

CHAPTER

02

전기 단위

Electrical Units

■ 학습목표

- 전압과 전류, 저항의 특성과 각 단위에 대해 이해할 수 있다.
- 저항과 컨덕턴스의 관계와 컨덕턴스의 단위인 S를 이해할 수 있다.
- 전류가 저항에 의해 소모되는 전력과 이를 측정하는 단위인 W를 이해할 수 있다.
- 전력과 에너지의 관계를 파악하고, 에너지의 단위를 이해할 수 있다.
- 교류 파형의 주파수 단위인 Hz에 대해 이해할 수 있다.
- 전류가 흐를 때의 자속선 모양과 자성의 단위에 대해 이해할 수 있다.

■ 목차

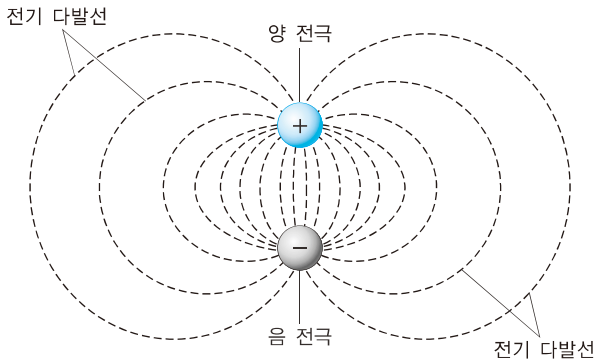
볼트	38
전류 흐름	39
암페어	40
저항과 옴	41
컨덕턴스와 지멘스	43
전력과 와트	44
표기법	46
에너지와 와트시	46
그 외 다른 에너지 단위들	48
교류와 헤르츠	49
정류와 맥동 직류	51
안전	52
자성	53
자성의 단위	54
연습문제	55

직류 회로에서 사용하는 표준 단위에 대해 배워보자. 표준 단위는 교류 시스템에서도 공통적으로 적용된다.

볼트

1장에서 기전력^{EMF} 혹은 전위차의 표준 단위인 V에 대해 배웠다. 두 지점 혹은 두 물체 사이에 전위차가 존재하는 경우에는 항상 전자가 넘치거나 부족하게 되는 정전하의 축적 현상이 발생한다. 발전소, 전기화학 반응, 반도체 칩에 글씨를 새기는 광선 및 기타 현상에서도 전압을 생산할 수 있다. 고정된 자계에 전도체를 통과시키거나 고정된 전도체 주위를 변동하는 자계가 둘러싸는 경우에도 기전력을 얻을 수 있다.

극^{pole}이라 불리는 두 지점 사이에 전위차가 있으면 언제나 [그림 2-1]과 같이 전기 다발선^{electric lines of flux}으로 표시되는 전기장^{electric field}이 생성된다. 여기서 한 쌍의 전하 극을 전기쌍극자^{electric dipole}라 한다. 한 극은 상대적으로 양^{positive}인 전하를 운반하고, 다른 극은 상대적으로 음^{negative}인 전하를 운반한다. 양극은 음극보다 전자가 부족한데, 이때 전자 수는 절대적이 아닌 상대적인 개념이다. 두 극이 완전히 중성적인 전하를 가진 외부의 기준점에 비해 전자가 많거나 부족하더라도 전기쌍극자는 존재한다.



[그림 2-1] 전기 다발선은 항상 전하의 극 근처에 존재한다.

볼트^{volt}는 약자 V로 표시한다. 경우에 따라 볼트보다 작은 단위인 밀리볼트($1\text{mV} = 0.001\text{V}$)나 마이크로볼트($1\mu\text{V} = 0.000001\text{V}$)를 쓰거나, 큰 단위인 킬로볼트($1\text{kV} = 1000\text{V}$)나 메가볼트($1\text{MV} = 1,000,000\text{V}$ 또는 $1,000\text{kV}$)를 쓰기도 한다.

일반적으로 건전지의 두 극에는 1.2V ~ 1.7V의 전위차가 존재한다. 자동차 배터리의 경우는 12V ~ 14V 정도다. 가정에서 사용하는 교류에서는 전위차의 극성이 바뀐다. 이때 전등이나 소형 가전은 117V, 세탁기나 오븐 등의 대형 가전에서는 234V의 전위차가 발생한다.

일부 고출력 무선기기에서는 수천 볼트의 기전력이 발생할 수 있다. 지구상에서는 뇌우, 모래폭풍, 폭발하는 화산 등에서 최대 1MV의 전위차가 발생한다.

전압이 존재한다는 것은 일반 회로에서 전자로 대표되는 전하 운반자가 연결이 잘된 전극 사이를 이동하는 것을 의미한다. 즉 전압이란 전하 운반자를 강제로 움직이게 하는 구동력 혹은 압력으로 볼 수 있다. 다른 조건이 동일한 경우, 고전압은 단위시간당 전하 운반자를 더 많이 흐르게 하므로 저전압보다 많은 전류를 생산한다. 그러나 이는 대부분의 시스템에서 상황을 지나치게 단순화한 것으로, 실제로 다른 모든 요소가 일정하게 유지되는 경우는 거의 없다.

전류 흐름

만일 전위차가 있는 두 극 사이에 전도성 혹은 반전도성 경로가 만들어지면, 전하 운반자는 양극 사이의 전하량이 동일하게 되도록 흐른다. 경로에 문제가 없다면 이 전류는 양극 사이에 전위차가 있는 동안 계속 흐른다.

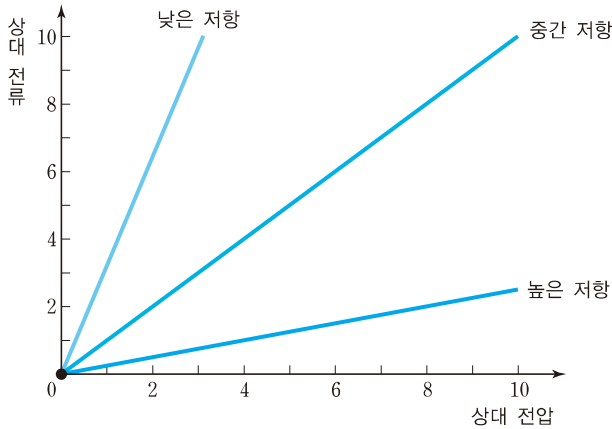
경우에 따라 전류가 한참 흐른 뒤에 두 전극 사이의 전하차가 0으로 줄어들기도 한다. 이 현상은 번개가 치는 경우나 카펫에 발을 끌며 돌아다닌 후에 방사체를 만지는 경우에 발생하는데, 양극 간의 전하가 순식간에 똑같아진다. 반면, 전하가 소멸되기까지 시간이 걸리는 경우도 있다. 건전지의 양극과 음극 사이를 전선으로 직접 연결한다면 몇 분 후에는 완전히 방전된다. 또한 손전등을 만들기 위해 전구와 전지를 연결할 경우 한두 시간 정도는 지나야 전하의 차이가 0이 된다.

가정에서 쓰는 전기회로에서는 전력에 큰 문제가 생기지 않는 한, 절대로 전하차가 0이 되지 않는다. 물론 해서는 안 되는 일이지만, 교류 콘센트를 단락시키면 퓨즈나 차단기가 바로 끊어지고, 전하차는 0으로 떨어진다. 만약 전구를 콘센트에 정상적으로 연결하면 전류가 흘러도 전하차는 정상을 유지한다. 즉 동력 장치는 무수히 많은 전구에 흐르는 전위차를 117V로 유지할 수 있다.

여러분은 전압이 아닌 전류로 인해 발생한 끔찍한 전기 사고에 대한 이야기를 들어본 적이 있는가? 말 그대로 사실이지만, 이는 말장난일 뿐이다. 그것은 ‘불을 피우지 않은 채 열로 사람을 태워버리는 것이다’라는 말과 같다. 그러나 치명적인 전류는 인체에 전류가 흐를 정도의 전압이 존재할 때만 발생한다. 이론적으로는 인체의 저항이 매우 낮을 때 두 손으로 1.5V의 건전지를 만지면 많은 전류가 흐를 수 있지만, 걱정할 필요는 없다. 사실 손전등용 전지를 만지는 것은 위험하지 않지만, 가정에서 사용하는 전원은 조심해야 한다. 117V의 전압은

사람이 사망할 수 있는 정도의 전류를 흐르게 할 수 있다.

옴의 법칙으로 돌아가보자. 컨덕턴스(혹은 저항)가 변하지 않는 전기회로에서 전류는 회로에 가해진 전압에 정비례한다. 전압이 2배가 되면 전류도 2배가 되고, 전압이 $\frac{1}{2}$ 로 줄면 전류도 $\frac{1}{2}$ 로 줄어든다. 이러한 관계를 [그림 2-2]에서 보여준다. 여기서 전원은 시간당 전하 운반자를 필요한 만큼 지속적으로 공급한다고 가정한다.



[그림 2-2] 저항의 정도에 대한 상대 전압 대비 상대 전류

암페어

전류는 어떤 지점에서 단위 시간당 흐르는 전하 운반자의 양을 말한다. 전류 단위는 **암페어** ampere인데, 1암페어는 어떤 지점에서 매 초당 1쿨롱 coulomb의 전하 운반자가 흐르는 것을 나타낸다.

A로 표시하는 **암페어**는 상대적으로 큰 전류 단위이다. 작은 단위로 **밀리암페어**($1\text{mA} = 0.001\text{A}$)나 **마이크로암페어**($1\mu\text{A} = 0.000001\text{A}$ 혹은 0.001mA)를 사용하기도 하고, 경우에 따라 **나노암페어**($1\text{nA} = 0.000000001 = 0.001\mu\text{A}$) 단위를 사용하기도 한다.

수 mA의 전류도 사람에게는 치명적일 수 있다. 50mA 정도면 사람에게 심각한 쇼크를 주고, 100mA의 전류가 심장을 통과하면 사망에 이른다. 가정에서 사용하는 전구에는 0.5A ~ 1A 정도, 다리미에는 약 10A의 전류가 흐른다. 제품의 크기나 용도에 따라 다르지만, 가정용 제품에는 일반적으로 10A ~ 100A 정도의 전류가 흐른다.

회로에 흐르는 전류는 전압과 저항에 따라 다르다. 일부 전기 시스템에서는 1,000A의 전류가 흐를 수 있다. 이 정도 전류는 큰 발전기의 출력단에 금속막대를 놓을 때 발생한다. 금속막대는 저항이 낮으므로 발전기에서는 매 초마다 상당량의 쿨롱의 전하 운반자를 막대에 통과시킬 수 있다. 어떤 전자기기는 몇 nA로 움직이기도 한다. 예를 들어 전자시계의 경우 매우 낮은 전류가 흐르기 때문에 배터리가 오래 간다.

저항과 옴

저항은 회로에서 전류 흐름에 반대되는 양이다. 저항은 정원용 호스의 굵기와 반대로 생각할 수 있다. (컨덕턴스는 정원용 호스의 직경 개념이다.) 금속선에서는 이러한 개념이 잘 맞는데, 직경이 작은 금속선은 직경이 큰 금속선에 비해 저항이 높다.

저항의 표준 단위는 옴^{ohm}이라 하고, Ω(오메가)라는 그리스 대문자로 표시한다. 킬로옴(1kΩ = 1000Ω)이나 메가옴(1MΩ = 1,000,000Ω)도 쓰인다.

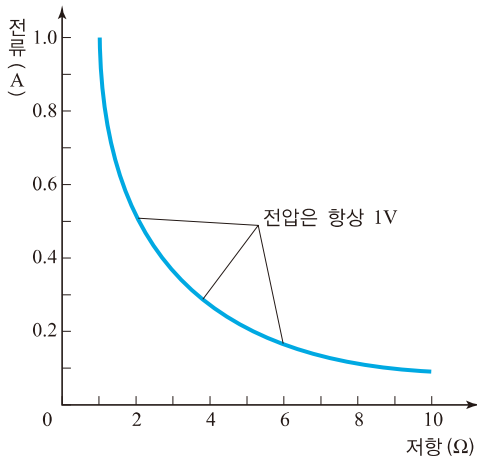
전선은 저항률로 성능을 평가한다. 저항률의 표준 단위는 피트당 저항(Ω/ft) 혹은 미터당 저항(Ω/m)이다. 경우에 따라서 킬로미터당 저항(Ω/km)도 쓰인다. [표 2-1]은 상온에서 미국 전선 규격(AWG)으로 정의된 다양한 구리선의 저항률을 나타낸 것이다.

[표 2-1] 전선 크기에 따른 구리선의 저항률(상온)

전선 치수, AWG #	저항률, Ω/km	전선 치수, AWG #	저항률, Ω/km
2	0.52	18	21
4	0.83	20	34
6	1.3	22	54
8	2.7	24	86
10	3.3	26	140
12	5.3	28	220
14	8.4	30	350
16	13		

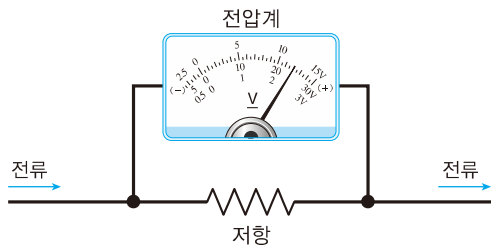
전원장치에서 전하 운반자를 무한히 공급할 수 있다고 가정해보자. 저항값이 1Ω인 소자의 양단에 1V를 인가하면 1A의 전류가 흐르고, 저항이 2Ω이 되면 0.5A의 전류가 흐른다. 저항이 0.2Ω으로 $\frac{1}{5}$ 이 줄면 전류는 1A에서 5A로 5배 증가한다. 이처럼 전압이 일정할 경우 전류는 저항에 반비례한다. [그림 2-3]은 전압이 1V로 고정된 상태에서 다양한 저항값

을 가진 소자를 통과하는 전류를 보여준다.



[그림 2-3] 일정 전압 1V에 대해 저항의 함수로서 전기기기를 통과하는 전류

[그림 2-4]와 같이 전류가 소자를 통과할 때는 소자의 양단에 전위차가 반드시 발생한다. 일정한 저항값을 갖도록 제작된 소자를 저항기 resistor라 하는데, 일반적으로 전위차는 저항을 통과하는 전류에 비례한다. 이 책의 후반부에서 다루겠지만, 이러한 현상은 전자회로를 설계할 때 도움이 된다.



[그림 2-4] 전류가 저항을 가진 소자를 통과할 때는 항상 소자의 양단에 전압이 존재한다.

전기회로에는 항상 저항이 존재한다. 세상에 완전한 도체(저항이 0인 물체)는 없다. 특정 도체의 온도를 절대온도 근처까지 낮출 경우, 물체가 저항을 잃어버려 장시간 동안 전류가 흐를 수 있다. 이러한 현상을 초전도 superconductivity라 한다. 그러나 영구적으로 운동할 수 있는 기계를 만들 수 있는 절대적인 완전 도체는 없다.

세상에 완벽한 무저항 물체가 없는 것처럼 절대 부도체도 존재하지 않는다. 건조한 공기에서도 어느 정도의 전류가 흐르지만, 무시할 수 있을 만큼 미미하다. 일부 전자기기를 선택할 때는 얼마나 부도체의 특성에 가까운지를 판단하여 결정하는데, 대개 비유적인 표현을

사용한다. 실제로 저항이 너무 커서 모든 상황에서 부도체인 것처럼 생각할 수 있다는 의미이다.

전자공학에서 소자의 저항은 소자가 동작하는 환경에 따라서 변화한다. 예를 들어, 트랜지스터의 경우 시간에 따라 저항이 높을 수 있고 낮을 수 있다. 저항값의 변화는 초당 수천~수십억 번 발생할 수 있다. 이런 현상을 이용하여 발진기, 증폭기와 디지털 기기들이 무선 송수신기, 통신망, 컴퓨터 그리고 위성통신에서 여러 가지 기능을 담당한다.

컨덕턴스와 지멘스

저항보다 물질의 컨덕턴스를 이야기하는 경우도 있다. 컨덕턴스의 표준 단위는 지멘스^{Siemens}로, S로 표시한다. 어떤 물체가 1S를 갖는다는 말은 저항이 1Ω이라는 의미다. 만일 저항이 2배가 되면 컨덕턴스는 $\frac{1}{2}$ 로 줄어든다. 반대로 저항이 $\frac{1}{2}$ 로 줄면 컨덕턴스는 2배로 증가한다. 하나의 소자나 회로에서 지멘스로 나타내는 컨덕턴스는 Ω으로 표시하는 저항과 항상 역수다.

저항값을 안다면 $\left(\frac{1}{\text{저항}}\right)$ 을 계산해 컨덕턴스를 구할 수 있다. 역으로 컨덕턴스를 안다면 $\left(\frac{1}{\text{컨덕턴스}}\right)$ 을 계산해 저항값을 구할 수 있다. 계산이나 수식에서 저항은 대문자 이탤릭 R, 컨덕턴스는 대문자 이탤릭 G로 표기한다. 저항과 컨덕턴스의 관계는 다음과 같다.

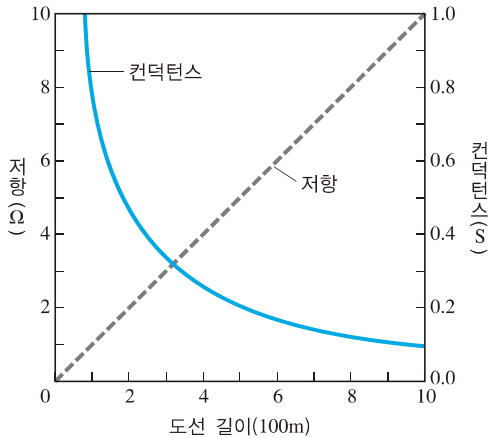
$$G = \frac{1}{R}, R = \frac{1}{G}$$

회로에서는 S보다 작은 단위를 사용할 수 있는데, 밀리지멘스(1mS = 1kΩ)나 킬로지멘스(1kS = 0.001Ω), 메가지멘스(1MS = 0.000001Ω)를 사용하기도 한다. 굵고 짧은 철선은 수 kS의 컨덕턴스를, 굽은 구리 도선이나 은 도선은 수 MS의 컨덕턴스를 갖는다.

저항이 50Ω인 소자의 컨덕턴스는 $\frac{1}{50}$ S 혹은 0.02S(20mS)이다. 컨덕턴스가 20S인 도선의 저항은 $\frac{1}{20\Omega}$ 혹은 0.05Ω이다. mΩ을 사용하지 않지만, 0.05Ω의 도선이 50mΩ의 저항을 갖는다고 말하는 것이 기술적으로는 올바른 표현이다.

소자나 회로, 시스템의 도전율을 결정할 때 주의를 기울이지 않으면 잘못된 값을 계산하게

된다. 예를 들어, $10\Omega/\text{km}$ 의 저항률을 가진 도선의 도전율을 $\frac{1}{10}\text{S}/\text{km}$ 혹은 $0.1\text{S}/\text{km}$ 라고 말할 수 없다. 1km 도선의 컨덕턴스는 0.1S 이지만, 2km 도선은 저항이 20Ω 이 되므로 컨덕턴스가 2배가 아니라 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 도선의 도전율이 $0.1\text{S}/\text{km}$ 이면 2km 의 도선의 컨덕턴스는 0.2S 라고 생각할 수 있지만, 이는 사실과 다르다. 컨덕턴스는 도선의 길이가 증가할 때 감소한다는 사실에 유의하자. [그림 2-5]는 저항률이 $10\Omega/\text{km}$ 인 도선의 길이에 따른 저항과 컨덕턴스의 변화를 보여준다.



[그림 2-5] 저항률이 $10\Omega/\text{km}$ 인 도선의 길이에 따른 저항과 컨덕턴스의 변화

전력과 와트

저항성 소자에 전류가 흐를 때 소자에서 열이 발생한다. 열의 세기는 전력을 나타내는 단위인 **와트** watt로 측정할 수 있으며, 수식에서는 P 로 표시한다. 전력은 기계적인 운동, 전자파, 가시광선 혹은 잡음과 같이 다양한 형태로 나타난다. 그러나 세상에는 효율이 100%인 시스템이 없으므로 전기 및 전자기기에서는 항상 열이 발생한다. 즉, 전력의 일부가 열로 사라진다.

[그림 2-4]를 다시 보면, 실제 전류와 전압이 얼마인지는 모르지만 저항의 양단에 전위차가 발생하고 전류가 흐르는 것을 알 수 있다. 저항 양단의 전압을 $E[\text{V}]$, 전류를 $I[\text{A}]$ 로 보면, 저항에서 소비되는 전력 $P[\text{W}]$ 는 다음과 같다.

$$P = EI$$

직렬로 연결된 건전지 2개를 사용하여 3V 의 전압을 저항(전구라고 가정)에 걸어주고 저항에 0.1A 의 전류가 흐른다고 가정하면, $E = 3\text{V}$, $I = 0.1\text{A}$ 가 된다. 이때 전력 P 는 다음과

같다.

$$P = EI = 3 \times 0.1 = 0.3W$$

전압이 117V, 전류가 855mA 라고 가정하자. 전력을 계산하기 위해 전류를 A 로 환산하면 855mA = 0.855A가 되고, 전력은 다음과 같다.

$$P = EI = 117 \times 0.855 \approx 100W \quad (\text{실제 계산하면 } 103.5W \text{ 임})$$

전력은 밀리وات트(mW), 마이크로와트(μ W), 메가와트(MW)로 표시된다. 지금부터는 접두어만 보고도 어떤 단위를 뜻하는지 알아야 한다. 잘 모르겠다면 [표 2-2]에 표시된 접두어의 승수를 참고하기 바란다.

[표 2-2] 10^{-12} 단위부터 10^{12} 단위까지의 접두어 승수

접두어	기호	승수
피코(pico-)	p	0.000000000001(또는 10^{-12})
나노(nano-)	n	0.000000001(또는 10^{-9})
마이크로(micro-)	μ	0.000001(또는 10^{-6})
밀리(milli-)	m	0.001(또는 10^{-3})
킬로(kilo-)	k	1,000(또는 10^3)
메가(mega-)	M	1,000,000(또는 10^6)
기가(giga-)	G	1,000,000,000(또는 10^9)
테라(tera-)	T	1,000,000,000,000(또는 10^{12})

소자에 흐르는 전류나 전압을 구할 때는 다음 식을 사용한다.

$$I = \frac{P}{E}, \quad E = \frac{P}{I}$$

계산하기 전에는 반드시 표준 단위(V, A, W)로 변경해야 한다. 그렇지 않으면 답이 10의 몇 승 정도로 크거나 작은 값이 될 수 있다.

표기법

간혹 기호와 약자를 이탤릭체로 표기하는 경우가 있는데, 전기전자 분야에서는 다음과 같은 규칙을 사용한다.

- 볼트(V), 암페어(A), 와트(W) 단위의 약자는 이탤릭체로 표시하지 않는다.
- 저항(R), 전지(B), 축전지(C), 인덕터(L)와 같은 물체나 소자류의 약자는 이탤릭체로 표시하지 않는다.
- 킬로(k), 마이크로(μ), 메가(M), 나노(n)와 같이 양을 나타내는 접두어는 이탤릭체로 표시하지 않는다.
- 도표가 일관성이 있는 한, 그림에 명칭이 붙는 점은 이탤릭체로 표시하기도 하고 안 하기도 한다.
- 수학에서 사용하는 시간(t), 진공에서 빛의 속력(c), 속도(v), 가속도(a)와 같은 상수나 변수는 항상 이탤릭체로 표시한다.
- 전압(E 혹은 V), 전류(I), 저항(R), 전력(P)과 같은 전기적인 물리량은 항상 이탤릭체로 표시한다.
- 숫자로 표시된 첨자는 이탤릭체로 표시하지 않는다. 즉 특정 저항 R_2 로는 표시할 수 있지만, R_2 로는 표시하지 않는다. 또한 전류의 양은 I_4 로 표시하지만, I_4 는 틀린 표현이다.
- 숫자가 아닌 아래첨자에 대해서는 일반적인 기호법을 적용한다.

이따금 하나의 그림이나 단락 내에서 사용하는 동일한 기호에 대해, 어떤 곳은 이탤릭체를 사용하는데 어떤 곳은 그렇지 않는 경우가 있다. 예를 들어 R_3 와 R_3 라는 표현이 함께 사용될 수도 있다. 이때 R_3 는 저항기의 조합 중 3번 저항을, R_3 는 세 번째 저항값을 의미한다. 또한 R_n 은 저항기의 조합 중 n 번째 저항임을 뜻하며, R_n 은 저항값의 조합 중 n 번째 저항값을 의미한다.

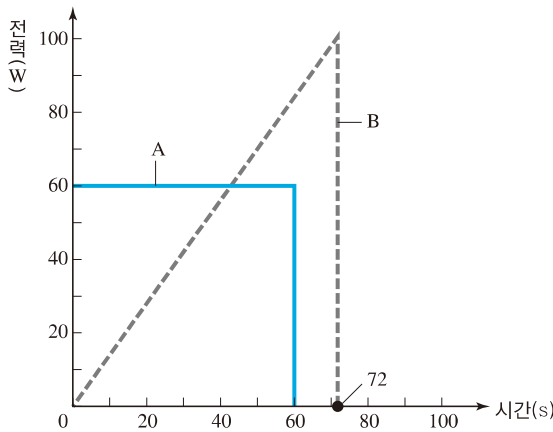
에너지와 와트시

전력과 에너지라는 용어는 같은 의미일까? 그렇지 않다. 에너지^{energy}는 어떤 일정한 시간 동안 소비된 전력을 의미하는 한편, 전력^{power}은 특정 순간에 소모되는 에너지의 순간 소모 비율을 의미한다.

에너지는 줄^{joule}이라는 단위로 측정하고, J로 나타낸다. 1J은 1초 동안 소비된 1W의 에너지인 **와트초(1W·s 혹은 1Ws)**를 의미한다. 전기에서는 **와트시(W·h 혹은 Wh)**나 **킬로와트시(kW·h 혹은 kWh로 표기)**를 많이 사용한다. 시간이 의미하는 바와 같이 1Wh는 1시간 동안 1W가 소비되는 것을 나타내고, 1kWh는 1시간 동안 1kW가 소비되는 것을 나타낸다.

1Wh는 어느 정도 크기의 에너지일까? 60W 전등은 1시간에 60Wh의 에너지를 소비하는데, 이는 1분당 1Wh(1Wh/min)이다. 100W 전등은 $\frac{1}{100}$ 시간(=36초) 동안 1Wh를 소비한다. 따라서 전력이 2배가 되면 1Wh의 에너지를 소비하는 시간은 $\frac{1}{2}$ 로 줄어든다. 그러나 일상에서는 항상 일정하게 전력이 소비되지 않고 시간마다 달라진다.

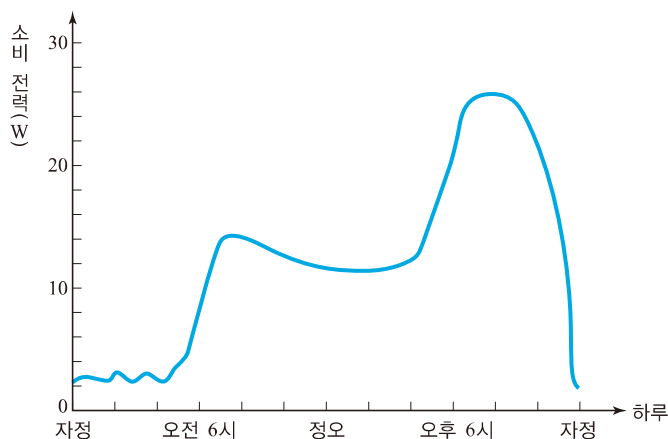
[그림 2-6]에는 1Wh를 소비하는 기기가 2개 있다고 가정했다. 기기 A는 항상 60W를 사용하여 1분당 1Wh 에너지를 소비하고, 기기 B는 0 ~ 60W까지 증가하면서 전력을 소비한다. 그렇다면 기기 B는 실제로 1Wh 에너지를 사용한다고 할 수 있을까? 이를 알아내려면 그림에서 면적을 계산해야 한다. 이 경우 삼각형이 되므로 밑변과 높이를 곱하고 반으로 나눈다. 즉 기기 B는 72초(1.2분 혹은 $\frac{1.2}{60} = 0.02$ 시간) 동안 전력을 공급받고, 면적은 $\frac{1}{2} \times 100 \times 0.02 = 1\text{Wh}$ 가 된다.



[그림 2-6] 1Wh 에너지를 소비하는 기기 2개: 기기 A는 시간에 따라 일정한 양의 전력을 소비한다. 기기 B는 시간에 따라 증가하는 전력을 소비한다.

에너지를 계산할 때는 반드시 단위에 주의해야 한다. [그림 2-6]과 같이 Wh를 사용하려면 전력과 시간을 곱해야 한다. 이때 와트와 분 혹은 와트와 초를 곱하면 단위가 틀려져 잘못된 답을 얻게 된다.

때때로 시간에 대한 전력 그래프는 사각형이나 삼각형이 아닌 복잡한 곡선이 된다. 하루 동안 가정에서 사용한 전력을 시간에 따라 나타내면 [그림 2-7]과 같은 곡선이 될 수 있다. 이러한 곡선의 면적을 계산하는 것은 단순하지 않다. 이때 일정한 시간 동안 소비 전력을 계산하기 위해 다른 방법을 적용할 수 있는데, kWh로 전력을 측정하는 특별한 기기를 사용할 수 있다. 매달 전력회사에서는 사람을 보내거나 무선기기로 전력계에 표시된 kWh로 소비전력을 기록하고, 현재 값에서 지난달의 값을 뺀다. 며칠 후에 1개월 동안 사용한 전기요금 청구서를 발송한다. 전력계(실제로는 에너지 측정계지만 잘못 불리고 있다)는 [그림 2-7]과 같이 불규칙한 곡선의 면적을 고급수학으로 계산하지 않고, 총 소비 전력을 자동으로 측정한다.



[그림 2-7] 하루 동안 가정에서 사용한 전력량(가상)

그 외 다른 에너지 단위들

줄 외에 에너지를 표시하는 단위로 erg가 있다. 1erg는 0.0000001J과 같은 값으로, 적은 양의 에너지를 표시할 때 사용한다.

또한 영국식 열 단위인 Btu^{British thermal unit}는 1055J과 같으며, 공조시설의 냉각 또는 열용량을 나타내는 데 사용한다. 집안에 에어컨이나 난방기를 설치할 경우 시간당 Btu를 통해 얼마나 강력한 기계인지를 설명할 수 있다. 방의 온도를 화씨 85도에서 75도로 냉각하려면 Btu로 정의된 일정량의 에너지가 필요하다. 만약 가정에 에어컨이나 난방기를 설치하려 한다면 전문가를 불러 적합한 제품 크기를 결정해야 한다. 전문가는 가열 또는 냉각 능력에서 기기 가 얼마나 강력해야 하는지를 시간당 Btu로 알려줄 것이다.

줄뿐만 아니라 전자볼트 eV :Electron-Volt라는 에너지 단위도 사용된다. 이는 매우 작은 에너지 단위인데, 0.0000000000000000000016J과 같고 $1.6 \times 10^{-19}J$ 로 표시한다. 1eV란 1V의 전계에서 하나의 전자가 얻는 에너지를 의미한다. 원자를 연구하는 과학자는 메가 전자볼트 MeV($1MeV = 1000000eV$), 기가 전자볼트 GeV($1GeV = 1000MeV$), 또는 테라 전자볼트 TeV($1TeV = 1000GeV$)를 사용한다.

기계 분야에서는 풋파운드(ft-lb)라는 에너지 단위를 사용한다. 1ft-lb는 1파운드 무게를 1ft만큼 수직으로 들어올릴 때의 일의 양으로, 1.356J과 같다.

[표 2-3]은 줄과 다른 에너지 단위의 변환을 보여준다. Wh와 kWh가 포함되어 있는데, 전기전자 분야에서는 두 가지 단위를 다른 것과 연관짓는 경우가 없을 것이다.

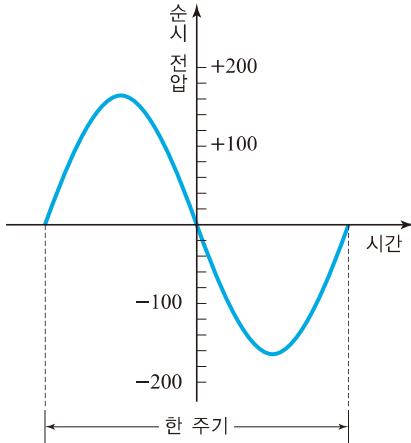
[표 2-3] 줄 및 다양한 에너지 단위 간의 변환 계수

단위	왼쪽의 에너지 단위를 J로 바꾸기 위해 다음의 값을 곱한다.	J로 표시된 에너지(왼쪽)를 에너지 단위로 바꾸기 위해 다음의 값을 곱한다.
영국열량단위 [Btu]	1055	0.000948
전자볼트 [eV]	1.6×10^{-19}	6.2×10^{18}
에르그 [erg]	0.0000001(또는 10^{-7})	10,000,000(또는 10^7)
풋파운드 [ft-lb]	1.356	0.738
와트시 [Wh]	3600	0.000278
킬로와트시 [kWh]	3,600,000(또는 3.6×10^6)	0.000000278(또는 2.78×10^{-7})

교류와 헤르츠

직류 DC: Direct Current는 언제나 같은 방향으로 흐르지만, 가정에서 사용하는 전류는 일정 주기마다 반대로 흐른다. 미국을 비롯한 대부분 나라에서는 $\frac{1}{120}$ 초 주기마다 전류가 반대로 흐른다. 결과적으로 $\frac{1}{60}$ 초가 한 주기이다. 일부 나라에서는 $\frac{1}{100}$ 초 주기마다 전류가 반대로 흘러, $\frac{1}{50}$ 초가 한 주기인 경우도 있다. 이와 같이 주기적으로 전류가 반대로 흐르는 것을 교류 AC: Alternating Current라고 한다.

[그림 2-8]은 일반적인 117V 전압이 시간에 따라 변화하는 것을 보여준다. 자세히 살펴보면 최댓값과 최솟값이 117V가 아니라 165V임을 알 수 있다. 일반적으로 교류에서 유효 전압은 최대 순시 전압이나 정점 전압과 일치하지 않는다. [그림 2-8]에서 유효값은 최댓값에 약 0.707배다. 이론적으로는 유효값은 최댓값 $\times \frac{1}{\sqrt{2}}$ 이 된다. 반대로 최댓값은 유효값의 약 1.414배가 되고, 정확히는 유효값의 $\sqrt{2}$ 배가 된다.



[그림 2-8] 교류(AC)의 한 주기: 순시 전압이란 특정 순간에서의 전압이다. 최대 전압은 거의 $\pm 165\text{V}$ 이다.

Hz 기호로 표시하는 헤르츠 hertz는 교류 주파수의 기본 단위이다. 1Hz란 초당 주기를 나타낸다. 일반적인 교류 주기는 $\frac{1}{60}$ 초이므로 교류는 60Hz 주파수를 갖는다고 한다. 미국에서는 60Hz를 표준 주파수로 사용하고, 일부 지역에서는 50Hz를 사용한다.

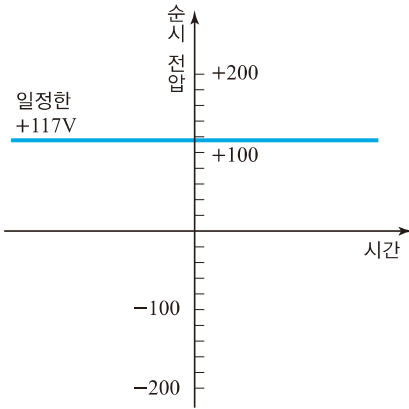
무선통신에서는 kHz, MHz, GHz를 사용하고, 서로 다음과 같은 관계를 갖는다.

- $1\text{kHz} = 1,000\text{Hz} = 10^3\text{Hz}$
- $1\text{MHz} = 1,000\text{kHz} = 1,000,000\text{Hz} = 10^6\text{Hz}$
- $1\text{GHz} = 1,000\text{MHz} = 1,000,000\text{kHz} = 1,000,000,000\text{Hz} = 10^9\text{Hz}$

일반적으로 교류의 모양은 [그림 2-8]과 같으며, 이를 사인파 sine wave 혹은 사인 곡선 sinusoid 이라 부른다.

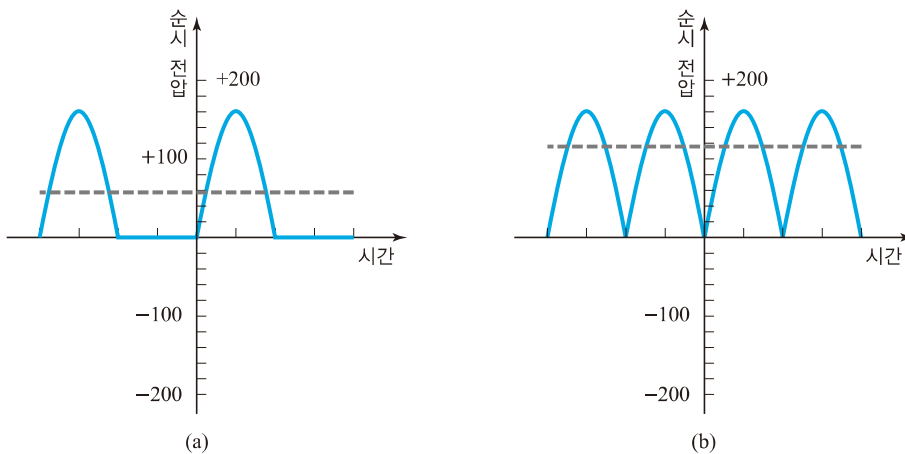
정류와 맥동 직류

배터리나 직류 전원은 [그림 2-9]와 같이 시간에 따른 전압이 직선이나 수평선으로 나타난다. 순수한 직류는 최대 전압과 유효 전압이 같다. 어떤 시스템에서는 배터리 대신 다른 전원으로 부터 전력을 공급받을 때, 순시 직류 전압이 시간에 따라 급격히 교란된다. 예를 들어, 이런 현상은 [그림 2-8]과 같이 사인파를 정류기 회로에 통과시키는 경우에 발생한다. 정류기 회로는 전류를 한 방향으로만 흐르게 하는 회로다.



[그림 2-9] 순수 직류의 표현

정류 rectification는 교류를 직류로 바꿔준다. 정류를 하기 위해서는 다이오드 diode라는 소자가 필요하다. 교류를 정류할 때는 교류의 반을 자르거나 반전시켜 맥동하는 pulsating 직류를 얻는다. [그림 2-10]에서는 두 종류의 맥동하는 직류를 보여준다.



[그림 2-10] 교류의 반파정류와 전파정류를 나타내며 유효 전압은 점선으로 나타냈다.

(a) 교류의 반파정류 (b) 교류의 전파정류

[그림 2-10]에서 (a)는 교류의 한 주기에서 음의 부분을 제거한 것이고, (b)는 한 주기의 음의 부분을 반전시킨 것이다. (a)는 반파만 포함하는 반파정류를, (b)는 2개의 반파를 모두 포함하는 전파정류를 나타낸다. 전파정류기의 출력은 입력과 동일한 방향으로 바뀌지는 않지만 모든 전류가 흐르게 된다.

맥동하는 직류에 대한 유효값과 최댓값은 반파정류인지 전파정류인지에 따라 달라진다. [그림 2-10]을 보면 유효값은 점선으로 나타내고, 순시 전압은 실선으로 나타냈다. 순시 전압은 매순간 변화한다.

[그림 2-10(b)]에서 유효값은 교류 최댓값의 $2^{-1/2}$ 배, 대략 0.707 배가 된다. 그러나 [그림 2-10(a)]에서 유효값은 원래 파형의 $\frac{1}{2}$ 이 손실되므로 최댓값의 $\frac{2^{-1/2}}{2}$ 배, 대략 0.354 배가 된다.

미국에서 사용하는 가정용 전원의 최댓값은 165V, 실효값은 약 117V이다. 만일 이 전압을 전파정류로 만들면 최댓값과 유효값은 같아지고, 반파정류로 만들면 최댓값은 같으나 실효값이 58.5V로 낮아진다.

안전

전기장치와 관련하여 꼭 알아둬야 할 규칙이 하나 있다.

주의

만일 전기장치가 안전한지 혹은 위험한지 모를 경우에는 위험하다고 판단하고 전문가에게 작업을 맡기세요.

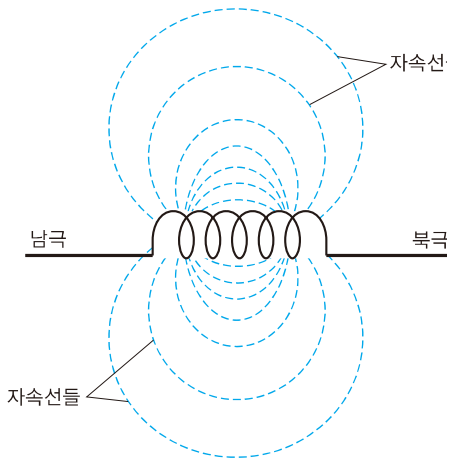
유효값이 117V 인 가정용 전기기기(전자레인지나 세탁기의 경우는 2배)가 잘못되어 전류가 사람의 심장을 지나면 사망에 이를 수 있다. 점화 코일과 같은 장치는 자동차 배터리로부터 치명적인 전류를 만든다. 어떤 종류의 회로, 절차, 장치가 안전한지 그렇지 않는지 확신이 들지 않는다면 전문가에게 문의하는 편이 좋다.

자성

전류가 흐를 때, 즉 전하가 움직이면 자기장 magnetic field이 발생한다. 직선의 도선에 전류가 흐르면 도선을 중심으로 자력선 magnetic lines of flux이 원형으로 생긴다. 자력선은 형체가 눈에 보이지는 않지만, 자기장을 표현할 때 유용하다. 예를 들어, 1cm^2 당 100개의 자속선과 같이 단위면적당 자속선 수를 자기장의 세기를 표시하는 용어로 사용한다.

자기장은 특정 물질의 원자가 정렬될 때마다 생겨난다. 철은 이런 성질을 갖는 대표적인 물질이다. 지구의 핵에 있는 철 원자는 지구 자전과 태양의 자기장에 대한 철 원자의 운동에 의해 정렬된다. 지구를 둘러싸고 있는 자기장은 대전된 입자들이 한쪽으로 집중되는 흥미로운 현상을 만든다. 이로 인해 태양 폭풍이 진행되는 동안 오로라 현상을 볼 수 있다.

전선을 감아서 코일을 만들면 지구를 둘러싸고 있는 자기장과 같은 모양의 자력선이 만들어진다. [그림 2-11]과 같이 두 자극이 만들어지는데, 철이나 금속 혹은 자화가 잘 일어나는 특별한 물질로 코일심을 만들면 자기장의 세기가 증가한다. 이러한 물질을 강자성체 ferromagnetic materials라 한다.



[그림 2-11] 전류가 흐르는 도선 주위를 둘러싼 자속선들: 자속선들은 자극에 모여든다.

강자성 심은 코일 주변 자기장의 전체 양이 아닌 세기를 증가시킨다. 이는 전자석의 동작 원리로, 변압기 동작에도 이용된다. 기술적으로 한쪽 자극(북극자)에서 방출된 자속선은 다른 쪽 자극(남극자)으로 향한다. 따라서 자장은 코일을 둘러싸고 있는 공간을 통해 코일의 한쪽 끝에서 다른 쪽 끝으로 흐른다.

자성의 단위

자기장의 크기는 웨버 Wb : weber 라는 단위를 사용한다. $1Wb$ 는 1볼트초($1V \cdot s$)와 같다. 좀 더 세기가 약한 자장에 대해서는 맥스웰 Mx : Maxwell이라는 단위를 사용하며, $1Mx$ 은 $0.00000001Wb$ 혹은 $0.01\mu V \cdot s$ 와 같다.

자기장에서 자속선의 밀도는 m^2 나 cm^2 당 Wb 또는 Mx 로 표현할 수 있다. 자속선의 밀도가 m^2 당 $1Wb$ 인 경우($1Wb/m^2$)를 1테슬라 T : Tesla라고 한다. 1가우스 G : Gauss는 $0.0001T$ 또는 $1Mx/cm^2$ 와 같다.

일반적으로 도선에 흐르는 전류가 증가하면 도선 주변의 자속선 밀도도 증가한다. 동일한 전류가 흐를 때 코일 형태로 된 도선은 직선 형태의 도선보다 훨씬 높은 밀도의 자속선을 만들어낸다. 또한 동일한 전류가 흐르고 동일한 직경의 코일이 많이 감겨질수록 코일 주변의 자속선 밀도도 증가한다.

자기장의 세기를 암페어-턴 At : Ampere turn으로 나타내기도 한다. At 은 기자력의 세기를 표현한다. $1A$ 의 전류가 흐르는 도선이 폐곡선 1개로 되어 있을 때 $1At$ 이라는 기자력을 만들어 내며, 도선이 두 번 감기면 기자력은 2배가 된다. 물론 전류가 2배가 되어도 기자력이 2배로 증가한다. 가령 $10A$ 의 전류가 흐르는 도선이 10번 감겨 있는 코일의 기자력은 $100At$ 이 된다. 또한 $100mA$ ($0.1A$)의 전류가 흐르는 도선이 200번 감겨 있는 코일에는 $20At$ 의 기자력이 발생한다.

간혹 길버트 Gb : Gilbert라는 기자력 단위를 사용하는데, $1Gb$ 는 $0.796At$ 과 같다. 반대로 $1At$ 은 $1.26Gb$ 가 된다.

※ 필요하다면 이 장의 본문 내용을 참고해도 된다. 적어도 18개 이상 맞는 것이 바람직하다. 정답은 부록 A에 있다.

2.1 일정한 전기쌍극자에서 음전하의 중심은 어떤 상태인가?

- (a) 양전하 중심보다 전자 수가 더 많다.
- (b) 양전하 중심과 전자 수가 동일하다.
- (c) 양전하 중심보다 전자 수가 더 적다.
- (d) 양전하 중심보다 전자 수가 더 많을 수도, 적을 수도 있다.

2.2 저전압보다 고전압에서 감전 위험이 더 크다. 그 이유는 무엇인가?

- (a) 고전압이 많은 전하를 운반하기 때문이다.
- (b) 고전압이 보다 강한 자기장을 만들어내기 때문이다.
- (c) 고전압이 일정한 저항에서 큰 전류를 흘리기 때문이다.
- (d) 고전압이 월등히 큰 컨덕턴스를 만들어내기 때문이다.

2.3 소자의 양단의 전위차가 일정한 경우, 전류가 4배 흐르면 소자의 전력 소모는 어떻게 되는가?

- (a) 4배가 된다.
- (b) 2배가 된다.
- (c) $\frac{1}{2}$ 배가 된다.
- (d) $\frac{1}{4}$ 배가 된다.

2.4 컨덕턴스가 10mS이면 저항은 얼마인가?

- (a) 0.01 Ω
- (b) 0.1 Ω
- (c) 10 Ω
- (d) 100 Ω

2.5 저항이 470 Ω 이면 컨덕턴스는 얼마인가?

- (a) 2.13mS
- (b) 46.1mS
- (c) 1500 μ S
- (d) 4.53 μ S

2.6 6V의 배터리로 동작하는 손전등에 10A 직류 차단기가 장착되어 있다고 하자. 차단기가 정상적으로 동작하는 것을 트립(전력이 차단되는 것)이라 한다. 배터리에 얼마 이상의 전력이 소비될 때 차단기가 동작하는가?

- (a) 600mW
- (b) 1.67W
- (c) 16W
- (d) 60W

2.7 열용량이 500Btu인 난방기의 소비 전력은 얼마인가?

- (a) 147kWh
- (b) 14.7kWh
- (c) 1.47kWh
- (d) 답 없음. Btu는 전력 단위가 아니라 에너지의 단위다.

- 2.8** 12V의 배터리가 전구에 6W를 공급하고 있다. 전등에 흐르는 전류는 얼마인가?
- (a) 250mA
(b) 500mA
(c) 2A
(d) 4A
- 2.9** 전선 2km의 컨덕턴스가 800mS라고 할 때, 동일한 전선이 1km가 되면 컨덕턴스는 얼마인가?
- (a) 200mS
(b) 400mS
(c) 1.6Sm
(d) 3.2S
- 2.10** 전력의 단위는 무엇인가?
- (a) erg
(b) kW
(c) J
(d) Wh
- 2.11** 교류가 5초마다 한 주기를 반복한다면 주파수는 얼마인가?
- (a) 25Hz
(b) 5Hz
(c) 0.2Hz
(d) 0.04Hz
- 2.12** 미국에서 사용하는 교류 전원의 주파수는 얼마인가?
- (a) 60Hz
(b) 120Hz
(c) 50Hz
(d) 100Hz
- 2.13** 전파정류기의 설명으로 옳은 것은 무엇인가?
- (a) 교류 파형의 반은 반전되고, 나머지 반은 잘린다.
(b) 교류 파형의 반은 변화가 없고, 나머지 반은 잘린다.
(c) 교류 파형 전부가 반전된다.
(d) 교류일 때와 같은 회로가 된다.
- 2.14** 저전압 직류의 설명으로 옳은 것은 무엇인가?
- (a) 훌륭한 도전성을 갖는다.
(b) 높은 저항을 만들어낸다.
(c) 많은 전류를 만들어내지 못한다.
(d) 항상 자기장을 만들어낸다.
- 2.15** 원형으로 4번 감은 코일에 전류 1A가 흐른다고 가정하자. 코일의 반경만 2배로 증가시키면 기자력은 어떻게 변하는가?
- (a) 2배가 된다.
(b) 동일하다.
(c) 0.707배가 된다.
(d) $\frac{1}{2}$ 배가 된다.
- 2.16** 원형으로 4번 감은 코일에 전류 1A가 흐른다고 가정하자. 코일을 감은 횟수만 8번으로 증가시키면 기자력은 어떻게 변하는가?
- (a) 16배가 된다.
(b) 4배가 된다.
(c) 2배가 된다.
(d) 동일하다.

2.17 다음 중 자속선의 밀도를 나타내는 단위는 무엇인가?

- (a) A/C
- (b) At
- (c) Mx/cm^2
- (d) G/cm

2.18 사인파의 교류가 입력될 때 반파정류기는 어떤 상태가 되는가?

- (a) 최대 출력 전압보다 낮은 유효 출력 전압을 갖는다.
- (b) 최대 출력 전압과 유효 출력 전압은 동일하다.
- (c) 최대 출력 전압보다 높은 유효 출력 전압을 갖는다.
- (d) 입력 유효 전압과 동일한 출력 유효 전압을 갖는다.

2.19 사인파의 교류가 입력될 때, 전파정류기는 어떤 상태가 되는가?

- (a) 최대 출력 전압보다 낮은 유효 출력 전압을 갖는다.
- (b) 최대 출력 전압과 유효 출력 전압은 동일하다.
- (c) 최대 출력 전압보다 높은 유효 출력 전압을 갖는다.
- (d) 입력 유효 전압과 동일한 출력의 유효 전압을 갖는다.

2.20 다음 중 기자력을 나타내는 단위는 무엇인가?

- (a) Vt
- (b) C
- (c) G
- (d) Gb