제 21 장 기출_연습문제 풀이 (1)

연습문제 풀이 : (2007년 이후 중간고사에 출제된 연습문제 모음)
4, 8, 9, 12, 14, 15, 16, 19, 20, 22

+ 기출문제

(2007년 기말 1번)

[기출문제] 다음 중에서 유도 전류가 발생하지 않는 경우는?

(가) 원형회로에 자석을 가까이 가져갈 때

(나) 원형회로를 자석에서 멀리할 때

(다) 균일한 자기장에 원형회로를 수직으로 (자기장이 회로 속을 통과하도록) 두고 자기장의 세기를 바꿀 때

(라) 균일한 자기장에 원형회로를 수직으로 두고 원형회로를 일정한 방향으로 병진 운동시킬 때

(마) 균일한 자기장에 원형회로를 수직으로 두고 원형회로의 한 지름을 축으로 회로를 회전시킬 때

풀이

유도기전력이 발생하려면 회로를 통과하는 자속이 변화해야 한다. 자속이 변화하려면 자기장이 변화하거나 원형회로 의 면적이 변화해야 한다. 따라서 자석을 멀리하거나 자석을 가까이 하는 경우 (가), (나), (다) 의 경우 는 자기장의 크기가 변화하는 경우가 되어 유도전류가 생긴다, (마) 번의 경우에도 균일한 자기장 속에서 원형회로를 회전시키면 회전할 때 마다 자기장을 통과하는 면적이 변화되므로 유도 전류가 발생한다. 그러나 (라) 번의 경우 균일한 자기장에서 일정한 방향으로 운동시키면 자기장과 면적의 변화가 모두 없으므로 유도기전력은 생기지 않는다. 즉 , 유도 전류도 발생하지 않는다.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \qquad \Phi_B = BA\cos\theta = BA\cos\omega t$$

(예제 21. 1 과 유사) (2016년 기출 1번)

[기출문제]

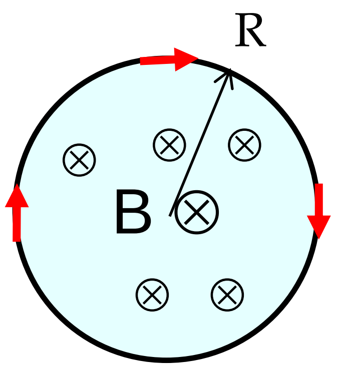
반지름이 R 인 원형 회로의 면에 수직으로 통과하는 균일한 자기장이 t 초 동안에 B_1 에서 B_2 까지 일정한 비율로 변하였다. 그 동안 회로에 유도되는 기전력을 주어진 변수로 나타내시오.

풀이

- 원형 회로에 유도된 유도 기전력

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\frac{\Delta B \cdot A}{t} = -\frac{(B_2 - B_1)\cdot(\pi R^2)}{\Delta t}$$

$A = \pi R^2$



- 자기장이 감소할 때, 유도전류의 방향은 렌즈의 법칙에 의해 시계방향이다.

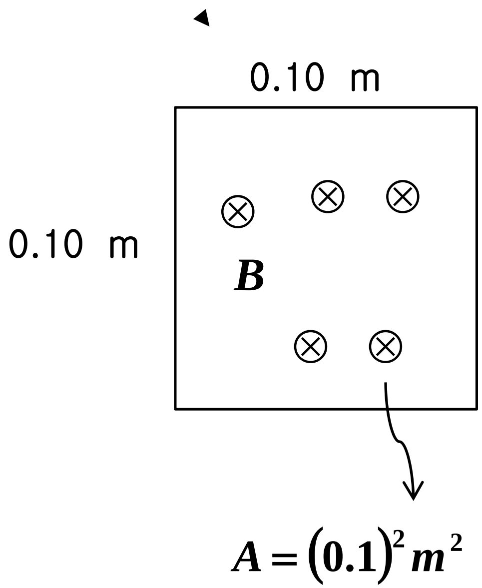
(예제 21. 1 과 유사) (2010년 중간 기출 11번)

[기출문제]

한 변의 길이가 10 cm 인 정사각형 회로의 면에 수직으로 균일한 자기장이 통과하고 있다. 0.05 초 동안에 자기장이 2.0 T 에서 0 T 까지 일정한 비율로 변화하였을 때, 이 시간 동안 유도되는 기전력의 세기를 구하여라.

풀이

정사각형 회로에 유도되는 기전력 은 패러데이 법칙의 식에 주어진 변수를 대입하여 얻을 수 있다.



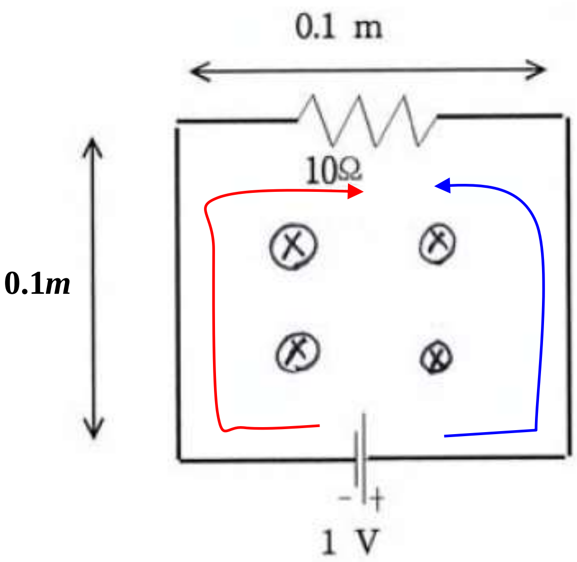
$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\frac{(B_2 - B_1)\cdot A}{\Delta t} = -\frac{(0-2.0)\cdot(0.10)^2}{0.05} = 0.4(V)$$

(2007년 기말기출 2번)

[기출문제] 균일한 자기장의 방향은 지면 안으로 들어가는 방향이고 100 T/s 비율로 감소하는 공간에 아래 그림과 같이 회로가 놓여 있다. 회로에 흐르는 전류는 얼마인가?

풀이

유도기전력이 발생하려면 회로를 통과하는 자속이 변화해야 한다. 이 문제에서는 회로의 면적은 변화가 없고 단지 자기장의 크기만 변화하므로 유도기전력의 크기는 다음과 같다, 한편 아래 방향의 자기장이 감소하므로 유도기전력은 이를 방해하는 방향(시계 방향) 으로 유도된다.



자기장의 감소에 의해 생긴 유도기전력의 크기와 방향

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{d[BA\cos\theta]}{dt}\bigg|_{\theta=0^\circ} = A\frac{dB}{dt} = (0.01)\times(100) = 1(V)$$

(시계방향) : 빨간색 화살표

건전지에 의한 기전력도 크기는 1 V 의 크기지만 반 시계방향이다.

(반 시계방향) : 파란색 화살표

유도기전력과 건전지에 의한 기전력이 크기는 같고 방향이 서로 반대이므로 서로 상쇄되어 회로에 흐르는 전류는 0 이다.

(2005년 기출 7번)

연습 21-4. 전류가 흐르는 매우 긴 도선이 직사각형 도선 옆에 그림과 같이 놓여 있다.

(가) 직사각형 도선을 긴 도선 쪽으로 움직일 때 직사각형 도선에 유도되는 전류 방향은?

(나) 도선에 흐르는 전류가 증가 할 때 직사각형 도선에 유도되는 전류 방향은?

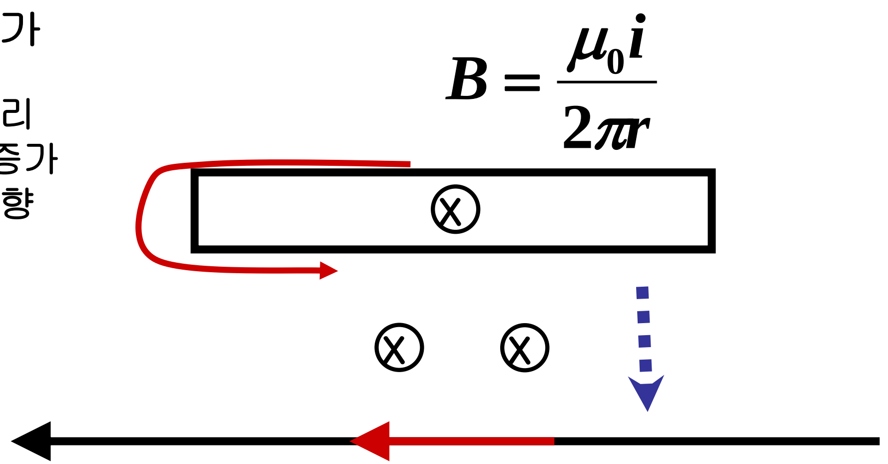
풀이

렌쯔의 법칙 : 유도전류는 자기선속의 변화를 억제하는 방향으로 생긴다

도선에 의한 자기장 : $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$

(가) r 이 작아지면 → B : 커짐 ⇒ Φ_B : 증가

도선에 의한 자기장은 거리에 반비례 하므로 거리가 가까워질수록 자기장은 커지고 자기선속은 증가한다. 따라서 기전력은 자기선속을 억제하는 방향인 반 시계방향으로 유도전류가 생긴다.



(나) 전류가 증가하면 도선에 의한 자기장은 커지고 자기 선속도 증가하므로 이 경우에도 (가)와 동일하게 유도 전류는 반 시계방향으로 생김.

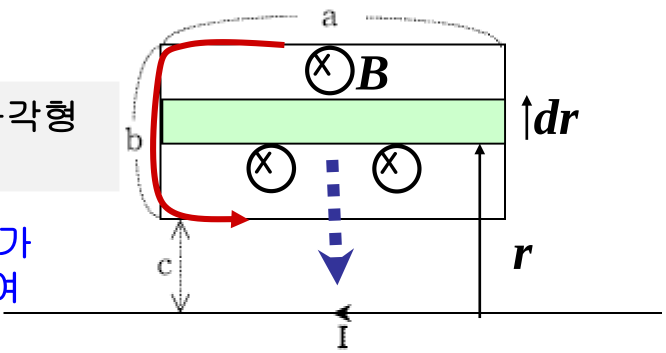
(2009년 중간 주관식 2번)

[기출문제]아래 그림과 같이 전류 I 가 흐르는 매우 긴 직선 도선이 가로와 세로의 길이가 a 와 b 인 직사각형 도선 옆에 놓여 있다. 직사각형 도선의 저항은 R 이다.

(가) 암페어 법칙을 이용하여 직선 도선으로 부터 거리 t 만큼 떨어진 위치에서의 자기장의 세기를 구하라.

풀이 (가) 암페어 법칙에 의하여 긴 직선 도선으로 부터 r 떨어진 위치에서의 도선에 의한 자기장은

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I \rightarrow 2\pi r B = \mu_0 I \rightarrow \therefore B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$ 이다.



(나) 직선 도선과 직사각형 도선의 간격이 그림과 같이 c 일 때 직사각형 도선을 통과하는 자기선속을 구하여라.

자기선속은 단위면적을 통과하는 자기력선의 수이고 자기장의 크기가 거리에 따라 다르므로 다음과 같이 면적소에 대해 자기장을 적분하여 얻는다.

$$\Phi = \int \vec{B}\cdot d\vec{A} = \int Badr = \int_c^{c+b} Badr = \int_c^{c+b} \frac{\mu_0 I}{2\pi r} adr = \frac{\mu_0 Ia}{2\pi} \ln r \Big|_c^{c+b} = \frac{\mu_0 Ia}{2\pi} \ln\left(\frac{c+b}{c}\right)$$

(다) 직선 도선에 흐른 전류가 시간에 따라 일정한 비율로 증가할 때 (즉, $\frac{dI}{dt} = \alpha =$ 일정), 직사각형 도선에 유도되는 전류의 크기는 ?

전류가 일정한 비율로 증가(α) 하면 도선에 의한 자기장은 커지고 자기선속이 시간에 따라 증가한다. 따라서 유도 기전력이 발생한다.

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu_0 a}{2\pi} \ln\left(\frac{c+b}{c}\right)\frac{dI}{dt} = \frac{\mu_0 a}{2\pi} \ln\left(\frac{c+b}{c}\right)\alpha \quad \Rightarrow \therefore I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\mu_0 a\alpha}{2\pi R} \ln\left(\frac{c+b}{c}\right)$$

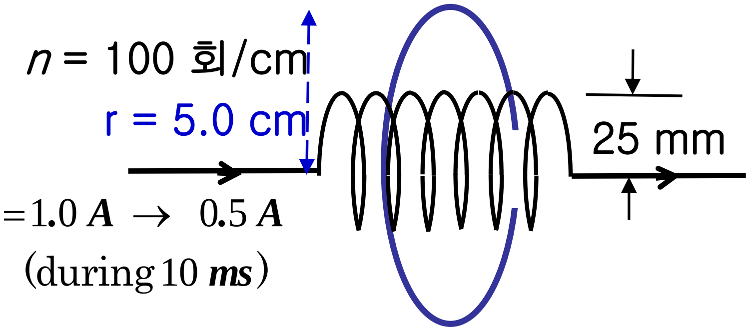
(라) 직사각형 도선을 긴 직선 도선 쪽으로 움직일 때, 직사각형 도선에 유도되는 전류의 방향과 이유를 설명하시오.

직사각형 도선이 직선 도선 쪽으로 움직이면 지면으로 들어가는 자기장이 증가하므로 이것을 억제하기 위하여 지면에서 나오는 자기장을 생성하는 렌쯔의 법칙에 의해 반시계 방향의 유도전류가 유도된다.

(2008년 중간 기출 주관식 2번과 유사)

연습 21-8. 반지름이 25.0mm인 긴 솔레노이드에 도선이 1.00 cm 에 100번 씩 감겨 있다. 반지름이 5.00 cm 인 원형회로가 이 솔레노이드를 둘러싸는 모양으로 놓여 있다. 이 회로와 솔레노이드의 축은 일치한다, 솔레노이드에 흐르는 전류가 1.00 A 에서 0.500 A 까지 10.0 ms 동안 균일하게 감소되었다. 원형회로에 유도되는 유도 기전력을 구하여라.

풀이



유도기전력 $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi_B}{dt} = -\dfrac{d(\vec{B}\cdot\vec{S})}{dt}$

솔레노이드의 전류가 변하면 솔레노이드의 면적을 통과하는 자속이 변화하게 되므로 바깥쪽의 원형 회로에 상호유도에 의한 기전력이 발생한다.(여기서 주의 사항: 자기장이 변하는 부분은 솔레노이드의 내부이므로 자기선속을 구할 때 5.00cm 원형회로의 면적을 곱하여 자속을 구하면 안된다.)

솔레노이드의 면적

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d(\vec{B}\cdot\vec{S})}{dt} = -\frac{d}{dt}(\mu_0 ni \cdot \pi r^2) = -\mu_0 n\pi r^2 \cdot \frac{di}{dt}$$

$$= -(4\pi\times10^{-7}\,\frac{T\cdot m}{A})(\frac{100회}{cm}\times100\,\frac{cm}{m})\cdot\pi(2.50\times10^{-2}\,m)^2\cdot\frac{(0.500A-1.00A)}{10ms\left(\frac{10^{-3}s}{ms}\right)-0s}$$

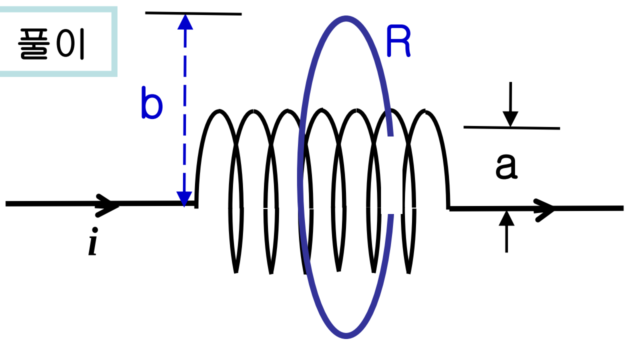
$$= 0.00123V = 1.23mV$$

(2008년 중간 기출 주관식 2번)

[기출문제] 아래 그림과 같이 단위 길이 당 감긴 수가 n 인 솔레노이드가 저항이 R 인 원형도선 속에 놓여 있다. (원형 고리의 축과 솔레노이드의 축은 동일하고 솔레노이드의 반지름은 a, 원형도선의 반지름은 b 이다.)

(1) 암페어의 법칙을 이용하여 솔레노이드에 전류 i 가 흐를 때 솔레노이드 내부에 생기는 자기장의 세기를 구하라, (솔레노이드 외부의 자기장은 무시하고 내부의 자기장은 균일하다고 가정한다.)

풀이

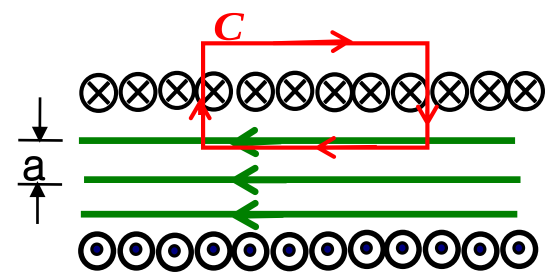


암페어 법칙에 의하여

$$\oint_C \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 i$$

$$\Rightarrow B\, l = \mu_0 (i\ N) = \mu_0 (i\ nl)$$

$$\Rightarrow \therefore B = \mu_0 i\ n$$



(n: 단위길이당 감긴 수, $\frac{N}{l}$)

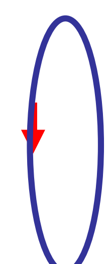
(2) 전류가 i 가 시간에 따라 일정하게 증가할 때 (즉, $\frac{di}{dt} = \beta =$ 상수), 원형고리에 유도되는 전류는 얼마인가?

솔레노이드에 전류가 일정한 비율(β)로 증가하면 솔레노이드의 단면적을 통과하는 자기선속이 시간에 따라 증가하므로 유도 기전력이 발생한다. 이 식에 솔레노이드 단면적과 자기장을 대입한다.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = --\frac{d(BA)}{dt} = -A\frac{dB}{dt} = -\pi a^2 \cdot (\mu_0 n)\frac{di}{dt} = -\mu_0 \mathrm{n} \pi a^2 \beta \qquad (B = \mu_0 i\ n, \quad A = \pi a^2)$$

저항이 R 이고 반경이 b 인 원형고리에 유도되는 전류는 $i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\mu_0 \mathrm{n} \pi a^2 \beta}{R}$ 이며

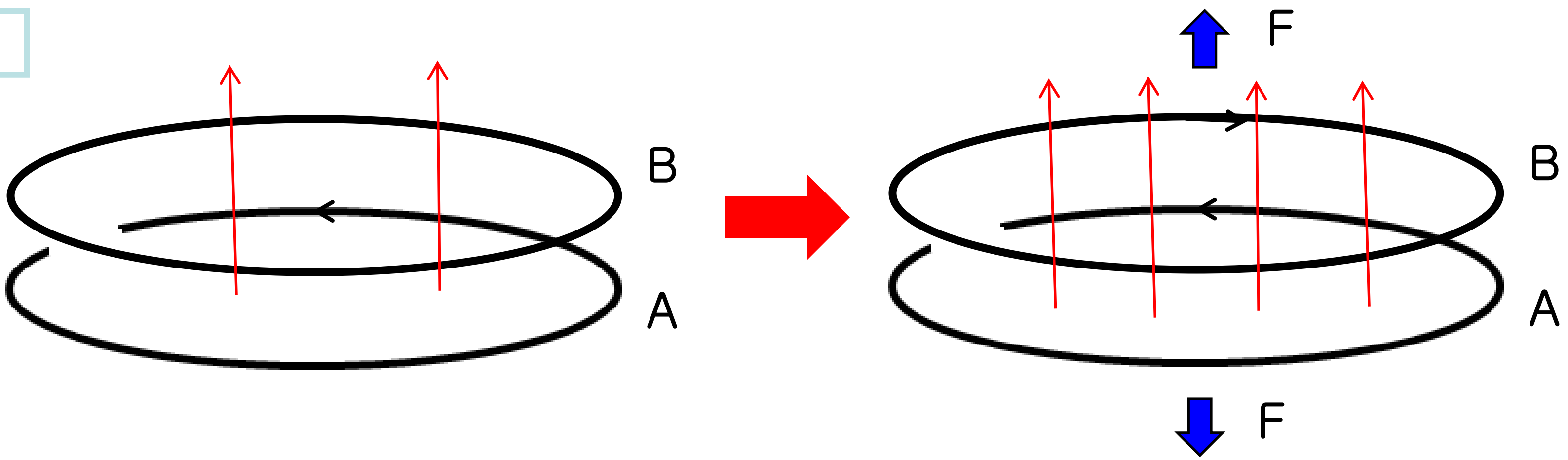
내부의 자속이 증가하므로 렌쯔의 법칙에 의해 방향은 오른쪽 그림과 같다.



기출 2010년 12번

연습 21-9 두 개의 원형 회로 A 와 B 가 그림과 같이 서로 나란히 놓여 있다. 회로 A 에는 반시계 방향으로 전류가 흐르고 있는데, 그 전류가 점점 증가할 때 회로 B 에 유도되는 전류의 방향을 구하여라. 이 때 두 회로 A 와 B 사이에 작용하는 자기력의 방향은 어떻게 되는가?

풀이



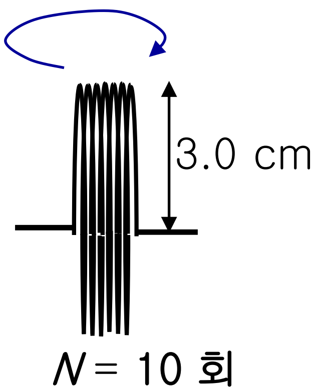
고리 A 의 전류가 증가하므로 고리 B 를 통과하는 자기장은 그림과 같이 윗방향으로 증가하게 된다. 고리 B 에는 이러한 자속의 증가를 막기 위해 유도전류가 시계 방향으로 유도된다. 즉 유도되는 전류의 방향은 시계방향이다.

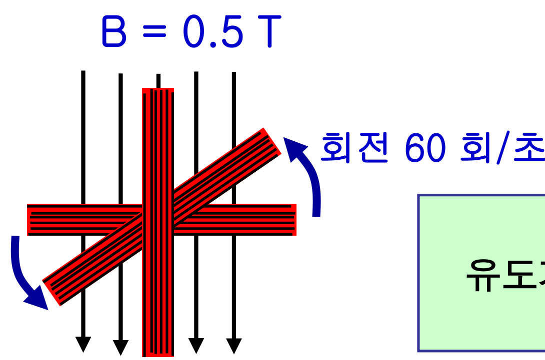
고리 A 와 B 는 서로 반대 방향의 전류가 흐르게 되므로 척력의 자기력이 작용하게 된다.

즉, 서로 밀어낸다

연습 21-12. 원형으로 감겨져 있는 도선이 있다. 감긴 수는 10회이고 반지름은 3.00 cm이다. 자기장이 0.500 T 로 균일하게 분포되어 있는 영역에서 도선이 초당 60회 회전한다. 도선에 유도되는 최대 기전력은 얼마인가? 또 이 때 원형도선이 자기장 내에서 놓여 있는 방향은?

풀이





유도기전력 $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi_B}{dt} = -\dfrac{d\left(\vec{B}\cdot\vec{S}\right)}{dt}$

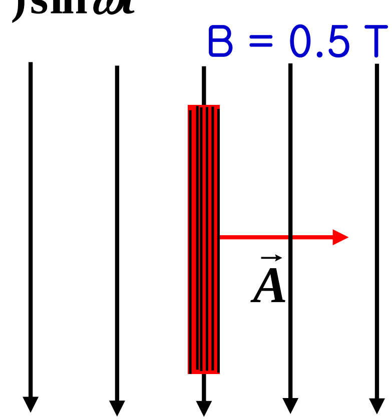
코일을 초당 60회의 진동수(f) 로 회전하므로 코일의 각속도 ω 를 구할 수 있다. 그러므로 코일의 면적을 통과하는 자기선속은 BNA cos ωt 이며 이것의 시간변화율이 유도가전력이다.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}\left[BNA\cos\omega t\right] = BNA\omega\sin\omega t = BN\left(\pi r^2\right)\left(2\pi f\right)\sin\omega t$$

기전력이 최대가 되려면 sin (ωt)=1 이 되어야 하며 이 때의 자기장과 도선의 각도는 90도가 되어야 하며 최대값은 진폭에 해당한다.

$$\varepsilon_m = 10\times(0.500T)\left[\pi\times(0.0300m)^2\right]\left(2\pi\times 60s^{-1}\right) = 5.32V$$

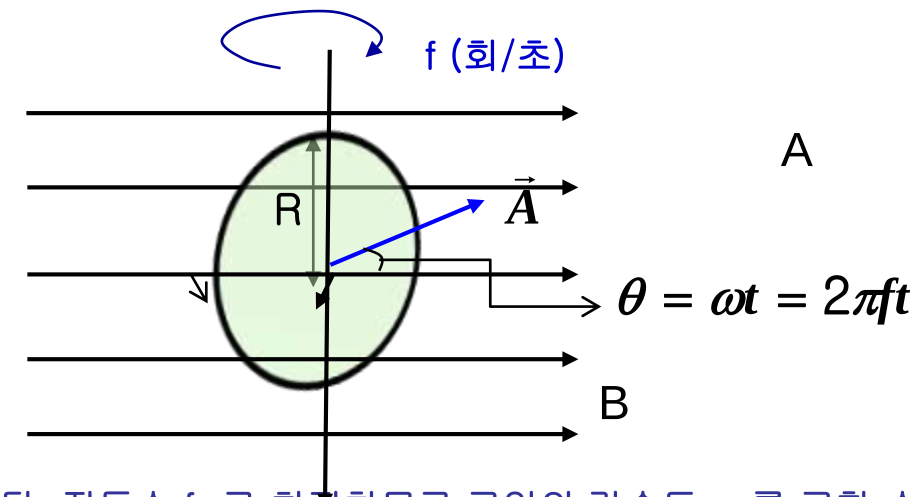
(원형 도선의 면적벡터와 자기장의 면적벡터가 서로 90˚ 가 되어 (다른 말로 원형도선이 자기장과 평행인 경우) 자기장이 원형도선에 통과하지 않을 때의 방향이다)

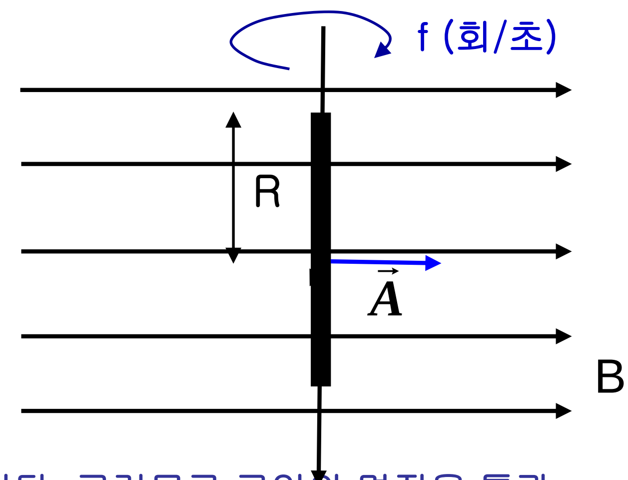


(연습 21-12 와 유사, 2008년 중간 기출 12번)

[기출문제] 반경이 R 인 고리모양의 도선이 균일한 자기장 B 속에 놓여 있다. 원형도선을 한 지름을 축으로 초당 f 번 회전시켜서 얻을 수 있는 최대 유도기전력은 얼마인가?

풀이





코일을 초당 진동수 f 로 회전하므로 코일의 각속도 ω 를 구할 수 있다. 그러므로 코일의 면적을 통과하는 자기선속은 BA cos ωt 이며 이것의 시간변화율이 유도가전력이다.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{d}{dt}\left[BA\cos\theta\right] = -\frac{d}{dt}\left[BA\cos\omega t\right] = -\frac{d}{dt}\left[BA\cos 2\pi f t\right] = BA(2\pi f)\sin(2\pi f t)$$

$$= B\left(\pi R^2\right)(2\pi f)\sin(2\pi f t) = 2\pi^2 R^2 fB\sin\omega t \qquad \left(A = \pi R^2\right)$$

기전력이 최대가 되려면 sin (ωt)=1 일 때 최대 유도기전력이 나타난다.

$$\varepsilon_m = 2\pi^2 R^2 fB$$

(2005년 기출 11,12번)

연습 21-14　수력 발전소의 발전기가 14,000 V 에 12.0 A 의 전기를 발전한다. 이 전기를 송전하기 위해 전압을 140,000 V 로 승압하려고 한다.

(가) 이렇게 승압했을 때의 전류를 구하여라.

(나) 저항이 170 Ω이라고 할 때 송전선에서 열이 발생하는 비율은?

(다) 만일 승압하지 않고 송전한다고 할 때 동일한 송전선에서 열이 발생하는 비율을 구하여라.

풀이　발전소의 발전되는 전력　$\left(P_1 = I_1 V_1 = 14{,}000V \times 12A = 168{,}000\ W\right)$

(가)　10 배 승압 후 전류는 1/10 로 감소한다.

$$I_2 = I_1 \frac{V_1}{V_2} = (12.0A)\frac{14{,}000\,V}{140{,}000\,V} = 1.20A$$

(나)　전력 손실 비율 : 발전기의 발전 전력에 대한 전력손실 $\left(P_{loss} = I_1^2 R\right)$ 의 비

$$\frac{P_{loss}}{P_1} = \frac{(1.20A)^2(170\Omega)}{168{,}000\,W} = 0.001457 = 0.146\%$$

(다)　승압하지 않을 때 전력 손실 비율 : 승압하지 않으면 전류 12 A 이므로 전력손실 $\left(P_{loss} = I_1^2 R\right)$은 더 크다.

$$\frac{P'_{loss}}{P_1} = \frac{(12.0A)^2(170\Omega)}{168{,}000\,W} = 0.1457 = 14.6\%$$

(연습문제 21-14 와 유사) (2016 기출 2번) (2011 기출 2번과 유사-수치만 다름)

[기출문제] 전압이 200 V 이고 전류가 10 A 인 전기를 만드는 발전기가 있다. 이 전기를 전력 손실이 없는 변압기를 이용해 송전 전압을 2000 V 로 올린 후 길이 40 km 인 송전선을 사용해 수송하고 있다, 송전선의 발열에 의한 전력 손실은 발전된 전력의 몇 % 인가? (단, 송전선 1km 의 저항은 0.5 Ω 이다.)

풀이

발전기 전력: $P_1 = I_1 V_1 = 10 \times 200 = 2000(W)$

송전선에 의한 저항 : R=0.5 Ω/km) x 40(km)= 20 Ω

전압을 10 배 승압 하면 전류는 1/10 로 감소한다.

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{10} \Rightarrow I_2 = \frac{1}{10} I_1 = 1A$$

송전선의 발열에 의한 전력손실은 $\left(P_{loss} = I_2^2 R\right)$ 이므로

발전기 전력에 대한 전력 손실의 비는

$$\frac{P_{loss}}{P_1} = \frac{I_2{}^2 R}{I_1 V_1} = \frac{(1)^2 \times (20)}{2000} = 0.01$$

이고 발전기 전력에 대한 전력 손실의 백분율은 1% 이다 . $\left(0.01 \times 100 = 1\%\right)$

(연습문제 21-14 와 유사) (2013년 기출 2번)

[기출문제] 전압이 500 V 이고 전류가 10 A 인 전기를 만드는 발전기가 생각하자. 이 전기를 전력 손실이 없는 변압기를 이용하여 10000V 까지 전압을 올린 후, 총 저항이 100 Ω 인 송전선을 이용하여 전력을 수송하였다. 이 때, 송전선에서의 전력 손실은 원래 발전된 전력의 몇 퍼센트인가?

풀이

발전기 전력: $P_1 = I_1 V_1 = 10 \times 500 = 5000(W)$

송전선에 의한 저항 : R = 100 Ω

전압을 20 배 승압 하면 전류는 1/20 로 감소한다.

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{20} \Rightarrow I_2 = \frac{1}{20} I_1 = \frac{1}{20} \times 10 = 0.5(A)$$

승압한 후 송전선의 발열에 의한 전력손실은 $P_{손실} = I_2^2 R$ 이므로

원래 발전된 전력에 대한 전력 손실의 비율은 다음과 같다.

$$\frac{P_{손실}}{P_1} = \frac{I_2{}^2 R}{I_1 V_1} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 100}{5000} = \frac{25}{5000} = 0.005$$

즉, 승압 후에 송전되는 전력 손실의 전체 전력의 0.5 % 이다.

$$(0.005 \times 100 = 0.5\%)$$

연습문제 (21-14 와 유사) (2017 기출 1번) (2014 기출 2번)

[기출문제] 어떤 발전소에서는 전압 500 V, 전류 10 A 인 전력을 생산한 후 변압기를 이용하여 전압을 20,000 V 로 올려서 송전한다. 이때, 전선에서의 전력 손실이 $P_{손실}$ 이었다, 만약, 승압하지 않고 송전한다면 전선에서 손실되는 전력은 몇 배 더 커지는가?

풀이

발전기 전력: $P_1 = I_1 V_1 = 10 \times 500 = 5000(W)$

송전선에 의한 저항 : R

전압을 40 배 승압 하면 전류는 1/40 로 감소한다.

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{4} \Rightarrow I_2 = \frac{1}{4} I_1 = 0.25A$$

승압한 후 송전선의 발열에 의한 전력손실은 $P_{손실} = I_2^2 R$ 이고

승압하지 않고 송전하는 경우에 대한 전력에 대한 전력 손실을 $P_{손실}' = I_1^2 R$ 라 하면 두 값에 대한 비율은 다음과 같다.

$$\frac{P'_{손실}}{P_{손실}} = \frac{I_1{}^2 R}{I_2{}^2 R} = \frac{(10)^2 \times R}{\left(\frac{1}{4}\right)^2 \times R} = 1600(\text{배})$$

즉, 승압하지 않고 송전한 경우가 승압 후 송전하는 경우보다 1600 배로 전력 손실이 더 크다.

연습문제 21-14 와 유사) (2010년 기출 2번)

[기출문제] 1 km 당 저항이 0.50 Ω 인 길이 20 km 의 송전선을 사용하여 100 kW 의 전력을 수송하려고 한다. 송전선의 발열 손실을 4 % 이하로 하려면 송전 전압을 몇 V 이상으로 해야 하는가?

풀이

수송할 전력: $P_1 = 100(kW) = 10^5(W)$

송전선에 의한 저항 : R = 0.50 (Ω/km)x200(km)=10 (Ω)

승압한 후 송전선의 발열에 의한 전력손실은 $P_{손실} = I_2^2 R$ 이고

전력에 대한 발열 손실이 4% 이하이므로

$$\frac{P_{손실}}{P_1} = 0.04 \Rightarrow P_{손실} = 0.04 P_1 = I_2{}^2 R$$

발열 손실이 4 % 이하가 되려면 최대전류가

$$I_2 = \sqrt{\frac{0.04 P_1}{R}} = \sqrt{\frac{0.04 \times 10^6}{10}} = 20(A)$$

보다 작아야 한다.

승압 전 후의 전력은 일정하게 100kW 이므로 전류와 전력의 관계식으로 부터 승압되어야 할 최소 전압을 구할 수 있다.

$$P_1 = P_2 = I_2 V_2 = 10^5 V \Rightarrow \therefore V_2 = \frac{10^5}{I_2} = \frac{10^5}{20} = 5000(V)$$

(2015년 기출 2번),

연습 21-15 1.00km 당 저항이 0.500 Ω 인 길이 100 km 의 송전선을 사용하여 10,000 KW 의 전력을 수송하려고 한다.

(가) 송전선의 발열 손실을 5 % 이하로 하려면 송전 전압을 몇 V 이상으로 해야 하는가?

(나) 이 때 목적지에서 전압을 5000 V 로 낮추려면 변압기의 2 차 코일의 감은 횟수는 1 차 코일의 감은 횟수의 몇 배가 되어야 하는가?

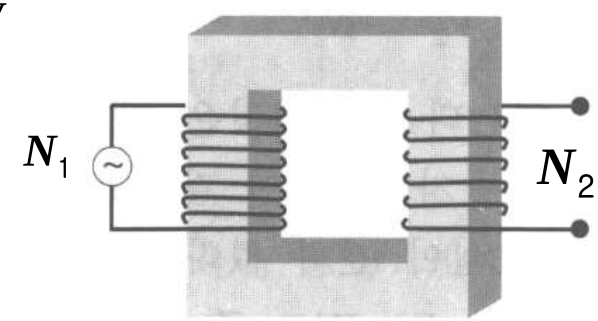
풀이 100km 송전선의 총 저항 : $R=(0.500\Omega/km)\times 100km=50.0\Omega$

(가) 송전할 전력 P=10^7 W 이다. 발전 전력: $P=iV$ 손실 전력: $P_{loss}=i^2R$

발열손실 5% 이하가 되기 위한 조건에서 손실될 전력은 5 x 10^5 W 보다 작아야 한다.

$$\frac{P_{loss}}{P}=\frac{5.00}{100}=\frac{1}{20.0}\Rightarrow P_{loss}<\frac{1}{20.0}\times 10^7=5.00\times 10^5 W$$

따라서 전류는 $$I\le\sqrt{\frac{P_{loss}}{R}}=\sqrt{\frac{5.00\times 10^5\ W}{50.0\ \Omega}}=100A,$$



이고 전력 P=IV 이므로 $$V=\frac{P}{I}=\frac{10^7}{10^2}=10^5V$$

(나) 1차 코일과 2 차 코일의 감은 횟수와 전압과의 관계식에서 감압하려면 2차 코일의 횟수가 작아야 한다.

$$\begin{bmatrix} V_1=10^5(V), \\ V_2=5\times 10^3(V) \end{bmatrix} \qquad \frac{N_2}{N_1}=\frac{V_2}{V_1}\Rightarrow\frac{N_2}{N_1}=\frac{5\times 10^3}{10^5}=\frac{1}{20} \qquad \therefore\frac{N_2}{N_1}=\frac{1}{20}$$

(2006년 기출 1번)

연습 21-16. 반지름이 R 인 원통형 공간에 자기장이 축에 나란한 방향으로 균일하게 분포되어 있다, 자기장이 시간에 따라 일정하게 증가할 때 중심이 축에 있고 반지름이 r 인 원형 고리에 유도된 전기장의 세기는 r 의 몇 제곱에 비례하는가?

풀이

자기선속의 시간변화 때문에 유도기전력이 생성되고 이러한 유도기전력은 결국 시간에 따라 변하는 전기장을 원형고리에 유도시킨다. 전위차와 전기장의 관계식 $\left(\varepsilon = \oint E \cdot dl\right)$ 으로 부터 전기장을 구할 수 있다.

i) r <R 인 경우

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\left(\pi r^2\right)\frac{dB}{dt}$$

$$\varepsilon = \oint E \cdot dl = 2\pi r E = -\left(\pi r^2\right)\frac{dB}{dt}$$

$$\therefore E = -\left(\frac{r}{2}\right)\frac{dB}{dt} \Rightarrow E \propto r$$

(r 의 1 제곱에 비례)

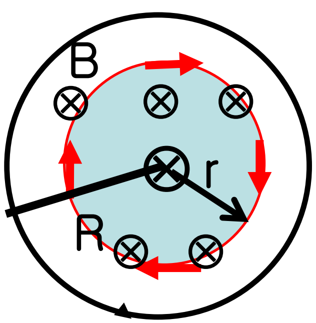
i) r >R 인 경우

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\left(\pi R^2\right)\frac{dB}{dt}$$

$$\oint E \cdot dl = 2\pi r E = -\left(\pi R^2\right)\frac{dB}{dt}$$

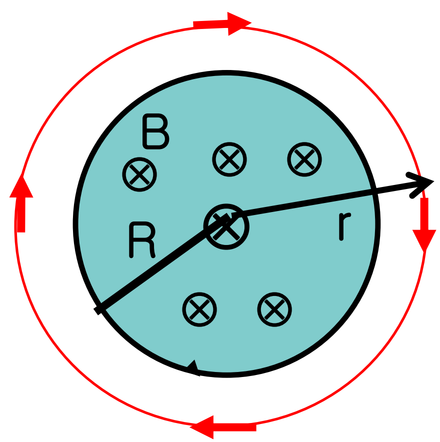
$$\therefore E = -\left(\frac{R^2}{2r}\right)\frac{dB}{dt} \Rightarrow E \propto \frac{1}{r}$$

(r 의 −1 제곱에 비례)



(반경 r 내의 자기선속에 변화에 의해 유도기전력이 생기며 유도전기장이 폐곡선을 따라 유도된다)

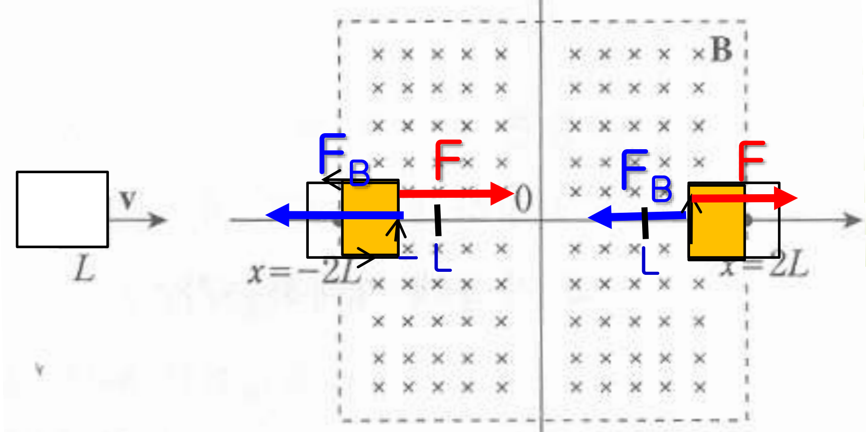
$$\left(\varepsilon = \oint E \cdot dl = 2\pi r E\right)$$



(반경 R 내의 자기선속의 변화에 의해 원통 외부의 반지름의 r 인 폐곡선을 따라 전기장이 유도된다)

연습 21-19. 저항이 R 인 도선으로 만든 정사각형 회로가 일정한 속력 v 로 그림에 보인 균일한 자기장을 가로질러 움직이고 있다. (가) 이 회로를 일정한 속력으로 움직이게 하기 위한 힘을 좌표 x 의 함수로 x=−2L 에서 x=+2L 까지 그래프로 그려라. (나) 이 회로에 유도된 전류를 x의 함수로 그래프로 그려라.

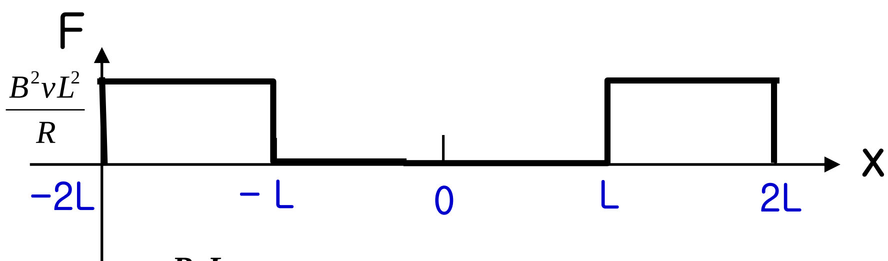
풀이 패러데이 법칙을 이용하여 유도기전력과 유도전류를 구한다. 자기장 속에서 받는 힘은 $\boxed{\vec{F}=i\vec{l}\times\vec{B}}$ 이다.

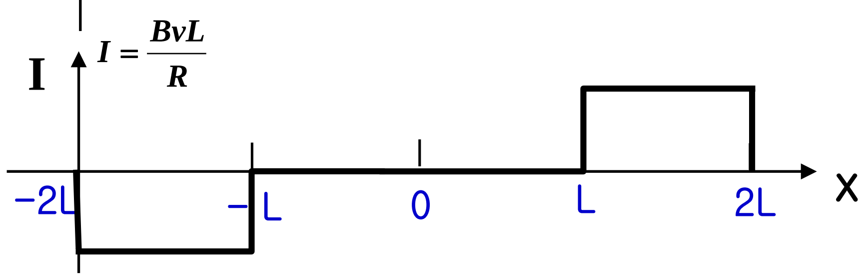


$$\varepsilon=-\frac{d\Phi_B}{dt}=-B\frac{d(S)}{dt}=B\frac{v\Delta tL}{dt}=BvL$$

$$i=\frac{BvL}{R}$$ (유도전류)

$$F=ilB=\left(\frac{BvL}{R}\right)LB=\frac{B^2vL^2}{R}$$





(i) −2L 에서 −L 영역 에서 루프가 지나가는 동안 자기선속은 증가하므로 유도전류는 반시계방향(−)이고 자기력은 왼쪽으로 작용 한다. 따라서 회로를 움직이게 하는 힘은 오른쪽으로(+) 작용해야 한다.

(ii) −L 에서 + L 영역에 루프가 지나는 동안 자속은 변하지 않으므로 유도전류가 발생하지 않는다. 자기력이 0 이다.

(iii) L에서 2L 영역에 루프가 지날 때 자기선속이 감소하므로 유도전류는 시계방향(+)이 되고 자기력은 왼쪽으로 작용한다. 따라서 회로를 움직이게 하는 힘은 오른쪽(+)로 작용해야 한다.

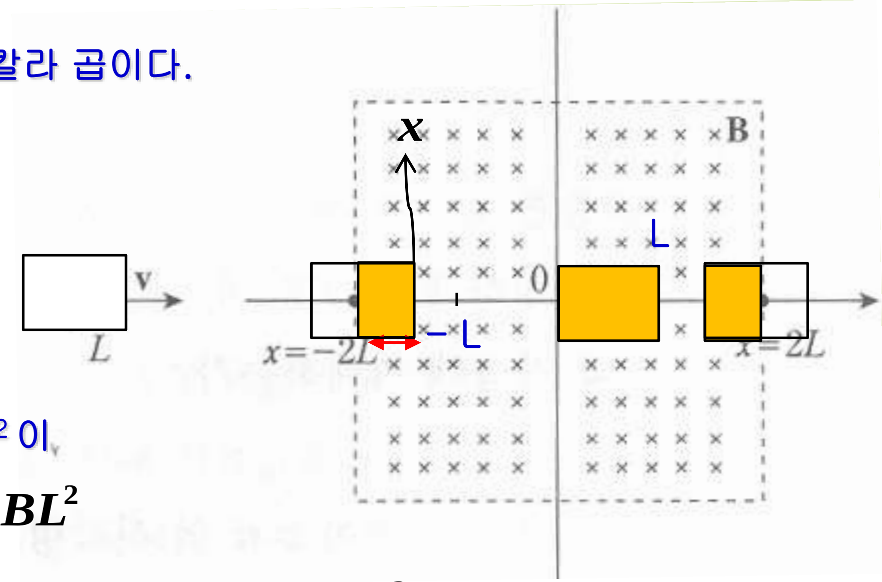
(연습 21-17과 유사) (2007년 기출 주관식 1번)

[기출문제] 저항이 R 인 도선으로 만든 정사각형 회로가 일정한 속력 v 로 아래 그림에 보인 지면으로 들어가는 방향의 균일한 자기장을 가로질러 움직이고 있다. 단, 정사각형 도선의 한 변의 길이는 L , 자기장의 세기는 B 이고 자기장은 $-2L \le x \le 2L$ 인 영역에서만 존재한다.

(가) 정상각형 회로를 통과하는 자기선속 Φ_B 을 회로 앞부분의 위치 x 의 함수로 (모든 x 구간에 대해서) 나타내고 그래프로 그리시오.

풀이 자속은 자기장과 자기장이 통과하는 면적의 스칼라 곱이다.

자속 $\Phi_B = B \cdot A$



$x < -2L$ (통과하는 자기장이 없다.) $\Phi_B = 0$

$-2L \le x < -L$

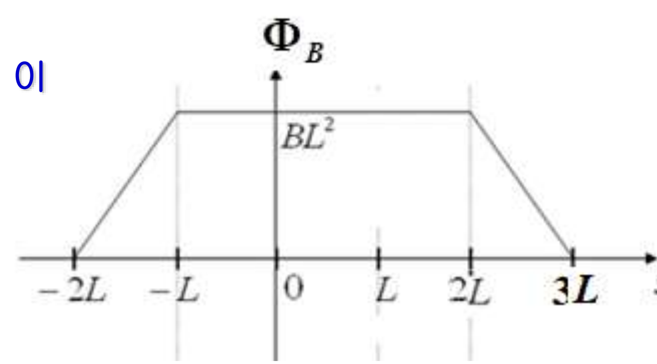
(x=−2L 일 때 0 이고 점점 증가하여 −L 일 때 BL² 이므로 초기조건을 고려한다. $\Phi_B = BLx + 2BL^2$

$-L \le x < 2L$ (이 영역에서는 BL² 으로 일정한 값을 유지한다. $\Phi_B = BL^2$

$2L \le x < 3L$ (x=L 일 때 BL² 이에서 점점 감소하여 2L 일 때 0 이므로 초기조건을 고려한다.

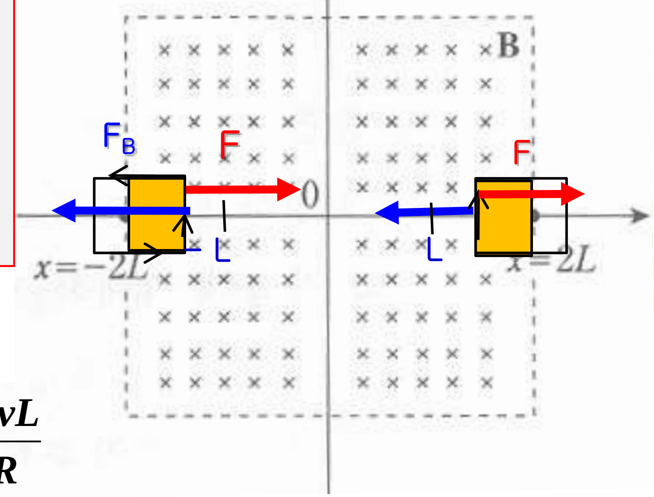
$$\Phi_B = -BLx + 2BL^2$$

$3L \le x$ (통과하는 자기장이 없다.) $\Phi_B = 0$



(연습 21-17과 유사)   (2007년 기출 주관식 1번)

$$\vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B}$$



[기출문제] 계속

(나) 이 회로에 유도된 전류를 x의 함수로 나타내고 그래프로 그리시오.
(단, 여기서 전류의 부호는 시계 방향을 + 로 정의한다.)

(다) 이 회로를 일정한 속력으로 움직이게 하기 위한 힘을 좌표 x 의 함수로 x=−2L 에서 x=+2L 까지 그래프로 그려라.

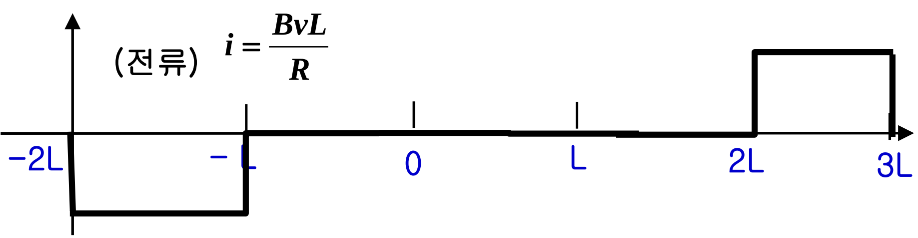
풀이

자속이 변하는 부분(−2L ≤ x < L 과 L≤ x < 2L) 의 패러데이 법칙을 이용하여 유도기전력과 유도전류를 구한다.

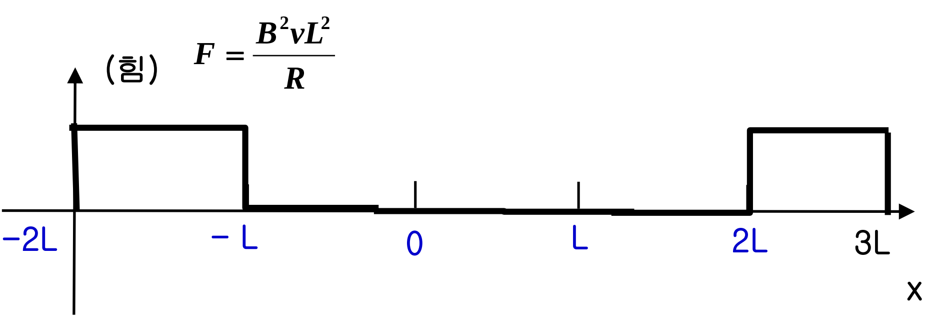
(유도기전력) $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi_B}{dt} = -B\dfrac{d(S)}{dt} = B\dfrac{v\Delta tL}{dt} = BvL$, (유도전류) $i = \dfrac{BvL}{R}$

(회로에 작용하는 힘) 회로가 일정하게 움직이려면 유도전류가 자기장 속에서 받는 자기력과 같은 외력이 작용한다.

$$F_B = \left|i\vec{l} \times \vec{B}\right| = ilB\sin 90^\circ = ilB = \left(\frac{Blv}{R}\right)lB = \frac{B^2l^2v}{R} \qquad \therefore F = F_B = \frac{B^2l^2v}{R}$$



−2L 에서 −L 영역 까지 자기장 영역으로 들어가는 구간은 자기선속은 증가하므로 유도전류는 이것을 방해하는 방향인 반시계방향(−)이고 자기력은 왼쪽으로 작용한다. 따라서 움직이게 하기 위한 힘은 오른쪽으로(+) 작용해야 된다.

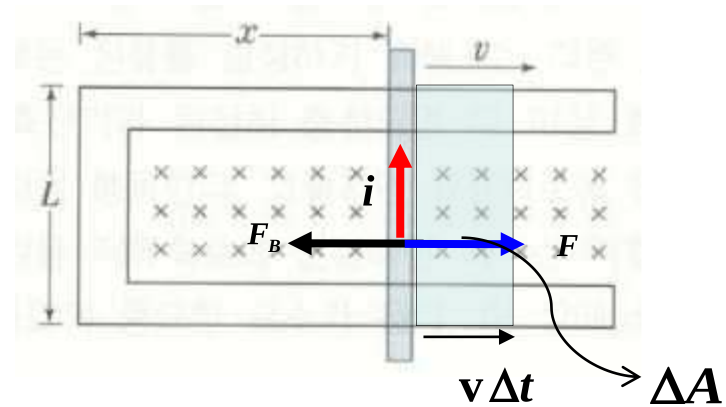


이미 자기장 속으로 도선이 완전히 들어간 −L에서 +2L 영역에서는 도선 내의 자속이 변하지 않으므로 유도전류가 발생하지 않는다. 따라서 자기력이 0 이고 움직이게 하는 힘도 0 다.

2L에서 3L 영역에서는 자기선속이 감소하므로 유도전류는 시계방향(+)이 되고 자기력은 왼쪽으로 작용한다. 따라서 힘은 오른쪽(+) 로 작용해야 한다.

연습 21-20. 저항이 R 인 막대가 자기장이 B 인 균일한 영역에 마찰이 없는 도체 레일 위를 가로질러 놓여 있다. 이 때 다음 질문에 답하여라.

(가) 이 막대가 일정한 속력 v 로 움직이기 위해서 가해져야 할 힘의 크기를 B, R, v, x, v , L 로 나타내어라.



풀이

금속 막대가 속력 v 로 움직이면 자속의 변화가 생기고 이 자속의 변화는 패러데이 법칙에 의해 유도 기전력이 생긴다.

자속의 변화 $\Phi_B = B\Delta A = B(Lv\Delta t)$

유도기전력 $\varepsilon = -\dfrac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\dfrac{B(lv\Delta v)}{\Delta t} = -Blv$

유도 전류의 크기는 $i = \dfrac{\varepsilon}{R} = \dfrac{Blv}{R}$ 이고

방향은 자기 선속의 증가를 억제 하는 방향이므로 시계 반대 방향이다.

유도 전류가 자기장 B 에 놓여 있을 때 발생하는 자기력의 크기는 다음과 같다.

$$F_B = ilB\sin 90^\circ = ilB = \left(\frac{Blv}{R}\right)lB = \frac{B^2l^2v}{R}$$

(자기력의 방향은 왼쪽: v 와 반대 방향)

그러므로 일정한 속력 v 로 막대를 오른쪽으로 움직이려면 자기력과 같은 크기의 힘으로 반대방향인 오른쪽으로 밀어주어야 한다.

연습 21-20. 계속

(나) 이 힘에 의한 일률을 구하여라. (다) 막대에서 소비되는 전력을 구하여라.

풀이

(나) 힘에 대한 일률은 막대의 속도(v)를 곱해서 얻을 수 있다.

$$P = F \cdot v = \frac{B^2 l^2 v}{R} \cdot v = \frac{B^2 l^2 v^2}{R}$$

(다) 막대에서 소비되는 전력

$$P = i^2 R = \left(\frac{Blv}{R}\right)^2 R = \frac{B^2 l^2 v^2}{R} \qquad \Leftarrow \left(i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Blv}{R}\right)$$

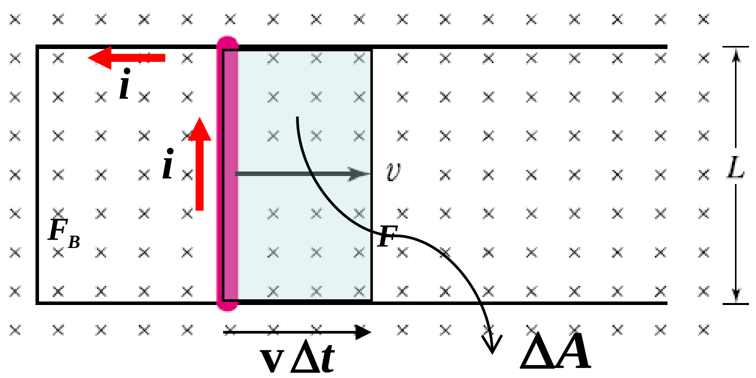
일정한 v 로 막대를 움직이는데 외부에서 해주는 일률은 막대에서 소비되는 일률과 같다.

(2012년 기말 주관식 1번 연습 21-18 과 유사)

[기출문제] 아래 그림과 같이 자기장이 B로 지면에 균일한 영역에서 마찰과 저항이 없는 ㄷ- 자 형 도체 레일 위에 저항이 R 인 금속 막대가 놓여 있다. 자기장 영역에 해당하는 막대의 길이는 L 이다. 이 막대를 오른 쪽 방향으로 일정한 속력 v 로 잡아 당길 때, 다음 질문에 대한 답을 B, R v, L 로 나타내어라.

(가) 막대에 흐르는 전류의 크기와 방향을 구하여라.

풀이 금속 막대가 속력 v 로 움직이면 자속의 변화가 생기고 이 자속의 변화는 패러데이 법칙에 의해 유도 기전력이 생긴다.



자속의 변화 $\Phi_B = B\Delta A = B(Lv\Delta t)$

유도기전력 $\varepsilon = -\dfrac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\dfrac{B(lv\Delta v)}{\Delta t} = -Blv$

유도전류의 크기 : $i = \dfrac{\varepsilon}{R} = \dfrac{Blv}{R}$

방향은 자기 선속의 증가를 억제 하는 방향이므로 시계 반대 방향이다.

(나) 막대에서 소비되는 전력을 구하여라.

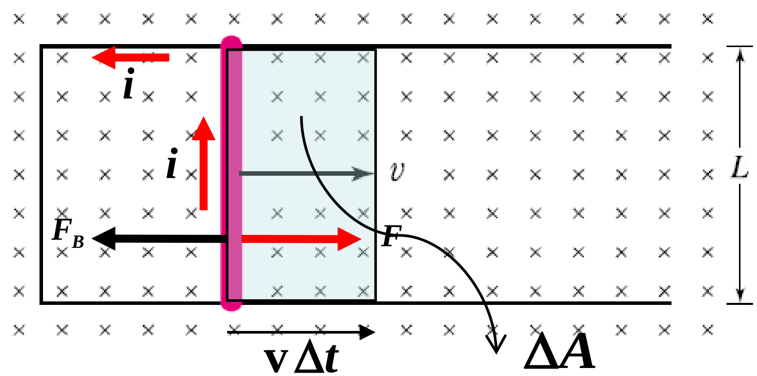
풀이 $P = i^2R = \left(\dfrac{Blv}{R}\right)^2 R = \dfrac{B^2l^2v^2}{R}$ $\Leftarrow \left(i = \dfrac{\varepsilon}{R} = \dfrac{Blv}{R}\right)$

(2012년 기말 주관식 1번 연습 21-18 과 유사)

[기출문제] – 계속

(다) 이 막대를 일정한 속력 v 로 당기는 동안 가해야 할 힘의 크기를 구하여라.

유도 전류가 자기장 B 에 있을 때 발생하는
자기력은 왼쪽이며 크기는 다음과 같다.



$$\vec{F}_B = i\vec{l} \times \vec{B}$$

$$F_B = ilB\sin 90^\circ = ilB = \left(\frac{Blv}{R}\right)lB = \frac{B^2l^2v}{R}$$

한편 막대는 일정한 속력으로 움직이므로 막대를 당기는 외력은 자기력과 같은 크기이고 반대방향이 되어야 한다.

$$\therefore F = F_B = \frac{B^2l^2v}{R}$$

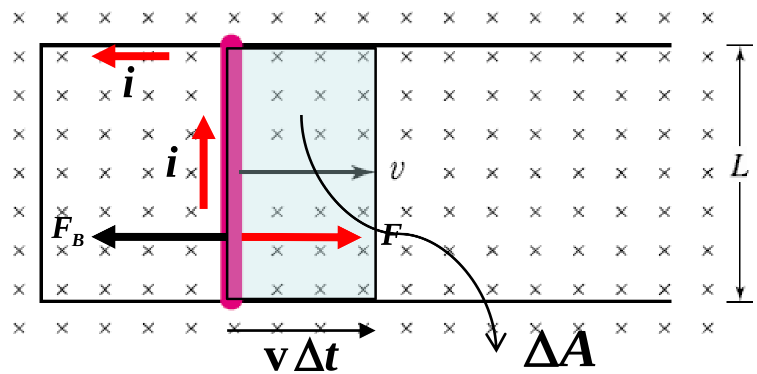
(2017년 기말 주관식 2번, 2016년 기말 주관식1번, 2015 기출 주관식 1번 ,2013년 기출 1번, 2011년 중간 기출 주관식 3번 과 유사, 2008년 중간 기출 11번, 교과서 예제 21.7 과 유사)

[기출문제] 아래 그림과 같이 지면에 수직한 방향의 균일한 자기장 B가 존재하는 곳에 마찰과 저항이 없는 ㄷ- 자 형 도선이 있고 그 위에 저항이 R 인 금속 막대가 놓여 있다. ㄷ- 자 내부에 해당하는 막대의 길이는 L 이다. 금속 막대를 오른 쪽 방향으로 일정한 속력 v 로 잡아 당길 때, 다음 질문에 대한 답을 B, R v, L 로 나타내어라.

(가) 이 회로에 유도되는 기전력의 크기를 구하여라.

풀이

금속 막대가 속력 v 로 움직이면 자속의 변화가 생기고 이 자속의 변화는 패러데이 법칙에 의해 유도 기전력이 생긴다.



자속의 변화 $\Phi_B = B\Delta A = B(Lv\Delta t)$

유도기전력 $\varepsilon = -\dfrac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\dfrac{B(lv\Delta v)}{\Delta t} = -Blv$

(나) 이 회로에 흐르는 유도전류의 크기와 방향을 구하여라.

유도전류의 크기 : $i = \dfrac{\varepsilon}{R} = \dfrac{Blv}{R}$

방향은 자기 선속의 증가를 억제 하는 방향이므로 시계 반대 방향이다.

(다) 이 막대를 일정한 속력 v 로 당기는 동안 가해야 할 힘의 크기를 구하여라.

유도 전류가 자기장 B 에 있을 때 발생하는 자기력은 왼쪽이며 크기는 다음과 같다.

$$F_B = \left|i\vec{l} \times \vec{B}\right| = ilB\sin 90^\circ = ilB = \left(\frac{Blv}{R}\right)lB = \frac{B^2l^2v}{R}$$

한편 막대는 일정한 속력으로 움직이므로 막대를 당기는 외력은 자기력과 같은 크기이고 반대방향이 되어야 한다.

$$\therefore F = F_B = \frac{B^2l^2v}{R}$$

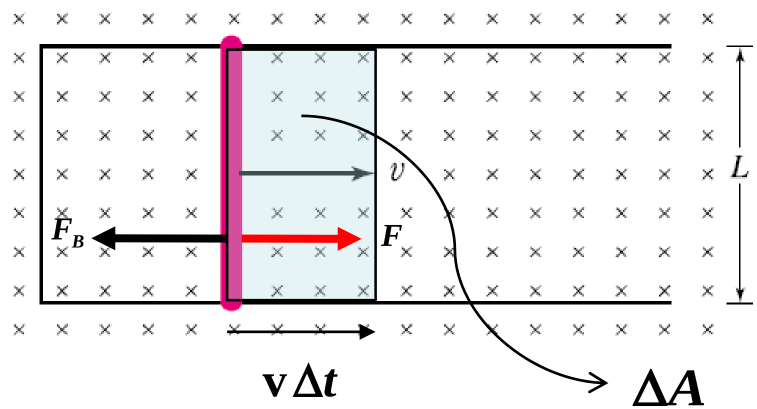
(2011년 중간 기출 주관식3번)

[기출문제] 아래 그림과 같이 저항이 없는 ㄷ- 자 형 도선이 있고 세기가 B 로 일정한 자기장이 모든 영역에서 지면에 수직하게 존재한다. 저항이 R 이고 길이가 L 인 금속 막대가 도선 위에 놓여 있고, 이 막대를 일정한 속력 v 로 끌어 당긴다. 이 때, 다음 질문들에 대한 답을 B, R v, L 로 나타내어라.

(가) 금속 막대에 유도되는 기전력의 크기를 구하여라.

풀이

금속 막대가 속력 v 로 움직이면 자속의 변화가 생기고 이 자속의 변화는 패러데이 법칙에 의해 유도 기전력이 생긴다.



자속의 변화 $$\Phi_B = B\Delta A = B(Lv\Delta t)$$

유도기전력 $$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\frac{B(lv\Delta v)}{\Delta t} = -Blv$$

(나) 금속 막대가 일정한 속력으로 움직이도록 끌어당기는 힘의 크기를 구하여라.

유도전류 : $$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Blv}{R}$$

자기력 : $$\boxed{\vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B}}$$

유도 전류가 자기장 B 에 놓여 있을 때 발생하는 자기력의 크기는 다음과 같다.

$$F_B = \left|i\vec{l} \times \vec{B}\right| = ilB\sin 90^\circ = ilB = \left(\frac{Blv}{R}\right)lB = \frac{B^2l^2v}{R}$$

한편 막대는 일정한 속력으로 움직이므로 막대를 당기는 외력은 자기력과 같은 크기이고 반대방향이 되어야 한다.

$$\therefore F = F_B = \frac{B^2l^2v}{R}$$

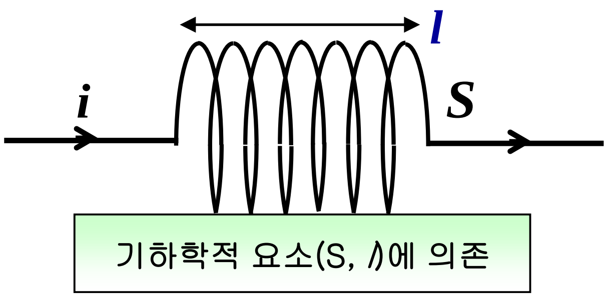
(예제 21. 3 과 유사) **(2014년 기말 기출 1번)**

[기출문제]
단위 길이당 감은 수가 n이며 코일의 단면적이 S인 길이가 l 인 솔레노이드의 인덕턴스는 얼마인가?
(솔레노이드 내부의 자기장 세기는 $B = \mu_0 nI$, 여기서 μ_0 는 진공의 투과상수, i 는 전류 이다)

풀이

인덕턴스는 부피(단면적, 길이)와 비와 단위 길이당 감은 수의 제곱에 비례하는 양이다.

– 솔레노이드의 인덕턴스: $L = \mu_0 n^2 lS$



(예제 21. 8 과 유사) (2015년 기출 1번, 2011년 기출 1번)

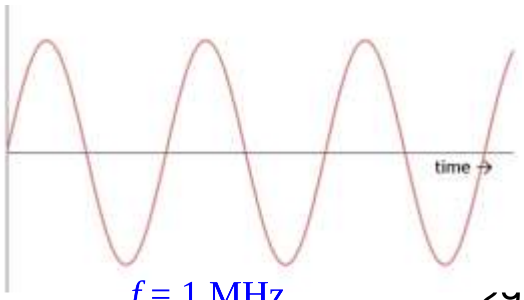
[기출문제]
진동수가 1 MHz인 AM 라디오 파가 진공 중에서 진행하고 있다. 이 라디오 파의 파장은 얼마인가? 공기 중의 빛의 속력은 3 x 10^{8}m/s 이다. (단위 포함)

풀이

전자기파는 속력이 일정하며 진동수와 파장의 곱은 속력이다.

- 전자기파의 파장

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^8\ \mathrm{Hz}}{10^6\ \mathrm{Hz}} = 300\ \mathrm{m} \qquad (\because c = \lambda f)$$



$f = 1$ MHz

(2012년 기출 1번)

[기출문제] 전자기파에 관한 다음 설명 중 옳은 것을 모두 골라라.

(가) 적외선은 엑스선 보다 진동수가 작다.

(나) 자외선은 가시광선보다 파장이 길다.

(다) 마이크로파의 속력은 감마선의 속력보다 작다.

(라) 파란색의 광자는 빨간색의 광자보다 에너지가 크다.

풀이

전자기파의 속력은 **$3x\ 10^8$ m/s** 로 일정하다. **($C= f\,\lambda$)** 전자기파는 진동수**(f)**가 클수록 에너지가 크다. 따라서 파장이 클수록 에너지는 작다. 즉 , 파장과 진동수는 서로 반비례 관 계에 있다.
진동수가 큰 순서로는 엑스선>자외선>가시광선>적외선>마이크로파>장파 의 순서이다.

(2010년 기출 3번)

[기출문제] 아래 전자기파 들에서 파장이 긴 것에서 부터 짧은 순서대로 쓰시오.

(A) 감마선 (B) 마이크로파 (C) 자외선 (D) 적외선

(B) 마이크로파 – (D) 적외선 – (C) 자외선 – (A) 감마선

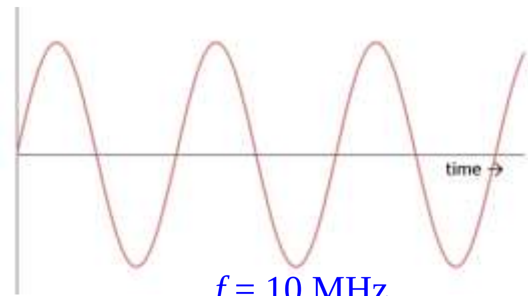
풀이

전자기파는 진동수**(f)**가 클수록 파장은 작다. 파장이 긴 순서로는 장파> 마이크로파> 적외선> 가시광선 >자외선> 엑스선> 감마선의 순서다

(예제 21. 8 과 유사) (2016년 주관식 1번)

[기출문제]
진동수가 10 MHz인 사인파형의 전자기파가 진공에서 x 방향으로 진행하고 있다. 아래 질문에 답하시오.
(가) 이 전자기파의 주기와 파장을 구하시오.

풀이 주기는 진동수의 역수이므로 $$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^7\ \mathrm{Hz}} = 10^{-7}\ \mathrm{s}$$



$f = 10$ MHz

이고 파장은 $$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^8\ \mathrm{Hz}}{10^7\ \mathrm{Hz}} = 30\,\mathrm{m} \qquad (\because c = \lambda f)$$

(나) 이 전자기파의 전기장 진폭이 150 N/C 일 때 전기장에 대한 전자기파의 표현 식 E(*x*, *t*) 를 사인함수로 나타내시오.

풀이 전자기파를 사인 파 형태로 나타내면 공간 **x**, 시간 **t** 에서 전기장 **E (x, t)** 는 다음과 같다.

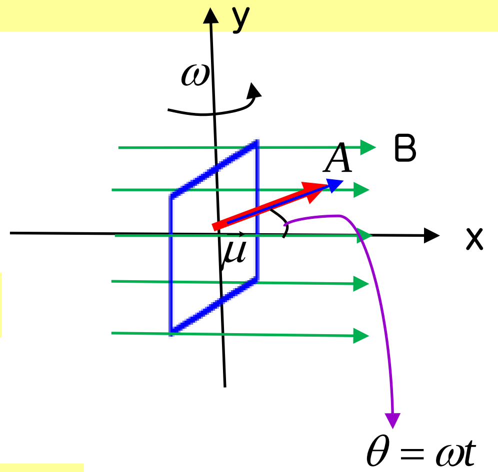
$$E(x,t) = E_m \sin(kx - \omega t)$$

여기서 $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{30}(m^{-1})$, $\omega = 2\pi f = 2\pi\times10^7(s^{-1})$, $E_m = 150(N/C)$ 이므로

$$E(x,t) = E_m \sin(kx - \omega t) = 150\sin 2\pi\left(\frac{x}{30} - 10^7 t\right)(N/C)$$ 이다.

발전문제

연습 21-22 면적이 A 이고 저항이 R 인 직사각형 도선이 있다. 이 직사각형의 한 변에 평행하며 직사각형의 중심을 통과하는 회전축인 y축에 대해 도선이 일정한 각속도 ω로 회전하고 있다. 균일한 자기장이 x축 방향으로 넓게 분포하고 있을 때,



풀이

(가) 도선을 통과하는 선속의 변화를 식으로 나타내라.

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA\cos\omega t \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BA\cos\omega t) = \omega BA\sin\omega t$$

(나) 도선에 발생하는 유도전류와 이에 의한 자기 모멘트를 구하라.

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\omega BA\sin\omega t}{R} \qquad \mu = iA = \frac{\omega BA^2 \sin\omega t}{R}$$

(다) 일정한 각속도로 도선을 회전시키는데 필요한 외부 돌림힘을 구하라.

$$\tau = \mu B\sin\omega t = \left(\frac{\omega BA^2 \sin\omega t}{R}\right) B\sin\omega t = \frac{\omega B^2 A^2 \sin^2 \omega t}{R}$$

(라) 평균 일률을 구하고 저항에서 소모되는 전기에너지의 평균값과 비교하라.

평균 일률: $\langle P \rangle = \langle \tau\omega \rangle = \left\langle \frac{\omega^2 B^2 A^2 \sin^2 \omega t}{R} \right\rangle = \frac{\omega^2 B^2 A^2}{R} \langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{\omega^2 B^2 A^2}{2R}$ $\Leftarrow \langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{1}{2}$

저항에서 소모되는 전기 일률 (단위 시간당 전기에너지 소모율)

$$\langle P \rangle = \langle i^2 R \rangle = \left\langle \frac{\omega^2 B^2 A^2 \sin^2 \omega t}{R^2} \cdot R \right\rangle = \frac{\omega^2 B^2 A^2}{R} \langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{\omega^2 B^2 A^2}{2R}$$