중3 과학 · 에너지 전환과 보존 · VI03

자석과 코일로 어떻게 전기를 만들까?

전자기 유도와 발전기

손잡이를 돌리자 꼬마전구에 불이 들어왔다. 전지는 연결하지 않았다. 손을 멈추니 불도 꺼진다. 꼬마전구를 켠 에너지는 어디에서 왔을까? **코일을 통과하는 자기장이 변하는가?** 이 질문에서 시작해 전류의 방향과 세기, 에너지의 출처까지 연결해 보자.

예측해 보자 — 자석을 코일 깊숙이 넣고 그대로 멈추면, 전류가 계속 흐를까?

그림 1

전지 없이 꼬마전구가 켜졌다

손잡이를 멈추면 어떻게 될까?



손이 한 일 → 발전기 → 꼬마전구의 빛과 열

© 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. 전류가 생기는 조건	Q1 전지 없이 · Q2 멈춘 자석 · Q3 움직이는 코일	1–14
2. 전류의 방향과 세기	Q4 넣을 때와 뺄 때 · Q5 극·빠르기·감은 수	15–28
3. 발전기의 원리와 에너지	Q6 계속 돌리는 까닭 · Q7 전기 에너지의 출처	29–40
선택 확장	변화를 방해하는 방향 · 같은 자기장 속 이동 · 회전과 전류 방향	선택 1–3

이 편의 판단 지도

자석이나 코일이 움직였다 — ①에서 출발

↓

① 회로가 닫혀 있는가? Q1

아니오 → 전류 ✕ / 예 → ②로

↓ 예

② 코일을 통과하는 자기력선 수가 변하는가? Q2 · Q3

아니오 → 전류 ✕ · 자석을 멈춤 · 자석과 코일이 간격·방향을 유지하며 함께 이동

예 → **유도 전류** ✓ · 자석을 움직여도, 코일을 움직여도

↓ 유도 전류가 흐르면

③ 방향은? Q4

어느 극 쪽인가 × 자기력선 수가 늘어나는가·줄어드는가

④ 세기는? Q5

얼마나 빨리 변하는가 → 움직이는 빠르기 · 자석의 세기 · 코일의 감은 수

↓

⑤ 변화를 계속 만들려면? Q6

돌린다 → **발전기**

⑥ 그 전기 에너지는 어디서? Q7

발전기를 돌리는 일

먼저 꺼내 올 것

개념	확인할 뜻
자기장	자석이나 전류 주위에서 자기력이 작용하는 공간이다.
자기장의 방향	그곳에 작은 나침반을 놓았을 때 N극이 가리키는 방향이다.
자기력선	자기장을 선으로 나타낸 것이다. 자석 바깥에서는 N극에서 나와 S극으로 들어가며, 촘촘할수록 자기장이 세다.
코일	도선을 여러 번 감은 것이다. 이 편에서는 가운데가 빈 코일을 주로 쓴다.
닫힌 회로	전류가 한 바퀴 돌 수 있도록 끊김 없이 연결한 회로이다.
검류계	작은 전류의 유무·방향·세기를 바늘로 알아보는 기구이다.
전류의 자기 작용	전류가 흐르면 도선 주위에 자기장이 생긴다.
에너지 전환	에너지의 형태가 바뀌는 것이다.

그림에서 구별할 것 — 물체가 움직이는 방향, 자기력선의 방향, 전류의 방향은 서로 다른 정보다. 자석의 이동 화살표를 전류 방향으로 읽지 않는다.



이 학습지 실험의 약속

- 전지는 연결하지 않는다.
- 따로 말하지 않으면 코일과 검류계는 닫힌 회로이고, 연결은 바꾸지 않는다.
- 자석은 코일 입구에서 코일 중심을 따라 넣거나 뺀다.
- 바늘이 왼쪽인지 오른쪽인지는 연결에 따라 달라진다. 그래서 **기준 관찰**과 비교해서 판단한다.

1 전류가 생기는 조건

Q1 전지가 없는데도 전류가 흐를 수 있을까?

판단 지도 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ **닫힌 회로와 자기장의 변화**

> **한줄답 — 코일을 통과하는 자기장이 변하면, 닫힌 회로에 유도 전류가 흐른다.**

코일의 두 끝을 검류계에 연결한다. 자석의 N극을 코일 입구에 가까이하면 바늘이 한쪽으로 움직인다. 자석을 멈추면 바늘은 0으로 돌아온다. 같은 N극을 멀리하면 이번에는 반대쪽으로 움직인다.

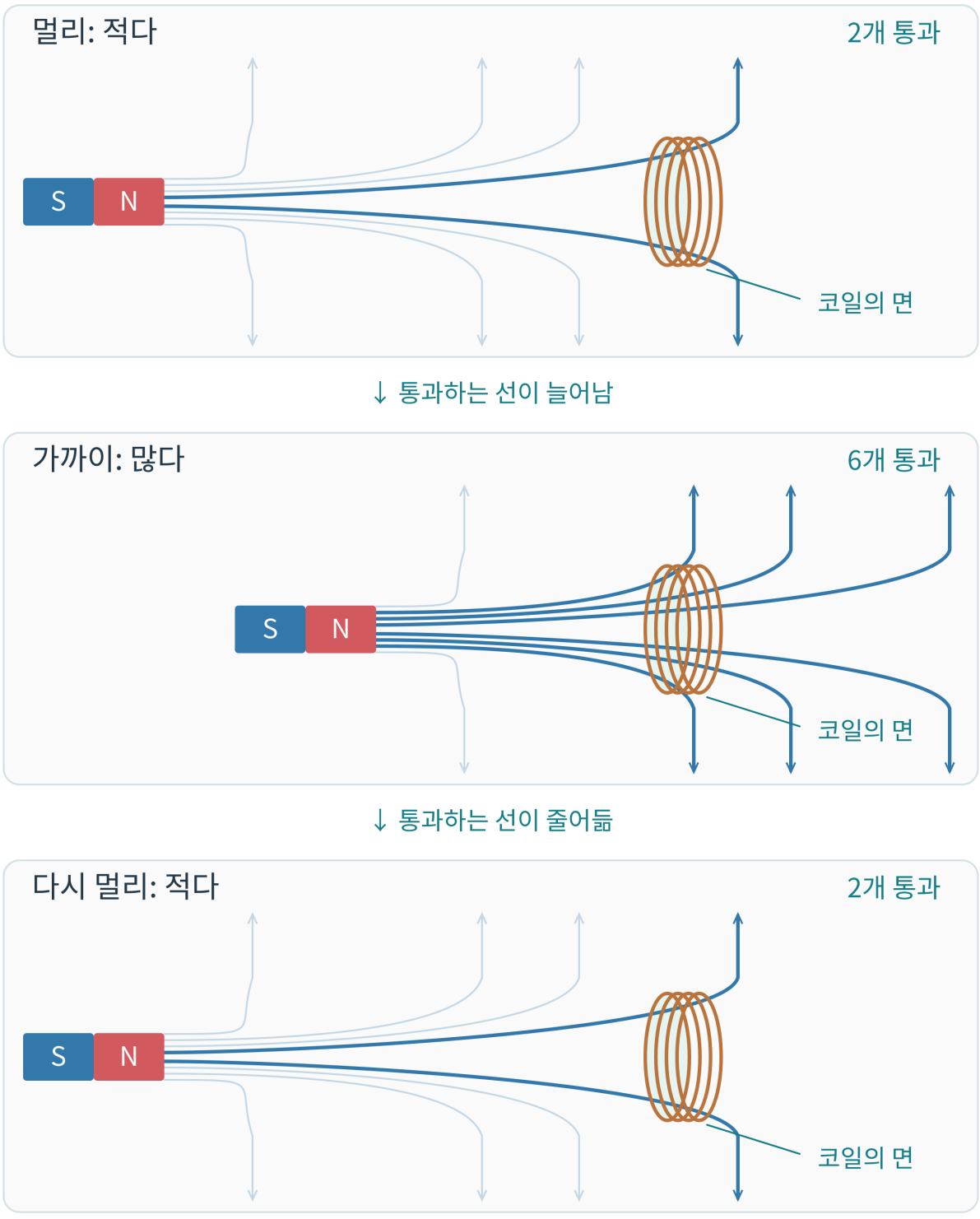
코일을 통과하는 자기장이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 전자기 유도라고 한다. 이때 흐르는 전류가 **유도 전류**다.

변화를 눈으로 그려 보려면 **코일을 통과하는 자기력선 수**를 살펴보자. 자석이 가까울수록 자기력선이 코일을 더 많이 통과한다. 그래서 자석을 가까이하면 코일을 통과하는 자기력선 수가 늘고, 멀리하면 준다. 이처럼 통과하는 자기력선 수가 늘거나 줄면 코일을 통과하는 자기장이 변한 것이다.

그림 2

코일을 통과하는 자기력선 수

같은 자석을 멀리 → 가까이 → 다시 멀리 옮긴 비교



N극 쪽 자기력선의 일부. 8개 중 코일 면을 통과하는 선만 진하게 표시했다.

자기력선은 자기장을 나타내려고 그린 선이다. 자석에서 실제 실이 뻗어 나오는 것은 아니다. 유도 전류도 도선 속 전하의 이동이며, 자석이 전하를 내보내는 것은 아니다.

조작	검류계에서 관찰한 것	해석
N극을 가까이한다.	왼쪽으로 움직인다.	자기력선 수 늘어남 → 한 방향으로 전류가 흐른다.
자석을 멈춘다.	0으로 돌아온다.	자기력선 수 변화 없음 → 전류가 흐르지 않는다.
같은 N극을 멀리한다.	오른쪽으로 움직인다.	자기력선 수 줄어듦 → 반대 방향으로 전류가 흐른다.

그림 3

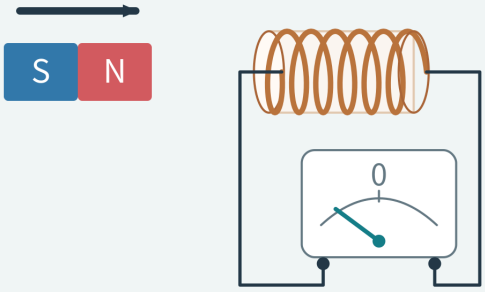
가까이할 때와 멀리할 때

같은 극 · 같은 코일 · 같은 연결에서 비교

N극 가까이하기

자기력선 수 늘어남

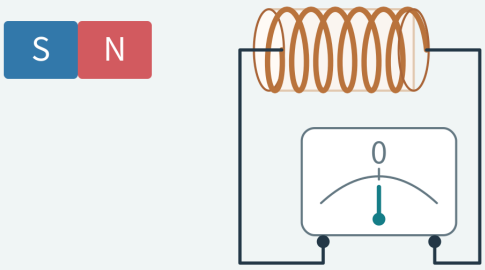
전류 흐름



멈춤

자기력선 수 그대로

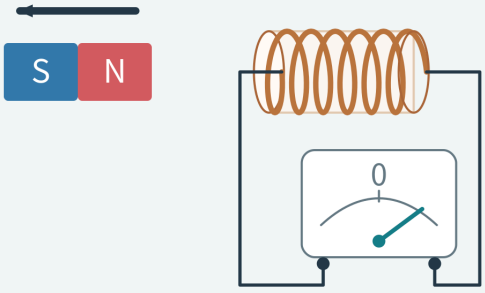
전류 흐르지 않음



N극 멀리하기

자기력선 수 줄어듦

반대 방향으로 흐름



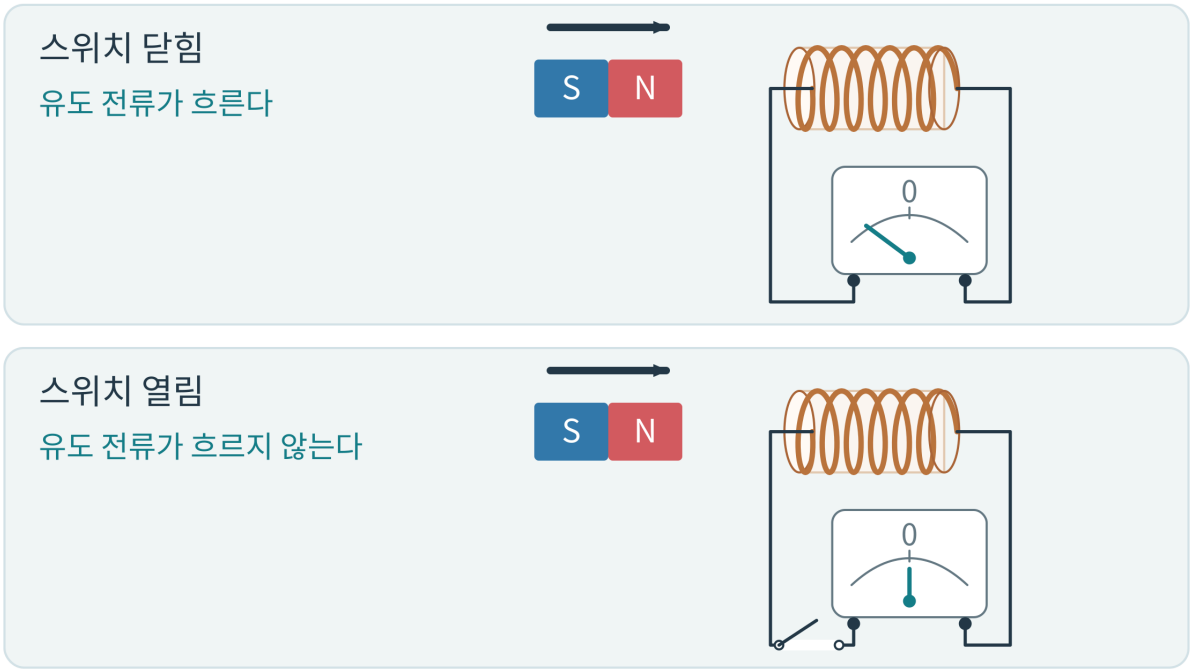
자석을 멈춰도 자기장은 남아 있다.

회로가 끊겨 있으면? 코일을 통과하는 자기장이 변해도 회로가 끊겨 있으면 전류가 흐르지 않는다. 판단 지도에서는 먼저 ①에서 회로를 확인하고, ②에서 자기장의 변화를 확인한다.

그림 4

닫힌 회로와 열린 회로

자석을 같은 방법으로 가까이한다.



회로가 끊겨 있으면 전류가 흐르지 않는다.

검류계는 움직이는데 꼬마전구가 안 켜지면 실패일까? 전류가 아주 작으면 검류계로는 확인할 수 있어도 꼬마전구가 눈에 띄게 켜지지 않을 수 있다. 불빛만으로 작은 전류의 유무를 단정하지 않는다.

Q2 자석을 코일 안에 넣어 두면 왜 계속 전류가 흐르지 않을까?

판단 지도 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ **자기장이 있는 것과 변하는 것**

> **한줄답 — 자석과 코일이 멈춰 있으면, 코일을 통과하는 자기장이 더 이상 변하지 않기 때문이다.**

자석을 넣어 두어도 자기장은 남아 있다. 사라진 것은 자기장이 아니라 자기장의 변화다. 자석을 넣는 동안과, 다 넣은 뒤 멈춰 있는 동안을 나누어 보자.

구별할 때	자기장이 있는가?	코일을 통과하는 자기력선 수가 변하는가?	유도 전류
자석을 입구에서 안쪽으로 넣는 동안	있다.	늘어난다.	흐른다.
자석과 코일을 멈춰 둔 동안	있다.	변하지 않는다.	흐르지 않는다.

쉽게 생각하면 **사람이 있는데 꺼지는 센서등**

현관에서 움직임을 감지해 켜지는 센서등을 생각해 보자. 사람이 걸어 들어오면 켜지지만, 아래에 가만히 서 있으면 사람이 **있는데도** 잠시 뒤 꺼진다. 이런 센서등은 사람이 있다는 사실보다 움직임에 반응한다.

비유 속	실제 과학
사람이 센서등 아래에 있다.	코일에 자기장이 있다.
사람이 움직인다.	코일을 통과하는 자기장이 변한다.
불이 켜진다.	유도 전류가 흐른다.
가만히 서 있으면 꺼진다.	자석을 멈추면 전류가 흐르지 않는다.

이 비유는 여기까지만 맞다

1. 센서등은 움직임이 멈춘 뒤에도 잠시 켜져 있지만, 유도 전류는 자기장의 변화가 멈추면 흐르지 않는다.
2. 센서등은 들어올 때나 나갈 때나 똑같이 켜지지만, 유도 전류는 가까이할 때와 멀리할 때 방향이 반대다. → Q4
3. 센서등은 전기를 써서 켜지는 장치다. 전기를 만드는 장치가 아니다.

그림 5

사람이 있는데도 센서등은 꺼진다

움직임 감지형 센서등에 빗대어 생각해 보자.

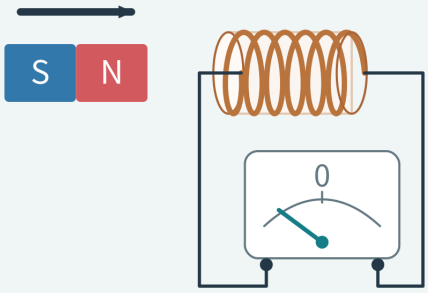
걸어 들어옴 → 켜짐



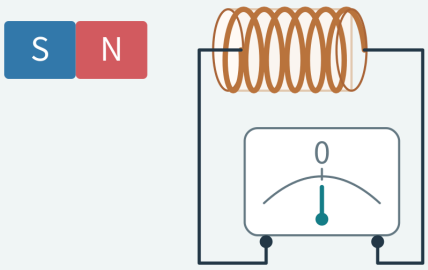
가만히 있음 → 잠시 뒤 꺼짐



자석 움직임 → 전류 흐름



자석 멈춤 → 전류 없음



센서등은 전기를 사용하는 장치다. 전기를 만드는 장치는 아니다.
사람이 있다는 것과 움직인다는 것은 다르다.

✗ 센 자석이면 멈춰 있어도 전류가 계속 흐른다.

✓ 아무리 센 자석이라도 코일을 통과하는 자기장이 변하지 않으면 유도 전류가 흐르지 않는다.

Q3 자석을 고정하고 코일을 움직여도 될까?

판단 지도 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ **어느 쪽을 움직여도 변화가 생기면 된다**

한줄답 — 된다. 코일을 통과하는 자기장이 변하도록 움직이면 유도 전류가 흐른다.

자석을 코일 쪽으로 가져가도 되고, 코일을 고정된 자석 쪽으로 가져가도 된다. 중요한 것은 누가 움직였는지가 아니라 **자석과 코일 사이의 거리나 방향이 바뀌어 코일을 통과하는 자기력선 수가 변했는가**이다.

움직이는 방법	코일을 통과하는 자기력선 수	결과
코일을 고정하고 N극을 입구에 가까이한다.	늘어난다.	유도 전류가 흐른다.
N극을 고정하고 코일 입구를 그쪽으로 가까이한다.	늘어난다.	유도 전류가 흐른다.
자석·코일·검류계를 한 판에 고정하고 간격·방향을 유지하며 함께 곧게 이동한다.	변하지 않는다.	이 이동만으로는 유도 전류가 생기지 않는다.

쉽게 생각하면 **버스 안과 정류장의 두 친구**

같은 버스에 나란히 앉은 두 친구는 밖에서 보면 둘 다 움직인다. 그래도 둘 사이 거리는 그대로다.
이번에는 정류장에서 만난다고 해 보자. 내가 친구에게 걸어가든, 친구가 나에게 걸어오든 둘 사이 거리는 줄어든다.

비유 속	실제 과학
버스 안에서 간격을 유지하며 함께 이동	자석과 코일이 간격·방향을 유지하며 함께 이동
내가 다가가든 친구가 다가오든 거리가 줄어듦	자석을 움직이든 코일을 움직이든 서로 가까워짐

이 비유는 여기까지만 맞다 — 과학에서는 거리뿐 아니라 자석이 향한 방향도 살펴야 한다. 결국 판단 기준은 **코일을 통과하는 자기력선 수가 변하는가**이다.

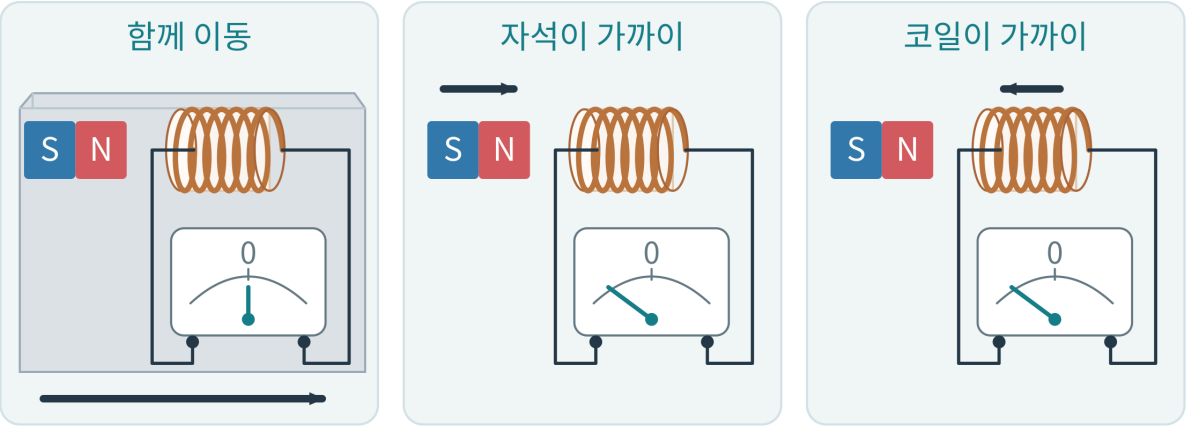
그림 6

누가 움직였는지보다, 사이가 달라졌는지

버스 안에서는 함께 이동하고, 정류장에서는 서로 가까워진다.



버스 안: 거리 그대로 | 내가 친구에게 다가감 | 친구가 나에게 다가옴



자기력선 수 그대로 | 자기력선 수 늘어남 | 자기력선 수 늘어남

함께 이동할 때는 자석·코일의 간격과 방향을 유지한다.

실전 연결 ① — 판단 지도로 판단하기

아래 네 경우를 지도 ① → ② 순서로 판단해 보자. 함께 이동할 때는 자석과 코일의 간격·방향을 유지하며, 다른 자기장의 영향은 무시한다.

사례	① 닫힌 회로인가?	② 통과하는 자기력선 수가 변하는가?	결론
ㄱ. 자석을 코일 안에 넣고 멈춰 둔다.	예	아니오	전류 ✗
ㄴ. 코일을 고정된 자석 쪽으로 가까이한다.	예	예	전류 ✓
ㄷ. 자석과 코일을 한 판에 고정하고 함께 곧게 옮긴다.	예	아니오	전류 ✗
ㄹ. 스위치를 연 채 자석을 코일에 가까이한다.	아니오	늘어나지만, ①에서 이미 전류 ✗	전류 ✗

확인 문제 1–14

Q1 확인 문제 1–4

1 전지를 연결하지 않은 코일과 검류계가 닫힌 회로를 이룬다. 자석을 코일 입구 쪽으로 움직일 때 바늘이 움직였다. 이 현상과 그때 흐르는 전류를 바르게 짝 지은 것은?

① 전류의 자기 작용 — 유도 전류
② 전자기 유도 — 정전기
③ 전자기 유도 — 유도 전류
④ 마찰 전기 — 유도 전류
⑤ 전류의 자기 작용 — 마찰 전기

2 코일과 검류계를 전지 없이 연결하고 자석을 움직였다. “전지가 없으므로 전류가 흐를 수 없다.”를 바르게 고치시오. 전류가 흐르는 조건 두 가지를 넣으시오.

3 코일과 검류계를 연결했지만 스위치는 열려 있다. N극을 코일에 가까이할 때 검류계 바늘은 어떻게 되는가?

① 회로가 끊겨 있으므로 움직이지 않는다.
② 자석이 움직이므로 한쪽으로 움직인다.
③ 처음 가까이하는 순간에만 움직인다.
④ 스위치를 닫았을 때보다 크게 움직인다.
⑤ 회로가 끊겼으므로 반대쪽으로 움직인다.

4 자석을 움직일 때 검류계 바늘은 움직였지만, 대신 연결한 꼬마전구는 눈에 띄게 켜지지 않았다. “유도 전류가 없다.”라고 단정할 수 없는 까닭을 쓰시오.

Q2 확인 문제 5-8

5 코일 안에 막대자석을 넣고 자석과 코일을 멈춰 두었다. 자기장과 유도 전류를 바르게 설명한 것은?

① 자석이 안에 있으므로 전류가 계속 흐른다.
② 자석을 넣을 때보다 약한 전류가 계속 흐른다.
③ 자기장이 모두 사라져 전류가 흐르지 않는다.
④ 센 자석으로 바꾸면 전류가 계속 흐른다.
⑤ 자기장은 있지만 변하지 않아 전류가 흐르지 않는다.

6 자석을 코일 안으로 넣는 동안과, 넣고 멈춰 둔 동안을 비교하시오. 두 경우에 자기장과 유도 전류가 각각 있는지 쓰시오.

7 더 센 자석을 코일 안에 넣고 자석과 코일을 멈춰 두었다. 검류계 바늘의 표시로 알맞은 것은?

① 넣을 때보다 더 크게 움직인 채 머문다.
② 0을 가리킨다.
③ 넣을 때와 같은 쪽으로 조금 움직인 채 머문다.
④ 넣을 때와 반대쪽으로 움직인 채 머문다.
⑤ 자석이 안에 있는 동안 좌우로 반복해 움직인다.

8 “실험 시작과 끝에 자석이 같은 위치에 있으므로, 그사이에도 전류가 한 번도 흐르지 않았다.”라는 설명이 틀렸음을 보여 주는 예를 한 가지 쓰시오.

Q3 확인 문제 9–14

9 막대자석을 고정하고 코일 입구를 자석의 N극 쪽으로 가까이했다. 옳은 설명은?

① 자석이 멈춰 있으므로 유도 전류는 생기지 않는다.
② 코일만 움직여서는 통과하는 자기장이 변하지 않는다.
③ 코일이 움직이면 자석이 만드는 자기장은 사라진다.
④ 통과하는 자기장이 변하므로 유도 전류가 흐른다.
⑤ 코일의 이동 방향이 곧 도선 속 전류의 방향이다.

10 자석·코일·검류계를 한 판에 고정한 뒤 간격과 방향을 유지하며 함께 곧게 이동시켰다. 주변의 다른 자기장 영향은 무시한다. 이 이동으로 유도 전류가 생기는지, 코일을 통과하는 자기력선 수와 연결하여 쓰시오.

11 같은 자석과 코일로 아래 조작을 한다. 전지는 없고 회로는 닫혀 있다. 자석 이외의 자기장 영향은 무시한다. 유도 전류가 흐르는 조작만 고른 것은?

ㄱ. 고정된 코일 입구에 자석의 N극을 가까이한다.
ㄴ. 고정된 자석의 N극에 코일 입구를 가까이한다.
ㄷ. 자석과 코일을 간격·방향이 변하지 않도록 한 판에 고정하고 함께 곧게 이동한다.

① ㄱ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄴ, ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 “자석 대신 코일을 움직여도 된다.”에 꼭 덧붙여야 할 조건을 쓰시오. 단, 회로는 이미 닫혀 있다.

13 N극을 코일 입구에 가까이하는 동안, 코일을 통과하는 자기력선 수와 유도 전류를 바르게 짝 지은 것은?

① 자기력선 수 줄어듦 — 전류 흐름
② 자기력선 수 그대로 — 전류 흐르지 않음
③ 자기력선 수 늘어남 — 전류 흐르지 않음
④ 자기력선 수 0이 됨 — 전류 흐르지 않음
⑤ 자기력선 수 늘어남 — 전류 흐름

14 정류장에서 내가 친구에게 다가가든 친구가 나에게 다가오든 둘 사이 거리는 줄어든다. 이 비유를 이용해, 자석과 코일 중 어느 쪽을 가까이 움직여도 유도 전류가 생기는 까닭을 쓰시오.

2 전류의 방향과 세기

Q4 넣을 때와 뺄 때 전류의 방향은 왜 반대일까?

판단 지도 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ **극과 늘어남·줄어듦으로 방향 비교**

> **한줄답 — 같은 극을 가까이할 때와 멀리할 때는 자기장의 변화가 서로 반대이므로, 전류도 반대 방향으로 흐른다.**

같은 극을 가까이할 때는 코일을 통과하는 자기력선 수가 **늘고**, 멀리할 때는 **준다**. 변화가 반대이니 전류도 반대다. N극 대신 S극을 향하게 하면 자기력선의 방향 자체가 반대이므로, 같은 쪽으로 움직여도 전류 방향이 반대가 된다.

코일에 향한 극	가까이할 때 — 자기력선 수 늘어남	멀리할 때 — 자기력선 수 줄어듦
N극	← 왼쪽 (기준)	→ 오른쪽
S극	→ 오른쪽	← 왼쪽

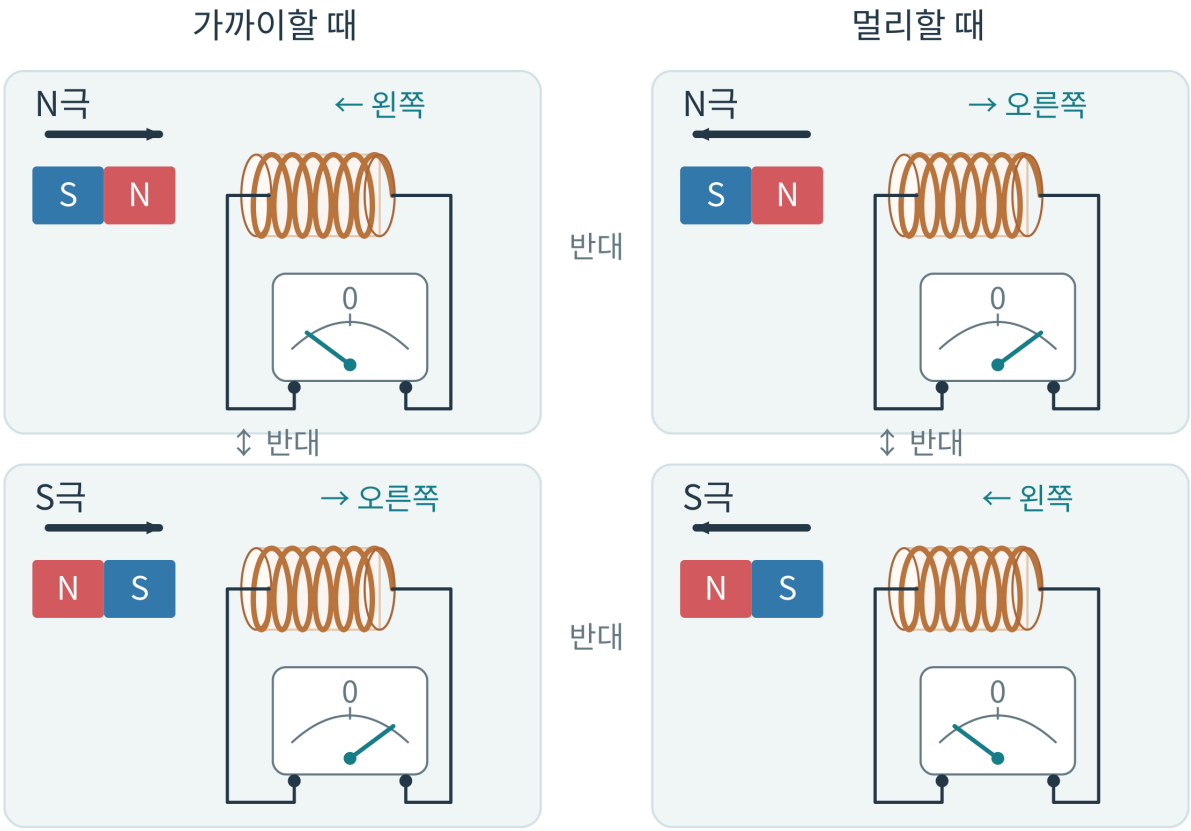
화살표는 이 장치의 **검류계 바늘이 움직인 방향**이다. 멈추면 어느 칸이든 바늘은 0으로 돌아온다.

옆 칸·아래 칸으로 한 번 옮기면 반대, 대각선처럼 두 가지를 바꾸면 같다.

그림 7

극 × 이동 방향

검류계 바늘의 방향을 비교한다. 같은 배선이다.



대각선 칸은 같다. · 어느 극이든 멈추면 0

더 알고 싶으면 → 선택 확장 1에서 코일이 자석의 움직임을 방해하는 까닭을 살펴보자.

실전 연결 ② — 기준이 달라도 같은 틀로 판단하기

대표 문제 어느 장치에서는 N극을 가까이할 때 바늘이 **오른쪽**으로 움직였다. S극을 멀리하면 바늘은 어느 쪽으로 움직일까?

코일에 향한 극	가까이할 때	멀리할 때
N극	→ 오른쪽 (문제의 기준)	← 왼쪽
S극	← 왼쪽	→ 오른쪽 (답)

정답은 **오른쪽**이다. 기준에서 대각선 칸으로 옮겼으므로 극과 이동 방향을 모두 바꾼 경우다. 다른 표의 좌우를 외워 옮기지 말고, 문제에 주어진 기준과 비교한다.

Q5 자석을 더 빠르게 움직이면 방향도 바뀔까?

판단 지도 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ **얼마나 빨리, 얼마나 크게 변하는가**

> **한줄답 — 같은 극을 같은 방향으로 움직이면 전류 방향은 같고, 다른 조건이 같을 때 더 빠르게 움직일수록 전류가 세진다.**

같은 자석을 같은 거리를 천천히·빠르게 움직이며 **바늘이 가장 크게 움직인 눈금**을 비교하면 빠를 때 더 크다. 같은 시간 동안 코일을 통과하는 자기력선 수가 더 많이 변하기 때문이다.

같은 극을 같은 방향으로 움직일 때, 빠르기는 세기만 바꾼다. 방향은 바꾸지 않는다.

방향을 바꾸는 것

- 극: N ↔ S
- 가까이하기 ↔ 멀리하기

위 두 가지를 함께 바꾸면 → 처음 방향

세기를 바꾸는 것 — 방향은 그대로

- 움직이는 빠르기 ↑ → 세기 ↑
- 자석의 세기 ↑ → 세기 ↑
- 코일의 감은 수 ↑ → 세기 ↑

세기는 같은 극·같은 이동 방향에서 다른 조건을 같게 두고 비교한다.

다른 조건이 같을 때, 자석을 빠르게 움직일수록·센 자석을 쓸수록·코일의 감은 수가 많을수록 유도 전류가 세다. 빠르게 움직이거나 센 자석을 쓰면 같은 시간 동안 코일을 통과하는 자기력선 수가 더 많이 변한다. 감은 수가 많아지면 **그 변화를 겪는 도선 고리가 많아진다.**

그림 8

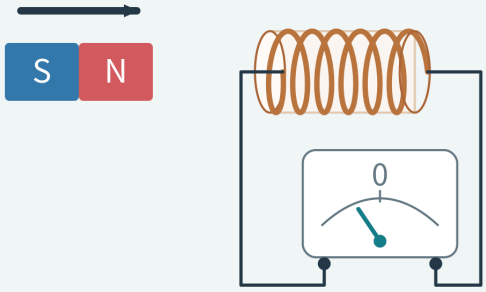
빠르기를 바꾸면 세기가 달라진다

같은 N극을 같은 거리만큼 가까이한다.

천천히

같은 출발점 · 같은 거리

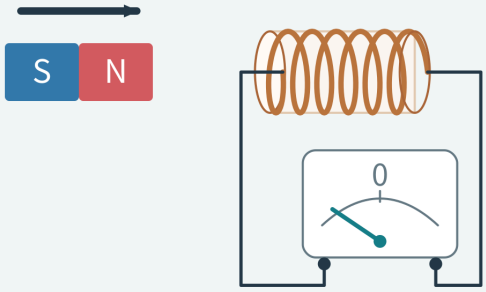
바늘의 최대 눈금 작음



빠르게

같은 출발점 · 같은 거리

바늘의 최대 눈금 큼

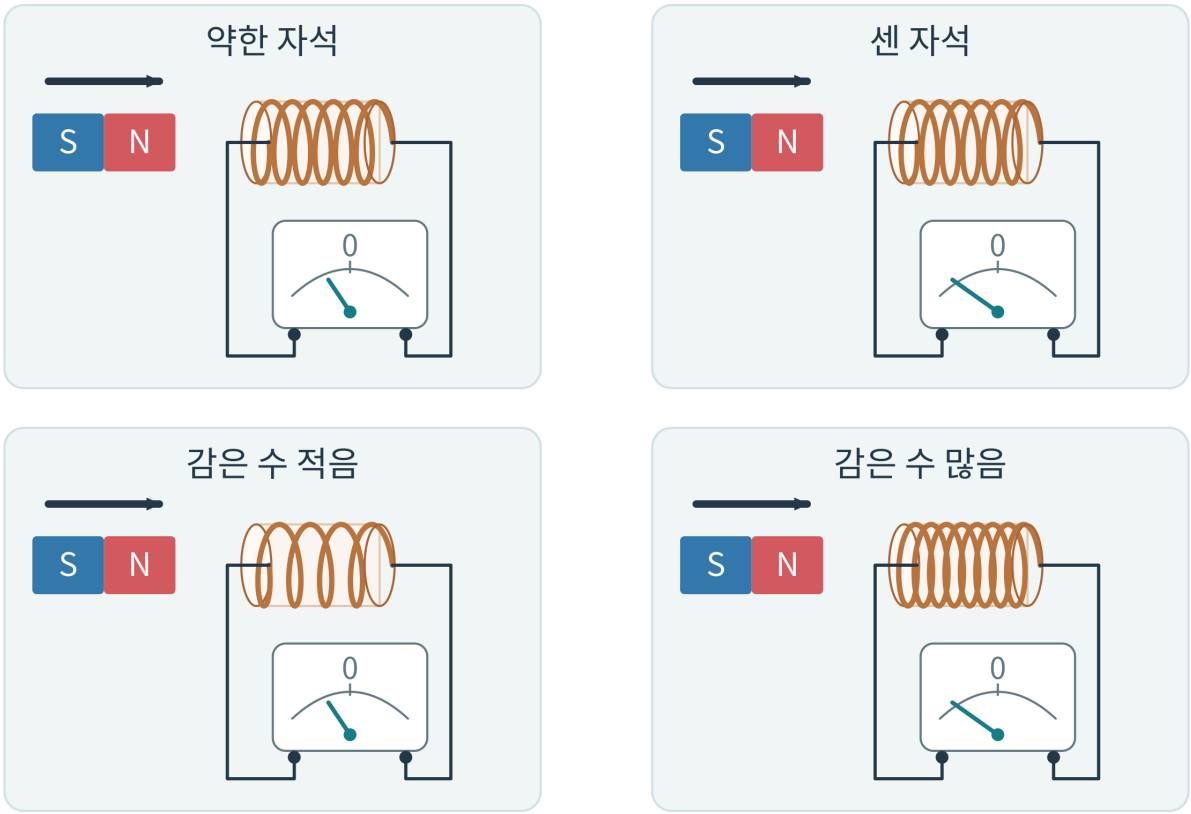


방향은 같고, 빠르게 움직일 때 더 세다.

그림 9

한 번에 한 조건만 바꾸기

각 비교에서 다른 조건은 같다. 같은 N극을 가까이한다.



전류 방향은 같고, 센 자석·감은 수가 많은 코일에서 더 세다.

탐구 — 무엇을 바꾸면 바늘의 방향과 움직임이 달라질까?

① 알아볼 것

자석의 이동 방향, 극, 빠르기를 각각 바꾸면 유도 전류의 방향과 세기는 어떻게 달라지는가?

② 같게 둘 것과 바꿀 것

같은 코일·검류계·배선을 사용한다. 비교하는 두 실험은 같은 출발점에서 같은 거리를 움직인다. 한 번에 이동 방향·극·빠르기 중 한 가지만 바꾼다. 가까이하기와 멀리하기를 비교할 때는 같은 구간을 거꾸로 움직인다.

③ 관찰 자료

다음은 원리를 비교하기 위한 **가상 관찰 자료**이다. 칸 수는 바늘이 움직인 정도이다.

실험	코일에 향한 극	조작	바늘이 가장 크게 움직인 눈금
가	N	천천히 가까이하기	왼쪽 2칸
나	N	빠르게 가까이하기	왼쪽 4칸
다	N	가와 같은 빠르기로 멀리하기	오른쪽 2칸
라	S	가와 같은 빠르기로 가까이하기	오른쪽 2칸
마	N	코일 안에서 멈춤	0

④ 해석하기

비교	이 자료가 뒷받침하는 결론
가–나	같은 방향으로 더 빠르게 움직이면 전류 방향은 같고 세기는 커진다.
가–다	같은 극의 가까이하기·멀리하기를 바꾸면 전류 방향이 반대다.
가–라	같은 이동에서 극을 바꾸면 전류 방향이 반대다.
가–마	자석이 있어도 움직일 때와 멈춰 있을 때의 결과는 다르다.

눈금이 2배라고 해서 이 자료만으로 이동 속력이 정확히 2배라고 할 수는 없다.

⑤ 바늘이 움직이지 않을 때 확인할 것

확인할 점	가능한 원인
도선이 끊김 없이 연결되었는가?	회로가 열려 있을 수 있다.
코일 끝의 피복을 벗겨 연결했는가?	도선끼리 닿아 보여도 전기가 통하지 않을 수 있다.
자석을 움직이는 동안 관찰했는가?	자석을 멈춘 뒤에만 보았을 수 있다.
코일을 통과하는 자기장이 변했는가?	자석이 너무 멀거나 움직임이 작을 수 있다.
바늘이 0에 맞춰져 있고, 작은 전류에도 움직이는가?	검류계가 바르게 작동하지 않을 수 있다.

바늘이 0이라는 한 번의 관찰만으로 원인을 하나로 단정하지 않는다.

확인 문제 15–28

Q4 확인 문제 15–20

15 N극을 코일 입구에 가까이할 때 바늘이 왼쪽으로 움직였다. 같은 N극을 같은 길로 멀리하면 바늘은 어떻게 되는가?

① 오른쪽으로 움직인다.
② 가까이할 때와 같은 왼쪽으로 움직인다.
③ 자석이 움직이는 동안에도 0이다.
④ 왼쪽으로 더 크게 움직인다.
⑤ 왼쪽으로 더 작게 움직인다.

16 같은 N극을 코일에 넣을 때와 뺄 때 바늘의 방향이 반대였다. 코일을 통과하는 자기력선 수의 변화와 연결해 설명하시오.

17 N극을 가까이할 때 바늘이 왼쪽으로 움직이는 장치이다. 코일과 배선을 그대로 두고, 같은 자석의 S극을 같은 입구에 가까이하면?

① 왼쪽으로 더 크게 움직인다.
② 왼쪽으로 더 작게 움직인다.
③ 어느 극이든 가까이하기이므로 왼쪽이다.
④ 오른쪽으로 움직인다.
⑤ 움직이는 동안에도 반드시 0이다.

18 어느 장치에서는 N극을 가까이할 때 바늘이 오른쪽으로 움직였다. 같은 배선에서 S극을 멀리할 때 바늘의 방향과 까닭을 쓰시오.

19 다음 중 같은 코일·같은 배선에서 유도 전류의 방향이 같은 두 조작은? 자석은 같은 입구에서 같은 경로로 움직인다.

① N극 가까이하기와 N극 멀리하기
② N극 가까이하기와 S극 가까이하기
③ N극 가까이하기와 S극 멀리하기
④ S극 가까이하기와 S극 멀리하기
⑤ N극 가까이하기와 자석 정지

20 학생 A는 N극을 가까이할 때 바늘이 왼쪽으로, 학생 B는 오른쪽으로 움직였다고 기록했다. 두 결과만으로 한 학생이 반드시 틀렸다고 할 수 없는 까닭을 쓰시오.

Q5 확인 문제 21–28

21 같은 N극을 같은 코일에 같은 거리를 가까이한다. 다른 조건을 그대로 두고 더 빠르게 움직이면 유도 전류는 어떻게 달라지는가?

① 방향만 반대가 되고 세기는 같다.
② 방향이 반대가 되고 세기도 커진다.
③ 방향과 세기가 모두 반드시 같다.
④ 유도 전류가 생기지 않는다.
⑤ 방향은 같고 세기는 커진다.

22 자석의 빠르기만 바꾸어 유도 전류의 세기를 비교하려 한다. (1) 같게 둘 조건 두 가지, (2) 자석이 움직이는 거리와 비교할 눈금을 어떻게 정할지 쓰시오.

23 가에서는 N극을 천천히 가까이하여 왼쪽 2칸, 나에서는 같은 N극을 빠르게 가까이하여 왼쪽 4칸 움직였다. 나머지 조건은 같다. 이 자료가 뒷받침하는 결론은?

① 나의 이동 속력은 가의 정확히 2배이다.
② 나에서는 가보다 더 센 자석을 썼다.
③ 나에서는 전류 방향이 반대로 바뀌었다.
④ 나에서는 전류 방향이 같고 세기는 더 컸다.
⑤ 나에서는 자석의 극도 함께 바꾸었다.

24 가: N극을 천천히 가까이하기, 나: N극을 빠르게 가까이하기, 다: N극을 가와 같은 빠르기로 멀리하기, 라: S극을 가와 같은 빠르기로 가까이하기. 나머지 조건은 같다. (1) 빠르기의 영향, (2) 극을 바꾼 영향을 알아보려면 각각 어떤 두 실험을 비교해야 하는가?

25 자석을 움직였는데 검류계 바늘이 움직이지 않았다. 원인 후보로 알맞지 않은 것은?

① 도선의 연결이 끊어져 있었다.
② 자석을 빠르게 움직였다.
③ 코일 끝의 피복을 벗기지 않았다.
④ 자석을 멈춘 뒤에만 관찰했다.
⑤ 자석이 코일에서 너무 멀리 있었다.

26 자석을 움직여도 검류계가 0을 가리킨다. “자석이 약해서 그렇다.”라고 결론 내리기 전에 확인할 점을 서로 다른 두 가지 쓰시오.

27 같은 방향으로 감은 코일 A는 50번, B는 100번 감았다. 나머지 조건은 같다. 같은 N극을 같은 방법으로 가까이할 때 전류를 비교한 것으로 옳은 것은?

① B에서는 방향이 반대이고 세기는 같다.
② B에서는 방향이 반대이고 세기도 더 크다.
③ B에서는 방향이 같고 세기가 더 크다.
④ B에서는 방향도 같고 세기도 같다.
⑤ B에서는 멈춘 뒤에도 전류가 흐른다.

28 자석과 코일로 유도 전류를 만들고 있다. 전류의 방향은 바꾸지 않고 세기만 크게 하는 방법을 세 가지 쓰시오.

3 발전기의 원리와 에너지

Q6 발전기는 왜 코일이나 자석을 계속 돌릴까?

판단 지도 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ **자기장의 변화를 반복해서 만들기**

> **한줄답 — 코일을 통과하는 자기장의 변화를 반복해서 만들어 전기 에너지를 계속 얻기 위해서다.**

자석을 한 번 넣고 멈추면 전류가 계속 흐르지 않는다. 계속 넣었다 뺐다 하면 변화가 반복된다. 발전기는 회전을 이용하여 이런 변화를 만든다.

쉽게 생각하면 빗속에서 돌리는 훌라후프

비가 똑바로 내리는 날, 훌라후프를 바닥과 나란히 들면 빗방울이 그 안을 많이 통과한다. 비스듬히 기울이면 적게, 똑바로 세우면 거의 통과하지 않는다. 같은 시간 동안 통과하는 빗방울 수를 비교한 것이다. 훌라후프를 계속 돌리면 그 수가 늘었다 줄었다 한다.

비유 속	실제 과학
빗줄기	자기력선
훌라후프	코일
같은 시간 동안 안을 통과하는 빗방울 수	코일을 통과하는 자기력선 수
훌라후프를 돌림	발전기의 코일을 돌림

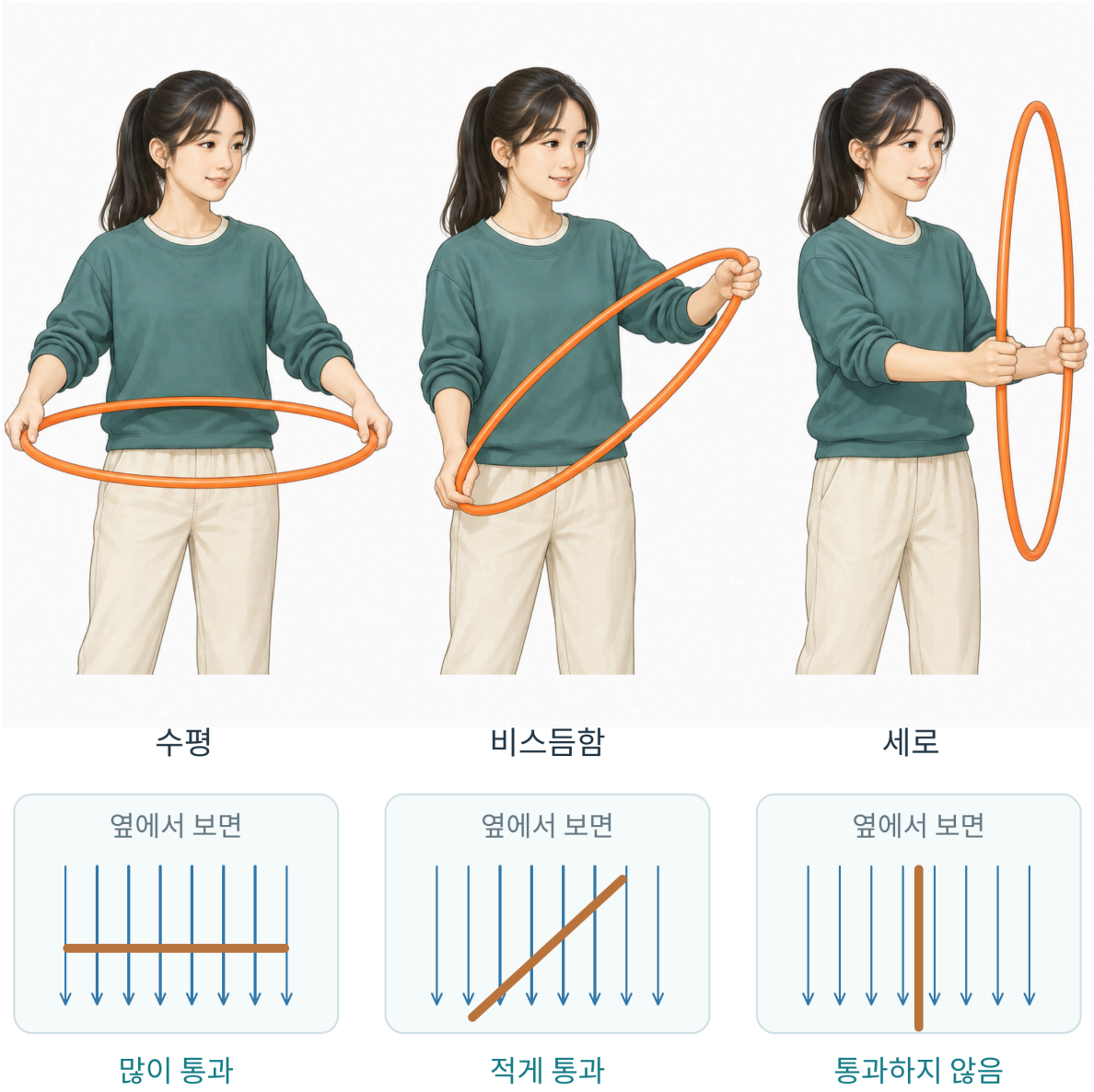
이 비유는 여기까지만 맞다

1. 자기력선은 실제로 떨어지는 물체가 아니라 자기장을 나타내려고 그린 선이다.
2. 자기력선이 많이 통과한다고 전류가 생기는 것이 아니다. 통과하는 수가 **변할 때** 전류가 생긴다.
3. 이 비유로 전류의 방향까지 판단하지는 않는다.

그림 10

훌라후프를 기울이면 무엇이 달라질까?

같은 시간 동안 통과하는 빗방울 수를 비교한다.



이 비유는 자기력선 수의 변화를 설명한다. 전류 방향은 판단하지 않는다.

자석 사이의 코일도 비슷하다. 코일 면이 자기장을 정면으로 마주볼 때는 자기력선이 많이 통과하고, 옆으로 서면 통과하지 않는다. 코일 중심이 제자리에 있어도 **코일 면이 향한 방향**은 달라진다.

다음 네 장면은 코일을 같은 방향으로 4분의 1바퀴씩 돌릴 때의 모습이다. 장면을 이어 반복하면 한 바퀴씩 계속 돈다.

장면	ㄱ	ㄴ	ㄷ	ㄹ
코일 면	자기장을 정면으로 마주봄	자기장과 나란히 옆으로 섬	뒤집힌 면이 다시 정면으로 마주봄	다시 옆으로 섬
통과하는 자기력선 수	많다	0	많다	0

코일을 돌리면 코일을 통과하는 자기력선 수가 늘었다 줄었다를 계속 반복한다. 그래서 유도 전류를 계속 얻을 수 있다. 위 표의 0은 자기력선 수를 뜻하며, 전류가 0이라는 뜻이 아니다.

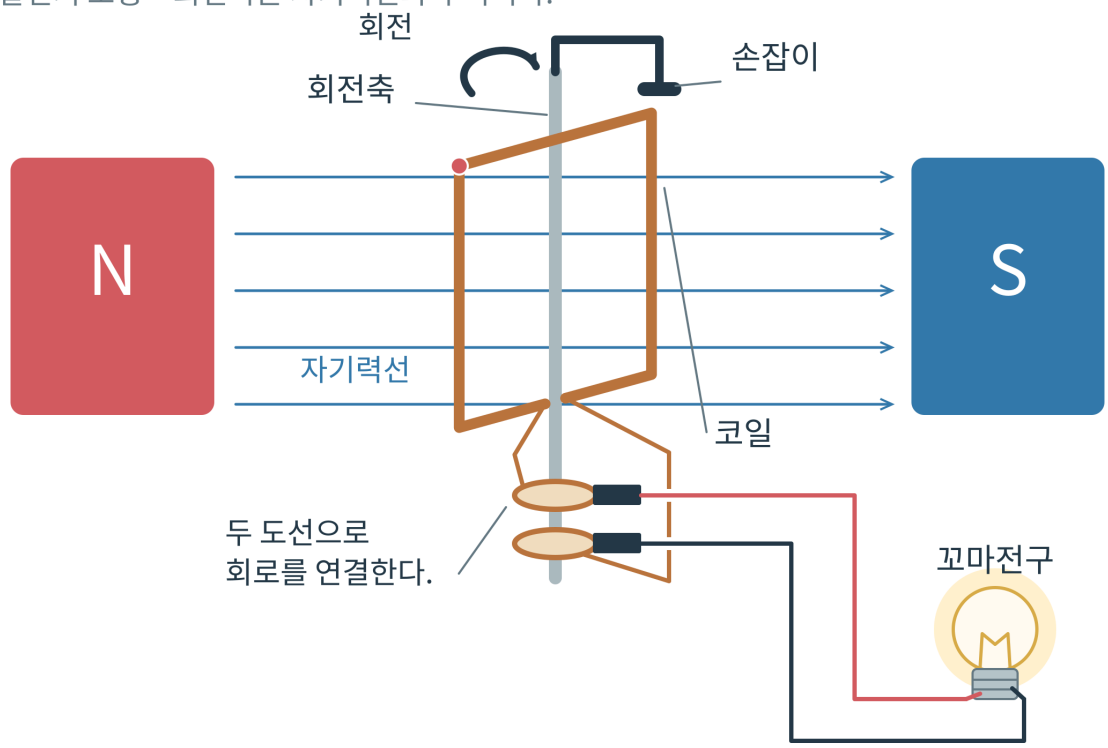
장면	코일을 통과하는 자기력선 수
자석 사이에서 코일을 고정해 둠	변하지 않는다.
코일 면이 향한 방향이 달라지도록 돌림	늘었다 줄었다를 반복한다.
코일을 고정하고 자기장이 변하도록 자석을 돌림	자석을 돌려도 늘었다 줄었다를 반복한다.

발전기는 전자기 유도로 **역학적 에너지를 전기 에너지로 바꾸는 장치**다. 코일 대신 자석을 돌리는 발전기도 있다.

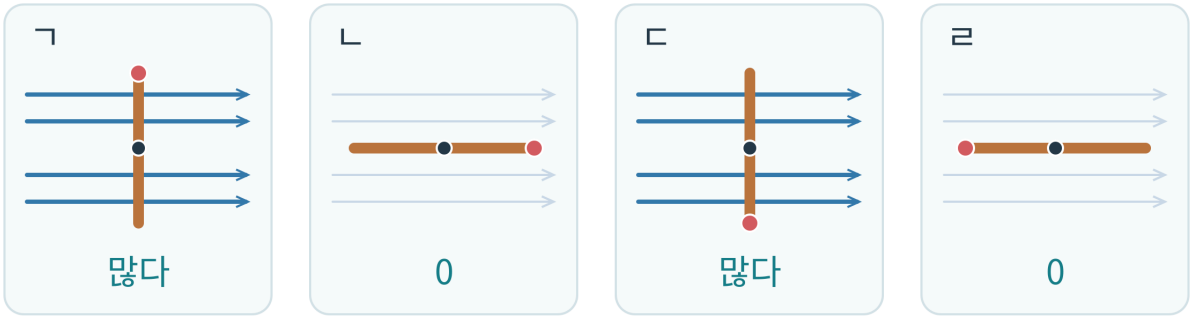
그림 11

돌리면 자기장의 변화가 반복된다

발전기 모형 · 회전축은 자기력선과 수직이다.



위에서 본 모습 — 코일을 통과하는 자기력선 수



굵은 갈색 선: 위에서 본 코일 면 · 가운데 점: 회전축
빨간 점은 같은 모서리다. 표의 0은 자기력선 수이며, 전류의 세기가 아니다.

이 모형에서는 돌리는 동안 전류 방향도 바뀐다. 자세한 원리는 고등학교에서 배우며, 궁금하면 선택 확장 3을 보자.

회전하는 코일에는 Q4의 '늘어남·줄어듦' 표를 그대로 쓰지 않는다. ㄷ처럼 코일의 면이 뒤집히기 때문이다.

Q7 전기 에너지는 자석에서 나오는 걸까, 손에서 나오는 걸까?

판단 지도 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ **전기 에너지의 출처**

> **한줄답 — 손으로 발전기를 돌릴 때는 손이 한 일이 전기 에너지로 전환된다. 자석은 그 전환에 필요한 자기장을 마련한다.**

손으로 느끼는 증거 — 손 발전기에 꼬마전구를 연결하면, 연결하지 않았을 때보다 **같은 빠르기로 손잡이를 돌리기가 더 힘들다.** 꼬마전구에 전기 에너지를 보내려면 손이 더 많은 일을 해야 하기 때문이다.

그림 12

꼬마전구를 연결하면 더 힘이 든다

같은 빠르기로 돌릴 때



전기 에너지를 보내려면 손이 더 많은 일을 해야 한다.

손잡이를 돌리는 동안 우리는 발전기에 힘을 주어 일을 한다. 전지가 없다고 해서 에너지원도 없는 것은 아니다.

손이 한 일 → 발전기에서 에너지 전환 → 꼬마전구로 전달된 전기 에너지 → 빛과 열

쉽게 생각하면 **손잡이를 돌리는 물 펌프**

중2 때 전지를 물 펌프에 빗댄 것처럼, 이번에는 손잡이를 돌리는 펌프를 생각해 보자. 사람이 손잡이를 돌리면 관 속의 물이 순환하며 물레방아를 돌린다. 펌프가 물 자체를 새로 만들지는 않으며, 물을 움직일 에너지는 손이 한 일에서 온다. 발전기도 전하를 새로 만드는 장치가 아니다.

비유 속	실제 과학
사람이 펌프에 하는 일	사람이 발전기에 하는 일
관 속에 이미 있는 물	도선에 이미 있는 전하
펌프가 물을 순환시킴	발전기가 연결된 회로에 전류를 흐르게 함
물레방아를 돌리는 물	꼬마전구를 켜는 전류

이 비유는 여기까지만 맞다 — 물 펌프는 물에 직접 힘을 주고, 발전기는 전자기 유도를 이용한다. 자석이 물이나 전하를 내보내는 통이라는 뜻은 아니다.

그림 13

손잡이를 돌리는 물 펌프에 빗대면

물이나 전하를 새로 만드는 것이 아니라, 손이 일을 한다.



바람이나 흐르는 물로 발전기를 돌릴 때도 원리는 같다. 손 대신 회전을 만드는 에너지원이 달라진 것이다.

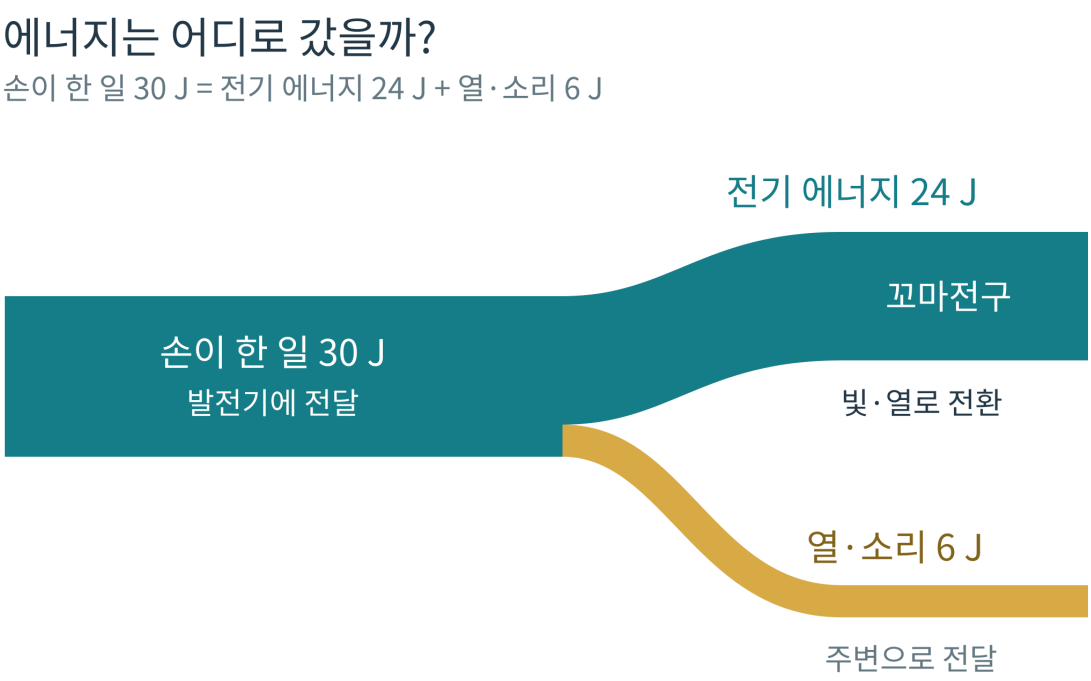
발전기를 돌리는 일이 전부 꼬마전구의 빛이 될까? 일부는 발전기 등의 열·소리로 바뀐다. 꼬마전구로 전달된 전기 에너지도 빛과 열로 나뉜다. 에너지는 형태가 바뀌고 전달된다.

실전 연결 ③ — 들어온 에너지와 나간 에너지 구별하기

대표 문제 손으로 발전기에 30 J의 일을 했다. 밖으로 전달된 전기 에너지는 24 J이고, 나머지는 주변으로 전달된 열과 소리였다. 발전기 내부에 저장된 에너지는 변하지 않았다. 열과 소리로 전달된 에너지의 합을 구하시오.

구분	에너지
손이 발전기에 전달한 에너지	30 J
발전기가 밖으로 전달한 전기 에너지	24 J
열과 소리로 주변에 전달한 에너지	30 − 24 = 6 J

그림 14



띠의 두께 5 : 4 : 1 · 빛과 열 각각의 양은 이 자료로 알 수 없다.

이 자료만으로 열과 소리가 각각 얼마인지는 알 수 없다. 전기 에너지 24 J을 전부 꼬마전구의 빛에너지라고 해석하지도 않는다.

전동기와 무엇이 다를까?

장치	무엇을 공급하는가?	주로 무엇을 얻는가?	주된 전환
발전기	회전시키는 일	전기 에너지	역학적 에너지 → 전기 에너지
전동기	전기 에너지	회전 운동	전기 에너지 → 역학적 에너지

두 장치는 자석과 코일을 이용한다는 공통점이 있지만, 에너지를 공급하는 쪽과 얻는 쪽이 다르다.

그림 15

발전기와 전동기의 에너지 전환

먼저, 세 가지 화살표를 구별하자.



아래 연결 화살표는 에너지 전환이다. 도선의 전류 화살표와 구별한다.

확인 문제 29–40

Q6 확인 문제 29–34

29 발전기에서 자석 사이의 코일을 계속 돌리는 까닭으로 알맞은 것은?

① 통과하는 자기력선 수를 반복해서 바꾸기 위해서다.

② 자석이 멈추면 자기장이 사라지는 것을 막기 위해서다.

③ 코일의 중심을 자석 쪽으로 계속 옮기기 위해서다.

④ 빠르게 돌려 전류의 방향만 바꾸기 위해서다.

⑤ 자석에 저장된 전기 에너지를 꺼내기 위해서다.

30 발전기 코일의 중심은 제자리인데도 돌리는 동안 유도 전류가 생긴다. 그 까닭을 “코일 면”과 “자기력선 수”를 넣어 쓰시오.

31 자석 사이에서 코일을 4분의 1바퀴씩 돌린다. 통과하는 자기력선 수가 0인 장면만 고른 것은?

ㄱ. 코일 면이 자기장을 정면으로 마주봄
ㄴ. 코일 면이 자기장과 나란히 옆으로 섬
ㄷ. 뒤집힌 면이 다시 자기장을 정면으로 마주봄
ㄹ. 코일 면이 다시 자기장과 나란히 옆으로 섬

① ㄱ, ㄴ ② ㄱ, ㄷ ③ ㄴ, ㄷ ④ ㄴ, ㄹ ⑤ ㄷ, ㄹ

32 “발전기는 반드시 코일을 돌려야 하므로, 코일을 고정하면 발전할 수 없다.”를 바르게 고치시오.

33 발전기 모형으로 꼬마전구를 계속 켜려고 한다. 알맞은 방법은?

① 회로를 닫고 자석을 코일 안에 멈춰 둔다.
② 회로를 열고 코일을 자석 사이에서 돌린다.
③ 회로를 닫고 코일을 자석 사이에서 돌린다.
④ 회로를 닫고 센 자석만 코일 안에 고정한다.
⑤ 회로를 열고 자석을 코일 쪽으로 움직인다.

34 손 발전기를 더 빠르게 돌리자 꼬마전구가 더 밝아졌다. 그 까닭을 Q5에서 배운 유도 전류의 세기와 연결해 쓰시오.

Q7 확인 문제 35–40

35 전지 없이 손 발전기를 돌려 꼬마전구를 켰다. 꼬마전구로 전달된 전기 에너지의 주된 출처는?

① 자석 안에 저장되어 있던 에너지
② 코일에 미리 저장되어 있던 전기
③ 도선 속에서 새로 생겨난 전하
④ 꼬마전구에 미리 저장되어 있던 열
⑤ 손이 발전기를 돌리며 한 일

36 "전지가 없으므로 손 발전기는 에너지 공급 없이 전기를 만든다."를 바르게 고치시오.

37 발전기와 전동기의 주된 에너지 전환을 바르게 짝 지은 것은?

① 발전기: 역학적 → 전기 / 전동기: 전기 → 역학적
② 발전기: 전기 → 역학적 / 전동기: 역학적 → 전기
③ 발전기: 전기 → 빛 / 전동기: 전기 → 역학적
④ 발전기: 역학적 → 전기 / 전동기: 역학적 → 열
⑤ 발전기: 역학적 → 열 / 전동기: 전기 → 빛

38 손으로 발전기에 45 J의 일을 했다. 같은 시간에 밖으로 전달된 전기 에너지는 36 J이며, 나머지는 열과 소리로 주변에 전달되었다. 발전기 내부에 저장된 에너지는 변하지 않았다. (1) 열·소리로 전달된 에너지의 합, (2) 열과 소리 각각의 양을 정할 수 있는지를 쓰시오.

39 꼬마전구를 연결한 손 발전기를 같은 빠르기로 돌리려니 더 힘들었다. 이 사실이 보여 주는 것으로 가장 알맞은 것은?

① 자석이 전기에 쓰일 에너지를 더 많이 내놓는다.
② 꼬마전구에 보내는 전기 에너지는 손이 한 일에서 온다.
③ 꼬마전구를 연결하면 발전기에 전류가 흐르지 않는다.
④ 꼬마전구의 빛이 손잡이를 돌리는 에너지로 돌아온다.
⑤ 전류가 흐르면 발전기에 새 에너지가 생겨난다.

40 손잡이를 돌리면 꼬마전구가 켜지는 발전기와, 전기를 공급하면 날개가 회전하는 전동기가 있다. (1) 두 장치의 주된 에너지 전환을 각각 쓰고, (2) 손 발전기에서 자석의 역할과 전기 에너지를 공급하는 근원을 구별하여 쓰시오.

선택 확장

선택 1 유도 전류는 어떤 변화를 방해할까?

유도 전류가 만드는 자기장은 **원래 자기장의 변화를 방해하는 쪽**으로 생긴다. 이것이 **렌츠 법칙**이다. 전류가 흐르는 코일도 자석처럼 작용한다.

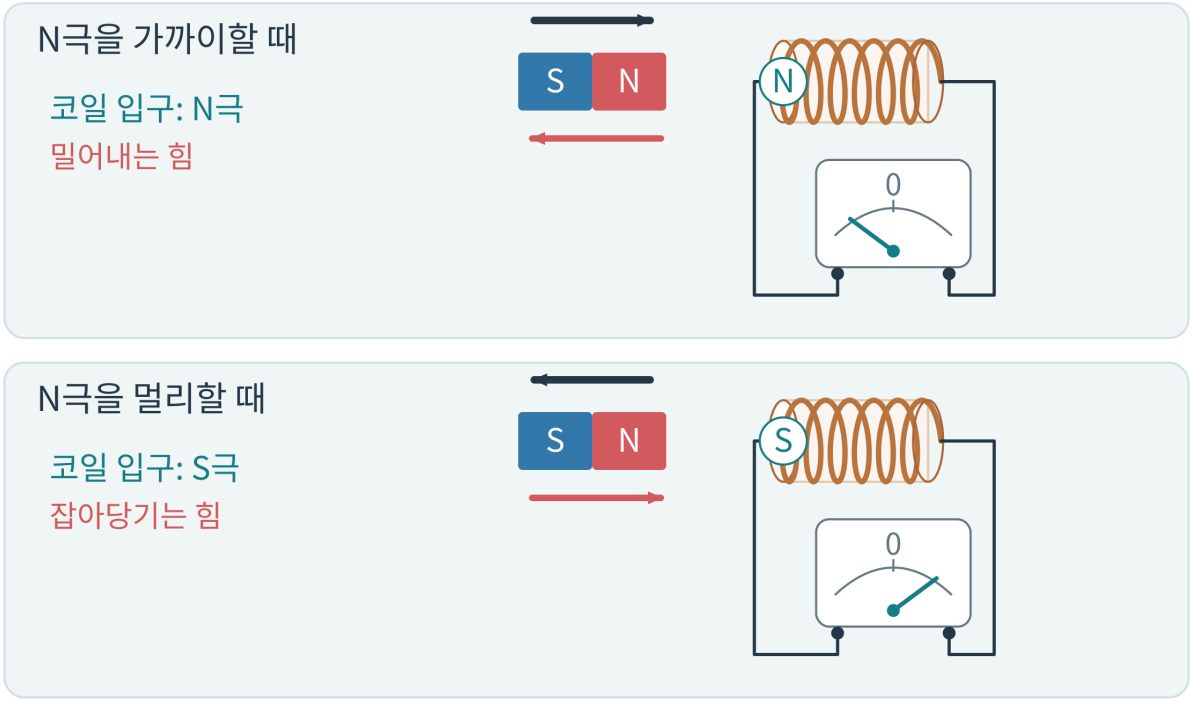
자석의 움직임	자석을 향한 코일 입구의 극	움직임을 방해하는 작용
N극이 가까워진다.	N극	밀어내어 가까워짐을 방해한다.
N극이 멀어진다.	S극	잡아당겨 멀어짐을 방해한다.

원래 자기장 자체를 항상 없애려는 것이 아니다. 멀어지는 자석을 잡아당길 때는 줄어드는 자기장을 유지하려는 쪽으로 작용한다.

그림 16

자기장의 변화를 방해하는 방향

선택 확장 · 힘 화살표는 자석에 작용하는 힘이다.



자기장 자체가 아니라, 자기장의 변화를 방해한다.

선택 1 닫힌 회로를 이룬 코일 입구에 N극을 가까이했다가 멀리한다. (1) 가까이할 때 자석을 향한 코일 입구의 극, (2) 멀리할 때 그 입구의 극, (3) 각각 자석에 작용하는 힘을 쓰시오.

선택 2 움직이는데도 통과하는 자기력선 수가 같다면?

자기장이 어디서나 같은 세기와 방향인 공간을 생각해 보자. 코일의 넓이와 면이 향한 방향을 바꾸지 않고 옮기면, 이동해도 코일을 통과하는 자기력선 수는 같다. 그래서 유도 전류가 생기지 않는다.

선택 2 공간 전체에서 자기장의 세기와 방향이 같다. 닫힌 코일의 넓이와 면이 향한 방향을 바꾸지 않고 곧게 옮긴다. 코일은 이동 내내 같은 자기장 영역 안에 있고 다른 전원은 없다. 유도 전류가 생기는지와 까닭을 쓰시오.

선택 3 한 방향으로 돌리면 전류도 한 방향일까?

이 편의 모형처럼 코일의 두 끝을 서로 분리된 고리로 연결한 발전기에서는, 코일을 한 방향으로 계속 돌려도 전류 방향이 주기적으로 바뀐다. 이렇게 방향이 번갈아 바뀌는 전류를 **교류**라고 한다. 코일이 도는 방향과 회로의 전류 방향은 서로 다른 정보다.

훌라후프 비유와 회전 4장면은 통과하는 자기력선 수의 변화를 보여 준다. **전류 방향은 그 수의 늘고 줄음만으로 정하지 않는다.** 코일의 앞뒷면이 뒤집히는 것도 함께 살펴야 하므로, 여기서는 방향을 계산하지 않는다.

선택 3 코일의 두 끝을 서로 분리된 고리로 연결한 발전기를 한 방향으로 계속 돌린다. (1) 전류의 방향은 어떻게 되는가? (2) “전류 방향이 바뀌었으니 손잡이의 회전 방향도 바꿨다.”라는 설명을 고치시오.

한눈에 정리 — 판단 지도 완성판

자석이나 코일이 움직였다 — ①에서 출발

↓

① 회로가 닫혀 있는가? Q1

아니오 → 전류 ✕ / 예 → ②로

↓ 예

② 코일을 통과하는 자기력선 수가 변하는가? Q2 · Q3

아니오 → 전류 ✕ · 자석을 멈추거나, 둘을 간격·방향 그대로 함께 움기면

예 → **유도 전류** ✓ · 자석·코일 어느 쪽을 움직여도 된다

↓ 유도 전류가 흐르면

③ 방향은? Q4

극 또는 가까이하기·멀리하기 중 **하나만 바꾸면 반대, 둘 다 바꾸면 같다**

④ 세기는? Q5

다른 조건이 같으면 **더 빠르게 · 더 센 자석 · 더 많은 감은 수**에서 세진다

↓

⑤ 변화를 계속 만들려면? Q6

코일을 통과하는 자기장이 반복해서 변하도록 돌린다 → **발전기**

⑥ 그 전기 에너지는 어디서? Q7

발전기를 돌리는 일 → 전기 에너지

방향을 바꾸는 것

- 극: N ↔ S
- 가까이하기 ↔ 멀리하기

위 두 가지를 함께 바꾸면 → 처음 방향

세기를 바꾸는 것 — 방향은 그대로

- 움직이는 빠르기 ↑ → 세기 ↑
- 자석의 세기 ↑ → 세기 ↑
- 코일의 감은 수 ↑ → 세기 ↑

세기는 같은 극·같은 이동 방향에서 다른 조건을 같게 두고 비교한다.

돌리는 일 → 전기 에너지. 자석은 자기장을 마련하고, 에너지는 발전기를 돌리는 일에서 온다.

자주 하는 실수

✗ 잘못 생각하기	✓ 바로잡기
자석이 코일 안에 있으면 계속 전류가 흐른다.	자기장이 있는 것과 변하는 것을 구별한다.
더 센 자석을 넣어 두면 전류가 계속 흐른다.	센 자기장도 변하지 않으면 유도 전류가 흐르지 않는다.
자석만 움직여야 한다.	코일을 움직여도 통과하는 자기장이 변하면 된다.
자석과 코일이 움직이면 무조건 전류가 흐른다.	코일을 통과하는 자기력선 수가 변했는지 확인한다.
가까이할 때 바늘은 언제나 왼쪽이다.	그 장치의 기준 관찰과 비교한다.
빠르게 움직이면 전류 방향도 반대가 된다.	같은 극·같은 이동 방향이면 전류 방향은 같다.
발전기는 자석의 에너지를 계속 꺼내 쓴다.	발전기를 돌리는 일이 전기 에너지로 바뀐다.

정답·해설

빠른 정답

번호	정답
1	③
2	코일을 통과하는 자기장이 변하고 회로가 닫혀 있으면 전지가 없어도 유도 전류가 흐를 수 있다.
3	①
4	전류가 작으면 검류계로 확인할 수 있어도 꼬마전구를 눈에 띄게 켜지 못할 수 있기 때문이다.
5	⑤
6	자기장은 두 경우 모두 있다. 유도 전류는 넣는 동안에는 흐르고, 멈춰 둔 동안에는 흐르지 않는다.
7	②
8	자석을 코일 쪽으로 넣었다가 같은 길로 빼서 처음 위치로 돌려놓으면, 시작과 끝 위치는 같아도 움직이는 동안 유도 전류가 흐를 수 있다.
9	④
10	생기지 않는다. 자석과 코일의 간격·방향이 그대로여서 코일을 통과하는 자기력선 수가 변하지 않기 때문이다.
11	②
12	코일을 통과하는 자기장이 변하도록 움직여야 한다.
13	⑤
14	자석을 움직이든 코일을 움직이든 둘 사이 거리가 줄어들어 코일을 통과하는 자기력선 수가 늘어나기 때문이다.
15	①
16	넣을 때는 자기력선 수가 늘고 뺄 때는 줄어든다. 변화가 반대이므로 유도 전류도 반대 방향으로 흐른다.
17	④
18	오른쪽. 극과 가까이하기·멀리하기를 모두 바꾸면 전류 방향이 두 번 반대가 되어 기준과 같아진다.
19	③
20	검류계에 연결한 두 도선의 연결이 서로 다르면 같은 자석 조작에도 바늘의 좌우가 달라질 수 있기 때문이다.

번호	정답
21	⑤
22	(1) 예: 같은 자석의 같은 극, 같은 코일과 배선을 쓴다. (2) 같은 출발점에서 같은 거리를 움직이며, 바늘이 가장 크게 움직인 눈금을 비교한다.
23	④
24	(1) 가–나 (2) 가–라
25	②
26	예: 회로가 끊김 없이 연결되었는지, 자석을 움직이는 동안 바늘을 관찰했는지 확인한다.
27	③
28	같은 극을 같은 방향으로 더 빠르게 움직인다. 같은 극·이동 방향을 유지하며 더 센 자석을 쓴다. 같은 방향으로 감은 코일의 감은 수를 늘린다.
29	①
30	코일 면이 향한 방향이 달라져 코일을 통과하는 자기력선 수가 변하기 때문이다.
31	④
32	코일을 고정해도 코일을 통과하는 자기장이 변하도록 자석을 돌리면 발전할 수 있다.
33	③
34	더 빠르게 돌리면 코일을 통과하는 자기장이 더 빠르게 변해 유도 전류가 세지므로 꼬마전구가 더 밝아진다.
35	⑤
36	전지는 없지만 손이 발전기를 돌리며 일을 하여 에너지를 공급하고, 발전기가 이를 전기 에너지로 바꾼다.
37	①
38	(1) 9 J (2) 각각의 양은 이 자료만으로 정할 수 없다.
39	②
40	(1) 발전기: 역학적 에너지 → 전기 에너지. 전동기: 전기 에너지 → 역학적 에너지. (2) 자석은 자기장을 마련하고, 에너지는 손이 발전기에 한 일에서 온다.
선택 1	(1) N극 (2) S극 (3) 가까이할 때는 밀어내고, 멀리할 때는 잡아당긴다.
선택 2	생기지 않는다. 움직여도 코일을 통과하는 자기력선 수가 변하지 않기 때문이다.
선택 3	(1) 전류 방향이 주기적으로 바뀐다. (2) 회전 방향을 유지해도 전류 방향은 바뀔 수 있다.

풀이와 오답 점검

1번 ③

③ 코일을 통과하는 자기장의 변화로 전류가 흐르는 현상은 전자기 유도이고, 그 전류가 유도 전류이다. ①·⑤는 전류가 자기장을 만드는 현상과 혼동했다. ②·④는 전하가 물체에 쌓이거나 마찰로 이동하는 현상과 혼동했다.

2번 **코일을 통과하는 자기장이 변하고 회로가 닫혀 있으면 전지가 없어도 유도 전류가 흐를 수 있다.**

전지는 전류를 흐르게 하는 유일한 방법이 아니다. 자석의 움직임이 코일을 통과하는 자기장을 바꾸는지와 회로의 연결을 함께 확인한다.

채점 기준: 자기장의 변화, 닫힌 회로를 모두 포함. 단순히 “자석을 움직이면 된다”만 쓰면 조건이 부족하다.

3번 ①

① 코일을 통과하는 자기장이 변해도 회로가 끊겨 있으면 전류가 흐르지 않는다. 나머지 선택지는 자기장이 변하기만 하면 열린 회로에도 전류가 흐른다고 생각한 것이다.

4번 **전류가 작으면 검류계로 확인할 수 있어도 꼬마전구를 눈에 띄게 켜지 못할 수 있기 때문이다.**

꼬마전구의 불빛만으로 작은 전류가 있는지 없는지를 정할 수 없다.

채점 기준: 작은 전류는 검류계로 확인할 수 있지만 꼬마전구가 눈에 띄게 켜지지 않을 수 있음을 설명.

5번 ⑤

⑤ 자기장은 남아 있어도 변하지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다. ①·②·④는 자기장이 있는 것과 변하는 것을 혼동했고, ③은 자기장 자체가 사라진다고 생각했다.

6번 **자기장은 두 경우 모두 있다. 유도 전류는 넣는 동안에는 흐르고, 멈춰 둔 동안에는 흐르지 않는다.**

자기장은 남아 있어도, 코일을 통과하는 자기장이 변하지 않으면 전류가 흐르지 않는다.

채점 기준: 자기장 존재는 둘 다, 유도 전류는 넣는 동안만으로 구별.

7번 ②

② 센 자기장도 변하지 않으면 유도 전류가 흐르지 않는다. 나머지는 정지한 자석도 전류를 계속 만든다고 생각한 것이다.

8번 **자석을 코일 쪽으로 넣었다가 같은 길로 빼서 처음 위치로 돌려놓으면, 시작과 끝 위치는 같아도 움직이는 동안 유도 전류가 흐를 수 있다.**

시작과 끝의 상태가 같다는 정보만으로 그사이의 변화를 없었다고 할 수 없다. 가까이하기와 멀리하기에서 반대 방향의 전류가 흐른다.

채점 기준: 넣었다 빼기 등 중간에 자기장이 변하는 구체적인 과정과 전류 발생을 연결. 단순히 "움직였다"만 쓰면 설명 보완.

9번 ④

④ 자석 대신 코일을 움직여도 코일을 통과하는 자기장이 변한다. ①·②는 자석만 움직여야 한다고 생각했다. ③ 자기장이 사라지는 것은 아니며, ⑤ 물체와 전류의 방향은 서로 다르다.

10번 **생기지 않는다. 자석과 코일의 간격·방향이 그대로여서 코일을 통과하는 자기력선 수가 변하지 않기 때문이다.**

실험실에서 물체들이 움직인다는 사실만으로는 부족하다. 자석과 코일이 함께 이동해도 둘의 관계가 같으면 이 경우의 자기장은 변하지 않는다.

채점 기준: 전류가 생기지 않음, 상대적인 위치·방향 또는 코일을 통과하는 자기장이 그대로임을 포함.

11번 ②

② ㄱ·ㄴ에서는 코일을 통과하는 자기장이 변한다. ㄷ에서는 자석과 코일의 관계가 그대로여서 이 이동에 따른 유도 전류가 생기지 않는다. ①은 ㄴ을 빠뜨렸고 ③·④·⑤는 ㄷ을 잘못 포함했다.

12번 **코일을 통과하는 자기장이 변하도록 움직여야 한다.**

움직임 그 자체가 충분한 조건은 아니다. 자기장의 세기·방향과 코일의 위치·방향 관계에 따라 변화가 있는지를 확인해야 한다.

채점 기준: "코일을 통과하는 자기장이 변해야 한다"를 포함. "빠르게 움직인다"만으로는 부족하다.

13번 ⑤

⑤ 그림 2처럼 자석을 가까이하면 코일을 통과하는 자기력선 수가 늘어난다. 회로도 닫혀 있으므로 유도 전류가 흐른다. ①·②·④는 자기력선 수의 변화를 잘못 읽었고, ③은 변화가 있을 때 전류가 흐른다는 점을 놓쳤다.

14번 **자석을 움직이든 코일을 움직이든 둘 사이 거리가 줄어들어 코일을 통과하는 자기력선 수가 늘어나기 때문이다.**

누가 움직였는지보다 코일을 통과하는 자기장이 변했는지가 중요하다. 이 문항에서는 코일 입구와 자석이 서로 가까워진다.

채점 기준: 어느 쪽을 움직여도 거리 감소, 통과하는 자기력선 수 증가 또는 자기장의 변화가 생김을 연결.

15번 ①

① 같은 극의 가까이하기를 멀리하기로 바꾸면 전류 방향이 반대가 된다. ②·④·⑤는 방향의 반대를 놓쳤고, ③은 자석을 멈춘 경우와 혼동했다.

16번 **넣을 때는 자기력선 수가 늘고 뺄 때는 줄어든다. 변화가 반대이므로 유도 전류도 반대 방향으로 흐른다.**

같은 극을 향하게 했을 때 늘어남과 줄어듦은 반대 변화이다. 그래서 검류계 바늘도 서로 반대쪽으로 움직인다.

채점 기준: 넣을 때 증가·뺄 때 감소, 반대 변화와 반대 전류 방향을 연결.

17번 ④

④ 이동 방법이 같고 자석의 극만 바뀌면 유도 전류 방향이 반대다. ①·②는 방향 변화를 세기 변화로 바꿔 읽었다. ③은 극의 차이를 무시했고, ⑤는 자기장 변화를 무시했다.

18번 **오른쪽. 극과 가까이하기·멀리하기를 모두 바꾸면 전류 방향이 두 번 반대가 되어 기준과 같아진다.**

N극 가까이하기→S극 가까이하기에서는 왼쪽, S극 가까이하기→S극 멀리하기에서는 다시 오른쪽이다. 다른 장치의 기준 좌우를 그대로 적용하지 않는다.

채점 기준: 오른쪽과 두 조건을 함께 바꾼 설명을 포함. 중간 단계로 풀어 쓴 답도 인정.

19번 ③

③ N극 가까이하기와 S극 멀리하기는 2×2 표의 대각선 칸이다. 극과 이동 방향을 모두 바꿔 전류 방향이 같다. ①·②·④는 한 조건만 바꾸므로 반대이고, ⑤ 멈춘 자석에서는 전류가 흐르지 않는다.

20번 **검류계에 연결한 두 도선의 연결이 서로 다르면 같은 자석 조작에도 바늘의 좌우가 달라질 수 있기 때문이다.**

코일의 감긴 방향과 연결 상태 등을 확인해야 한다. 기준 없이 가까이할 때는 언제나 왼쪽이라는 규칙을 만들 수 없다.

채점 기준: 배선·검류계 단자 연결 차이 또는 코일 감긴 방향 등 적절한 장치 차이를 구체적으로 제시.

21번 ⑤

⑤ 같은 극·같은 이동 방향에서는 방향이 같고, 더 빠른 자기장 변화로 세기가 커진다. ①·②는 빠르기 변화와 방향 변화를 혼동했다. ③은 세기 변화를 무시했고 ④는 발생 조건과 맞지 않는다.

22번 **(1) 예: 같은 자석의 같은 극, 같은 코일과 배선을 쓴다. (2) 같은 출발점에서 같은 거리를 움직이며, 바늘이 가장 크게 움직인 눈금을 비교한다.**

빠르기 이외의 조건을 같게 두어야 빠르기의 영향을 비교할 수 있다. 같은 구간을 움직이며 가장 크게 움직인 눈금을 비교한다.

채점 기준: (1) 자석·극, 코일·배선 등 독립된 조건 두 가지. (2) 같은 출발점·거리와 최대 눈금 비교. 같은 조건을 말만 바꾸어 반복하면 하나로 센다.

23번 ④

④ 같은 쪽의 더 큰 눈금은 같은 방향·더 큰 세기의 전류를 뜻한다. ① 속력의 정확한 배수는 제시하지 않았다. ②·⑤는 빠르기만 바꿨다는 조건과 다르고, ③ 바늘 방향은 같았다.

24번 **(1) 가–나 (2) 가–라**

가–나는 빠르기만, 가–라는 극만 달라진다. 가–다는 이동 방향을 바꾼 영향을 비교한다.

채점 기준: 두 비교를 순서에 맞게 연결. 두 실험을 거꾸로 나열한 답도 인정.

25번 ②

② 다른 조건이 같을 때 빠르게 움직이면 전류가 더 세지므로, 전류가 생기지 않은 원인으로 알맞지 않다. ①·③은 회로 연결, ④는 관찰 시점, ⑤는 자기장의 변화가 너무 작은 경우와 관련된다.

26번 **예: 회로가 끊김 없이 연결되었는지, 자석을 움직이는 동안 바늘을 관찰했는지 확인한다.**

움직이는 동안 관찰했는지, 코일을 통과하는 자기장이 변하는 경로였는지, 검류계가 정상인지 등도 가능하다.

채점 기준: 확인 가능한 원인 후보 두 가지를 구체적으로 제시. 단순히 같은 연결 불량을 말만 바꾸어 두 번 쓰면 하나로 센다.

27번 ③

③ 다른 조건이 같을 때 감은 수가 많으면 같은 변화를 겪는 도선 고리가 많아져 유도 전류가 세다. 극과 이동 방향은 같으므로 전류 방향은 같다. ⑤ 감은 수가 많아도 자기장의 변화가 멈추면 전류가 흐르지 않는다.

28번 **같은 극을 같은 방향으로 더 빠르게 움직인다. 같은 극·이동 방향을 유지하며 더 센 자석을 쓴다. 같은 방향으로 감은 코일의 감은 수를 늘린다.**

각 방법에서 다른 조건은 같게 둔다. 극이나 가까이하기·멀리하기를 바꾸는 것은 전류 방향을 바꾸는 방법이다.

채점 기준: 빠르기 증가·센 자석 사용·감은 수 증가의 세 가지. 극과 이동 방향을 유지한다는 공통 조건을 한 번만 써도 인정.

29번 ①

① 코일 면이 향한 방향이 달라져 통과하는 자기력선 수가 변한다. ② 자석이 멈춰도 자기장은 있다. ③ 코일 중심은 제자리에 있어도 되고, ④ 빠르기는 전류 세기와 관련된다. ⑤ 에너지는 돌리는 일에서 온다.

30번 **코일 면이 향한 방향이 달라져 코일을 통과하는 자기력선 수가 변하기 때문이다.**

훌라후프를 기울이면 통과하는 빗방울 수가 달라지는 것처럼, 코일 중심이 제자리여도 면이 향한 방향은 달라질 수 있다.

채점 기준: 코일 면이 향한 방향의 변화와 통과하는 자기력선 수의 변화를 연결.

31번 ④

④ ㄴ·ㄹ에서는 코일 면이 자기력선과 나란해 자기력선이 그 면을 통과하지 않는다. ㄱ·ㄷ에서는 많이 통과한다. 여기서 0은 자기력선 수이며 전류의 세기가 아니다.

32번 **코일을 고정해도 코일을 통과하는 자기장이 변하도록 자석을 돌리면 발전할 수 있다.**

코일을 돌리든 자석을 돌리든, 코일을 통과하는 자기장이 변하는 것이 공통 원리다.

채점 기준: 고정된 코일에서도 가능함, 자석을 돌려 코일을 통과하는 자기장이 변함을 포함.

33번 ③

③ 닫힌 회로에서 코일을 돌리면 통과하는 자기장의 변화가 반복되어 전류를 얻는다. ①·④는 변화가 없고, ②·⑤는 회로가 끊겨 있다.

34번 **더 빠르게 돌리면 코일을 통과하는 자기장이 더 빠르게 변해 유도 전류가 세지므로 꼬마전구가 더 밝아진다.**

같은 발전기와 꼬마전구에서 빠르기를 바꾼 경우다. 자기장의 변화가 빠를수록 전류가 세진다는 Q5의 원리를 적용한다.

채점 기준: 자기장의 더 빠른 변화 → 전류 세기 증가 → 밝아짐을 연결.

35번 ⑤

⑤ 손이 한 일로 공급된 역학적 에너지가 전기 에너지로 바뀐다. 자석은 자기장을 마련한다. ①·②·④처럼 부품에 저장된 에너지를 꺼내 쓰는 과정이 아니며, ③ 전하를 새로 만드는 것도 아니다.

36번 **전지는 없지만 손이 발전기를 돌리며 일을 하여 에너지를 공급하고, 발전기가 이를 전기 에너지로 바꾼다.**

없던 에너지가 새로 생기는 것이 아니다. 손·바람·물 등 발전기를 돌리는 에너지원이 필요하다.

채점 기준: 손이 하는 일 또는 역학적 에너지 공급, 전기 에너지로의 전환을 모두 포함.

37번 ①

① 발전기는 돌리는 일을 전기 에너지로, 전동기는 전기 에너지를 회전 운동으로 바꾼다. ②는 두 전환을 뒤바꿨다. ③·⑤의 전기→빛은 꼬마전구의 역할이며, ④·⑤의 역학적→열은 발전기·전동기의 주된 역할이 아니다.

38번 **(1) 9 J (2) 각각의 양은 이 자료만으로 정할 수 없다.**

45 − 36 = 9 J이다. 합이 알려져도 그중 열과 소리가 각각 얼마인지 나누는 자료는 없다. 내부 에너지 저장량 변화가 없다는 조건으로 입력과 출력 합을 비교한다.

채점 기준: 9 J, 각각의 양은 알 수 없음. 차이를 구하는 식을 포함하면 계산 근거로 인정.

39번 ②

② 꼬마전구에 전기 에너지를 전달하려면 손이 더 많은 일을 해야 한다. ①은 자석을 에너지원으로 보았고, ③은 전류가 흐르는 연결과 반대다. ④·⑤는 에너지의 출처와 전환을 잘못 설명했다.

40번 **(1) 발전기: 역학적 에너지 → 전기 에너지. 전동기: 전기 에너지 → 역학적 에너지. (2) 자석은 자기장을 마련하고, 에너지는 손이 발전기에 한 일에서 온다.**

자석과 코일이라는 공통 부품이 있다고 해서 입력과 출력도 같은 것은 아니다. 자석의 역할을 에너지의 무한 공급원으로 설명하지 않는다.

채점 기준: 두 전환 방향을 바르게 표시하고, 자석의 자기장과 손의 일에 의한 에너지 공급을 구별.

선택 1번 **(1) N극 (2) S극 (3) 가까이할 때는 밀어내고, 멀리할 때는 잡아당긴다.**

렌츠 법칙에 따라 유도 전류는 원래 자기장의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다. 가까이할 때는 같은 극으로 밀고, 멀리할 때는 다른 극으로 당긴다.

채점 기준: N·S와 밀어냄·잡아당김을 대응. “항상 밀어낸다”는 오답.

선택 2번 **생기지 않는다. 움직여도 코일을 통과하는 자기력선 수가 변하지 않기 때문이다.**

이 공간에서는 이동해도 코일을 통과하는 자기장이 변하지 않는다. 자기장 영역의 경계를 넘는 경우와는 다르다.

채점 기준: 전류가 생기지 않음과 통과하는 자기력선 수 또는 자기장이 변하지 않음을 연결.

선택 3번 **(1) 전류 방향이 주기적으로 바뀐다. (2) 회전 방향을 유지해도 전류 방향은 바뀔 수 있다.**

물체의 회전 방향과 회로의 전류 방향은 서로 다른 정보이다. 이 모형에서는 한 방향으로 돌려도 교류가 생긴다. 자기력선 수의 늘고 줄음만으로 방향을 설명하지 않는다.

채점 기준: 전류의 주기적 방향 변화, 손잡이의 회전 방향을 바꾸지 않아도 가능함을 모두 포함.

다음 편에서 이어질 질문

발전기를 돌리는 힘을 손 대신 물·바람·증기에서 얻으면 무엇이 달라질까? 다음 편에서는 발전소에서 가전제품까지 에너지가 바뀌고 전달되는 경로를 비교한다. 터빈을 돌리지 않는 태양광 발전도 함께 살펴본다.