제7장 전류의 자기현상

7-1 전류의 자기현상

- 쇠못과 같은 자성체에 도선을 감고 도선에 전류를 흘리면, 자성체는 자석과 같이 쇠붙이를 잘 끌어당김 (전자석)

- 전자석은 전류의 자기현상을 이용한 것이며, 전계에 의해 자계가 생성되는 것임 (에너지변환)

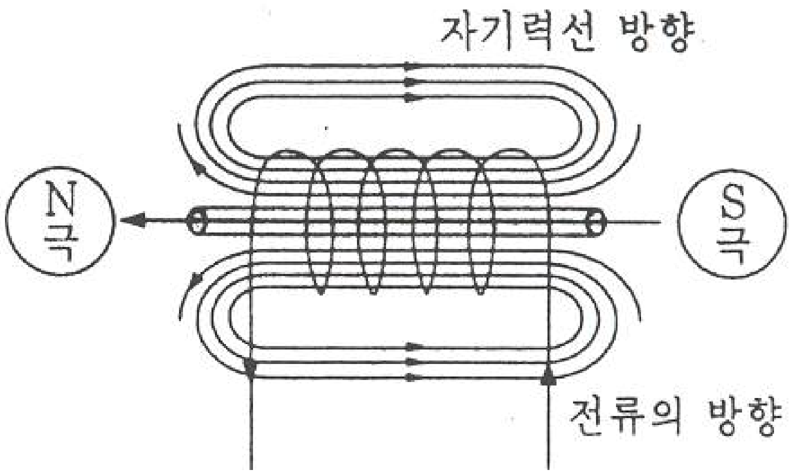


그림 7-1 전류의 자기 작용

- 1819년 에르스텟 (Oersted)에 의해 처음 발견 : 전류가 흐르는 도선 근처 나침반의 움직임 발견
  : 전기 현상과 자기 현상과의 상호관계가 있다는 사실 발견

- 이후 암페어 (Ampere), 패러데이 (Faraday), 맥스웰 (Maxwell) 등에 의해 발전 (전기자기학 정립)

(1) 암페어의 오른손법칙

- 전류에 의한 자계의 방향은 암페어의 오른손법칙으로 설명 (그림 7-2)
  - 오른손의 엄지손가락이 전류방향이면, 나머지 4개 손가락이 도는 방향이 자력선의 방향
  - 반대로, 4개의 손가락이 도는 방향이 전류방향이면, 엄지손가락 방향이 자력선의 방향

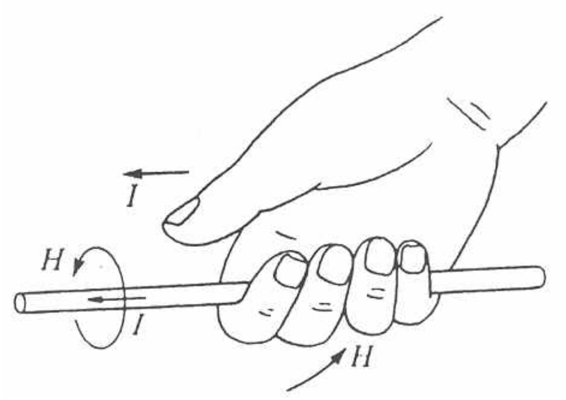


그림 7-2 암페어의 오른손법칙

- 무한히 긴 직선전류에 의해 생기는 자계의 성질
  1) 자계의 크기는 전류의 세기에 비례하고, 2) 직선으로부터 거리에 반비례하며,
  3) 자계방향은 전류방향에 직각, 암페어의 오른손법칙에 따른다.

- 직선상 도체 (코일)에 전류를 흘릴 때, 축방향으로부터 바라본 경우의 자계 (그림 7-3)

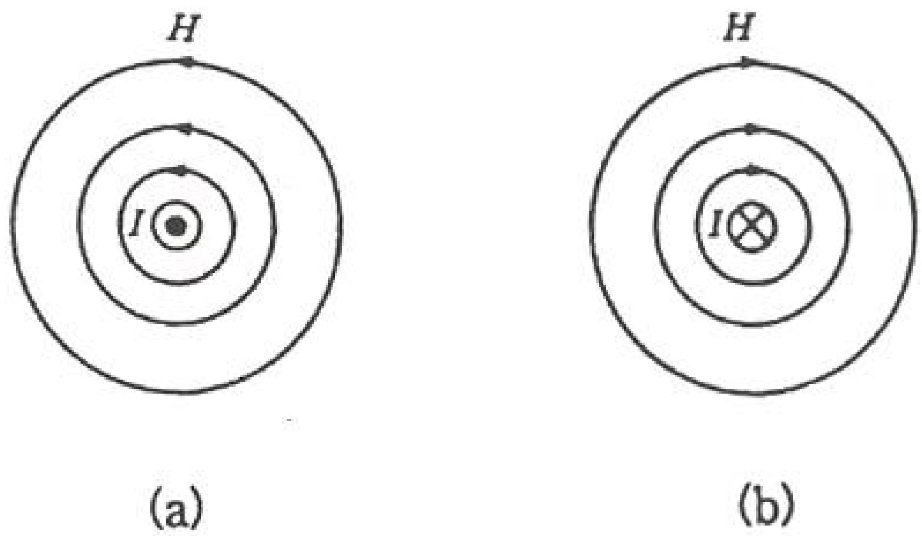


그림 7-3 직선상 도체 주위에 생기는 자계

- 원형코일에 도체에 전류를 흘릴 때, 축방향으로부터 바라본 경우의 자계 (그림 7-3)

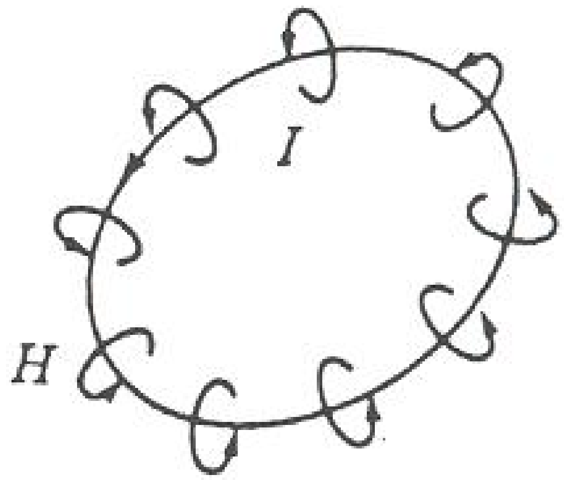


그림 7-4 원형코일 주위의 자계

(2) 등가 판자석

- 등가판자석: 미소한 원형전류에 의한 자력선의 분포는 얇은 판자석으로 등가화 가능 (그림 7-5)

- 판자석의 양표면에 N극과 S극이 존재하기는 하지만, 자력선이 연속이므로 명확한 자극은 없다.

그림 7-5 등가 판자석

- 전류 I의 폐회로 C는 미소한 폐회로의 집합 (그림 7-6)

  : 미소 회로의 인접부에서는 전류가 서로 반대가 되어 상쇄되므로, 최외곽 폐회로 C에 흐르는 전류만 남게 됨

  → 폐회로 C에 흐르는 전류에 의한 자계 = 미소 회로에 흐르는 전류에 의한 자계

  → 즉 판자석으로 치환 가능

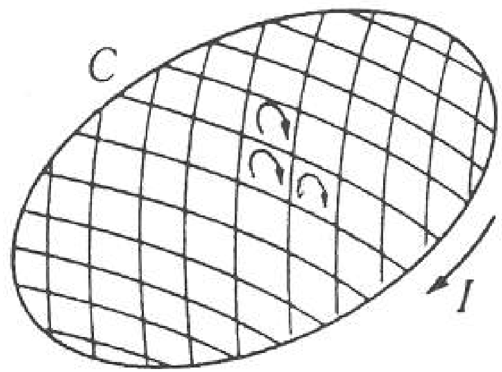


그림 7-6 폐회로에 흐르는 전류의 분해

7-2 암페어의 주회적분법칙

- 암페어의 오른손 법칙을 이용하여, 전류분포가 대칭적일 경우 전류에 의한 자계를 구하는 법칙

- 폐곡선 C에 대한 자계 H의 선적분은 이 폐곡선과 쇄교하는 전전류의 대수화와 같다.
  (도선 C에 흐르는 전류에 의해 생성되는 자계 H의 총합은 도선에 흐르는 전류의 합과 같다.)

  1) 코일이 1 턴일 경우,

$$\oint_C \boldsymbol{H} \cdot dl = I \qquad \cdots\cdots \ (7\text{-}3)$$

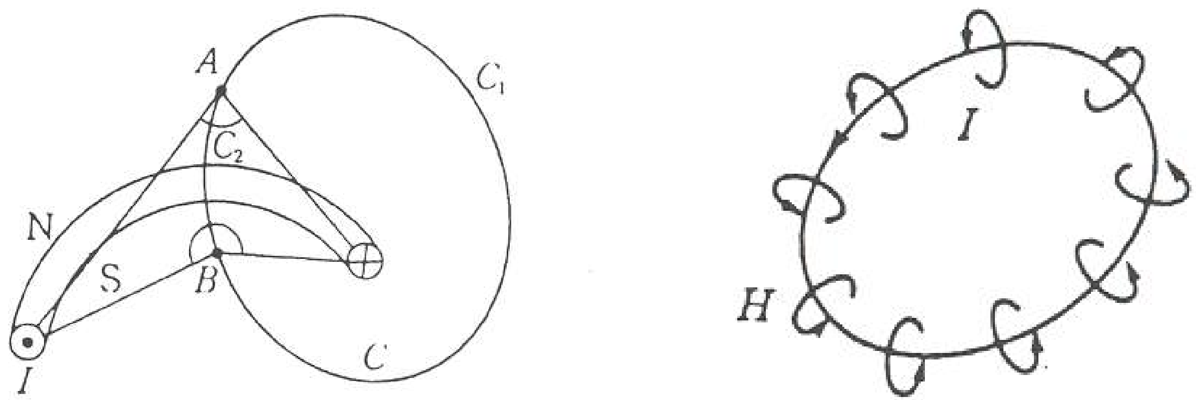
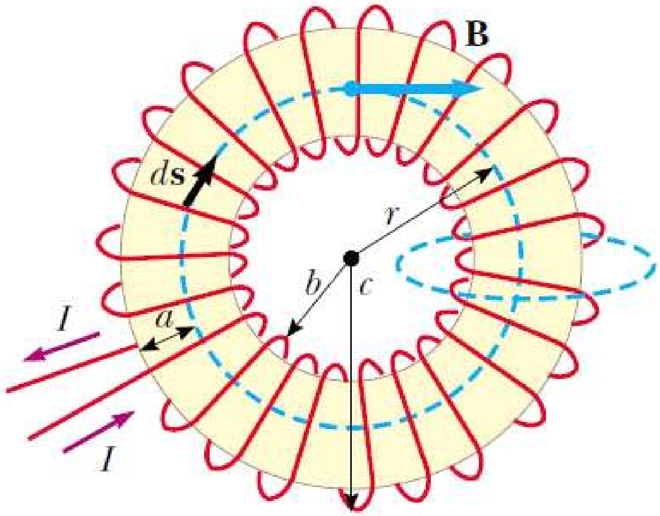


그림 7-7 암페어의 주회적분

2) 코일이 N 턴일 경우,

$$\oint_C \boldsymbol{H} \cdot dl = NI \qquad \cdots\cdots \ (7\text{-}4)$$



3) 수식화하면,

$$\oint_C \boldsymbol{H} \cdot dl = \sum_{N=0}^{n} NI \ \ [AT] \qquad \cdots\cdots \ (7\text{-}5)$$

7-3 암페어의 주회적분의 법칙에 의한 자계의 계산

(1) 무한장 직선전류에 의한 자계

- 무한히 긴 직선도선에 I [A]의 전류가 흘렀을 때 점 P의 자계

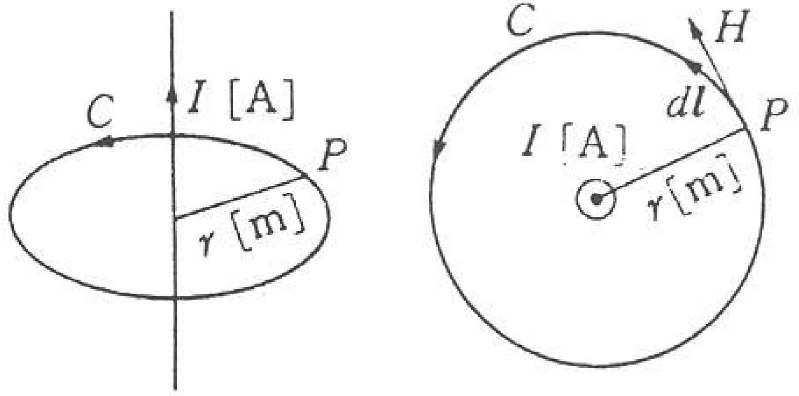


그림 7-8 무한장 직선전류에 의한 자계

$$\oint_C \boldsymbol{H} \cdot dl = \oint_C H\cos\theta\, dl = 2\pi r \cdot H = I \quad \cdots\cdots \text{(7-6)}$$

$$H = \frac{I}{2\pi r}[\mathrm{AT/m}] \quad \cdots\cdots \text{(7-7)}$$

- 무한장 직선전류에 의한 자계의 크기는 전류에 비례하고, 직선전류에서의 거리에 반비례

- 원주형 도체의 내부에 전류분포가 균일한 경우 도체의 반지름을 a이라고 하면, r=a일 때 자기의 세기가 가장 큼

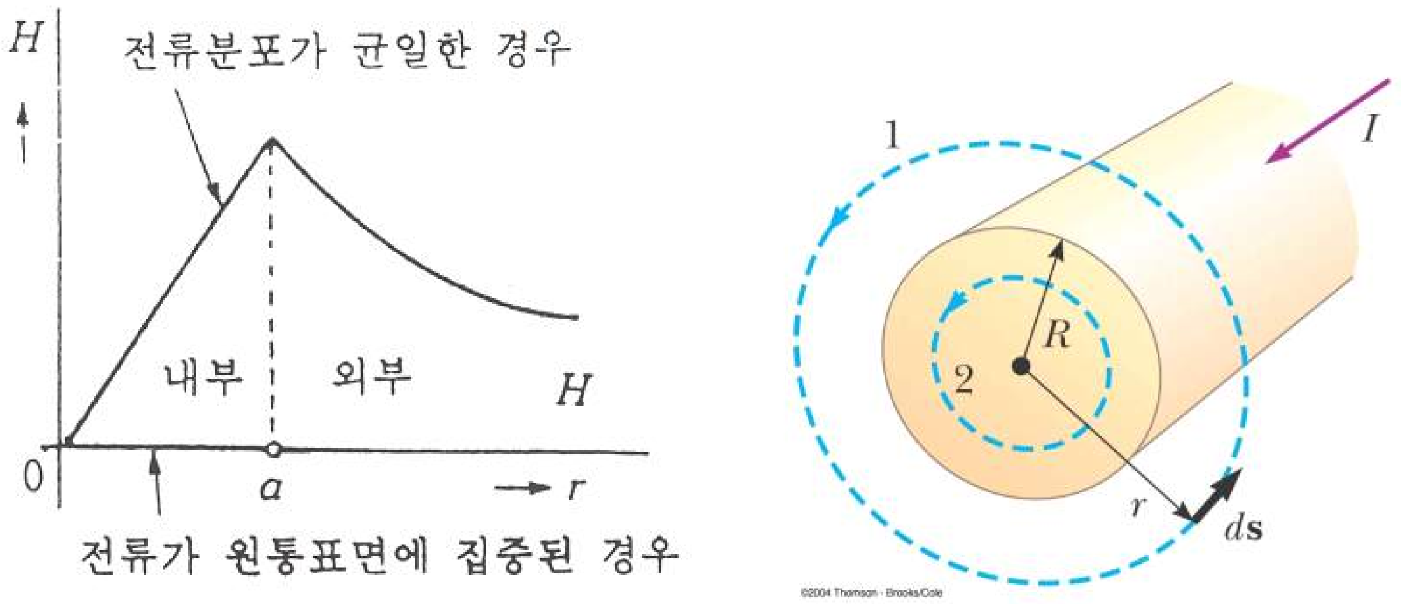


그림 7-9 무한장 원주도체의 자계강도그림

예제 7.1 I=100[A]의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선도체로부터 r=10[cm]만큼 떨어진 곳의 자계의 세기 H를 구하라.

[풀이] 식 (7−7)로부터

$$H = \frac{I}{2\pi r} = \frac{500}{\pi}\,[\mathrm{AT/m}] \qquad \blacksquare$$

(2) 무한장 원주형 전류에 의한 자계

1) 원주 외부의 자계 (자계 적분경로 r>도선의 반지름 a인 경우)

- 무한장 직선전류인 경우와 같음

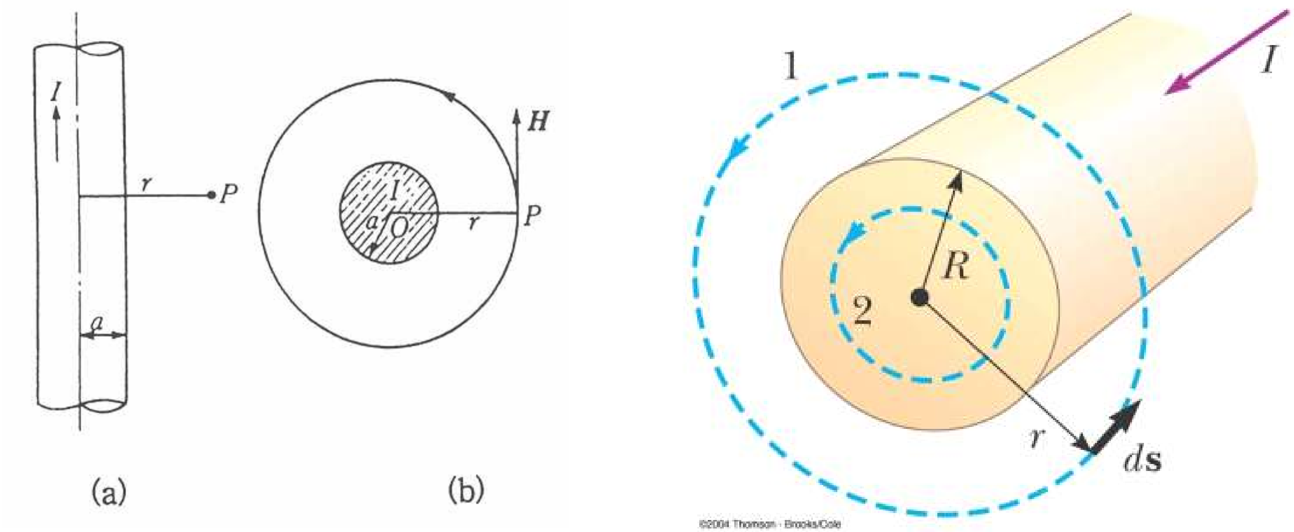


그림 7-10 무한장 원주형 전류에 의한 외부의 자계

$$\oint H \cdot dl = H \cdot 2\pi r = I \qquad \cdots\cdots \text{(7-8)}$$

$$H = \frac{I}{2\pi r}\,[\mathrm{AT/m}] \qquad \cdots\cdots \text{(7-9)}$$

2) 원주 내부의 자계 (자계 적분경로 r < 도선의 반지름 a인 경우)

$$I_i = \frac{\pi r^2}{\pi a^2} I = \frac{r^2}{a^2} I \qquad \cdots\cdots \text{(7-10)}$$

$$\oint H_i \cdot dl = H_i \cdot 2\pi r = \frac{r^2}{a^2} I \qquad \cdots\cdots \text{(7-11)}$$

$$H_i = \frac{I}{2\pi} \frac{r}{a^2} [\mathrm{AT/m}] \qquad \cdots\cdots \text{(7-12)}$$

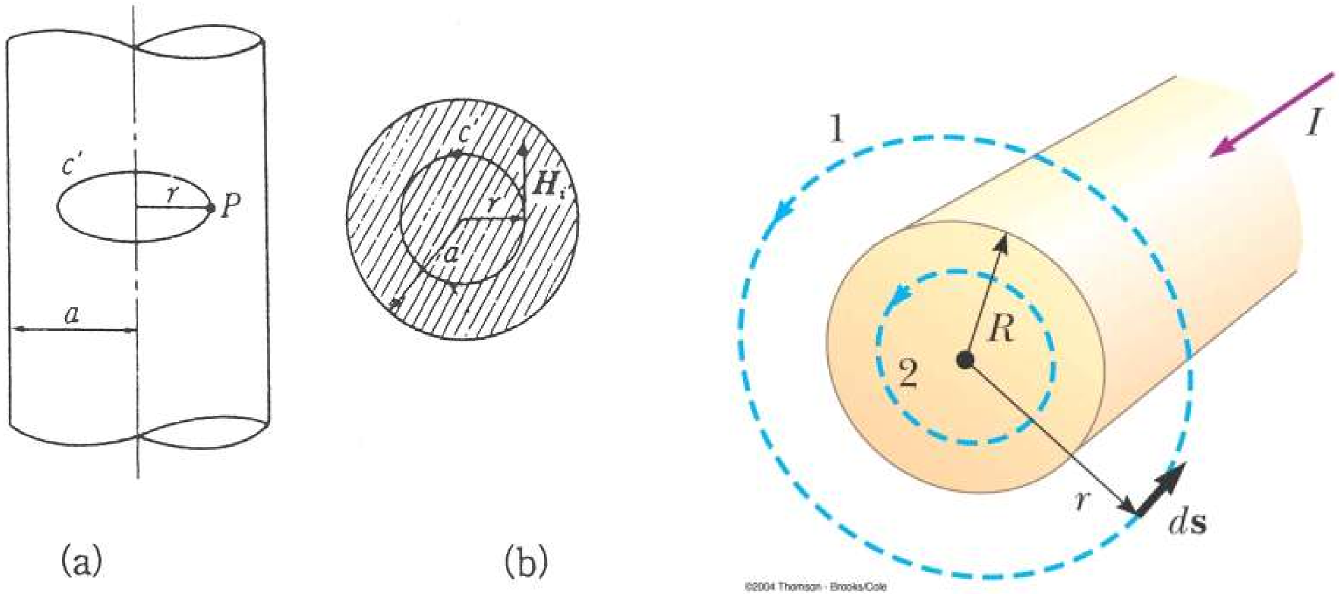


그림 7-11 무한장 원주형 전류에 의한 내부의 자계

- 만일 전류가 원주의 표면에만 흐른다면 원주 C 내부의 전류는 0

- 식 (7-11)으로부터,

$$2\pi r \cdot H_i = 0$$

으로부터

$$H_i = 0 \qquad \cdots\cdots \text{(7-13)}$$

- 무한장 원주전류에 의한 자계는
  1) 도체 내부에서는 중심으로부터의 거리에 비례
  2) 도체 외부에서는 중심으로부터의 거리에 반비례

예제 7.2 전류분포가 균일한 반지름 a[m]인 무한장 원주형 도선에 1[A]의 전류를 흘렸더니, 도선 중심에서 a/2[m]되는 점에서의 자계의 세기가 1/2π[AT/m]일 때, 도선의 반지름[m]을 구하시오.

[풀이] *a*/2[m] < *a[m]*이므로 원주 내부의 자계를 구하면,

$$H_i = \frac{I}{2\pi}\frac{r}{a^2}\,[\mathrm{AT/m}] \qquad \cdots\cdots \text{(7-12)}$$

$$H_i = \frac{I\left(\frac{a}{2}\right)}{2\pi a^2} = \frac{I}{4\pi a}\,[\mathrm{AT/m}]$$

자계의 세기는 $H_i = \frac{1}{2\pi}[\mathrm{AT/m}]$, I=1[A]이므로

$$\frac{1}{2\pi} = \frac{1}{4\pi a}, \quad \therefore\ a = \frac{1}{2}[\mathrm{m}]$$

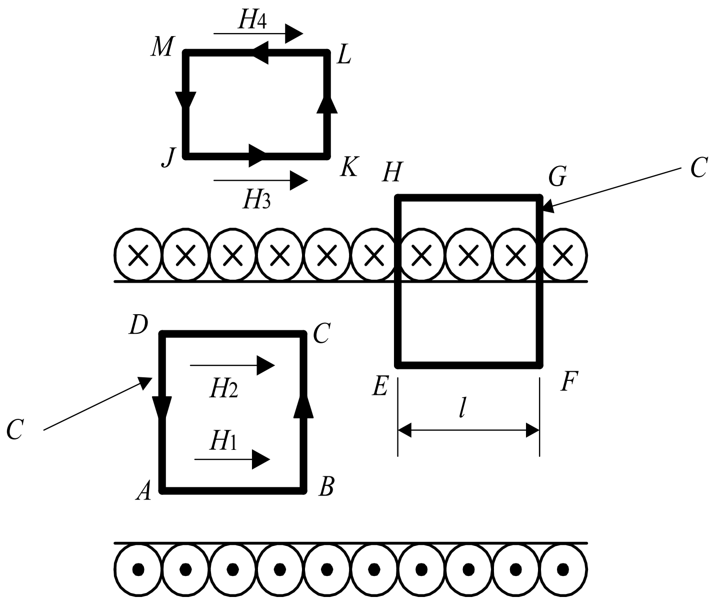
■

(3) 무한장 솔레노이드에 의한 자계

- 무한장 솔레노이드 : 원통에 도선을 단위 길이당 n회의 코일이 감긴 것

1) 솔레노이드(solenoid) 내부의 자계 (적분경로 ABCD)

$$\oint H \cdot dl = \oint H_1 \cdot dl - \oint H_2 \cdot dl \qquad \cdots\cdots \ (7\text{-}14)$$



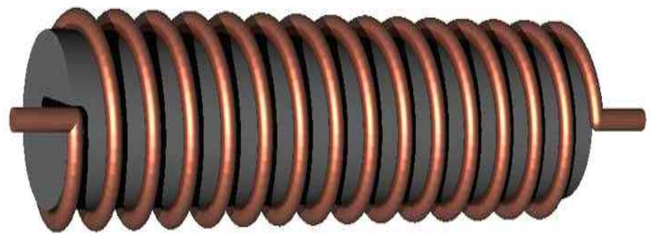


그림 7-12 무한장 솔레노이드에 의한 자계

- 이 폐곡선내에 전류가 없으므로

$$\oint H_1 \cdot dl - \oint H_2 \cdot dl = 0 \qquad \cdots\cdots \text{(7-15)}$$

$$H_1 = H_2 \qquad \cdots\cdots \text{(7-16)}$$

2) 외부의 자계 (적분경로 JKML)

$$H_3 = H_4 = 0 \qquad \cdots\cdots \text{(7-17)}$$

3) 도선을 끼고 있는 자계 (적분경로 EFHG)

- 도선 내부의 경로 EF에서의 자계만 고려해주면,

$$\oint H \cdot dl = Hl \qquad \cdots\cdots \text{(7-18)}$$

$$Hl = nIl,\ H = nI[AT/m] \qquad \cdots\cdots \text{(7-19)}$$

예제 7.3 1[cm]당 권수가 30인 무한장 솔레로이드 20[mA]의 전류가 흐르고 있다. 이 때 솔레노이드 내부의 자계와 외부의 자계를 구하라.

[풀이] 솔레노이드 내부의 자계는 식 (7-19)에서

$$H_i = nI = 30 \times 10^2 \times 20 \times 10^{-3} = 60[\mathrm{A/m}]$$

솔레노이드 외부에는 자계가 존재하지 않는다. ■

(4) 환상 솔레노이드에 의한 자계

- 환상 솔레노이드 (토로이드) : 원형의 철심에 코일을 감은 것

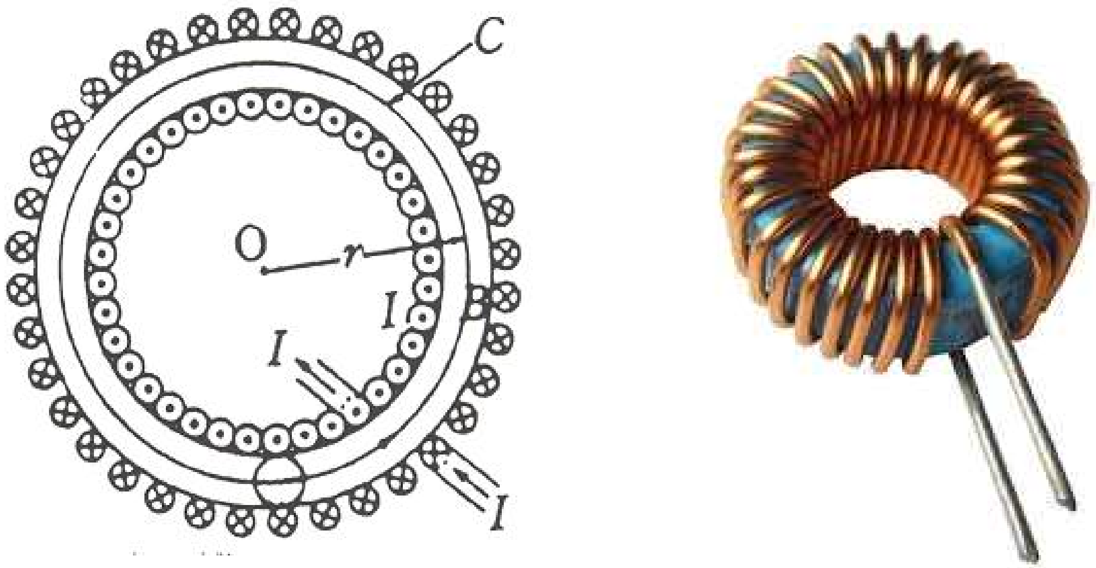


그림 7-13 환상 솔레노이드

- 권수 N의 환상 솔레노이드에 전류 I [A]가 흐를 때, 적분경로 C에서의 자계

$$\oint_C \boldsymbol{H} \cdot dl = 2\pi r H \qquad \cdots\cdots \ (7\text{-}20)$$

$$2\pi r H = NI$$

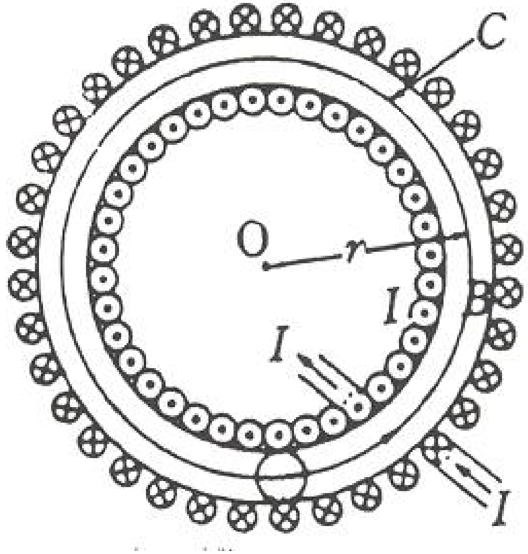
$$H = \frac{NI}{2\pi r} \qquad \cdots\cdots \ (7\text{-}21)$$

- 환상솔레노이드 외부의 자계는 0

예제 7.4 평균 반지름 10[cm]의 환상 솔레노이드에 코일의 권선수가 200회이고, 5[A]의 전류가 흐를 때, 내부의 자계의 세기를 구하라.

[풀이] 식 (7-21)을 이용하여

$$H = \frac{NI}{2\pi r} = \frac{200 \times 5}{2 \times 3.14 \times 0.1} = 1600\,[\mathrm{AT/m}]$$ ■



예제 7.5 평균반지름 50[cm], 권선수 100회인 솔레노이드의 내부자계가 100/π[A/m] 일 때 코일에 흐르는 전류를 구하라.

[풀이] $H = \dfrac{NI}{2\pi r}\,[\mathrm{A/m}]$에서

$$I = \frac{2\pi r H}{N} = \frac{2\pi \times 50 \times 10^{-2}}{100} \times \frac{100}{\pi} = 1\,[\mathrm{A}]$$