

엔픽 · 통합과학 물리

기본탄탄 · 실력쑥쑥 집중

1 힘과 에너지

2 에너지와 열

04강

일과 에너지

기본탄탄 · 실력쑥쑥

04강 일과 에너지

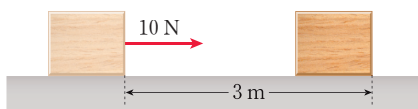
기본 탄탄 문제

1 일과 운동 에너지

01 일과 에너지에 대한 설명으로 옳은 것은 ○표, 옳지 않은 것은 ×표 하시오.

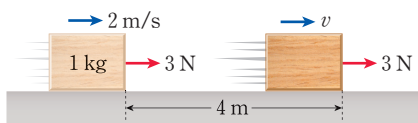
- (1) 힘이 물체에 한 일은 힘의 크기와 힘의 방향으로 이동한 거리의 합이다. ()
- (2) 물체에 힘을 작용해 물체가 힘과 수직인 방향으로 이동할 때 힘이 물체에 일을 한다고 한다. ()
- (3) 힘을 물체의 이동 거리에 따라 나타낸 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 힘이 한 일이다. ()

02 그림과 같이 물체에 10 N의 일정한 알짜힘을 가하여 물체를 힘의 방향으로 3 m만큼 이동시켰다.



힘이 물체에 한 일은 몇 J인지 구하시오.

03 그림은 2 m/s의 속력으로 운동하는 질량 1 kg인 물체에 운동 방향으로 알짜힘 3 N이 작용해 4 m만큼 이동했더니 물체의 속력이 v 가 된 모습을 나타낸 것이다.



v 는 몇 m/s인지 구하시오.

2 위치 에너지

04 다음은 위치 에너지에 대한 설명이다. () 안에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

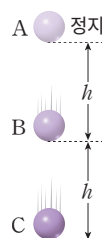
(○)에 의한 위치 에너지는 중력이 작용하는 공간에서 물체가 기준면으로부터 다른 위치에 있을 때 가지는 에너지이고, (△)에 의한 위치 에너지는 탄성을 갖는 물체가 변형되었을 때 가지는 에너지이다.

05 다음 물체의 위치 에너지 변화량을 구하시오.

- (1) 질량 4 kg인 물체를 0.5 m 높이만큼 들어 올렸을 때 중력에 의한 위치 에너지는 몇 J만큼 증가하는가? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)
- (2) 용수철 상수가 20 N/m인 용수철을 당겨 길이를 원래 길이보다 10 cm만큼 늘였을 때 탄성력에 의한 위치 에너지는 몇 J만큼 증가하는가?

3 역학적 에너지 보존

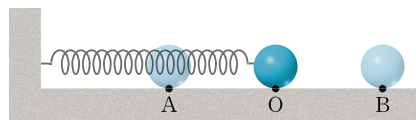
06 그림은 점 A에 가만히 놓은 물체가 자유 낙하 운동을 하며 점 B, C를 지나는 모습을 나타낸 것이다. A와 B, B와 C 사이의 높이는 같다. 표는 A, B, C에서 물체의 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지를 나타낸 것이다.



구분	운동 에너지(J)	중력에 의한 위치 에너지(J)
A	(○)	40
B	(△)	30
C	(□)	(◇)

표의 () 안에 들어갈 알맞은 값을 쓰시오.

07 그림은 수평면에서 용수철에 매달려 점 O를 중심으로 점 A와 점 B 사이를 왕복 운동을 하는 물체를 나타낸 것이다.



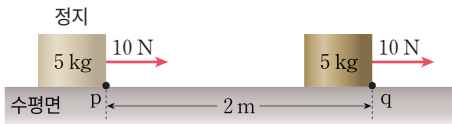
이에 대한 설명으로 옳은 것은 ○표, 옳지 않은 것은 ×표 하시오. (단, 용수철의 질량, 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

- (1) 물체의 운동 에너지는 O에서 가장 크다. ()
- (2) 물체가 O에서 멀어질수록 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 감소한다. ()
- (3) 물체가 왕복 운동을 하는 동안 탄성력에 의한 위치 에너지는 일정하다. ()

1 일과 운동 에너지

01 (중요) ☆

그림은 수평면상의 점 p에 정지해 있던 질량 5 kg인 물체에 수평 방향으로 10 N의 힘을 가했더니 물체가 2 m 떨어진 점 q를 통과하는 모습을 나타낸 것이다.

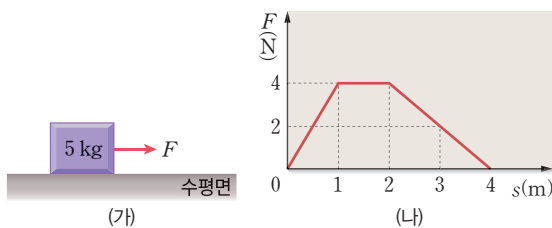


물체가 p에서 q까지 운동하는 동안, 물체의 운동과 에너지에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

- ① 물체의 운동 에너지는 일정하다.
- ② q에서 물체의 속력은 2 m/s이다.
- ③ 중력이 물체에 한 일은 100 J이다.
- ④ 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 20 J이다.
- ⑤ 수평면이 물체를 떠받치는 힘이 한 일은 100 J이다.

02 (중요) ☆

그림 (가)는 수평면상에 정지해 있는 질량 5 kg인 물체에 수평 방향으로 힘 F 를 작용하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 물체가 이동한 거리 s 에 따른 F 를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

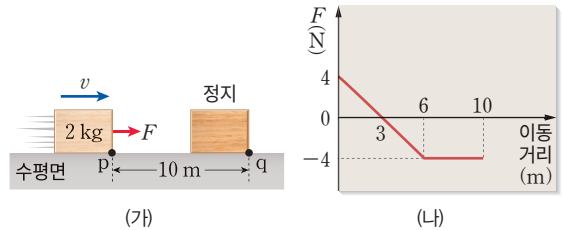
보기

- ㄱ. $s=3$ m일 때 물체의 운동 에너지는 9 J이다.
- ㄴ. $s=4$ m일 때 물체의 속력은 10 m/s이다.
- ㄷ. $s=4$ m일 때 물체의 운동 에너지는 $s=2$ m일 때의 2 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

03 (중요) ☆

그림 (가)는 수평면에서 점 p를 속력 v 로 통과한 질량 2 kg인 물체에 수평 방향으로 알짜힘 F 를 작용하였더니, 10 m 만큼 떨어진 점 q에서 정지한 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 F 를 p로부터의 이동 거리에 따라 나타낸 것이다.



물체가 p에서 q까지 운동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

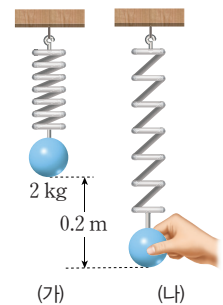
- ㄱ. v 는 3 m/s이다.
- ㄴ. 물체의 운동 에너지의 최댓값은 22 J이다.
- ㄷ. 물체의 운동 방향은 1 초일 때와 5 초일 때가 반대이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

2 위치 에너지

04

오른쪽 그림 (가)는 용수철 상수가 100 N/m인 용수철에 질량 2 kg인 물체가 매달려 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)에서 물체를 연직 아래로 0.2 m만큼 당긴 모습을 나타낸 것이다.



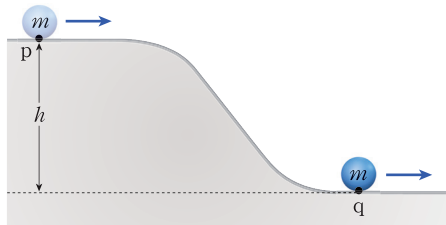
(가)에서 (나)가 되는 동안 탄성력에 의한 위치 에너지 $E_{\text{탄성}}$ 과 중력에 의한 위치 에너지 $E_{\text{중력}}$ 의 변화량으로 옳은 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 용수철의 질량은 무시한다.)

- | $E_{\text{탄성}}$ | $E_{\text{중력}}$ | $E_{\text{탄성}}$ | $E_{\text{중력}}$ |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ① 1 J 증가 | 4 J 감소 | ② 6 J 증가 | 4 J 감소 |
| ③ 6 J 증가 | 4 J 증가 | ④ 8 J 감소 | 8 J 감소 |
| ⑤ 8 J 증가 | 8 J 증가 | | |

역학적 에너지 보존

05

그림은 질량이 m 인 물체가 점 p에서 점 q를 지나며 운동하는 모습을 나타낸 것이다. p, q에서 물체의 운동 에너지는 각각 E , $3E$ 이고, p와 q의 높이차는 h 이다.

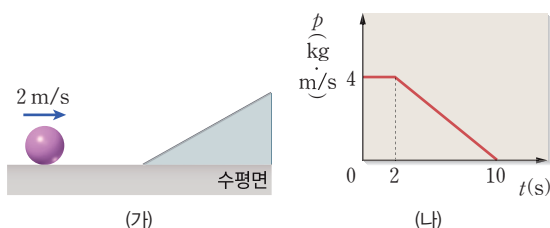


h 는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

- ① $\frac{2E}{3mg}$ ② $\frac{4E}{3mg}$ ③ $\frac{2E}{mg}$
 ④ $\frac{8E}{3mg}$ ⑤ $\frac{10E}{3mg}$

06

그림 (가)는 물체가 수평면과 빗면을 따라 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 물체의 운동량의 크기 p 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다. 수평면에서 물체의 속력은 2 m/s 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

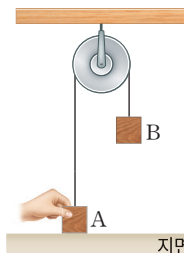
보기

- ㄱ. 물체의 질량은 2 kg 이다.
 ㄴ. 빗면에서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 1 N 이다.
 ㄷ. 물체가 빗면을 따라 올라가는 최고점은 수평면으로부터 높이가 0.5 m 인 지점이다.

- ① ㄱ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

오른쪽 그림은 물체 A, B가 실로 연결된 상태에서 지면에 놓인 A를 잡고 있는 모습을 나타낸 것이다. 질량은 A가 B보다 작다.



A를 가만히 놓은 순간부터 A, B의 높이가 같아질 때까지, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

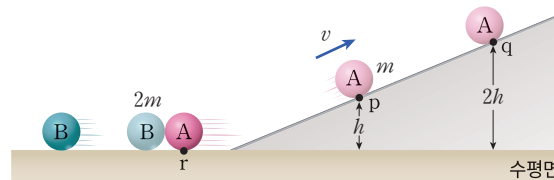
보기

- ㄱ. A의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량보다 작다.
 ㄴ. A와 B의 높이가 같을 때, 운동 에너지는 A와 B가 같다.
 ㄷ. B의 역학적 에너지는 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

08

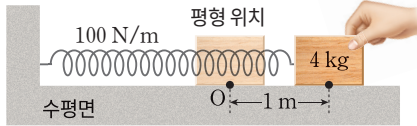
그림은 높이가 h 인 빗면상의 점 p에서 빗면 위로 속력 v 로 운동하던 질량 m 인 물체 A가 높이 $2h$ 인 점 q까지 올라간 뒤 다시 빗면을 내려와, 수평면상에서 운동 에너지 E 로 운동하다가 점 r에서 정지해 있던 질량 $2m$ 인 물체 B와 충돌하는 모습을 나타낸 것이다. 충돌 후, A는 그 자리에 정지하고 B는 운동 에너지 E_B 로 등속 운동을 한다.



E_B 는? (단, 물체의 크기와 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

- ① $\frac{1}{3}E$ ② $\frac{2}{5}E$ ③ $\frac{1}{2}E$
 ④ $\frac{\sqrt{2}}{2}E$ ⑤ E

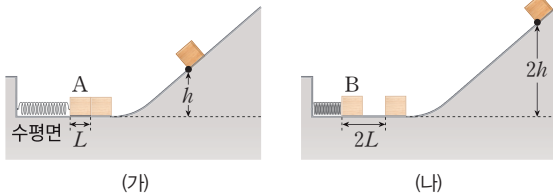
- 09** 그림은 수평면에서 벽면에 고정된 용수철에 질량 4 kg인 물체를 매달아 평형 위치인 점 O로부터 1 m만큼 당겨 손으로 잡고 있는 모습을 나타낸 것이다. 용수철 상수는 100 N/m이다.



물체를 잡고 있는 손을 가만히 놓았을 때, O에서 물체의 속력은? (단, 물체의 크기, 용수철의 질량, 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

- ① 4 m/s ② 5 m/s ③ 6 m/s
④ 7 m/s ⑤ 8 m/s

- 10** 그림 (가), (나)는 각각 수평면에서 한쪽 끝이 고정되어 있는 동일한 용수철에 물체 A, B를 접촉한 채로 용수철을 원래 길이로부터 각각 L , $2L$ 만큼 압축시킨 모습을 나타낸 것이다. A, B를 가만히 놓았더니, A, B는 수평면을 지나 빗면을 따라 운동하여 각각 최고 높이 h , $2h$ 까지 올라갔다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 용수철의 질량, 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

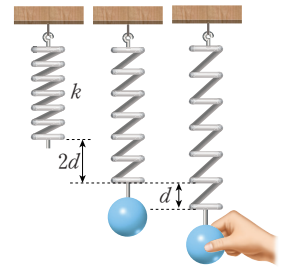
보기

- ㄱ. 용수철에서 분리된 후 수평면에서 물체의 운동 에너지는 B가 A의 4 배이다.
ㄴ. 최고점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 B가 A의 2 배이다.
ㄷ. 질량은 A가 B의 2 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

- 11** (중요)

오른쪽 그림과 같이 용수철 상수가 k 인 용수철에 물체를 매달아 원래 길이보다 $2d$ 만큼 늘어난 상태로 정지해 있을 때, 물체를 연직 아래로 d 만큼 더 당겼다가 놓았다.

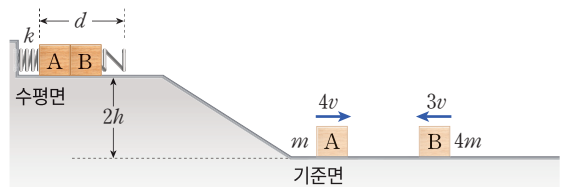


물체를 놓은 뒤 용수철이 원래 길이보다 $2d$ 만큼 늘어난 순간, 물체의 운동 에너지는? (단, 용수철의 질량과 공기 저항은 무시한다.)

- ① $\frac{1}{4}kd^2$ ② $\frac{1}{3}kd^2$ ③ $\frac{1}{2}kd^2$
④ kd^2 ⑤ $2kd^2$

- 12** (중요)

그림은 질량이 각각 m , $4m$ 인 물체 A, B가 수평인 기준면에서 각각 수평 방향의 속력 $4v$, $3v$ 로 충돌한 뒤, A와 B가 한 덩어리가 되어 높이 $2h$ 인 빗면을 올라가 수평면에서 용수철 상수가 k 인 용수철을 최대 d 만큼 압축시킨 모습을 나타낸 것이다. 용수철이 최대로 압축되었을 때 A, B의 중력에 의한 위치 에너지의 합은 탄성력에 의한 위치 에너지의 2 배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 기준면에서 중력에 의한 위치 에너지는 0이며, 중력 가속도는 g 이고, 용수철의 질량, 물체의 크기, 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

보기

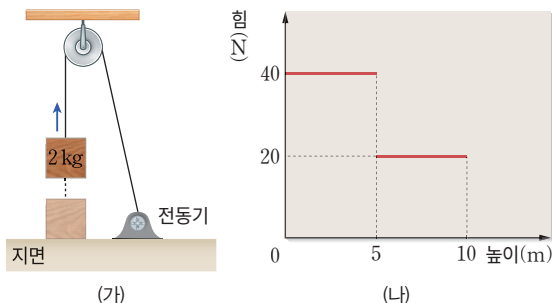
- ㄱ. 충돌 후 기준면에서 A와 B의 운동 에너지의 합은 $\frac{3}{2}kd^2$ 이다.
ㄴ. $v = \sqrt{5gh}$ 이다.
ㄷ. 수평면에서 용수철을 압축하기 직전 A, B의 속력은 $\sqrt{3gh}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

단답형 · 서술형 문제

13 (중요) ☆

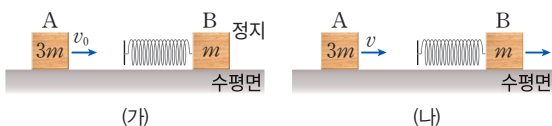
그림 (가)는 전동기에 연결된 실이 지면에 정지해 있는 질량 2 kg 인 물체를 연직 위로 당겼더니 물체가 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 지면에서 물체까지의 높이에 따라 나타낸 것이다.



지면으로부터 높이 10 m 인 지점에서 물체의 속력을 풀이 과정과 함께 구하시오. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 실의 질량과 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

14

그림 (가)는 수평인 일직선상에서 v_0 의 일정한 속력으로 운동하는 물체 A가 정지해 있는 물체 B에 연결된 용수철에 충돌하기 전의 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A가 B에 연결된 용수철에 충돌한 후 A, B가 각각 같은 방향으로 일정한 속력으로 운동하는 모습을 나타낸 것으로, A의 속력은 v 이다. A, B의 질량은 각각 $3m$, m 이고, (가)와 (나)에서 역학적 에너지의 총합은 같다. (단, 용수철의 질량과 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

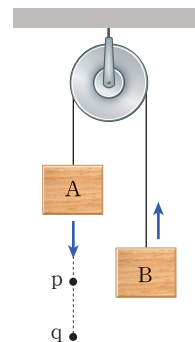


(1) $v_0 : v$ 를 풀이 과정과 함께 구하시오.

(2) (가)에서 A의 운동 에너지를 E_1 , A, B의 충돌 과정에서 용수철에 저장되는 탄성력에 의한 위치 에너지의 최댓값을 E_2 라 할 때 $\frac{E_1}{E_2}$ 를 풀이 과정과 함께 구하시오.

15

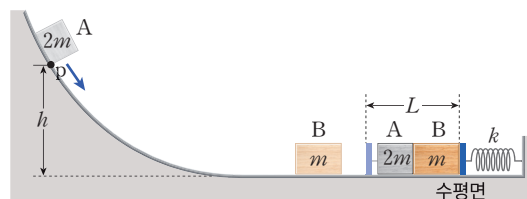
그림은 물체 A, B가 실로 연결되어 등가속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 질량은 A가 B보다 크다.



A가 p에서 q까지 운동하는 동안 A, B의 역학적 에너지 변화를 역학적 에너지 보존 법칙을 이용하여 설명하시오. (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

16

그림은 곡면의 점 p에 가만히 놓은 물체 A가 수평면에 정지해 있는 B와 충돌한 뒤 한 덩어리가 되어 용수철을 원래 길이로부터 최대 L 만큼 압축시킨 모습을 나타낸 것이다. p의 높이는 h 이다. A, B의 질량은 각각 $2m$, m 이고, 용수철 상수는 k 이다. (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체의 크기와 용수철의 질량, 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)



(1) B와 충돌하기 직전 A의 속력을 v_1 , A와 한 덩어리가 되었을 때 B의 속력을 v_2 라 하면, $v_1 : v_2$ 를 풀이 과정과 함께 구하시오.

(2) h 는 $\frac{kL^2}{mg}$ 의 몇 배인지 풀이 과정과 함께 구하시오.

바른답 · 알찬풀이

기본탄탄문제 · 실력쑥쑥문제 해설
04강 일과 에너지

02 에너지와 열

04강 일과 에너지

기본 탄탄 문제

43쪽

- 01 (1) × (2) × (3) ○ 02 30 J 03 $2\sqrt{7}$ m/s
 04 ㉠ 중력, ㉡ 탄성력 05 (1) 20 J (2) 0.1 J
 06 ㉠ 0, ㉡ 10, ㉢ 20, ㉣ 20 07 (1) ○ (2) × (3) ×

01 ㉠ (1) × (2) × (3) ○
 (1) 힘이 물체에 한 일은 힘의 크기와 힘의 방향으로 이동한 거리의 곱이다.

(2) 물체가 힘과 수직인 방향으로 이동할 때 힘이 한 일은 0이다.

02 ㉠ 30 J
 물체에 10 N의 일정한 힘을 가해 힘의 방향으로 3 m만큼 이동시켰으므로 힘이 한 일은 $10 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 30 \text{ J}$ 이다.

03 ㉠ $2\sqrt{7}$ m/s
 일·운동 에너지 정리에 따라 물체에 운동 방향으로 작용하는 알짜힘이 한 일의 양만큼 물체의 운동 에너지가 증가하므로 다음 식이 성립한다.

$$\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times (2 \text{ m/s})^2 + 3 \text{ N} \times 4 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times v^2$$

따라서 $v = 2\sqrt{7}$ m/s이다.

04 ㉠ ㉠ 중력, ㉡ 탄성력
 중력에 의한 위치 에너지는 중력이 작용하는 공간에서 물체가 기준면으로부터 다른 위치에 있을 때 가지는 에너지이고, 탄성력에 의한 위치 에너지는 용수철과 같이 탄성을 갖는 물체가 변형되었을 때 가지는 에너지이다.

05 ㉠ (1) 20 J (2) 0.1 J
 (1) $4 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0.5 \text{ m} = 20 \text{ J}$
 (2) $\frac{1}{2} \times 20 \text{ N/m} \times (0.1 \text{ m})^2 = 0.1 \text{ J}$

06 ㉠ ㉠ 0, ㉡ 10, ㉢ 20, ㉣ 20
 A에서 물체는 정지해 있으므로 운동 에너지는 0이다. A에서 B까지 중력에 의한 위치 에너지가 10 J 감소했으므로, B에서 운동 에너지는 A에서 10 J만큼 증가한 10 J이다. A와 B, B와 C 사이의 높이가 같으므로 B에서 C까지 중력에 의한 위치 에너지도 10 J이 감소한다. 따라서 C에서 운동 에너지는 B에서보다 10 J이 증가한 20 J이다.

07 ㉠ (1) ○ (2) × (3) ×
 (1) 역학적 에너지는 보존되므로 운동 에너지는 탄성력에 의한 위치 에너지가 0인 O에서 최대이다.

(2) 탄성력의 크기는 원래 길이에서 변형된 길이에 비례하므로 O에서 멀어질수록 탄성력의 크기는 증가한다.

(3) 물체가 왕복 운동을 하는 동안 용수철이 변형된 길이는 변하므로 탄성력에 의한 위치 에너지는 변한다.

실력 꼭꼭 문제

44~47쪽

- 01 ④ 02 ① 03 ② 04 ② 05 ③ 06 ① 07 ④
 08 ③ 09 ② 10 ① 11 ③ 12 ①

단답형·서술형 문제

13 예시 답안 알짜힘의 크기는 0~5 m 구간에서 20 N, 5 m~10 m 구간에서 0이므로 일·운동 에너지 정리에 따라 $20 \text{ N} \times 5 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2$ 에서 10 m 지점에서의 속력 $v = 10 \text{ m/s}$ 이다.

14 (1) 예시 답안 (나)에서 B의 속력을 v_B 라고 하면, 운동량과 역학적 에너지 보존에 따라 $3mv_0 = 3mv + mv_B$, $\frac{3}{2}mv_0^2 = \frac{3}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$ 이다. 두 식을 연립하면 $v_0 : v = 2 : 1$ 이다.

(2) 예시 답안 용수철이 최대 압축된 순간 A와 B의 속력이 V로 같다고 하면 운동량 보존 법칙에 따라 $3mv_0 = (3m + m)V$ 에서 $V = \frac{3}{4}v_0$ 이다. 충돌 과정에서 역학적 에너지의 총합은 보존되어 $\frac{3}{2}mv_0^2 = E_2 + \frac{1}{2}(3m + m)V^2$ 에서 $E_2 = \frac{3}{8}mv_0^2$ 이므로 $\frac{E_1}{E_2} = 4$ 이다.

15 예시 답안 A가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지는 증가한다. 따라서 B의 역학적 에너지는 증가한다. A와 B의 역학적 에너지 총합은 보존되므로 A의 역학적 에너지는 감소한다.

16 (1) 예시 답안 운동량 보존 법칙에 따라 $2mv_1 = (2m + m)v_2$ 이다. 따라서 $v_1 : v_2 = 3 : 2$ 이다.

(2) 예시 답안 역학적 에너지는 보존되므로 $2mgh = mv_1^2$ 에서 $v_1 = \sqrt{2gh}$ 이므로 $v_2 = \frac{2}{3}\sqrt{2gh}$ 이다. 한 덩어리가 된 A, B의 운동 에너지와 용수철이 최대 압축되었을 때 탄성력에 의한 위치 에너지는 같으므로 $\frac{1}{2}(2m + m)v_2^2 = \frac{1}{2}kL^2$ 에서 $h = \frac{3kL^2}{8mg}$ 이다. 따라서 h 는 $\frac{kL^2}{mg}$ 의 $\frac{3}{8}$ 배이다.

01 ㉠ ④
 ④ 물체에 작용한 알짜힘의 크기는 10 N이고, 물체가 알짜힘의 방향으로 이동한 거리는 2 m이다. 따라서 알짜힘이 한 일은 $10 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 20 \text{ J}$ 이다.

오답 피하기 ① 물체에 운동 방향과 같은 방향으로 일정한 알짜힘이 작용하므로 물체는 속력이 증가하는 등가속도 운동을 한다. 따라서 물체의 운동 에너지는 증가한다.

② 일·운동 에너지 정리에 따라 알짜힘이 물체에 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다. 물체가 p에서 정지해 있었으므로 q에서 물체의 운동 에너지는 물체에 작용한 알짜힘이 한 일과 같다. q에서 물체의 속력을 v 라고 하면, $20 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 5 \text{ kg} \times v^2$ 에서 $v = 2\sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다.

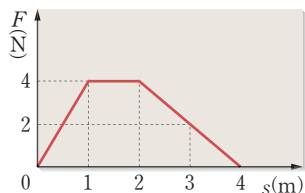
③, ⑤ 물체에 작용한 중력의 방향이나 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 방향은 연직 방향이고, 물체는 수평 방향으로 이동한다. 즉, 중력이나 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 방향으로 물체가 이동한 거리는 0이므로 이 힘들이 한 일은 0이다.

02

답 ①

자료 분석 ① 힘-이동 거리 그래프와 일·운동 에너지 정리

- F 는 알짜힘이므로, 일·운동 에너지 정리에 따라 F 가 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.



- F 와 이동 거리 s 의 관계 그래프 아랫부분의 넓이는 알짜힘이 한 일과 같으므로, 각 구간별 운동 에너지 증가량은 다음 표와 같다.

구간	운동 에너지 증가량
0 m ~ 1 m	$\frac{1}{2} \times 1 \times 4 = 2(\text{J})$
1 m ~ 2 m	$1 \times 4 = 4(\text{J})$
2 m ~ 3 m	$\frac{1}{2} \times 1 \times (4 + 2) = 3(\text{J})$
3 m ~ 4 m	$\frac{1}{2} \times 1 \times 2 = 1(\text{J})$

ㄱ. 위 표의 값을 이용해 구한 $s=3 \text{ m}$ 일 때 운동 에너지는 $2 \text{ J} + 4 \text{ J} + 3 \text{ J} = 9 \text{ J}$ 이다.

오답 피하기 ㄴ. 위 표의 값을 이용해 구한 $s=4 \text{ m}$ 일 때 운동 에너지는 $2 \text{ J} + 4 \text{ J} + 3 \text{ J} + 1 \text{ J} = 10 \text{ J}$ 이다. 이때의 속력을 v 라 하면 $\frac{1}{2} \times 5 \text{ kg} \times v^2 = 10 \text{ J}$ 에서 $v = 2 \text{ m/s}$ 이다.

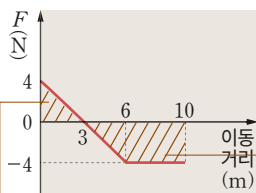
ㄷ. $s=4 \text{ m}$ 일 때 운동 에너지는 10 J 로, $s=2 \text{ m}$ 일 때 운동 에너지인 $2 \text{ J} + 4 \text{ J} = 6 \text{ J}$ 의 $\frac{5}{3}$ 배이다.

03

답 ②

자료 분석 ② 힘-이동 거리 그래프 분석

- F 는 알짜힘이므로, 일·운동 에너지 정리에 따라 F 가 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 달라진다.
- F 와 이동 거리 관계 그래프 아랫부분의 넓이는 F 가 한 일과 같으므로 다음과 같이 운동 에너지가 달라진다.



알짜힘의 방향과 운동 방향이 같다.

따라서 그래프 아랫부분의 넓이만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.

알짜힘의 방향과 운동 방향이 반대이다.

따라서 그래프 아랫부분의 넓이만큼 물체의 운동 에너지가 감소한다.

ㄴ. p에서부터 3 m까지 운동 에너지가 증가하고, 3 m부터 10 m까지 운동 에너지가 감소한다. 따라서 물체의 운동 에너지가 최대인 지점은 p로부터 3 m 떨어진 지점으로, 운동 에너지의 최댓값은 $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (4 \text{ m/s})^2 + 6 \text{ J} = 22 \text{ J}$ 이다.

오답 피하기 ㄱ. p에서 q까지 F 가 한 일, 즉 운동 에너지 변화량은 $\frac{1}{2} \times 4 \times 3 - \frac{1}{2} \times 4 \times (7 + 4) = -16(\text{J})$ 이다. 물체의 속력은 p에서 v , q에서 0이므로 $0 - \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2 = -16 \text{ J}$ 에서 $v = 4 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. p에서부터 3 m 떨어진 지점까지 속력이 증가하고, 이후에는 속력이 감소하다가 10 m 떨어진 지점에서 정지한다. 따라서 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 운동 방향은 변하지 않는다. 즉, 물체의 운동 방향은 1 초일 때와 5 초일 때가 같다.

04

답 ②

(가)에서 물체에 작용하는 중력과 탄성력이 평형을 이루므로 두 힘의 크기는 같다. 따라서 $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ N/m} \times x$ 에서 $x = 0.2 \text{ m}$ 이다. 즉, (가)는 용수철이 원래 길이에서 0.2 m만큼 늘어난 상태이다. (나)에서 용수철이 0.2 m만큼 더 늘어남과 동시에 물체의 높이가 0.2 m만큼 낮아졌으므로 $E_{\text{탄성}}$ 은 증가, $E_{\text{중력}}$ 은 감소한다. 각각의 변화량은 다음과 같다.

$$E_{\text{탄성}} = \frac{1}{2} \times 100 \text{ N/m} \times [(0.4 \text{ m})^2 - (0.2 \text{ m})^2] = 6 \text{ J}$$

$$E_{\text{중력}} = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0.2 \text{ m} = 4 \text{ J}$$

05

답 ③

물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 마찰 및 공기 저항을 무시하므로 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 물체가 p에서 q까지 운

동하는 동안 물체의 중력에 의한 위치 에너지의 감소량은 mgh 이므로, 이 감소량만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다. 따라서 $3E - E = mgh$ 에서 $h = \frac{2E}{mg}$ 이다.

06

답 ①

7. 수평면에서 물체의 운동량의 크기는 $4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, 속력은 2 m/s 이므로 질량은 2 kg 이다.

오답 피하기 ㄴ. 운동량을 시간에 따라 나타낸 그래프에서 그래프의 기울기는 $\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$, 즉 물체에 작용한 알짜힘이다. 따라서 빗면에 서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{8 \text{ s}} = 0.5 \text{ N}$ 이다.

ㄷ. 최고점의 높이를 h 라고 하면, 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (2 \text{ m/s})^2 = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times h$ 이다. 따라서 $h = 0.2 \text{ m}$ 이다.

07

답 ④

7. A를 가만히 놓은 순간부터 A, B의 높이가 같아질 때까지, A가 올라간 거리와 B가 내려간 거리는 같다. 질량은 A가 B보다 작으므로 A의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량보다 작다.

ㄷ. A와 B 각각의 역학적 에너지는 보존되지 않지만, 실로 연결되어 함께 운동하므로 A와 B의 역학적 에너지의 총합은 일정하게 보존된다. A를 가만히 놓은 순간부터 A, B의 높이가 같아질 때까지, A의 높이와 속력은 증가하므로 A의 역학적 에너지는 증가한다. 따라서 B의 역학적 에너지는 감소한다.

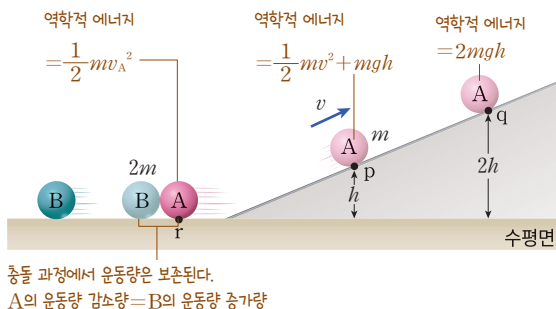
오답 피하기 ㄴ. A를 가만히 놓은 순간부터 A와 B의 속력은 같고 질량은 A가 B보다 작으므로 운동 에너지는 A가 B보다 작다.

08

답 ③

자료 분석 ① 운동량 보존과 역학적 에너지 보존

- 마찰과 공기 저항을 무시하므로, A는 충돌 전까지 역학적 에너지가 보존된다. 중력 가속도를 g , 수평면에서 B와 충돌 직전 A의 속도를 v_A 라 하면, 다음 그림에서와 같이 역학적 에너지에 관한 식을 세울 수 있다.
- 마찰과 공기 저항을 무시하므로, A와 B는 충돌 전후 운동량의 총합이 보존된다.



물체는 높이 $2h$ 인 지점에 도달한 순간 정지하므로 운동 에너지가 0이다. 물체가 높이 h 인 지점에서 $2h$ 인 지점으로 올라가는 동안 증가한 중력에 의한 위치 에너지는 mgh 이고, 감소한 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2$ 이므로 역학적 에너지 보존 법칙에 따라

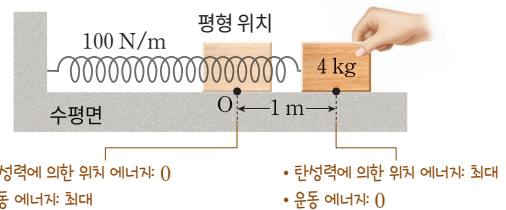
$mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 이다. 따라서 수평면에 도달한 순간 A의 운동 에너지는 $mgh + \frac{1}{2}mv^2 = mv^2 = E$ 이다. 이때 A의 속력을 v_A 라 하면, $\frac{1}{2}mv_A^2 = mv^2$ 에서 $v_A = \sqrt{2}v$ 이다. 따라서 수평면에서 충돌 전 A의 운동량의 크기는 $\sqrt{2}mv$ 이다.

A와 B가 충돌한 뒤 A는 정지하므로 운동량 보존 법칙에 따라 B의 운동량의 크기 또한 $\sqrt{2}mv$ 이다. 이때 B의 속력을 v_B 라고 하면, $2mv_B = \sqrt{2}mv$ 에서 $v_B = \frac{\sqrt{2}}{2}v$ 이다. 따라서 B의 운동 에너지는 $E_B = \frac{1}{2} \times 2m \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2}v\right)^2 = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2}E$ 이다.

09

답 ②

자료 분석 ② 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존



물체를 가만히 놓으면 물체는 탄성력을 받아 운동한다. 물체가 운동하는 동안 역학적 에너지, 즉 운동 에너지와 탄성력에 의한 위치 에너지의 합은 일정하므로 다음 식을 만족한다.

$$\frac{1}{2} \times 100 \text{ N/m} \times (1 \text{ m})^2 = \frac{1}{2} \times 4 \text{ kg} \times v^2$$

따라서 O에서 물체의 속력 $v = 5 \text{ m/s}$ 이다.

10

답 ①

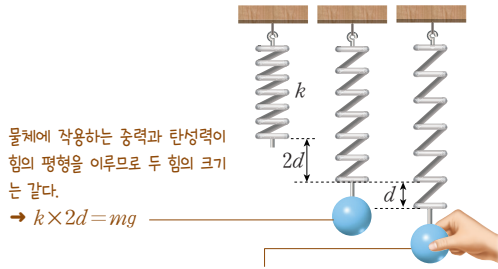
7. 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 용수철에서 분리된 뒤 수평면에서 물체의 운동 에너지와 같고, 이는 용수철이 압축된 길이의 제곱에 비례한다. 용수철이 압축된 길이는 (나)에서가 (가)에서의 2 배이므로 용수철에서 분리된 뒤 수평면에서 물체의 운동 에너지는 B가 A의 4 배이다.

오답 피하기 ㄴ. 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지의 최대값은 빗면의 최고점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지와 같다. 따라서 최고점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 B가 A의 4 배이다.

ㄷ. 최고점에서 중력에 의한 위치 에너지는 B가 A의 4 배이므로 A, B의 질량을 각각 m_A , m_B 라고 하면, $m_B g \times 2h = 4m_A g h$ 이다. 이를 정리하면 $m_B = 2m_A$, 즉 질량은 B가 A의 2 배이다.

자료 분석 ● 중력과 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

물체의 질량을 m , 중력 가속도를 g 라고 할 때 물체에 작용하는 힘과 물체의 에너지는 다음과 같다.



물체에 작용하는 중력과 탄성력이
힘의 평형을 이루므로 두 힘의 크기는 같다.

$$\rightarrow k \times 2d = mg$$

이 위치를 중력에 의한 위치 에너지의 기준면으로 하면, 물체의 에너지는 다음과 같다.

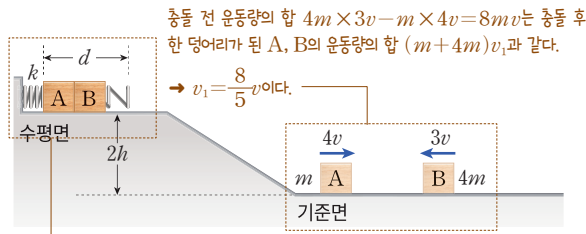
- 운동 에너지: 정지해 있으므로 ()이다.
- 중력에 의한 위치 에너지: 기준면에 있으므로 ()이다.
- 탄성력에 의한 위치 에너지: $\frac{1}{2} \times k \times (2d + d)^2 = \frac{9}{2}kd^2$ 이다.

물체를 놓는 순간 역학적 에너지는 탄성력에 의한 위치 에너지와 같은 $\frac{9}{2}kd^2$ 이다. 이 순간 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 중력의 크기보다 크므로 물체는 연직 위로 운동한다. 용수철이 원래 길이보다 $2d$ 만큼 늘어난 위치를 지나는 순간 물체의 운동 에너지를 E_k 라 하면, 이때의 역학적 에너지는 E_k 와 탄성력에 의한 위치 에너지 $\frac{1}{2}k \times (2d)^2 = 2kd^2$, 중력에 의한 위치 에너지 $mgd = 2kd \times d = 2kd^2$ 의 합과 같다. 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 $E_k + 4kd^2 = \frac{9}{2}kd^2$ 이므로 $E_k = \frac{1}{2}kd^2$ 이다.

12

자료 분석 ● 운동량 보존과 역학적 에너지 보존

- 마찰과 공기 저항을 무시하므로, A, B의 충돌 전후 운동량은 보존된다. 한 덩어리가 된 A와 B의 속력을 v_1 , 충돌 전 B의 운동 방향을 (+) 방향이라 하면, 다음 그림에서와 같이 운동량 보존에 관한 식을 세울 수 있다.
- 한 덩어리가 된 A, B의 질량은 $5m$ 이다. 수평면에 도달한 직후 A, B의 속력을 v_2 라 하면, 한 덩어리가 된 A, B의 역학적 에너지 보존을 다음 그림에서와 같이 분석할 수 있다.



충돌 전 운동량의 합 $4m \times 3v - m \times 4v = 8mv$ 는 충돌 후 한 덩어리가 된 A, B의 운동량의 합 $(m + 4m)v_1$ 과 같다.

$$\rightarrow v_1 = \frac{8}{5}v \text{이다.}$$

한 덩어리가 된 A, B의 역학적 에너지는 보존되므로 기준면에서 한 덩어리가 된 A, B의 역학적 에너지는 수평면에 도달한 직후 A, B의 역학적 에너지와 같고, 용수철을 최대로 압축한 순간 A, B의 역학적 에너지와도 같다.

$$\rightarrow \frac{5}{2}mv_1^2 = \frac{5}{2}mv_2^2 + 10mgh = \frac{1}{2}kd^2 + 10mgh \text{이다.}$$

7. 용수철이 최대로 압축되었을 때 탄성력에 의한 위치 에너지는 $\frac{1}{2}kd^2$ 이고, A와 B의 중력에 의한 위치 에너지의 합은 $\frac{1}{2}kd^2$ 의 2 배인 kd^2 이다. 그리고 용수철이 최대로 압축된 순간 한 덩어리가 된 A와 B의 운동 에너지는 0이다. 따라서 이때 A와 B의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}kd^2 + kd^2 = \frac{3}{2}kd^2$ 이다. 한 덩어리가 된 A와 B의 역학적 에너지는 보존되므로 충돌 후 기준면에서 A와 B의 운동 에너지의 합은 $\frac{3}{2}kd^2$ 이다.

오답 피하기 ㄴ. 운동량 보존 법칙에 따라 $8mv = 5mv_1$ 에서 $v_1 = \frac{8}{5}v$ 이다. 한편 용수철이 최대로 압축되었을 때 A와 B의 중력에 의한 위치 에너지는 $10mgh$ 이므로 이때 탄성력에 의한 위치 에너지는 $10mgh$ 의 $\frac{1}{2}$ 배인 $5mgh$ 이다. 따라서 A와 B의 역학적 에너지는 $10mgh + 5mgh = 15mgh$ 이다. 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 $\frac{1}{2} \times 5m \times \left(\frac{8}{5}v\right)^2 = 15mgh$ 이므로 $v = \frac{5}{8}\sqrt{6gh}$ 이다.

ㄷ. 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 수평면에서 용수철을 압축하기 직전 A, B의 운동 에너지는 용수철이 최대로 압축되었을 때 탄성력에 의한 위치 에너지와 같다. 용수철을 압축하기 직전 A와 B의 속력을 v_2 라고 하면 $\frac{1}{2} \times 5m \times v_2^2 = 5mgh$ 에서 $v_2 = \sqrt{2gh}$ 이다.

13

일·운동 에너지 정리에 따라 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 물체에는 연직 아래 방향으로 $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 의 중력이 작용하므로 물체가 지면으로부터 5 m 만큼 올라갈 때까지 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $40 \text{ N} - 20 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이고, $5 \text{ m} \sim 10 \text{ m}$ 올라갈 때까지 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 물체는 $5 \text{ m} \sim 10 \text{ m}$ 인 높이를 운동하는 동안 등속 운동을 하여 운동 에너지가 일정하다. 이때의 속력을 v 라고 하면, $20 \text{ N} \times 5 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2$ 에서 $v = 10 \text{ m/s}$ 이다.

채점 기준	배점(%)
물체에 작용하는 알짜힘을 높이에 따라 분석하고, 이를 이용해 알짜힘이 한 일을 구한 뒤, 일·운동 에너지 정리를 이용하여 속력을 옳게 구한 경우	100
그래프 아랫부분의 넓이를 이용하여 전동기가 한 일을 구한 뒤, 중력에 의한 위치 에너지 증가량을 빼서 운동 에너지를 구하고, 이를 통해 속력을 옳게 구한 경우에도 정답 인정	100
풀이 과정이 없이 속력만 옳게 쓴 경우	40

과목 분석 ● 충돌과 탄성력에 의한 위치 에너지 변화

(가)에서 A가 용수철에 접촉한 순간으로부터, (나)에서 용수철이 A로부터 분리되어 나갈 때까지 다음과 같은 과정을 거친다.



- ① 용수철에 닿는 순간부터 A는 운동 방향과 반대 방향, B는 같은 방향으로 알짜힘을 받는다. 따라서 A의 속력은 점점 감소, B의 속력은 점점 증가하며, 용수철의 길이는 점점 감소한다.
- ② 어느 순간 A와 B의 속력이 같아진다. 이 순간 용수철의 길이는 최소가 된다.
- ③ 용수철의 길이가 점점 증가하면서 A는 운동 방향과 반대 방향, B는 같은 방향으로 알짜힘을 받는다. 이에 따라 A가 분리되기 전까지 A의 속력은 계속 감소, B의 속력은 계속 증가한다.

(1) (나)에서 B의 속력을 v_B 라고 하면, 충돌 전후 A, B의 운동량 총합은 보존되므로 $3mv_0 = 3mv + mv_B$ 에서 $v_0 = v + \frac{1}{3}v_B$ (…①)이다. 한편 역학적 에너지의 총합은 (가), (나)에서 같으므로 $\frac{1}{2} \times 3m \times v_0^2 = \frac{1}{2} \times 3m \times v^2 + \frac{1}{2} \times m \times v_B^2$ (…②)이다. ①, ②를 연립하면 $v_0 = 2v$ 이므로 $v_0 : v = 2 : 1$ 이다.

채점 기준	배점(%)
운동량 및 역학적 에너지 보존을 통해 $v_0 : v$ 를 옳게 구한 경우	100
풀이 과정이 없이 $v_0 : v$ 만 옳게 쓴 경우	40

(2) $E_1 = \frac{1}{2} \times 3m \times v_0^2 = \frac{3}{2}mv_0^2$ 이다. 용수철이 최대로 압축되었을 때 탄성력에 의한 위치 에너지는 최대이고, 이 순간 A와 B의 속력이 같다. 이 속력을 V 라고 하면, A와 B의 운동량은 보존되므로 $3mv_0 = (3m+m)V$ 에서 $V = \frac{3}{4}v_0$ 이다. 용수철이 압축되기 전과 용수철이 최대로 압축되었을 때 역학적 에너지, 즉 A와 B의 운동 에너지와 탄성력에 의한 위치 에너지의 합은 같으므로 $\frac{3}{2}mv_0^2 = E_2 + \frac{1}{2} \times (3m+m) \times \left(\frac{3}{4}v_0\right)^2$ 에서 $E_2 = \frac{3}{8}mv_0^2$ 이다. 따라서 $\frac{E_1}{E_2} = 4$ 이다.

채점 기준	배점(%)
운동량 및 역학적 에너지 보존을 통해 $\frac{E_1}{E_2}$ 를 옳게 구한 경우	100
풀이 과정이 없이 $\frac{E_1}{E_2}$ 만 옳게 쓴 경우	40

A와 B는 실로 연결되어 같이 운동하므로 A와 B 각각의 역학적 에너지는 보존되지 않지만, A와 B의 역학적 에너지의 합은 보존된다. 질량이 A가 B보다 크기 때문에 A가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 높이가 증가하므로 중력에 의한 위치 에너지는 증가하고, 속력 또한 증가하므로 운동 에너지도 증가한다. 즉, B의 역학적 에너지는 증가한다. 한편 A와 B의 역학적 에너지의 합은 보존되므로 A의 역학적 에너지는 감소한다.

채점 기준	배점(%)
B의 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지 변화를 설명하고, A와 B의 역학적 에너지의 합이 보존됨을 통해 A의 역학적 에너지가 감소하는 것을 옳게 설명한 경우	100
A와 B의 역학적 에너지의 합이 보존됨을 언급하지 않고, B의 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지가 증가하므로 B의 역학적 에너지는 증가하고 A의 역학적 에너지가 감소한다고만 설명한 경우	80
A, B의 역학적 에너지 변화만 옳게 쓴 경우	40

(1) 운동량 보존 법칙에 따라 정지해 있던 B와 충돌하기 직전 A, B의 운동량의 합과 충돌 직후 한 덩어리가 된 A, B의 운동량의 합은 같다. 따라서 $2mv_1 = (2m+m)v_2$ 에서 $v_1 : v_2 = 3 : 2$ 이다.

채점 기준	배점(%)
운동량 보존 법칙을 이용해 $v_1 : v_2$ 를 옳게 구한 경우	100
풀이 과정이 없이 $v_1 : v_2$ 만 옳게 쓴 경우	40

(2) 역학적 에너지는 보존되므로 p에서 정지해 있던 A의 중력에 의한 위치 에너지는 수평면에서 A의 운동 에너지와 같다. 따라서 $2mgh = \frac{1}{2} \times 2m \times v_1^2$ 에서 $v_1 = \sqrt{2gh}$ 이고, $v_1 : v_2 = 3 : 2$ 이므로 $v_2 = \frac{2}{3}\sqrt{2gh}$ 이다. 한 덩어리가 된 뒤에도 역학적 에너지는 보존되므로 한 덩어리가 된 A, B의 운동 에너지와 용수철이 최대로 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 같다. 따라서 다음 식이 성립한다.

$$\frac{1}{2} \times (2m+m) \times \left(\frac{2}{3}\sqrt{2gh}\right)^2 = \frac{1}{2}kL^2$$

위 식을 정리하면 $h = \frac{3kL^2}{8mg}$ 이다.

채점 기준	배점(%)
A에 적용된 역학적 에너지 보존을 이용해 v_1 과 v_2 를 구한 뒤, 한 덩어리가 된 A와 B에 적용된 역학적 에너지 보존을 이용해 h 가 $\frac{kL^2}{mg}$ 의 몇 배인지를 옳게 구한 경우	100
풀이 과정이 없이 h 가 $\frac{kL^2}{mg}$ 의 몇 배이지만 옳게 쓴 경우	40