

권은성 ZOOM 전공체육
운동역학

권은성·조운호 편저

박문각 임용

동영상강의 www.pmg.co.kr

박
문
각

차례

PART

01

운동역학의 기초

Chapter 01

운동역학 개요

01. 운동역학의 필요성	… 8
02. 운동역학의 내용	… 10
03. 운동역학의 목적	… 12
04. 운동의 정의와 종류	… 14

PART

02

운동학적 분석

Chapter 01

선운동의 운동학적 이해

01. 선운동의 운동학적 기초	… 18
02. 투사체 운동의 운동학적 분석	… 31

Chapter 02

각운동의 운동학적 이해

01. 각운동의 운동학적 기초	… 38
02. 각운동의 운동학적 분석 요인	… 39
03. 선운동과 각운동의 통합	… 43

PART

03

운동역학적 분석

Chapter 01

선운동의 운동역학적 이해

01. 선운동의 운동역학적 기초	… 52
02. 힘	… 53
03. 힘의 유형	… 66
04. 뉴턴의 운동 법칙	… 68
05. 힘과 선운동	… 70
06. 충돌의 운동역학적 원리	… 88
07. 일과 일률	… 109
08. 에너지	… 113

Chapter 02

각운동의 운동역학적 이해

01. 각운동의 운동역학적 기초	… 125
02. 지레와 인체의 기계작용	… 141
03. 구심력과 원심력	… 147
04. 각운동량과 각충격량	… 155
05. 토크에 의한 일과 일률	… 165

PART

04

인체역학 및 현장 적용

Chapter 01

인체역학

01. 인체의 해부학적 지식	… 186
02. 인체의 물리적 특성	… 194
03. 인체의 균형과 안정성	… 196

Chapter 02

스포츠 현장 분석

01. 걷기와 달리기	… 201
02. 뛰기	… 207
03. 던지기	… 213
04. 수영	… 217
05. 기타 종목	… 219

Chapter 03

유체역학

01. 유체	… 168
02. 부력	… 170
03. 항력	… 173
04. 양력	… 177

권은성 ZOOM 전공체육
운동역학

PART

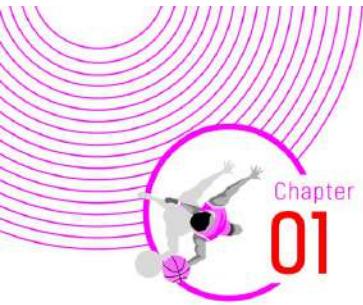
03

운동역학적 분석

Chapter 01 선운동의 운동역학적 이해

Chapter 02 각운동의 운동역학적 이해

Chapter 03 유체역학



선운동의 운동역학적 이해

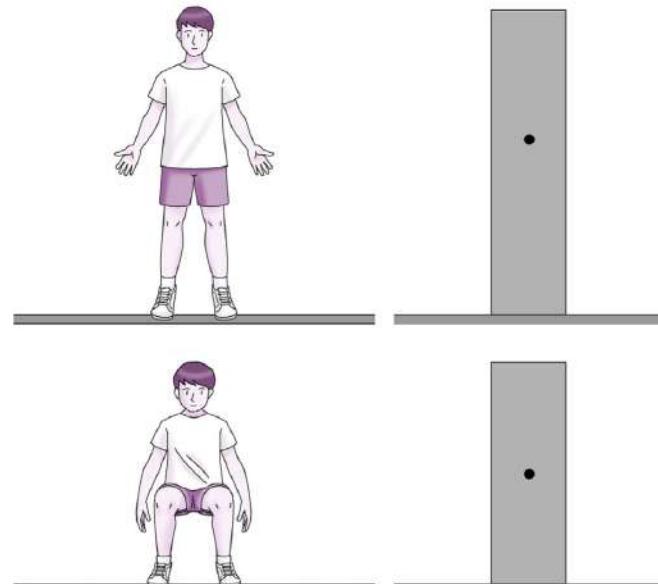
01 선운동의 운동역학적 기초

변인	공식	변인	공식
힘 = 질량 · 가속도	$\vec{F} = ma$	운동 마찰력 = 운동마찰계수 · 수직항력 *	$\vec{F} = \mu N$
선운동량 = 질량 · 속도	$\vec{p} = m\vec{v}$	반발계수 e $= \frac{\text{충돌 후 상대속도}}{\text{충돌 전 상대속도}}$	$e = \left \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\vec{U}_2 - \vec{U}_1} \right $
일 = 힘(N) · 변위(m) or 힘(N) · 변위(m) · $\cos\theta$	$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$	충격량 = 힘(N) · 시간(s) 충격량 = 운동량변화 **	충격량 = $\vec{F}t$
일률(파워) = 일(J)/시간(s) = 힘 · 속도	$P = \frac{W}{t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$	운동에너지 = $\frac{1}{2} \cdot \text{질량} \cdot \text{속도제곱}$	$E_K = \frac{1}{2} m V^2$
중력에 의한 위치에너지 = (질량 · 중력가속도) · 높이	$E_p = mgh$	탄성(변형)에 의한 위치에너지 = $\frac{1}{2} \cdot \text{탄성계수} \cdot \text{변형량의 제곱}$	$E_S = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$
역학적 에너지 = 운동에너지 + 위치에너지 + 탄성에너지	$E_M = E_p + E_K + E_S$	일(힘 × 변위) = 에너지 변화량 ***	$W = \Delta E_p + \Delta E_K + \Delta E_S$

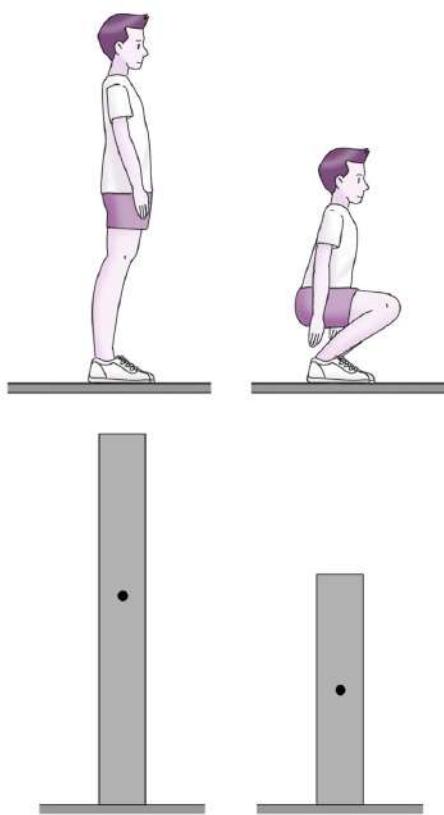
* 정지 마찰력의 크기는 외력의 크기에 의해 결정됨

** 운동량의 변화가 되는 충격량은 알짜힘에 의한 충격량임

*** 알짜힘에 의한 일은 운동에너지 변화, 중력에 의한 일은 ‘-(중력포텐셜에너지 변화)’, 중력 이외의 힘에 의한 일은 역학적 에너지 변화



✚ 사람이 가만히 서 있는 모습에 해당하는 자유물체도(힘 표시 전)



✚ 사람이 서 있을 때와 앉았을 때에 해당하는 자유물체도(전후면, 힘 표시 전)

06 충돌의 운동역학적 원리

1. 운동량과 충격량 1999년 3번 / 2001년 6번 / 2005년 20번 / 공청회 16번 / 2010년 32번, 34번 / 2011년 31번 / 2012년 33번 / 2015년 A 서술 3번 / 2017년 A 5번 / 2018년 초등 9번 / 2019년 A 14번 / 2020년 B 11번

(1) 운동량

	<ul style="list-style-type: none"> 운동하는 물체의 질량과 속도의 곱으로 나타내는 물리량 <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; margin-top: 10px;"> $\text{운동량} = \text{질량} \times \text{속도}$ $\vec{p} = m \times \vec{v}$ </div> <ul style="list-style-type: none"> 크기와 방향을 가진 벡터양 운동량의 단위는 $\text{kg} \cdot \text{m/s}$
	<p>예시 ①</p> <p>The figure shows four examples of calculating momentum:</p> <ul style="list-style-type: none"> A small ball with mass 0.02 kg moving at 1 m/s has a momentum of 0.02 kg·m/s. A baseball with mass 0.2 kg moving at 4 m/s has a momentum of 0.8 kg·m/s. A bowling ball with mass 2 kg moving at 1 m/s has a momentum of 2 kg·m/s. A baseball with mass 0.2 kg moving at 40 m/s has a momentum of 8 kg·m/s.
	<p>예시 ②</p> <p>운동 중 물체는 항상 운동량이 존재하며, 충돌이나 충격이 이루어지는 스포츠에서 중요한 역할을 한다. 운동량을 증가시키기 위해서는 질량과 속도를 증가시켜야 하는데, 선수가 질량을 증가시키는 최선의 방법은 지방보다는 근육의 질량을 증가시키는 것이다. 근육이 발달하면 파워가 증가되어 보다 빠르게 움직이면서 효율적으로 수행할 수 있게 된다. 대부분의 운동에서 최대의 운동량 생성보다 적절히 조절된 운동량이 요구된다.</p> <p>예시 ③</p> <p>농구에서 3점 슛을 시도하는 슈터는 공이 림 안으로 들어갈 수 있도록 적절히 운동량을 조절하여 공을 던질 수 있어야 한다. 따라서 정확한 거리를 날아갈 수 있도록 공에 정확한 운동량을 가해야 한다.</p>

(2) 충격량

① 개념

$$\text{충격량} = \text{힘} \times \text{작용시간}$$

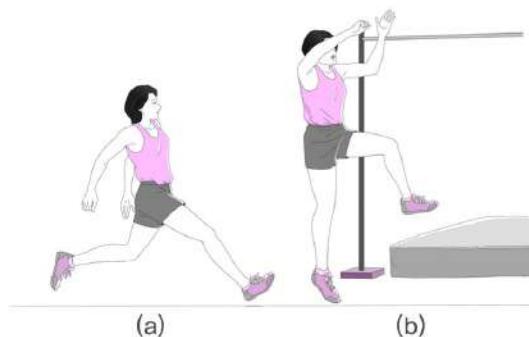
$$\vec{I} = \vec{F} \times \Delta t$$

- 충격량은 시간 동안 물체에 가해진 힘의 총량
- 물체에 가한 충격의 양 혹은 물체의 운동 상태를 변화시킨 양
- 충격량은 크기와 방향을 가진 벡터양
- 충격량의 단위는 N·s로, 운동량 단위 kg·m/s와 차원이 일치

예시 ①

정지된 공에 1초 동안 힘을 가한다면, 1N의 힘보다 10N의 힘을 가할 때 공의 최종속도는 더 빨라지며, 0.1초 동안 힘을 가하는 것보다 1초 동안 힘을 가할 때 공의 최종속도는 더 빨라진다.

② 적용



높이뛰기 발구름 마지막 순간 후방 경사와 풀스쿼트를 통해 작용시간과 지면반력에 의한 충격력을 증가시키면 충격량이 증가된다.

예시 ③

단거리 선수 접지기 시 인체 중심이 수직 하방 전방에 위치할 경우 (+) 충격량으로 작용되고, 인체 중심이 수직 하방 후방에 위치하면 (-) 충격량으로 작용된다.

출발	(-) 충격량 < (+) 충격량 → 수평속도 증가
전력 질주	(-) 충격량 = (+) 충격량 → 수평속도 일정
결승선 통과 후	(-) 충격량 > (+) 충격량 → 수평속도 감소

3. 임팩트와 리바운드 2021년 B 11번

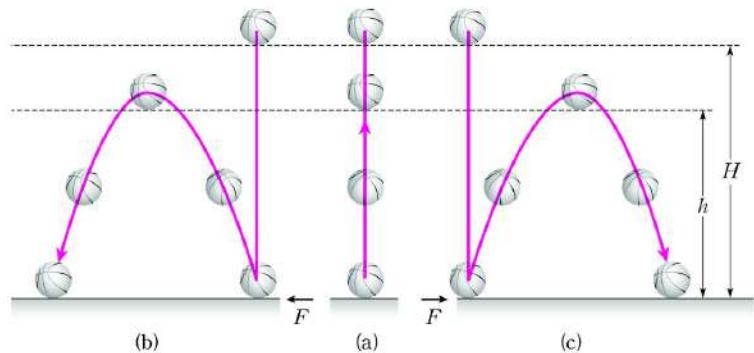
(1) 임팩트

① 개념	정의	• 물체가 충돌하는 순간을 '임팩트'라고 하며, 물체가 충돌할 때 받는 힘을 '임팩트 힘'이라고 한다.
	영향 요인	<ul style="list-style-type: none"> • 임팩트 순간 두 물체의 총 운동에너지 • 힘이 가해지는 시간 • 충돌 면적
<p>충돌 물체의 운동에너지가 크면 클수록 임팩트 힘이 증가되며, 충격량이 일정할 때 힘이 가해지는 시간이나 면적이 증가하면 임팩트 힘은 감소된다.</p>		
② 종류	직접 임팩트	<ul style="list-style-type: none"> • 두 물체가 정면으로 충돌할 때 생기는 임팩트
	간접 임팩트	<ul style="list-style-type: none"> • 두 물체가 사각으로 충돌할 때 생기는 임팩트
<p>스포츠 장면에서 탄성체의 충돌은 대부분 사각 충돌이며 회전을 동반하여 리바운드 각도는 일정하지 않다.</p>		

(2) 고정 면 사각 충돌

임팩트 후 물체가 튀어나가는 것을 '리바운드'라고 한다. 농구 패스와 슈팅, 테니스 서브와 스매싱, 축구 키 등에서 리바운드 방향은 리바운드 힘의 방향에 의해 결정되며, 리바운드 힘의 방향은 임팩트 각도에 의해 결정된다.

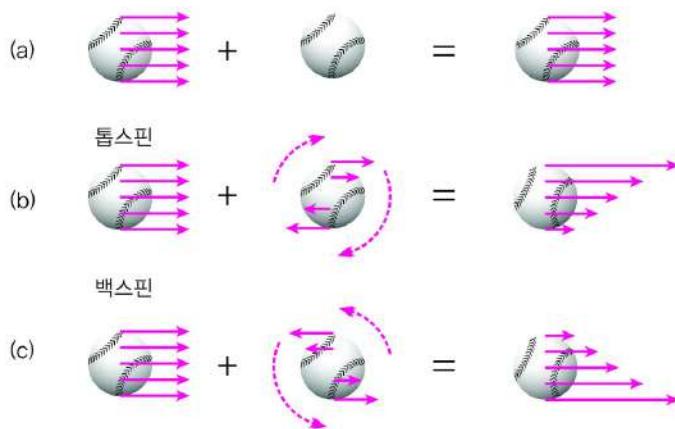
① 수평 영향	<ul style="list-style-type: none"> • 고정된 바닥과 벽면 등에 사각 충돌하여 리바운드되는 공은 충돌의 원리, 공의 회전, 마찰력에 영향을 받는다. • 사각 충돌 공은 충돌 전과 후 속도 변화 및 입사각과 반사각이 발생된다. 완전 탄성충돌에 의한 사각 충돌에서 입사각과 반사각은 동일하며, 충돌 전후 에너지도 동일하게 보존된다.
	<ul style="list-style-type: none"> • 반발계수(e)가 0보다 크고 1보다는 작은 공에서 공의 스피드와 마찰을 무시할 때 반사각이 입사각보다 항상 크게 된다. 그러나 실제 스포츠 현장에서 사각 충돌은 공의 스피드로 충돌 면과 마찰력이 발생되어 입사각과 반사각의 관계는 복잡한 양상을 띠게 된다. 즉, 공의 스피드 효과로 충돌 시 수평 방향의 힘(마찰력)이 작용되어 충돌 후 공의 속도와 방향은 표면에 직각으로 작용하는 탄성 효과와 표면에 수평으로 작용하는 마찰력 효과로 결정된다.



② 수직 영향

- 공의 반발계수가 1보다 작고 스핀이 없는 경우 (a)와 같이 공을 낙하시킨 높이에 약간 못 미치는 높이까지 수직으로 리바운드된다. 공에 스핀이 가해진 경우에는 공이 바닥에 접촉되는 순간 공의 스핀 방향과 반대 방향의 수평 반작용력, 즉 마찰력이 생기게 된다. 이러한 수평 반작용력(마찰력)에 의하여 그림 (b), (c)와 같이 공은 스핀의 반대 방향으로 가속되며 그 결과 공은 바닥에 충돌 후 포물선 궤적을 그리면서 수평 및 수직 이동을 하게 된다. 이때 공에 가해진 스핀으로 충돌 순간 생성된 수평 방향의 힘(마찰력)은 공의 수직운동에는 영향을 미치지 않는다. 따라서 (a), (b), (c) 모두 공이 리바운드되는 높이는 동일하다. 즉, 공의 리바운드 높이는 낙하 높이와 반발계수에 의하여 결정된다.

- 스핀이 가해진 공은 수직 및 수평속도를 지니고 고정 면에 사각 충돌에서 마찰력의 영향을 받는다.



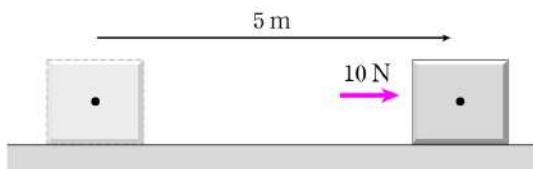
✚ 병진속도 성분과 회전속도 성분에 의한 공의 수평속도

③ 유형

- (a)와 같이 공에 스핀이 가해지지 않았을 경우 공이 코트에 충돌하는 순간 공 전체는 동일한 수평속도를 지닌다. 이때 마찰력은 충돌 순간 공의 수평속도와 접촉면(코트)의 특성으로 결정된다.
- (b), (c)와 같이 공에 톱스핀 혹은 백스핀이 가해졌을 때 공의 수평속도는 중심에 수평 운동을 일으키는 선속도 성분과 공 중심을 축으로 회전하는 회전속도 성분의 두 가지 성분속도의 합으로 결정된다.

문제 1

그림과 같이 물체가 오른쪽으로 10N의 힘을 받으며 오른쪽으로 5m만큼 이동했다.



(1) 물체는 마찰과 공기 저항을 받지 않으며 1초 만에 이동했다고 한다면, 10N이 물체에 한 일과, 10N의 일률은?
(단, 중력가속도의 크기는 10m/s^2 이다.)

(2) 물체는 바닥면으로부터 마찰력 2N을 받으며 2초 만에 5m를 이동했다고 할 때 다음 물음에 답하시오.
(단, 중력가속도의 크기는 10m/s^2 이다.)

① 중력이 물체에 한 일은?

② 10N이 물체에 한 일과 일률은?

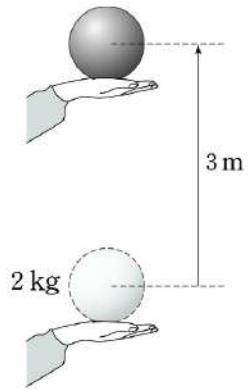
③ 마찰력이 물체에 한 일과 일률은?

④ 10N이 마찰력에 대하여 한 일과 일률은?

문제 ②

그림과 같이 질량 2kg인 공을 손으로 3m만큼 들어 올리는 데에 2초가 걸렸다.
공이 등속운동했으며 마찰이나 공기저항 등은 모두 무시한다고 할 때 다음 물음에 답하시오. (단, 중력가속도의 크기는 10m/s^2)

(1) 공이 받는 중력의 크기와 방향은?



03

(2) 손이 공에 가하는 수직항력의 크기와 방향은?

(3) 공이 손에 가하는 수직항력의 크기와 방향은?

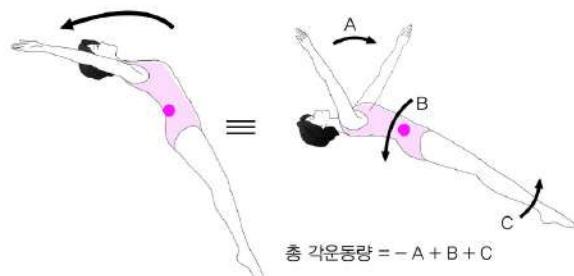
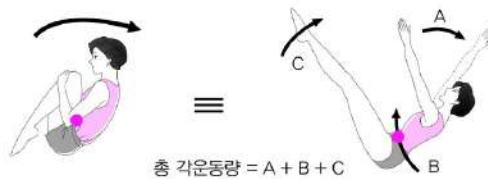
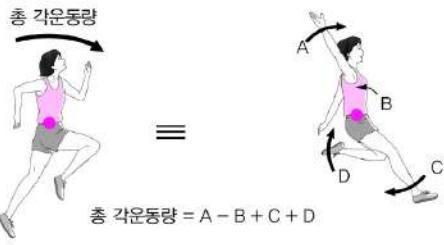
(4) 중력이 공에 한 일과 일률은?

(5) 손이 공에 가한 힘이 공에 한 일과 일률은?

(6) 손이 공에 가한 힘이 공이 받는 중력에 대하여 한 일과 일률은?



예시 3



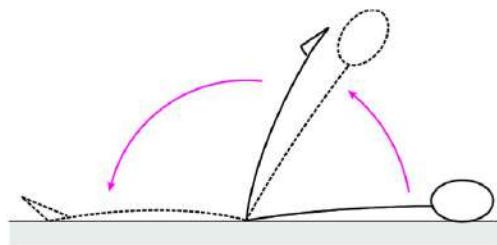
(2) 적용

예시 4



배구 스파이크 공중동작에서 상체를 반시계 방향으로 젓히는 동작의 작용으로 하체의 시계 방향 반작용과 엉덩이와 배가 전방으로 이동되는 반작용이 발생된다.

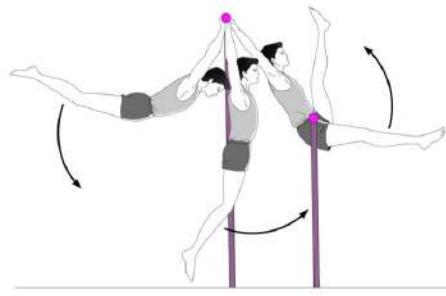
예시 5



하지를 들어 올렸다가 고관절을 축으로 급격히 내림과 동시에 고정하면 하지 각운동량이 상체 각운동량으로 전이된다.

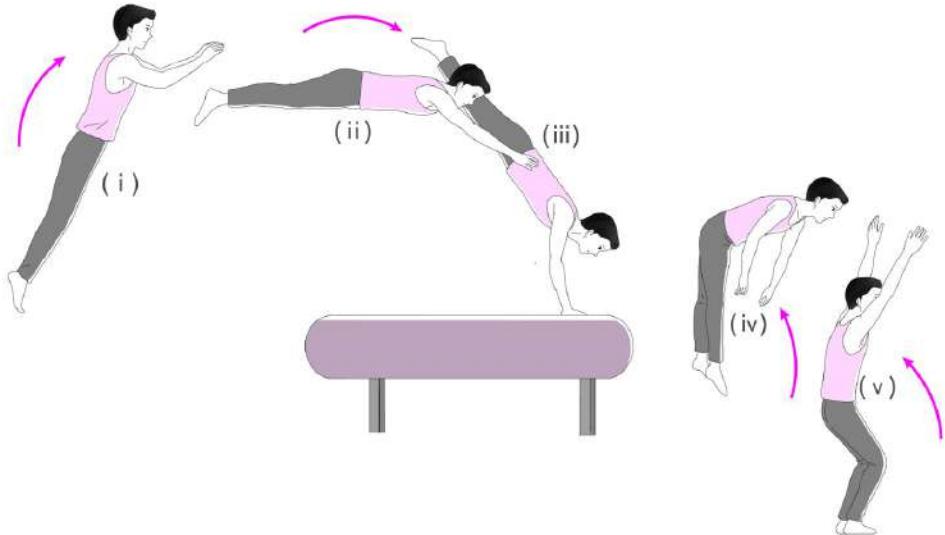
(2) 적용

예시 6



2단 평행봉 윗 봉에서 아랫 봉으로 향하는 순간 아랫 봉에 의해 상체 각운동량이 순간적으로 제지되어 상체 각운동량이 하체 각운동량으로 전이된다.

예시 7



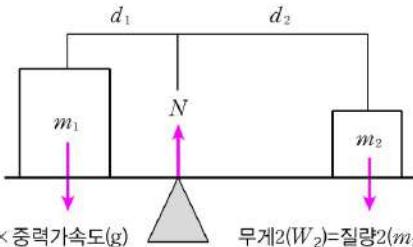
뜀틀 발구름판 이륙 직후, 양발의 순간적 고정은 신체 선운동량을 각운동량으로 전이시키고, 양손이 뜁들을 짚는 순간 신체 시계 방향의 회전은 반시계 방향 각운동량으로 전이된다.

예시 8

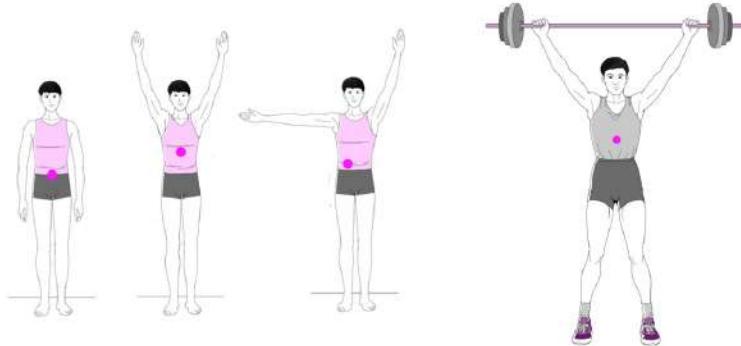


높이뛰기 발구름을 하지 않는 다리 굴곡과 양팔 상방 스윙으로 생성된 각운동량은 전신으로 전이되어 지면을 밀어내는 추진력 증가에 도움을 제공한다.

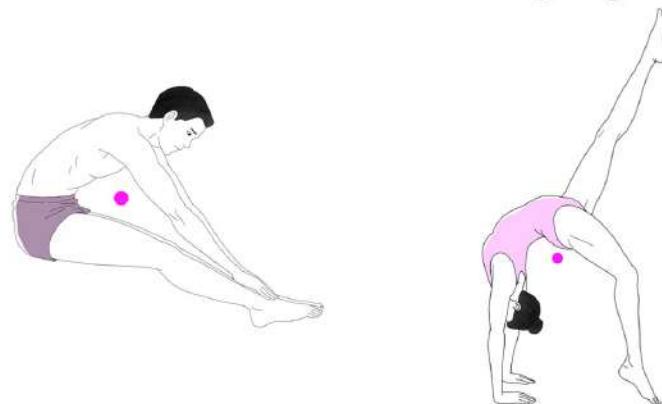
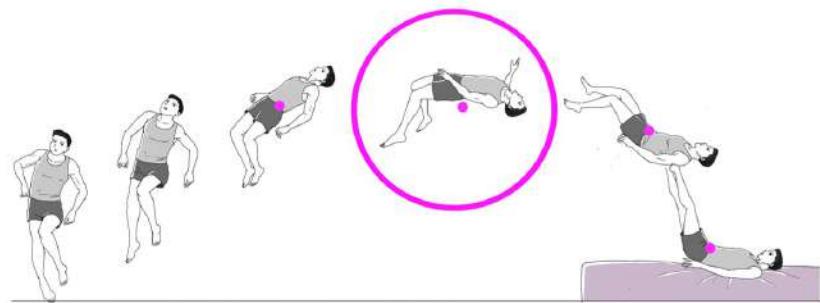
02 인체의 물리적 특성

	<p>(1) 인체와 모든 물체에서 불변하는 물리량이다. (2) 질량은 크기가 항상 일정하며 외부의 힘으로부터 물체를 가속하기 어렵게 만드는 특성을 지닌다. (3) 물체 관성의 척도</p> <p style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px;">동일한 힘을 가했을 때 질량이 큰 사람은 작은 사람에 비해서 가속시키기 어렵다.</p>
2. 무게	<p>(1) 지구가 물체에 가하는 중력의 크기이다. (2) 질량은 스칼라양이며 무게는 크기와 방향을 가진 벡터양이다.</p> <p style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px;">일상생활에서 '체중이 70kg이다.'라는 표현은 중력가속도가 생략된 말이므로 무게의 단위를 정확하게 표현하면 $70\text{kg} \cdot \text{g}$이 된다.</p> <p>(3) $\text{kg} \cdot \text{g}$(킬로그램중), N(뉴턴) 등의 단위를 사용한다.</p>
3. 중심	<p>(1) 질량중심</p> <p>물체의 질량이 모든 방향에서 똑같이 분포되어 있는 특정 지점이다.</p> <p>① 물체의 무게가 모든 방향으로 동일하게 분포되어 있는 점 또는 물체분 절 무게에 의해 생성된 토크의 합이 '0'인 지점이 무게중심이 된다. ② 자세 변화와 상관없이 지구의 중력은 무게중심에 집중되어 추진을 위 해 선수가 주로 극복해야 할 힘으로 작용된다.</p>
	<p>예시 ①</p> <p>운동 중 자세 변화는 무게중심의 위치를 변화시킨다.</p> <p>예시 ②</p>  <p>무게₁(W_1)=질량₁(m_1)× 중력가속도(g) 무게₂(W_2)=질량₂(m_2)× 중력가속도(g)</p> <p>무게와 모양이 다른 물체가 막대 양 끝에서 균형을 유지하려고 한다. 각각의 물체에 작용하는 힘은 중력중심 방향으로 W_1, W_2, 질량 30kg W_1, 질량 20kg W_2, 막대의 전체 길이가 1m일 때, 두 물체가 균형을 유지한다고 할 경우 막대의 중력중심은 W_2 중심으로부터 0.6m, W_1 중심으로부터 0.4m 떨어진 지점으로 결정된다.</p>

• 인체 정적 자세는 무게중심이 고정된 상태이며 동적 움직임은 무게중심의 위치 변화로 가능하다. 정적 자세에서 분절위치를 고정할 경우 무게중심 위치는 고정되며, 사지의 위치 변화는 동적 움직임을 위한 무게중심 위치 변화를 생성한다. 즉, 분절의 위치를 움직이고자 하는 방향으로 이동시키면 무게중심의 위치가 변화된다.

예시 ①

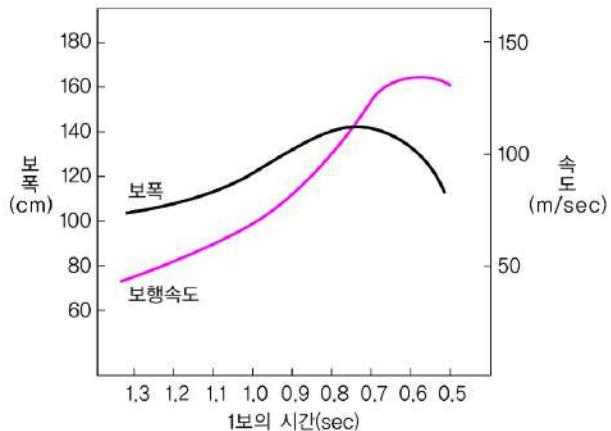
3. 중심 (3) 무게중심 이동의 원리

**예시 ②**

공중에서 인체 무게중심은 중력과 일치되어 무게중심의 비행경로는 전환이 불가능하다. 즉, 무게중심의 비행경로는 도약 순간에 이미 결정된다.

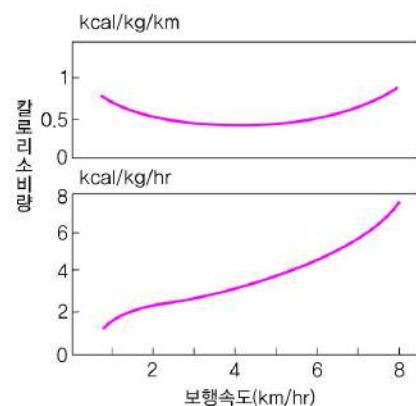
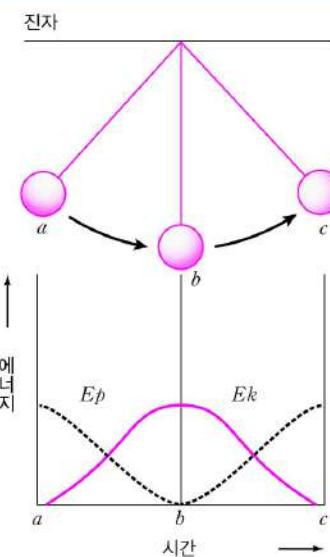
(2) 보폭과 속도

$$\text{속도(m/s)} = \text{보폭(cm)} \times \text{보수(회/s)}$$

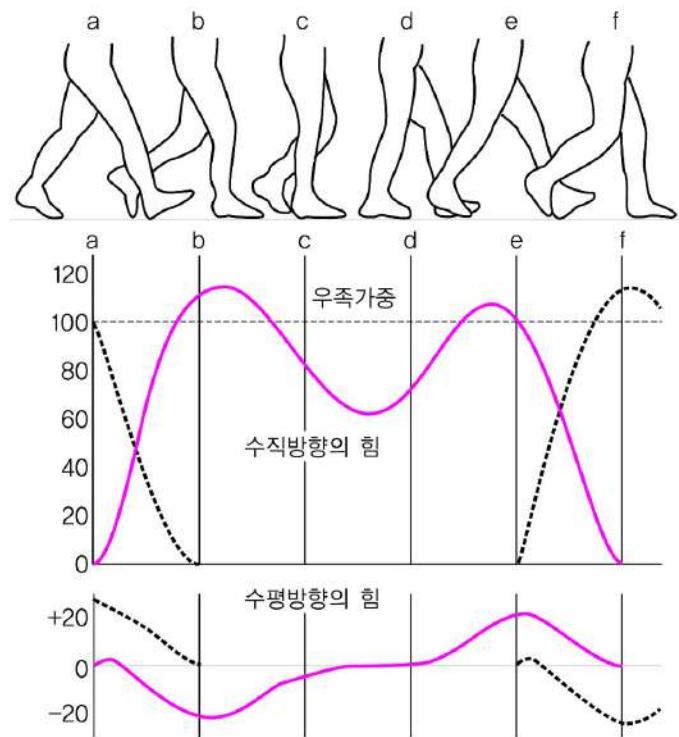


걷기의 속도는 보폭(stride : 1보의 거리)과 보수(pitch : 1초간의 보수)로 결정된다. 보행속도를 빠르게 하려면 보폭을 넓게 하고 1보의 소요시간을 단축해야 한다. 그러나 보수 증가를 위해 1보 소요시간을 지나치게 단축할 경우 보폭 역시 크게 감소되어 보행속도가 감소된다.

(3) 에너지 소비량과 속도



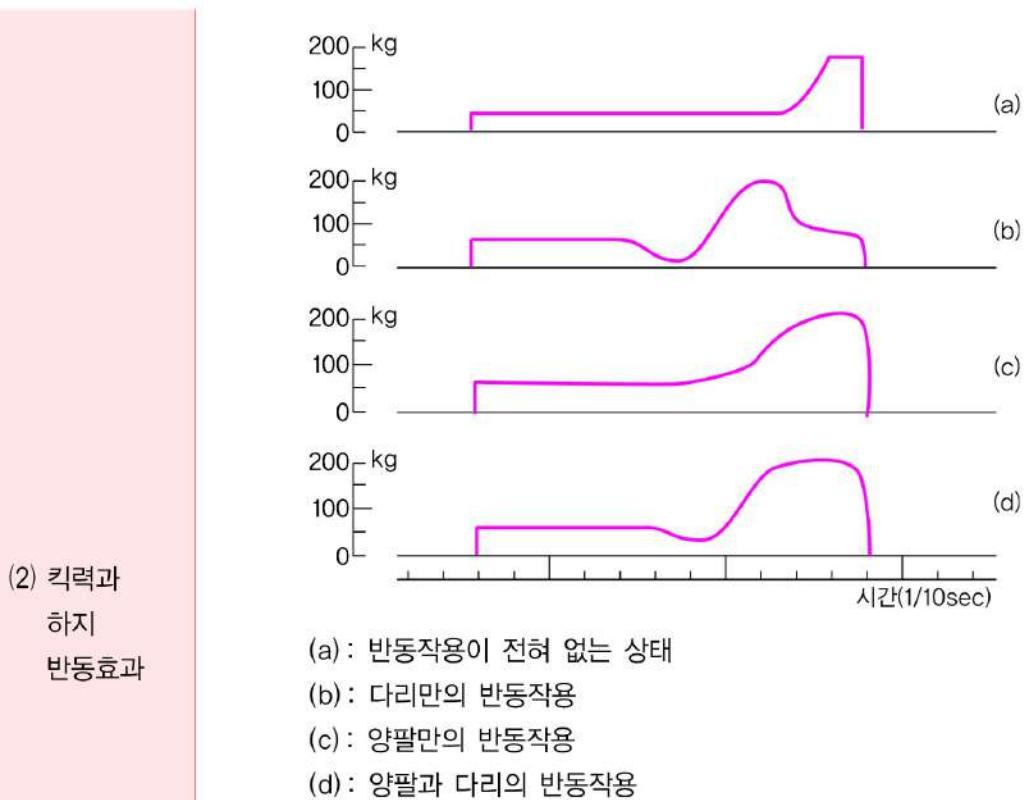
걷는 속도가 빨라지면 단위 시간당 이동거리가 증가되어 시간당 · 체중당 에너지 소비량(kcal/kg/sec)이 증가한다. 그러나 걷기동작은 일종의 진자 운동과 유사한 형태를 보여 일정 거리를 걷는 데 소비되는 에너지양은 걷는 속도에 크게 영향을 받지 않는다. 진자 운동 형태는 위치에너지와 운동에너지 증감이 반대로 이루어져 역학적 에너지가 외부로부터 추가로 공급될 필요가 없다. 걷기는 운동 속도가 분당 60~80m일 때 에너지 측면에서 가장 경제적이다.



(4) 지면반력

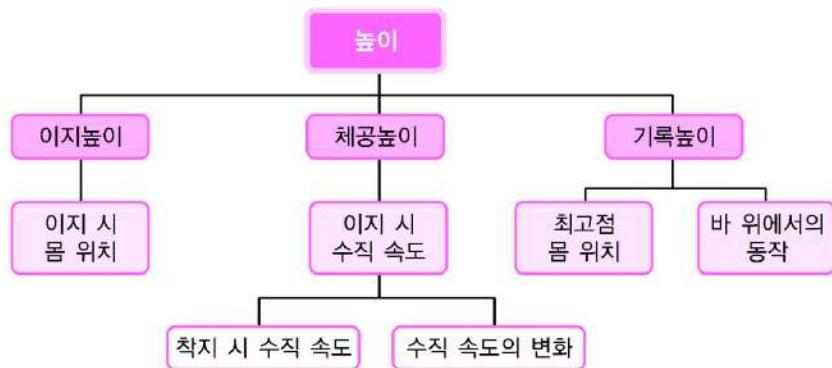
- a. 오른발 뒤꿈치의 착지: 오른발로 체중 이동
- b. 오른발에 체중이 실림: 중심의 상승은 약간의 가속도를 동반하기 때문에 지면반력은 체중보다 약간 더 커진다(+20%).
- c~d. 상체가 전하방으로 이동: 지면반력은 체중보다 적어진다(-35%).
- e. 좌우 발뒤꿈치의 착지: 체중과 추진력의 합력은 체중 보다 약간 크다(+10%).

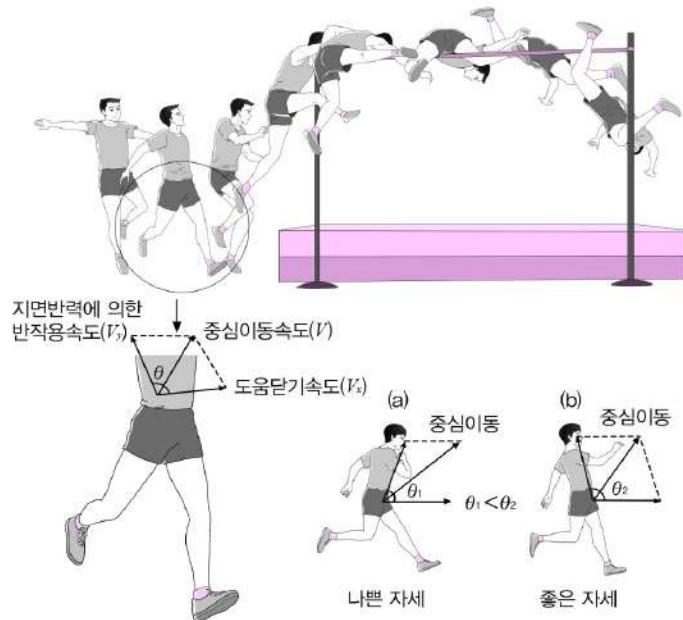
걷기는 뉴턴의 작용-반작용 법칙에 근거하여 지면을 발로 밀면 지면이 체중과 하지 추진력의 합력과 방향이 반대이고 크기가 같은 반작용력을 다리로 보내어 신체가 전진된다. 억제기 시작에서 체중의 영향으로 수직 지면반력이 증가되고 전후 지면반력은 신체 균형을 위해 전진 방향과 반대로 작용하게 된다. 억제기와 추진기로 넘어가는 과정(이중 지지기)에서 수직 지면반력은 저하되고 전후 지면반력은 순간적으로 '0'의 상태에 이르게 되며 이후 추진기에서 수직 및 전후 지면반력은 다시 증가하게 된다. 또한, 억제기와 추진기 사이 발의 내번은 좌우 지면반력을 발생시키기도 한다.



동작유형	가해진 최대력 (kg)	평균력 (kg)	힘이 가해진 시간(s)	충격량 (kg · s)	초속도 (m/s)	도약 높이 (cm)
(a)동작	130	80	0.26	20.8	3.2	52
(b)동작	220	60	0.40	24.0	3.6	66
(c)동작	104	70	0.32	22.4	3.4	59
(d)동작	110	68.8	0.36	24.8	3.8	74

(3) 경기력
결정 요인





(3) 경기력 결정 요인

도움닫기	<ul style="list-style-type: none"> 도움닫기 거리, 질주속도, 보폭과 보수, 템포 변화 멀리뛰기보다 상대적 선속도 감소 요구 몸을 안쪽으로 기울여 구심력 생성 도움닫기 마지막 국면에서 무게중심을 낮추어 발구름에서 다리의 강력한 신전력 획득
발구름	<p style="text-align: center;">역학적 요인</p> <ul style="list-style-type: none"> 수평속도 요인: 도움닫기 구간의 선속도 수직속도 요인: 지면반력에 의한 충격량(하지 굽신력과 작용시간) <p style="text-align: center;">양팔과 구르지 않는 다리의 상방 스윙</p> <ul style="list-style-type: none"> 운동량 전이를 통한 상방가속과 구르는 발의 하방 추진력 증가 양팔과 구르지 않는 다리의 굴곡 → 관성모멘트 감소 → 상방 스윙속도 증가 → 신체중심의 상승 가속도 증가 <p style="text-align: center;">구름발과 작용시간</p> <ul style="list-style-type: none"> 무게중심 낮추어서 발구름으로 작용시간 증가 → 충격량 증가 후방 기울이기에 의한 작용시간 증가 → 충격량 증가
공중동작	<ul style="list-style-type: none"> 무게중심 궤적의 변화는 발구름 순간 이미 결정 상체를 젖히고 다리를 낮추면 반작용으로 엉덩이가 위쪽으로 이동 바를 넘은 후 다시 반작용을 이용해 다리는 상방, 바를 넘어간 엉덩이는 하방 이동
착지	<ul style="list-style-type: none"> 충격력 분산 작용시간과 면적 증가



2023 고객선호브랜드지수 1위
교육서비스 부문



2022 한국 브랜드 만족지수 1위
교육(교육서비스)부문 1위



2021 대한민국 소비자 선호도 1위
교육부문 1위 선정



2020 한국 산업의 1등
브랜드 대상 수상



2019 한국 우수브랜드평가대상
교육브랜드 부문 수상



2018 대한민국 교육산업 대상
교육서비스 부문 수상



2017 대한민국 고객만족
브랜드 대상 수상

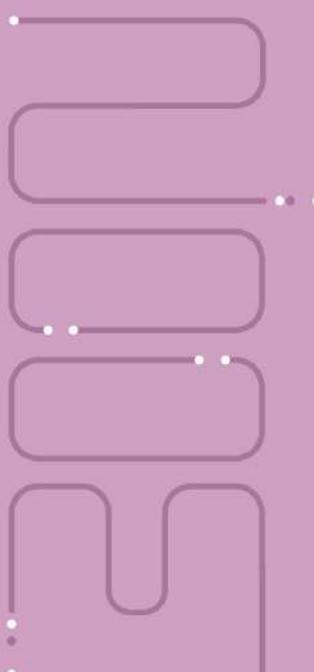


2017 한국소비자선호도 1위
브랜드 대상 수상



브랜드스탁 BSTI
브랜드 가치평가 1위

권은성 ZOOM 전공체육 운동역학



박문각

www.pmg.co.kr

정가 17,000원



ISBN 979-11-6987-686-5
SET 979-11-6987-684-1

• 교재 관련 문의 02-6466-7202 • 학원 관련 문의 02-816-2030 • 동영상 강의 문의 02-6466-7201