전기와 자기 11편 · 자기장 속 전류가 받는 힘과 전동기

대치동 재우쌤



전류를 흘리면 왜 도선이 움직일까? 코일을 같은 방향으로 계속 돌리려면 무엇을 바꾸어야 할까?

유형	이 편에서 답할 질문
1	자기장 속 전류가 받는 힘의 방향은 어떻게 찾을까?
2	전류·자기장의 방향과 세기를 바꾸면 힘은 어떻게 달라질까?
3	코일 양쪽의 힘은 어떻게 회전을 만들까?
4	전동기는 어떻게 같은 방향으로 계속 회전할까?
5	전동기와 스피커는 같은 원리로 어떻게 다른 움직임을 만들까?

© 대치동 재우쌤 | 010-9524-4849 | https://leessaem.com/ | https://blog.naver.com/leessaem84

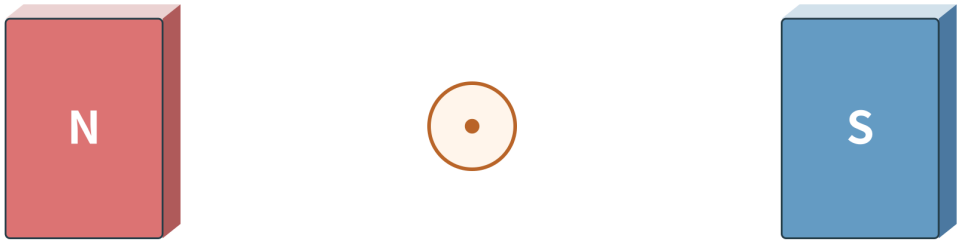
본 자료는 직접 제작한 학습 자료입니다. 개인 학습을 위한 열람·인쇄는 자유롭게 할 수 있으며, 무단 복제·재배포·수정 후 재배포 및 상업적 이용을 금합니다.

유형 1 자기장 속에서 전류가 흐르는 도선은 어느 방향으로 힘을 받을까?

문항 01 · 대표문제

자석 사이에 있는 직선 도선의 단면을 정면에서 보았다. 왼쪽은 N극, 오른쪽은 S극이다. 도선의 ⊙는 전류가 종이 밖으로 나옴을 나타낸다.

(1) 자석이 만드는 자기장 방향을 쓰시오. (2) 도선이 받는 자기력의 방향을 위·아래 중에서 고르시오. (3) 전류는 그대로 두고 두 자석의 극만 서로 바꾸면 자기력은 어느 쪽인가?



전류: 종이 밖
도선의 단면

답

질문으로 이해하기

Q01 자석 가까이에 놓인 도선은 왜 전류를 흘리면 움직일까?

한 줄 답 **도선에 흐르는 전류와 자석이 만드는 자기장이 상호작용하여 도선에 자기력이 작용하기 때문이다.**

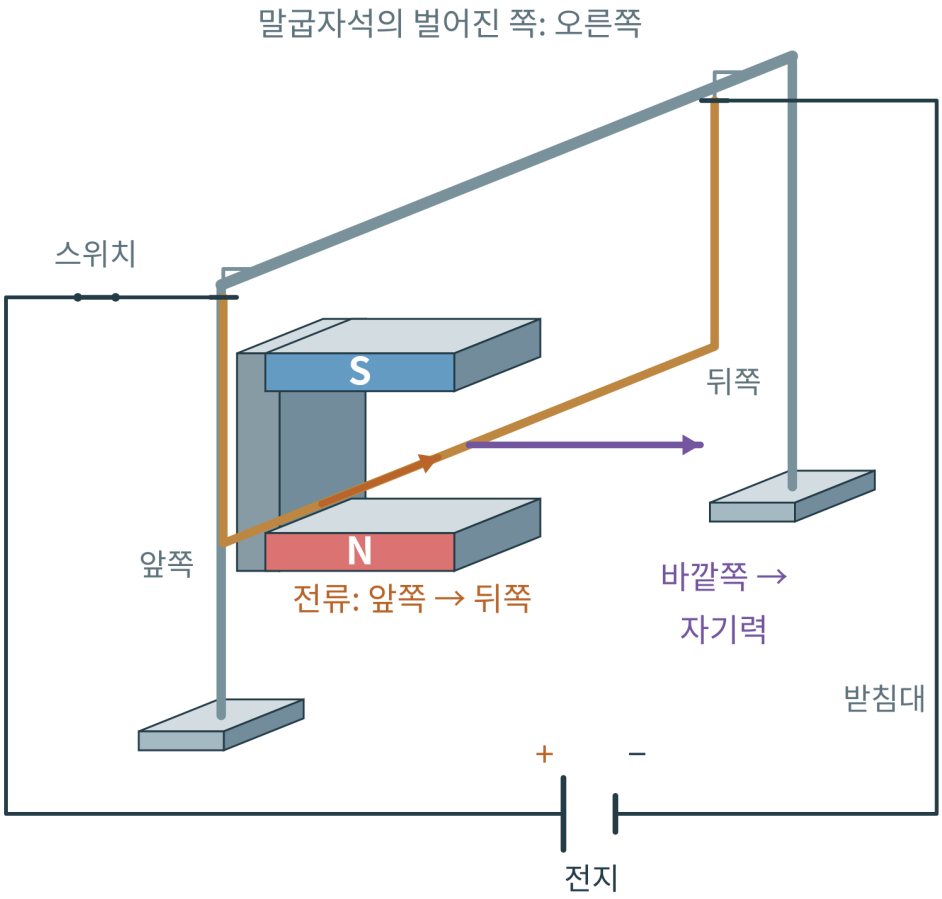
10편에서는 전류가 흐르는 도선 주위에 자기장이 생김을 배웠다. 그 도선을 자석의 자기장 속에 놓으면 전류에 의한 자기장과 자석에 의한 자기장이 상호작용하여 도선에 힘이 작용한다. 이 힘도 **자기력**이다.

도선이 움직일 수 있게 놓여 있으면 그 힘에 의해 움직임이 달라질 수 있다. 도선을 단단히 고정하면 힘을 받아도 움직이지 않을 수 있다. **움직임이 보이지 않는다고 자기력이 없다고 바로 결론 내리지는 않는다.**

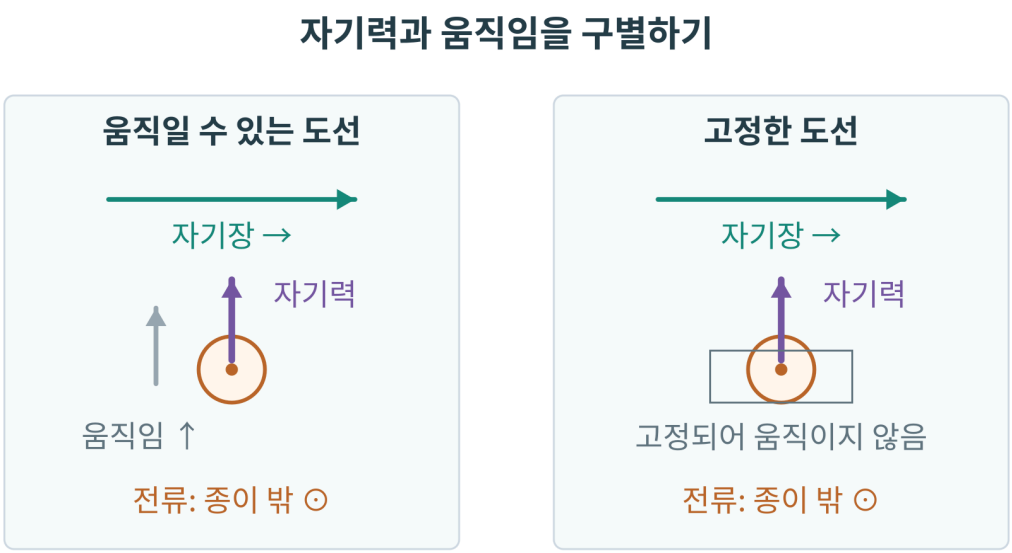
전류를 끊으면 도선이 받는 자기력은 없어진다. 전류를 끊어도 움직이던 도선은 바로 멈추지 않고 잠시 더 움직일 수 있다.

전기 그네는 움직일 수 있게 매단 도선이다. 그림의 말굽자석은 아래가 N극, 위가 S극이므로 자기장은 위쪽이다. 그네의 아래쪽 도선에 앞쪽에서 뒤쪽으로 전류가 흐르면 자기력은 말굽자석의 바깥쪽으로 작용한다. 도선이 고정되어 있지 않으므로 그네가 말굽자석의 벌어진 쪽을 향해 움직인다. 스위치를 닫으면 전류가 흐르고, 열면 전류가 끊긴다.

전류를 흘리면 그네가 바깥쪽으로 움직인다



도선을 단단히 고정한 경우에도 자기력이 작용할 수 있다.



움직이지 않아도 자기력을 받을 수 있다

Q02 이 편에서 '자기장 방향'은 어느 자기장을 말할까?

한 줄 답 **도선에 힘을 작용시키는 자석의 자기장 방향을 말한다.**

이 편에서 '자기장'이라고 하면 **자석의 자기장**을 뜻한다. 자석 사이의 자기장은 N극에서 S극으로 향한다. 도선 주위에 생기는 둥근 자기장 방향을 자석 사이 자기장 대신 쓰지 않는다.

확인할 정보	그림에서 읽을 단서
자기장	자석의 N극에서 S극으로 향하는 방향
도선의 전류	전류 화살표, ⊙·⊗, 또는 전지의 극과 연결
도선이 받는 자기력	두 정보를 오른손에 맞춘 뒤 손바닥이 향하는 쪽

> **이 편의 약속** ① 별도 조건이 없으면 전류와 자기장은 서로 수직이다. ② 자석 사이의 자기장은 한 방향으로 고르다. ③ 지구 자기장은 생각하지 않는다.

Q03 도선의 자기력은 전류나 자기장과 같은 방향일까?

한 줄 답 **전류와 자기장이 서로 수직일 때 자기력은 그 두 방향에 모두 수직이다.**

자기장이 오른쪽이라고 해서 도선도 오른쪽 힘을 받는 것은 아니다. 전류 방향이 위쪽이라고 해서 힘도 위쪽인 것은 아니다. 같은 자기장 속에서도 전류 방향을 바꾸면 힘 방향이 달라진다.

‘자기장’은 나침반의 N극이 향하는 방향과 연결되고, ‘자기력’은 이 도선이 받는 힘이다. **자기장 방향(나침반의 N극이 가리키는 방향)과 자기력 방향(도선이 힘을 받는 방향)은 서로 다르다.**

틀린 생각 자기장이 오른쪽이면 전류가 흐르는 도선의 자기력도 오른쪽이다.

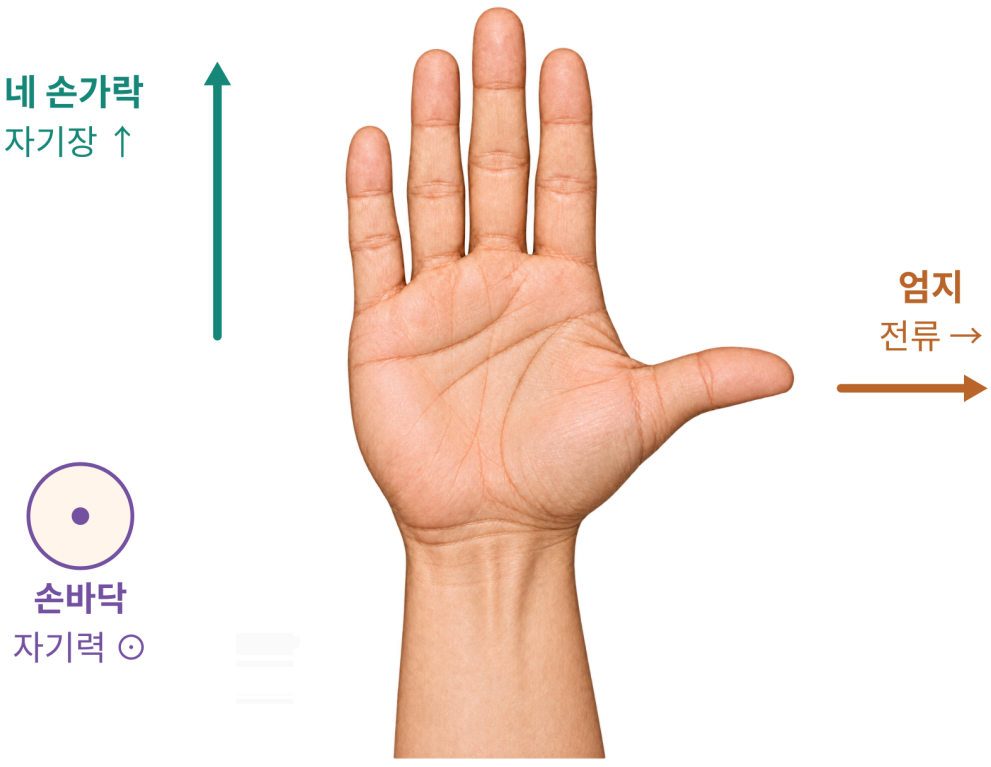
바른 문장 자기력은 전류와 자기장 방향을 함께 보고 정한다.

Q04 오른손을 펴서 자기력의 방향을 어떻게 찾을까?

한 줄 답 **오른손의 엄지를 전류, 네 손가락을 자기장 방향에 맞추면 손바닥이 향하는 쪽이 자기력이다.**

오른손을 펴고 엄지를 나머지 네 손가락과 직각이 되게 벌린다. 엄지는 **전류 방향**, 곧게 모은 네 손가락은 **자석이 만드는 자기장 방향**에 맞춘다. 손바닥이 밀어내는 쪽이 이 도선의 자기력 방향이다. 손등이 향하는 쪽은 그 반대이다.

오른손을 펴서 자기력 방향 찾기



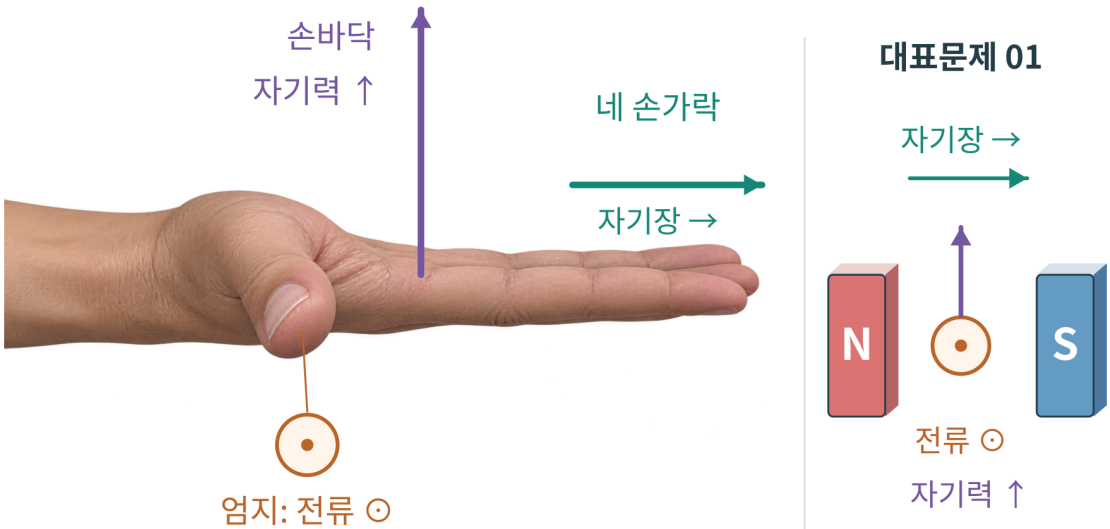
오른손 손바닥이 보이는 자세
이 자세에서 자기력은 종이 밖, 관찰자 쪽

판단 순서	확인할 내용
① 자석의 극에서 자기장을 찾는다.	자석 사이에서 N극 → S극
② 전류와 자기장을 오른손에 맞춘다.	엄지=전류, 네 손가락=자기장
③ 손바닥이 향하는 쪽을 읽는다.	손바닥=자기력; 전류 방향과 자기장 방향에 모두 수직

따라 하기 예 1 전류가 오른쪽(→), 자기장이 위쪽(↑)이면 엄지를 오른쪽, 네 손가락을 위쪽으로 맞춘다. 손바닥은 종이 밖(⊙)을 향한다. 위의 손 그림이 이 자세이다.

따라 하기 예 2 전류가 종이 밖(⊙), 자기장이 오른쪽(→)이면 엄지를 관찰자 쪽으로, 네 손가락을 오른쪽으로 맞춘다. 손바닥은 위쪽(↑)을 향한다. 대표문제 01과 같은 상황이다.

단면과 같은 방향으로 오른손을 맞추기



손바닥은 위쪽 · 엄지는 관찰자 쪽

자기력은 손바닥 면에 수직으로 위로 향한다

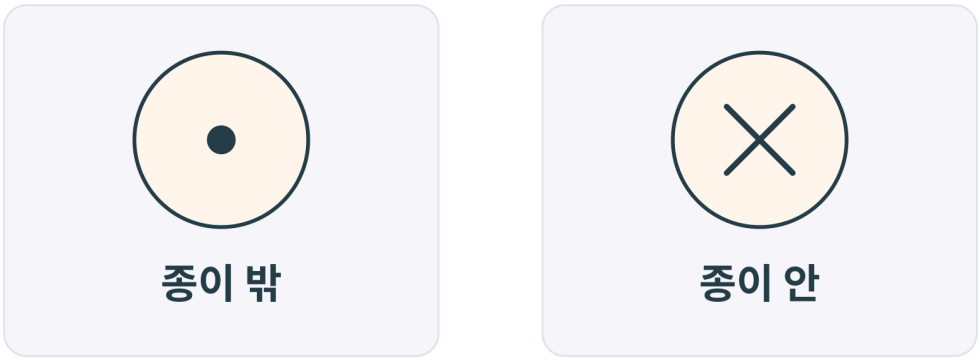
10편의 '감아쥐기'와 이 편의 '펴기'는 다른 방법이다. 코일의 N극을 찾을 때는 네 손가락을 전류 방향으로 **감아쥐지만**, 지금은 도선의 **힘**을 찾기 위해 손을 편다. 전자의 이동 방향은 전류와 반대이므로 손을 전자 방향에 맞추면 안 된다.

Q05 종이 밖·종이 안 방향을 어떻게 표시할까?

한 줄 답 **⊙는 종이 밖으로 나오는 방향, ⊗는 종이 안으로 들어가는 방향이다.**

화살의 앞끝이 나를 향하면 점처럼 보이고, 멀어지면 뒤쪽 깃이 보인다고 생각하면 구별할 수 있다. 이 기호는 **방향**을 나타내며, 전류·자기장·힘 가운데 무엇의 방향인지는 옆에 쓴 글자로 확인한다.

종이 밖과 종이 안 방향



관찰자 쪽으로 / 관찰자에게서 멀어짐

기호	방향	전류에 붙었을 때	자기력에 붙었을 때
⊙	종이 밖, 관찰자 쪽	전류가 종이 밖으로 흐름	힘이 종이 밖으로 작용
⊗	종이 안, 관찰자 반대쪽	전류가 종이 안으로 흐름	힘이 종이 안으로 작용

틀린 생각 ⊙는 어디에 있어도 전류만 뜻한다.

바른 문장 ⊙는 종이 밖 방향 기호이며, 전류·자기장·힘 중 무엇인지는 표기를 읽는다.

꼭 기억할 지식과 주의할 점

- 자석 사이의 자기장은 N극에서 S극으로 향하며 전류 화살표와 별도로 읽는다.
- 힘을 찾을 때 오른손 엄지는 전류, 네 손가락은 자기장, 손바닥은 자기력이다.
- 자기력은 전류 방향과 자기장 방향에 수직이며, 종이 밖·안은 ⊙·⊗로 표시한다.

대표문제 풀이

정답 (1) 오른쪽 (2) 위 (3) 아래

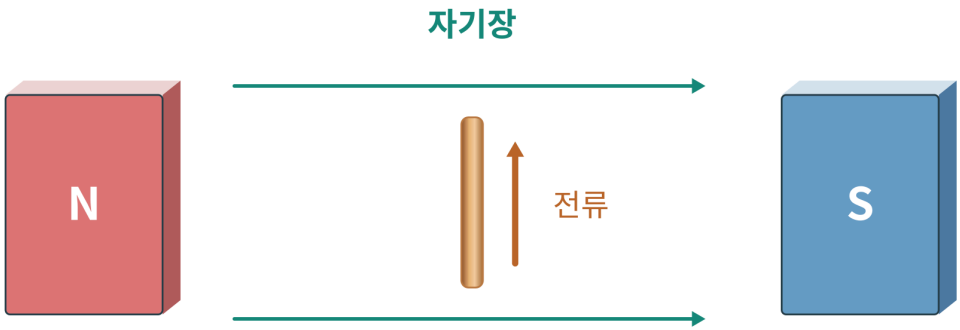
(1) 자석 사이의 자기장은 N극에서 S극으로 향하므로 오른쪽이다. (2) 오른손 엄지를 종이 밖으로, 네 손가락을 오른쪽으로 향하게 하면 손바닥이 위를 향한다. (3) 자기장만 반대가 되므로 자기력도 아래로 바뀐다.

다시 볼 질문 Q02·Q04·Q07

적용 문제

문항 02

자석 사이의 자기장은 오른쪽이고, 세로 도선의 전류는 위쪽이다. 도선이 받는 자기력은 종이 밖인가, 종이 안인가?



답

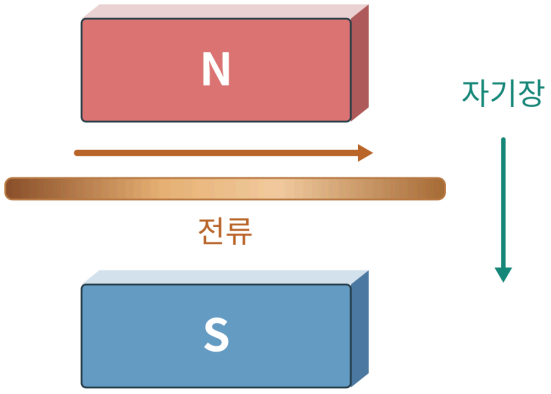
문항 03

자기장 속에서 전류가 흐르는 도선이 받는 힘을 오른손을 펴서 찾을 때, 바르게 연결한 것은?

① 엄지손가락: 자기장 / 네 손가락: 전류 / 손바닥: 자기력
② 엄지손가락: 전류 / 네 손가락: 자기장 / 손바닥: 자기력
③ 엄지손가락: 자기력 / 네 손가락: 자기장 / 손바닥: 전류
④ 엄지손가락: 전류 / 네 손가락: 자기력 / 손바닥: 자기장
⑤ 엄지손가락: 전류 / 네 손가락: 자기장 / 손등: 자기력

문항 04

가로 도선의 전류는 오른쪽이고 자석이 만드는 자기장은 아래쪽이다. 도선이 받는 자기력은 종이 밖인가, 종이 안인가?



답

문항 05

왼쪽 자석은 S극, 오른쪽 자석은 N극이다. 가운데 도선의 전류는 종이 안으로 들어간다.

(1) 자석 사이의 자기장 방향을 쓰시오. (2) 도선이 받는 자기력의 방향을 위·아래 중에서 고르시오.



전류: 종이 안
도선의 단면

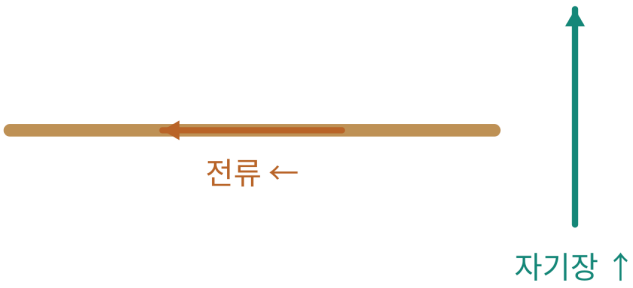
답

문항 06

자기장은 위쪽, 전류는 왼쪽인 직선 도선이 있다.

(1) 자기력은 종이 밖인가, 종이 안인가? (2) 자기장은 그대로 두고 전류만 오른쪽으로 바꾸면 자기력은 어느 쪽인가?

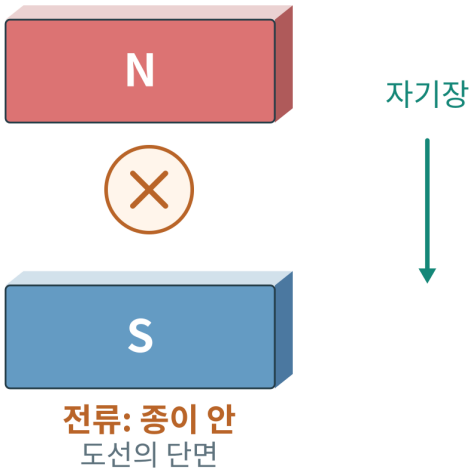
처음의 전류와 자기장



답

문항 07

자석이 만드는 자기장은 아래쪽이고 전류는 종이 안으로 들어간다. 도선이 받는 자기력의 방향은?

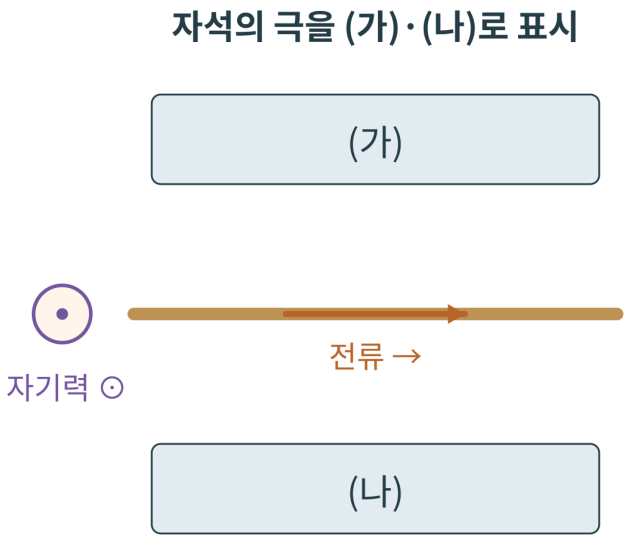


① 위쪽
② 아래쪽
③ 오른쪽
④ 왼쪽
⑤ 종이 안

문항 08

도선의 전류는 오른쪽이고 자기력은 종이 밖이다. 전류와 자기장은 서로 수직이다.

(1) 자기장 방향은 위·아래 중 어느 쪽인가? (2) 도선 위와 아래에 자석을 놓았다면 그림의 (가)는 N극인가, S극인가?

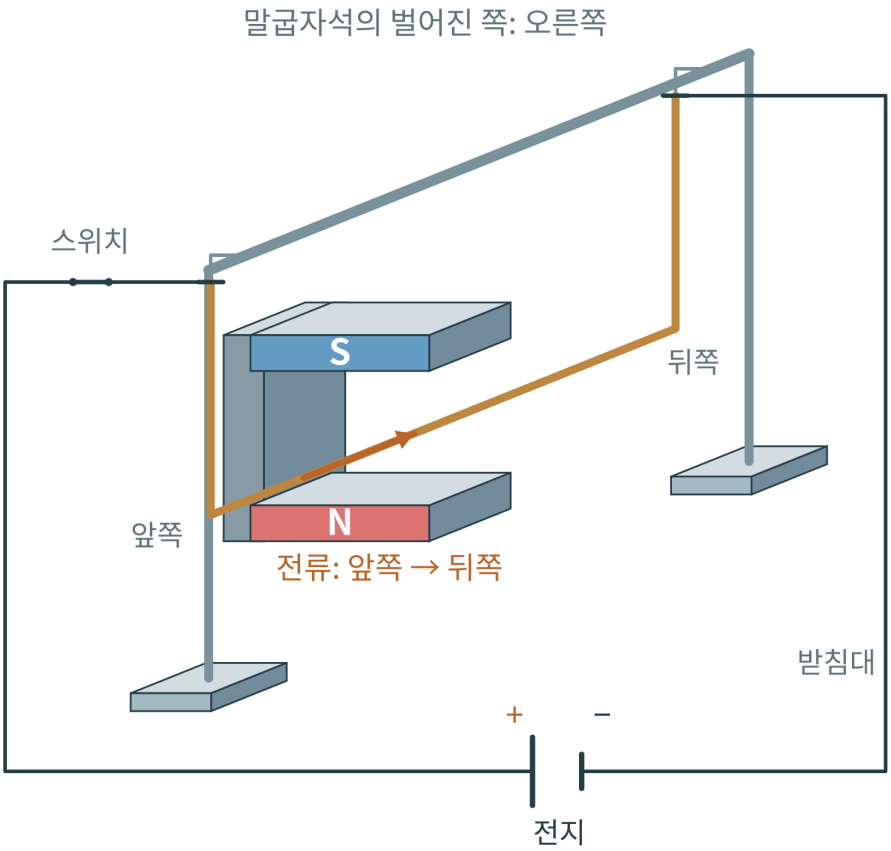


답

문항 09

그림은 말굽자석 사이에 매단 전기 그네이다. 아래 자석은 N극, 위는 S극이며 그네의 아래쪽 도선 전류는 앞쪽에서 뒤쪽으로 흐른다. 스위치를 닫으면 그네는 말굽자석의 안쪽과 바깥쪽 중 어느 쪽으로 움직이는가?

말굽자석의 안쪽과 바깥쪽 중 어느 쪽일까?



답

문항 10

문항 09의 전기 그네가 움직이는 방향을 반대로 하는 방법을 두 가지 쓰시오. 각 방법에서는 한 조건만 바꾸고 나머지는 같게 둔다.

답

문항 11

전기 그네의 움직임을 더 크게 하려 한다. 같은 도선과 장치를 쓰고 방향은 바꾸지 않을 때, 서로 다른 방법 두 가지와 그 까닭을 쓰시오. 각 방법에서 비교하려는 조건만 바꾼다.

답

유형 2 전류·자기장의 방향과 세기를 바꾸면 힘은 어떻게 달라질까?

문항 12 · 대표문제

같은 직선 도선으로 전류와 자기장의 방향을 바꾸며 실험했다. 전류가 흐를 때 그 세기와 자석 사이의 자기장 세기는 모두 같다. 전류와 자기장은 서로 수직이다.

실험	전류 방향	자기장 방향
A	종이 밖	오른쪽
B	종이 안	오른쪽
C	종이 밖	왼쪽
D	종이 안	왼쪽
E	전류 없음	오른쪽

(1) A에서 자기력이 위쪽이었다. B·C·D의 자기력 방향을 각각 쓰시오. (2) E에서 도선은 자기력을 받는가?

답

질문으로 이해하기

Q06 전류 방향만 반대로 하면 자기력은 어떻게 될까?

한 줄 답 **자석이 만드는 자기장은 그대로일 때 전류 방향만 반대로 하면 자기력 방향도 반대가 된다.**

자석과 도선의 위치를 그대로 두고 전지의 연결을 반대로 하면 도선의 전류 방향이 반대로 바뀐다. 오른손의 엄지만 반대 방향으로 맞추어 다시 판단하면 손바닥이 처음과 반대쪽을 향한다. 전류의 **세기**까지 달라졌다는 조건이 없으면 방향의 변화만으로 힘이 더 세졌다고 하지 않는다.

전기 그네에서도 전지 연결을 반대로 하면 전류 방향이 바뀌어 그네가 처음과 반대쪽으로 움직인다. 아래 그림은 네 경우의 방향을 함께 비교한 것이다.



틀린 생각 전류를 끊는 것과 전류 방향을 반대로 하는 것은 같은 변화이다.

바른 문장 끊으면 도선이 받는 자기력이 없어지고, 반대로 흐르게 하면 자기력 방향이 바뀐다.

Q07 자석의 극만 바꾸는 것과 두 방향을 모두 바꾸는 것은 어떻게 다를까?

한 줄 답 **자기장만 반대이면 힘도 반대지만, 전류와 자기장을 모두 반대로 하면 힘 방향은 처음과 같다.**

N극과 S극의 위치를 바꾸면 자석 사이 자기장 방향이 바뀐다. 전류는 그대로인데 자기장만 반대가 되면 네 손가락 방향이 반대가 되어 손바닥도 반대로 향한다. 전류와 자기장을 둘 다 반대로 하면 자기력 방향은 처음과 같다.

전기 그네에서 자석의 N극·S극만 서로 바꾸면 그네가 반대쪽으로 움직인다. 전지 연결과 자석의 극을 둘 다 바꾸면 그네가 움직이는 방향은 처음과 같다. Q06의 네 칸 그림과 아래 표를 함께 비교한다.

경우	전류 방향	자기장 방향	자기력 방향
처음	종이 밖 ⊙	오른쪽 →	위 ↑
전류만 반대	종이 안 ⊗	오른쪽 →	아래 ↓
자기장만 반대	종이 밖 ⊙	왼쪽 ←	아래 ↓
둘 다 반대	종이 안 ⊗	왼쪽 ←	위 ↑

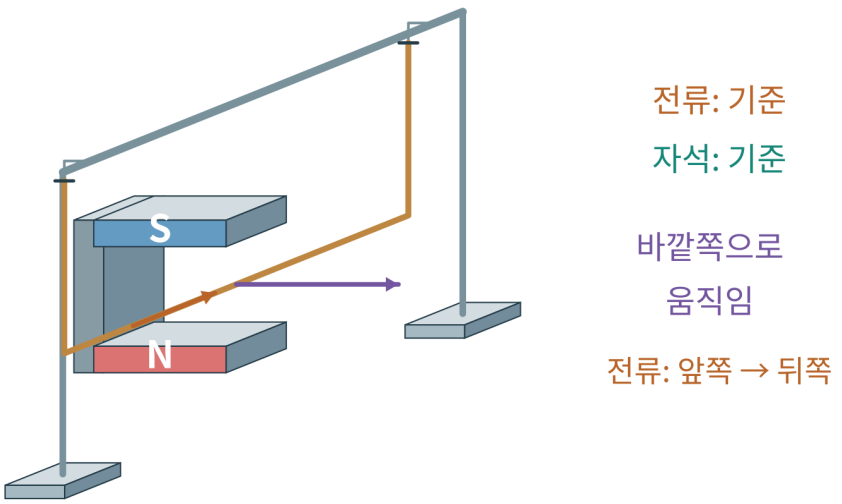
이 표는 **방향** 비교이다. 전류의 세기나 자기장 세기까지 바꾸었다면 힘의 **크기**는 따로 판단한다.

Q08 도선이 받는 자기력의 크기를 크게 하는 조건은 무엇일까?

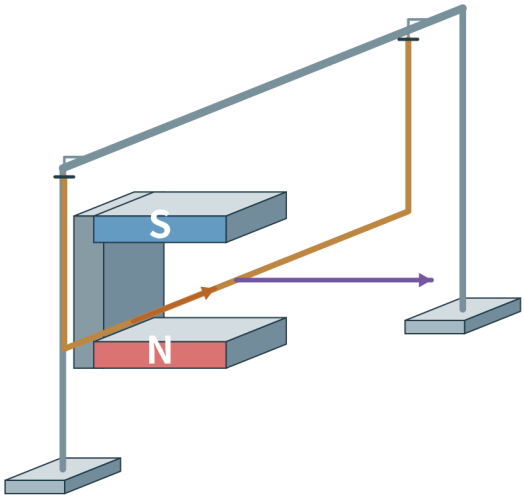
한 줄 답 **전류가 셀수록, 자석의 자기장이 셀수록 자기력이 커진다.**

한 조건의 효과를 판단할 때 나머지 조건을 같게 둔다. 전기 그네에서도 전류를 세게 하거나 센 자석을 쓰면 자기력이 커져 그네가 더 많이 움직인다. 전류의 세기는 전류계로 확인한다. 같은 회로에서 전원 장치의 전압을 높이면 전류를 더 세게 할 수 있다.

바꾸는 조건	같게 둘 조건	자기력 크기
전류의 세기를 세게 한다.	자석, 도선의 길이·위치·각도	커진다.
센 자석으로 바꾼다.	실제 전류, 도선의 길이·위치·각도	커진다.
전류와 자기장 방향을 나란하게 놓는다.	실제 전류, 자기장의 세기, 도선의 길이	자기력이 없다.



전류를 세게



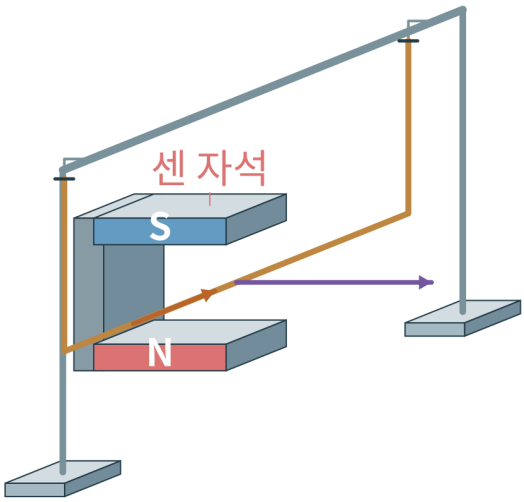
전류: 더 셈

자석: 같음

바깥쪽으로
더 많이 움직임

전류: 앞쪽 → 뒤쪽

센 자석으로



전류: 같음

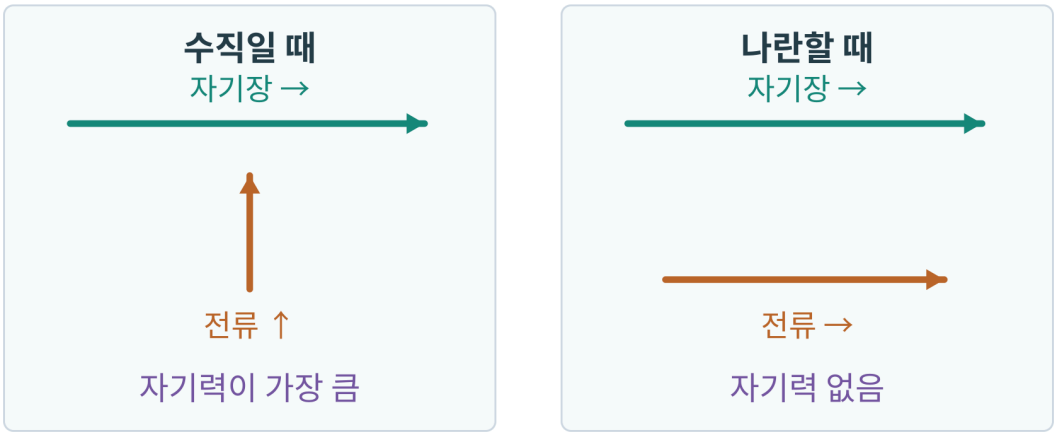
자석: 더 셈

바깥쪽으로
더 많이 움직임

전류: 앞쪽 → 뒤쪽

같은 도선에 같은 세기의 전류가 흐르고 자기장의 세기도 같으면, 전류 방향과 자기장 방향이 수직일 때 자기력이 가장 크고 나란할 때는 자기력을 받지 않는다. 나란한 경우는 아래 그림과 문항 20에서 따로 비교한다.

전류와 자기장 방향의 관계



Q09 힘 비교 실험에서 왜 전류를 실제로 측정해야 할까?

한 줄 답 **전지나 도선 조건을 바꾸면 전류도 달라질 수 있으므로, 비교하려는 조건 외에는 실제로 같게 맞추어야 한다.**

비유로 이해하기 · 공정한 달리기 비교

새 운동화를 신으면 더 빨리 달릴 수 있는지 알아보려고, 한 친구는 새 운동화를 신고 평지에서, 다른 친구는 헌 운동화를 신고 오르막에서 달렸다. 새 운동화를 신은 친구가 이겨도 운동화 때문인지 길 때문인지 달리는 사람 때문인지 알 수 없다. 운동화만 다르게 하고 길·거리·사람을 같게 해야 운동화의 효과를 알 수 있다.

달리기 비교	자기력 비교 실험
알아보려는 것: 운동화	알아보려는 것: 전류의 세기(또는 자석)
같게 할 것: 길·거리·달리는 사람	같게 할 것: 자석(또는 전류)·도선의 길이·위치·각도
운동화·길·사람을 함께 바꿈	전류와 자석을 함께 바꿈(문항 17의 A·D)

이 비유는 여기까지만 맞다

달리기 기록은 그날의 컨디션처럼 맞추기 어려운 것도 있지만, 자석의 효과를 비교하는 실험에서는 전류계로 실제 전류를 재어 같게 맞출 수 있다. 비교하는 것은 '한 조건만 다르게 해야 그 조건의 효과를 안다'는 점뿐이다.

같은 전지를 사용했다는 정보만으로 전류가 항상 같다고 할 수 없다. 도선의 길이·굵기·연결이 달라지면 저항이 달라질 수 있다. 전류계는 도선에 **직렬**로 연결하고, 실제 전류를 측정한다.

Q08 표의 '같게 둘 조건' 열을 다시 보자.

전류가 세졌고 자석도 세졌다면 힘이 커진 결과를 전류만의 효과로 설명할 수 없다. 두 조건이 함께 달라졌기 때문이다.

꼭 기억할 지식과 주의할 점

- 전류 또는 자기장 한 방향만 반대로 하면 자기력은 반대가 되고, 두 방향을 모두 바꾸면 처음과 같다.
- 전류나 자기장의 **방향**을 바꾸면 자기력의 방향이, **세기**를 바꾸면 자기력의 크기가 달라진다.
- 같은 조건에서 전류와 자기장이 수직일 때 자기력이 가장 크고, 나란할 때는 자기력이 없다.
- 비교하려는 조건 하나만 다르게 한다.

대표문제 풀이

정답 (1) B 아래, C 아래, D 위 (2) 생기지 않음

(1) B는 전류만, C는 자기장만 바뀌므로 각각 아래쪽이다. D는 두 방향을 모두 바꾼 경우로 A와 같은 위쪽이다. (2) 전류가 없으면 도선이 받는 자기력은 생기지 않는다.

다시 볼 질문 Q06·Q07

적용 문제

문항 13

처음에 도선이 위쪽 자기력을 받았다. 같은 세기의 전류와 자기장에서 두 방향을 모두 반대로 바꾸었다. 자기력 방향의 변화로 옳은 것은?

① 그대로 위쪽이다.
② 아래쪽으로 바뀐다.
③ 전류 방향과 같아진다.
④ 자기장 방향과 같아진다.
⑤ 자기력이 사라진다.

문항 14

도선이 오른쪽 자기력을 받고 있다. 자기장과 도선의 위치는 그대로 두고 전류의 세기는 같게, 방향만 반대로 바꾸었다. 자기력의 방향과 크기는 각각 어떻게 되는가?

답

문항 15

자기장이 위쪽이고 전류가 오른쪽일 때 자기력은 종이 밖이다. 전류를 왼쪽으로, 자기장을 아래쪽으로 동시에 바꾸었다. 자기력 방향을 쓰고, 전류만 바꾼 경우와 다른 까닭을 쓰시오.



답

문항 16

자석 사이에서 움직이던 도선의 전류를 끊었다. 도선이 받는 자기력과 도선의 움직임에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 이전과 같은 자기력을 계속 받는다.
② 자기력이 사라지므로 반드시 그 순간에 멈춘다.
③ 전류가 끊겼으므로 반대쪽 자기력을 받는다.
④ 자석이 만드는 자기장도 함께 사라진다.
⑤ 도선이 받는 자기력은 없어지지만 잠시 더 움직일 수 있다.

문항 17

같은 길이의 직선 도선이 자기장과 수직이 되도록 놓고 힘을 측정했다. 자석의 배치·도선의 위치는 같으며, 센 자석은 약한 자석보다 같은 위치에서 더 센 자기장을 만든다. 표는 가상 측정 자료이다.

실험	전류의 세기	자기장을 만드는 자석	자기력의 크기(상댓값)
A	0.15 A	약한 자석	1
B	0.30 A	약한 자석	2
C	0.15 A	센 자석	3
D	0.30 A	센 자석	6

(1) 전류의 세기만의 영향을 알아보는 비교 쌍을 하나 쓰시오. (2) 자기장 세기만의 영향을 알아보는 비교 쌍을 하나 쓰시오. (3) A와 D만 비교하여 전류만의 효과를 결론 내릴 수 없는 까닭을 쓰시오.

답

문항 18

같은 도선을 같은 위치·각도에 두고, 전류의 세기와 방향은 그대로 유지하면서 같은 방향의 자기장만 더 세게 했다. 옳은 변화는?

① 자기력 방향만 반대가 된다.
② 자기력 방향은 반대가 되고 크기는 커진다.
③ 자기력 방향은 같고 크기는 커진다.
④ 전류의 세기가 반드시 작아진다.
⑤ 자기력이 사라진다.

문항 19

전류를 세게 하면서 더 센 자석으로도 바꾸자 도선이 받는 자기력이 커졌다. 전류의 영향만 알아보도록 이 실험을 고치는 방법을 쓰시오.

답

문항 20

같은 길이의 직선 도선에 같은 세기의 전류가 흐르고, 자기장의 세기도 같다. 도선을 자기장과 수직으로 놓은 경우와 나란하게 놓은 경우 중 (1) 자기력이 가장 큰 경우, (2) 자기력을 받지 않는 경우를 각각 쓰시오.

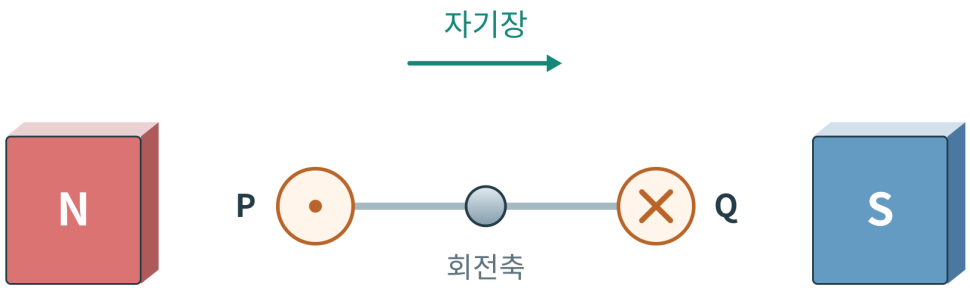
답

유형 3 코일 양쪽의 힘은 어떻게 회전을 만들까?

문항 21 · 대표문제

그림은 직사각형 코일의 회전축을 정면에서 본 모식도이다. P와 Q는 코일의 서로 마주 보는 두 도선 부분의 단면이다. 두 도선은 종이에 수직이며, 연결 부분은 생략했다. 왼쪽 자석은 N극, 오른쪽은 S극이다.

(1) P·Q가 받는 자기력의 방향을 각각 위·아래 중에서 고르시오. (2) 그림처럼 보았을 때 코일은 시계 방향과 시계 반대 방향 중 어느 쪽으로 회전하려 하는가?



회전축을 정면에서 봄 · 연결 부분 생략
⊙ 전류가 종이 밖으로 ⊗ 전류가 종이 안으로

답

질문으로 이해하기

Q10 한 코일의 마주 보는 두 도선에는 왜 반대 방향의 전류가 흐를까?

한 줄 답 **하나로 이어진 코일을 따라 전류가 흐르므로 마주 보는 두 부분을 지나는 방향은 반대가 된다.**

비유로 이해하기 · 운동장 트랙

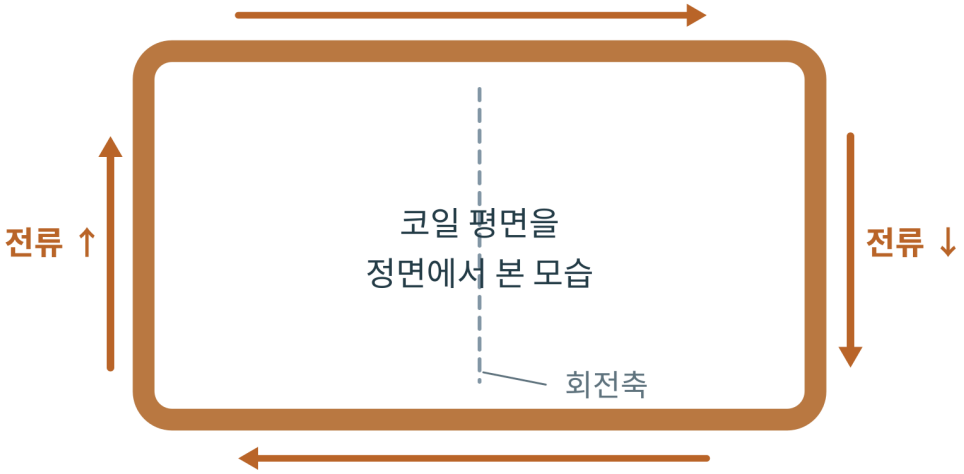
운동장 트랙을 한 방향으로 도는 사람들을 떠올려 보자. 한쪽 직선 구간에서는 오른쪽으로 달리지만, 맞은편 구간에서는 왼쪽으로 달린다. 달리던 방향을 되돌린 것이 아니라, 이어진 길을 따라 돌기 때문이다. 코일에서도 전류가 하나로 이어진 길을 따라 흐르지만, 마주 보는 두 부분에서는 방향이 반대이다.



운동장 트랙	코일
하나로 이어진 트랙	하나로 이어진 코일 도선
사람이 달리는 방향	전류의 방향
맞은편의 두 직선 구간	마주 보는 두 변

트랙을 위에서 내려다보듯 코일을 정면에서 보자. 위 변에서 오른쪽(→)으로 흐른 전류는 오른쪽 변에서 아래(↓)로, 아래 변에서 왼쪽(←)으로, 왼쪽 변에서 위(↑)로 흐른다.

하나의 코일에서 마주 보는 두 변의 전류



이 그림은 전류 경로만 표시 · 자기장은 표시하지 않음

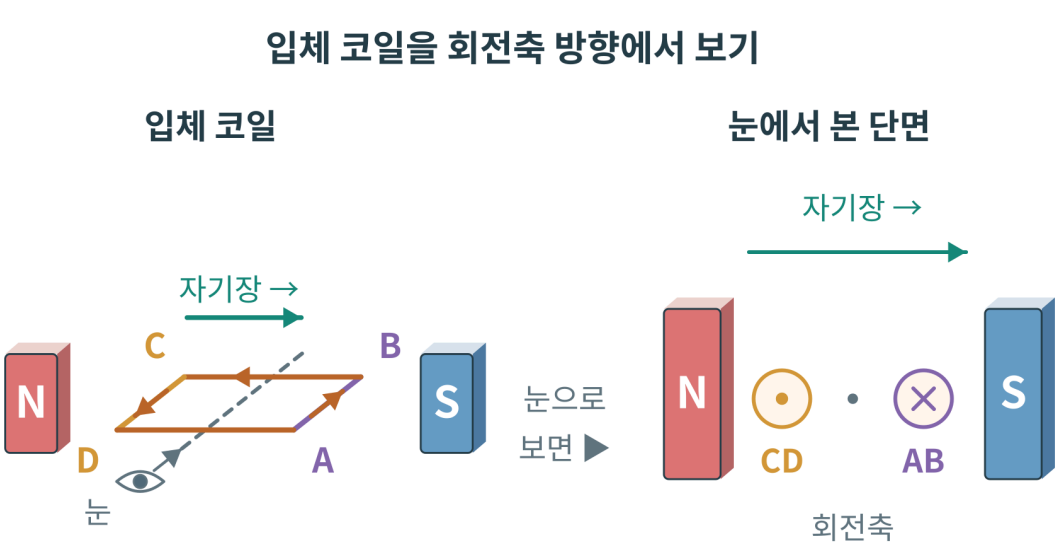
같은 코일의 두 부분이라는 것은 전류 **세기**가 같다는 뜻이지, 공간에서 전류 **방향**이 같다는 뜻은 아니다.

이 비유는 여기까지만 맞다

이어진 길과 그 길의 각 부분을 지나는 방향만 비교한다. 달리는 사람을 전자로 생각하면 안 된다. 금속 도선의 전자는 전류와 반대 방향으로 이동하기 때문이다. 사람이 달리는 방향은 전류의 방향에만 대응한다. 사람이 달리는 빠르기를 전류의 세기로 읽지도 않는다.

입체 코일을 단면 기호로 바꾸기

아래 입체 그림에서 **눈이 바라보는 방향**을 먼저 확인한다. 눈은 회전축의 한쪽 끝에서 코일을 바라본다. 금색 CD와 보라색 AB는 같은 코일의 마주 보는 두 변이며, 단면 그림에서도 같은 색을 쓴다.



금색 CD와 보라색 AB를 같은 색 단면으로 옮긴다

CD: 눈 쪽 ⊙ / AB: 눈에서 멀어지는 쪽 ⊗

이 눈으로 회전축을 정면에서 보면 축과 나란한 두 도선 부분의 단면을 ⊙와 ⊗로 표시할 수 있다. ⊙는 그림의 눈 쪽으로 오는 전류, ⊗는 눈에서 멀어지는 전류이다. 이 단면 그림에는 뒤쪽 연결 부분을 생략한다.

BC와 AD는 자기장과 나란하므로 이 두 변에는 자기력이 작용하지 않는다. AB와 CD는 자기장과 수직이므로 자기력을 받는다. 눈에서 보면 왼쪽의 금색 CD에는 종이 밖 전류가, 오른쪽의 보라색 AB에는 종이 안 전류가 흐른다.

Q11 코일 양쪽에 반대 방향의 힘이 작용하는데 왜 돌까?

한 줄 답 **서로 다른 위치에서 작용하는 두 힘이 같은 회전 방향으로 돌리기 때문이다.**

비유로 이해하기 · 두 손으로 돌리는 운전대

운전대를 정면에서 보고, 왼손으로는 왼쪽 테두리를 위로 올리고 오른손으로는 오른쪽 테두리를 아래로 내린다고 생각해 보자. 두 손이 힘을 주는 방향은 반대지만 운전대는 시계 방향으로 돌아간다. 회전축(운전대 중심) 양쪽의 서로 다른 위치에 힘을 주기 때문이다.

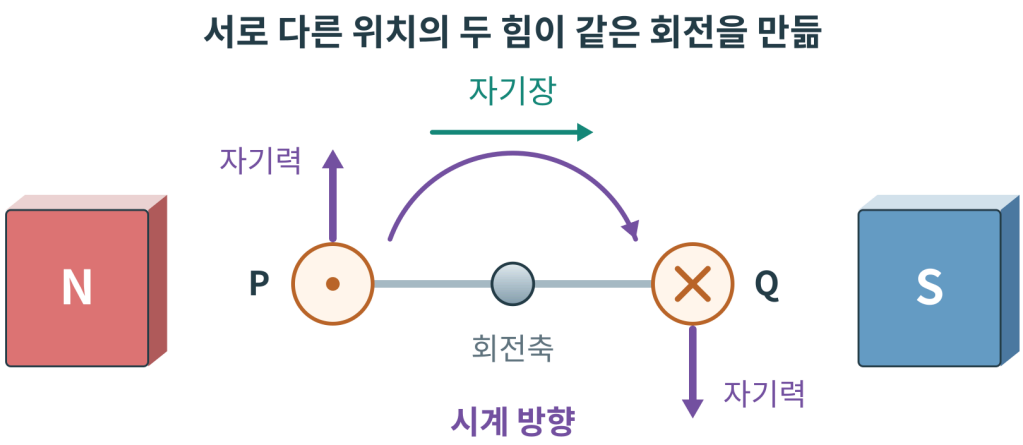


운전대	코일
운전대의 중심	회전축
왼쪽 테두리(금색 표시)	왼쪽 도선 P
오른쪽 테두리	오른쪽 도선 Q
왼손이 주는 위쪽 힘 · 오른손이 주는 아래쪽 힘	P가 받는 위쪽 자기력 · Q가 받는 아래쪽 자기력

이 비유는 여기까지만 맞다

운전대는 손이 직접 닿아 힘을 준다. 코일은 자석과 직접 닿지 않아도 자기력을 받는다. 자기장 속에 있는 코일에 전류가 흐르기 때문이다. 비교하는 것은 힘이 작용하는 위치와 돌리는 방향뿐이다.

아래 코일 그림에서 P는 위쪽, Q는 아래쪽 자기력을 받는다. 운전대의 두 손처럼 회전축 양쪽의 서로 다른 위치에 작용하므로, 두 힘은 위·아래로 반대이지만 **둘 다 시계 방향으로 돌린다.**



회전축을 정면에서 봄 · 연결 부분 생략
⊙ 전류가 종이 밖으로 ⊗ 전류가 종이 안으로

전류가 흐르는 코일의 마주 보는 두 부분에는 전류가 반대 방향으로 흐른다. 두 부분이 같은 방향의 자기장 속에 있으면 자기력도 반대이다. 코일을 회전축에 연결하면 이 두 힘으로 회전할 수 있다.

✕ **틀린 생각** 위·아래 힘의 크기가 같으면 반드시 아무 움직임도 생기지 않는다.

✓ **바른 문장** 크기가 같고 방향이 반대인 두 힘도 회전축 양쪽의 서로 다른 위치에 작용하면 코일을 회전시킬 수 있다.

Q12 ‘시계 방향’이라고 말할 때 왜 보는 쪽이 필요할까?

한 줄 답 **같은 회전도 반대쪽에서 보면 시계 방향과 시계 반대 방향이 뒤바뀌기 때문이다.**

비유로 이해하기 · 투명한 벽시계

유리로 된 투명한 시계를 떠올려 보자. 앞에서 보면 바늘이 시계 방향으로 돈다. 같은 시계를 뒤로 돌아가 유리 너머로 보면, 바늘은 시계 반대 방향으로 도는 것처럼 보인다. 바늘이 실제로 반대로 도는 것이 아니라 보는 쪽이 바뀌었기 때문이다.

같은 회전, 보는 쪽이 다르다

① 앞에서 본 모습



앞에서: 시계 방향

② 뒤에서 본 모습



뒤에서: 시계 반대 방향

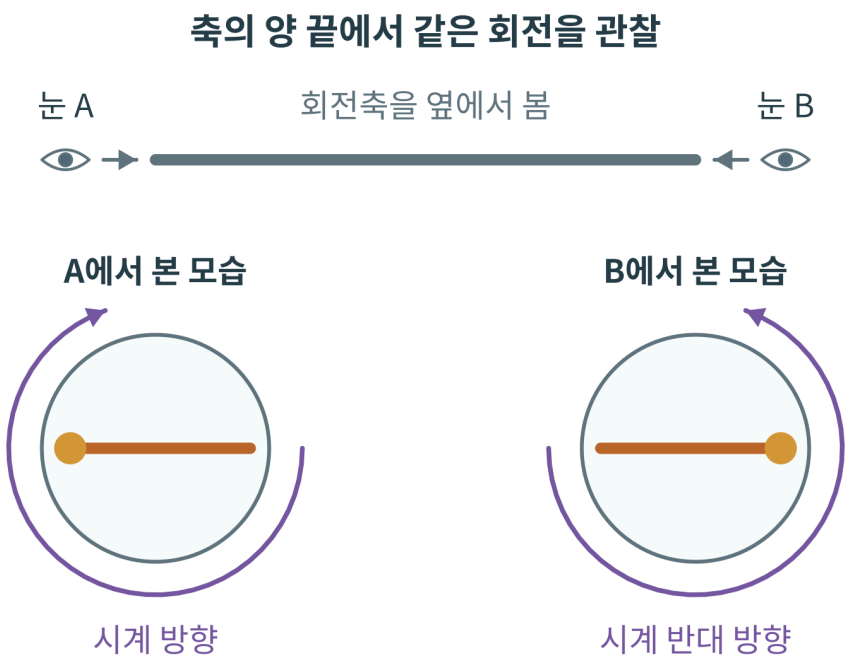
뒤에서 보면 숫자와 바늘의 모습도 좌우가 뒤집힌다.

투명한 벽시계	코일
시계 바늘	회전하는 코일
바늘이 꽂힌 시계 중심	회전축
시계 앞에서 보는 사람 · 뒤에서 보는 사람	축의 한쪽 끝에서 보는 눈 A · 반대쪽 끝에서 보는 눈 B

이 비유는 여기까지만 맞다

이 비유의 시계 바늘은 같은 방향으로 계속 돌지만, 코일이 도는 방향은 전류와 자기장의 방향에 따라 달라진다. 이 비유로 비교하는 것은 '같은 회전도 보는 쪽에 따라 다르게 말한다'는 점뿐이다.

이 편의 단면 그림은 **회전축을 정면에서 바라보는 쪽**을 기준으로 한다. 왼쪽을 올리고 오른쪽을 내리면 그쪽에서 보아 시계 방향이다. 관찰자가 축의 반대편으로 이동하면 같은 회전은 시계 반대 방향으로 보인다. 전류나 실제 회전이 바뀐 것이 아니다.



실제 회전은 같고 보는 쪽만 반대이다

시계 방향을 고르는 문제에서는 먼저 보는 쪽을 확인한 다음 두 도선의 위치와 자기력을 연결한다. 손으로 도선의 힘을 찾은 뒤, 그 힘이 왼쪽·오른쪽 중 어디에 작용하는지 확인한다.

꼭 기억할 지식과 주의할 점

- 하나로 이어진 코일의 마주 보는 두 부분에서는 전류 방향이 반대이다.
- 반대 방향의 두 자기력이 서로 다른 위치에 작용하면 같은 회전 방향으로 돌릴 수 있다.
- 회전 방향은 보는 쪽, 도선의 위치, 힘의 방향을 함께 확인한다.

대표문제 풀이

정답 (1) P 위, Q 아래 (2) 시계 방향

P의 전류는 종이 밖, Q의 전류는 종이 안이다. 자기장은 오른쪽이므로 P는 위, Q는 아래 자기력을 받는다. 왼쪽을 올리고 오른쪽을 내리는 두 힘은 그림처럼 보았을 때 시계 방향으로 돌린다.

다시 볼 질문 Q04·Q10~Q12

적용 문제

문항 22

문항 21의 자석과 코일 위치는 그대로 두고 코일의 전류 방향만 반대로 바꾸었다.

(1) P·Q가 받는 자기력의 방향을 쓰시오. (2) 같은 쪽에서 보았을 때 코일이 회전하려는 방향을 쓰시오.

답

문항 23

문항 21의 P와 Q는 크기가 같고 방향이 반대인 자기력을 받는다. “두 힘이 반대이므로 코일은 회전하지 않는다.”가 틀린 까닭을 쓰시오.

답

문항 24

같은 자기장 속에서 전류가 흐르는 직사각형 코일을 보았다. 자기장과 서로 수직인, 마주 보는 두 도선 부분에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 마주 보는 두 부분의 전류 방향은 항상 같다.
② 자기력은 언제나 자기장 방향과 같다.
③ 두 부분의 힘이 반대이면 회전할 수 없다.
④ 마주 보는 두 부분은 반대 방향의 전류와 자기력을 갖는다.
⑤ 자석의 극만 알면 전류 정보 없이 회전 방향을 정할 수 있다.

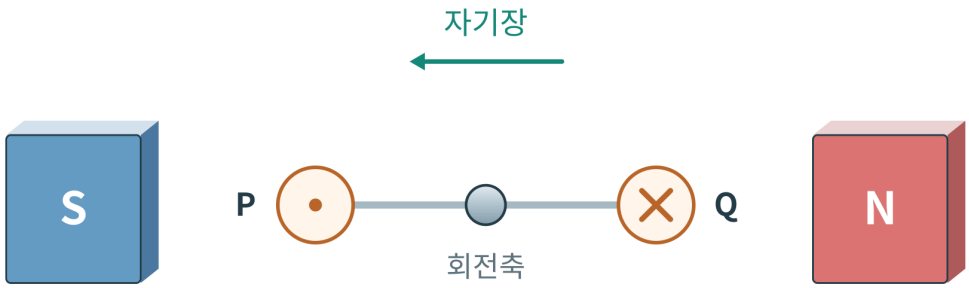
문항 25

문항 21에서 전류 방향과 자석의 N극·S극 위치를 모두 반대로 바꾸었다. 각 부분의 자기력 방향과 코일이 회전하려는 방향은 처음과 같은가, 반대인가?

답

문항 26

그림의 코일을 회전축 정면에서 보았다. 자석이 만드는 자기장은 왼쪽이다. P의 전류는 종이 밖, Q의 전류는 종이 안이다. 이 순간의 자기력과 회전하려는 방향을 바르게 연결한 것은?



회전축을 정면에서 봄 · 연결 부분 생략
⊙ 전류가 종이 밖으로 ⊗ 전류가 종이 안으로

① P 위 / Q 아래 / 시계 방향
② P 아래 / Q 위 / 시계 반대 방향
③ P 위 / Q 위 / 위로만 이동
④ P 아래 / Q 위 / 회전하지 않음
⑤ P 종이 밖 / Q 종이 안 / 시계 방향

문항 27

문항 21의 P는 처음에 왼쪽에서 위쪽 자기력을 받는다. 코일이 반 바퀴 돌아 P가 오른쪽으로 이동했는데, P에 흐르는 전류 방향은 바꾸지 않았다고 하자.

(1) P가 받는 자기력은 위·아래 중 어느 쪽인가? (2) 오른쪽의 P가 위로 힘을 받으면 처음의 시계 방향으로 돌리는가, 반대쪽으로 돌리려 하는가?

답

문항 28

이 편에서 전류와 자기장이 서로 수직인 도선에 자기력이 작용할 때, 옳은 설명은?

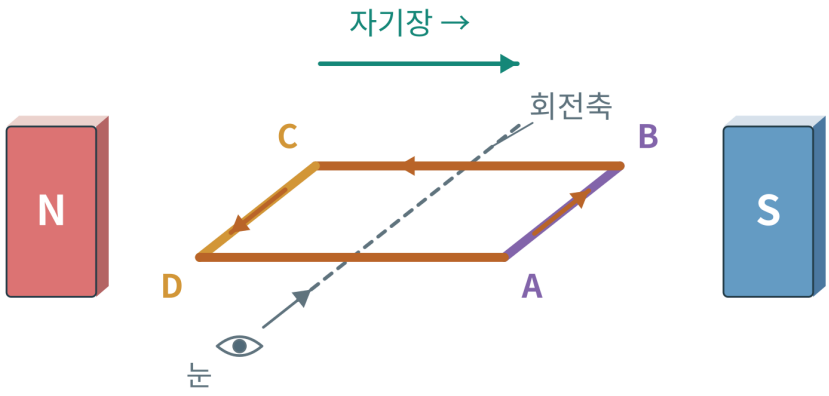
① 자기력 방향은 전류 방향과 자기장 방향에 모두 수직이다.
② 전류가 오른쪽이면 자기장도 반드시 오른쪽이다.
③ 엄지를 전자의 이동 방향에 맞춘다.
④ 자석 사이의 자기장은 S극에서 N극으로 향한다.
⑤ 자기력이 없어지는 순간 움직임도 반드시 즉시 없어진다.

문항 29

그림은 자석 사이 직사각형 코일 ABCD이다. 전류는 A→B→C→D 방향으로 흐르고 눈은 그림에 표시한 쪽에서 회전축을 바라본다.

(1) AB·CD가 받는 자기력 방향을 각각 위·아래 중에서 고르시오. (2) BC가 자기력을 받지 않는 까닭을 쓰시오. (3) 그림의 눈에서 보면 코일은 어느 방향으로 회전하려 하는가?

자석 사이의 직사각형 코일 ABCD



전류 A → B → C → D와 눈의 위치를 보고 판단

답

유형 4 전동기는 어떻게 같은 방향으로 계속 회전할까?

문항 30 · 대표문제

그림은 같은 직류 전동기의 회전축을 정면에서 본 두 순간이다. 자석의 극과 전지 연결은 그대로이며, 정류자가 코일에 흐르는 전류 방향을 바꾼다. P와 Q는 회전하는 같은 도선 부분을 계속 가리킨다.

(1) P의 전류는 처음과 반 바퀴 뒤에 각각 종이 밖인가, 종이 안인가? (2) P가 받는 자기력은 처음과 반 바퀴 뒤에 각각 위인가, 아래인가? (3) 두 순간 모두 코일을 같은 방향으로 회전시키는 까닭을 위치와 힘으로 설명하시오.

같은 코일 부분 P·Q의 반 바퀴 전후



자석과 전지 연결은 그대로이다

답

질문으로 이해하기

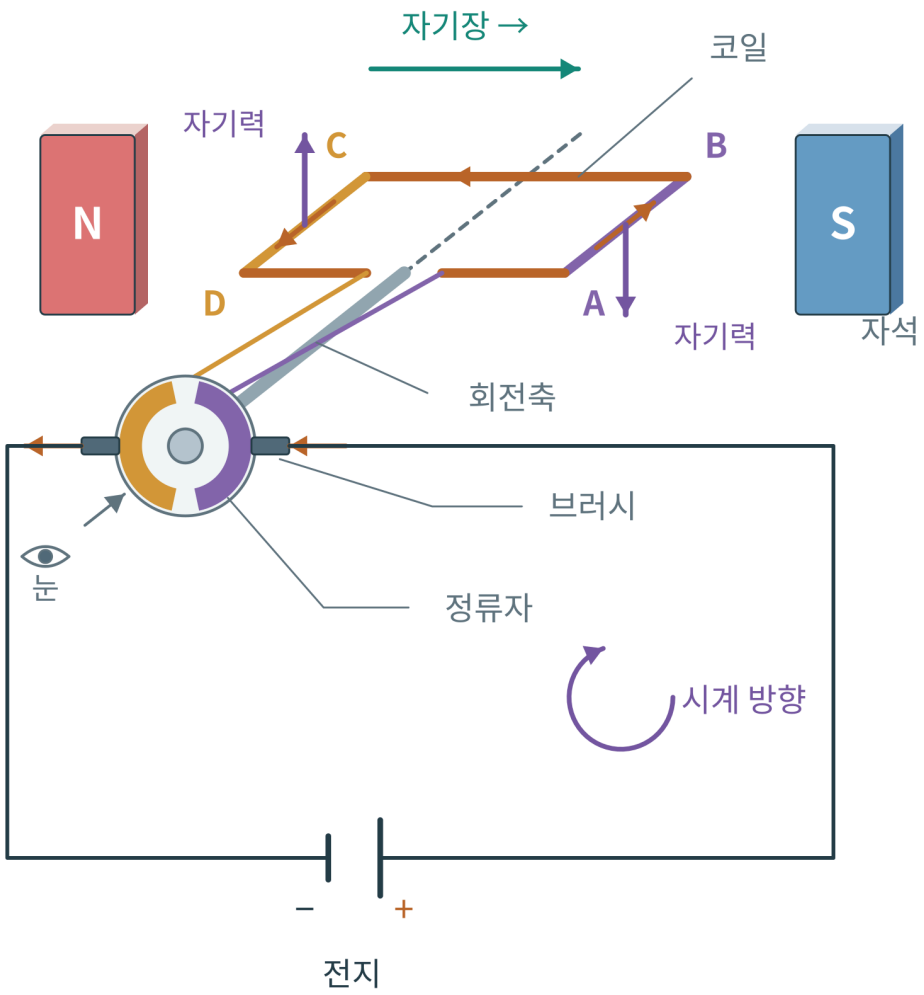
Q13 전동기는 어떤 장치이고 에너지는 어디에서 올까?

한 줄 답 **전동기는 자기장 속에서 전류가 흐르는 코일이 받는 힘으로 회전하며, 전기 에너지를 운동 에너지로 전환한다.**

자석 사이의 코일을 회전축에 연결하고 전류를 공급하면 코일에 자기력이 작용한다. 그 힘이 코일을 돌리고 축을 통해 다른 부분을 움직인다. **전동기**는 이 작용을 이용해 전기 에너지로 회전 운동을 만드는 장치이다.

그림에서 코일은 눈 쪽(앞쪽) AD 부분에 틈이 있고, 양 끝은 회전축을 따라 정류자의 두 금속 부분에 각각 연결되어 있다.

앞쪽 코일 끝이 정류자로 이어지는 전동기



앞쪽 AD의 두 끝을 축을 따라 정류자로 연결

전동기의 부분	역할
고정 자석	코일에 힘을 작용시키는 자기장을 만든다.
코일	전류가 흐르며 자기력을 받아 회전한다.
회전축	코일의 회전을 다른 부분의 움직임으로 전달한다.
정류자	코일이 반 바퀴 회전할 때마다 코일에 흐르는 전류의 방향을 바꾸어, 코일이 한 방향으로 계속 회전하게 한다.
브러시	고정된 회로와 회전하는 정류자의 접촉을 유지한다.

자석이 있다고 에너지가 저절로 계속 공급되는 것은 아니다. 전지나 전원 장치가 전기 에너지를 공급한다. 실제 작동 중에는 일부 에너지가 열이나 소리로도 전환된다.

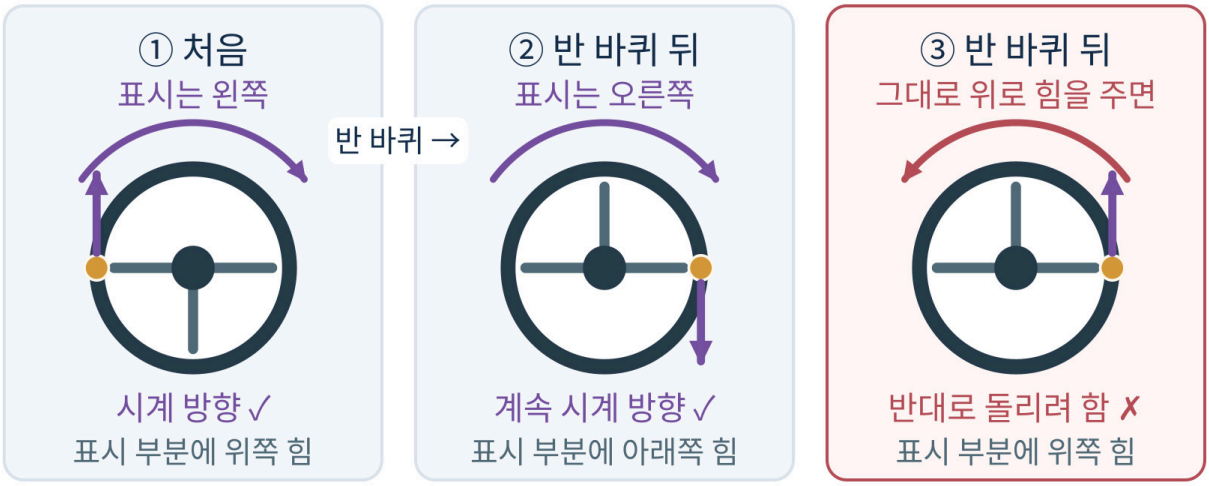
Q14 정류자가 없으면 왜 코일이 한 방향으로 계속 돌지 못할까?

한 줄 답 **반 바퀴 뒤 두 도선의 위치가 바뀌므로, 계속 같은 방향으로 돌리려면 코일 전류 방향도 바뀌어야 하기 때문이다.**

비유로 이해하기 · 운전대의 표시를 따라가 보자

Q11의 운전대에서 왼쪽 테두리의 금색 표시를 보자. 표시가 왼쪽에 있을 때 **표시 부분을** 위로 올리면 시계 방향으로 돌린다. 반 바퀴 돌아 표시가 오른쪽으로 오면, 이제는 **표시 부분을** 아래로 내려야 계속 시계 방향으로 돌린다. 오른쪽에 온 표시를 그대로 위로 올리면 시계 반대 방향으로 돌리려 한다.

같은 표시를 따라가며 힘을 바꾼다



곧은 화살표: 표시 부분에 주는 힘
굽은 화살표: 그 힘이 돌리려는 방향
(③도 곧바로 반대로 돈다는 뜻은 아니다)

운전대	코일과 정류자
금색 표시	같은 도선 부분 P
표시가 반 바퀴 뒤 반대편으로 이동함	P가 반 바퀴 뒤 반대편으로 이동함
표시 부분에 주는 힘의 방향을 바꿈	정류자가 코일 전류 방향을 바꾸어 P가 받는 자기력 방향을 바꿈

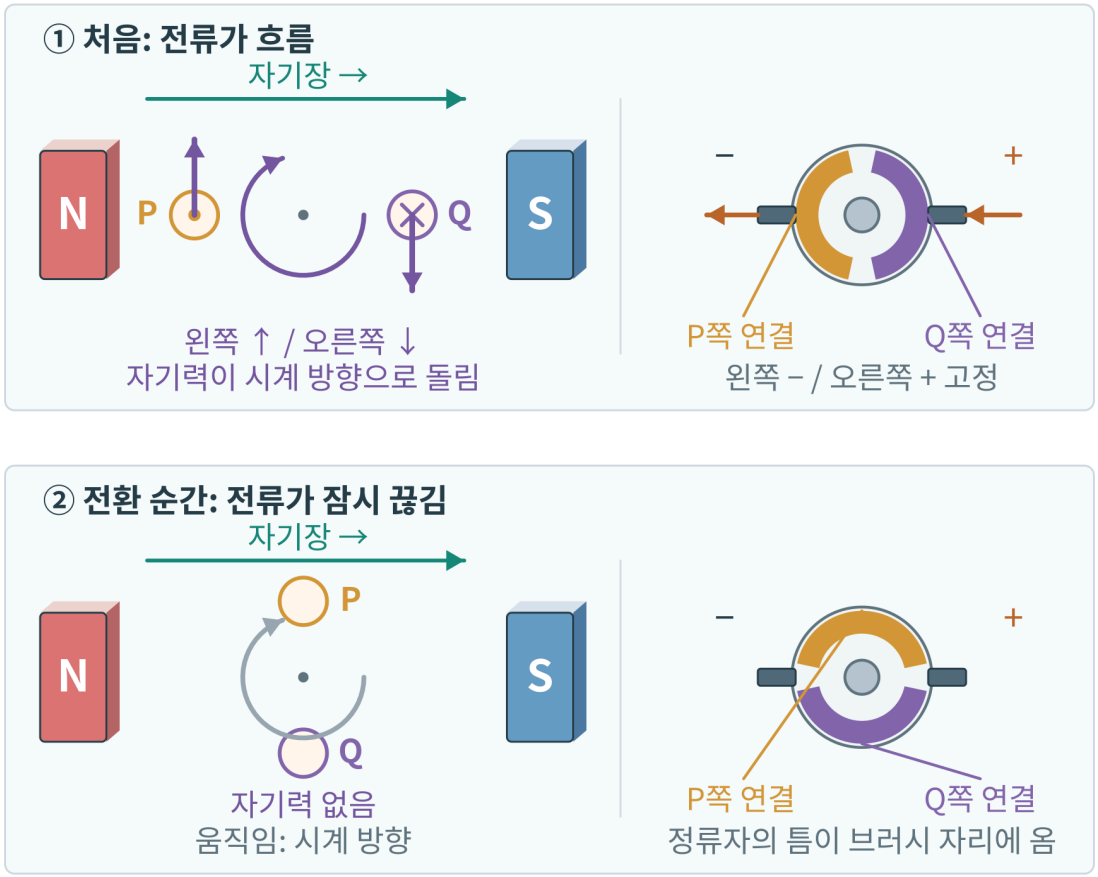
표시의 위치	표시 부분에 주는 힘	그 힘이 돌리려는 방향
처음: 왼쪽	위 ↑	시계 방향 ✅
반 바퀴 뒤: 오른쪽	아래 ↓	계속 시계 방향 ✅
반 바퀴 뒤: 오른쪽	그대로 위 ↑	시계 반대 방향 ❌

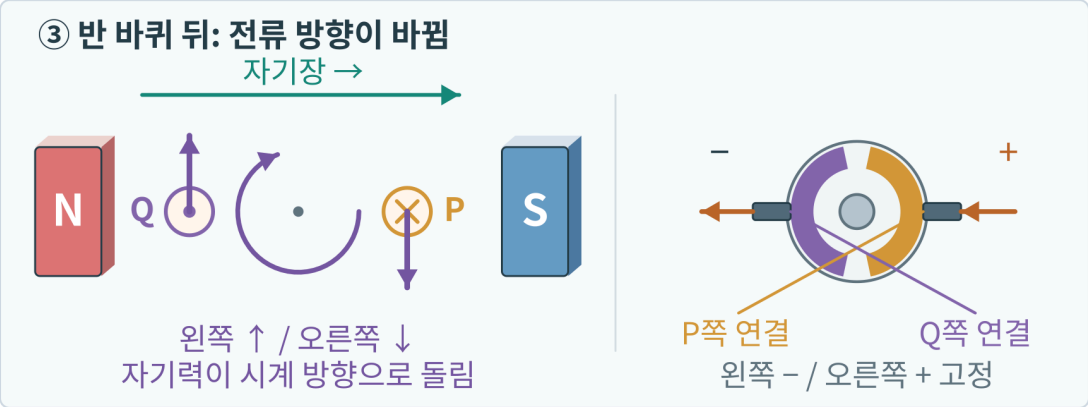
정류자가 없으면 P는 반 바퀴 뒤에도 같은 방향의 자기력을 받으므로 셋째 줄처럼 반대로 돌리려 한다. 정류자는 반 바퀴마다 코일 전류 방향을 바꾸어 P가 둘째 줄처럼 아래쪽 자기력을 받게 한다. 여기서 '반대로 돌리려 한다'는 힘의 작용을 말한다. 이미 돌고 있는 물체가 그 순간 바로 반대로 움직인다는 뜻은 아니다.

> **이 비유는 여기까지만 맞다**
>
> 처음과 반 바퀴 뒤의 위치·힘을 비교한 것이다. 정류자가 손처럼 코일을 직접 미는 것은 아니다. 정류자는 전원과 코일의 연결을 바꾸는 부분이다.

이 편에서 다루는 **간단한 직류 전동기**의 정류자는 코일과 함께 회전하는 두 금속 부분으로 나뉘어 있다. 두 부분 사이에는 전기가 통하지 않는 틈이 있다. 고정된 **브러시**는 정류자와 접촉해 전원을 코일에 연결한다. 정류자가 돌며 브러시와 접촉하는 쪽이 바뀌므로, **반 바퀴마다 코일 양 끝의 연결이 바뀌어 코일 전류 방향이 반대가 된다.** 전지의 극을 바꾸는 것은 아니다.

코일과 정류자를 함께 보는 세 단계





금색 P·보라색 Q는 같은 코일 부분을 계속 가리킨다

단계	P의 위치(비유의 금색 표시)	P의 전류	P가 받는 자기력	회전
처음	왼쪽	종이 밖 ⊙	위 ↑	시계 방향으로 돌림
전환 순간	위쪽	전류 없음	없음	이미 돌던 코일이 시계 방향으로 지나감
반 바퀴 뒤	오른쪽	종이 안 ⊗	아래 ↓	계속 시계 방향으로 돌림

틀린 생각 정류자는 전지의 (+)극·(–)극이나 고정 자석의 N극·S극을 매번 바꾼다.

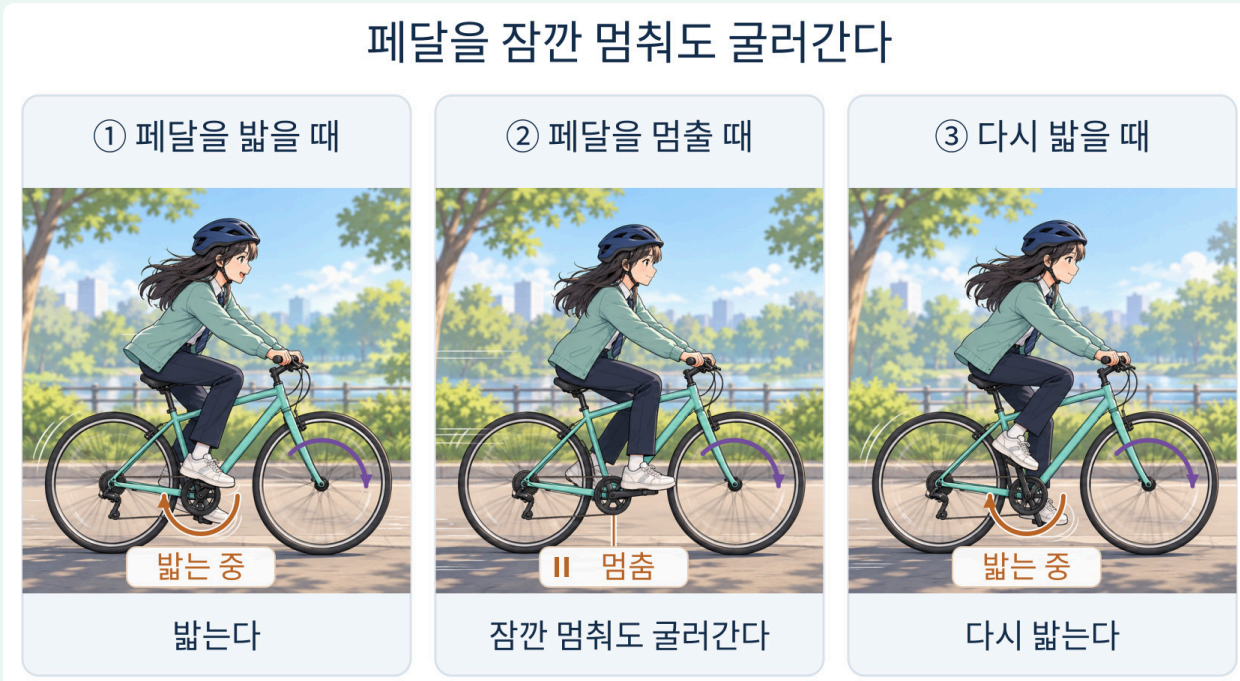
바른 문장 정류자는 코일과 전원의 연결 관계를 바꾸어 코일 전류 방향을 바꾼다.

Q15 전류가 잠시 끊기는 전환 순간에도 왜 계속 돌 수 있을까?

한 줄 답 **이미 돌고 있던 코일은 힘을 받지 않아도 바로 멈추지 않고 계속 돌아 전환 위치를 지날 수 있기 때문이다.**

비유로 이해하기 · 페달을 잠깐 멈춘 자전거

평평한 길에서 자전거를 타다가 페달 밟기를 잠깐 멈춰도, 자전거는 바로 서지 않고 계속 굴러간다. 그 사이에 다시 페달을 밟으면 계속 앞으로 갈 수 있다.



자전거	전동기
페달을 밟는 힘	코일이 받는 자기력
페달을 잠깐 멈춘 순간	정류자 틈이 브러시를 지나 전류가 잠시 끊긴 순간
멈추지 않고 굴러가는 자전거	이미 돌고 있어 전환 위치를 지나가는 코일
다시 페달을 밟음	다음 접촉으로 전류가 다시 흘러 자기력을 받음

이 비유는 여기까지만 맞다

자전거는 타는 사람이 페달 밟기를 언제 멈출지 정하지만, 이 편의 간단한 직류 전동기는 정류자 틈이 정해진 위치에 올 때마다 전류가 잠시 끊긴다. 또 평평한 길에서 가만히 서 있던 자전거가 페달을 밟지 않으면 스스로 출발하지 못하듯이, 이 설명은 **이미 돌고 있는** 코일에만 해당한다.

Q14의 세 단계 그림에서 가운데 단계의 정류자 틈이 브러시를 지나면 접촉이 잠시 끊길 수 있다. 그 순간 전류가 흐르지 않아 코일이 자기력을 받지 않아도, 이미 돌고 있던 코일은 바로 멈추지 않고 잠시 더 돈다. 다음 접촉이 이루어지면 전류 방향이 반대가 되고 다시 같은 방향으로 돌리는 자기력을 받는다.

여기서는 **이미 회전하고 있는 코일**의 과정을 설명한다. 가운데 단계의 회색 화살표는 이미 돌던 코일의 움직임이며 자기력 화살표가 아니다. 전류가 끊겼는데도 자기력이 남아 있어서 도는 것으로 설명하지 않는다. 전동기의 전원을 끄더라도 날개나 축은 잠시 더 돌 수 있다.

Q16 전동기를 더 빠르게 돌리려면 어떤 조건을 바꿀까?

한 줄 답 **다른 조건이 같으면 전류가 셀수록, 자석이 셀수록, 코일을 많이 감을수록 전동기가 더 빠르게 회전한다.**

코일이 받는 자기력이 커지기 때문이다. 한 조건의 효과를 비교하려면 아래 표의 다른 조건을 같게 둔다.

바꾸는 조건	같게 둘 주요 조건	결과
전류를 세게 한다.	자석, 코일의 모양·감은 수, 돌리는 물체와 마찰	더 빠르게 회전
코일을 많이 감는다.	실제 전류, 자석, 한 바퀴의 모양·크기, 돌리는 물체와 마찰	더 빠르게 회전
센 자석을 사용한다.	실제 전류, 코일의 모양·감은 수, 자석 배치, 돌리는 물체와 마찰	더 빠르게 회전

전동기를 더 빠르게 회전시키는 세 조건



주의 전류가 두 배라고 실제 회전 속력이 반드시 두 배인 것은 아니다. 감은 수를 늘리면 도선 길이와 저항도 달라질 수 있으므로, 감은 수만의 효과는 실제 전류를 측정하여 같게 맞춘 뒤 비교한다. 이 판단은 문항 36·37에서 확인한다.

꼭 기억할 지식과 주의할 점

- 전동기는 전기 에너지로 코일을 돌리고, 자석이 만드는 자기장과 코일 전류가 자기력의 방향을 정한다.
- 정류자는 반 바퀴마다 코일 전류 방향을 바꾸어 계속 같은 방향으로 회전하게 한다.
- 전류가 셀수록, 자석이 셀수록, 코일을 많이 감을수록 전동기는 더 빠르게 회전한다.

대표문제 풀이

정답 (1) 처음 종이 밖, 반 바퀴 뒤 종이 안 (2) 처음 위, 반 바퀴 뒤 아래 (3) 왼쪽에서는 위로, 오른쪽에서는 아래로 힘을 받음

P는 처음에 왼쪽의 ⊙, 반 바퀴 뒤 오른쪽의 ⊗이다. 오른쪽 자기장 속에서 각각 위·아래 힘을 받는다. P의 위치가 반대가 되는 반 바퀴 뒤에 전류도 반대가 되어, 왼쪽을 올리던 작용이 오른쪽을 내리는 작용으로 이어진다. 둘 다 그림처럼 보아 시계 방향이다.

다시 볼 질문 Q13~Q15

적용 문제

문항 31

전동기에서 코일이 반 바퀴 회전할 때마다 코일에 흐르는 전류 방향을 바꾸어 코일이 한 방향으로 계속 회전하게 하는 부분의 이름과 역할을 쓰시오.

답

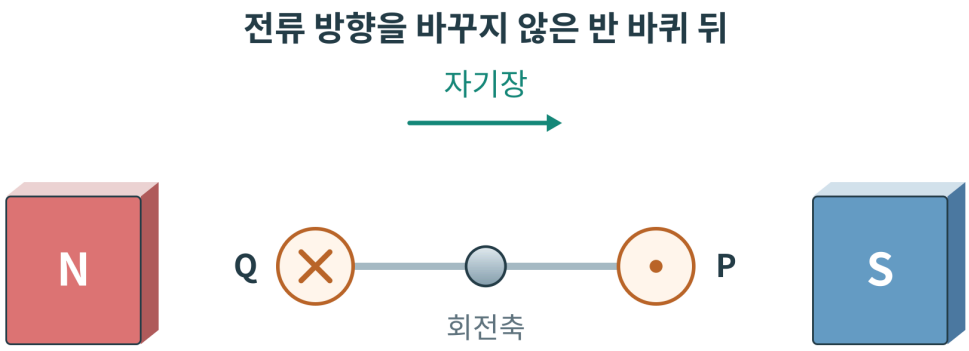
문항 32

전동기에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 자석이 전기 에너지를 계속 만들어 공급하는 장치이다.
② 코일의 마주 보는 두 도선에 같은 방향의 전류가 흐른다.
③ 자기장 속에서 전류가 흐르는 코일이 받는 힘으로 회전한다.
④ 정류자가 자석의 N극과 S극을 서로 바꾸는 장치이다.
⑤ 전류를 끊으면 회전축이 반드시 그 순간에 멈춘다.

문항 33

그림의 P는 반 바퀴 뒤 왼쪽에서 오른쪽으로 이동했다. 정류자의 전환이 작동하지 않아 P의 전류는 종이 밖으로 계속 흐르고, 자기장은 오른쪽으로 유지된다. 처음의 시계 방향으로 계속 돌리지 못하는 까닭을 설명하시오.



회전축을 정면에서 봄 · 연결 부분 생략

⊙ 전류가 종이 밖으로 ⊗ 전류가 종이 안으로

답

문항 34

정류자가 있는 간단한 직류 전동기에서 코일 전류의 방향이 바뀌는 과정에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 사용자가 반 바퀴마다 전지의 극을 직접 바꾸어야 한다.
② 고정 자석의 N극과 S극이 반 바퀴마다 뒤바뀐다.
③ 코일에 흐르는 전류 방향은 한 바퀴 내내 그대로다.
④ 전류가 잠시 끊기는 순간 회전도 반드시 끝난다.
⑤ 전지의 극은 그대로이며 코일 양 끝의 연결이 바뀐다.

문항 35

전동기의 회전 속력을 비교한다. 코일 한 바퀴의 모양·크기, 마찰과 돌리는 물체의 조건은 같고 전류는 측정하여 표의 값으로 맞췄다. 센 자석은 같은 위치에서 약한 자석보다 센 자기장을 만든다.

조건	전류의 세기	코일의 감은 수	자석
A	0.20 A	30회	약한 자석
B	0.40 A	30회	약한 자석
C	0.20 A	60회	약한 자석
D	0.20 A	30회	센 자석

(1) 전류의 세기만의 영향을 비교할 두 조건을 쓰시오. (2) 감은 수만의 영향을 비교할 두 조건을 쓰시오. (3) A보다 전동기가 더 빠르게 회전하는 조건을 B·C·D에서 모두 쓰시오.

답

문항 36

같은 재질·굵기의 도선을 코일에 더 많이 감으면 도선이 길어져 저항도 달라진다. 감은 수만의 효과를 알아보는 전동기 비교 실험에서 알맞은 조치는?

① 같은 전지를 사용했으므로 전류는 확인하지 않는다.
② 두 코일의 전류를 측정하여 같은 세기로 맞춘다.
③ 더 많이 감은 쪽에는 더 센 자석도 사용한다.
④ 더 많이 감은 쪽의 코일 지름도 더 크게 한다.
⑤ 전류계를 코일 양 끝에 병렬로 연결한다.

문항 37

같은 전동기에서 다른 조건을 같게 두고 전류를 더 세게 하면 전동기가 더 빠르게 회전한다. 이것만으로 “전류를 두 배로 하면 실제 회전 속력도 반드시 두 배다.”라고 말할 수 있는가? 까닭을 쓰시오.

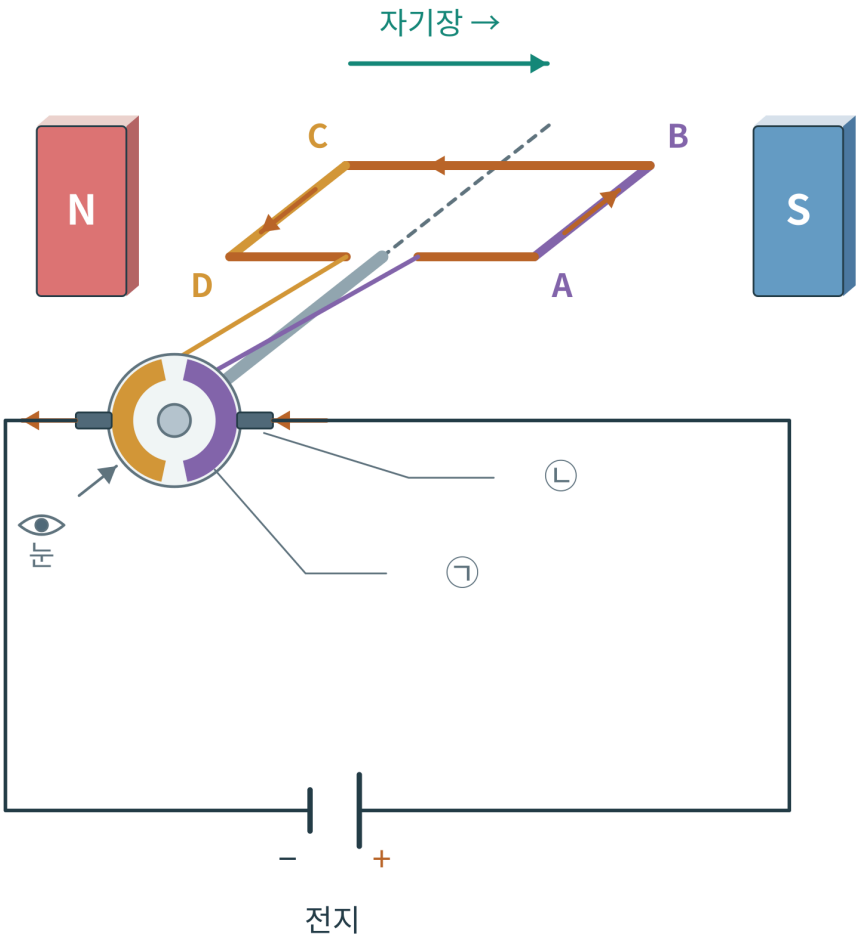
답

문항 38

그림의 전동기는 자석 사이에서 코일 ABCD를 돌린다. 전류는 A→B→C→D로 흐른다. 눈은 회전축 끝의 표시된 쪽에서 코일을 바라본다.

(1) 눈에서 본 AB·CD의 자기력 방향과 회전하려는 방향을 쓰시오. (2) 코일 양 끝에 연결되어 함께 회전하는 ㉠의 이름을 쓰시오. (3) 반 바퀴 뒤에도 계속 같은 방향으로 돌리기 위한 ㉠의 역할을 쓰시오.

입체 전동기의 코일과 부품



앞쪽 AD의 두 끝을 축을 따라 정류자로 연결

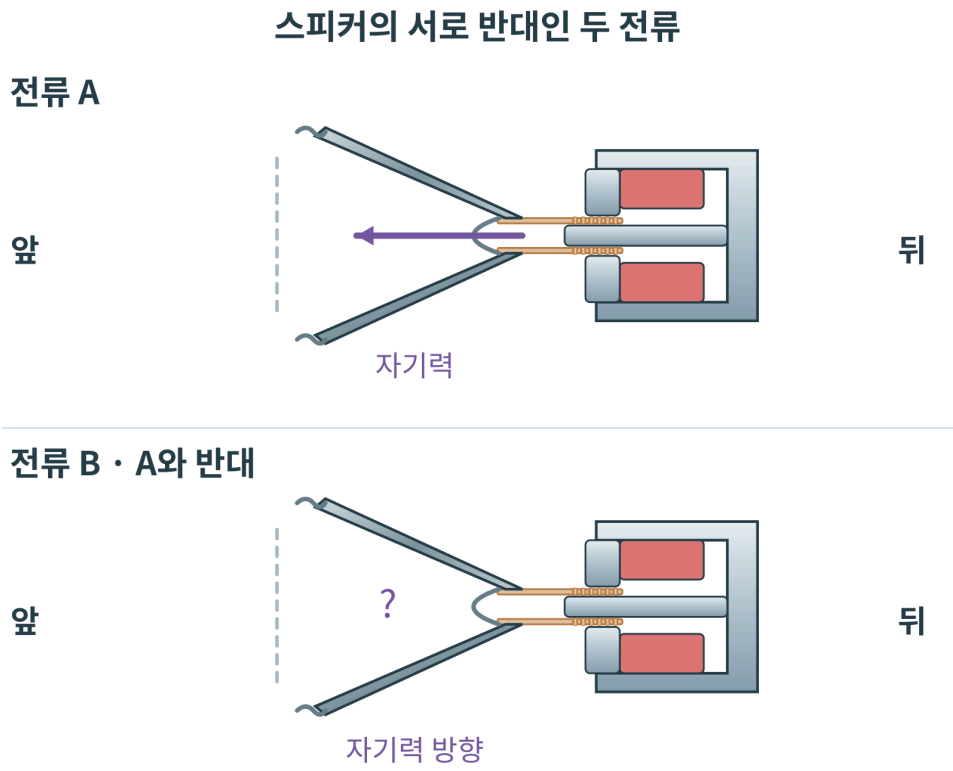
답

유형 5 전동기와 스피커는 같은 원리로 어떻게 다른 움직임을 만들까?

문항 39 · 대표문제

스피커의 자석과 코일·진동판을 관찰했다. 전류의 세기는 같은 두 경우이며 A와 B의 전류 방향은 서로 반대다. 전류 A에서는 코일과 진동판이 앞쪽으로 힘을 받았다.

(1) 전류 B에서는 코일과 진동판이 어느 쪽으로 힘을 받는가? (2) 진동판이 앞뒤로 반복해서 움직이게 하려면 코일 전류는 어떻게 바뀌어야 하는가? (3) 진동판의 움직임은 주변 무엇을 진동시켜 소리를 내는가?



자석과 코일 위치, 전류 세기는 같음 · 힘 방향을 비교

답

질문으로 이해하기

Q17 전동기는 어떤 전기 기구에 이용할까?

한 줄 답 **선풍기 날개, 세탁기 통처럼 회전 운동이 필요한 부분에 이용한다.**

전동기의 회전축을 날개·통·바퀴 등에 연결하면 그 부분을 움직일 수 있다. 선풍기와 세탁기, 전기 자동차, 드론 등은 전동기를 이용하는 예이다. 전기를 쓰는 기구라고 모두 전동기를 쓰는 것은 아니다. 전기 다리미나 전기 주전자는 전기 에너지가 열에너지로 전환되어 뜨거워진다.

전동기를 쓰는 기구와 쓰지 않는 기구



선풍기 날개

전기 에너지
→ 운동 에너지

세탁기 통

전기 에너지
→ 운동 에너지

다리미 가열부

전기 에너지
→ 열에너지

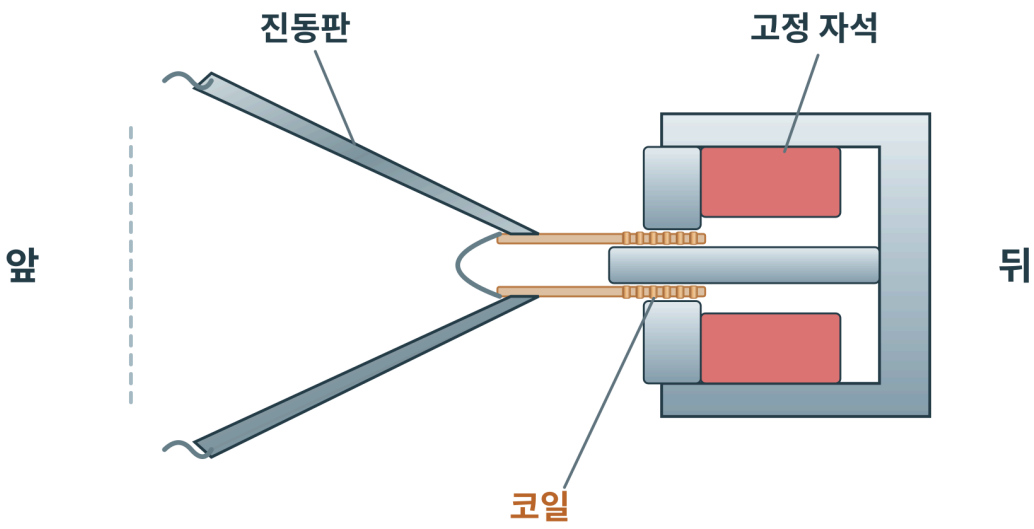
기구의 부분	주된 작용
선풍기 날개	전동기로 회전하여 공기를 움직인다.
세탁기 통	전동기로 회전한다.
전기 다리미의 가열 부분	전기 에너지가 열에너지로 전환되어 뜨거워진다.

Q18 스피커의 코일과 진동판은 왜 움직일까?

한 줄 답 **자석의 자기장 속에서 전류가 흐르는 코일이 힘을 받고, 연결된 진동판도 함께 움직이기 때문이다.**

스피커에는 고정된 자석과 진동판에 연결된 코일이 있다. 코일에 전류가 흐르면 코일이 자기력을 받고, 코일과 연결된 진동판이 앞쪽이나 뒤쪽으로 움직인다. 자석은 그대로 두고 전류 방향을 반대로 하면 자기력 방향도 반대로 바뀐다.

스피커 · 축을 따라 자른 단면 모식도



자석은 고정 · 전류 변화 → 힘 변화 → 진동판과 공기의 진동

이 편에서 스피커 그림의 '앞'은 소리를 내보내는 진동판 앞쪽, '뒤'는 자석 쪽이다. 전류 A·B는 서로 반대 방향의 두 전류를 뜻한다.

Q19 세기와 방향이 일정한 전류를 계속 흘리면 소리도 계속 날까?

한 줄 답 **진동판이 앞뒤로 반복해 움직여 공기를 진동시키려면 코일에 흐르는 전류도 시간에 따라 바뀌어야 한다.**

비유로 이해하기 · 자를 세 가지 방법으로 움직여 보자

잘 휘어지는 자의 한쪽을 책상 위에 눌러 고정하고, 책상 밖으로 나온 끝을 움직여 보자.

① 끝을 아래로 눌러 그대로 잡고 있으면 자는 휘어진 채 머문다. 떨리지 않는다.

② 잡고 있던 끝을 놓는 순간, 자는 잠깐 위아래로 떨리다가 멈춘다.

③ 끝을 잡고 위아래로 계속 흔들면, 흔드는 동안 자는 계속 위아래로 움직인다.

한쪽으로 밀어 두기만 하는 것과 계속 움직이게 하는 것은 다르다. ③에서는 손으로 위아래로 움직이는 일을 계속해 준다.

자를 세 가지 방법으로 움직여 보자

① 눌러서 잡고 있을 때	② 잡고 있던 손을 놓는 순간	③ 끝을 잡고 계속 흔들 때
		
휘어진 채 머문다	잠깐 떨리다 멈춘다	흔드는 동안 계속 위아래로

한쪽을 고정한 같은 자를 비교한다.

자	스피커
자	진동판
손이 주는 힘	코일과 연결된 진동판을 움직이는 자기력
① 눌러서 잡고 있기	세기와 방향이 변하지 않는 전류가 계속 흐르면 → 진동판이 잠깐 움직인 뒤 한쪽으로 치우친 채 머문다
② 잡고 있던 손을 놓는 순간	전류를 끊는 순간 → 잠깐 움직이며 짧은 소리가 날 수 있음
③ 위아래로 계속 흔들기	세기와 방향이 바뀌는 전류로 자기력을 계속 변화시킴 → 진동판이 계속 진동하며 소리를 냄

이 비유는 여기까지만 맞다

자는 손이 직접 움직이지만, 스피커의 코일은 자석과 직접 닿지 않아도 자기력을 받는다. 자의 위아래 움직임은 진동판의 앞뒤 움직임과 비교한다. 손으로 천천히 흔드는 자의 움직임 자체가 귀에 들리는 소리를 만든다는 뜻은 아니다. 스피커는 진동판이 빠르게 진동해 공기를 진동시키면서 소리를 낸다. 또한 손을 위아래로 움직이는 모습을 전류 방향이 반드시 반대로 바뀌어야 한다는 뜻으로 읽으면 안 된다. 전류 방향이 같아도 세기가 반복해서 달라지면 진동을 만들 수 있다.

스피커에 세기와 방향이 변하지 않는 전류, 곧 **일정한 전류**를 계속 흘리면 코일은 한 방향의 일정한 자기력을 받는다. 진동판은 잠깐 움직인 뒤 한쪽으로 치우친 채 머물고, 계속 진동하지 않는다. 자를 눌러

잡고 있을 때(①)와 비교할 수 있다.

연결하거나 끊는 순간에는?

자를 처음 누를 때(①을 시작하는 순간)나 잡고 있던 끝을 놓는 순간(②)처럼, 일정한 전류라도 처음 연결하거나 끊는 순간에는 진동판이 움직여 짧은 소리가 날 수 있다. 이때 나는 짧은 소리는 일정한 전류가 계속 흐르는 동안 진동판이 계속 진동한다는 뜻이 아니다.

스피커에서는 소리에 따라 코일 전류의 세기와 방향이 바뀌고, 자기력의 크기와 방향도 바뀐다. 이 힘의 변화로 진동판이 앞뒤로 진동하며, 주변 **공기를 진동**시켜 소리를 전달한다.

코일 전류의 세기와 방향이 바뀜 → **자기력의 크기와 방향이 바뀜** → **진동판이 앞뒤로 진동** → **공기가 진동** → **소리**

틀린 생각 전류를 한 방향으로 일정하게 계속 흘리면 스피커에서 소리가 계속 난다.

바른 문장 일정한 전류는 진동판을 한쪽으로 치우치게 할 뿐 지속적인 진동을 만들지는 않는다. 소리를 계속 내려면 전류의 세기나 방향을 시간에 따라 변화시켜 진동판을 계속 진동시켜야 한다.

틀린 생각 자석만 있으면 진동판이 스스로 계속 진동한다.

바른 문장 코일의 전류와 자기력이 바뀌며 진동판과 공기를 진동시킨다.

Q20 전자석 기중기·전동기·스피커의 공통점과 차이는 무엇일까?

한 줄 답 **모두 전류의 자기 작용을 이용하지만, 쇠붙이 끌어당김·코일 회전·진동판 진동이라는 움직임은 다르다.**

장치	이용하는 자기 작용	조절과 움직임
전자석 기중기	코일의 자기장과 철심을 이용해 쇠붙이를 끌어당긴다.	전류를 켜고 꺼 붙이거나 내려놓는다.
전동기	자기장 속 코일의 전류가 받는 힘을 이용한다.	간단한 직류 전동기는 정류자로 전류를 바꾸어 같은 방향으로 회전한다.
스피커	자기장 속 코일의 전류가 받는 힘을 이용한다.	전류가 바뀌며 코일과 진동판이 앞뒤로 움직인다.

전자석의 극을 바꾸어도 **자석이 아닌 쇠붙이**를 계속 끌어당긴다는 점과, 자석의 자기장 속 **전류가 흐르는 도선**의 힘 방향이 바뀐다는 점은 다른 상황이다. 끌어당기는 대상이 무엇인지 확인한다.

꼭 기억할 지식과 주의할 점

- 전동기는 자기장 속 전류가 받는 힘으로 회전 운동을 만들며 전기 에너지를 운동 에너지로 전환한다.
- 스피커는 전류 변화로 코일의 자기력을 바꾸어 진동판과 공기를 진동시킨다.
- 쇠붙이를 끌어당기는 전자석과 전류 도선이 받는 힘을 같은 현상처럼 섞어 판단하지 않는다.

대표문제 풀이

정답 (1) 뒤쪽 (2) 코일 전류가 시간에 따라 반복해서 바뀐다(방향이 반복해서 바뀜) (3) 공기

(1) 자석은 그대로인데 전류 방향만 반대이므로 자기력이 반대인 뒤쪽이다. (2) 전류가 반복해서 바뀌면 자기력도 반복해서 바뀌어 진동판을 앞뒤로 움직인다. 이 문항처럼 전류 방향이 번갈아 바뀌는 경우가 대표적이다. (3) 진동판은 주변 공기를 진동시켜 소리를 낸다.

다시 볼 질문 Q18·Q19

적용 문제

문항 40

전동기가 선풍기 날개를 돌릴 때 주된 에너지 전환으로 옳은 것은?

① 운동 에너지 → 전기 에너지
② 빛에너지 → 운동 에너지
③ 전기 에너지 → 운동 에너지
④ 전기 에너지 → 빛에너지
⑤ 자석이 스스로 내는 에너지 → 전기 에너지

문항 41

선풍기, 세탁기, 전기 다리미 중 움직임을 만드는 데 전동기를 이용하는 두 기구를 쓰시오. 전기 다리미에서 일어나는 주된 에너지 전환을 쓰시오.

답

문항 42

스피커의 작동에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 일정한 전류를 한 방향으로만 흘리면 진동판이 앞뒤로 계속 진동한다.
② 자석 가까이에 있는 코일에 전류가 흐르면 힘을 받는다.
③ 자석은 그대로 두고 전류 방향을 바꾸면 힘 방향도 바뀐다.
④ 진동판이 주변 공기를 진동시켜 소리가 난다.
⑤ 스피커의 진동판은 앞뒤로 움직이며, 전동기의 코일은 회전한다.

문항 43

전동기와 스피커에서 이용하는 공통 원리와 움직임의 차이를 각각 쓰시오.

답

문항 44

스피커의 코일이 처음에 앞쪽 자기력을 받았다.

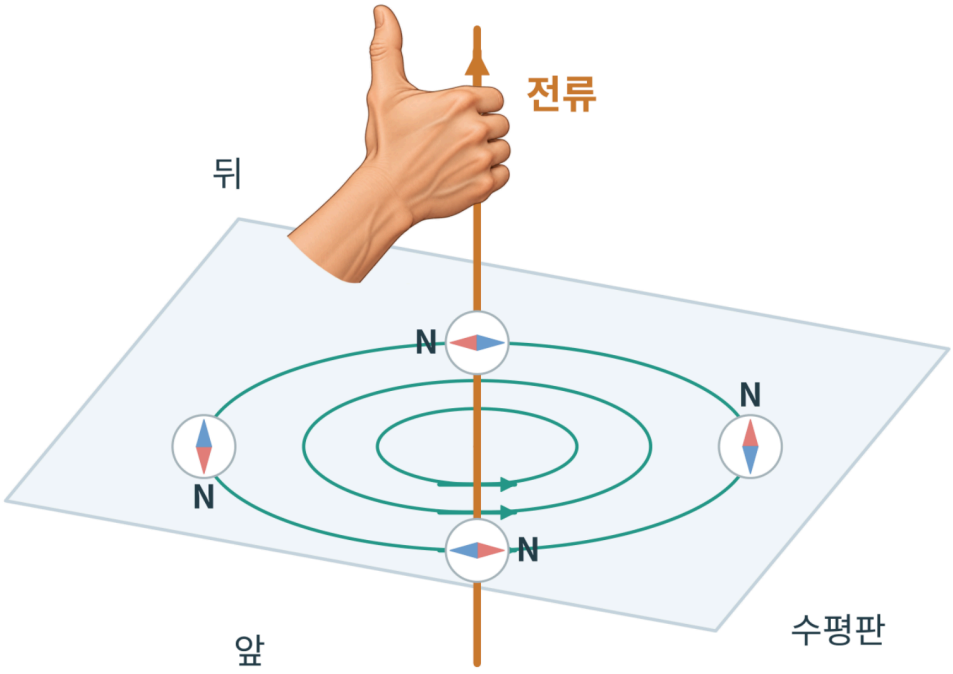
(1) 자석은 그대로 두고 전류 방향만 반대로 하면 힘은 어느 쪽인가? (2) 전류 방향과 자석이 만드는 자기장 방향을 모두 반대로 하면 힘은 어느 쪽인가?

답

한눈에 정리

① 직선 도선의 자기장: 감아쥐기

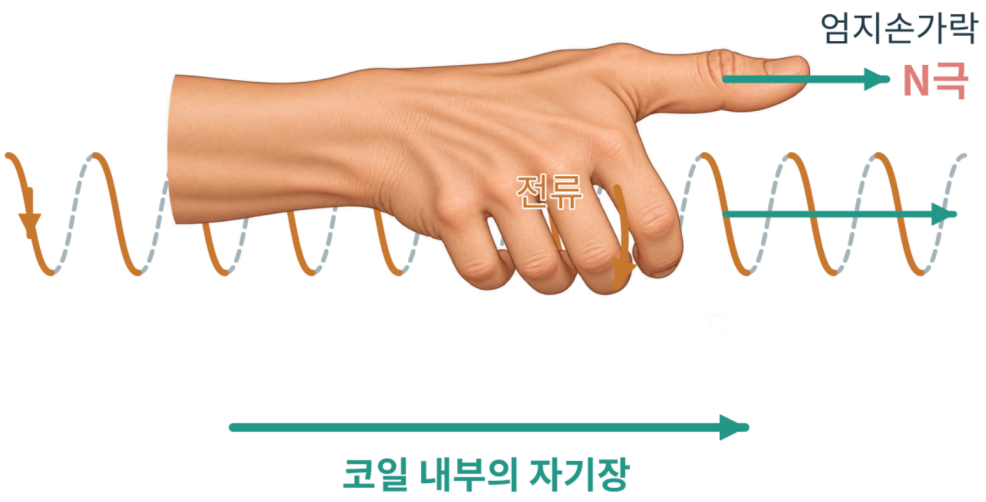
엄지손가락: 전류 / 네 손가락: 자기장



위에서 내려다보면 시계 반대 방향

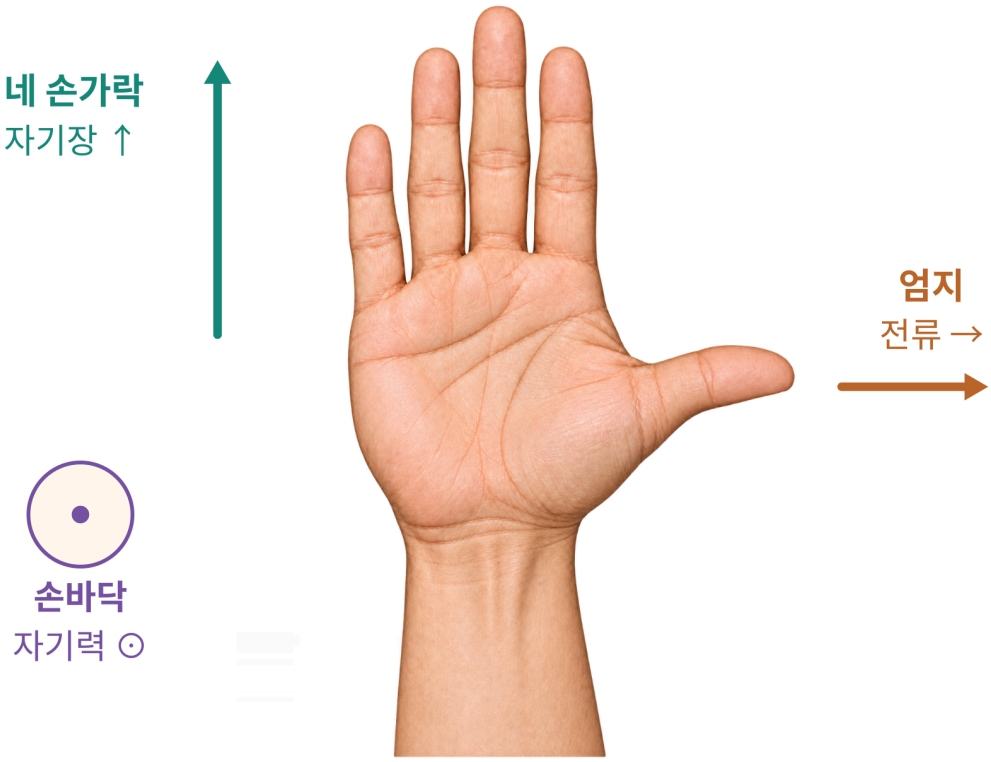
② 코일의 자기장: 감아쥐기

오른손으로 코일 감아쥐기



앞쪽 도선의 전류가 아래로 → 오른쪽 끝이 N극

③ 도선이 받는 자기력: 펴기



오른손 손바닥이 보이는 자세

이 자세에서 자기력은 종이 밖, 관찰자 쪽

찾으려는 것	오른손 엄지	오른손 네 손가락	읽는 결과
직선 도선이 만드는 자기장	전류 방향	도선을 감아쥔다.	감기는 쪽이 자기장 방향
코일의 N극·내부 자기장	편 엄지의 방향을 읽는다.	코일 전류 방향으로 감아쥔다.	엄지가 N극과 내부 자기장 방향
자기장 속 전류 도선의 자기력	전류 방향	곧게 펴서 자기장 방향	손바닥이 향하는 쪽이 자기력

바꾸는 것	힘·회전 방향	크기 비교의 조건
전류 방향만 반대로	힘과 회전시키는 방향이 반대	세기는 같게 두고 비교
자기장 방향만 반대로	힘과 회전시키는 방향이 반대	세기는 같게 두고 비교
두 방향 모두 반대로	힘과 회전시키는 방향은 처음과 같음	세기는 따로 확인
전류의 세기를 더 세게	방향은 그대로	같은 자기장·도선이면 힘이 커짐
전류를 끊음	도선이 받는 자기력이 없어짐	이미 움직이던 물체는 잠시 더 움직일 수 있음

대상	판단을 이어 가는 순서
직선 도선	자석의 극 → 자기장 방향 + 도선 전류 → 오른손을 펴서 자기력 방향
코일	마주 보는 도선의 전류 → 각 부분의 자기력 → 도선의 위치 → 보는 쪽에서 회전 방향
전동기	회전으로 위치 변화 → 정류자로 코일 전류 전환 → 같은 방향 회전
스피커	코일 전류 변화 → 자기력 변화 → 진동판 진동 → 공기 진동

전동기의 세 단계 **전류가 흘러 코일이 회전** →

전환 순간에는 전류가 잠시 끊겨도 이미 돌던 코일이 지나감 →

정류자가 코일 전류 방향을 바꾸어 계속 같은 방향으로 회전

정류자는 **코일의 전류**를 반 바퀴마다 바꾼다. 전동기는 **회전**, 스피커는 **앞뒤 진동**, 전자석 기중기는 **쇠붙이 끌어당김**에 이용한다.

통합 확인

문항 45

오른손을 이용하는 세 방법을 구별한 설명으로 옳은 것은?

① 직선 도선의 자기장을 찾을 때 엄지는 자기장, 네 손가락은 전류이다.
② 코일의 N극을 찾을 때 엄지를 코일에 감기는 전류 방향으로 구부린다.
③ 전류가 흐르는 도선의 자기력은 자기장 방향과 항상 같다.
④ 힘을 찾을 때 엄지는 전류, 네 손가락은 자기장, 손바닥은 자기력이다.
⑤ 어떤 오른손 방법에서도 엄지를 전자의 이동 방향에 맞춘다.

문항 46

직선 도선의 전류는 위쪽이고, 도선이 받는 자기력은 종이 밖이다. 자기장은 도선과 수직이고 왼쪽·오른쪽 중 한 방향이다.

(1) 자기장 방향을 쓰시오. (2) 도선 양옆에 자석이 있다면 그림의 (가)는 N극인가, S극인가?

자석의 극을 (가)·(나)로 표시



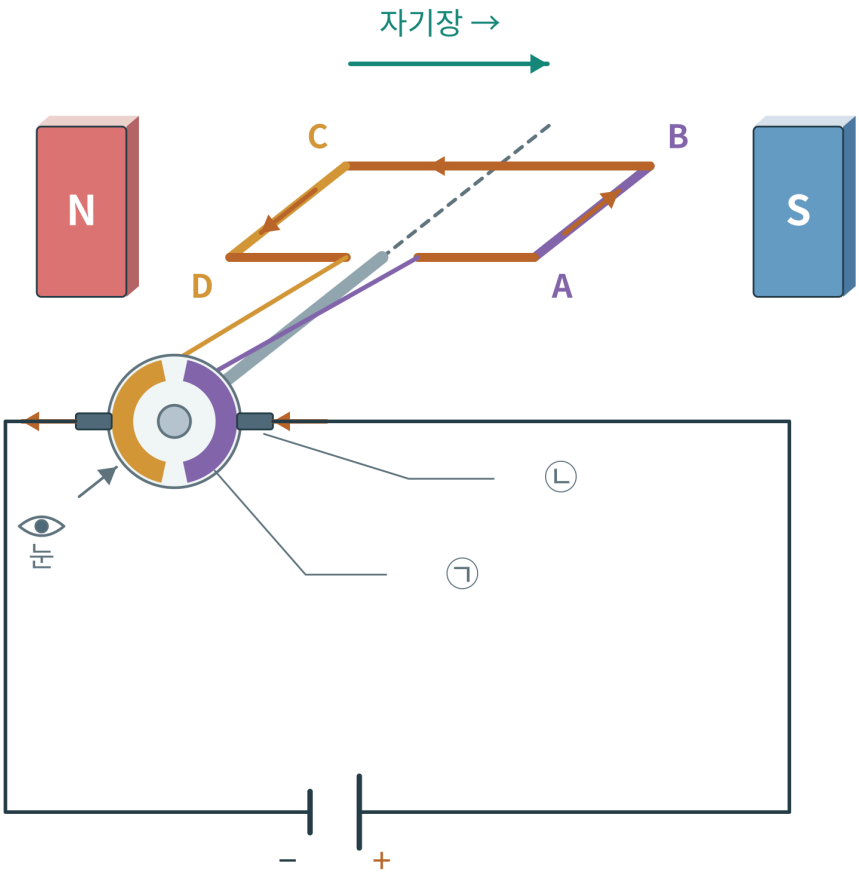
답

문항 47

문항 38의 입체 전동기 그림에서 답하시오.

(1) BC와 AD가 자기력을 받지 않는 까닭을 쓰시오. (2) 정류자와 접촉해 전원과 코일을 연결하는 고정된 ㉡의 이름을 쓰시오. (3) 이 전동기의 주된 에너지 전환을 쓰시오.

입체 전동기의 코일과 부품



전지

앞쪽 AD의 두 끝을 축을 따라 정류자로 연결

답

문항 48

같은 전동기에서 자석의 극을 서로 바꾸고, 코일 전류의 방향도 반대로 하면서 전류의 세기는 더 세게 맞췄다. 다른 조건은 모두 같고 같은 위치에서 비교한다. 옳은 변화는?

① 자기력 방향만 반대가 되고 크기는 같다.
② 코일을 회전시키는 방향이 반대가 되고 힘은 더 세진다.
③ 회전시키는 방향은 같지만 자기력이 약해진다.
④ 자기장이 상쇄되어 자기력이 없어진다.
⑤ 회전시키는 방향은 같고 자기력은 더 커진다.

정답과 해설

서술형은 아래의 필수 내용을 포함하면 뜻이 같은 표현도 인정한다.

빠른 정답

문항	정답
01	(1) 오른쪽 (2) 위 (3) 아래
02	종이 안
03	②
04	종이 안
05	(1) 왼쪽 (2) 위
06	(1) 종이 안 (2) 종이 밖
07	④
08	(1) 위 (2) S극
09	말굽자석의 바깥쪽
10	전지 연결을 반대로 한다 / 자석의 N극·S극을 서로 바꾼다
11	전류를 더 세게 한다 / 센 자석을 쓴다. 자기력이 커지기 때문
12	(1) B 아래, C 아래, D 위 (2) 생기지 않음
13	①
14	왼쪽, 크기는 같음
15	종이 밖. 두 방향을 모두 반대로 바꾸었기 때문
16	⑤
17	(1) A·B 또는 C·D (2) A·C 또는 B·D (3) 전류와 자기장 세기가 함께 다름
18	③
19	자석·도선의 위치와 각도 등을 같게 두고 전류의 세기만 바꾼다.
20	(1) 수직 (2) 나란함

문항	정답
21	(1) P 위, Q 아래 (2) 시계 방향
22	(1) P 아래, Q 위 (2) 시계 반대 방향
23	힘이 서로 다른 위치에 작용하여 같은 회전 방향으로 돌리기 때문
24	④
25	둘 다 처음과 같음
26	②
27	(1) 위 (2) 반대쪽으로 돌리려 함
28	①
29	(1) AB 아래, CD 위 (2) 전류와 자기장이 나란함 (3) 시계 방향
30	(1) 처음 종이 밖, 반 바퀴 뒤 종이 안 (2) 처음 위, 반 바퀴 뒤 아래 (3) 왼쪽에서는 위로, 오른쪽에서는 아래로 힘을 받음
31	정류자. 반 바퀴마다 코일의 전류 방향을 바꿈
32	③
33	오른쪽으로 간 P가 위쪽 힘을 받아 반대 회전을 만들기 때문
34	⑤
35	(1) A·B (2) A·C (3) B·C·D
36	②
37	말할 수 없음. 실제 회전 속력의 정확한 배수는 알 수 없음
38	(1) AB 아래·CD 위·시계 방향 (2) 정류자 (3) 반 바퀴마다 코일 전류 방향을 바꿈
39	(1) 뒤쪽 (2) 코일 전류가 시간에 따라 반복해서 바뀐다(방향이 반복해서 바뀜) (3) 공기
40	③
41	선풍기·세탁기 / 전기 에너지 → 열에너지
42	①
43	공통: 자기장 속 전류가 받는 힘 / 차이: 전동기 회전, 스피커 진동
44	(1) 뒤쪽 (2) 앞쪽

문항	정답
45	④
46	(1) 왼쪽 (2) N극
47	(1) 전류와 자기장이 나란함 (2) 브러시 (3) 전기 에너지 → 운동 에너지
48	⑤

문항별 해설

01

정답 (1) 오른쪽 (2) 위 (3) 아래

(1) 자석 사이의 자기장은 N극에서 S극으로 향하므로 오른쪽이다. (2) 오른손 엄지를 종이 밖으로, 네 손가락을 오른쪽으로 향하게 하면 손바닥이 위를 향한다. (3) 자기장만 반대가 되므로 자기력도 아래로 바뀐다.

인정 범위 (1) N→S 또는 오른쪽, (2) 위·↑, (3) 아래·↓의 대응을 인정한다.

다시 볼 질문 Q02·Q04·Q07

02

정답 종이 안

오른손 엄지를 위, 네 손가락을 오른쪽으로 맞추면 손바닥은 종이 안을 향한다. 자기력이 오른쪽이나 위쪽으로 작용하는 것이 아니다.

인정 범위 종이 안·⊗·관찰자에게서 멀어지는 쪽을 인정한다.

다시 볼 질문 Q03~Q05

03

정답 ②

② 엄지손가락은 전류, 네 손가락은 자석이 만드는 자기장, 손바닥이 향하는 쪽은 자기력이다. ①은 전류와 자기장을 바꾸었다. ③은 손바닥과 엄지의 역할을, ④는 손바닥과 네 손가락의 역할을 바꾸었다. ⑤ 손등이 아니라 손바닥이 향하는 쪽을 읽는다.

다시 볼 질문 Q04

04

정답 종이 안

엄지를 오른쪽, 네 손가락을 아래쪽으로 맞추면 오른손 손바닥은 종이 안을 향한다.

인정 범위 종이 안·⊗를 인정한다.

다시 볼 질문 Q04·Q05

05

정답 (1) 왼쪽 (2) 위

(1) 오른쪽 N극에서 왼쪽 S극으로 향한다. (2) 엄지를 종이 안으로, 네 손가락을 왼쪽으로 맞추면 손바닥이 위를 향한다.

인정 범위 두 방향의 대응이 모두 맞으면 정답이다.

다시 볼 질문 Q02·Q04·Q05

06

정답 (1) 종이 안 (2) 종이 밖

(1) 오른손 엄지가 왼쪽, 네 손가락이 위쪽이면 손바닥이 종이 안을 향한다. (2) 전류만 반대가 되므로 자기력도 반대인 종이 밖이다.

인정 범위 (1) ⊗, (2) ⊙의 대응을 인정한다.

다시 볼 질문 Q04~Q06

07

정답 ④

④ 엄지를 종이 안으로, 네 손가락을 아래쪽으로 맞추면 손바닥은 왼쪽을 향한다. ①·②는 전류 방향과 자기장 방향과 수직인 올바른 방향이 아니다. ③은 자기력을 반대로 읽었다. ⑤ 자기력은 전류 방향 자체와 같지 않다.

다시 볼 질문 Q03~Q05

08

정답 (1) 위 (2) S극

(1) 오른손 엄지가 오른쪽, 손바닥이 종이 밖이면 네 손가락은 위를 향한다. (2) 자기장이 아래에서 위로 향하므로 그림의 (가)는 자기장이 들어가는 S극이다.

인정 범위 (1) 위·↑, (2) S극의 대응을 인정한다.

다시 볼 질문 Q02~Q05

09

정답 말굽자석의 바깥쪽

자기장은 아래 N극에서 위 S극으로 향한다. 엄지를 그네 아랫변의 전류 방향인 앞쪽에서 뒤쪽으로, 네 손가락을 위쪽으로 맞추면 손바닥은 말굽자석의 벌어진 쪽인 오른쪽을 향한다. 따라서 그네는 말굽자석의 바깥쪽으로 움직인다.

인정 범위 바깥쪽·말굽자석의 벌어진 쪽으로 움직인다는 뜻을 인정한다.

다시 볼 질문 Q01~Q05

10

정답 전지 연결을 반대로 한다 / 자석의 N극·S극을 서로 바꾼다

전지 연결만 반대로 하면 전류 방향이 바뀐다. 자석의 극만 바꾸면 자기장 방향이 바뀐다. 둘 다 한 방향만 바꾸므로 자기력이 반대가 된다. 두 조건을 동시에 바꾸면 처음과 같으므로 두 방법을 따로 시행한다.

인정 범위 두 방법을 각각 제시하면 정답이다.

다시 볼 질문 Q06·Q07

11

정답 전류를 더 세게 한다 / 센 자석을 쓴다. 자기력이 커지기 때문

같은 자기장에서는 전류가 셀수록 자기력이 커진다. 실제 전류는 같게 두고 센 자석을 쓰면 자기장이 세져 자기력이 커진다. 그네가 더 많이 움직인다.

인정 범위 전류 세기 증가·센 자석 사용 및 자기력 증가를 포함한다.

다시 볼 질문 Q08·Q09

12

정답 (1) B 아래, C 아래, D 위 (2) 생기지 않음

(1) B는 전류만, C는 자기장만 바뀌므로 각각 아래쪽이다. D는 두 방향을 모두 바꾼 경우로 A와 같은 위쪽이다. (2) 전류가 없으면 도선이 받는 자기력은 생기지 않는다.

인정 범위 B·C·D의 대응 및 도선이 받는 자기력이 없다는 뜻을 인정한다.

다시 볼 질문 Q06·Q07

13

정답 ①

① 전류와 자기장을 모두 반대로 하면 자기력 방향은 처음과 같다. ②는 한 방향만 바꾼 경우다. ③·④ 전류와 자기장이 반대가 되었다고 그 수직 관계가 사라지지 않는다. ⑤ 전류가 계속 흐르고 자기장도 있으므로 이 조건의 자기력은 사라지지 않는다.

다시 볼 질문 Q07

14

정답 왼쪽, 크기는 같음

전류 방향만 반대이면 자기력 방향은 반대인 왼쪽이다. 전류의 세기·자기장 세기·도선의 위치와 각도가 같으므로 자기력 크기는 같다.

인정 범위 방향 반대/왼쪽과 크기 같음이 모두 들어가면 정답이다.

다시 볼 질문 Q06·Q08

15

정답 종이 밖. 두 방향을 모두 반대로 바꾸었기 때문

한 방향만 바꾸면 자기력이 반대가 되지만, 전류와 자기장을 모두 반대로 바꾸면 자기력 방향이 처음과 같다.

인정 범위 종이 밖·⊙와 두 방향 모두 반대라는 설명을 인정한다.

다시 볼 질문 Q07

16

정답 ⑤

⑤ 도선이 받는 자기력은 없어져도 움직이던 도선은 바로 멈추지 않고 잠시 더 움직일 수 있다. ① 전류가 없으므로 같은 자기력이 유지되지 않는다. ② 자기력이 사라지는 것과 물체가 즉시 멈추는 것은 다르다. ③ 전류를 끊는 것과 반대로 흐르게 하는 것은 다르다. ④ 자석 자체의 자기장이 없어지는 것은 아니다.

다시 볼 질문 Q01·Q06

17

정답 (1) A·B 또는 C·D (2) A·C 또는 B·D (3) 전류와 자기장 세기가 함께 다름

(1) A·B 또는 C·D에서는 자석이 같고 전류만 다르다. (2) A·C 또는 B·D에서는 전류가 같고 자석이 다르다. (3) A·D는 전류와 자석을 동시에 바꾸었으므로 전류만의 효과를 분리할 수 없다.

인정 범위 각 쌍의 순서를 바꾸어도 인정한다. (3)은 두 조건을 함께 바꾼 뜻이 들어가야 한다.

다시 볼 질문 Q08·Q09

18

정답 ③

③ 자기력 방향은 전류·자기장 방향으로 정해지므로 같고, 더 센 자기장에서는 자기력이 커진다. ①·② 방향을 바꾸지 않았다. ④ 전류의 세기는 같게 유지한다고 주어졌다. ⑤ 전류와 자기장이 계속 존재한다.

다시 볼 질문 Q07·Q08

19

정답 자석·도선의 위치와 각도 등을 같게 두고 전류의 세기만 바꾼다.

자석까지 바꾸면 자기장 세기의 영향이 함께 들어간다. 전류만의 영향을 확인하려면 같은 자석과 도선으로 위치·자기장과의 각도를 같게 유지하고 전류의 세기만 바꾼다.

인정 범위 자기장 조건 유지와 전류 세기만 변경이 모두 들어가면 정답이다.

다시 볼 질문 Q09

20

정답 (1) 수직 (2) 나란함

자기력은 전류와 자기장이 수직일 때 가장 크고 나란할 때는 없다. 전류나 자기장이 없어서가 아니라 두 방향의 관계가 달라졌기 때문이다.

인정 범위 수직·나란함의 대응이 맞으면 정답이다.

다시 볼 질문 Q08·Q10

21

정답 (1) P 위, Q 아래 (2) 시계 방향

P의 전류는 종이 밖, Q의 전류는 종이 안이다. 자기장은 오른쪽이므로 P는 위, Q는 아래 자기력을 받는다. 왼쪽을 올리고 오른쪽을 내리는 두 힘은 그림처럼 보았을 때 시계 방향으로 돌린다.

인정 범위 P·Q의 방향 대응과 시계 방향을 각각 인정한다.

다시 볼 질문 Q04·Q10~Q12

22

정답 (1) P 아래, Q 위 (2) 시계 반대 방향

전류만 반대가 되므로 각 부분의 자기력도 반대이다. 왼쪽 P를 내리고 오른쪽 Q를 올리는 두 힘은 시계 반대 방향으로 돌린다.

인정 범위 위치·힘·회전 방향의 대응을 인정한다.

다시 볼 질문 Q06·Q11·Q12

23

정답 힘이 서로 다른 위치에 작용하여 같은 회전 방향으로 돌리기 때문

반대인 힘이 같은 지점에 작용하는 경우와 다르다. 왼쪽을 올리고 오른쪽을 내리면 둘 다 코일을 시계 방향으로 돌리는 데 기여한다.

인정 범위 서로 다른 위치와 같은 회전 방향으로 돌림이 모두 들어가면 정답이다.

다시 볼 질문 Q11

24

정답 ④

④ 두 부분에는 반대 방향의 전류가 흐르므로 같은 자기장 속에서 반대 방향의 자기력이 작용한다. ① 한 코일의 마주 보는 두 변에서는 전류 방향이 반대다. ② 자기력은 주어진 전류·자기장과 수직이다. ③ 서로 다른 위치에서 작용하는 반대 힘은 회전을 만들 수 있다. ⑤ 코일에도 전류와 자기장 방향이 모두 필요하다.

다시 볼 질문 Q10·Q11

25

정답 둘 다 처음과 같음

전류와 자기장을 동시에 반대로 바꾸면 각 도선의 자기력 방향은 같다. 따라서 P 위·Q 아래이고 시계 방향으로 돌리려는 작용도 같다.

인정 범위 각 부분의 힘과 회전 방향이 모두 유지된다는 뜻을 인정한다.

다시 볼 질문 Q07·Q11

26

정답 ②

② P는 왼쪽에서 아래, Q는 오른쪽에서 위 자기력을 받으므로 시계 반대 방향이다. ①은 두 자기력을 반대로 읽었다. ③은 힘이 같은 방향이라고 보았다. ④는 반대인 두 힘의 회전 효과를 놓쳤다. ⑤ 종이 밖·안은 힘이 아니라 주어진 전류 방향이다.

다시 볼 질문 Q04·Q11·Q12

27

정답 (1) 위 (2) 반대쪽으로 돌리려 함

(1) 같은 도선 부분의 전류와 자기장 방향이 같으므로 P의 자기력은 위쪽이다. (2) 처음에는 왼쪽을 올려 시계 방향으로 돌렸지만, 이제 오른쪽을 올리므로 반대로 돌리려 한다. 위치가 바뀐 점을 함께 봐야 한다.

인정 범위 위쪽과 처음 회전에 반대인 작용이 모두 맞으면 정답이다.

다시 볼 질문 Q11·Q14

28

정답 ①

① 자기력은 전류와 자기장에 모두 수직이다. ② 자기장은 전류 방향과 다른 정보다. ③ 전자를 손 기준으로 삼으면 전류와 반대 방향을 쓰게 된다. ④ 자석 바깥 자기장은 N극에서 S극으로 향한다. ⑤ 힘과 움직임은 같은 뜻이 아니며, 전류를 끊는 순간에도 물체가 바로 멈출 필요는 없다.

다시 볼 질문 Q02~Q05

29

정답 (1) AB 아래, CD 위 (2) 전류와 자기장이 나란함 (3) 시계 방향

자기장은 N극에서 S극으로 오른쪽이다. AB는 눈에서 멀어지는 전류(⊗)이므로 아래, CD는 눈 쪽 전류(⊙)이므로 위 자기력이다. BC는 자기장과 나란해 자기력이 없다. 눈에서 보면 왼쪽 CD가 올라가고 오른쪽 AB가 내려가므로 시계 방향이다.

인정 범위 각 변과 자기력의 대응, 나란함이라는 까닭, 시계 방향을 인정한다.

다시 볼 질문 Q04·Q08·Q10~Q12

30

정답 (1) 처음 종이 밖, 반 바퀴 뒤 종이 안 (2) 처음 위, 반 바퀴 뒤 아래 (3) 왼쪽에서는 위로, 오른쪽에서는 아래로 힘을 받음

P는 처음에 왼쪽의 ⊙, 반 바퀴 뒤 오른쪽의 ⊗이다. 오른쪽 자기장 속에서 각각 위·아래 힘을 받는다. P의 위치가 반대가 되는 반 바퀴 뒤에 전류도 반대가 되어, 왼쪽을 올리던 작용이 오른쪽을 내리는 작용으로 이어진다. 둘 다 그림처럼 보아 시계 방향이다.

인정 범위 P의 전류·자기력 대응을 각각 인정한다. (3)은 위치가 바뀌면서 힘도 바뀌어 같은 방향으로 돌린다는 뜻이면 정답이다.

다시 볼 질문 Q13~Q15

31

정답 정류자. 반 바퀴마다 코일의 전류 방향을 바꿈

정류자는 코일과 함께 돌면서 고정된 브러시와 접촉하는 쪽이 바뀐다. 전지의 극을 매번 바꾸는 것이 아니라 코일 양 끝의 연결을 바꾼다.

인정 범위 정류자와 코일 전류 방향을 반 바퀴마다 바꿈이 모두 들어가면 정답이다.

다시 볼 질문 Q14

32

정답 ③

③ 자기장 속에서 전류가 흐르는 코일이 받는 힘을 이용해 회전하는 장치다. ① 회전을 위한 에너지는 전기 에너지로 공급한다. ② 코일의 마주 보는 도선에서는 전류가 반대다. ④ 정류자는 자석의 극 자체를 바꾸지 않는다. ⑤ 전류가 없어지면 전류에 의한 회전시키는 작용은 없어지지만, 이미 돌던 코일은 잠시 더 돌 수 있다.

다시 볼 질문 Q13~Q15

33

정답 오른쪽으로 간 P가 위쪽 힘을 받아 반대 회전을 만들기 때문

P에 흐르는 전류가 ⊙인 채 유지되면 힘은 위쪽이다. 왼쪽에 있을 때와 달리 오른쪽을 올리는 힘은 시계 반대 방향으로 돌리려 한다. 같은 방향으로 계속 돌리려면 위치가 바뀔 때 코일 전류도 적절히 바뀌어야 한다.

인정 범위 P의 위치 변화, 위쪽 힘, 처음 회전과 반대 작용이 드러나면 정답이다.

다시 볼 질문 Q11·Q14

34

정답 ⑤

⑤ 정류자의 접촉 관계가 바뀌어 코일의 전류 방향이 바뀌며 전지의 극은 그대로다. ①·② 전지나 고정 자석을 매번 뒤집지 않는다. ③ 코일은 반 바퀴마다 전류 방향이 바뀐다. ④ 전환 순간에도 이미 돌던 코일은 바로 멈추지 않고 전환 위치를 지날 수 있다.

다시 볼 질문 Q14·Q15

35

정답 (1) A·B (2) A·C (3) B·C·D

A·B는 전류만 다르고 A·C는 감은 수만 다르다. B의 더 센 전류, C의 같은 전류에서 더 많은 감은 수, D의 더 센 자기장은 각각 A보다 전동기가 더 빠르게 회전하는 조건이다. 이 표만으로 B·C·D의 실제 회전 속력 순위를 정하지 않는다.

인정 범위 쌍의 순서를 바꿔도 인정한다. (3)은 B·C·D 모두를 포함해야 한다.

다시 볼 질문 Q16

36

정답 ②

② 감은 수만 비교하려면 두 코일 전류를 측정하여 같게 맞춘다. ① 같은 전지라는 것만으로 전류가 같음을 보장하지 않는다. ③·④ 자석과 코일의 다른 조건까지 바꾸면 한 조건의 효과를 분리할 수 없다. ⑤ 전류계는 코일에 직렬로 연결해야 한다.

다시 볼 질문 Q16

37

정답 말할 수 없음. 실제 회전 속력의 정확한 배수는 알 수 없음

다른 조건이 같을 때 전류가 세지면 전동기는 더 빠르게 회전한다. 그러나 회전 속력은 마찰·돌리는 물체의 조건 등에도 영향을 받으므로 그 관계만으로 속력의 정확한 배수를 결론 내릴 수 없다.

인정 범위 반드시 두 배라고 단정할 수 없음과 실제 속력 배수를 알 수 없다는 뜻을 인정한다.

다시 볼 질문 Q16

38

정답 (1) AB 아래·CD 위·시계 방향 (2) 정류자 (3) 반 바퀴마다 코일 전류 방향을 바꿈

AB는 눈에서 멀어지는 전류, CD는 눈 쪽 전류이며 자기장은 오른쪽이다. 오른쪽 AB의 아래쪽 자기력과 왼쪽 CD의 위쪽 자기력이 눈에서 본 시계 방향 회전을 만든다. ㉠ 정류자는 코일과 함께 돌며 두 금속 부분과 고정 브러시의 접촉 관계를 바꾸어 코일 전류 방향을 반 바퀴마다 바꾼다.

인정 범위 (3)은 반 바퀴마다 코일 전류 방향을 바꾸어 한 방향으로 계속 회전하게 한다는 뜻을 포함한다.

다시 볼 질문 Q10~Q15

39

정답 (1) 뒤쪽 (2) 코일 전류가 시간에 따라 반복해서 바뀐다(방향이 반복해서 바뀜) (3) 공기

(1) 자석은 그대로인데 전류 방향만 반대이므로 자기력이 반대인 뒤쪽이다. (2) 전류가 반복해서 바뀌면 자기력도 반복해서 바뀌어 진동판을 앞뒤로 움직인다. 이 문항처럼 전류 방향이 번갈아 바뀌는 경우가 대표적이다. (3) 진동판은 주변 공기를 진동시켜 소리를 낸다.

인정 범위 (1) 뒤쪽, (3) 공기 또는 공기의 진동을 인정한다. (2) 전류의 방향이나 세기가 시간에 따라 반복해서 바뀐다는 뜻이면 인정한다. '한 번만 바꾼다'는 인정하지 않는다.

다시 볼 질문 Q18·Q19

40

정답 ③

③ 전동기는 공급받은 전기 에너지를 날개 등의 움직임을 만드는 운동 에너지로 전환한다. ①은 입력과 출력을 반대로 썼다. ② 빛이 전동기의 주된 입력 에너지는 아니고, ④ 날개를 돌리는 주된 출력은 빛에너지가 아니다. ⑤ 자석의 자기장이 방향 판단에 필요하지만, 자석을 에너지 공급원으로 보는 것은 잘못이다.

다시 볼 질문 Q13·Q17

41

정답 선풍기·세탁기 / 전기 에너지 → 열에너지

선풍기 날개와 세탁기 통을 돌리는 데 전동기를 이용한다. 전기 다리미에서는 전기 에너지가 열에너지로 전환된다. 전기를 사용하는 모든 기구가 전동기로 작동하는 것은 아니다.

인정 범위 선풍기·세탁기와 다리미에서 전기 에너지가 열에너지로 전환된다는 내용이 모두 맞으면 정답이다.

다시 볼 질문 Q17

42

정답 ①

① 전류를 일정하게 한 방향으로만 흘리는 것은 진동판을 앞뒤로 계속 흔드는 조건이 아니다. ② 코일은 전류가 흐르는 상태에서 자석과 상호작용한다. ③ 전류 방향을 바꾸면 힘 방향도 반대다. ④ 진동판의 진동은 공기로 전달된다. ⑤ 스피커의 진동은 전동기의 연속 회전과 다른 움직임이다.

다시 볼 질문 Q18·Q19

43

정답 공통: 자기장 속 전류가 받는 힘 / 차이: 전동기 회전, 스피커 진동

두 장치 모두 자석이 만드는 자기장 속에서 전류가 흐르는 코일이 받는 힘을 이용한다. 전동기는 회전축을 중심으로 돌고 스피커는 코일과 연결된 진동판이 앞뒤로 움직인다.

인정 범위 공통 자기력과 회전/앞뒤 진동의 차이가 모두 드러나면 정답이다.

다시 볼 질문 Q13·Q18·Q20

44

정답 (1) 뒤쪽 (2) 앞쪽

한 방향만 반대로 하면 힘은 반대이다. 두 방향을 모두 반대로 하면 힘 방향은 처음과 같다. 이는 도선의 힘 방향 규칙을 장치에도 적용한 것이다.

인정 범위 뒤쪽·앞쪽의 대응을 인정한다.

다시 볼 질문 Q07·Q18

45

정답 ④

④ 자기장 속 전류가 받는 힘은 오른손을 펴서 엄지를 전류, 네 손가락을 자기장, 손바닥을 힘에 맞춘다. ① 직선 도선에서는 엄지가 전류다. ② 코일을 감아쥘 때 네 손가락이 전류다. ③ 힘은 자기장 자체의 방향이 아니다. ⑤ 자기력은 전자가 아니라 전류 방향을 기준으로 찾는다.

다시 볼 질문 Q04·Q20

46

정답 (1) 왼쪽 (2) N극

엄지가 위쪽이고 손바닥이 종이 밖이면 네 손가락은 왼쪽이다. 자기장이 오른쪽에서 왼쪽으로 향하므로 오른쪽에서 도선을 향한 극이 N극이다.

인정 범위 왼쪽과 N극의 대응을 인정한다.

다시 볼 질문 Q02~Q04

47

정답 (1) 전류와 자기장이 나란함 (2) 브러시 (3) 전기 에너지 → 운동 에너지

(1) BC와 AD에서는 전류와 자기장이 나란하므로 자기력이 작용하지 않는다. (2) ㉡ 브러시는 고정된 채 회전하는 정류자와 접촉한다. (3) 전지는 전기 에너지를 공급하며, 전동기는 이를 코일과 축의 운동 에너지로 전환한다.

인정 범위 나란한 방향 관계, 브러시, 전기 에너지에서 운동 에너지로의 대응을 각각 인정한다.

다시 볼 질문 Q08·Q10·Q13

48

정답 ⑤

⑤ 전류와 자기장이 모두 반대이면 각 도선의 힘 방향은 같고, 더 센 전류는 힘을 크게 한다. ①·②는 한 방향만 바꾼 것처럼 판단했다. ③ 세기를 늘렸으므로 힘이 약해지지 않는다. ④ 자석과 전류는 계속 있으며 자기력이 없어지지 않는다.

다시 볼 질문 Q07·Q08·Q16