

# 03

## 자기장과 로런츠 힘

- 학습 목표**
- 자기력선을 이용해 전류가 흐르는 도선 주위의 자기장의 세기와 방향을 추리하고 설명할 수 있다.
  - 로런츠 힘이 발생하는 조건을 알고, 로런츠 힘과 관련된 현상과 기술을 설명할 수 있다.

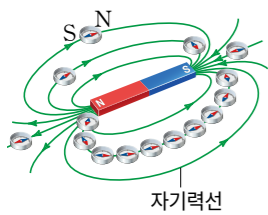
자기 공명 영상(MRI) 장치는 병원에서 몸에 이상이 있는지 알기 위해서 사용한다. MRI는 어떻게 강력한 자기장을 발생할 수 있을까?



### 연계 물리학

전류의 세기와 방향에 따른 자기장의 세기와 방향을 '전기와 자기' 단원에서 배웠다.

### 막대자석 주위의 자기력선



### 자기력선

자석 주위에 쇠붙이나 다른 자석을 가까이 하면 당기거나 미는 힘인 자기력이 작용한다. 이것은 자석 주위에 자기장이 형성되어 있기 때문이다. 자기장의 방향을 따라 연속적으로 이은 선을 **자기력선**이라고 하며, 다음과 같은 특징이 있다.

- 자기력선의 특징
  - 자기력선은 자석의 N극에서 나와 자석의 S극으로 들어간다.
  - 자기력선은 중간에 분리되거나 끊어지지 않으며 서로 교차하지 않는다.
  - 임의의 점에서 자기력선의 접선 방향은 그 점에서 자기장의 방향이다.
  - 자기력선이 조밀할수록 자기장의 세기가 크다.

### 전류에 의한 자기장

**직선 전류에 의한 자기장** | 그림 I-12의 (가)와 같이 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 주위에 나침반을 배열하면 나침반 자침의 N극이 자기장 방향으로 정렬된다.

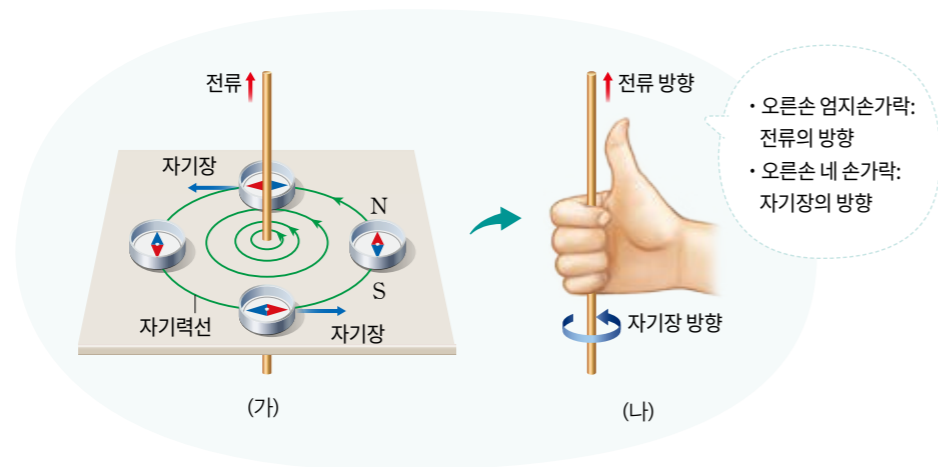


그림 I-12 직선 전류에 의한 자기장

도선으로부터 거리가 가까울수록, 전류의 세기가 셀수록 자기장의 세기가 크고 자기력선이 조밀하다. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 그림 I-12의 (나)와 같이 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 향하게 하고 도선을 감아줄 때 나머지 네 손가락이 가리키는 방향이다.

무한히 긴 직선 도선에 전류가 흐를 때 직선 전류로부터 거리가  $r$ 인 곳에서 자기장의 세기  $B$ 는 도선에 흐르는 전류의 세기  $I$ 에 비례하고, 거리  $r$ 에 반비례한다.

$$B = k \frac{I}{r} \quad [\text{단위: T(테슬라)}]$$

여기서  $k$ 는 비례 상수로  $2 \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ 이다.

**원형 전류에 의한 자기장** | 그림 I-13의 (가)와 같이 원형 도선 주위에 놓인 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 이어 보면 자기력선은 도선 근처에서는 원형이지만 도선에서 멀어지면 타원 모양이 되다가 원형 도선의 중심에서는 원에 수직인 직선 모양이 된다.

원형 전류에 의한 자기장의 방향은 그림 I-13의 (나)와 같이 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 향하게 하고 도선을 감아줄 때 나머지 네 손가락이 가리키는 방향이다.

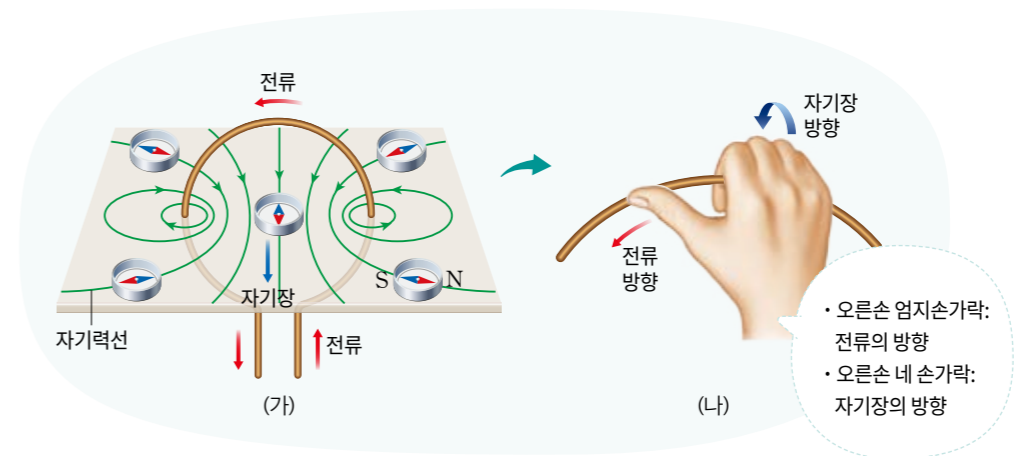


그림 I-13 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선 중심에서 자기장의 세기  $B$ 는 도선에 흐르는 전류의 세기  $I$ 에 비례하고, 도선이 만든 원의 반지름  $r$ 에 반비례한다.

$$B = k' \frac{I}{r} \quad (\text{단위: T})$$

여기서  $k'$ 은 비례 상수로  $2\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ 이다.

\* 솔레노이드  
 도선을 긴 원통형으로 촘촘하게  
 감아 놓은 것이다.

**솔레노이드에 의한 자기장** | 그림 I-14와 같이 전류가 흐르는 솔레노이드 내부에는 균일한 자기장이 형성된다. 솔레노이드 내부에서 자기력선은 서로 겹치지 않으면서 모두 같은 방향을 향하고, 자기력선의 간격은 균일하다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.

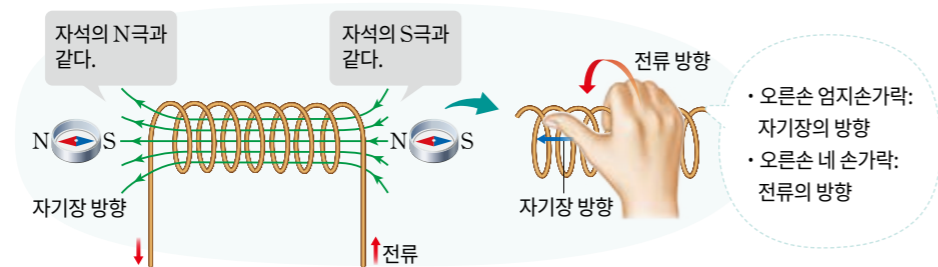


그림 I-14 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기  $B$ 는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기  $I$ 에 비례하고, 단위길이당 감은 수  $n$ 에 비례한다.

$$B = k''nI \text{ (단위: T)}$$

여기서  $k''$ 은 비례 상수로  $4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ 이다.

다음 활동을 하면서 전류가 흐르는 도선에서 자기장의 세기와 방향을 추리해 보자.

**해보기** 자기력선으로 전류 주위의 자기장 추리하기

그림은 서로 반대 방향으로 전류가 흐르는 평행한 두 직선 도선 주위의 자기력선을 나타낸 것이다.

- 나침반 A, B의 빈 곳에 자침을 그려 보자.
- a와 b에 형성된 자기장의 세기를 비교하고, 어떻게 추리했는지 설명해 보자.

**스스로 확인**

- 1 전류가 흐르는 직선 도선 주위에 형성되는 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 (비례, 반비례)하고 도선으로부터의 거리에 (비례, 반비례)한다.
- 2 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 솔레노이드의 중심에 가까울수록 크다. (○, ×)

**전기장과 자기장 속에서 전하가 받는 힘**

그림 I-15의 (가)는 음(-)극에서 방출되어 양(+)극으로 이동하는 전자들의 흐름이 광선처럼 보이는 전자선의 모습이다. 전류 주위에 자기장이 생기는 것처럼 운동하는 전하 주위에도 자기장이 생긴다. 따라서 그림 (나)와 같이 전자선에 자석을 가까이 하면 전자선이 휘다. 이는 운동하는 전하와 자석이 자기장을 매개로 상호작용 하여 자기력이 작용하기 때문이다.

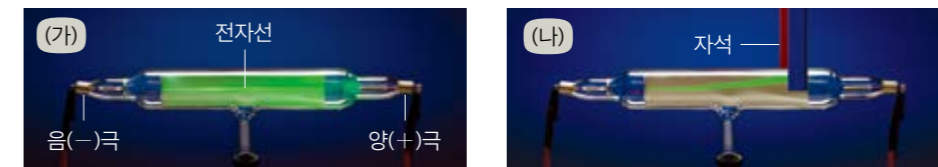


그림 I-15 전자선

자기력의 크기와 방향은 어떻게 결정될까? 그림 I-16의 (가)와 같이 (+)전하의 운동 방향과 자기장이 이루는 각이  $\theta$ 일 때 전하가 받는 자기력의 크기  $F_B$ 는 자기장의 세기  $B$ , 전하량  $q$ , 자기장에 수직인 속도 성분  $v_{\perp} = v\sin\theta$ 에 비례한다. 만약 그림 (나)와 같이 전하의 운동 방향과 자기장의 방향이 수직이면 자기력의 크기는 최대이다. 자기력의 방향은 항상 자기장과 운동 방향에 모두 수직이다.

$$F_B = qv_{\perp}B = qvB\sin\theta$$

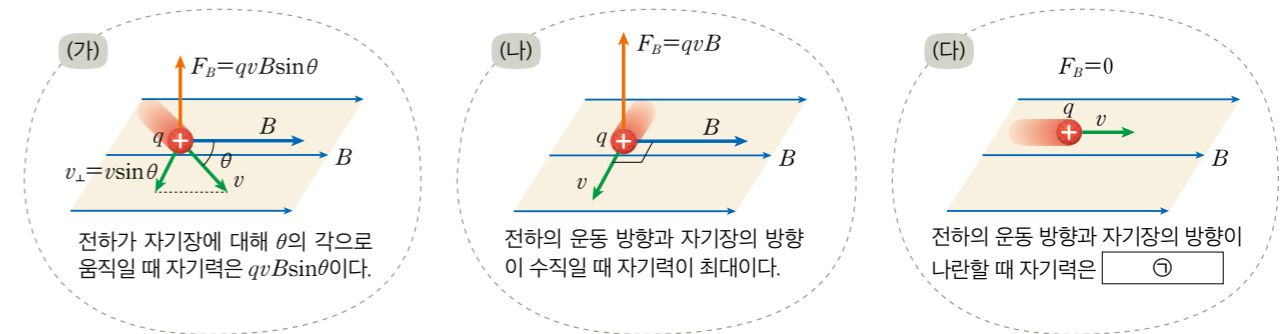


그림 I-16 전하의 운동 방향과 자기장 방향에 따른 자기력

**잠깐 활동**

그림 I-16의 (다)에서 ㉠에 알맞은 말을 자기력과 관련지어 완성해 보자.

자기력의 방향을 찾을 때에는 그림 I-17과 같이 오른손을 이용하면 편리하다. 네 손가락을 (+)전하의 운동 방향에서 자기장의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이 자기력의 방향이다. 만약 (-)전하라면 자기력의 방향은 반대가 된다. 자기장 속에서 운동하는 전하가 받는 자기력과 같이 전자기장 속에서 운동하는 대전 입자가 받는 힘을 **로런츠 힘**이라고 한다.

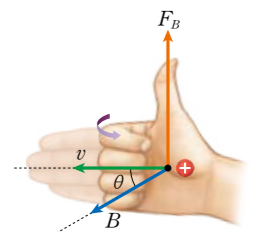


그림 I-17 자기력의 방향

### 전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘

자기장 속에서 운동하는 전하는 자기력을 받는다. 따라서 자기장 속에 놓인 전류가 흐르는 도선에는 도선 내부의 각 전하가 받는 자기력의 합력만큼의 자기력이 작용한다.

그림 I-18과 같이 균일한 자기장  $B$ 가 지면으로 들어가는 방향으로 형성되어 있고 전류가 흐르는 직선 도선이 자기장에 수직으로 놓였을 때, 직선 도선 내부 전자의 속력이  $v$ , 전자의 전하량이  $e$ 라면 각 전자에는  $F_B = evB$ 의 자기력이 작용한다.

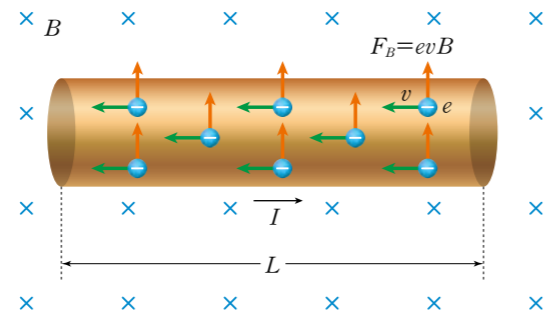


그림 I-18 균일한 자기장에서 직선 전류가 받는 힘

도선의 길이가  $L$ 이고, 도선에 흐르는 전류의 세기가  $I$ 일 때 자기장 영역에서  $v$ 의 속력으로 운동하고 있는 총 전하량  $Q = It = I \frac{L}{v}$ 이다. 따라서 길이가  $L$ 이고 전류의 세기가  $I$ 인 도선이 받는 자기력의 크기  $F_B = ILB$ 이다. 그림 I-19와 같이 전류의 방향과 자기장의 방향이 이루는 각도가  $\theta$ 라면 도선이 받는 자기력의 크기는 다음과 같다.

$$F_B = ILB \sin \theta$$

도선에 작용하는 자기력의 방향은 전류의 방향 및 자기장의 방향에 모두 수직이며, 자기력의 크기는 도선과 자기장이 이루는 각이 수직일 때 최대이다.

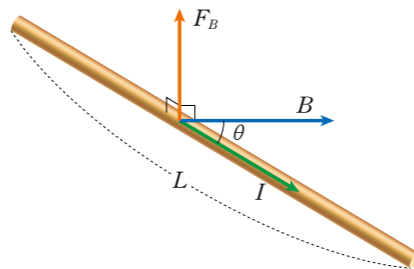


그림 I-19 자기장과 전류의 방향이  $\theta$ 의 각을 이룰 때

#### 스스로 확인

- 1 자기장 속에서 정지 상태로 놓인 전하에는 자기력이 작용한다. (○, ×)
- 2 자기장 속에서 운동하는 전하가 받는 자기력과 같이 전자기장 속에서 운동하는 대전 입자가 받는 힘을 ( )이라고 한다.

#### 연계 물리학

시간  $t$  동안 도선의 단면을 지나간 총 전하량이  $Q$ 일 때 전류의 세기가  $I = \frac{Q}{t}$ 인 것을 '전기와 자기' 단원에서 배웠다.

## 탐구

### 전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘 측정하기

수학적 사고 활용 / 결론 도출 및 기술

#### 목표

전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘과 전류의 관계를 실험을 통해 확인할 수 있다.

#### 과정

1. 에나멜선을 여러 번 감아 사각형 도선을 만든다.
2. 사각형 도선의 한 변이 말굽자석의 N극과 S극 사이에 위치하도록 스탠드에 고정하고, 전자저울의 영점을 조정한다.
3. 사각형 도선에 저항과 전원 장치를 직렬로 연결하고 전류계에 나타난 전류의 세기를 0.2 A에서 0.5 A까지 0.1 A씩 증가시키면서 저울에 측정되는 값을 기록한다.
4. 전류의 방향을 바꾸어 과정 3을 반복한다.



#### 준비물

- 전자저울
- 에나멜선
- 전선
- 전원 장치
- 말굽자석
- 스탠드
- 시멘트 저항(10 Ω, 10 W)
- 전류계
- 면장갑

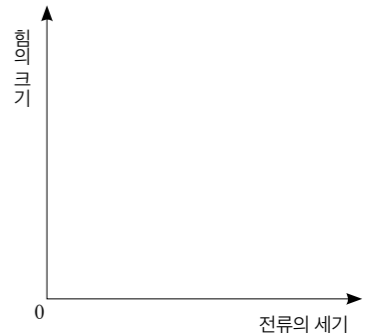
#### 실험 영상



#### 결과 및 정리

1. 실험 결과를 표에 기록하고, 전류의 세기에 따른 힘의 크기를 그래프로 나타내 보자.

과정 3			과정 4		
전류 (A)	저울의 측정값(g)	도선이 받은 힘의 크기(N)	전류 (A)	저울의 측정값(g)	도선이 받은 힘의 크기(N)



2. 실험 결과를 분석하여 도선에 흐르는 전류와 도선이 받는 힘의 관계를 설명해 보자.

**안전** 전원 장치를 비롯한 전기 회로를 다룰 때에는 면장갑을 낀다.

**탐구 길잡이** 중력 가속도는  $9.8 \text{ m/s}^2$ 이다.

#### 스스로 평가

- | 지식·이해 | 전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 사각형 도선과 말굽자석을 적절한 위치에 고정하고 실험 과정에 맞게 수행해 탐구 목표를 달성했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 실험 결과를 있는 그대로 기록하고 해석했는가? ☆☆☆

#### 탐구 후기

**연계 역학과 에너지**

반지름  $r$ 인 원 궤도를 따라 속력  $v$ 로 등속 원운동을 하는 질량  $m$ 인 물체에 작용하는 구심력의 크기는  $F = \frac{mv^2}{r}$ 이라는 것을 '시공간과 운동' 단원에서 배운다.

\* 교류 시간에 따라 주기적으로 세기와 방향이 변하는 전류이다.

**잠깐 활동**  
사이클로트론이 활용되는 곳을 더 조사해 보자.

**입자 가속기**

입자 가속기 중 하나인 사이클로트론은 로런츠 힘을 이용해 전하를 매우 빠른 속력으로 가속시키는 장치로, 두 개의 반원형 금속 상자가 자기장 속에 놓여 있는 구조이다. 그림 I-20의 (가)와 같이 균일한 자기장  $B$ 에 속력  $v$ 로 입사한 전하량  $q$ 인 입자에 작용하는 자기력  $F_B = qvB$ 가 구심력으로 작용해 등속 원운동을 한다.

$$qvB = \frac{mv^2}{r} \text{ 이므로 원 궤도의 반지름은 } r = \frac{mv}{qB} \text{ 이고, 주기는 } T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

이다. 따라서 입자는  $r$ 와  $v$ 에 무관하게 일정한 주기로 원운동을 한다.

그림 I-20의 (나)와 같이 (+)극과 (-)극이 바뀌는 교류 전원을 걸어 주면 전하를 띤 입자는 한쪽 상자에서 다른 쪽 상자로 건너갈 때마다 전기력  $F_E = qE$ 에 의해 가속되어 빨라지므로 조금씩 더 큰 원을 돌게 된다. 사이클로트론을 이용해 빠르게 가속된 전하를 원자핵과 충돌시켰을 때 일어나는 핵반응을 연구하기도 하고, 진료나 치료를 목적으로 방사성 물질을 만들기도 한다.

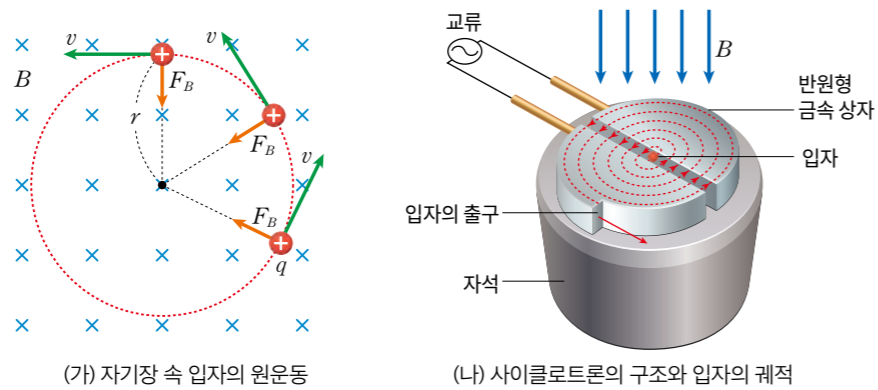


그림 I-20 사이클로트론의 구조와 원리

**자기장 속으로 비스듬하게 입사한 입자의 운동**

그림 I-21과 같이 (+)전하를 띤 입자가 균일한 자기장  $B$ 에 각도  $\theta$ 를 이루며 속도  $v$ 로 진입하는 경우, 입자에는  $v \sin \theta$ 와  $B$ 에 비례하는 자기력  $F_B$ 가 작용한다. 입자는 자기장에 수직인 평면에서는 원 궤도를 그리는 동시에 자기장과 나란한 방향으로  $v \cos \theta$ 의 일정한 속도로 진행하면서 나선 운동을 한다.

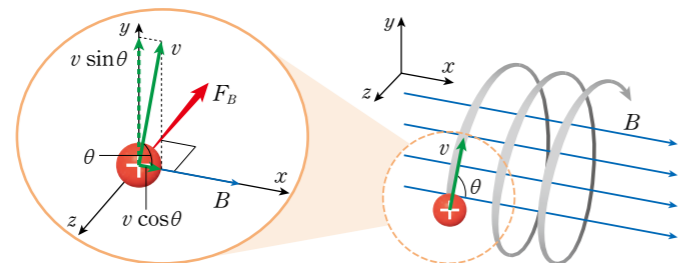


그림 I-21 자기장에 비스듬하게 입사한 입자의 운동

**밴앨런대**

그림 I-22의 밴앨런대는 지구의 불균일한 자기장에 의해 태양이나 우주 공간에서 날아온 전하가 갇혀 있는 공간이다. 밴앨런대는 자기장의 세기가 양끝에서는 강하고 가운데에서는 약한 형태로 되어 있어 전하가 극과 극 사이를 나선형을 그리며 진동 운동을 하게 된다. 이때 지구의 극지방에서 전하가 대기의 산소나 질소 분자와 충돌하면 가시광선을 내보내는 오로라 현상이 나타난다.

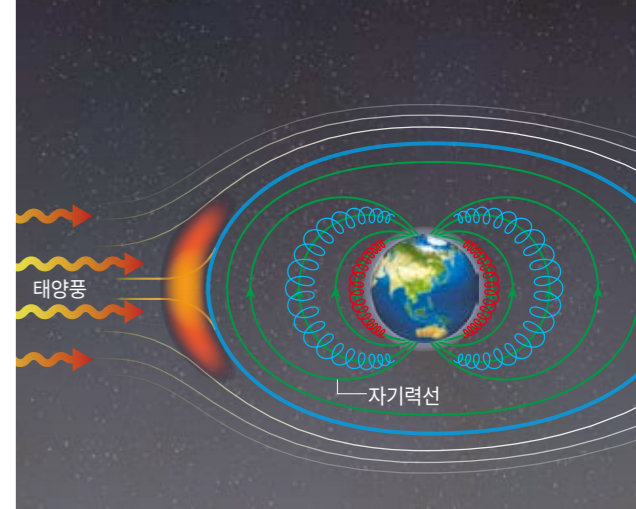


그림 I-22 밴앨런대

**잠깐 활동**

오로라가 주로 극지방에서 잘 관찰되는 까닭은 무엇일까?

**태양풍**  
태양의 대기층에서 방출된 전하를 띤 입자의 흐름이다.

\* **플라스마**  
핵과 전자가 분리되어 자유롭게 움직이는 대전 입자가 중성인 기체와 섞여 전체적으로 전기적 중성인 상태이다.

**토카막**

토카막은 핵융합 반응을 일으키기 위한 초고온 플라스마를 가두는 장치이다. 그림 I-23의 (가)와 같이 토카막 내부에 설치된 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 장치 내부를 따라 형성된다. 플라스마 상태인 전자와 이온이 자기장 속에서 로런츠 힘을 받아 나선 운동을 하며 장치 내부를 벗어나지 못하고 갇혀 있다. 그림 (나)는 토카막을 이용하는 핵융합 장치의 내부 모습이다.

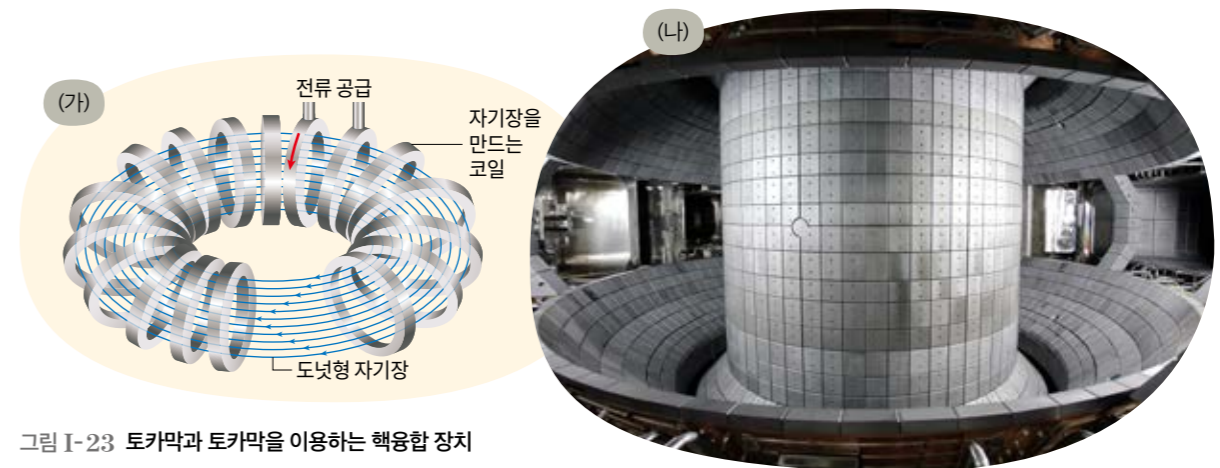


그림 I-23 토카막과 토카막을 이용하는 핵융합 장치

**스스로 확인**

- ( )은/는 입자 가속기 중 하나로 전하를 띤 입자가 받는 로런츠 힘을 이용한 장치이다.
- 지구의 불균일한 자기장에 의해 태양이나 우주 공간에서 날아온 전하가 갇혀 있는 공간을 ( )이라고 한다.

**스스로 정리**

**공유** 자기장이 없으면 우리 생활이 어떻게 변할지 생각해 보고 내 생각을 공유 플랫폼에 공유해 보자.