중3 과학 · 에너지 전환과 보존 VI02

마찰이 없다면 진자는 왜 처음 높이까지 올라갈까?

중3 과학 · 역학적 에너지 보존 — 진자에서 실험과 그래프까지

추를 한쪽으로 들어 올렸다 놓으면 아래로 내려왔다가 반대편으로 올라간다. 가운데에서 가장 빠르던 추가 반대편 끝에서는 잠깐 멈춘다. 에너지가 사라졌다 생기는 것일까? **추의 위치 에너지와 운동 에너지를 함께 보면, 반대편에서 도달할 높이까지 알 수 있다.**

예측해 보자 — 가만히 놓은 추는 반대편에서 처음보다 더 높이 / 같은 높이까지 / 더 낮게 올라갈까?

반대편에서는 어디까지 올라갈까?



추를 밀지 않고 가만히 놓아 보자.
반대편 높이는 더 높을까, 같을까, 더 낮을까?

© 대치동 재우쌤 | 010-9524-4849 | https://leessaem.com/ | https://blog.naver.com/leessaem84
본 자료는 직접 제작한 학습 자료입니다. 개인 학습을 위한 열람·인쇄는 자유롭게 할 수 있으며, 무단 복제·재배포·수정 후 재배포 및 상업적 이용을 금합니다.

질문 지도

묶음	읽다가 생기는 질문	확인 문제
1. 경로와 높이	Q1 다른 길 · Q2 진자 · Q3 질량과 속력 · Q4 도착 시간	1–18
2. 자료로 확인	Q5 측정과 비교 · Q6 그래프의 가로축	19–32
3. 실제 운동	Q7 줄어든 역학적 에너지	33–40
선택 확장	시작할 때 움직인 추 · 튀어 오른 높이와 속력	선택 1–2

먼저 꺼내 올 것

개념	확인할 뜻·식
기준면	높이를 0으로 정한 면. 이 면에서 위치 에너지를 0으로 정한다.
위치 에너지(중력에 의한 위치 에너지)	위치 에너지(J) = 9.8 × 질량(kg) × 높이(m) = 9.8mh
운동 에너지	운동 에너지(J) = ½ × 질량(kg) × [속력(m/s)]^2 = ½mv^2
역학적 에너지	위치 에너지 + 운동 에너지
역학적 에너지 보존 법칙	공기 저항이나 마찰이 없고 외부에서 에너지를 더하거나 빼지 않으면, 운동하는 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.
에너지 보존 법칙	에너지는 형태가 바뀌어도 새로 생기거나 없어지지 않으며, 전체 양은 일정하다.
자유 낙하	정지해 있던 물체가 중력만 받아 떨어지는 운동
일	힘의 방향과 물체가 움직이는 방향이 수직이면, 그 힘이 한 일은 0이다.
에너지 전환	한 형태의 에너지가 다른 형태로 바뀌는 것
속력과 운동 방향	같은 속력이어도 운동 방향은 다를 수 있다.

기호의 뜻 — m은 질량(kg), h는 기준면부터의 높이(m), v는 속력(m/s)이다. 높이는 물체 중심의 높이로 비교한다.

조건 칩 범례

칩	뜻
A	공기 저항과 마찰을 무시한다.
B	물체를 밀지 않고 가만히 놓는다.
C	레일은 고정되어 있다. 진자의 고정점과 줄 길이는 변하지 않으며 줄은 팽팽하다. 놓은 뒤 더 밀거나 줄을 당기지 않는다.
실제 운동	저항·마찰 또는 측정의 영향을 함께 살펴본다.

레일의 물체는 회전하지 않고 미끄러지는 블록이다. 진자의 줄은 가볍고 늘어나지 않는다. 문항의 운동은 발문에 제시한 조건으로 판단한다.

1. 경로와 높이

Q1. 길의 모양이 달라도 도착 속력이 같을 수 있을까? A B C

한줄답 **출발 속력과 내려온 높이가 같고 역학적 에너지가 보존되면, 도착 속력이 같다.**

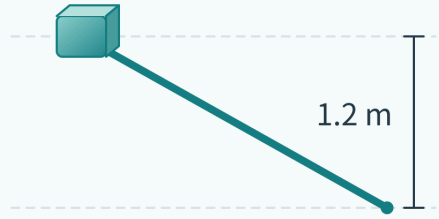
서로 다른 두 레일에서 같은 질량의 블록을 가만히 놓아 보자. 출발점의 높이도 같고 도착점의 높이도 같다. 한 레일은 곧게 내려가고, 다른 레일은 돌아서 내려간다. 두 블록이 모두 도착점까지 간다고 하자.

비교할 것	두 블록의 관계	까닭
처음 위치 에너지	같다.	질량과 출발 높이가 같다.
처음 운동 에너지	둘 다 0이다.	가만히 놓았다.
도착점의 위치 에너지	같다.	질량과 도착 높이가 같다.
도착점의 운동 에너지	같다.	처음의 합에서 같은 위치 에너지를 뺀다.
도착 속력	같다.	같은 질량의 운동 에너지가 같다.

높이 차이와 이동한 길은 다르다

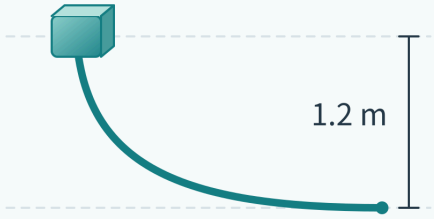
같은 질량 · 가만히 놓음 · 공기 저항과 마찰 없음

곧은 레일



출발·도착 높이가 같다

돌아가는 레일

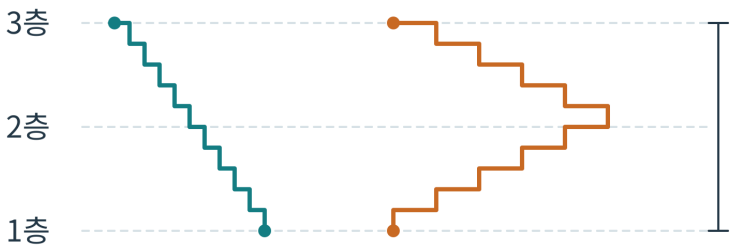


출발·도착 높이가 같다

선은 물체 중심이 지나는 경로

계단으로 생각해 보면





곧은 계단　　돌아가는 계단

층수 차이는 같다

내려온 높이는 같아도, 이동한 길이는 다를 수 있다.
위치 에너지의 변화는 높이 차이로 정해진다.

비유 **층수 차이와 계단 길이는 다르다**

같은 건물의 3층에서 1층으로 내려왔다. 곧은 계단으로 가든 돌아가는 계단으로 가든, 걸어간 길이는 달라도 내려온 높이는 같다.

비유 속	실제 과학
층수 차이	출발점과 도착점의 높이 차이
계단을 따라 걸은 길이	레일을 따라 이동한 거리
같은 층수 차이	같은 질량이면 같은 위치 에너지 변화

▲ **이 비유는 여기까지만 맞다** 사람은 근육으로 속력을 조절하므로 계단 끝의 속력까지 같다는 뜻은 아니다. 빌린 것은 높이 차이가 길과 무관하다는 점이다.

실전 연결 ① — 길이가 아니라 높이 차이

대표 문제: 질량 0.5 kg인 블록을 기준면 위 1.2 m에서 가만히 놓았다. 고정된 레일을 따라 기준면까지 미끄러진다. 공기 저항과 마찰이 없을 때, 내려온 길이와 관계없이 도착점의 운동 에너지가 얼마인지 구하시오.

순서	계산과 판단
출발할 때의 합	$9.8 \times 0.5 \times 1.2 + 0 = 5.88$ J
도착점의 위치 에너지	기준면이므로 0 J
도착점의 운동 에너지	$5.88 - 0 = 5.88$ J

길을 따라 이동한 거리는 이 계산에 들어가지 않는다. 도착 속력을 비교할 때는 출발 속력과 마찰 조건도 같아야 한다.

Q2. 진자는 왜 반대편에서도 처음 높이까지 올라갈까? A B C

한줄답 **양끝에서는 운동 에너지가 0이다. 역학적 에너지가 보존되므로 양끝의 위치 에너지가 같고, 그래서 높이도 같다.**

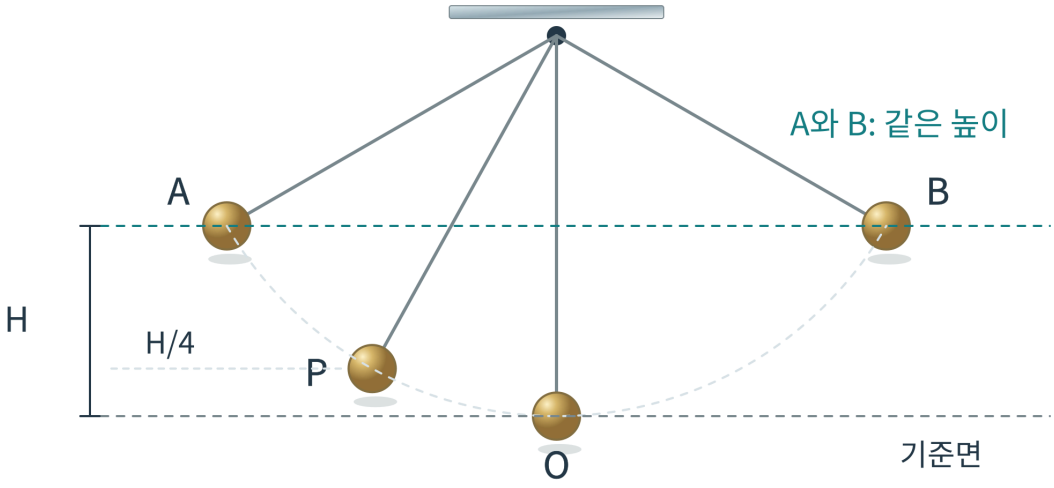
진자는 고정된 곳에 추를 매달아 좌우로 흔들리게 한 것이다. 왼쪽 끝 A에서 추를 가만히 놓으면 가장 낮은 O를 지나 오른쪽 끝 B로 간다. **O를 지나는 수평면을 기준면**으로 정한다.

위치·구간	속력	위치 에너지	운동 에너지
A: 가만히 놓는 순간	0	가장 크다.	0
A → O: 내려오는 동안	커진다.	감소한다.	증가한다.
O: 가장 낮은 위치	가장 크다.	0	가장 크다.
O → B: 올라가는 동안	작아진다.	증가한다.	감소한다.
B: 방향을 바꾸는 순간	0	A에서와 같다.	0

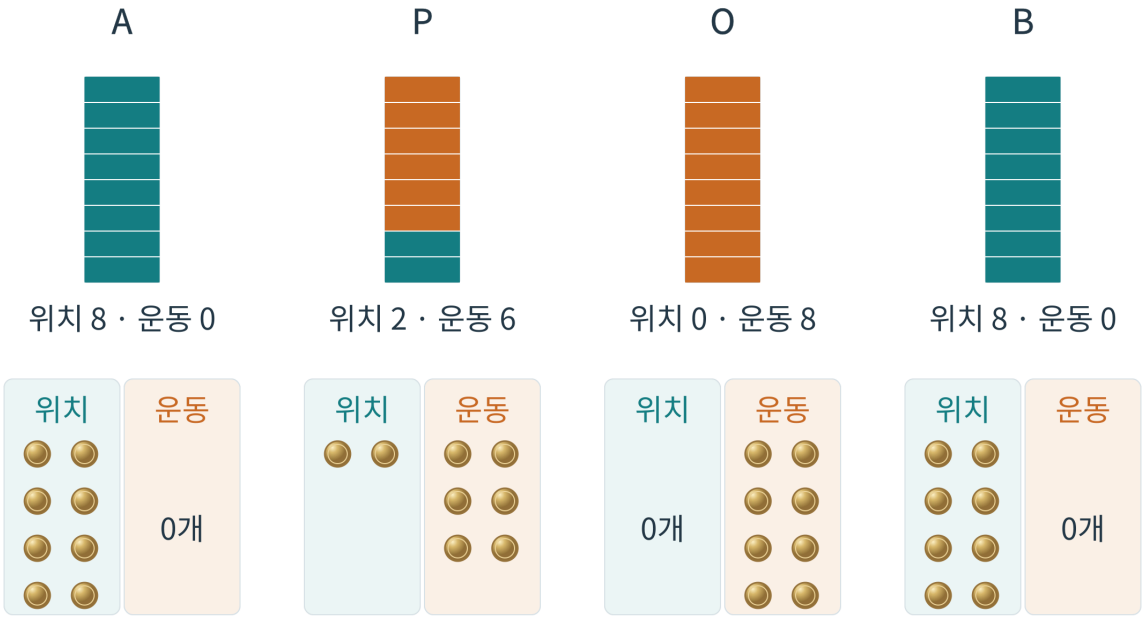
공기 저항과 마찰이 없을 때 두 에너지의 합이 일정하게 유지되는 것이 **역학적 에너지 보존 법칙**이다. A의 높이를 H라고 하면 처음의 에너지는 전부 위치 에너지이다. B에서도 속력이 0이므로 에너지는 전부 위치 에너지이다. 같은 추의 위치 에너지가 같으려면 **A와 B의 높이가 같아야 한다.**

진자: 위치 에너지 → 운동 에너지 → 위치 에너지

같은 추의 여러 위치 · 가만히 놓음 · 공기 저항과 마찰 없음



두 에너지의 합은 어디서나 8칸



동전 전체 8개 ↔ 일정한 역학적 에너지

P의 높이는 A의 ¼ → 위치 2개, 운동 6개
막대와 동전은 에너지의 상대적 크기를 나타낸다.

비유 두 칸 저금통으로 세어 보기

동전 8개를 A에서는 모두 위치 칸에 둔다. A 높이의 ¼인 P에서는 위치 칸 2개·운동 칸 6개, O에서는 위치 칸 0개·운동 칸 8개가 된다. 반대편 B에서는 다시 위치 칸 8개가 된다.

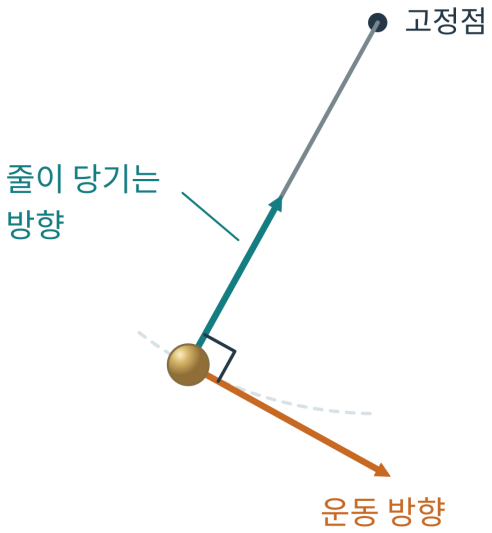
비유 속	실제 과학
전체 동전 8개	역학적 에너지의 일정한 양
위치 칸	위치 에너지
운동 칸	운동 에너지
밖에서 넣거나 빼지 않음	저항·마찰이 없고 외부에서 에너지를 더하거나 빼지 않음

▲ 이 비유는 여기까지만 맞다 실제 에너지가 동전처럼 자리를 옮기는 것은 아니다. 위치 에너지와 운동 에너지 사이에서 형태가 바뀐다.

줄이 닿아 있는데도 보존될까? 추를 당기는 줄의 방향과 그 순간 추가 움직이는 방향은 수직이다. 힘과 이동 방향이 수직이면 그 힘이 한 일은 0이다. 그래서 줄은 운동 방향을 바꾸지만 추의 에너지를 더하거나 빼지 않는다. 마찰 없는 고정 레일이 블록을 미는 방향도 이동 방향과 수직이므로, 그 힘이 한 일은 0이다.

줄은 방향을 바꾸지만, 일을 하지 않는다

고정점과 줄 길이가 변하지 않는 진자





핸들·페달의 역할을 빌린 비유

힘과 이동 방향이 수직 → 줄이 한 일은 0

핸들	가속 페달	브레이크
줄: 방향을 바꿈	내려갈 때의 중력	올라갈 때의 중력

진자에서는 위치·운동 에너지가 서로 바뀌며 합은 유지된다.
자동차 엔진·브레이크의 에너지 변화와는 구별한다.

비유 방향을 바꾸는 핸들, 빠르기를 바꾸는 페달

자동차의 핸들은 방향 조절, 페달은 빠르기 조절을 맡는다고 생각해 보자. 진자의 줄은 핸들처럼 방향을 바꾼다. 중력은 내려갈 때 가속 페달처럼 빠르게 하고, 올라갈 때 브레이크처럼 느리게 한다.

비유 속	실제 과학
핸들의 방향 조절	줄이 추의 운동 방향을 바꿈
가속 페달	내려갈 때 중력이 추를 빠르게 함
브레이크	올라갈 때 중력이 추를 느리게 함

▲ **이 비유는 여기까지만 맞다** 자동차는 엔진과 브레이크로 에너지를 주거나 열로 바꾸지만, 이 진자에서는 중력이 위치·운동 에너지를 서로 바꾸며 합은 유지된다.

실전 연결 ② — 진자의 중간 위치

대표 문제: 질량 0.2 kg인 추를 O보다 0.4 m 높은 A에서 가만히 놓았다. 공기 저항과 마찰은 없다. O와, O보다 0.1 m 높은 중간 위치 P에서의 두 에너지를 구하시오.

위치	위치 에너지	운동 에너지	합
A: 0.4 m	$9.8 \times 0.2 \times 0.4 = 0.784$ J	0 J	0.784 J
P: 0.1 m	$9.8 \times 0.2 \times 0.1 = 0.196$ J	$0.784 - 0.196 = 0.588$ J	0.784 J
O: 0 m	0 J	0.784 J	0.784 J

같은 높이를 지날 때는 올라가든 내려오든 위치 에너지가 같다. 합도 같으므로 운동 에너지와 속력도 같다. 왼쪽과 오른쪽의 서로 다른 위치에서는 **운동 방향까지 같다는 뜻은 아니다.**

헷갈리지 말 것

- ✗ 끝에서 잠깐 멈췄으므로 에너지와 중력이 모두 사라진다.
- ✓ 끝에서는 운동 에너지가 0이다. 위치 에너지는 남아 있고 중력도 계속 작용한다.

최고점에서는 언제나 멈출까?

최고점에서	속력	운동 에너지
진자의 양끝	0	0
연직 위로 던진 공	0	0
비스듬히 던진 공	0이 아니다. 옆으로 움직인다.	0이 아니다.

높이가 가장 높다는 말만으로 속력이 0이라고 판단하지 않는다.

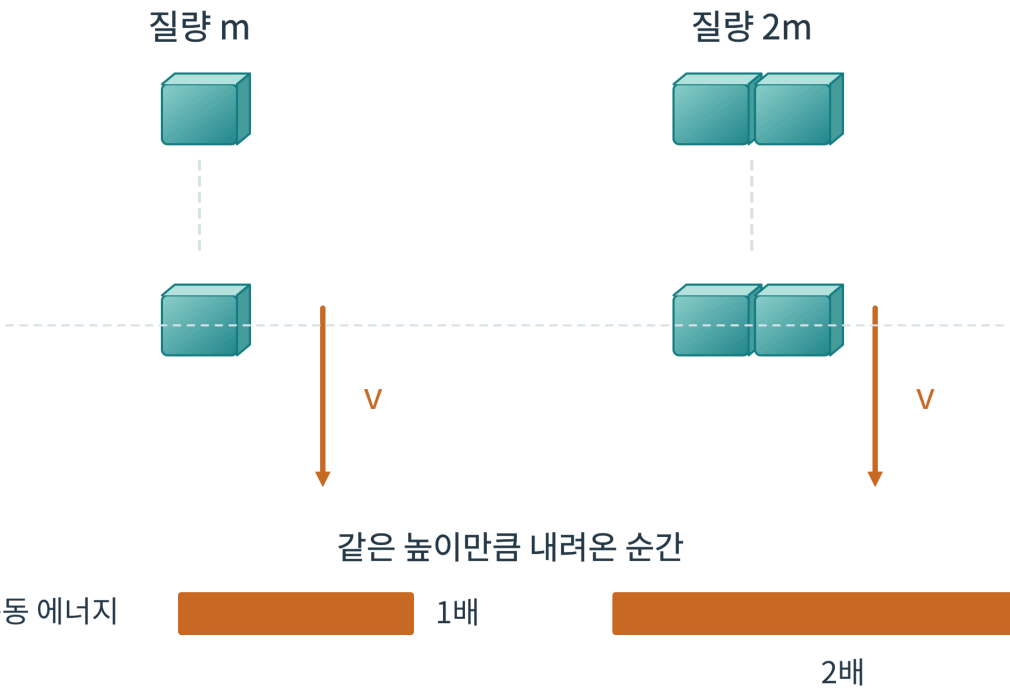
Q3. 무거운 물체는 에너지가 큰데 왜 낙하 속력은 같을까? A B

한줄답 **질량이 큰 만큼 줄어드는 위치 에너지도, 같은 속력에 필요한 운동 에너지도 커지기 때문이다.**

두 물체를 같은 높이에서 가만히 놓는다. 질량이 2배인 물체는 처음 위치 에너지도 2배이지만, **같은 속력일 때 운동 에너지도 2배**이다. 같은 속력에 도달하는 데 필요한 운동 에너지 자체가 2배인 것이다.

질량이 2배여도, 같은 높이에서 속력은 같다

같은 높이에서 가만히 놓음 · 공기 저항 없음



같은 블록 두 개를 붙여 보면



각자 같은 속력으로 떨어지는 두 블록 → 붙여도 같은 속력

비유 **같은 블록 두 개를 붙이면?**

같은 블록 두 개를 나란히 놓으면 각각 같은 속력으로 떨어진다. 둘을 나란히 붙여도 어느 한쪽이 다른 쪽을 더 빠르게 떨어뜨릴 이유가 없다. 하나로 묶어 보면 질량은 2배이고 운동 에너지는 두 개 몫이다.

비유 속	실제 과학
블록 한 개	질량 m인 물체
같은 블록 두 개를 붙임	질량 2m인 물체
두 개 몫의 운동 에너지	같은 속력에서 운동 에너지 2배

▲ **이 비유는 여기까지만 맞다** 공기 저항이 없을 때의 생각 실험이다. 공기 저항이 있으면 모양과 크기의 영향도 받는다.

같은 높이만큼 내려왔을 때	질량 m인 물체	질량 2m인 물체
줄어든 위치 에너지	9.8 × m × 내려온 높이	왼쪽의 2배
늘어난 운동 에너지	$\frac{1}{2}mv^2$	같은 속력 v일 때 왼쪽의 2배
그 높이에서의 속력	v	v

$9.8 \times m \times (\text{내려온 높이}) = \frac{1}{2} \times m \times v^2$

$9.8 \times \cancel{m} \times (\text{내려온 높이}) = \frac{1}{2} \times \cancel{m} \times v^2$ ← **양쪽의 m을 나누어 없앤다**

$9.8 \times (\text{내려온 높이}) = \frac{1}{2} \times v^2$ ← **m이 없다 → 속력은 질량과 무관**

남은 식에는 m이 없다. **같은 높이만큼 자유 낙하하면 속력은 같고, 운동 에너지는 질량에 비례한다.**

헷갈리지 말 것

- ✗ 운동 에너지가 2배이면 언제나 속력도 더 크다.
- ✓ 운동 에너지로 속력을 비교할 때는 질량도 함께 본다. 같은 속력이어도 무거운 물체의 운동 에너지는 더 크다.

공기 저항을 받는 종이와 쇠구슬을 떨어뜨리는 실제 상황에는 이 결론을 그대로 적용할 수 없다.

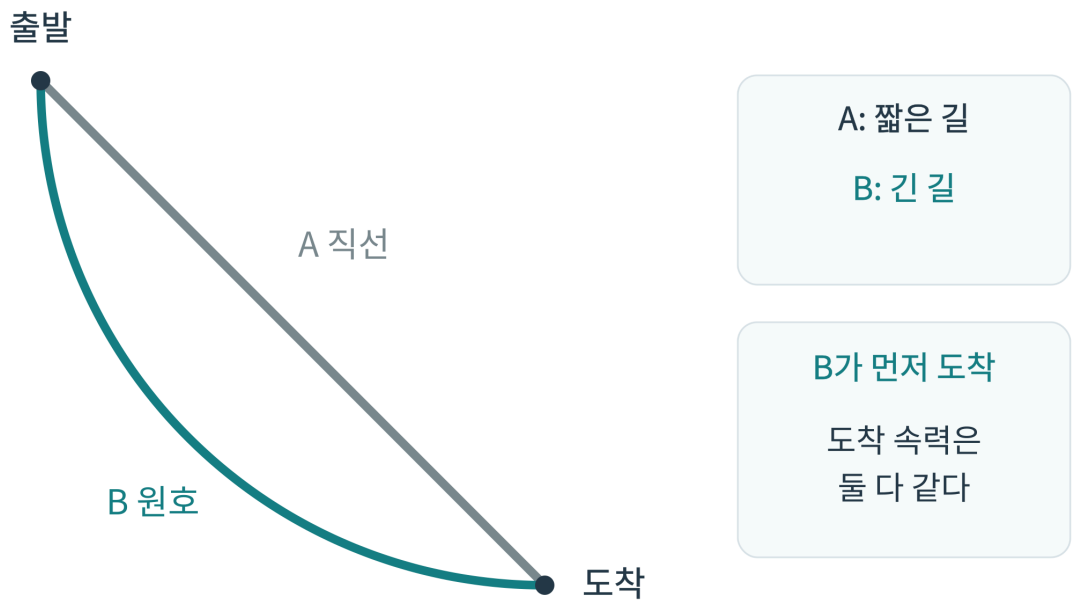
Q4. 도착 속력이 같으면 도착 시간도 같을까? A B C

한줄답 **아니다. 도착 시간은 도중의 속력과 이동한 거리에도 관계있다.**

같은 출발점과 도착점을 잇는 레일 두 개가 있다. A는 직선이다. B는 처음에 수직으로 내려가기 시작해 점점 완만해지고, 도착점에서 수평이 되는 ¼ 원호이다. B가 더 길지만 처음에 가파르게 내려가 일찍 빨라지므로 먼저 도착한다. 두 블록의 도착 속력은 같다.

긴 레일이 먼저 도착하는 경우도 있다

같은 출발점·도착점 · 정지 출발 · 공기 저항과 마찰 없음



B는 처음에 가파르게 내려가 일찍 빨라진다.
짧은 길이 항상 먼저는 아니다.

짧은 길이 항상 먼저는 아니다. 휜 레일이 언제나 더 빠르다는 뜻은 아니다.

비유 **속도계 사진과 전체 주행 기록**

두 차의 도착 순간 속도계가 모두 30 km/h라고 하자. 차 A는 10 km를 내내 30 km/h로 간다. 차 B는 15 km를 가지만 앞부분에서 더 빠르게 달린다.

비유 속	실제 과학
도착 순간의 속도계	마지막 순간의 속력
구간별 거리와 속력 기록	이동하는 데 걸린 시간의 판단

▲ 이 비유는 여기까지만 맞다 자동차는 엔진과 브레이크를 쓴다. 여기서는 속력·거리·시간의 관계만 빌렸다.

비교	차 A	차 B
길	시내 도로 10 km	고속도로 13.5 km + 시내 1.5 km = 15 km
달린 모습	내내 30 km/h	90 km/h로 9분 → 30 km/h로 3분
도착 순간 속도계	30 km/h	30 km/h
걸린 시간	20분	**12분**

구간 사이에서 속력이 바뀌는 짧은 시간은 계산에서 생략했다. 길이 더 긴 B가 먼저 도착했다. 도착 순간 속도계만 보면 두 차는 똑같다.

도착 순간 속도계와 전체 주행 기록



마지막 속력은 둘 다
30 km/h

길이가 더 긴 B가
먼저 도착할 수도 있다.

막대 길이: 걸린 시간

차 A 시내 도로 10 km

30 km/h로 20분

총 20분

차 B 고속도로 13.5 km + 시내 1.5 km = 15 km

9분 | 3분

90 km/h로 9분 → 13.5 km

30 km/h로 3분 → 1.5 km

총 12분

도착 속력은 같아도 걸린 시간은 다르다.
구간 사이에서 속력이 바뀌는 짧은 시간은 생략했다.

주어진 정보	알 수 있는 것	더 필요한 정보
같은 출발 속력·같은 높이 차이·역학적 에너지 보존	도착 속력이 같다.	도착 시간을 비교하려면 도중의 속력과 경로도 필요하다.
레일 길이	어느 경로가 긴가	길이만으로 먼저 도착하는 쪽을 정할 수 없다.
도착 순간의 속력	마지막 순간에 얼마나 빠른가	도중의 운동은 별도로 살펴본다.

확인 문제 1–18

Q1 확인 문제 1–5

1 같은 질량의 두 블록을 서로 다른 고정 레일에서 가만히 놓았다. 출발 높이와 도착 높이는 각각 같고 두 블록 모두 도착점까지 미끄러진다. 공기 저항과 마찰이 없을 때 반드시 같은 것은?

① 레일을 따라 이동한 거리
② 도착점에서의 운동 에너지
③ 도착하는 데 걸린 시간
④ 모든 순간의 높이
⑤ 운동 방향

2 질량 0.5 kg인 블록이 높이 차 1.2 m를 (가) 길이 2 m인 직선 레일, (나) 길이 3 m인 곡선 레일을 따라 내려왔다. 공기 저항과 마찰은 없다. 각 레일에서 줄어든 위치 에너지를 구하고, 두 값을 비교한 까닭을 쓰시오.

답

3 질량 0.5 kg인 블록을 기준면 위 1.2 m에서 가만히 놓았다. 공기 저항과 마찰 없이 고정 레일을 따라 기준면에 도착했을 때 운동 에너지는?

① 0 J
② 0.60 J
③ 2.94 J
④ 11.76 J
⑤ 5.88 J

4 같은 질량의 블록을 같은 출발 높이에서 가만히 놓았다. 블록 A의 도착점은 기준면 위 0.2 m, 블록 B의 도착점은 0.5 m이다. 공기 저항과 마찰이 없다. 도착할 때 어느 블록의 속력이 더 큰지, 두 에너지와 연결해 설명하시오.

답

5 같은 질량의 두 블록이 같은 높이에서 출발하여 같은 높이의 도착점까지 고정 레일을 따라 간다. A는 가만히 놓았고 B는 출발 운동 에너지 1 J을 갖고 있었다. 공기 저항과 마찰이 없을 때 옳은 것은?

① 두 블록의 도착 속력은 반드시 같다.

② A의 도착 운동 에너지가 1 J 더 크다.

③ B는 도착점에서 반드시 멈춘다.

④ B의 도착 운동 에너지가 1 J 더 크다.

⑤ 도착점의 위치 에너지가 B에서 1 J 더 크다.

Q2 확인 문제 6–13

6 진자의 추를 왼쪽 끝 A에서 가만히 놓았다. 가장 낮은 위치는 O이고, 오른쪽에서 방향을 바꾸는 위치는 B이다. O를 지나는 수평면이 기준면이며 공기 저항과 마찰은 없다. 옳은 것은?

① A와 B의 높이가 같다.

② O에서 운동 에너지가 0이다.

③ B에서는 모든 에너지가 0이다.

④ O에서 위치 에너지가 가장 크다.

⑤ A에서 중력이 사라진다.

7 공기 저항과 마찰이 없는 진자가 왼쪽 끝 A → 가장 낮은 O → 오른쪽 끝 B로 움직인다. A에서 가만히 놓았다. 다음 표의 빈칸을 채우시오.

구간	위치 에너지	운동 에너지	두 에너지의 합
A → O	(가)	증가	(나)
O → B	증가	(다)	(라)

8 질량 0.2 kg인 추를 최저점 O보다 0.4 m 높은 곳에서 가만히 놓았다. O를 지나는 수평면을 기준면으로 한다. 공기 저항과 마찰이 없을 때 O에서의 운동 에너지는?

① 0 J

② 0.196 J

③ 0.392 J

④ 0.784 J

⑤ 3.92 J

9 8번의 추가 O보다 0.1 m 높은 위치를 지날 때, 위치 에너지와 운동 에너지를 각각 구하시오.

답

10 공기 저항과 마찰이 없는 진자가 움직인다. 다음 중 설명이 옳은 것은?

① 추가 줄에 닿아 있으므로 역학적 에너지는 반드시 줄어든다.

② 추가 오른쪽 끝에 가면 중력이 사라진다.

③ 같은 추가 같은 높이를 다시 지나면 속력이 같다.

④ 추가 가장 낮은 곳에서 잠깐 멈춘다.

⑤ 추가 올라갈수록 운동 에너지가 커진다.

11 공기 저항과 마찰이 없는 진자를 최저점 O보다 높은 A에서 가만히 놓았다. O를 기준면으로 하여, A의 에너지를 두 칸 저금통의 위치 칸 동전 8개로 나타냈다. (1) 움직이는 동안 변하지 않는 에너지의 양을 쓰고, (2) 높이가 A의 ¼인 위치에서 위치 칸과 운동 칸의 동전 수를 쓰시오.

답

12 공기 저항이 없는 운동이다. 가장 높은 위치에서도 운동 에너지가 0이 아닐 수 있는 것은?

① 연직 위로 던진 공이 최고점에 도달한 순간

② 비스듬히 던진 공이 최고점에서 옆으로 움직이는 순간

③ 진자가 오른쪽 끝에서 방향을 바꾸는 순간

④ 진자를 왼쪽 끝에서 가만히 놓는 순간

⑤ 연직 아래로 떨어졌다가 연직 위로 튀어 오른 공이 최고점에 이른 순간

13 “진자는 반대편에서 언제나 처음 높이에 도달한다.”를 이 편의 조건에 맞는 문장으로 고치시오. 출발 방법과 저항·마찰에 관한 조건을 모두 넣으시오.

답

Q3 확인 문제 14–15

14 질량이 각각 m, 2m인 두 물체를 같은 높이에서 가만히 놓았다. 공기 저항이 없다. 같은 높이만큼 내려왔을 때, 질량 2m인 물체를 질량 m인 물체와 비교한 설명으로 옳은 것은?

① 속력은 같고 운동 에너지는 2배이다.

② 속력과 운동 에너지가 모두 같다.

③ 속력은 2배이고 운동 에너지는 2배이다.

④ 속력은 2배이고 운동 에너지는 4배이다.

⑤ 속력은 같고 운동 에너지는 ½배이다.

15 두 물체를 같은 높이에서 가만히 놓았다. 무거운 물체가 같은 높이만큼 내려오면 가벼운 물체보다 더 많은 위치 에너지를 잃는다. 그런데도 공기 저항 없는 낙하에서 속력이 같을 수 있는 이유를 운동 에너지 식에 있는 질량과 연결해 쓰시오.

답

Q4 확인 문제 16–18

16 같은 질량의 두 블록을 같은 높이에서 가만히 놓았다. 서로 다른 고정 레일을 따라 같은 높이의 도착점까지 미끄러졌다. 공기 저항과 마찰이 없을 때, 같다고 단정할 수 없는 것은?

① 도착점의 운동 에너지

② 도착점의 위치 에너지

③ 도착점의 역학적 에너지

④ 도착점의 속력

⑤ 출발부터 도착까지 걸린 시간

17 “짧은 레일에서는 무조건 먼저 도착한다.”라는 말을 그대로 받아들일 수 없는 이유를 쓰시오. 두 레일 모두 고정되어 있고 공기 저항과 마찰은 없다.

답

18 같은 출발점과 도착점을 잇는 고정 레일 A와 B가 있다. A는 직선이고 B는 처음에 가파르게 내려가다가 점점 완만해지는 ¼ 원호이다. 같은 질량의 블록을 동시에 가만히 놓았고 공기 저항과 마찰은 없다. B가 더 긴데도 B의 블록이 먼저 도착했다. 어떻게 가능한지 ‘도중의 속력’을 넣어 쓰시오.

답

2. 자료로 확인

Q5. 무엇을 측정해야 에너지가 보존되는지 확인할 수 있을까? 실제 운동

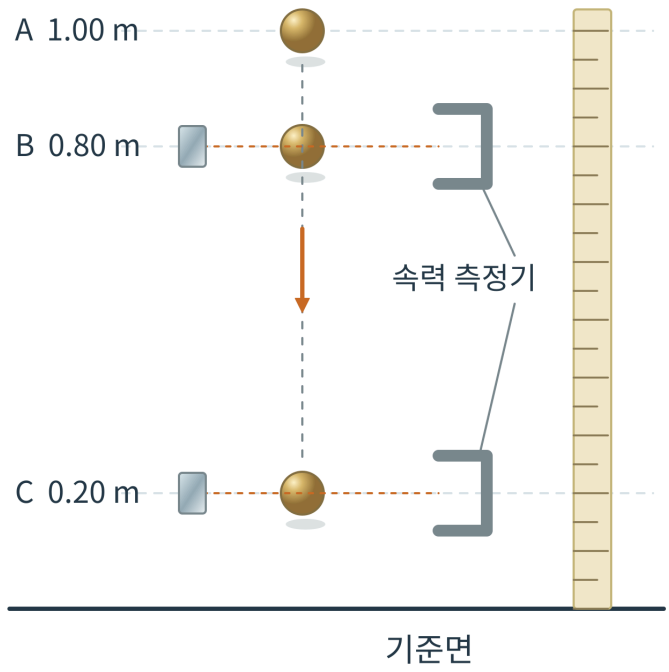
한줄답 **질량·높이·속력을 측정하고, 여러 위치에서 위치 에너지와 운동 에너지의 합을 비교한다.**

'빨라지는 모습'을 보기만 해서는 두 에너지의 합이 같은지 알 수 없다. 위치 에너지와 운동 에너지를 각각 구해야 한다.

필요한 값	측정·확인할 내용	연결되는 계산
질량	전자저울로 측정하고 kg으로 바꾼다.	두 에너지 모두에 들어간다.
높이	같은 기준면에서 물체 중심까지의 높이를 잰다.	9.8 × 질량 × 높이
속력	속력 측정기로 해당 위치의 값을 측정한다.	½ × 질량 × 속력^2

질량·높이·속력을 측정한다

측정 방법을 나타낸 그림 · 수치는 가상 측정 자료

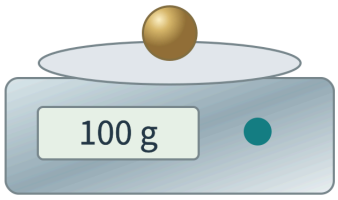


각 위치의 속력

A 0 m/s

B 1.98 m/s

C 3.94 m/s



전자저울

100 g = 0.100 kg

높이는 같은 기준면에서 물체 중심까지 잰다.
속력 측정기를 옮겨 여러 위치의 값을 측정할 수 있다.

탐구 — 낙하하는 물체의 두 에너지 더하기

① 알아볼 것

가만히 놓은 물체가 떨어질 때, 위치 에너지 감소량과 운동 에너지 증가량이 거의 같은가?

② 실험에서 같게 둘 것과 바꿀 것

같은 물체를 같은 출발 높이에서 밀지 않고 놓는다. 같은 기준면을 사용한다. 비교할 측정 위치를 바꾸어 높이와 속력을 기록한다. 바닥에 닿기 전의 운동을 비교하며, 공기 저항의 영향이 작은 물체와 장치를 사용한다.

③ 관찰·측정 자료

아래는 계산 연습을 위한 **가상 측정 자료**이다. 질량은 100 g = 0.100 kg이다. A에서 가만히 놓았고, B와 C의 속력은 같은 조건에서 반복 측정한 값의 평균으로 제시했다.

위치	기준면부터의 높이(m)	속력(m/s)
A: 놓는 순간	1.00	0
B	0.80	1.98
C	0.20	3.94

④ 계산하여 해석하기

다음 표의 에너지는 소수 셋째 자리까지 나타냈다.

위치	위치 에너지(J)	운동 에너지(J)	합(J)
A	0.980	0.000	0.980
B	0.784	0.196	0.980
C	0.196	0.776	0.972

B에서 C로 내려갈 때 위치 에너지는 **0.588 J 감소**하고, 운동 에너지는 **0.580 J 증가**했다. 두 변화량의 차이는 0.008 J이며 처음 합 0.980 J의 약 0.8%이다. 이 가상 자료에서는 역학적 에너지가 **거의 일정하다.**

⑤ C의 합이 0.008 J 작은 까닭 후보

확인할 점	결과에 영향을 줄 수 있는 까닭
밀지 않고 놓았는가?	밀면 출발 순간의 운동 에너지가 0이 아니다.
높이의 기준이 같았는가?	위치마다 다른 기준면을 쓰면 값들을 그대로 비교할 수 없다.
속력을 정확히 측정했는가?	운동 에너지는 속력을 제곱해 구한다.
공기 저항·접촉의 영향은 작은가?	물체의 역학적 에너지가 줄어들 수 있다.
측정을 반복했는가?	값의 흩어짐을 확인하고 우연한 측정 차이의 영향을 줄일 수 있다.

반복 측정으로 줄일 수 있는 것은 우연한 측정 차이뿐이다. 기준면 실수나 마찰은 따로 확인한다.

실전 연결 ③ — 측정값으로 계산하기

대표 문제: 위 자료의 B에서 운동 에너지를 구하고, 위치 에너지와 더하시오.

순서	계산
질량 단위 바꾸기	100 g = 0.100 kg
운동 에너지	½ × 0.100 × 1.98^2 = 0.19602 J → 약 0.196 J
위치 에너지	9.8 × 0.100 × 0.80 = 0.784 J
합	0.784 + 0.19602 = 0.98002 J → 약 0.980 J

반올림한 값이 같다고 차이가 전혀 없다는 뜻은 아니다.

Q6. 같은 낙하인데 그래프 모양은 왜 달라질까? A B

한줄답 **가로축이 높이인지, 내려온 거리인지, 시간인지에 따라 같은 운동을 다르게 나타내기 때문이다.**

물체를 기준면 위 H에서 가만히 놓았다. 물체가 기준면에 도달할 때까지 비교한다.

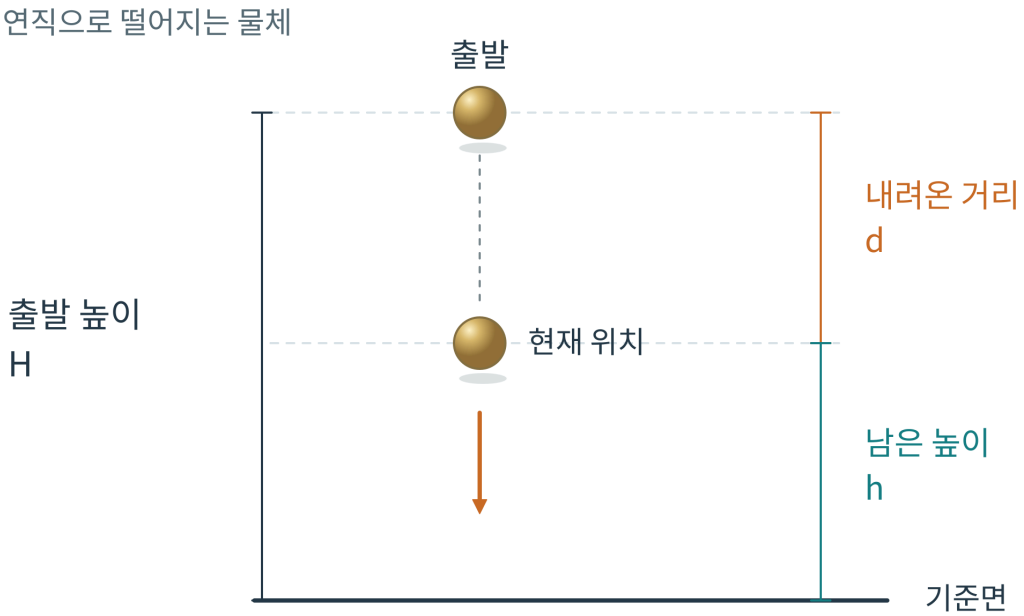
비유 **내비게이션의 남은 거리와 이동한 거리**

목적지까지 100 m를 가면 이동한 거리는 0 m에서 100 m로 늘고, 남은 거리는 100 m에서 0 m로 줄어든다. 자유 낙하에서도 이미 내려온 거리와 기준면까지 남은 높이를 구별한다.

비유 속	실제 과학
남은 거리	기준면까지 남은 높이 h
이동한 거리	출발점에서 내려온 거리 d
처음 가야 할 거리	출발 높이 H

▲ **이 비유는 여기까지만 맞다** h+d=H는 연직으로 떨어질 때의 관계이다. 굽은 레일을 따라 간 길이를 d로 넣지 않는다.

남은 높이 h와 내려온 거리 d



$$h + d = H$$

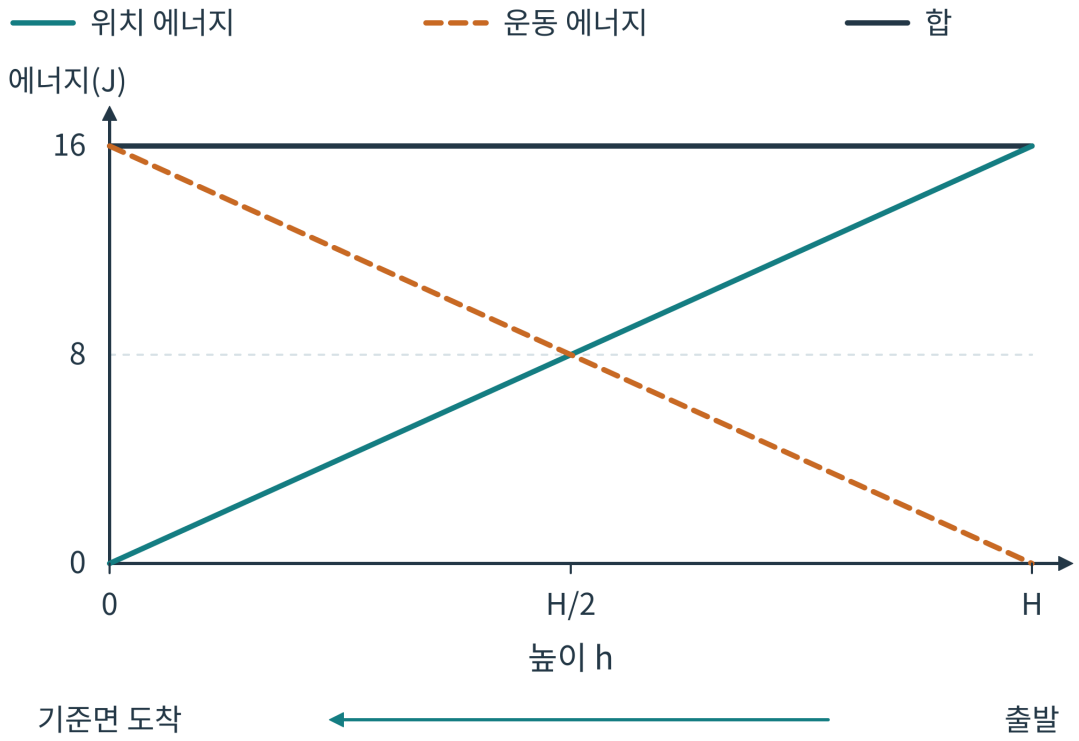
h + d = H

이제 처음 역학적 에너지가 **16 J**인 같은 자유 낙하를 세 그래프로 나타내 보자. 아래 그래프의 세로축은 모두 에너지(J)이며 눈금은 0·8·16이다.

가로축	가로축 값이 커질수록	위치 에너지 그래프	운동 에너지 그래프
높이 h: 0 → H	더 높은 위치를 뜻한다.	일정한 기울기로 올라가는 직선	일정한 기울기로 내려가는 직선
내려온 거리 d: 0 → H	더 많이 내려온 상태를 뜻한다.	일정한 기울기로 내려가는 직선	일정한 기울기로 올라가는 직선
낙하 시간: 놓은 뒤부터	더 오래 떨어진 상태를 뜻한다.	점점 가파르게 내려가는 곡선	점점 가파르게 올라가는 곡선

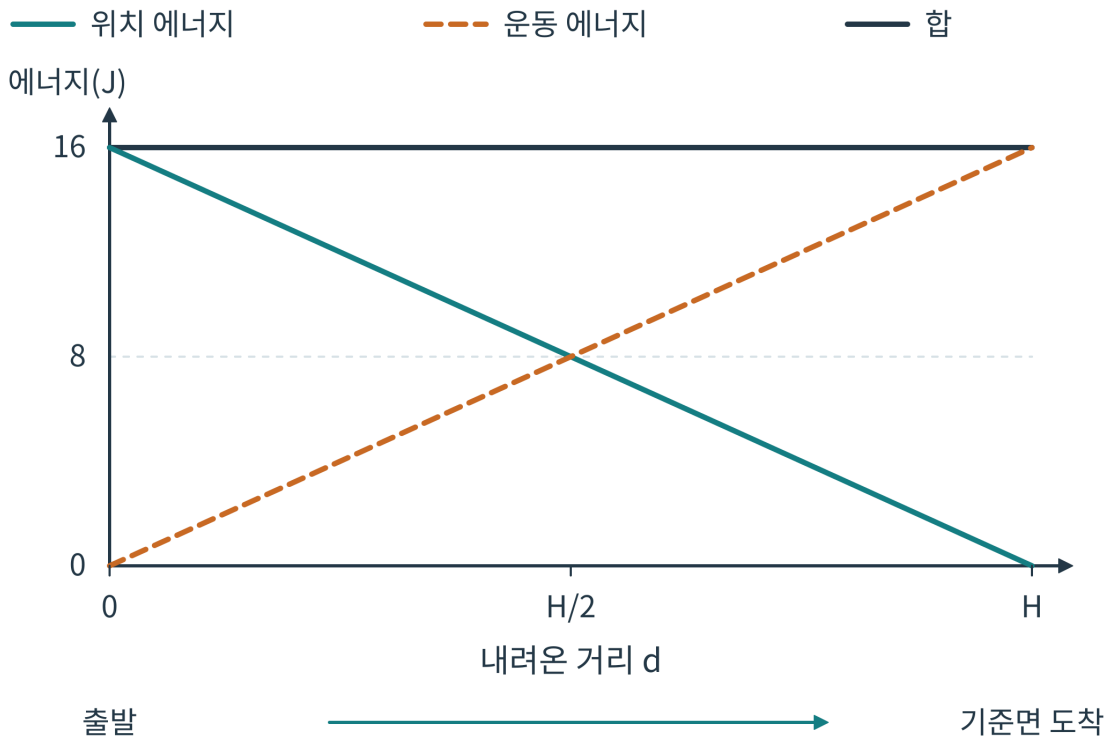
세 그래프 모두 두 에너지의 **합을 나타내는 선은 수평선**이다.

가로축이 높이 h일 때



높이 축은 오른쪽에서 왼쪽으로 낙하를 따라간다.

가로축이 내려온 거리 d일 때



내려온 거리 축은 왼쪽에서 오른쪽으로 따라간다.

높이 그래프의 오른쪽을 '나중'으로 읽으면 안 된다. 높이 축의 오른쪽 H가 오히려 출발 위치이다. 반대로 내려온 거리 축에서는 왼쪽 0이 출발이다.

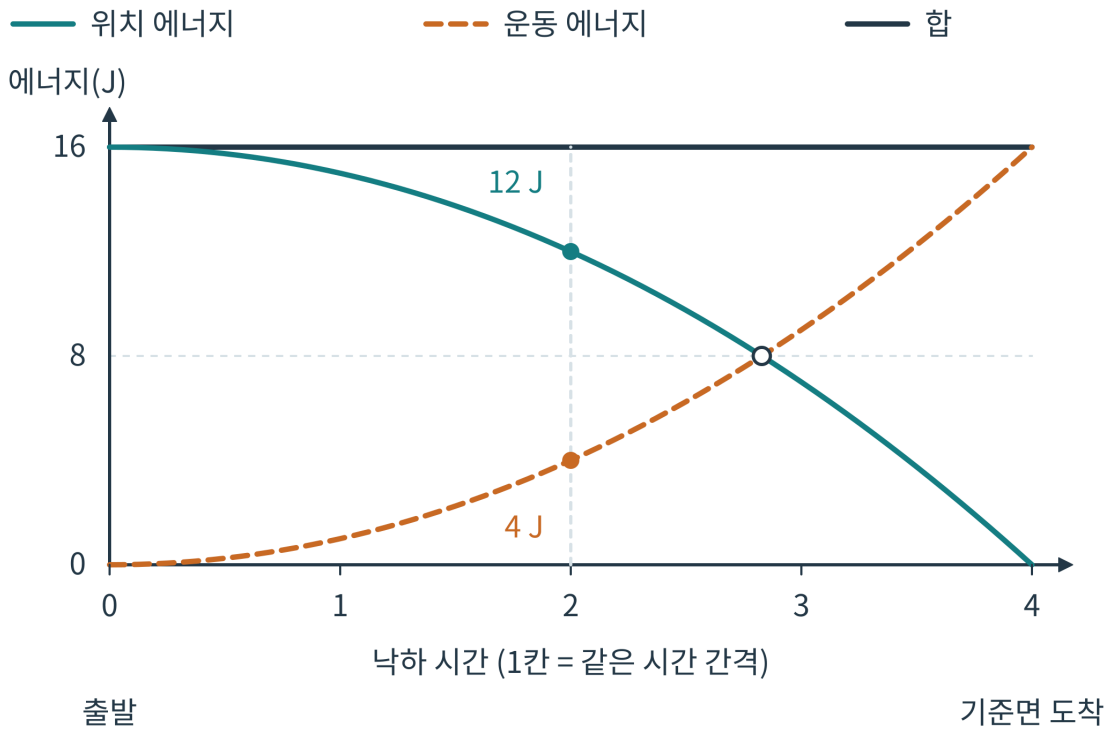
왜 시간 그래프는 직선이 아닐까? 가만히 놓은 물체는 떨어지면서 점점 빨라진다. 같은 시간이 지날 때마다 내려가는 거리가 더 길어지므로, 그동안 줄어드는 위치 에너지와 늘어나는 운동 에너지도 더 커진다.

아래는 같은 시간 간격마다 나타낸 에너지 자료이다. **1칸은 같은 시간 간격**이며, 4칸 뒤 기준면에 도착한다.

시점	출발	1칸 뒤	2칸 뒤	3칸 뒤	4칸 뒤(기준면 도착)
운동 에너지(J)	0	1	4	9	16
위치 에너지(J)	16	15	12	7	0
합(J)	16	16	16	16	16

운동 에너지가 늘어난 양은 차례로 **1 J, 3 J, 5 J, 7 J**이다. 같은 시간마다 떨어진 위치를 찍은 다중 섬광 사진에서도 공 사이의 간격이 1:3:5:7로 커진다. 합이 일정해도 각 에너지가 매번 같은 양씩 변하는 것은 아니다.

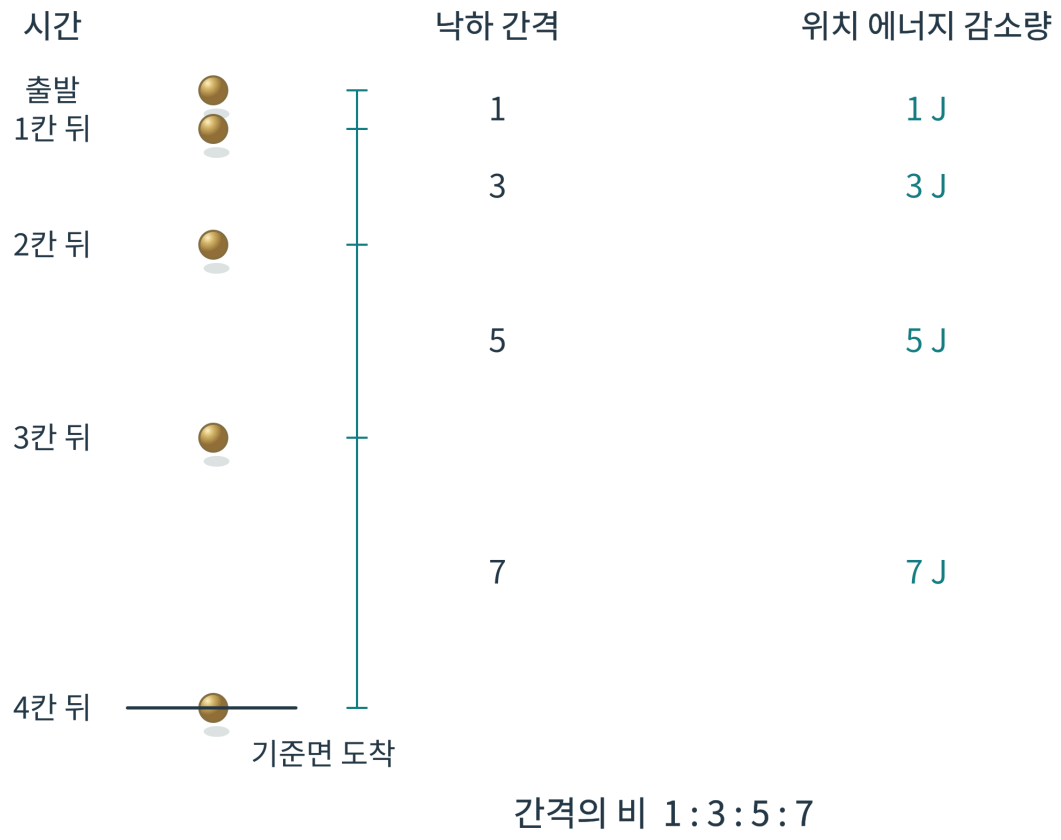
가로축이 낙하 시간일 때



시간의 절반인 2칸 뒤: 위치 12 J · 운동 4 J
두 에너지가 8 J씩 같아지는 것은 그보다 늦다.

같은 시간마다, 더 먼 거리를 떨어진다

자유 낙하의 다중 섬광 사진 모식도



1칸은 같은 시간 간격이다.
같은 시간 동안 줄어든 위치 에너지: 1·3·5·7 J

헷갈리지 말 것

- ✗ 그래프의 두 선이 만나므로 그 순간 물체가 멈춘다.
- ✓ 두 선의 교점은 위치 에너지와 운동 에너지의 값이 같다는 뜻이다. 운동 에너지가 0보다 크면 물체는 움직인다.

가만히 놓은 물체는 **높이가 H/2일 때** 두 에너지가 같다. 시간의 절반인 2칸 뒤에는 운동 에너지 4 J, 위치 에너지 12 J이다. 두 에너지가 8 J씩 같아지는 것은 그보다 늦다. 높이의 절반과 시간의 절반은 다르다.

확인 문제 19–32

Q5 확인 문제 19–24

19 낙하 실험에서 측정한 값을 위치 에너지 식과 운동 에너지 식에 직접 넣어 계산하려 한다. 두 식에 필요한 값이 모두 들어 있는 묶음은?

① 질량·기준면부터의 높이
② 기준면부터의 높이·속력
③ 질량·기준면부터의 높이·속력
④ 질량·기준면부터의 높이·낙하 시간
⑤ 질량·레일을 따라 간 거리·속력

20 질량 100 g인 물체의 높이가 기준면 위 0.80 m이고 속력이 1.98 m/s이다. 위치 에너지와 운동 에너지를 구하시오. 에너지는 소수 셋째 자리까지 나타내시오.

답

21 같은 조건으로 반복한 가상 측정에서 한 위치의 속력이 1.97, 1.99, 1.98 m/s였다. 평균 속력은?

① 1.97 m/s
② 1.99 m/s
③ 5.94 m/s
④ 1.98 m/s
⑤ 0.66 m/s

22 낙하 실험 자료에서 B의 에너지는 위치 0.784 J·운동 0.196 J이고, C의 에너지는 위치 0.196 J·운동 0.776 J이다. B에서 C로 가는 동안 (1) 위치 에너지 감소량, (2) 운동 에너지 증가량, (3) 각 위치에서의 합을 구하시오.

답

23 낙하 실험에서 여러 위치의 역학적 에너지를 계산했더니 반올림한 값이 거의 같았다. 이 자료에 대한 판단으로 가장 알맞은 것은?

① 세상 모든 운동에서 역학적 에너지가 보존됨을 증명했다.

② 이 실험 조건에서 역학적 에너지가 거의 일정하다는 설명을 뒷받침한다.

③ 측정 장치에는 어떤 오차도 없다.

④ 물체에 공기 저항이 정확히 0임을 증명했다.

⑤ 위치 에너지와 운동 에너지는 각각 일정하다.

24 측정한 역학적 에너지의 합이 위치에 따라 조금 달랐다. 바로 “공기 저항 때문이다.”라고 확정하기 전에 확인할 점을 서로 다른 두 가지 쓰시오.

답

Q6 확인 문제 25–32

25 가만히 놓은 물체의 낙하를 나타내는 그래프에서 가로축은 ‘기준면부터의 높이 h’이다. 눈금은 왼쪽 0에서 오른쪽 H로 커진다. 공기 저항이 없다. 위치 에너지 그래프의 모양은?

① 0에서 H로 갈수록 낮아지는 직선

② 처음부터 끝까지 0인 선

③ 처음부터 끝까지 같은 양의 값을 갖는 수평선

④ 시간에 따라 반복해서 오르내리는 곡선

⑤ 원점을 지나 일정한 기울기로 올라가는 직선

26 기준면 위 H에서 가만히 놓은 물체가 연직 아래로 떨어진다. 현재 높이를 h, 출발점에서 내려온 거리를 d라고 한다. h와 d의 관계를 쓰고, H = 1.0 m, d = 0.3 m일 때 h를 구하시오.

답

27 물체를 기준면 위 H에서 가만히 놓았다. 공기 저항이 없고, 가로축은 왼쪽 0에서 오른쪽 H로 커지는 ‘내려온 거리 d’이다. 옳은 설명은?

① 운동 에너지는 d에 비례해 증가한다.

② 위치 에너지는 d에 비례해 증가한다.

③ 역학적 에너지는 d에 비례해 감소한다.

④ d = 0에서 운동 에너지가 가장 크다.

⑤ d = H에서 위치 에너지가 가장 크다.

28 같은 낙하를 그린 두 그래프가 있다. (가)의 가로축은 높이 h이며 0 → H, (나)의 가로축은 내려온 거리 d이며 0 → H이다. 출발부터 도착까지 따라가려면 각 그래프를 어느 쪽에서 어느 쪽으로 읽어야 하는가?

답

29 공기 저항 없이 가만히 놓은 물체의 운동 에너지를 낙하 시간에 따라 나타냈다. 기준면에 닿기 전 그래프의 모양으로 알맞은 것은?

① 일정한 기울기로 감소하는 직선

② 0에서 계속 수평인 선

③ 점점 가파르게 증가하는 곡선

④ 일정한 기울기로 증가하는 직선

⑤ 증가했다가 출발 높이의 절반에서 0이 되는 곡선

30 공기 저항 없는 한 낙하 운동에서 같은 시간 간격마다 운동 에너지가 0 J, 1 J, 4 J, 9 J로 측정되었다고 하자. 두 에너지의 합은 16 J이다. (1) 마지막 시점의 위치 에너지, (2) 각 시간 간격에서의 운동 에너지 증가량을 쓰시오.

답

31 가만히 놓은 물체가 공기 저항 없이 떨어진다. 처음 역학적 에너지는 8 J이다. 두 에너지 그래프의 교점에서 옳은 것은?

① 물체가 멈추며 두 에너지가 모두 0이다.

② 위치 에너지와 운동 에너지가 각각 4 J이다.

③ 운동 에너지는 8 J이고 위치 에너지는 0이다.

④ 중력이 사라진다.

⑤ 전체 낙하 시간의 정확히 절반이 지났다.

32 “역학적 에너지의 합이 일정하면 시간 그래프의 위치 에너지와 운동 에너지는 모두 직선이다.”가 틀린 까닭을 쓰시오. 자유 낙하를 예로 드시오.

답

3. 실제 운동

Q7. 실제 진자나 튀는 공은 왜 처음 높이에 못 미칠까? 실제 운동

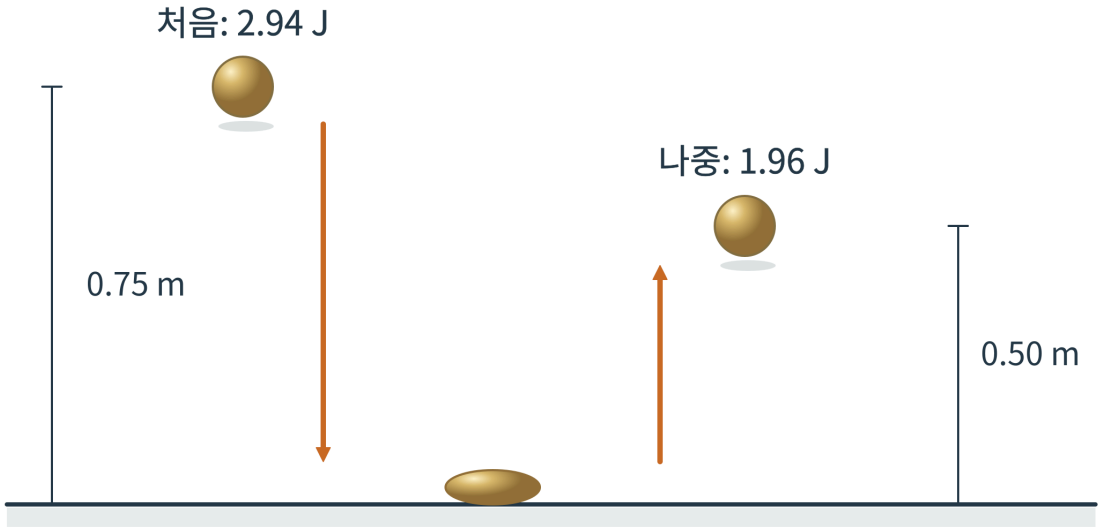
한줄답 **공기 저항·마찰·충돌로 역학적 에너지의 일부가 열이나 소리 등으로 바뀌거나 주변으로 전달되기 때문이다.**

진자를 실제로 흔들면 도달하는 높이가 조금씩 낮아진다. 공을 떨어뜨려도 대개 처음 높이까지 튀어 오르지 못한다. 그렇다고 에너지 자체가 없어지는 것은 아니다.

상황	물체에서 줄어드는 것	함께 살펴볼 것
진자가 공기 저항과 마찰을 받는다.	추의 역학적 에너지	추·공기·장치 등의 열에너지 증가
공이 바닥에 부딪힌 뒤 낮게 튄다.	공의 역학적 에너지	공·바닥의 열에너지, 소리 등

공은 다시 튀지만, 처음 높이에는 못 미친다

질량 0.4 kg · 연직 낙하와 반발 · 회전 무시
운동의 단계를 나누어 나타냄



충돌: 찌그러짐



모양이 회복되며 일부가 다시 운동 에너지로 바뀐다.

줄어든 역학적 에너지: 2.94 − 1.96 = 0.98 J
일부는 공·바닥의 열에너지와 소리 에너지 등으로 바뀐다.

비유 **저금통에 세 번째 칸을 붙이면?**

위치 칸과 운동 칸 옆에 열·소리 칸을 붙여 보자. 실제 공의 운동에서는 앞의 두 칸에 있던 동전 일부가 열·소리 칸으로 옮겨 간다. 두 칸의 합은 줄지만, 공·바닥·공기까지 포함해 센 세 칸의 전체 합은 그대로다.

비유 속	실제 과학
위치 칸 + 운동 칸	역학적 에너지
열·소리 칸	공·바닥·공기 등에 늘어난 열에너지·소리 에너지
세 칸의 전체 합 유지	에너지 보존 법칙

▲ **이 비유는 여기까지만 맞다** 칸은 장소가 아니라 에너지의 종류를 나눈 것이다. 열·소리로 여기저기 퍼진 에너지를 원래 운동으로 다시 모으기는 어렵다.

세 칸을 모두 세면, 에너지의 합은 그대로

열·소리는 이번 운동에서 전환된 양만 나타냄



위치·운동 두 칸의 합은 줄어도, 세 칸의 전체 합은 같다.
칸은 장소가 아니라 에너지의 종류를 나눈 것이다.

이 편의 공은 **연직 아래로 떨어진 뒤 연직 위로 튀어 오르며 회전하지 않는다.** 튀어 오른 최고점에서는 운동 에너지가 0이다.

비유 공은 눌린 용수철처럼

바닥에 부딪힌 공은 눌린 용수철처럼 찌그러졌다가 펴지면서 바닥을 밀고 튀어 오른다. 이때 에너지 일부가 다시 운동 에너지로 바뀐다. 실제 충돌에서는 일부가 열·소리로 바뀌어 처음 높이까지 오르지 못한다.

비유 속	실제 과학
용수철이 눌림	공이 찌그러짐
용수철이 다시 펴짐	공의 모양이 회복되며 다시 튀어 오름

▲ **이 비유는 여기까지만 맞다** 모양이 되돌아오며 다시 움직인다는 점을 빌렸다. 열·소리로 바뀌는 양은 공과 용수철의 재료·구조에 따라 다르다.

실전 연결 ④ — 되돌아오지 않은 높이만큼 비교하기

대표 문제: 질량 0.4 kg인 공을 기준면 위 0.75 m에서 가만히 놓았다. 공이 연직 아래로 떨어져 바닥에 부딪힌 뒤 연직 위로 튀어 올라 최고점에 이르렀을 때 공 중심의 높이는 같은 기준면 위 0.50 m였다. 두 최고점 사이에서 줄어든 공의 역학적 에너지를 구하시오. 공의 회전은 무시한다.

비교 시점	운동 에너지	위치 에너지 = 역학적 에너지
놓기 직전	0 J	$9.8 \times 0.4 \times 0.75 = 2.94$ J
튀어 오른 최고점	0 J	$9.8 \times 0.4 \times 0.50 = 1.96$ J

줄어든 역학적 에너지 = 2.94 − 1.96 = **0.98 J**

이 자료로는 줄어든 0.98 J이 열과 소리로 각각 얼마씩 바뀌었는지는 알 수 없다.

헷갈리지 말 것

- ✗ 역학적 에너지가 감소했으므로 에너지 보존 법칙이 틀렸다.
- ✓ 역학적 에너지 보존 법칙과 에너지 보존 법칙을 구별한다. 열·소리 등과 주변까지 포함하면 에너지는 보존된다.

확인 문제 33–40

Q7 확인 문제 33–40

33 실제 진자의 도달 높이가 점점 낮아졌다. 에너지에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 에너지 자체가 아무 형태도 남기지 않고 사라졌다.

② 추의 질량이 반드시 줄었다.

③ 위치 에너지와 운동 에너지는 각각 처음 값으로 유지된다.

④ 추의 역학적 에너지 일부가 열 등으로 바뀌거나 주변으로 전달되었다.

⑤ 중력이 점점 약해졌다는 뜻이다.

34 질량 0.4 kg인 공의 중심이 같은 기준면 위 0.75 m에서 정지해 있다가, 연직 아래로 낙하·충돌한 뒤 연직 위로 튀어 올라 0.50 m 높이의 최고점에 도달했다. 회전은 무시한다. 두 시점 사이에 줄어든 공의 역학적 에너지를 구하시오.

답

35 34번 자료만으로 알 수 있는 것은?

① 두 시점 사이에 공의 역학적 에너지가 0.98 J 줄었다.

② 0.98 J이 전부 소리 에너지로 바뀌었다.

③ 공기 저항은 정확히 0이었다.

④ 줄어든 0.98 J이 모두 공 밖으로 나갔다.

⑤ 공의 질량이 줄어들어 높이가 낮아졌다.

36 공이 연직으로 떨어져 바닥에 부딪힌 뒤 다시 튀어 오를 수 있는 까닭과, 처음 높이까지 오르지 못하는 까닭을 각각 쓰시오.

답

37 질량 0.2 kg인 진자의 추를 최저점보다 0.5 m 높은 곳에서 가만히 놓았다. 실제로 움직인 뒤 반대편에서는 최저점보다 0.3 m 높은 곳까지 올라갔다. 양끝을 비교한 역학적 에너지 감소량은?

① 0 J
② 0.196 J
③ 0.588 J
④ 0.980 J
⑤ 0.392 J

38 질량 0.4 kg인 공을 가만히 놓았더니 연직 아래로 떨어져 바닥에 부딪힌 뒤 연직 위로 튀어 올랐다. 공의 역학적 에너지는 처음 2.94 J, 나중 최고점에서 1.96 J이었다. 공기 저항과 회전은 무시한다. (1) 열·소리 등으로 바뀐 에너지의 양, (2) 공·바닥·공기를 모두 포함한 전체 에너지는 처음과 비교해 어떠한지 쓰시오.

답

39 ‘역학적 에너지 보존 법칙’과 ‘에너지 보존 법칙’을 바르게 구별한 것은?

① 공이 낮게 튀면 에너지 보존 법칙도 성립하지 않는다.
② 에너지가 열로 바뀌면 에너지 자체가 사라진다.
③ 물체의 역학적 에너지가 줄어도 열·소리와 주변까지 포함한 에너지는 보존된다.
④ 에너지 보존 법칙이 성립하면 물체는 언제나 처음 높이로 되돌아온다.
⑤ 충돌 중에는 에너지에 관한 설명을 할 수 없다.

40 같은 진자에서 (가)는 공기 저항과 마찰을 무시한 예상 결과이고, (나)는 실제 관찰 결과이다.

구분	처음 왼쪽 높이	다음 오른쪽 최고 높이
(가)	0.40 m	0.40 m
(나)	0.40 m	0.36 m

모두 같은 최저점을 기준으로 재었고 추를 처음에 가만히 놓았다. (1) (가)에서 두 높이가 같은 이유, (2) (나)가 전체 에너지 소멸을 뜻하지 않는 이유를 쓰시오.

답

선택 확장

선택 1 고정된 진자의 추를 최저점보다 높은 P에서 가만히 놓는 대신, 내려가는 방향으로 조금 밀어 출발시켰다. 이후에는 손을 대지 않았고 공기 저항과 마찰도 없다. 추는 줄이 팽팽한 채 한쪽 끝에서 멈추었다 돌아오는 범위에서 움직인다. 반대편 최고점은 P보다 높은가, 같은가, 낮은가? 까닭을 쓰시오.

답

선택 2 질량이 일정한 공을 가만히 놓았다. 공은 연직 아래로 떨어져 바닥에 부딪힌 뒤 연직 위로 튀어 올랐다. 기준면은 공이 바닥에 닿기 직전 공 중심을 지나는 수평면이며, 충돌 직후 공 중심도 이 높이에 있다. 이 기준면에서 잰 나중 최고점의 높이는 처음 높이의 64%였다. 공기 저항과 회전은 무시한다. (1) 나중 최고점의 역학적 에너지는 처음의 몇 %인가? (2) 충돌 직후의 속력은 충돌 직전 속력의 몇 %인가?

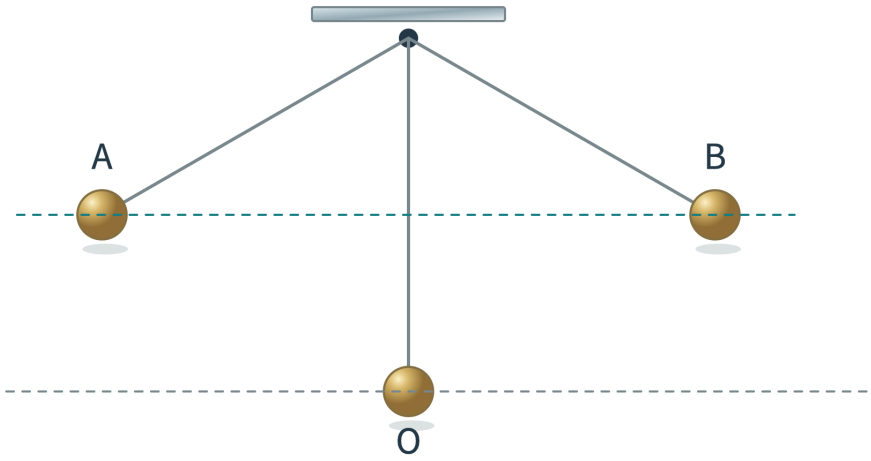
답

한눈에 정리

판단할 것	확인할 기준
다른 경로의 도착 속력	출발 속력, 내려온 높이, 에너지 보존 조건
진자의 양끝 높이	정지 출발·추가로 밀지 않음·공기 저항과 마찰 없음
같은 높이에서 같은 추의 속력	위치 에너지와 두 에너지의 합이 같으면 운동 에너지도 같다.
다른 질량의 낙하	공기 저항 없이 정지 출발하여 같은 높이만큼 낙하하면, 속력은 같아도 운동 에너지는 다르다.
도착 시간	마지막 속력만으로 정하지 않는다. 도중의 속력과 거리도 필요하다.
실험 자료	같은 기준면으로 두 에너지를 계산하고 여러 위치의 합을 비교한다.
그래프	가로축이 높이·내려온 거리·시간 중 무엇인지 먼저 구별한다.
실제 운동	역학적 에너지가 줄어도 에너지 보존 법칙은 성립한다.

양끝과 가운데에서 에너지를 비교하면

가만히 놓음 · 공기 저항과 마찰 없음 · 고정된 줄



A	O	B
속력 0 위치 에너지 최대	속력 최대 운동 에너지 최대	속력 0 위치 에너지 최대

두 에너지의 합은 일정하고, A와 B의 높이는 같다.

자주 하는 실수

✗ 잘못 생각하기	✓ 바로잡기
내려온 길이만큼 위치 에너지가 줄어든다.	출발점과 도착점의 높이 차이로 구한다.
무엇에 닿아 있으면 무조건 역학적 에너지가 감소한다.	고정 레일·진자의 조건과 마찰, 추가로 에너지를 주는지 등을 확인한다.
같은 도착 속력은 같은 도착 시간을 뜻한다.	도착 순간과 도중의 운동을 구별한다.
운동 에너지가 크면 언제나 속력도 크다.	질량도 함께 비교한다.
그래프의 오른쪽은 언제나 나중이다.	가로축의 이름과 눈금을 확인한다.
반복 측정하면 모든 잘못이 없어진다.	기준면·단위·장치의 문제는 따로 확인한다.
낮게 튀었으므로 에너지가 사라졌다.	열·소리 등 다른 형태와 주변까지 살펴본다.

정답·해설

빠른 정답

번호	정답
1	②
2	(가)와 (나) 모두 5.88 J. 위치 에너지 변화는 경로 길이가 아니라 높이 차이로 정해진다.
3	⑤
4	블록 A. 더 낮은 곳에 도착해 위치 에너지가 더 작고 운동 에너지가 더 크다.
5	④
6	①
7	(가) 감소 · (나) 일정 · (다) 감소 · (라) 일정
8	④
9	위치 에너지 0.196 J · 운동 에너지 0.588 J
10	③
11	(1) 역학적 에너지의 합(전체 동전 8개). (2) 위치 칸 2개·운동 칸 6개.
12	②
13	고정된 진자의 추를 한쪽에서 밀지 않고 가만히 놓고 공기 저항과 마찰이 없으면, 반대편에서 처음 높이에 도달한다.
14	①
15	같은 속력에서 운동 에너지도 질량에 비례해 커지므로, 더 큰 위치 에너지 감소량이 더 큰 질량의 운동 에너지 증가에 대응한다.
16	⑤
17	걸린 시간은 이동 거리뿐 아니라 도중의 속력에도 관계있기 때문이다.
18	B는 처음에 가파르게 내려가 일찍 빨라지므로, 길이가 길어도 도중의 속력이 커서 먼저 도착할 수 있다.
19	③
20	위치 에너지 0.784 J · 운동 에너지 0.196 J
21	④
22	(1) 0.588 J (2) 0.580 J (3) B 0.980 J·C 0.972 J

번호	정답
23	②
24	예: 기준면을 일관되게 썼는지, 속력 측정이 정확한지.
25	⑤
26	h + d = H, h = 0.7 m
27	①
28	(가) 오른쪽 H → 왼쪽 0, (나) 왼쪽 0 → 오른쪽 H
29	③
30	(1) 7 J (2) 차례로 1 J, 3 J, 5 J
31	②
32	합이 일정해도 각각이 같은 시간마다 같은 양씩 변하는 것은 아니다. 자유 낙하에서는 점점 빨라져 두 에너지가 시간에 따라 곡선으로 변한다.
33	④
34	0.98 J
35	①
36	찌그러졌던 공이 펴지며 바닥을 밀어 일부 에너지가 다시 운동 에너지로 바뀐다. 일부는 열·소리 등으로 바뀌므로 처음 높이까지 오르지 못한다.
37	⑤
38	(1) 0.98 J (2) 변하지 않는다. 에너지 보존 법칙이 성립한다.
39	③
40	(1) 양끝에서 운동 에너지가 0이고 역학적 에너지가 보존되어 위치 에너지가 같기 때문이다. (2) 줄어든 역학적 에너지가 열 등으로 바뀌거나 주변으로 전달될 수 있기 때문이다.
선택 1	P보다 높다. 처음 위치 에너지에 출발 운동 에너지가 더해졌기 때문이다.
선택 2	(1) 64% (2) 80%

풀이와 오답 점검

1 ②

② 처음 두 에너지의 합과 도착 높이가 같으므로 도착 운동 에너지가 같다. ①·③·④·⑤는 레일 모양에 따라 달라질 수 있다.

2 **(가)와 (나) 모두 5.88 J. 위치 에너지 변화는 경로 길이가 아니라 높이 차이로 정해진다.**

두 경우 모두 9.8 × 0.5 × 1.2 = 5.88 J이다. 레일의 길이 2 m와 3 m를 높이 대신 넣지 않는다.

채점 기준: 두 값 5.88 J, 같은 질량·같은 높이 차이의 연결을 포함.

3 ⑤

⑤ 9.8 × 0.5 × 1.2 = 5.88 J이 운동 에너지로 바뀐다. ① 도착점의 위치 에너지와 혼동했다. ② 9.8을 빠뜨렸다. ③ ½를 잘못 곱했다. ④ 질량을 1 kg으로 넣은 값이다.

4 **블록 A. 더 낮은 곳에 도착해 위치 에너지가 더 작고 운동 에너지가 더 크다.**

처음 에너지의 합은 같다. 같은 질량에서는 도착 운동 에너지가 큰 쪽의 속력이 더 크다.

채점 기준: A 선택, 더 낮은 도착 높이, 더 큰 운동 에너지의 연결을 포함.

5 ④

④ B는 처음부터 합이 1 J 더 크다. 도착 위치 에너지는 같으므로 도착 운동 에너지도 B가 1 J 더 크다. ① 출발 속력이 다른 조건을 빠뜨렸다. ② 차이의 방향이 반대이다. ③·⑤는 주어진 조건과 맞지 않는다.

6 ①

① 양끝에서 운동 에너지가 0이고 에너지의 합이 같으므로 높이가 같다. ② O에서 운동 에너지가 가장 크다. ③ B에 위치 에너지가 남는다. ④ O에서 위치 에너지는 0이다. ⑤ 중력은 계속 작용한다.

7 **(가) 감소 · (나) 일정 · (다) 감소 · (라) 일정**

내려갈 때 위치 에너지가 운동 에너지로, 올라갈 때 운동 에너지가 위치 에너지로 전환된다. 두 구간 모두 합은 일정하다.

8 ④

④ 처음 위치 에너지 9.8 × 0.2 × 0.4 = 0.784 J이 O에서는 모두 운동 에너지이다. ① O의 위치 에너지와 혼동했다. ② 0.1 m에서의 위치 에너지이다. ③ 불필요하게 절반으로 나눈 값이다. ⑤ 질량을 1 kg으로 넣었다.

9 **위치 에너지 0.196 J · 운동 에너지 0.588 J**

위치 에너지는 9.8 × 0.2 × 0.1 = 0.196 J이다. 합은 0.784 J이므로 운동 에너지는 0.784 − 0.196 = 0.588 J이다.

채점 기준: 두 에너지의 이름과 값을 바르게 연결하면 정답.

10 ③

③ 같은 높이에서 위치 에너지와 운동 에너지가 같으므로 속력이 같다. ① 이 편의 고정점·줄 조건에서는 연결되어 있다는 이유만으로 감소하지 않는다. ② 중력은 계속 작용한다. ④ 가장 낮은 곳에서 가장 빠르다. ⑤ 올라갈수록 운동 에너지는 감소한다.

11 **(1) 역학적 에너지의 합(전체 동전 8개). (2) 위치 칸 2개·운동 칸 6개.**

높이가 ¼이면 위치 에너지도 처음의 ¼이므로 위치 칸은 2개이다. 전체 8개가 유지되므로 운동 칸은 6개이다.

채점 기준: (1) 역학적 에너지의 합, (2) 2개·6개를 바르게 대응.

12 ②

② 비스듬히 던진 공은 최고점에서도 옆으로 움직이므로 운동 에너지가 있다. ①·③·④·⑤는 제시한 순간에 속력이 0이다.

13 **고정된 진자의 추를 한쪽에서 밀지 않고 가만히 놓고 공기 저항과 마찰이 없으면, 반대편에서 처음 높이에 도달한다.**

줄의 길이와 고정점이 변하지 않고 추에 추가로 에너지를 주지 않는 조건이다. 실제 진자는 저항과 마찰 때문에 도달 높이가 낮아질 수 있다.

채점 기준: 정지 출발, 공기 저항·마찰 없음, 처음 높이까지 올라감의 연결을 포함.

14 ①

① 같은 높이만큼 정지 상태에서 낙하하면 속력은 같다. 운동 에너지는 질량에 비례하므로 2배이다. ② 질량의 차이를 빠뜨렸다. ③·④ 질량이 크다고 낙하 속력이 2배가 되는 것은 아니다. ⑤ 질량 효과를 반대로 적용했다.

15 **같은 속력에서 운동 에너지도 질량에 비례해 커지므로, 더 큰 위치 에너지 감소량이 더 큰 질량의 운동 에너지 증가에 대응한다.**

9.8 × 질량 × 내려온 높이 = ½ × 질량 × 속력²에서 양쪽을 질량으로 나누면 속력 비교에서 질량이 없어지는 것으로 설명할 수도 있다.

채점 기준: 운동 에너지에도 질량이 들어간다는 점과 속력이 같을 수 있다는 연결을 포함. 단순히 '무거워도 같다'만 쓰면 불충분.

16 ⑤

⑤ 도착 시간이 같은지는 도중의 속력과 이동 거리도 알아야 한다. ①·②·③ 처음 에너지의 합과 도착 높이가 같으므로 도착점의 두 에너지와 합이 각각 같다. ④ 질량과 운동 에너지가 같으므로 도착 속력도 같다.

17 **걸린 시간은 이동 거리뿐 아니라 도중의 속력에도 관계있기 때문이다.**

더 긴 경로에서 중간에 더 빠르게 움직이는 경우가 있을 수 있다. 어느 쪽이 먼저인지는 경로와 운동에 관한 추가 정보가 있어야 정한다.

채점 기준: 이동 거리와 도중의 속력을 함께 언급하면 정답.

18 **B는 처음에 가파르게 내려가 일찍 빨라지므로, 길이가 길어도 도중의 속력이 커서 먼저 도착할 수 있다.**

도착 시간은 경로 길이뿐 아니라 도중의 속력에 따라 달라진다. 두 블록의 최종 속력이 같다는 사실이 도중의 속력까지 같음을 뜻하지는 않는다.

채점 기준: 처음 가파른 구간에서 일찍 빨라짐, 도중의 속력과 도착 시간의 연결을 포함.

19 ③

③ 위치 에너지에는 질량과 높이, 운동 에너지에는 질량과 속력이 필요하다. ①은 속력, ②는 질량이 빠졌다. ④ 낙하 시간은 운동 에너지 식에 직접 넣는 값이 아니다. ⑤ 경로 길이는 높이 차이와 다르다.

20 **위치 에너지 0.784 J · 운동 에너지 0.196 J**

100 g = 0.100 kg이다. 위치 에너지는 9.8 × 0.100 × 0.80 = 0.784 J, 운동 에너지는 ½ × 0.100 × 1.98^2 = 0.19602 J → 약 0.196 J이다.

채점 기준: 질량을 kg으로 바꾼 대입식과 두 값을 포함.

21 ④

④ (1.97 + 1.99 + 1.98) ÷ 3 = 1.98 m/s이다. ①·②는 측정값 하나만 골랐다. ③ 합을 평균으로 착각했다. ⑤ 평균을 다시 3으로 나눈 값이다.

22 **(1) 0.588 J (2) 0.580 J (3) B 0.980 J·C 0.972 J**

위치 에너지 감소량은 0.784 − 0.196 = 0.588 J, 운동 에너지 증가량은 0.776 − 0.196 = 0.580 J이다. 합은 B에서 0.784 + 0.196 = 0.980 J, C에서 0.196 + 0.776 = 0.972 J이다. 두 합의 차이는 0.008 J이다.

23 ②

② 관찰한 조건과 자료가 뒷받침하는 범위 안에서 결론을 낸다. ① 모든 운동으로 넓힐 수 없다. ③·④ 작은 측정 차이와 저항을 완전히 배제할 수 없다. ⑤ 일정한 것은 합이며 각각은 변한다.

24 **예: 기준면을 일관되게 썼는지, 속력 측정이 정확한지.**

처음에 밀지 않았는지, 단위를 바르게 바꿨는지, 다른 물체와의 접촉·마찰이 있었는지, 반복값의 흩어짐도 확인할 수 있다.

채점 기준: 원인 후보 두 가지를 구체적으로 쓰면 정답. 같은 원인을 표현만 바꿔 두 번 쓴 것은 한 가지로 센다.

25 ⑤

⑤ 위치 에너지는 9.8mh이므로 높이에 비례한다. ① 같은 조건의 운동 에너지 그래프이다. ② 위치 에너지가 0인 것은 h = 0일 때이다. ③ 합과 혼동했다. ④ 높이 축을 시간 축으로 잘못 읽었다.

26 **h + d = H, h = 0.7 m**

높이 1.0 m 중 0.3 m를 내려왔으므로 남은 높이는 1.0 − 0.3 = 0.7 m이다. 이 d는 연직 낙하 거리이며 굽은 경로의 길이가 아니다.

27 ①

① 내려온 높이만큼 잃은 위치 에너지가 운동 에너지로 바뀐다. ② 위치 에너지는 감소한다. ③ 합은 일정하다. ④ d = 0은 정지 출발이다. ⑤ d = H이면 기준면에 도달해 위치 에너지가 0이다.

28 **(가) 오른쪽 H → 왼쪽 0, (나) 왼쪽 0 → 오른쪽 H**

출발 순간 높이는 H이고 내려온 거리는 0이다. 도착 순간 높이는 0이고 내려온 거리는 H이다. 가로축의 오른쪽이 항상 나중을 뜻하지 않는다.

29 ③

③ 물체가 빨라지므로 같은 시간마다 내려오는 거리가 커지고 운동 에너지 증가량도 커진다. ①·②·⑤는 낙하 중 에너지 변화와 맞지 않는다. ④ 같은 시간마다 같은 양만큼 증가한다고 잘못 보았다.

30 **(1) 7 J (2) 차례로 1 J, 3 J, 5 J**

마지막 위치 에너지는 16 − 9 = 7 J이다. 증가량은 1 − 0, 4 − 1, 9 − 4로 구한다. 마지막 값 9 J을 마지막 구간의 증가량 5 J과 구별한다.

31 ②

② 두 값이 같고 합이 8 J이므로 각각 4 J이다. ①·④ 운동 에너지와 중력이 사라지지 않는다. ③은 기준면에 도착했을 때의 값이다. ⑤ 높이의 절반과 시간의 절반을 혼동했다.

32 **합이 일정해도 각각이 같은 시간마다 같은 양씩 변하는 것은 아니다. 자유 낙하에서는 점점 빨라져 두 에너지가 시간에 따라 곡선으로 변한다.**

합의 일정함은 줄어든 위치 에너지와 늘어난 운동 에너지의 양이 같다는 뜻이다. 그 변화량이 매 시간 간격마다 같다는 뜻은 아니다.

채점 기준: 합의 일정함과 시간별 변화량의 일정함을 구별하면 정답.

33 ④

④ 공기 저항과 마찰 때문에 추의 역학적 에너지가 줄어들 수 있다. ① 전체 에너지의 소멸이 아니다. ②·⑤를 뜻하지 않는다. ③ 각 에너지의 최대값도 점차 작아진다.

34 **0.98 J**

두 시점 모두 운동 에너지가 0이다. 처음 9.8 × 0.4 × 0.75 = 2.94 J, 나중 9.8 × 0.4 × 0.50 = 1.96 J이므로 0.98 J 줄었다.

채점 기준: 두 시점의 에너지를 비교한 식과 0.98 J을 포함.

35 ①

①은 계산으로 확인된다. ② 에너지 형태별 양은 주어지지 않았다. ③ 공기 저항 조건을 제시하지 않았다. ④ 일부는 공 자체의 열에너지로 남을 수 있다. ⑤ 질량 감소를 뜻하지 않는다.

36 **찌그러졌던 공이 펴지며 바닥을 밀어 일부 에너지가 다시 운동 에너지로 바뀐다. 일부는 열·소리 등으로 바뀌므로 처음 높이까지 오르지 못한다.**

모양이 회복되며 되돌아오는 부분과, 열·소리 등으로 바뀌는 부분을 나누어 설명한다.

채점 기준: 모양 회복과 다시 튀어 오름, 열·소리 전환과 낮아진 높이의 두 연결을 포함.

37 ⑤

⑤ $9.8 \times 0.2 \times (0.5 - 0.3) = 0.392$ J이다. ① 두 높이가 다른데 보존된다고 가정했다. ② 높이 차이를 0.1 m로 잘못 넣었다. ③ 나중 에너지의 값이다. ④ 처음 에너지의 값이다.

38 **(1) 0.98 J (2) 변하지 않는다. 에너지 보존 법칙이 성립한다.**

$2.94 - 1.96 = 0.98$ J이다. 물체의 역학적 에너지 감소는 열·소리 등 다른 형태까지 포함한 에너지 전체가 없어졌다는 뜻이 아니다.

채점 기준: 0.98 J, 전체 에너지의 일정함을 포함.

39 ③

③ 역학적 에너지는 에너지 전체 중 일부이다. ①·② 소멸로 잘못 보았다. ④ 열·소리 등으로 바뀐 에너지가 모두 원래 운동으로 돌아온다는 뜻은 아니다. ⑤ 충돌 전후뿐 아니라 변형·열·소리까지 고려해 설명할 수 있다.

40 **(1) 양끝에서 운동 에너지가 0이고 역학적 에너지가 보존되어 위치 에너지가 같기 때문이다. (2) 줄어든 역학적 에너지가 열 등으로 바뀌거나 주변으로 전달될 수 있기 때문이다.**

같은 질량의 추에서 양끝 높이가 같다는 것은 양끝 위치 에너지가 같다는 뜻이다. 실제 관찰에서 낮아진 높이는 역학적 에너지 감소를 보여 주지만 모든 에너지의 소멸을 뜻하지 않는다.

채점 기준: (1) 양끝 운동 에너지 0과 합의 보존, (2) 다른 형태로의 전환 또는 주변 전달을 포함.

선택 1 **P보다 높다. 처음 위치 에너지에 출발 운동 에너지가 더해졌기 때문이다.**

반대편 끝에서는 운동 에너지가 0이므로 처음 두 에너지의 합이 모두 위치 에너지이다. P에서 가만히 놓은 경우보다 합이 크기 때문에 같은 질량의 추는 더 높이 올라간다.

채점 기준: 더 높음, 출발 운동 에너지가 추가됨, 끝에서 위치 에너지로 바뀜을 연결.

선택 2 **(1) 64% (2) 80%**

두 최고점에서는 운동 에너지가 0이므로 역학적 에너지의 비는 높이의 비와 같은 0.64이다. 충돌 직전과 직후에는 기준면에 있어 위치 에너지가 0이고, 낙하·반발 구간의 공기 저항도 없다. 따라서 충돌 직후의 운동 에너지는 직전의 0.64배이다. 같은 질량에서 운동 에너지는 속력의 제곱에 비례하므로 속력의 비는 $\sqrt{0.64} = 0.8$이다. 속력은 64%가 아니라 80%이다.

채점 기준: (1) 64%, (2) 80%와 운동 에너지가 속력의 제곱에 비례한다는 근거를 포함.

다음 편에서 이어질 질문

자석을 코일 가까이 움직이면 전지가 없어도 전류가 흐를 수 있다. 다음 편에서는 자기장의 변화와 전기 발생을 살펴보고, 발전기가 어떤 에너지를 전기 에너지로 바꾸는지 알아본다.