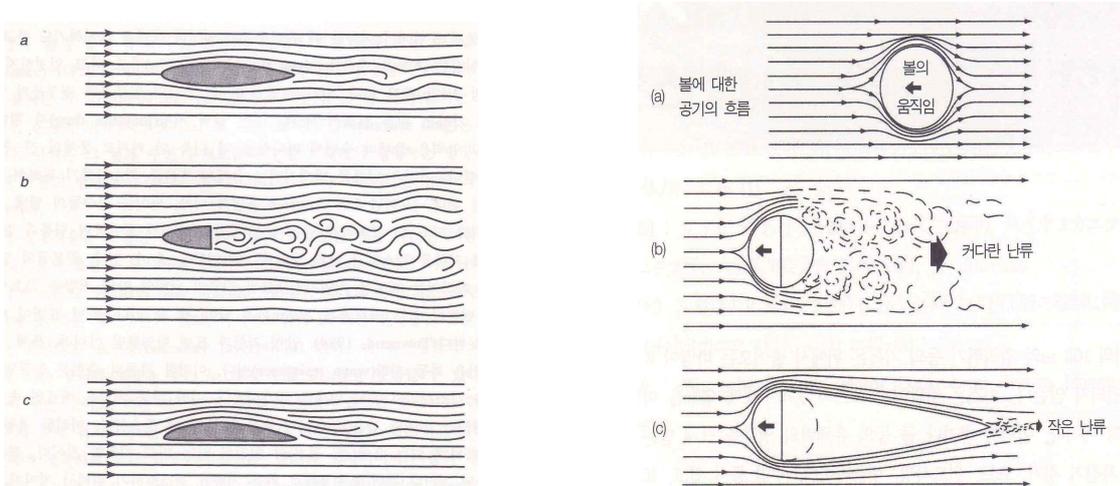


그림 52. 볼 주변의 공기 흐름(유선층의 공기흐름)

- 유체와 물체 사이의 상호작용은 고정된 물체 주위에 유체가 흐르는 것을 알 수 있으며, 유체 흐름의 도식화된 선들은 유선형(streamlines)처럼 나타남. 물체에 대해서 가장 근접해 있는 유선형은 표면형(boundary layer)이라 함.

- 물체에 접촉하고 있는 유선층(경계층)은 물체와 입자사이의 마찰의 영향으로 속도가 감소하기 때문에 가장 낮은 속도를 가짐. 이런 효과는 **마찰 항력(friction drag)**과 **표면 항력(surface drag)**으로 알려져 있음.

☞ 표면 항력의 크기는 물체 표면의 매끈함에 의해 좌우됨. 물체 표면이 거칠수록 표면 항력은 더욱 커짐(수영, 사이클, 조정 등의 스포츠에서 확인가능).

==> 이런 이유로 수영선수들이 몸의 체모를 제거, 수영모 착용, 전신 수영복 착용 등.

☞ (a) 물체 주위의 유선층, (b) 절반으로 분리된 이후의 동일한 물체 주위, (c) 날개 주위 유선층

- 유선층들은 최대 속도로 가는 물체 끝 쪽 주위에서 더욱 먼 거리를 빠른 속도로 통과하고 있고, 물체 측면주위의 압력은 다른 면들의 압력보다 적다 ==> 이것은 물체가 통과하는 위-아래 방향에서 압력이 다르게 나타난다는 것을 의미(**베르누이의 법칙; Bernoulli's principle**) ==> 유체 압력은 유체 속도에 반비례 한다는 것이다.

※ 매그누스 힘의 효과는 야구공의 곡선운동, 골프공의 슬라이스, 테니스 공의 드롭 기술에서 나타남.

▣ 항력의 영향

$$F_d = \frac{1}{2} C_d A_p V^2$$

C_d : 항력계수, A , 투사면적(유체의 흐름에 대해 수직방향으로 맞춘 물체의 표면적, 단면적),
 ρ 는 유체(흐름)의 밀도, V 는 유체에 대한 물체의 상대속도

▣ 항력계수

- 항력계수는 물체의 형태에 큰 영향을 받음.

1) 선수의 자세와 의복 등에 따라서, 2) 스피드 스테이트에서는 한쪽 팔을 저항하는 것이 항력계수가 작다(코너를 돌때..), 3) 원반에서는 기울기에 따라 크게 다르다.

▣ 볼 표면의 영향

- 배구의 서브에는 볼의 회전이 작을 때, 볼의 궤면 줄에서 생긴 난류에 의해서 볼이 예상할 수 없도록 움직임이 생긴다(예, 볼의 좌우가 크게 흔들림).

- 골프공에는 표면의 움푹 팬 곳(딴플)에 의해 생기는 작은 난류에 의해서 볼에서 공기가 떨어지는 것이 어렵게 되어 볼의 후방에 난류가 작게 되기 때문에 공기저항이 작아진다(이 원리를 이용하여 공기저항을 감소시키는 스포츠 의류를 개발).

※ 난류: 볼이 고속으로 움직이면 볼에 부딪힌 공기가 볼에서 바로는 떨어질 수 없기 때문에 볼의 후방에는 공기의 흐름에 흐트러짐이 생긴다. <그림 9>의 마지막 그림처럼 유선형 물체에는 난류가 작기 때문에 저항도 적아진다(물고기, 고속배 등이 유선으로 되어있는 이유. ==> **형성저항(form drag)**)

▣ 구형의 투척물과 공기저항의 성질

<날고 있는 볼과 공기 저항>

- 공기저항 없을 경우: 바로 위로(수직방향) 물건을 던져 그 물건이 지면에 낙하할 때 까지의 속도변화와 같아진다.

- 공기저항은 공기 중을 운동하는 물체의 속도를 늦추는 성질이 있다.

☞ 야구공을 바로 위로 던져 올리면 볼은 가속적으로 낙하해 온다. 이것은 볼의

낙하를 억제하는 힘보다 지구가 볼을 끌어당기는 힘이 크기 때문에 가속화 됨.

Ex) 배드민턴의 셔틀콕 등.

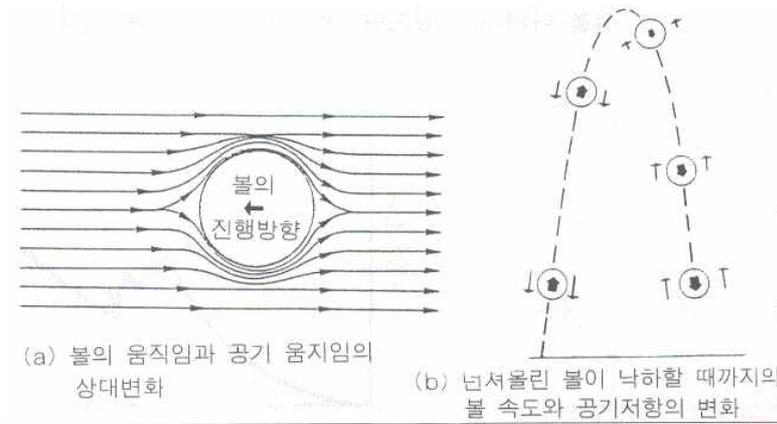


그림 53. 볼의 진행방향과 공기저항을 받는 방향

- 볼을 던져 올려서 낙하해 오기까지의 상태이다.
- 그림에서 화살표의 크기는 볼의 속도 혹은 공기저항의 크기를 나타냄
- 볼이 최고점에 달하고 나서 낙하해 올 때 볼의 진행방향이 상, 하측으로 바뀌어 공기저항을 받는 면이 바뀌어도 볼은 구형(둥근 모양)이기 때문에 상대적 관계는 변하지 않는다.
- 볼은 날고 있을 때 시시각각으로 변하고 속도를 억누르는 공기저항의 크기도 변화한다.
- 변화시키는 비율을 공기저항계수라 함.

☞ 공기 자체도 이동

- 역풍이면 풍속과 볼 속도의 합, 순풍이면 풍속과 볼 속도의 차가 볼의 공기저항에 영향을 미침(이 합 또는 차의 속도가 상대속도).

▣ 다양한 물체와 자세의 항력계수

물체와 자세	항력계수	물체와 자세	항력계수
미끄러운 쇠볼이 공	0.4~0.44	사이클 옷(마네킹)	0.56
낙하산	1.2	스키 (활강 자세)	0.68
서있는 자세	0.91	스피드 스케이터 (두 팔을 등 뒤로)	0.80
주자(마네킹)	0.73	스피드 스케이터 (한 팔을 등 뒤로)	0.75
주자(마네킹) 3.2m/s의 바람의 향해	0.82	썰매	0.62
주자(마네킹) 큰 의복	0.77	원반(11° 경사)	0.1
주자(마네킹) 큰 신발	0.74	원반(35° 경사)	0.68

▣ 흐름에 대한 단면적

- 흐름에 대한 단면적이 공기저항의 크기를 결정함.
(바람이 부는 날에 자전거로 주행할 때를 생각해 보자).
- 달리는 사람에 대한 흐름의 단면적은 $0.15 \times (\text{신장})^2$ 로 추정.

Ex) 신장 1.7m, 체중 68kg의 마네킹이 달리기 시 자세는 0.415 m^2 , 서있을 때 0.516 , 사이클 자세 0.313 m^2 이고, 신장 1.83m, 체중 74.7kg인 사람이 서있을 때 0.605 m^2 , 스키의 활강자세 0.554 m^2 이다.

▣ 유체의 밀도

- 멕시코시티(해발 2,268m)에서 공기 밀도가 평지보다 24% 작다. 따라서 공기저항이 감소하여 육상경기의 단거리는 1.7%, 멀리뛰기는 20cm 정도 기록이 좋아진다고 보고됨.

※ 육상경기에서는 고지기록이라고 구별하는 경우가 있음.

▣ 유체와 물체의 상대속도

- 항력은 속도의 제곱(속도의 영향이 큼).
- 단거리 달리기 선수에 적용하여 달리기 중의 공기저항을 계산.
(Ward-Smith, 1984, 1985).

$$\text{수정기록} = \text{실제 측정된 기록} + 0.0671 \times \text{풍속 [m/s]}$$

=> 신장 1.7m의 주자가 기온 섭씨 20°, 바람이 없는 조건에서 달리기 속도가

10m/s에서 18.9N, 11m/s에서는 22.9N, 12m/s 에서는 27.2N이 된다. 이것은 단거리 선수의 트레이닝에서 이용된 주자를 끌어당기는 장력 2kg(19.6N)에 거의 해당됨.

■ 볼의 표면의 영향

- 배구의 플로트 서브에는 볼의 회전이 작을 때, 볼의 껍데기 줄에서 생긴 난류에 의해 볼이 예상할 수 없도록 움직임이 생긴다(예, 볼의 좌우가 흔들림).
- 골프볼에는 표면의 움푹 팬 곳(딴플)에 의해서 생기는 작은 난류에 의해서 볼에서 공기가 떨어지는 것이 어렵게 되어 볼이 후방에 난류가 작아 되기 때문에 공기 저항이 작아진다.

■ 양력의 영향

<양력계수>

- 육상경기의 투척물의 양력계수는 창 의 경우, 0.25, 기울기 2°의 원반은 0.1, 기울기 35°의 원반은 0.7로 추정됨.
- 양력계수가 0.7인 경우 원반은 속도를 잃는다. ==> 원반던지기 초보자의 경우 힘으로 원반을 세게 던져 높이 올라가더라도 속도를 잃어 낙하하는 경우가 있는데, 이유는 원반의 기울기가 너무 크기 때문.

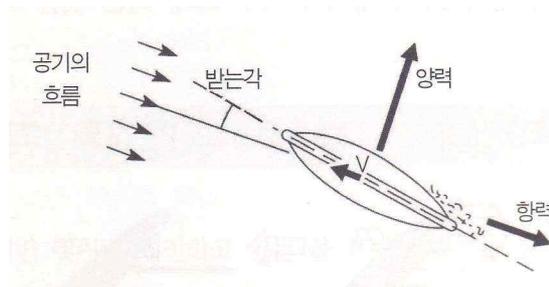


그림 54. 경사져서 이동하는 물체에 작용하는 항력과 양력

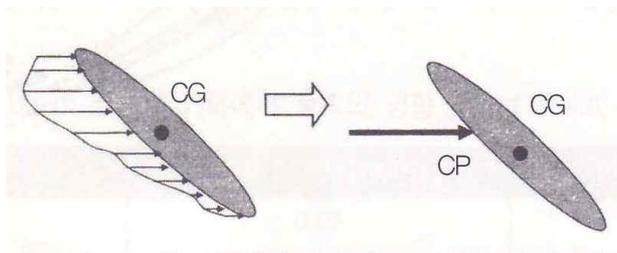


그림 55. 받는다각과 양력

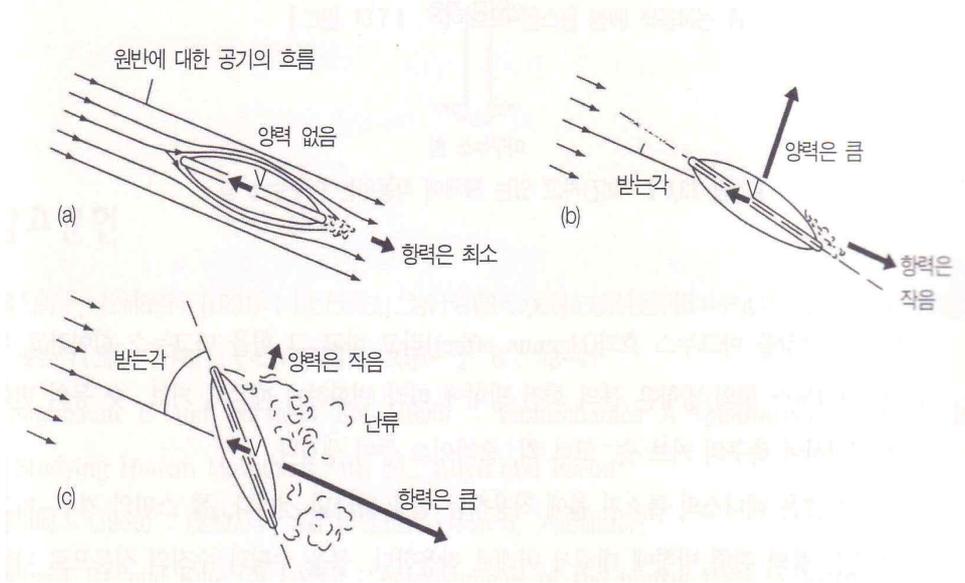
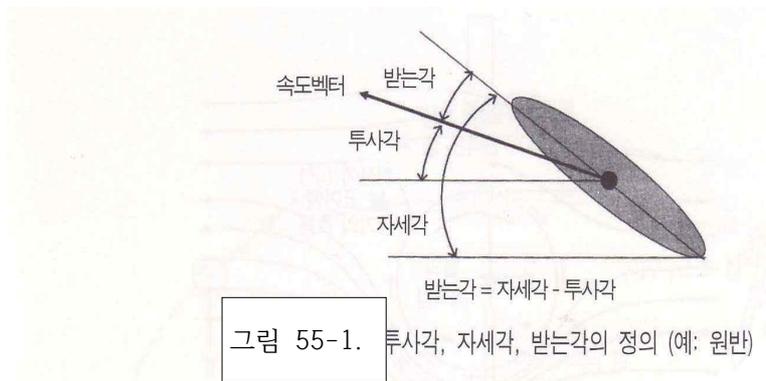


그림 55-2. 받는각과 항력 및 양력의 관계(예, 원반)

■ 받는 각과 양력

- 양력은 유체의 흐름의 방향과 물체와의 관계에 따라 크게 변화함.

예) 원반의 투사각(중심의 속도벡터와 수평선에 형성된 각도)과 자세각(원반의 중심면과 수평선에 형성된 각도)의 차를 받는각(경사각)이라 함.

=> 원반던지기 일류 선수의 경우, 받는각이(-)이 되지만, 선수가 경험적으로 파악하기 때문에 비행 중에 작용하는 공기력에 의한 모멘트에 따라 자세각의 증가로 원반이 세워지게 되어 양력계수와 항력이 너무 크게 되는 것을 피하는 효과가 있다.

▣ 임계속도와 변화구

- 상대속도가 상승함에 따라 공기저항 속도는 제곱의 관계로 상승해 감. 따라서 투척물의 속도는 릴리스 시점에서 가장 빠르지만 공기저항을 받음에 따라서 서서히 감속되어 감.

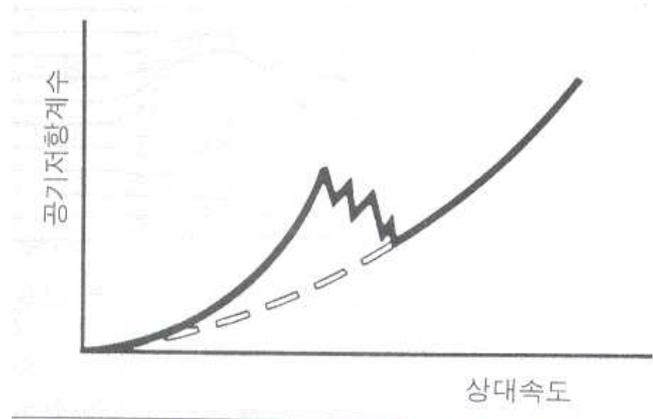


그림 56. 볼 속도와 공기저항계수의 관계

- 공기저항계수가 일시 저하하는 범위의 속도를 “임계속도”라 함

※ 임계속도는 볼의 무게와 직경에 의해 차이가 있음.

▣ 볼 종류에 따른 임계속도의 추정치

종류	무게	직경	임계속도추정치 (m/sec)
포 환(성인 남자용)	7.257	0.12	29
야 구	0.146	0.974	40
골 프	0.046	0.043	60
테니스	0.057	0.064	45
농 구	0.595	0.243	13
배 구	0.259	0.214	15
탁 구	0.0025	0.035	120

▣ 톱스핀이 걸려 회전하면서 날아가는 볼과 공기층의 관계

- 볼이 톱스핀에서 회전하고 있을 때 상측은 고압대, 하측은 저압대로 되기 때문에 이 압력의 차가 볼을 미는 힘을 마그누스 효과라 함(G. Magnus) --> 볼의 궤도를 하측을 치우치게 하는 결과를 유발시킴.

☞ “야구의 커브에 대하여”(1950년) 라는 일본 학자의 보고에 의하면,

- 야구는 [착시현상인가]라는 논쟁에 대해서 1979년에 다시 발표.

Ex) 볼을 30m/sec의 스피드로 던져서 1분간에 2,400회전시키면 홈베이스 위에서 40cm 측방(옆으로) 궤도를 옮길 수 있다고 예측함.

- 인간의 손가락 끝으로 야구공을 회전시키는 수는 1,800회전/분이 적당할 것임.

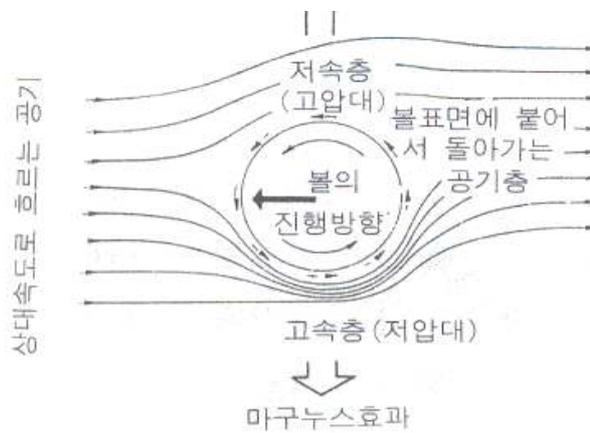


그림 57. 회전하는 볼과 공기층의 관계

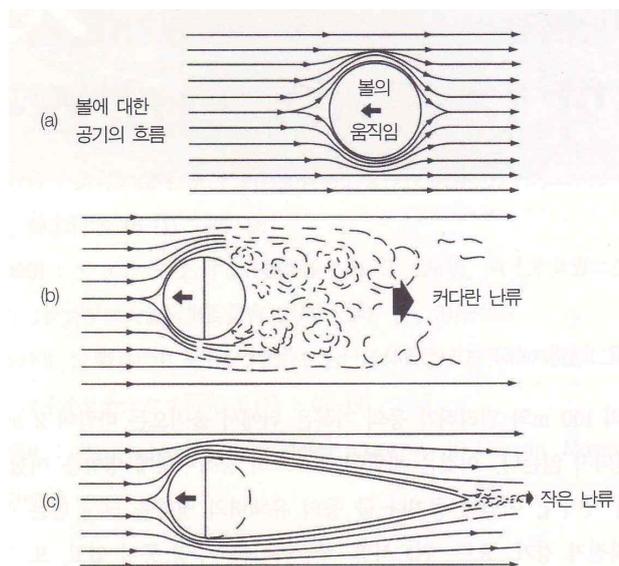


그림 58. 회전하고 있는 물체에 작용하는 마그누스의 힘

- Q : 야구공의 커브는 홈베이스 가까이에서 급히 방향을 바꾸는가?
 - 눈의 착시 현상일까?

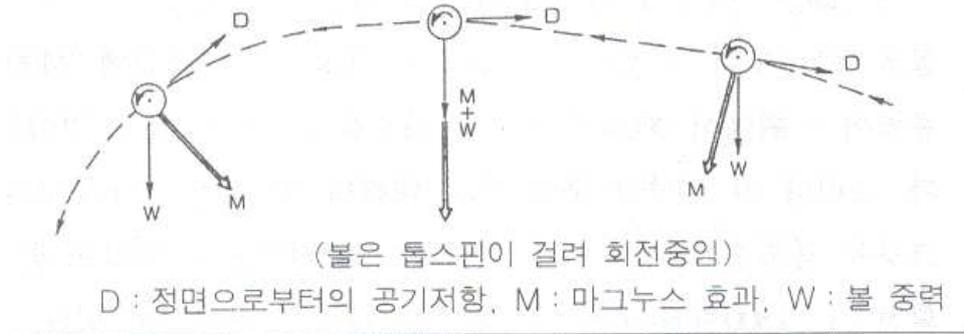


그림 59. 커브궤도를 그리며 날아가는 볼과 여러 가지 힘

A: 인간이 움직이고 있는 물체를 포착하기 위해서는 지각시간이 필요하다(지각단위 시간).

- 움직이는 물체에 익숙해지면 지각단위시간이 단축됨 --> 볼의 궤도를 보고 가까이 왔을 때 방망이로 때려낸다.

- 볼이 정면으로부터 받는 공기저항(D)은 진행방향의 반대측인 좌측으로 표시되어 있다. 볼에는 톱스핀이 걸려 있기 때문에 마그누스 효과에 의한 힘은 궤도의 하측을 향한다.

- 중앙의 볼 위치에서는 진행방향은 수평으로 되어 있기 때문에 정면으로부터 받는 공기저항(D)은 수평으로 오른쪽 방향을 향하고 있다.

※ 이때 마그누스 효과에 의한 힘은 중력과 같은 방향에서 겹치기 때문에 밑으로 끌어 내리는 효과가 커진다.

▣ 새로운 발견

(축구의 유체역학)

- 축구공에는 공기 저항뿐 아니라 날아가는 방향과 직각으로 양력이 작용.

(양력, 揚力: 유체 속을 운동하는 물체에 대해서 그 운동방향과 수직 방향으로 작용하는 힘).

- 이제까지의 이 힘의 측정은 주로 풍동실험에 의존했으나, 장치의 한계 때문에 공이 회전하는 상태에서의 측정한 예는 한정됨.

- 고프(J. Goff, 2010, 미국 린치버그 대학)교수팀: 날아가는 축구공의 궤적을 고속 카메라 2대로 촬영 결과 --> 양력은 회전수와 더불어 커져서 일정한 값에 가까워진다는 사실이 밝혀짐(양력은 공의 커브나 미묘한 흔들림에 영향을 미침). 이들 현상은 공 주위의 공기흐름에 의존.

따라서, 축구공의 조각 수가 적은 월드컵 공인구가 큰 양력이 발생 ==> 그 이유로 바운드 된 후 튕겨져 나가는 현상, 킥한 후 발에서 떠날 때의 반발력과 공중에서의 움직임이 다양하고 큰 것을 알 수 있음).

운동량(momentum)

- 운동량은 동작을 하는 사람과 속도의 방향이 같을 때의 벡터량이다.
- 선운동량(linear momentum)(**G**)과 각운동량(angular momentum)(**H**)을 구분.
==> 선운동량 측정단위는 $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ (질량 \times 속도)이고,
각운동량 측정단위는 kgm^2/s (관성모멘트 \times 각속도).

충돌운동

▣ 운동하고 있는 물체의 성질

- 물체는 그 자체가 움직이려고 하는 힘이 없다. 이러한 성질을 유지하려고 하는 성질을 ["관성의 법칙"]이라 함.
- 운동하고 있는 물체가 다른 물체와 접촉하여 상대물체를 튕겨내는 능력이 있는데, 이것은 그 물체의 무게와 스피드에 의해 결정된다.
- 운동량(momentum): 운동 중에 물체가 갖는 힘을 나타냄. 단위 [kgm]
 $P = mV$ (중량과 속도의 곱)
- 힘이 일정 시간 작용할 경우, 이 역학량을 충격량(impulse)이라 함.
(힘벡터가 일정하면 힘과 작용시간 Δt 를 곱한 것)
 $L = F\Delta t$

Ex) 럭비 선수는 상대선수와 신체접촉이 허용 --> 신체접촉시 상대방을 튕겨내기 위해서는 포워드에 있는 선수는 체중이 무거운 쪽이 유리하고, 백을 보는 선수는 체중이 가볍고 날렵한 선수가 유리하다.

- 튕겨내는 능력을 물리학에서 [운동량]이라 함.
{무게 \times 속도} => 물체가 가지는 힘.

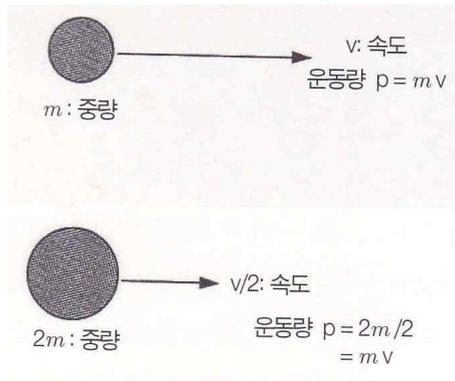


그림 60. 운동량

- 운동량-충격량의 관계에서, 운동량의 변화는 그 변화하는 시간 내에 움직인 충격량과 동일하다. 외력이 작용하지 않으면 운동량은 보존(운동량 보존의 법칙; conservation of momentum)됨.

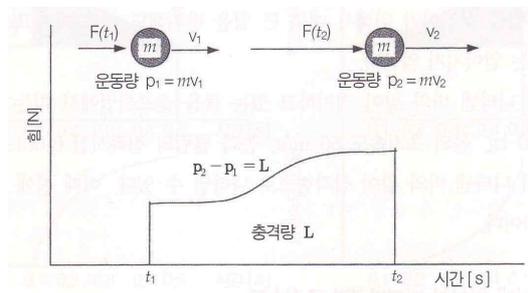


그림 61. 충격량과 운동량의 관계

=> 정지하고 있는 중량 m 의 물체가 움직이는 경우, 정지하고 있는 물체(신체)를 움직이기 위해서는 매우 큰 힘을 발휘해도 힘을 가하고 있는 시간이 짧아지면 큰 속도는 얻어지지 않음.

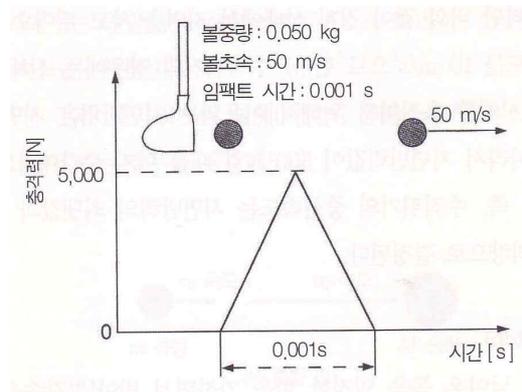


그림 62. 골프공의 임팩트

=> 볼의 초속과 임팩트 시간을 나누어서 충격력의 추정이 가능함.

▣ 수직뛰기에 있어서 지면반력과 중심속도

- 수직뛰기 에서의 지면반력과 신체중심의 속도, 정지 상태에서 지면을 차고 뛰어오르는 수직뛰기의 경우에는 신체에 중력이 항상 작용하기 때문에 신체를 움직이기 위해 이용되는 지면반력은 지면반력에서 중력(체중)을 제외한 것.
- 수직뛰기의 중심속도는 지면반력의 최대값과 동작시간으로 결정되는 것이 아니며, 충격량으로 결정된다.

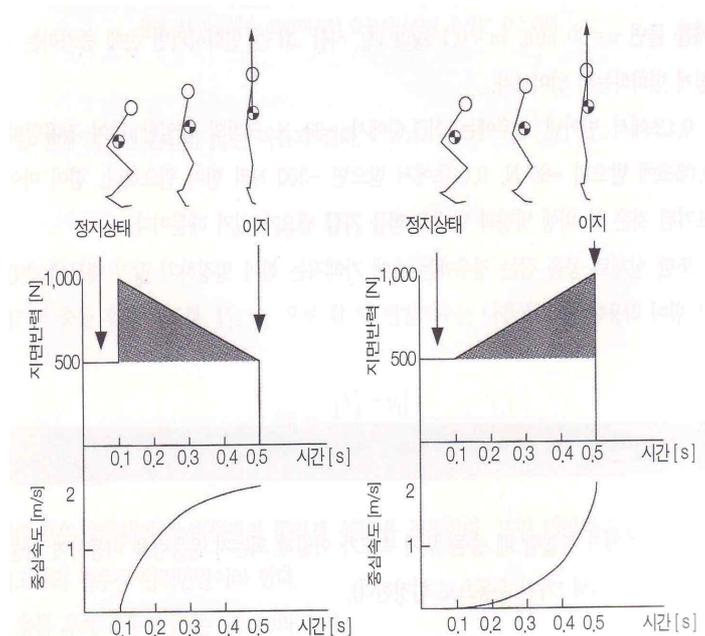


그림 63. 지면 반력의 예

=> 이지 시간의 중심속도는 충격량에서 결정됨.

▣ 여러 가지 조건하에서의 충돌

- 사람과 사람의 충돌, 신체의 일부, 타구와 충돌은 각각 충돌을 일으키기 전의 두 물체가 지닌 [탄력]에 의해 그 후의 효과가 다르게 나타난다.

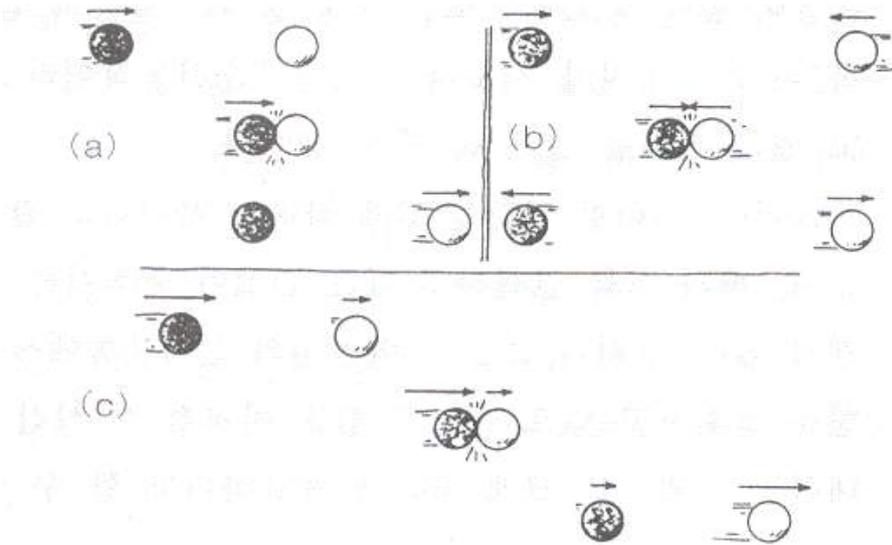
Ex) 당구의 예

- 같은 무게의 공 => 정지하고 있는 공에 다른 속도를 가진 공이 굴러와 충돌하였을 때 => 충돌 후 굴러온 공은 그 위치에서 멈추고 맞은 공은 맞춘 공의 속도에

의해 앞으로 굴러간다(a).

- 같은 속도로 같은 방향으로 굴러가 충돌했을 때 => 충돌 후 충돌하기 전전의 속도로 정반대의 방향으로 튀어나간다(b).

- 같은 방향으로 굴러간 공의 뒤편에 뒤쪽의 공이 속도가 더 빠를 경우 => 충돌 후 공의 속도는 전과 반대로 앞에 있던 공의 속도가 빨라지고 => 서로의 거리는 더 멀어짐(c).



공의 윗부분 화살표의 길이는 스피드의 크기를 나타낸다.

그림 64. 당구공의 충돌에 관한 3가지 이야기

(Hewitt, P. G. 등 1984)

=> 굴러가는 당구공은 최후 바닥면의 마찰력에 의해 정지하게 된다.

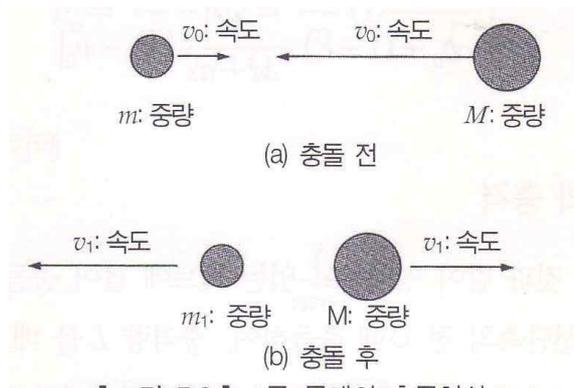


그림 65. 두 물체의 충돌현상

=> 충돌시 운동량은 보존되지만 운동에너지 총계는 감소한다.

- 충돌 후 속도(반발계수; coefficient of restitution)를 이용해 충돌 후의 속도를 계산.

- 충돌 전 시스템 운동량 [$P_o = MV_o + mv_o$].

- 충돌 후 속도 V_1, v_1 으로 할 때 반발계수 .

$$e = \frac{V_1 - v_1}{V_o - v_o}$$

☞ 충돌관계 성립 ==> 충돌 전의 전운동량 = 충돌 후의 전운동량

- 충돌과 같이 짧은 시간에 발생하는 큰 힘을 충돌력이라 함.

- 충돌 전후의 전운동량이 같다고 하는 관계는 [운동량 보존의 법칙]이라 함.

▣ 원호 위를 움직이는 운동량

무게 X 회전반경 X 속도 = 일정

Ex) 피겨 스케이팅의 예

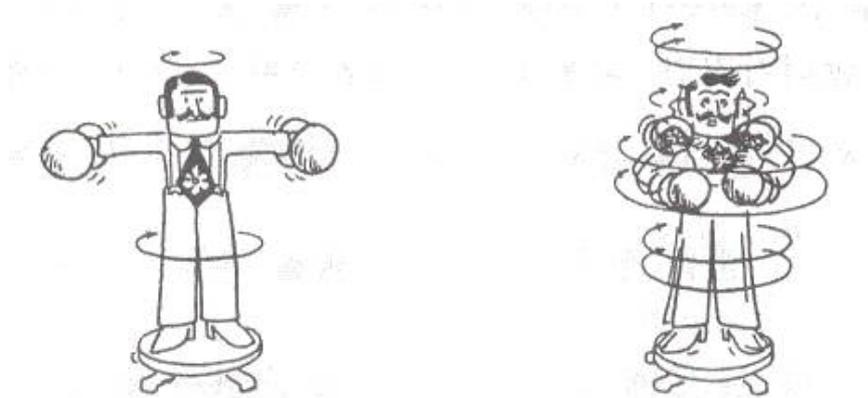


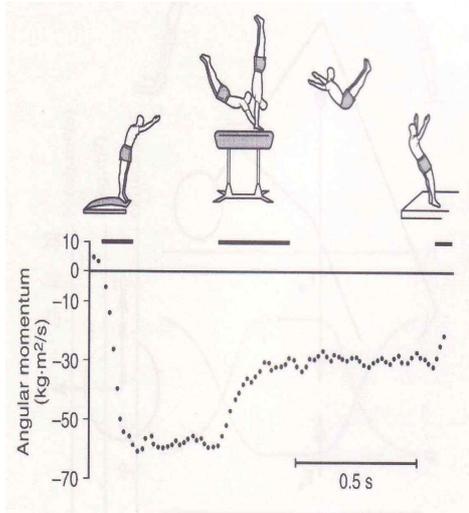
그림 66. 회전운동 중의 회전반경과 스피드의 관계

=> 무게를 일정하게 하고 회전반경을 작게 하면 속도가 커지고, 회전반경을 크게 하면 속도가 느려짐.

※ 무게 · 회전반경 · 속도를 곱한 수치가 회전하는 물체의 힘을 나타냄

=> [각운동량].

=> 회전반경이 바뀌어도 속도가 이를 보완하여 전체의 힘은 변하지 않는 성질을 [“각운동량 보존의 법칙”]이라 함.



▣ 각운동량 보존

- 각운동을 분석할 때, 그 시스템에 작용하는 토크(torque)개념을 이용함.

토크 => 힘의 회전 효과를 의미함(회전력 팔(r)과 힘이 생산하는 벡터로 계산됨.

- 운동량이 변하지 않으면($\Delta H = 0$), 그 물체는 등속운동을 하고 운동량도 보존됨. 운동량은 병진 또는 회전 방향에서 모두 보존될 수 있으나 반드시 동시에 발생하지는 않는다.

그림 67. 체조선수의 각운동량

Ex) 체조의 회전(돌기), 다이빙과 같은 운동에서 뚜렷하게 확인됨. 그리고 동물실험(고양이)을 통해서 낮은 높이에서 떨어질 때, 항상 발로 착지하기 위해 보여주는 공중에서 뒤집어진 몸을 정상적으로 바꾸는 능력.

- **각운동량: 관성 회전력과 각속도의 곱**과 같기 때문에 하나의 매개변수(예, 관성 회전력과 각속도)의 변화는 각운동량이 등속일 때 다른 변수와 보완적 변화를 수반.

Ex) 최고점에서 회전을 하는 다이버를 상상하라, 다이빙 하는 동안 적절한 횡수의 회전을 해낼 수 없을 것이라는 것이 분명해지면, 다이버는 회전 속도를 증가시킬 수 있는 (H 가 등속운동 상태이기 때문) 몸을 접는 자세를 취한다.

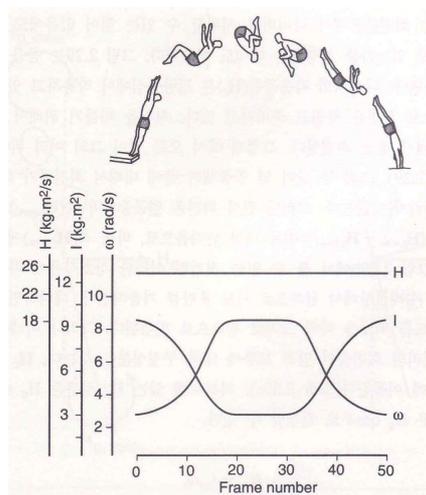


그림 68. 각운동량 보존

▣ 물체가 지니는 탄성

- 체육관 바닥의 일정 높이에서 공을 떨어뜨리면 공은 원래의 높이만큼 튀어 올라가지 않는다.
- 딱딱한 야구공도 빠르게 스윙한 배트에 맞을 때에는 형태가 크게 변한다.
- 충돌했을 때 형태가 바뀌고 충돌 후 다시 원상태로 돌아온다.

Ex) 1. 고물 줄을 손으로 잡아당겼다가 놓았을 때 .

2. 공이 튀어 올랐다가 내려가는데 원상태로 돌아갈 때에 에너지를 잃어버리기 때문에 튀어 올라 올 때의 높이가 작다.

▣ 딱딱한 바닥에서의 볼의 반동

1. 골프 공

- 무게: 1.62온스(약 46g)
- 직경: 영국 ; 1.62인치(약 4.11cm), 미국 : 1.68인치(약 4.27cm) <= 비거리 줄이기 위해.

2. 핸드볼, 하키, 럭비 등은 무게와 크기만 규정됨.

3. 볼링: 핀과의 충돌이 승리하기 위한 중요한 요소인데도 탄성계수의 조건은 없음.

4. 테니스 공

- 규칙: 콘크리트 2.54m에서 낙하시켜 튀어오르는 높이가 1.35-1.47m로 규정.
연식 테니스 : 1.5m 높이에서 튀어오르는 높이가 65-80cm

5. 농구 공

- 공의 아래쪽이 1.8m 높이가 되는 위치에서 바닥에 떨어뜨려 1.2-1.4m 튀어오르는 것

6. 축구 공

- 공의 기압 1기압($1,033.6/cm^2$)

◎ **탄성 계수:** 바닥에 충돌하기 전과 후의 속도의 비로서 나타내는 것이 바람직함.

- 탄성이 아닌 충돌에서는 접촉하는 두 물체가 서로 달라붙게 된다(즉, 튕겨내는 힘이 약해진다).

==> 충돌 시 탄성력은 탄성 계수(coefficient of restitution)로 나타낼 수 있다.

$$\text{탄성 계수}(e) = \text{충돌 후 속도} / \text{충돌 전 속도}$$

- 완전 탄성 충돌에서의 탄성 계수는 1에 가깝다. 이것은 충돌 전의 속도와 충돌 후의 속도가 같다는 것을 의미함.

- 탄성계수: 0.73-0.76

- 높이의 비율: 0.53-0.58

☞ 공의 탄성 계수는 공을 지면으로 떨어뜨려 다시 높이 튀겨오르는가를 측정하면 알 수 있는데, 공이 1.0m 높이에서 떨어져 0.5m 높이까지 튀어오르면 탄성계수는 0.5이다. 그러나 보통 사람의 경우에는 충돌 탄성 계수는 1보다 작다.

Ex) 테니스 경기, 공과 라켓이 접촉한 후 공의 속도가 라켓의 속도보다 훨씬 더 빠름을 알 수 있다. 이것은 공과 라켓의 속도 차이는 질량비에 의해 결정된다.

==> 축구, 레슬링 등 신체 접촉이 많은 스포츠에서 크기(질량)의 이점이 있다.

■ 스포츠 현장에서 신체의 충돌

- 급정지
- 급발사
- 순간적인 방향전환

1. 급정지

- 빠르게 움직이고 있는 물체를 정지(급정지)시키려면 움직이고 있는 방향과 정반대 방향에서 힘을 가해야 함.

● 급정지 시키는 요소

- 정지시키기 위해 가하는 힘의 순발력
- 물체의 무게
- 정지시키기까지의 시간

☞ 볼을 잡기 위해 두 팔을 편 채로 손목에는 힘을 빼고 팔꿈치와 어깨관절에 유연성을 가지고 볼을 잡아당기듯이 가슴 앞으로 유도한다.

2. 급발사

- 볼을 급발사하는 동작은 배구의 서브, 축구, 럭비, 미식축구의 프리킥 동작에서 확인.

- 숙련자의 킥 동작: 1) 차는 다리의 대퇴부를 충분히 뒤쪽으로 당긴다.
- 2) 발을 디딜 때부터 차는 다리의 슬관절은 충분히 굴곡시킨다.
- 3) 무릎이 볼 위에까지 왔을 때 하퇴를 펴서 임팩트로 연결시킨다.
- 4) 임팩트 후 볼을 밀어내듯이 확실히 편다.
- 5) 임팩트 후 볼을 찬 후에도 킥한 발을 앞으로 내미는 것이 중요함.

● 볼과 충돌할 때, 관절을 고정시키는 것이 중요함.

각 관절의 고정방법에 의해 차는 발의 속도에 따라 튀어나가는 볼의 속도가 변한다.

- 슬관절, 족관절을 고정하면 1.37배
- 무릎을 풀고 족관절을 고정하면 1.16배
- 슬관절, 족관절을 풀 경우 0.871배

● 볼을 킥하기 직전의 10가지 동작 연구.

- 각 관절이 움직이는 힘의 크기와 방향을 화살표(벡터)로 나타냄.
- 1. 1에서 4는 다리를 내딛는 과정으로 허리를 전하방쪽으로.
- 2. 5에서 9까지는 허리에 걸리는 힘이 전방에서 상방으로, 그리고 후방으로 발휘되고 있는 것은 차는 다리를 내밀기 위한 균형된 힘을 발휘하고 있음을 나타냄.

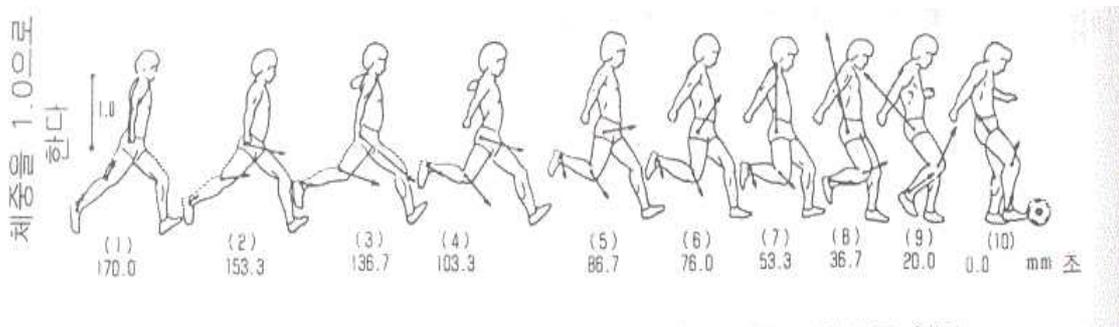


그림 69. 각 관절에 작용하는 힘의 크기와 방향(Robert 등, 1974, 1975)

▣ 순간적인 방향전환

- 피험자들에게 최고수직뛰기높이의 80% 정도 되는 곳에 볼을 매달고 점프 해딩을 하게 하였다.

- 단련자 : 허리를 축으로 동체를 뒤로 기울이고, 무릎을 굽혀서 하지를 뒤쪽으로 기울이고, 볼과 충돌 시점에서는 하지를 내밀고 동시에 상체를 내밀고 있으며 턱을 당긴 상태에서 엉덩이는 약간 앞으로 기울인다.

- 비단련자 : 볼을 향해 뛰어올라서 엉덩이가 뒤로 기울어짐과 앞으로 흔드는 운동이 두드러짐.

※ 공중에서의 이러한 자세변화는 중력중심을 회전시키는 모멘트(회전력)가 중요함.

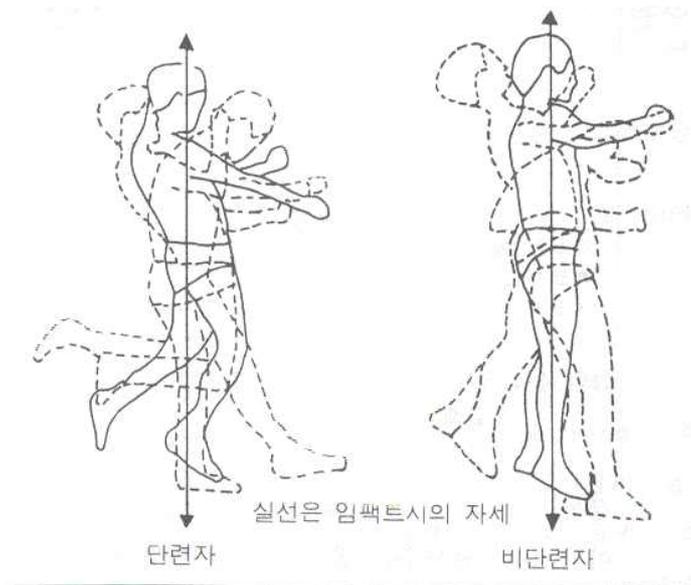


그림 70. 점프헤딩 동작의 비교

※ 스포츠에서 신체의 부분과 물체 충돌의 이상적인 조건 형성

1. 충돌하는 부분이 딱딱할 것
2. 충돌하는 면적이 넓을 것
3. 관계하는 관절을 고정시킬 것

- 소프트볼과 야구볼은 크기가 작기 때문에 맨손으로 잡으면 접촉면이 작아져서 손의 통증이 커진다(글러브나 미트를 이용하여 충돌하는 면적을 넓게 한다).

물과 운동

1. 물과 인체의 부력

- 인간은 중력에 역행하여 무거운 두부와 동체를 들어올린다.
- 두 다리로 서게 되고, 지면을 따라 위치를 변화시킴(이동운동).
- 대기 중의 곤충류나 조류 --> 수중과 수상에서 생활하는 곤충류나 어류 등의 운동은 공중의 비약운동과 수중의 유영운동
- 지상을 이동하는 생물 중 뱀은 신체를 꼬아서 신체 좌우를 낮추어 지면으로부터 저항력을 받아 전진하기 때문에 뱀의 동체와 같은 두께의 원통의 관에 넣으면 전진할 수 없다. --> 지렁이는 가능하다(움츠렸다가 펴기 때문에).
- 동체 전체를 끌어당겨 전진하는 파충류는 전진하기 위한 적당한 반작용력이 얻어져 동체를 끌어당길 때의 마찰력이 비교적 적은 습지를 생활의 터전으로 잡고 있다.
- 스포츠 현장에서 마찰력을 크게 하기 위한 노력 : 육상경기, 골프, 축구, 럭비 등에서 사용되는 스파이크 운동화가 좋은 예가 됨.

2. 물이 가지고 있는 물리적 성질

1) 온도(열)가 잘 전달된다

- 담겨진 물에 손을 넣었을 때 손의 온도가 물보다 높기 때문에 신체의 열을 빼앗김.

(1cm 떨어져 있는 물을 1초간에 섭씨 1도 올리는 물리적 효율 -> 열전도율(cal))

- 물의 열전도율 : $0.0014\text{cal/cm} \cdot \text{초} \cdot \text{도}$

공기의 열전도율 : $0.000006\text{cal/cm} \cdot \text{초} \cdot \text{도}$ -> 공기는 물의 1만분의 42 정도 열 전달

Ex) 모닥불이나 스토브의 불에는 50cm 또는 30cm 까지 손을 가까이 할 수 있다.

2) 온도 변환이 힘들

- 바닷물의 경우 태양열에 의한 온도의 상승이 적기 때문에 해상의 공기는 상승하지 않고 육지를 향하여 이동해 온다(해풍). -> 태양이 서쪽으로 기울면 지면과 그 위의 공기 온도가 내려가 해상공기와 온도차이가 없어져서 바람이 멈춘다.

- 바닷물이나 모든 물은 온도를 높이기도 내리기도 하는 성질을 가짐
- > 물을 신체의 열을 쉽게 빼앗고 차기 때문에 사람들이 더운 여름에 바다나 풀에 감.

3) 저항비율

- 공기 층 또는 수층을 동물이 이동하려면 그 공간을 밀폐한 공기 층 또는 물의 층을 뚫고 가야 함.
- 저항에 영향을 주는 것 : 형상, 횡단면적, 상대속도가 같다면 액체의 밀도가 저항의 크기에 영향을 줌.
- 물의 밀도 : 1g/cm^3 , 공기의 밀도 약 0.0015g/cm^3

※ 공기와 물이 차이점 :

- 공기 : 가해진 압력에 의해 체적이 변함, 밀폐된 공간에서 수축, 대기에서 신체로부터 가해진 힘에 대하여 반작용력을 일으키는 성질
- 물 : 가해진 압력에 의해 변하지 않음

Ex) 자전거의 타이어에 공기를 넣는 펌프를 예를 들어 생각

4) 부력

- 목욕할 때 어깨까지 물에 담그면 양 손가락이 바닥에 닿기만 해도 체중을 유지할 수 있음.
- 아르키메데스(기원전 220년경) : 부력의 원리 ==> 수중에 넣어진 물체가 밀어낸 물의 무게와 같은 힘이 바로 위의 방향으로 움직인다는 것(물체를 떠올리는 힘의 성질).

5) 수심과 압력

- 공기는 힘이 가해지면 수축되는 성질 때문에 지상의 공기는 높게 쌓아올려진 공기의 무게에 의해 수축되고, 상층의 공기는 얇게 되어 있음
- 물은 수축되지 않고 쌓아올려져 있기 때문에 수심과 수압은 직선관계에 있음
- 압력 : 단위면적당 가해지는 힘으로 평방미터당 킬로그램으로 표시 -> 최근 평방미터당 몇 뉴톤의 힘이 움직였는가를 표시하는 파스칼(Pa)이라는 국제단위가 사용됨.

(평방미터당 뉴톤 N/m^2), 평방미터당 파운드로도 표시)

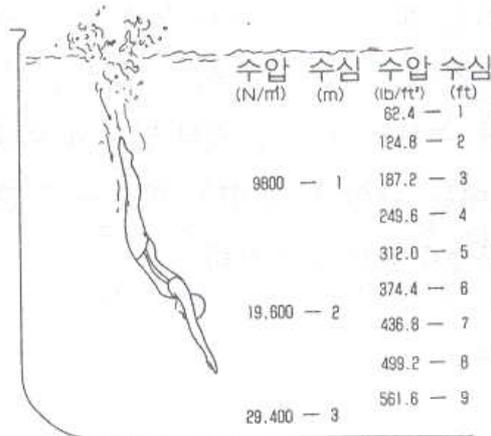


그림 71. 수심과 수압의 관계(Kreighbaum & Barthels, 1985)

3. 인체 밀도와 물에 들어갔을 때의 부력

1) 신체 조성과 밀도

- 신체의 구성성분 : 뼈(1.24), 근육(1.08), 물(1.0), 지방(0.93)

(뼈와 근육의 양이 많으면 물에 가라앉고, 공기와 지방의 양이 많으면 뜨기 쉽다)

- 인체 밀도 : 체내의 가스를 뺀 신체의 구성성분을 의미함

일반남성; 0.13kg/l, 일반여성 1.00kg/l(남자 수영선수; 1.07kg/l)

- 심호흡을 한 후 폐안의 공기를 토해내어도 폐안에는 약 1,000cc의 공기가 남아 있음(잔기량).

- 인체밀도를 1.00kg/l라 하고 신체 중의 지방량은 체중의 약 37%가 된다(비만).

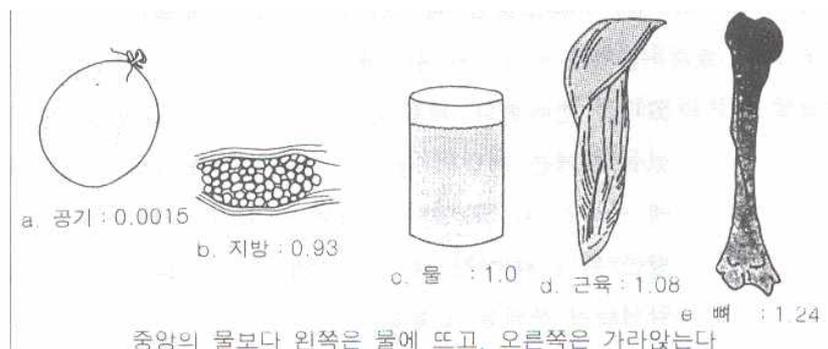


그림 72. 신체를 구성하는 물질 성분 비중 비교

2) 인체와 부력

- 유아기에는 뼈와 근육의 발달이 늦고 지방량이 많기 때문에 물에 뜨기 쉽다.
- 약 35세를 넘어가면 뼈의 밀도나 근육량이 감소하기 때문에 물이 뜨기 쉽다.
(여성이 더 뚜렷하게 나타남)
- 폐활량이 4,000cc인 사람의 경우 잔기량을 포함하여 5,000cc의 부력을 가짐(5kg 정도의 부력).

▣ 현장에서 몸 띄우기 테스트

- 공기를 흡입하면 수중에서 몸이 뜨는 상태, 호흡을 배출하면 가라앉는다(조건부의 뜨는 몸).
- 공기를 흡입할 때는 빠르게, 호흡을 낼 때는 천천히 되풀이함.

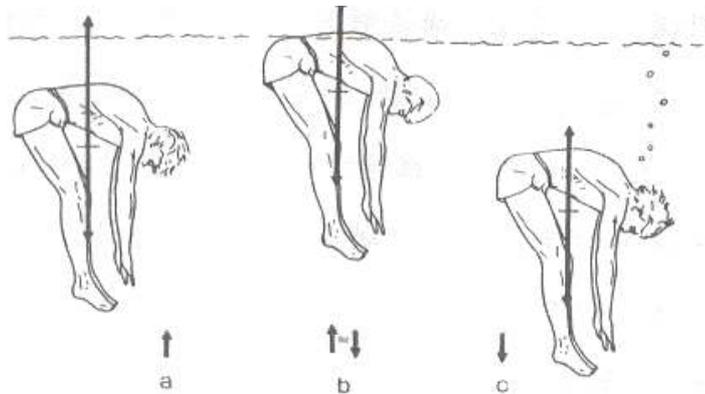


그림 73. 몸 띄우기 성능테스트

▣ 수중운동을 일으키기 위한 추진력

- 동물학자들 : 동물이 추진력을 얻는 방법 2가지 ->
 - 첫째 ; 제트분사추진
 - 둘째 ; 후방의 물을 급격히 눌러 그 반동을 이용하여 전진하는 방법
- ☞ 오징어나 문어의 급발진시에 보여짐
 - 첫째 ; 다리를 넓게 편 상태에서 물을 최대한 흡수하여 그 물을 한꺼번에 짜내는 듯한 반동으로 전진
 - 둘째 ; 체간의 후부를 굴곡, 신전시켜 후방의 물을 차는 방법으로 전진

(즉, 신체의 한쪽 방향의 물에 신체 측면을 충돌시켜 충돌시킨 쪽의 수압을 높게 하고 반대측의 수압은 낮게 함으로써 생긴 수압차의 저항력(반작용력)을 이용

==> 물고기의 등·배·꼬리지느러미의 움직임, 인간이나 동물이 사용하는 움직임

☞ **고래나 돌고래의 경우** : 꼬리지느러미는 좌우 방향으로 넓게 퍼져 있기 때문에 추진력을 얻기 위해서 상하로 부채질하는 듯한 형상이 됨

(중심보다 전방의 체간과 두부에 유연성이 없기 때문에 꼬리지느러미에서 생긴 회전력이 두부까지 전달되어 두부가 크게 상하로 흔들리게 됨).

☞ **뱀장어, 물뱀, 거머리의 경우** : 신체를 여러 군데로 나누어 파동운동을 실시

(요철처럼 구부러서 물고기의 꼬리지느러미의 역할과 같이 전진함).

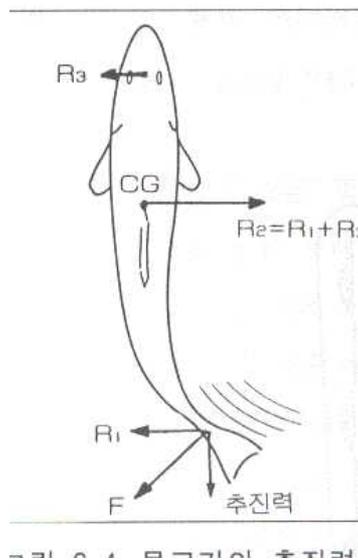


그림 74. 장어의 영법

- 빠르게 헤엄치는 물고기는 신체가 가늘고 길다.
- 다른 물고기보다 훨씬 빠른 어류를 꼬치고기류라고 함(신체가 매우 날씬하고, 뾰족하고 긴 부리와 같은 입을 가짐==> 최고속도 약 12m/sec).

※ 돌고래의 헤엄 속도: 약 10m/sec(1시간에 약 32km)

우수한 수영선수: 약 2m/sec

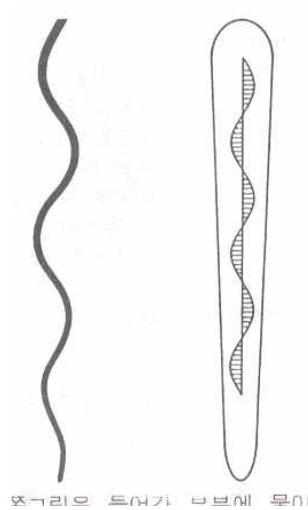


그림 75. 장어와 거머리의 영법

▣ 수중이동을 쉽게 하기 위한 인간의 자세

- 인간이 수중에서 많은 힘을 들이지 않고 쉬운 자세는 물고기처럼 신체를 납힌 상태

<그림설명>

- 수중에 옆으로 누운 자세에서 공기를 중간 정도 폐에 흡입하고 있을 때 신체의 중심과 부심의 거리는 약 1.5cm 정도 떨어져 있다.

※ 중심에는 지구의 중력이 작용, 부심에는 물에 떠오르는 힘이 작용(무게중심과 부심이 멀어지면 다리부위가 가라앉음).

- 폐안에 공기를 최대한 흡입해 두면, 부심은 무게중심으로부터 멀어져서 보다 크기 때문에 부심이 회전의 중심이 되어 하지가 가라앉는다.

- 무게중심은 이동하지 않고 부심의 바로 아래까지 회전하여 오기 때문에 신체의 장축은 90도 가깝게 이동하여 양쪽 하지가 내려간 자세가 된다.

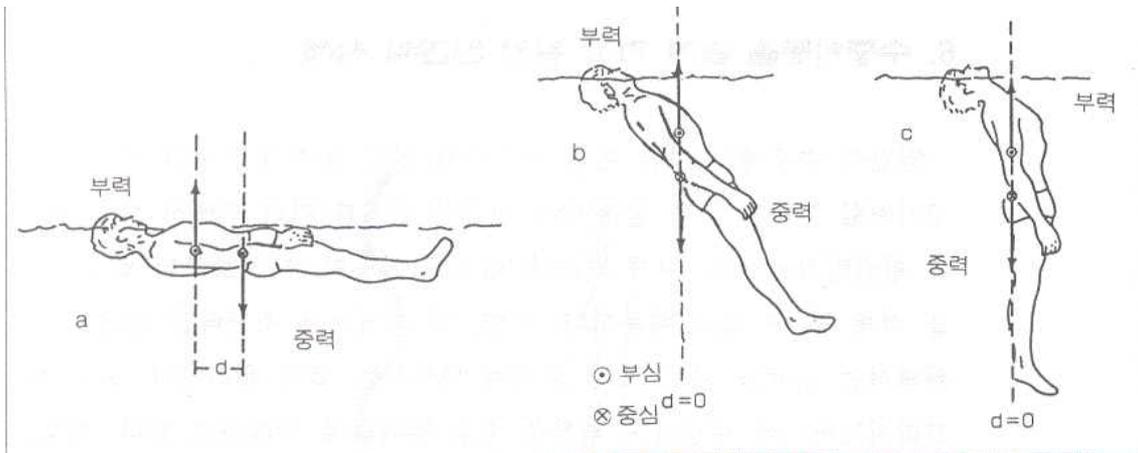


그림 76. 수중에서 몸을 눕혔을 때 자세의 변화(Kreighbaum, & Barthels, 1985)

☞ 수중에서 이동을 용이하게 하기 위해서는 신체의 자세를 수면과 수평으로 유지하는 연구가 필요함.

1. 무게중심을 부심에 가깝게 하는 조작 : 양하지를 조금 굽혀 둔부에 가깝게 한다.
양팔을 머리 위로 퍼 올린다.
2. 부심을 무게중심에 붙이는 조작 : 폐안의 공기를 적게 한다.
3. 부력을 크게 하는 조작 : 양어깨 또는 하악 부분을 수중에 넣는다.

--> 유아의 경우 : 전체 체중에서 차지하는 두부 무게의 비중이 성인의 두 배가 됨.

수중에서 반듯이 누운 자세를 유지하면 쉽게 뜬다.

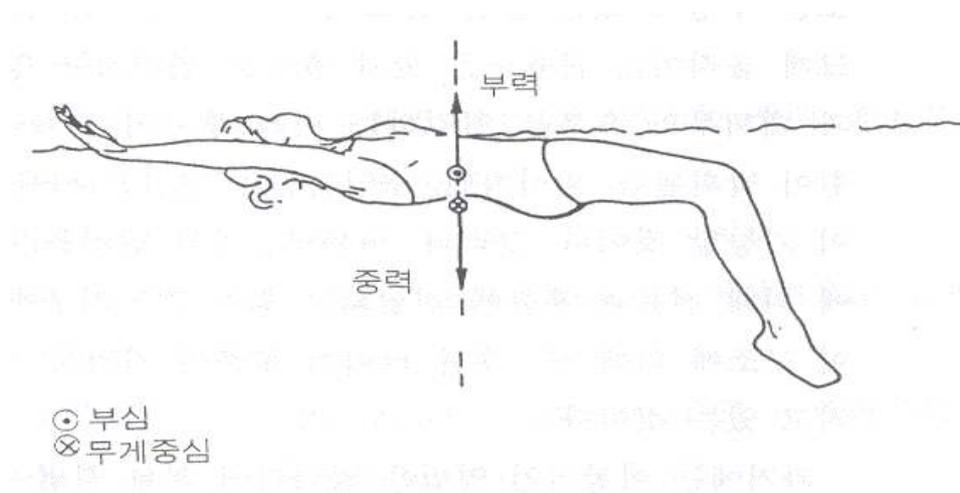


그림 77. 무게중심과 부심을 수직으로 일치시키는 자세의 조작
(Kreighbaum, & Barthels, 1985)

▣ 신체를 전방으로 움직이는 추진력의 발휘

- 수중에서 신체를 전방으로 움직이려면 양팔과 양다리로 신체의 아래 또는 후방에 있는 물을 뒤로 밀어주어야 함.

● 과거의 수영영법에 관한 연구 : 양다리에 의한 킥법이라고 함

현재의 과학적인 연구 : 수영시 양팔의 공헌도가 매우 크다

- 미국의 생리학자 ; 칼포비치(Karpovich, P. V, 1933)는 자유형 영법시 양팔뿐 아니라 양 다리만을 사용한 비트운동을 할 때 양팔의 풀동작 약 70%, 양다리의 비트운동 약 30% 공헌 ==> 현재; 양팔의 풀동작에 의한 출력파워는 전체의 85% 차지 함.

☞ Counsilman, J. E. (1968, 미국) : 수영코치이자 뛰어난 수영 연구자

- 시합에 가까운 속도 (1.5m/sec)로 수영할 때 추진력에 의한 양다리의 공헌도는 거의 0에 가깝다.

- 어떤 때는 유효하게 작용할 때도 있음.

이유 ==> 양팔의 풀동작에 의한 전진속도가 크기 때문에 양다리의 킥운동은 물의 반력을 이용하지 못하게 되는 상태가 되어 킥의 공헌도는 5%나 10% 또는 15%가 될 때도 있다고 한다.

● 수영 영법에 대한 연구:

- 팔의 풀동작과 물의 캐치에 초점

1. 팔 전체로 후방의 물을 캐치, 그 저항력으로 신체를 전진시키고 있는 것일까?
=> 주먹을 쥐고 수영을 하면 손의 면적은 약 50% 정도이기 때문에 기대하는 속도는 얻지 못한다.

2. 후방의 물을 캐치하고 바로 뒤의 방향으로 누르면 될까? => 후방에 만들어진 수벽은 후방으로 밀라고 과거부터 말함. => 최근 손을 움직이는 경로는 타원형과 같은 곡선경로가 좋다.

3. 물의 저항력만을 이용하고 있는 것일까? => 물의 저항을 전방으로부터 받기 때문에 손을 빨리 움직여 물을 캐치하기 때문에 그 물이 벽과 같이 되어 신체를 전진시키는 힘을 얻는다.

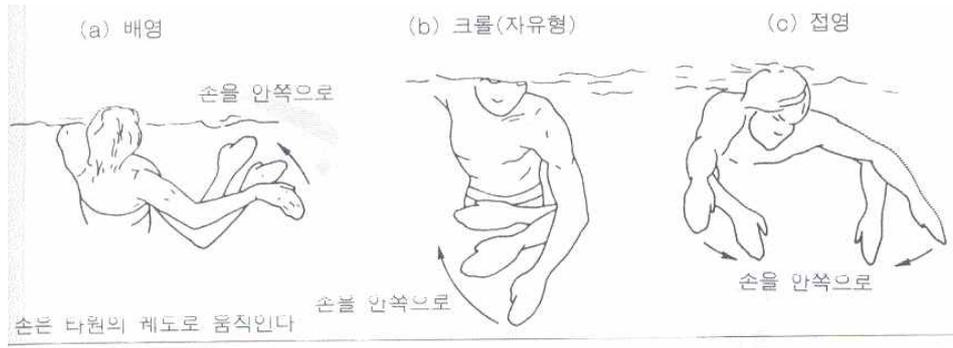


그림 78. 손을 움직이는 궤도(Kreighbaum, & Barthels, 1985)

■ 물에 의해 생겨나는 3종류의 저항

- 인간의 신체가 수중을 전진하기 시작하면 그 때에 일어나는 물의 저항은 ==> 1. 체표저항(피부와 물과의 마찰저항)
 2. 물에 충돌할 때의 저항(충돌면의 투영면적에 비례함)
 3. 신체의 운동에 의해 일어나는 파도에서 생겨나는 저항

※ 1, 2는 공기 중의 운동에서도 나타나는 경향, 3의 저항은 물 특유의 저항

1. 체표저항

- 물이 체표면을 스치면서 통과할 때에 생겨나는 마찰력에 의한 저항

2. 물의 충돌에 의한 저항

- 수영하는 사람은 정면의 물과 충돌한다. 이동의 속도가 크면 수벽과의 충돌력도 커진다. 즉, 나아가는 전방에는 수벽이 있기 때문이다. 수벽과 충돌하는 전방은 고압대, 후방은 저압대가 되는데 이 압력차가 저항력이 됨.

Ex) 평영에서 팔과 다리의 움직임은 수중에서 일어나지만, 이때 동체의 전진속도보다 사지를 빨리 전방으로 움직이는 국면이 있기 때문에 물의 저항은 사지에 크게 없이는 것이 됨.

특히, 대퇴부가 접히는 동작은 전면이 수직에 가깝게 되기 때문에 물과 충돌하는 투영면은 매우 크게 된다. 이 동작은 헤엄치는 속도에 큰 영향을 주게 됨.

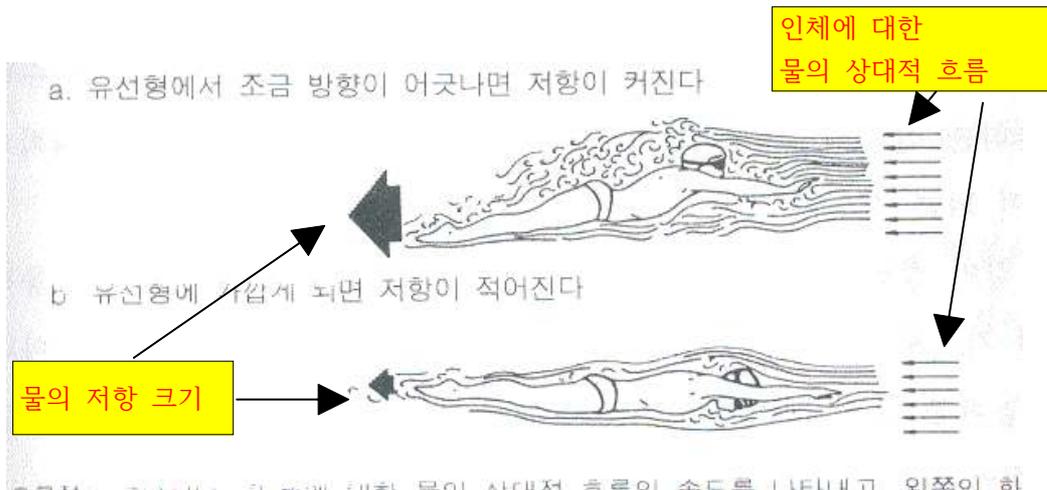


그림 79. 수중에서의 자세에 따른 물 저항의 크기 비교(Kreighbaum, & Barthels, 1985)

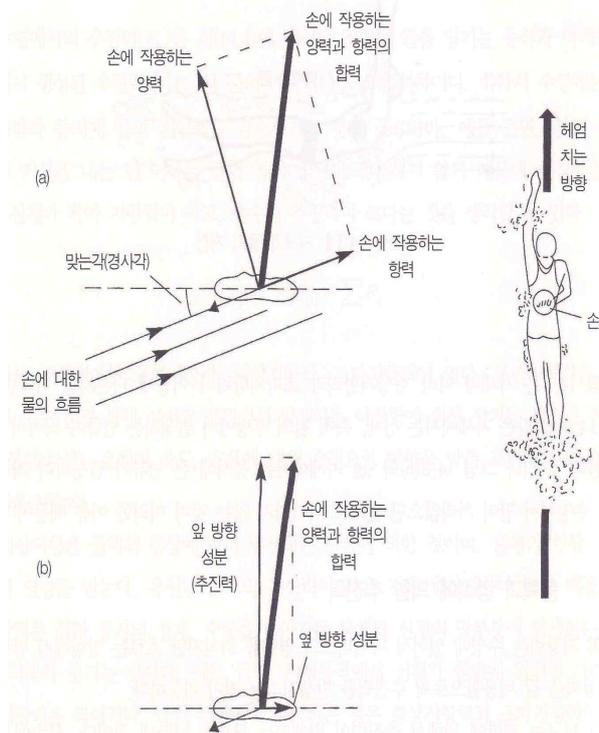


그림 80. 손에 작용하는 물의 항력과 양력(Kreighbaum & Barthles, 1996)

- <그림 80>의 (a)는 물속에서 손에 작용하는 항력과 양력을 제시한 것으로서 양력을 이용하여 추진력을 얻는 방법의 원리. 물속에서 손바닥을 조금 기울여서 움직이면 손의 움직임과 반대 방향의 양력과 수직방향의 양력이 작용함.

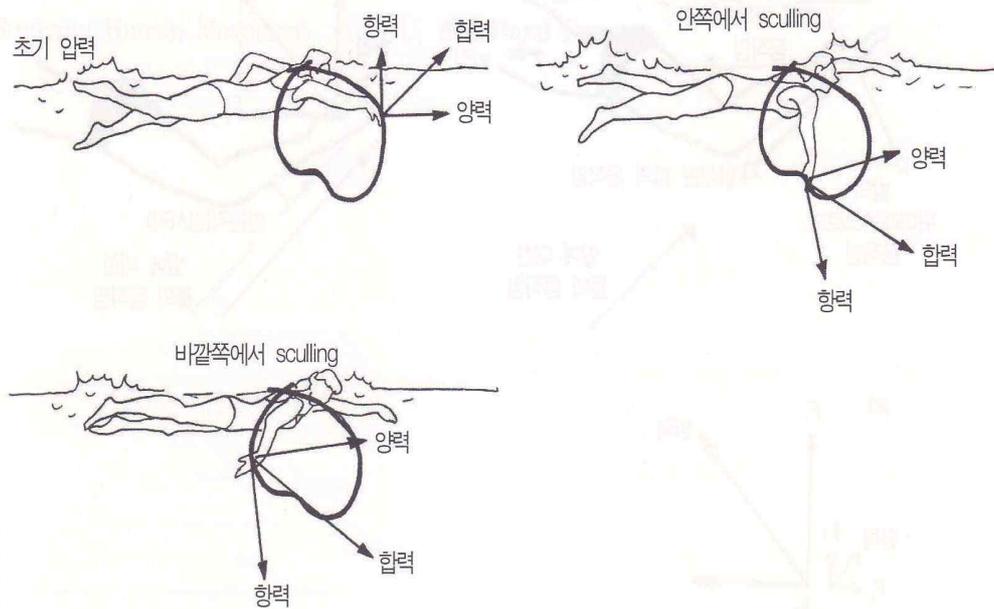


그림 81. 수영선수의 팔의 움직임으로서 항력 및 양력의 방향(추정)

- 입수한 후에 손바닥을 먼저 바깥쪽으로 휘게 하고 안쪽으로 휘어서 팔꿈치를 조금 굽히면서 신체의 중앙으로 끌어당긴다(가슴쪽으로). 다음은 신체의 외측으로 향해서 손을 내미는 것처럼 움직인다.

- 물에 대해 받는 각을 만들어 움직임을 통해 발생한 양력을 이용해서 추진력을 얻음과 동시에 손과 팔을 S자형으로 움직이는 것은 신체에 대해서 손과 팔이 후방으로 움직이는 거리를 짧게 하면서 추진력에 작용하는 거리를 크게 하는 것이 가능하기 때문에 수행할 수 있다는 일도 많아진다는 이점이 있다.

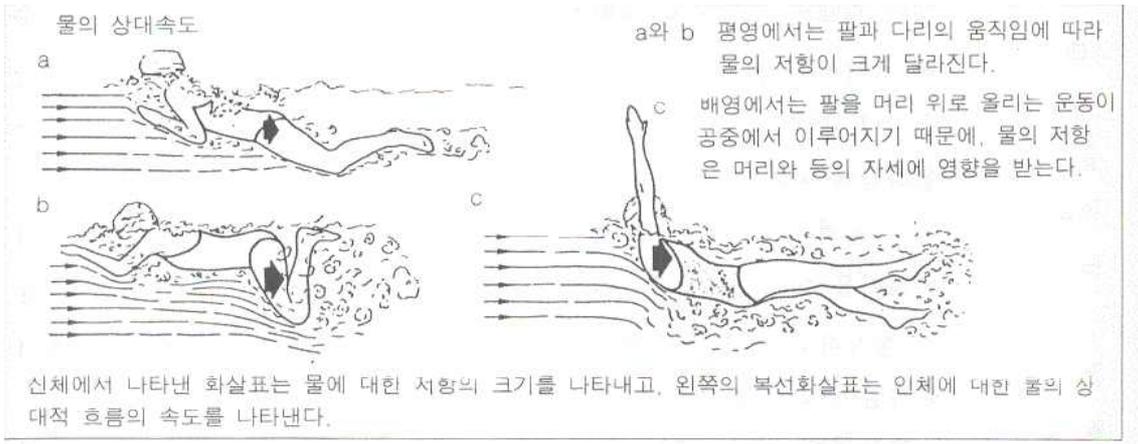


그림 82. 평영과 배영의 물의 저항 비교(Kreighbaum, & Barthels, 1985)

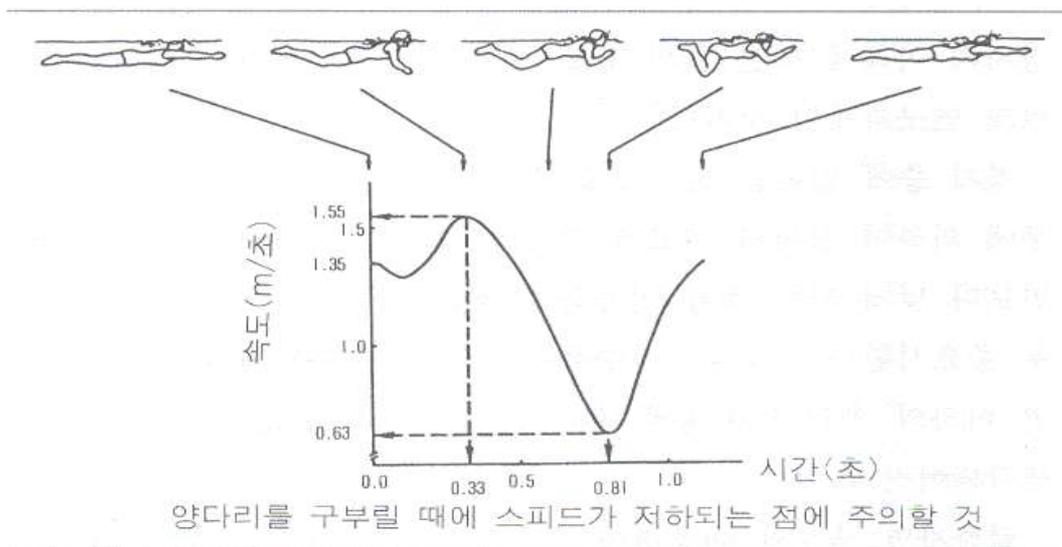


그림 83. 평영 1 스트로크 중 스피드의 변화(McElroy, & Blanksby, 1976)

■ 추진력을 생성시키는 물의 저항(Mosterd, & Jongblood, 1964)

영법	성별	어깨	다리
크롤	남	69.5	30.5
	여	62.3	37.7
배영	남	62.5	37.5
	여	58.9	41.1
평영	남	45.8	54.2
	여	35.7	64.3
접영	남	45.0	55.0
	여	50.6	49.4

치기운동

1. 골프의 타격동작

※ 일류 골프선수가 풀 스윙으로 볼을 쳤을 때 속도 : 60-70m/sec 이다.

(이 속도는 화살이 활에서 떨어져 나갈 때의 속도와 동일함)

- 골프의 임팩트 시간은 0.5m/sec(1/1000초) ==> 순간적으로 약 1t의 힘이 가해짐.

- 1t의 힘이 가해질 때 샤프트가 2-3cm 정도 휘어짐 <== 클럽헤드에 1-2kg의 무게가 실린 정도.



그림 84. 골프의 스윙 폼(Daish, C. B, 1972)

<설명>

a : 평탄한 백스윙으로 급경사의 다운스윙

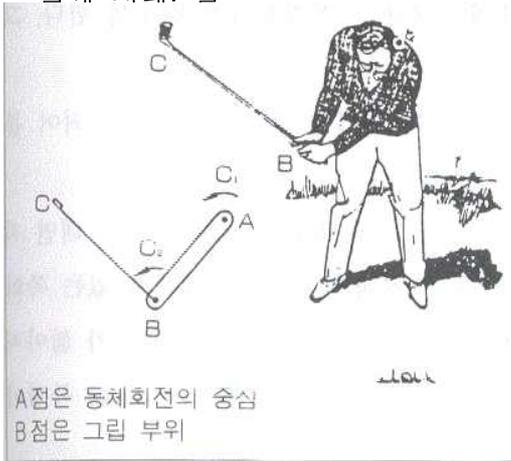
b : 백스윙이 위쪽을 그리고 있음

☞ 회전중심은 동체의 종축 안에 있음.

- 머리를 움직이는 것보다 양어깨 사이에 있는 회전의 중심을 고정하는 것이 중요.

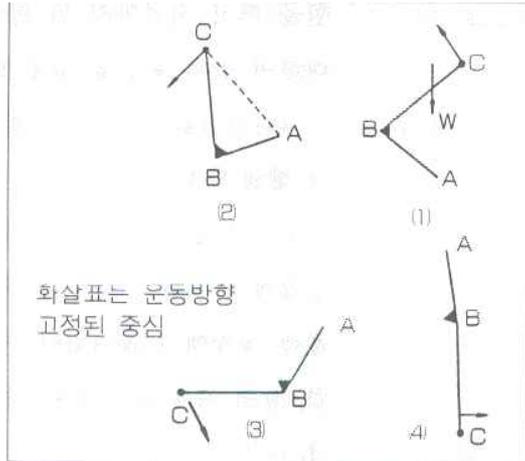
● **골프 스윙시 클럽의 이중지레**

- 첫째 지레: 팔은 양쪽 상지이며, 관절의 역할을 하는 것은 그립부분
- 둘째 지레: 팔



A점은 동체회전의 중심
B점은 그립 부위

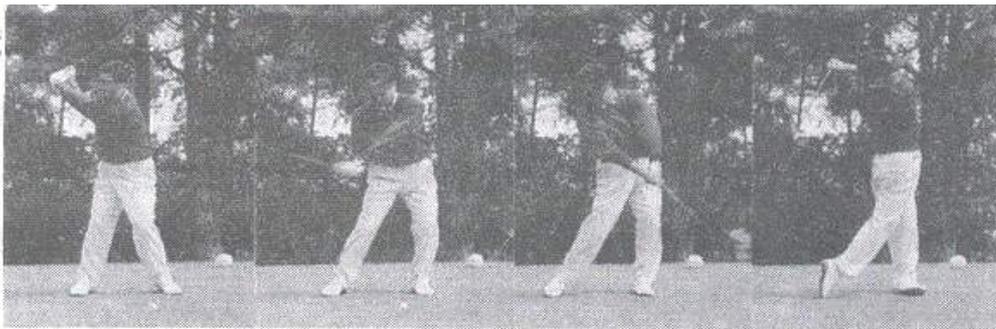
이중진자의 예로 보여지는 골프 스윙동작(Daish, C.B., 1972)



화살표는 운동방향
고정된 중심

삼지(AB)와 클럽(BC) 각 반경의 이중진자 작용 (Daish, C.B., 1972)

그림 86. 골프스윙 시 이중지레



골프클럽의 스윙은 이중진자작용을 이용한 대표적인 동작이다

● **흔들어 올리는 정점, 다운스윙 중 클럽이 수직위치를 통과했을 때, 임팩트시의 4점**

- (1). 클럽을 올린상태로 그 무게 W는 아래로 작용함.

이것은 확실하게 그립을 잡고 들어 올리는 기분으로 힘이 가해지게 되는 경우

- (2) 1에서의 A와 C의 거리를 변화시키지 않고(그립의 상태는 그대로) 이동.

클럽이 지면과 수직되는 위치를 통과하였기 때문에 그 무게는 팔에 부담을 주지 않음(클럽이 빠져나가지 않게, 원심력에 대항해 당길 수 있을 정도로 힘을 뺀 상태).

- (3) 클럽은 수평위치. 아래쪽으로 쉽게 내려올 수 있으므로 계속 회전을 하려고

한다.

원심력에 대항하기 위해 골프장갑을 끼고 그립이 빠져나가지 않도록 하며, 손목관절의 힘을 빼고 클럽위 회전운동을 정지시키지 않도록 하고 팔의 회전을 멈추게 함

(4) 클럽헤드는 속도가 가속되어 불과 충돌하게 됨.

※ 최근의 골프 프로코치의 제안

· 스페이스셔틀 3단 로켓과 같이 서서히 높여 마지막에 빨리 쳐내라고 하는 사람이 있다.

· 제 1단계: 허리와 동체의 커다란 에너지를 사용.

· 제 2단계: 어깨와 상완의 에너지를 사용.

· 제 3단계: 전완과 손의 에너지를 이용하여 치는 것.

- 클럽은 헤드의 재질에 따라 우드(목재)와 아이언(금속)으로 나누어짐.

- 경사각도 차이에 따라 번호가 매겨져 있는데 그 번호마다 애칭 또는 별칭이 있다.

- 헤드와 샤프트 사이의 각도를 달리하고 있다.

- 헤드의 솔을 지면에 완전히 닿게 하여 이를 타격방향에서 샤프트는 일정한 각도를 갖고 있으며 기울어진 상태로 놓여있는데 이것을 **라이각도**라 한다.

☞ 라이(lie): 골프에서는 볼의 위치

(볼을 치기 쉬운 각도를 위함)

※ 키가 큰 사람은 업라이트의 라이각도가 적합, 키가 작은 사람은 플랫의 라이각도가 적합하다.

- 드라이버 42 1/2인치(108cm)를 기준으로 한 예

번호	애칭	로프트 각	무게(g)	
우드	1	드라이버	11°	367.5
	2	브라시	14°	371.25
	3	스푼	17°	375.0
	4	버피	20°	378.75
	5	크릭	23°	382.5
	6		26°	386.25
	7		29°	390.0
아이언	1	드라이빙 아이언	17°	405.0
	2		20°	412.5
	3		24°	420.0
	4		28°	427.5
	5		32°	435.0
	6		36°	442.5
	7		40°	450.0
	8		44°	457.5
	9		48°	465.0
	10	피칭웨지	54°	476.25
사이드 W	샌드웨지	59°	487.5	

※ 로프트 각도와 라이각도를 솔을 평면으로 하여 위쪽에서 보면 =>그립을 헤드보다도 볼을 치는 쪽으로 나와 있는 형태를 취하게 됨(풀각도).

▣ 다운스윙 시 힘의 분석

- 상체를 약간 앞으로 굽히고 양다리를 넓혀 고정시킴(스탠스를 정함) --> 클럽을 내려뜨릴 때의 운동원칙을 이중지레 시스템이라 함.

- 양쪽 다리는 동체의 장축을 고정하는 역할, 허리에서 위는 동체의 장축회전의 뒤틀림운동이 일어나기 쉬움. 이 운동이 양어깨와 퍼진 양팔을 회전시키기 위한 제 1단계이며 양손을 클럽을 쥐고 회전운동으로 이행할 때가 제 2단계이다.

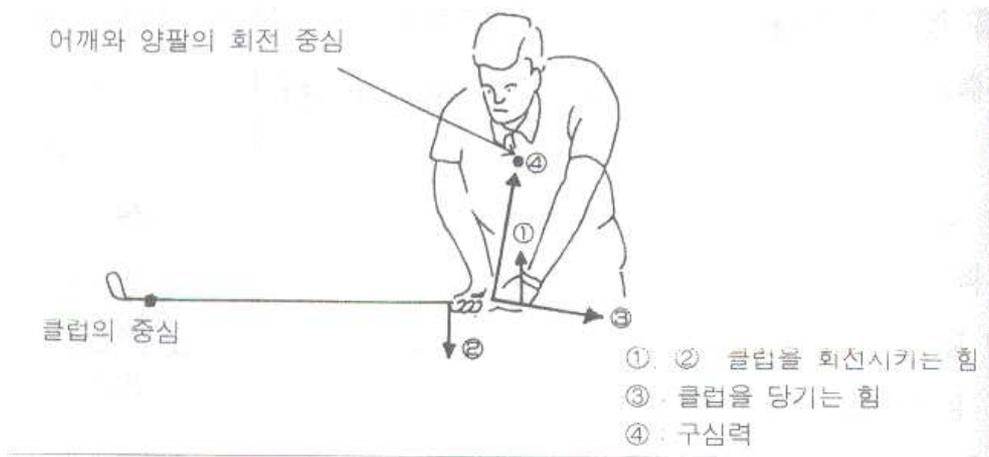


그림 87. 다운스윙 시 그립에 나타나는 힘(Hay, J. G, 1978)

※ 허리, 몸통, 어깨, 양팔과 유연한 회전동작은 폼을 관찰할 때 매우 중요한 요소임.

- 양어깨와 양팔의 회전운동은 가슴 중앙부분에 움(어떤 사람은 등쪽에 있는 경우 있음, 양쪽어깨를 연결한 선상)

- 클럽의 무게가 있기 때문에 클럽 스윙 시 무게 중심이 끌려가지 않도록 당기는 힘이 필요함(구심력).

※ 클럽 스윙은 “끌어당기는 힘”이 중요함.

■ 임팩트 시 속도와 힘

- 볼과 클럽헤드가 충돌할 때 클럽헤드는 변함이 없다. 즉, 볼의 성질이 튀어나가는 스피드를 결정하게 됨(클럽헤드의 재질이 단단하다면, 나무, 금속, 플라스틱이든 관계없음).

- 골프공의 탄성계수: 약 0.7

- 고체의 일그러짐과 변형력(응력)은 일그러짐이 작은 때는 거의 비례관계에 있다

■ 후크의 법칙(클럽헤드의 속도와 볼이 날아가는 속도의 비율)

$$v = M(1+e)$$

=

$$v = \frac{M+m}{M+m}$$

V : 헤드의 속도

v : 볼의 속도
 M : 헤드의 질량
 m : 볼의 중량
 e : 탄성계수

==> 클럽헤드 속도의 약 30-60% 정도의 속도로 볼이 날아가고 있다는 것을 의미한다.

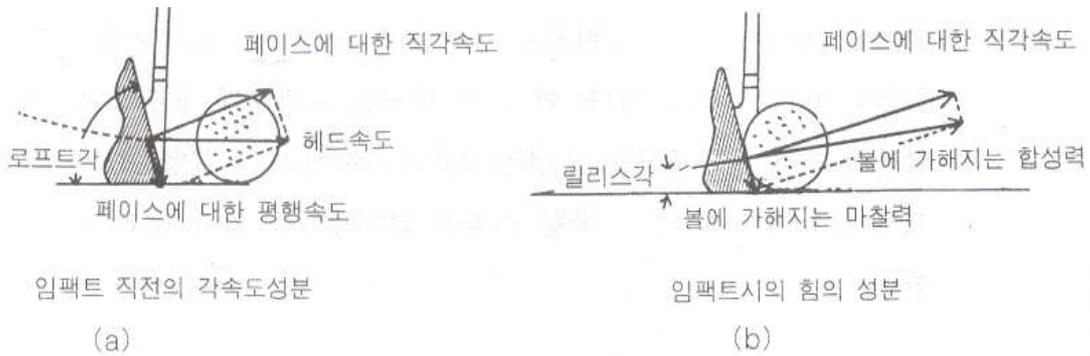


그림 88. 임팩트 직전에 헤드에 발생하는 각속도 성분과 임팩트 충돌점에 나타나는 각력의 성분

<설명>

- 페이스 면에 대해 평행한 방향의 마찰력은 볼의 표면을 이 방향으로 움직이게 함
- 일반적으로 골프클럽은 모두 로프트 각도가 있기 때문에 백스핀이 걸려 앞으로 날아간다.

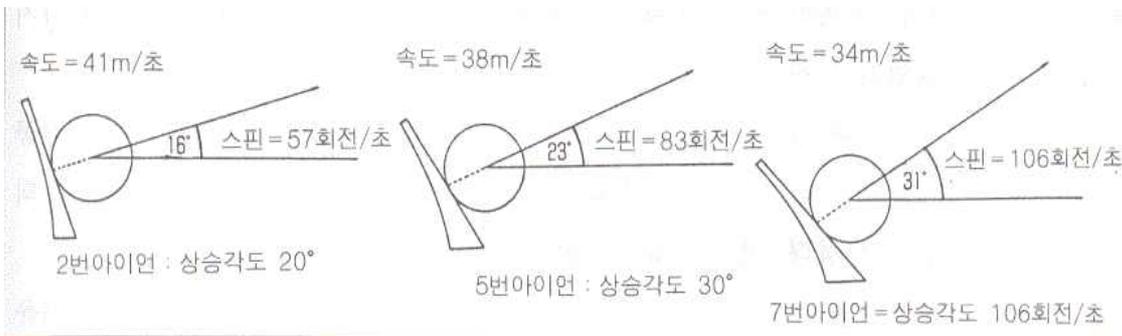


그림 89. 로프트 각의 차이에 따른 속도와 스피의 효과(Daish, C. B., 1978)

(클럽헤드의 스피드를 30m/sec로 하였을 경우, 상승각도=로프트각(Daish, C. B., 1972)

<설명>

- 2, 5, 7번 아이언으로 각각 30m/sec의 헤드 스피드로 타격했을 경우

1. 각각 튀어나가는 각도는 로프트 각도보다도 작아진다.
2. 로프트 각도가 작으면 직진속도가 커지고 회전수가 적어진다.
3. 로프트 각도가 커지면 그 타구의 회전은 역회전이 많아진다.

==> 클럽헤드의 페이스가 단단하면 표면에서 평행한 마찰력은 작아진다. 그리고 볼의 표면과 페이스가 매끄러우면 마찰력은 0에 가깝다.

▣ 골프공과 공기저항

- 볼의 표면이 부드러운 쪽이 공기저항이 적다.

(과거, 목재볼과 소가죽 안에 새의 깃털을 넣어 사용 <== 비거리가 적에 남)

- 볼 표면에 흠이 생기면 잘 날아간다는 것이 관찰되어 현재의 골프공처럼 모양이 바뀜

(과거에는 왜 잘 날아가는지 원인을 모름)

- 오늘날 유체역학에서 공기 중을 빠르게 운동하는 물체와 그 저항력을 연구하고, **물체와 함께 이동하는 공기층이 변화함에 따라 표면이 거친 볼은 어떤 속도 범위에서 저항계수가 작다는 것을 알 수 있었음.**

- 클럽헤드의 로프트 각도가 크고 튀어나가는 속도가 작을 때는 스피드에 대한 공기저항이 크게 관여함.

☞ 공기의 흐름이 없는 상태에서 볼을 이동시켰을 때, 볼의 표면이 거친 쪽과 부드러운쪽의 저항계수를 비교한 결과 ==> 저항계수는 속도의 제곱에 비례함. 그러나 어떤 속도를 넘으면 저항계수는 낮아짐.

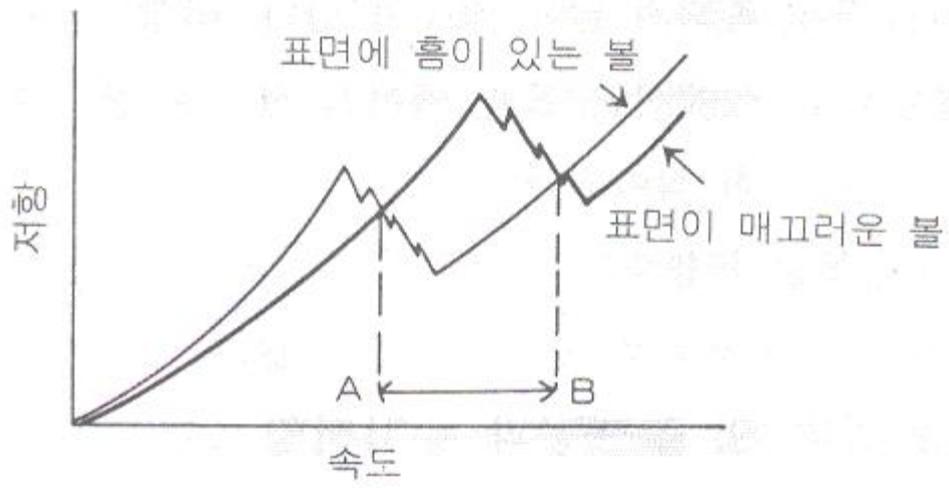


그림 90. 볼 표면의 차이에 따른 저항과 속도의 관계(Shapiro, A. H, 1972)

▣ 낙하지점에서 스핀볼이 굴러가는 방향

- 볼의 반발속도와 방향은 변형보다도 그라운드와 잔디의 영향을 많이 받음.
- 그라운드와 잔디에 떨어진 볼의 속도는 감소 또는 스핀에 의한 마찰력에 의해 튀어오르는 방향이 변함.
- 모든 경우 평면에 충돌하는 볼은 30%의 에너지손실이 있다(탄성계수 0.7)는 것을 가정.
- 모든 경우의 낙하속도 5.m/sec로서 낙하각도는 30도일 때
=> 스핀의 경우: 낙하속도와 튀어오르는 각도가 비슷,
반발속도는 낙하속도의 70%인 3.5m/sec

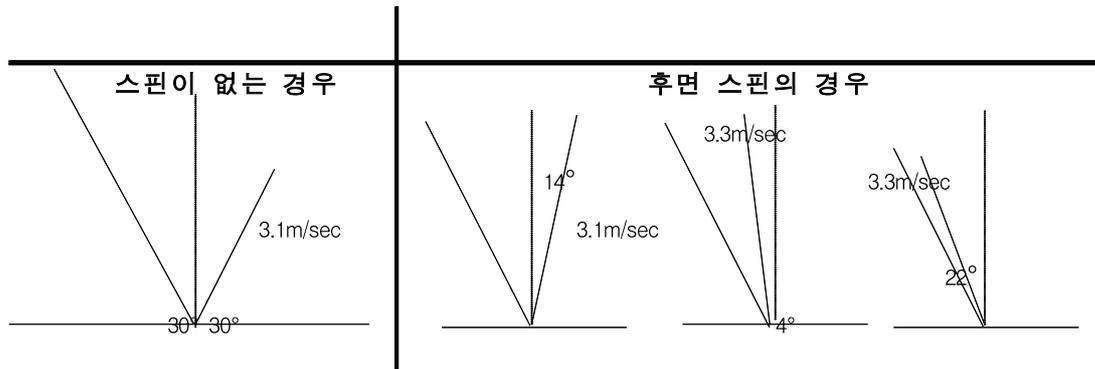


그림 91. 물체의 낙하와 스핀 방향

※ 탄도 방향에 대한 스핀의 영향

- 낙하속도는 5.0m/sec, 후면스핀의 경우는 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 스핀이 크게 걸림(Daish, C. B., 1972).

이동운동

- 인간의 신체는 많은 뼈(206개)로 구성됨.
- 역할: 신체의 지지역할, 작고 복잡한 동작 유발, 내장기관 보호 등
- 뼈는 세로로 길게 연결되어 관절과 관절을 형성.
==>이러한 관절을 가동관절이라 함.
- 가동관절은 굴 · 신 운동을 함(굴신운동은 축을 중심으로).

● 제1축 관절: 평면만으로 굴신운동이 일어나는 관절

● 제2축 관절: 팔꿈치와 전완, 무릎과 하퇴

(긴뼈 2개가 평행으로 늘어져 비틀림 운동가능)

● 소켓 관절: 견갑골과 고관절은 상완골과 대퇴골의 위쪽으로 기울어져 끝이 둥글게 되어 (구상 관절) 있고 연결되는 견갑골과 골반 부분이 움푹 패어 있어서 빙글빙글 돌아가는 상태와 비슷함.

☞ 관절운동의 원인: 각 관절을 둘러싸고 있는 근육군의 수축과 신전 때문에.

1. 보행운동

- 수의운동 또는 반사동작이라고도 함.
- 반사동작 : 자세반사와 스텝반사가 있는데 유아기에는 억제되어 나타나지 않음.
- 보행운동이 원활하게 되는 시기 : 출생 후 10-16개월,
성인의 형태에 가까운 보행양식에 근접하는 시기는 4-7세

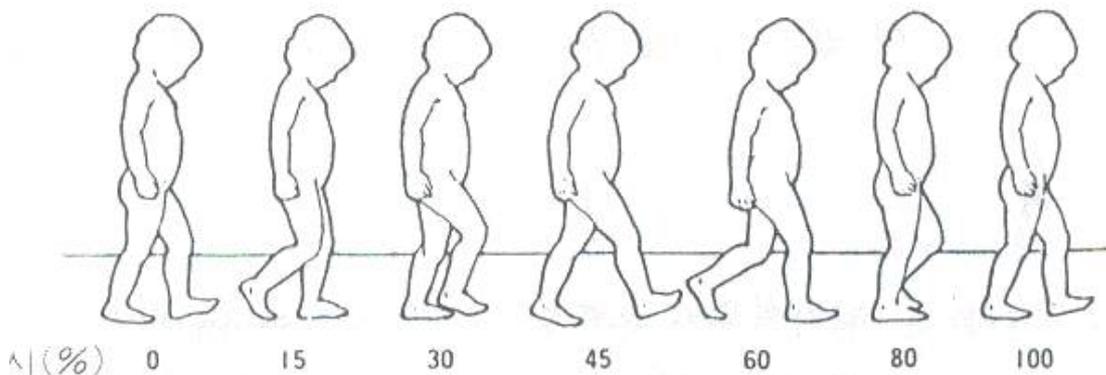


그림 92. 보행운동의 1주기를 7등분(Adrian & Cooper, 1989)

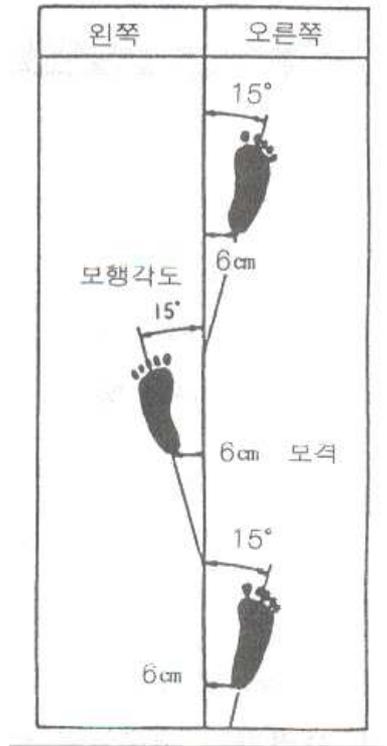


그림 92. 보행각도와 보폭

2. 보행운동에 관여하는 용어

1) 지지기(체지지기): 양다리로 체중을 떠받치는 시기와 한발로써 체중을 지지하는 시기

2) 보폭: 스트라이드라고도 함. 두 발 보행의 1주기는 복보라 함

- 동물학에서는 4족 보행

- 한발씩으로 몸을 움직인 거리를 보장(step length)이라 함.

- 보폭의 길이: 남성; 약 65-70cm, 여성; 약 60-65cm(성인의 경우)

3) 보수(피치; 단위시간당 걸음 수) : 1분당 보수를 피치라 함.

- 남성; 90-120보/분, 여성; 80-110보/분

※ 행진곡: 120보/분

4) 보행속도 : 보통 걸음걸이의 속도; 60-70m/분

- 대학생의 등교 때 보행속도 90m/분

- 100보/분의 보행속도가 걷기운동으로써 권장됨

출근 때 횡단보도에서 적신호 상태에서 청신호로 바뀌었을 때 맨 앞에서 걷는 사람의 속도와 같음)

☞ 100m/분의 보행속도는 체중 1kg당 약 1kcal/분의 소비량과 동일함.

5) 보행각도와 보격

- 발을 착지했을 때 발가락 끝은 진행중양선에서 바깥쪽으로 향함 ==> 팔자걸음 ==> 이 각도를 보행각도라 함.
- 중양선으로부터 착지를 한 발뒤꿈치까지의 간격은 보격이라 함.
- 보행각도 : 약 15도, 보격; 약 6cm

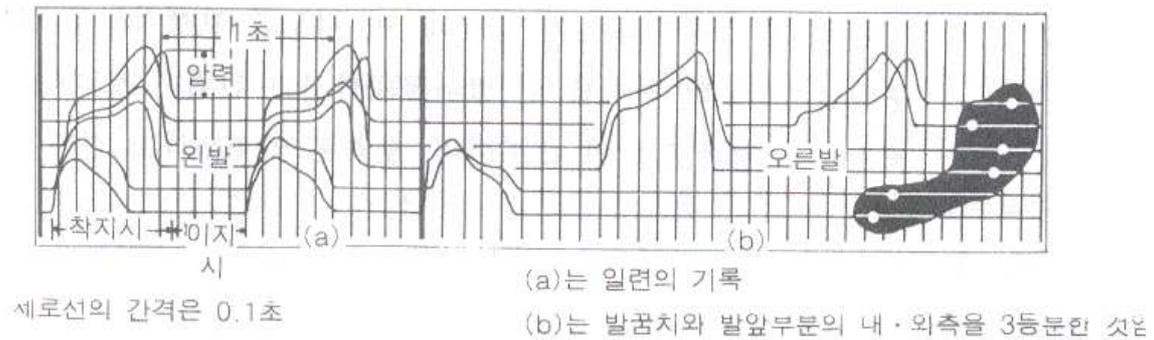


그림 93. 발바닥 6부위 착지시 압력변화(Schwartz, R. P. 등, 1947)

3. 발바닥의 착지 · 이지순서와 가압

- Marey, E. J. (1860년대 중반, 프랑스 대학): 육지동물의 2족 보행 연구시작
 ==> 사람이 걸을 때 발바닥이 접지하는 시간과 압력 조사를 위해 구두 뒤쪽을 오려내어 공기실을 만든 구두를 착용케 한 후 착지했을 때 빠져나오는 공기의 변화를 기록함.
- 슈바르츠(Schwartz, R. P., 1947): 맨발바닥에 6개의 수정전극 붙여 압력이 가해지면 전기가 발생하는 수정의 성질을 이용한 전자그래프 장치로써 압력변화의 곡선을 기록함.

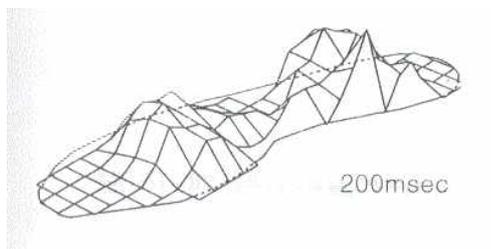


그림 94. 착지시 발바닥에 가해지는 압력도(Adrian & Cooper, 1989)

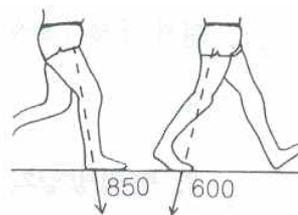


그림 95. 착지시와 이지시 힘의 입체 크기와 방향(65kg)의 수치와 상대비교(Alexander, R., 1977).

- 아드리안(Adrian, M. J): 착지시에 발바닥에 가해진 압력을 입체영상으로 나타낸 기록
을 인용

- 알렌산더(Alexander, R.): 착지시와 이지시에 발휘된 힘의 크기와 방향을 나타냄
뒤꿈치가 착지할 때 힘은 전방으로 걸림
발가락이 이지할 때 힘은 후방으로 걸림

4. 소비 에너지의 힘과 폼

- 움직임 동작에서 관절은 회전축이 되어 근육이 부착되어 있는 곳에서 근력이 작용함

- 한쪽 뼈를 움직이지 않도록 옆 관절의 근육군을 고정시키면 문제의 관절인 또 다른 쪽의 뼈를 자유롭게 크게 움직일 수 있다.

- 근육 내에 발생한 힘은 지렛대 작용으로 자유롭게 움직이는 쪽의 말단에 전해진다.

==> 즉, 하지운동의 경우, 말단에 전해진 힘을 연결된 관절에 의해 차례로 발까지 전해지면 발바닥은 이 힘을 지면에 작용시킨다.

- 지면과 발바닥 간에 미끄럼운동이 일어나지 않으면 지면에 작용된 힘에 대항하여 발을 바꾸게 됨.

● 달리기 거리별 체중 지지 폼

- ① 상체의 전방각도
- ② 지지다리의 고관절과 슬관절 각도
- ③ 앞으로 흔드는 다리의 고관절과 슬관절 각도
- ④ 대퇴부 전면과 지면이 만드는 각도
- ⑤ 양팔을 흔드는 방법의 차

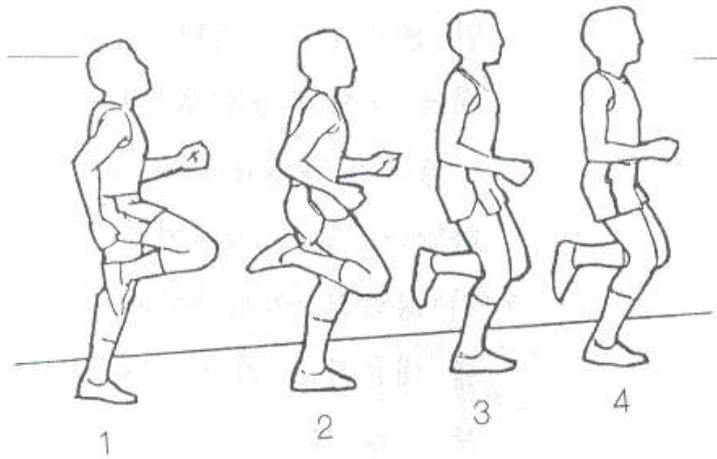


그림 96. 운동선수별 발바닥 점지기의 체중지지 폼

5. 달리기 운동의 생체역학적 관점

- 단거리 달리기에 대한 분석 (Marey, 1894)
- 단거리 달리기 계측 (일본, 동경올림픽, 1964)
- 영국의 Wilkie(1930): 달리기 운동의 기계적 작업량을 필름으로 분석 ==> 신체의 무 계중심을 구하는 방법은 아직 사용되지 않았고, 머리상부와 콧등, 또는 어깨위치의 상하움직임 거리로써 이를 대신하고 있음.
- 일본의 오오사카 대학(金子公): 달리기 운동의 생체역학적 관점을 더 발전시킴.

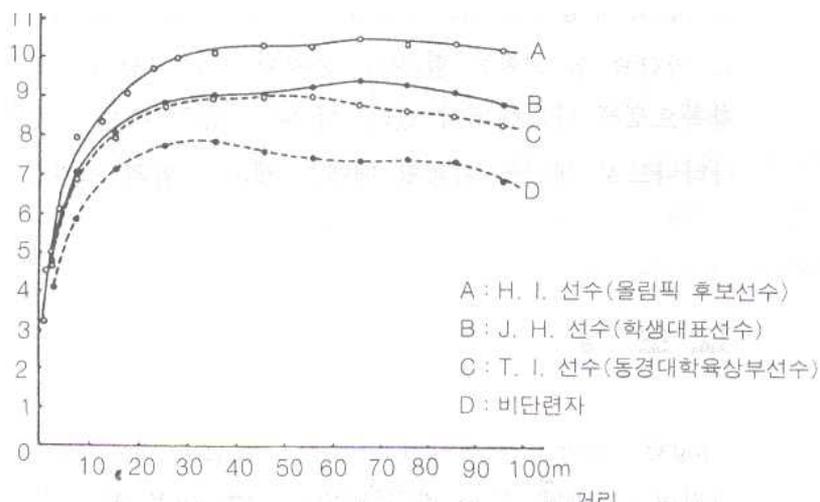


그림 97. 질주 속도 곡선(거리와 속도)

● 보폭을 결정하는 인자

- 이지에서 착지까지의 거리에 영향을 주는 인자
- 이지위치
- 공중이동거리
- 착지위치

■ 주자의 다리 길이와 신장 등의 체형과 이지시와 착지시의 자세를 다룸

- 위의 자세는 공중이동거리에 영향을 미친다.
- 공중이동거리는 이지속도(킥속도)와 이지시의 무게중심 높이, 공기저항이 관계함
- 공중에서의 나는 거리를 물리적으로 결정하는 포물선 궤적은 **킥에 의한 뛰어오름 속도와 그 각도에 의해 결정됨** <== 접지기 중의 속도변화(가속기) <== 작용한 힘에 비례(즉, 킥력의 작용방법에 따라 접지중의 속도가 변화됨) ==> 착지했을 때 브레이크의 힘, 체중을 지지하고 있을 때의 고관절과 슬관절의 굴신범위, 킥력이 작용함.

☞ 브레이크 힘: 전진속도를 멈추게 하지만 킥력을 발휘하기 위해 디딜 곳을 확보할 때에는 꼭 필요함.

- 착지 충격력을 약하게 하기 위해 다리의 각 관절이 굴곡 한다.
- 다리를 굴신시킴으로써 킥력이 발휘된다.
- 브레이크력과 킥력을 측정함으로써 시간의 경과에 따라 힘의 크기와 방향이 변화하는 것을 알 수 있음.

6. 달리기 운동시 소비에너지의 추정

- 1분간 100m의 스피드로 걸을 때 속보라 함.

Ex) 1분간 100m의 스피드로 걸을 때 소비 칼로리는 70cal/kr/min 이다.

만약 체중이 60kg인 사람이라면,

$$70\text{cal/kg/min} \times 60\text{kg} = 420\text{kcal}$$

☞ 조깅 스피드

- 20세 전후 남자: 평균 190m/min(170-210m/min)

여자: 남자보다 조금 늦다

- 40세 전후의 초보자: 140-160m/min

단련자: 160-200m/min

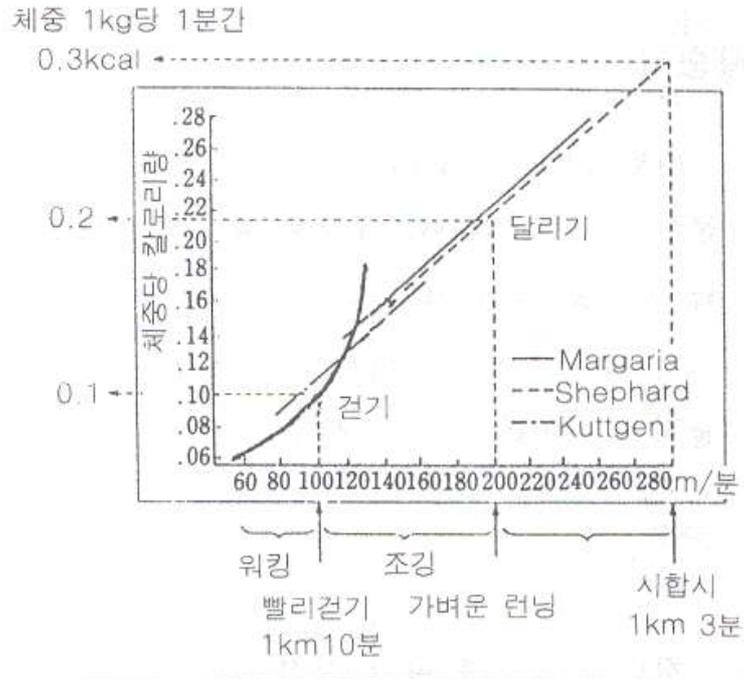


그림 98. 걷기 및 달리기 스피드와 소비칼로리의 관계

7. 달리기 스피드, 보폭과 피치

- 우수한 단거리 선수란?: 빠른 스피드로만 되는 것이 아니라 보폭과 피치이다.

평균속도 = 평균보폭 × 평균피치

Ex) 평균보폭이 2.0m에서 평균피치가 5.0회/초이면,

$$\text{평균속도} = 2.0\text{m} \times 5.0\text{회/초} = 10.0\text{m/초}$$

- 달리기 운동에서 피치의 단위는 1초당 보수로 나타냄

● Gundlach(1963): 달리기 속도와 보폭의 관계를 조사

$$\text{달리기 속도(m/초)} = 0.035 \times (\text{보폭}) + 1.90 \quad \dots \dots \dots$$

..... > 남자

$$\text{달리기 속도(m/초)} = 0.054 \times (\text{보폭}) - 2.04 \quad \dots \dots \dots$$

..... > 여자

● 달리기 속도와 피치와의 관계

달리기 속도(m/초) = $1.44 \times (\text{피치}) + 2.51$ > 남자

달리기 속도(m/초) = $2.14 \times (\text{피치}) - 1.53$ > 여자

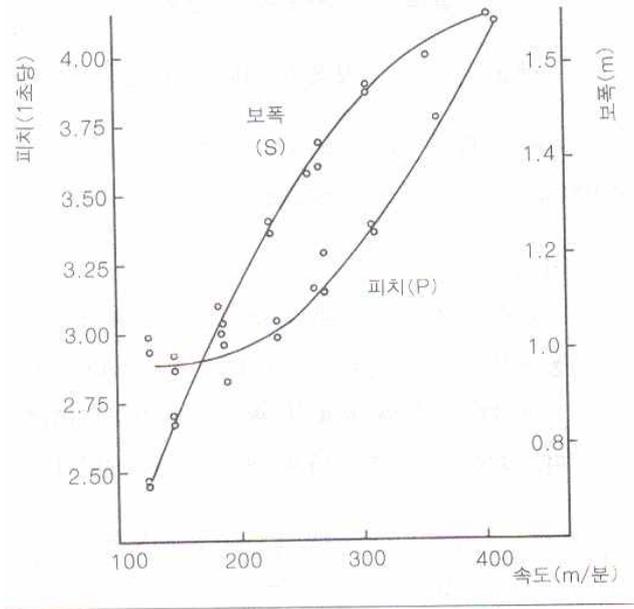


그림 99. 달리기 선수의 보폭과 피치 관계

☞ 100m를 질주했을 때 보폭 수는 약 50보, 평균보폭은 2.0m이다.

최고속도일 때의 보폭은 2.0m, 피치는 약 5회/초(추정)

Ex) 칼루이스: 100m를 43-44보로 달렸다.

- Adrian 등(1989): 국제급의 남자선수 보폭을 조사

==> 남자 선수의 최고치가 2.44m, 여자 선수의 최고치는 1.80-2.13m

==> 최고보폭일 때 남자의 피치: 5회/초, 여자의 피치: 4.5회/초

8. 질주 중의 무게중심 이동

※ 보폭과 피치는 달리기 속도를 나타내는 요소이지만 무게중심을 전진시키기 위한 중요한 인자이다.

- 주자의 무게중심은 발이 지면에 접하고 있을 때(접지기), 발구름하여 공중에 떠서 다음 착지까지(공중기)에서도 전진한다.

1) 보폭과 무게중심의 이동거리

(1) 킥할 때 무게중심의 수평이동거리: 전진력의 증가를 위해 무게중심을 발구름 발의 발가락 끝으로 전방으로 위치함

=> 수평거리를 크게 하는 요인은 지면을 차는 다리의 최후 각도를 작게 하는 것.

(2) 공중기에서의 수평이동거리: 차는 발의 발끝이 지면에서 떨어지기 시작하여 양발이 완전히 지면에서 떨어져 있을 때 전방으로 이동하는 거리가 수평거리이다.

=> 공중에서의 무게중심은 포물선으로 이동함. -> 이 거리는 하나의 포물선의 수평 도달 거리가 된다.

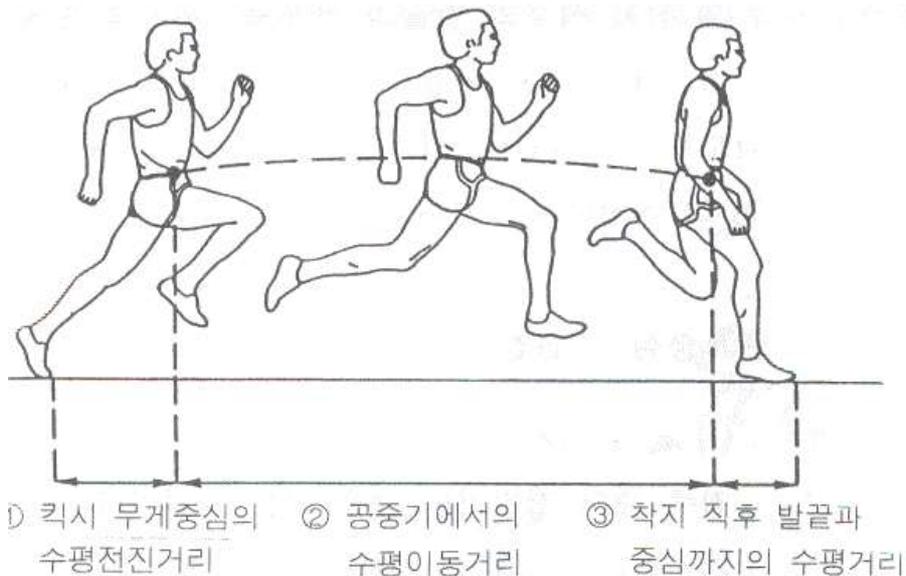


그림 100. 보폭과 무게중심의 이동거리 차(Hay, J. G., 1985)

● 수평도달거리를 크게 할 수 있는 요인

- 발구름 시 **키클력**과 뛰어오르는 **각도**

- 킁시 **무게중심 높이**와 공중에서 작용하는 **공기저항**

(공기저항은 추진력의 약 5%에 해당하여 순풍 또는 역풍이 이동거리에 영향을 준다)

(3) 접지 직후의 발끝과 무게중심까지의 수평거리

- 다리와 지면이 만드는 각도로서 결정

2) 접지기 중의 무게중심의 전진

(1) 발의 착지

- 질주 중의 접지기는 매우 짧은 시간(최고수준의 단거리 선수: 약 0.07-0.09초,

공중기 시간 약 0.12-0.14초

- 한 번의 보폭으로 앞으로 나가는 거리에 대한 무게중심이 공중을 비행할 때 이동거리 비율은 65-75%

※ **브레이크힘**: 착지발의 무게중심 바로 밑에 또는 조금 앞에 착지발을 두는 것이 좋음.

(1) 접지기 후반 -키클력-

- 키클력을 크게 하면 달리기 속도를 향상시킴.

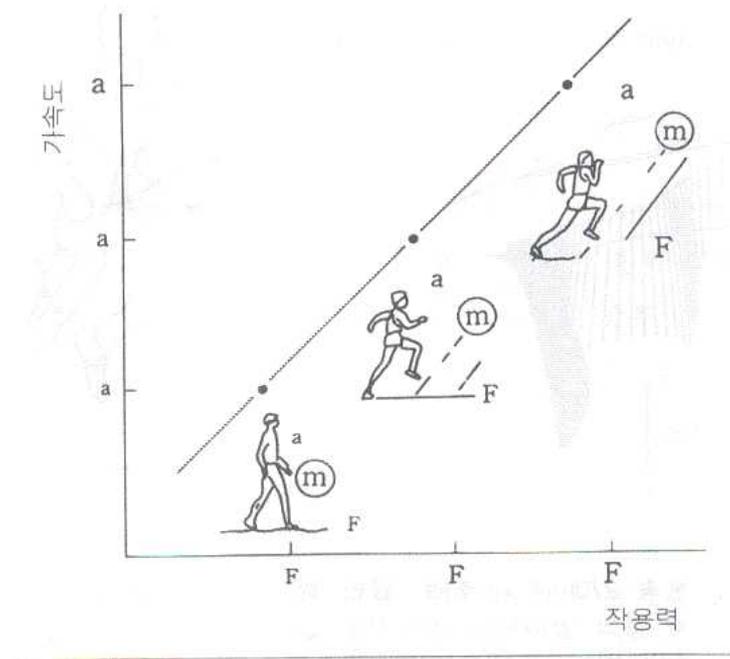


그림 101. 동일한 체중의 경우 킁했을 때 힘(F)과 가속도(a)의 관계
(Kreighbaum & Barthels, 1985)

※ 1마일을 6분의 속도로 뛰었을 때 발바닥에 실리는 힘의 방향과 크기

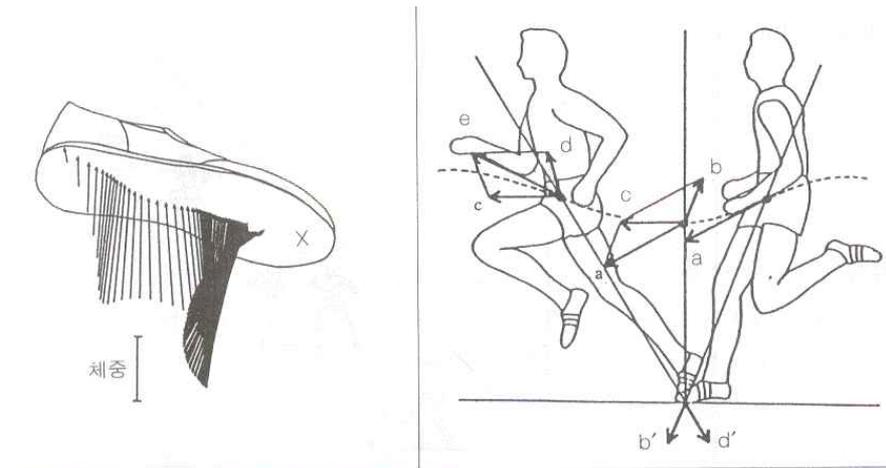


그림 102. 분속 270m(4.5m/초)로 달린
접지 중의 발바닥에 가해지는 힘의
크기와 방향 (金原 등, 1967)

그림 103. 착지시와 이지시 힘의
분포도(Adrian & Cooper, 1989)

<오른쪽 그림: 착지시>

b' : 발바닥의 착지 충격력

b : 반동력

a : 무게중심이 내려가는 추진력

c : a와 b의 합성이 무게중심을 수평방향으로 추진하는 힘
c의 힘은 브레이크힘에 의해 a보다 작아짐

<왼쪽 그림: 이질시>

d' : 킥력

d : 반동력

c : 무게중심을 유지하고 있는 추진력

e : c와 d의 합성으로 인해 신체를 전방으로 빠르게 옮기게 됨.

(3) 신체 장축 주위의 비틀림 운동

- 한쪽 다리를 지지다리로 하여 반대쪽 다리를 움직이면 지지다리의 장축 주위에 비틀림의 힘이 발생하여 허리 부분에까지 이 힘이 전달된다

==> 보폭을 크게 하기 위하여 요부 그 자체를 비틀게 된다.

- 일반적인 보행의 1보는 약 70cm이지만 허리를 크게 흔들면 100cm 이상으로 할 수 있는데 다리와 허리부분의 흔들림은 하반신에 비트는 힘을 가하여 곧바로 착지하려고 전방으로 흔들어 디딘 발을 전진방향으로부터 잘못 밟게 된다.

==> 하반신에 생긴 비틀림의 힘을 없애는 작용이 필요함

- 팔 흔들림은 하반신의 뒤틀림을 없애기 위한 동작

(달리는 방향을 정하기 위한 밸런스 동작)

(4) 피치를 올리는 동작

- 피치를 올리기 위해 다리의 뒤꿈치를 둔부에 가깝게 무릎을 최대한 굽힌다.

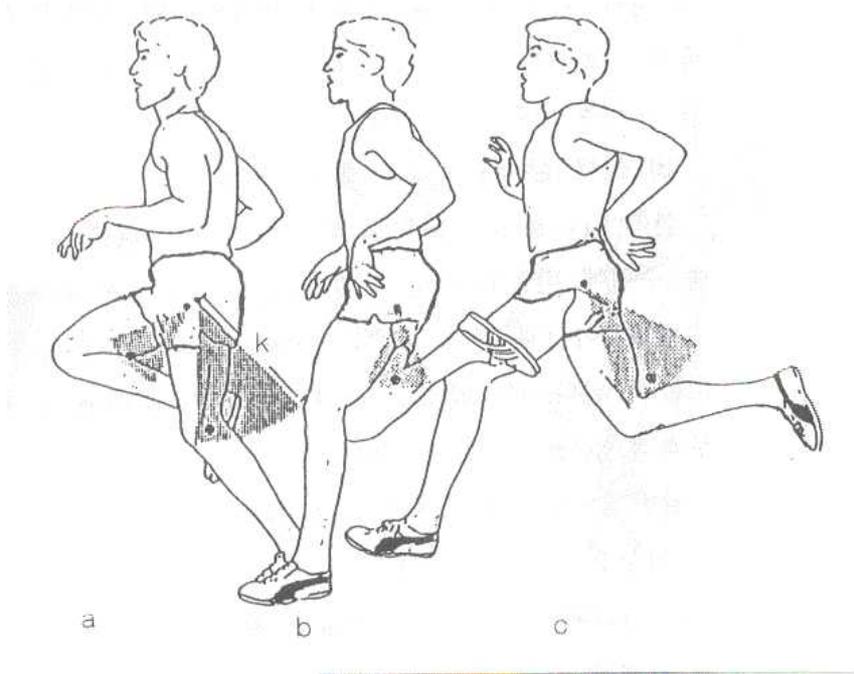
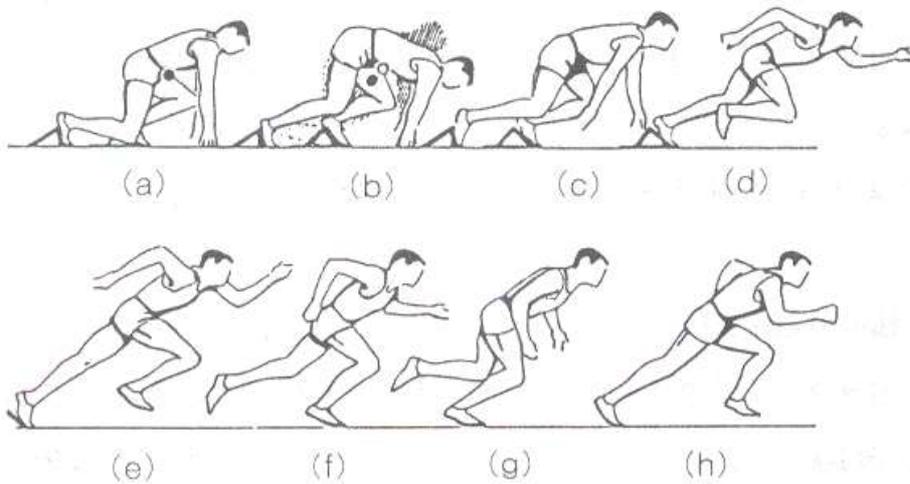


그림 104. 발을 빠르게 내딛기 위해서는 내딛는 발의 무릎을 굽힌다
(Kreighbaum & Barthels, 1985)

- a, b, c에는 각각 고관절을 무게중심으로 한 삼각호가 그려져 있다
- a에서 k의 거리는 고관절로부터 하지의 무게중심까지의 거리보다 조금 길다.
- k는 흔들어 회전시키기 쉬운 것과 어려운 것을 나타내는 물리학적 계수이다.
- k의 거리가 짧아지면 빠르게 흔들 수가 있다.

9. 단거리 스타트

- 단거리 달리는 0.1초, 최근에는 0.01초를 경쟁하는 스포츠이다.
(따라서 출발이 매우 중요한 요인 중 하나)
- 단거리 출발자세와 매우 유사한 동작은 스모의 시작 동작, 미식축구의 라인맨의 플레이때와 유사하다.



제자리(a) 준비(b)에서 첫발 킁 종료까지

그림 105. 스프린트 스타트(Hay, J. G., 1985)

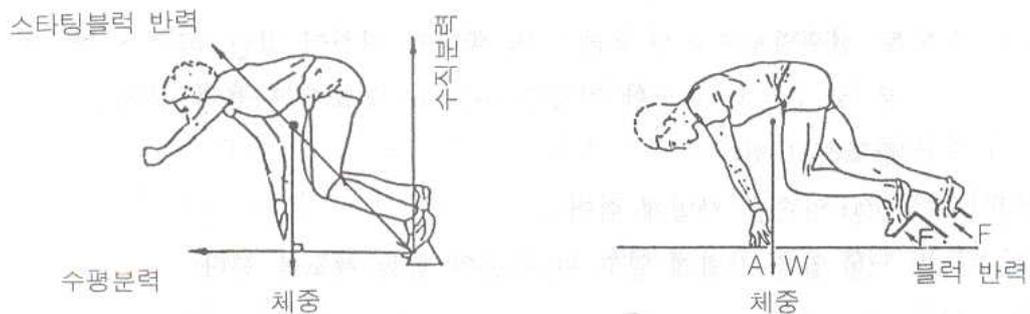


그림 106. 오른쪽 그림은 준비자세, 왼쪽편은 스타트 순간
(Kreighbaum & Barthels, 1981)

● Baumann(1976): 준비 자세에서 경기 성적이 우수한 선수일수록 양팔에 가해지는 체 중의 비율이 크다고 함.

- 우수선수(100m) 기록: 10.2-10.0초는 73-82%
10.9-11.4초의 선수는 62-75%
11.6-12.4초의 선수는 52-67% 정도

※ 100m 단거리 달리기 출발점에서 무게중심을 가능한 한 출발라인에 근접시키는 것이 유리함.

이유: 킥력에 대한 블록 반력의 수평성분이 커지며 전진속도를 크게 하는데 도움이 됨.

10. 단거리 질주시의 공기저항

- Hill(1928) "주자에 대한 공기저항"이라는 논문을 통해 발표

(1) 공기저항

- 저항계수라고도 함.

- 볼이 나아가는 전면과 후면의 압력차가 다르다(미식 축구공과 야구공의 차이).
(저항계수가 가장 적은 형이 유선형)

(2) 공기(유체) 밀도(농도)

- 표고 2,000m 정도의 높이에서는 공기가 평지보다 적다

- 멕시코시의 기압은 평지의 약 3/4정도

(공기저항이 낮기 때문에 운동시 신체의 공기저항은 적다)

(3) 공기와 정면으로 충돌하는 면적(투영면적)

- 공기가 정지해 있어도 공기 중을 움직이는 물체는 정면에서 공기와 충돌함
(즉, 충돌하는 면적이 클수록 공기저항을 많이 받는다)

(4) 운동(상대)속도

- 공기가 움직이지 않으면 움직이는 물체가 곧 속도가 됨

- 공기저항은 상대속도의 제곱에 비례하여 커짐

(순풍에서는 바람속도와 움직이는 물체속도와의 차, 역풍에서는 각각 속도의 합

이 됨

= 상대속도).

※ 단거리 달리기는 속도가 크기 때문에 상대속도의 영향을 크게 받음

▣ 공기저항 공식

$$R_{air} = 0.056Av^2 \dots \dots \dots (1)$$

R_{air} : 공기저항(kg)

A : 횡단면적

v : 상대속도(m/초)

▣ 투영면적 공식

$$\text{투영면적}(A) = 0.16H^2 \dots \dots \dots (2)$$

H : 신장(cm)