

고등학교

전기 회로





머리말

전기는 우리 생활에서 빼놓을 수 없는 중요한 에너지 자원으로, 가정용 가전제품부터 스마트폰과 컴퓨터, 나아가 대형 산업 장비를 작동시키는 데 없어서는 안 되는 존재이다. 전기가 없다면 현대 인류 문명은 지속되기 어려울 정도이다. 그러므로 미래의 전문 기술인을 꿈꾸는 고등학생에게 전기 회로의 기초 지식을 배우는 것은 매우 중요하다. 이 교과서는 2022 개정 교육과정에 의거하여 전기 회로의 기본 개념을 처음 접하는 고등학생을 위해 개발되었다.



왜 전기 회로를 배우는가?

전기 회로에 대한 이해는 단순히 과학 기술 이론을 배운다는 차원을 넘어 실생활에서의 전기 활용 능력을 길러 준다. 예를 들어 가정에서의 전기 에너지 활용과 안전 사용 문제를 해결함은 물론 나아가 전기 공학, 전자 공학, 컴퓨터 공학 등 다양한 전문 분야로 진출하기 위한 기초를 쌓을 수 있다. 또한 전기라는 자연 현상에 대한 이해를 통해 창의적 문제 해결 능력과 논리적 사고력을 기르는 데 도움을 받을 수 있다.

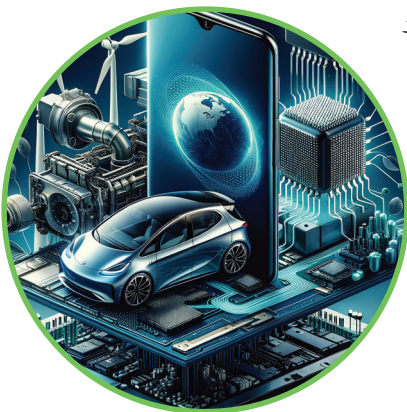
2022 개정 교육과정 전기 회로 교과서는 다음과 같이 구성되어 있다.

I. 전기 회로의 개요

전기와 자기의 역사를 소개하고, 전기 회로의 중요성을 이해한다. 또한, 전기 공학의 이해와 전기 기술 활용을 위해 필수적으로 알아야 하는 단위와 개념에 대해 학습한다.

II. 전기

물질의 구조로 인해 전기 현상이 발생함을 이해하고, 정전기 현상과 정전기력, 전기장, 전위의 개념을 학습한다. 또한, 전기와 관련된 기초적인 물리 법칙을 수식을 활용해 계산해 보고, 간단한 전기 회로에 적용해 본다.



Ⅲ. 자기

자석의 성질과 자기력에 의해 발생하는 자기장을 이해하고, 간단한 수식을 통해 자기장의 세기 등을 계산할 수 있다. 또한, 전자기 유도 현상을 통해 전기와 자기가 하나의 물리 현상임을 이해하고, 실생활에서 발전기의 원리 등으로 활용됨을 배울 수 있다.

Ⅳ. 직류 회로

전기 회로를 구성하는 다양한 회로 소자의 특성을 이해하고, 직류 전원과 연결된 전기 회로의 특성을 분석할 수 있다. 또한, 전기 회로에 전류가 흐를 때 발생하는 발열 작용과 화학 작용 등에 대해 배우고, 실생활에서의 응용에 대해 학습할 수 있다.

Ⅴ. 교류 회로

교류의 발생 원리에 대하여 이해하고 교류 회로의 특성을 분석할 수 있으며, 발전기의 원리로 활용되는 3상 교류 회로의 원리와 특성을 살펴보고, 전력 측정 및 회로 결선 방법 등을 학습한다. 그 밖에 실생활에서 교류 회로가 활용되는 다양한 사례에 대하여 학습한다.

이상과 같이 전기 회로 교과서는 이론과 실습을 균형 있게 제시하여 전기 회로를 처음 학습하는 학생들이 회로를 직접 설계해 보고 실험할 수 있도록 구성되었다. 각 단원의 끝에는 학습 평가를 위한 문제와 실습 과제를 제시하고 있어 학습 내용을 충분히 이해하고 복습할 수 있도록 구성되어 있다.

마무리하며

고등학생 수준에서 전기 회로의 개념을 이해하고 실습을 거치며 배우는 과정은 결코 쉽지 않을 수 있다. 하지만 꾸준히 이론을 익히고 실습을 병행하여 학습한다면 점차 문제를 해결하는 과정에서 큰 성취감을 얻을 수 있을 것이다. 부디 전기 회로를 처음 배우는 학생들에게 이 교과서가 작은 도움이라도 되기를 바라며, 향후 전기 분야의 전문 직업인으로 성장하는 데 밑거름이 되기를 기대한다.

저자 일동





전기 회로의 이해를 돕는 구성과 특징

대단원

- 단원 관련 사진과 개관을 통해 전체 학습 내용을 파악하여 핵심 역량과 성취 목표를 알 수 있도록 하였다.



01 물질의 구조와 정전기 현상

01 물질의 구조와 정전기 현상

▶ **수업상호도 열람하기**

▶ **관련도 세 달은 열람하기**

▶ **관련도 열람하기**

▶ **관련도 열람하기**

▶ **관련도 열람하기**

▶ **관련도 열람하기**

▶ **관련도 열람하기**

| 구분 | 구분 | 구분 |
|----|----|----|
| 구분 | 구분 | 구분 |
| 구분 | 구분 | 구분 |
| 구분 | 구분 | 구분 |
| 구분 | 구분 | 구분 |
| 구분 | 구분 | 구분 |

30 / 1

1 세상의 근원 물질은 무엇일까?

▶ **01 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **02 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **03 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **04 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **05 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **06 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **07 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **08 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **09 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **10 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **11 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **12 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **13 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **14 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **15 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **16 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **17 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **18 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **19 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **20 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **21 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **22 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **23 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **24 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **25 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **26 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **27 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **28 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **29 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

▶ **30 세상의 근원 물질은 무엇일까?**

중단원 / 소단원

- 학습과 관련된 동영상과 소개하여 학습자의 정보 검색 능력을 기르고, 생각열기를 통해 학습 내용에 대한 흥미를 유발하며 사고력을 확장할 수 있도록 하였다.
- 교육과정의 성취 기준과 핵심 용어를 제시함으로써 학습 목표를 파악하여 학습의 일관성이 유지되도록 하였다.

핵심 개념 / 예제

- 성취 기준에 따라 핵심 개념을 중심으로 학습자의 수준에 맞도록 내용을 구성하였으며, 예제를 통해 핵심 개념의 이해 여부를 확인하도록 구성하였다.
- 쉽고 재미있는 설명과 그림 자료로 구성된 본문으로 핵심 개념을 쉽게 알 수 있도록 하였다.

01 양전하와 음전하의 상호작용

▶ **01 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **02 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **03 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **04 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **05 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **06 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **07 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **08 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **09 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **10 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **11 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **12 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **13 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **14 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **15 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **16 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **17 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **18 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **19 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **20 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **21 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **22 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **23 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **24 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **25 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **26 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **27 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **28 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **29 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **30 양전하와 음전하의 상호작용**

02 양전하와 음전하의 상호작용

▶ **01 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **02 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **03 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **04 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **05 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **06 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **07 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **08 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **09 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **10 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **11 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **12 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **13 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **14 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **15 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **16 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **17 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **18 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **19 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **20 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **21 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **22 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **23 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **24 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **25 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **26 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **27 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **28 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **29 양전하와 음전하의 상호작용**

▶ **30 양전하와 음전하의 상호작용**

중단원 정리 / 심화 학습

- 단원 학습 후에는 정리를 통해 학습 내용을 한눈에 파악할 수 있도록 하였다.
- 본문 내용과 연계된 심화 학습을 제공하여 학습의 효율을 높이고, 자기주도적 학습이 이루어지도록 하였다.

중단원 정리 / 심화 학습

1. 단원, 통합된 고교 과정 평가 평가

1. 단원 학습 후에는 정리를 통해 학습 내용을 한눈에 파악할 수 있도록 하였다.

2. 본문 내용과 연계된 심화 학습을 제공하여 학습의 효율을 높이고, 자기주도적 학습이 이루어지도록 하였다.

직업 탐구

반도체 설계 엔지니어

반도체 설계 엔지니어는 반도체 칩을 설계하는 일을 합니다. 설계된 칩은 반도체 공장에서 제조되며, 이 칩은 다양한 전자 제품에 사용됩니다. 설계 엔지니어는 반도체 칩의 구조를 설계하고, 이를 제조하는 공정을 설계합니다. 설계 엔지니어는 반도체 칩의 성능을 향상시키고, 제조 비용을 줄이는 데 기여합니다.

직업 소개

반도체 설계 엔지니어는 반도체 칩을 설계하는 일을 합니다. 설계된 칩은 반도체 공장에서 제조되며, 이 칩은 다양한 전자 제품에 사용됩니다. 설계 엔지니어는 반도체 칩의 구조를 설계하고, 이를 제조하는 공정을 설계합니다. 설계 엔지니어는 반도체 칩의 성능을 향상시키고, 제조 비용을 줄이는 데 기여합니다.

탐구 수행 활동

반도체 생산 공장

반도체 생산 공장은 반도체 칩을 제조하는 곳입니다. 반도체 칩은 반도체 공장에서 제조되며, 이 칩은 다양한 전자 제품에 사용됩니다. 반도체 생산 공장은 반도체 칩의 구조를 설계하고, 이를 제조하는 공정을 설계합니다. 반도체 생산 공장은 반도체 칩의 성능을 향상시키고, 제조 비용을 줄이는 데 기여합니다.

탐구 수행 활동

반도체 생산 공장은 반도체 칩을 제조하는 곳입니다. 반도체 칩은 반도체 공장에서 제조되며, 이 칩은 다양한 전자 제품에 사용됩니다. 반도체 생산 공장은 반도체 칩의 구조를 설계하고, 이를 제조하는 공정을 설계합니다. 반도체 생산 공장은 반도체 칩의 성능을 향상시키고, 제조 비용을 줄이는 데 기여합니다.

직업 탐구 / 탐구 수행 활동

- 단원에서 학습한 내용과 관련된 직업 소개를 통해 전기 회로와 관련된 다양한 직업 세계를 탐구하는 데 도움이 될 수 있도록 하였다.
- 전기와 관련된 다양한 탐구 수행 활동을 통해 전기 회로의 기본 지식을 익히는 데 도움을 줄 수 있도록 하였다.

단원 평가 문제 / 창의 융합 활동

- 단원 평가 문제의 일부를 관련 자격 시험 문제로 제시하여 실무 능력을 기르도록 하였다.
- 교과 내용과 관련된 다양한 창의 융합 활동을 제시하여 창의적 사고력을 키울 수 있도록 하였다.

단원 평가 문제

1. 단원 평가 문제

1. 단원 평가 문제의 일부를 관련 자격 시험 문제로 제시하여 실무 능력을 기르도록 하였다.

2. 교과 내용과 관련된 다양한 창의 융합 활동을 제시하여 창의적 사고력을 키울 수 있도록 하였다.

인간 운송 수단의 개발

인간 운송 수단의 개발

인간 운송 수단은 인간을 운송하는 데 사용되는 수단을 말합니다. 인간 운송 수단은 다양한 형태를 띠며, 예를 들어 자동차, 비행기, 열차, 배, 우주선 등이 있습니다. 인간 운송 수단은 인간의 생활을 편리하게 하고, 교통을 원활하게 합니다. 인간 운송 수단은 인간의 생활을 편리하게 하고, 교통을 원활하게 합니다.

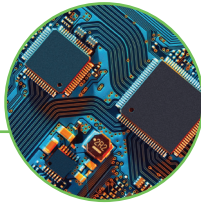
인간 운송 수단의 개발

인간 운송 수단은 인간을 운송하는 데 사용되는 수단을 말합니다. 인간 운송 수단은 다양한 형태를 띠며, 예를 들어 자동차, 비행기, 열차, 배, 우주선 등이 있습니다. 인간 운송 수단은 인간의 생활을 편리하게 하고, 교통을 원활하게 합니다. 인간 운송 수단은 인간의 생활을 편리하게 하고, 교통을 원활하게 합니다.

차례

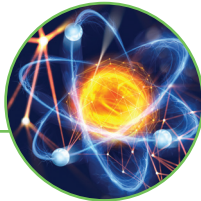


I. 전기 회로의 개요



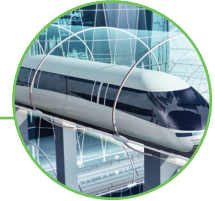
- 1. 전기 에너지는 왜 중요할까? 10
- 2. 전기와 자기는 언제부터 쓰이게 되었을까? 12
- 3. 전기 회로는 어떻게 구성할까? 18
- 단원 평가 문제 27

II. 전기



- 01 물질의 구조와 정전기 현상**
 - 1. 세상의 근원 물질은 무엇일까? 31
 - 2. 찌릿찌릿한 정전기는 왜 생길까? 34
- 02 전기장의 세기**
 - 1. 전하 사이에 작용하는 힘은? 41
 - 2. 전기력선은 어떤 모양일까? 45
 - 3. 전위차는 어떻게 발생할까? 48
 - 단원 평가 문제 58

III. 자기



- 01 자석과 자성체**
 - 1. 자석의 종류에는 어떤 것들이 있을까? 67
 - 2. 모든 물질을 자석으로 만들 수 있을까? 71
- 02 자기장**
 - 1. 자석 사이에 작용하는 힘은? 77
 - 2. 자기장의 세기를 어떻게 나타낼 수 있을까? 80
- 03 전자기유도 현상**
 - 1. 전류가 흐르는 전선은 어떻게 자기장을 만들까? 89
 - 2. 전자기 유도 현상이란 무엇일까? 94
 - 단원 평가 문제 106

IV. 직류 회로



- 01 직류 회로의 기초**
 - 1. 회로 소자란 무엇일까? 115
 - 2. 회로 소자와 에너지와의 관계는? 122
 - 3. 저항에는 어떤 것이 있을까? 128
- 02 직류 회로의 해석**
 - 1. 저항을 크게 하는 방법은? 135
 - 2. 복잡한 전기 회로의 해석은 어떻게 할까? 140
- 03 전류의 작용**
 - 1. 전선에 전류가 흐르면 왜 뜨거워질까? 151
 - 2. 전자는 에너지를 어떻게 만들까? 156
 - 단원 평가 문제 168



V. 교류 회로



01 교류 회로의 기초

- 1. 교류란 무엇일까? 179
- 2. 교류는 어떻게 측정할까? 184

02 교류 기본 회로의 해석

- 1. 전기 회로와 복소수는 어떤 관계일까? 191
- 2. 교류에서 저항, 인덕터, 커패시터의 역할은? 194

03 교류 직렬 회로의 해석

- 1. 교류 직렬 회로의 해석은 어떻게 할까? 201
- 2. 교류 직렬 회로의 전압, 전류는 어떻게 측정할까? 206

04 교류 병렬 회로의 해석

- 1. 교류 병렬 회로의 해석은 어떻게 할까? 211
- 2. 교류 병렬 회로의 전압, 전류는 어떻게 측정할까? 216

05 교류의 전력

- 1. 교류 전력이란 무엇일까? 221
- 2. 교류 전력에는 어떤 것이 있을까? 224

06 3상 교류 회로

- 1. 3상 교류란 무엇일까? 229
- 2. 3상 부하의 전력은 어떻게 측정할까? 234

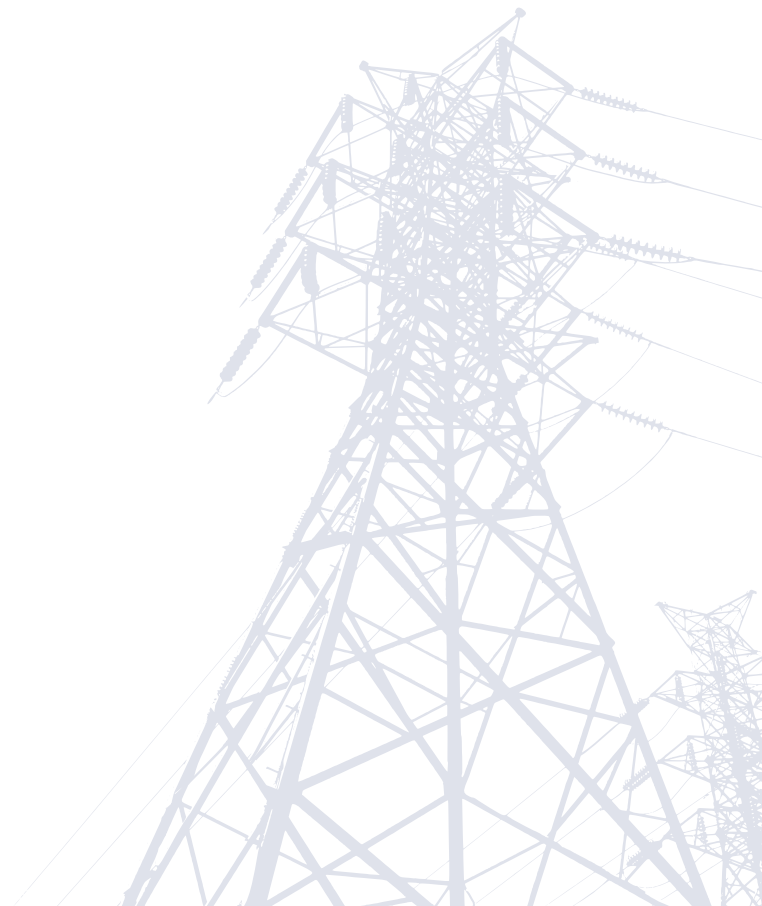
07 비사인파 교류 회로

- 1. 비사인파 교류는 왜 생길까? 241
- 2. 비사인파 교류는 어떻게 해석할까? 244

- 단원 평가 문제 256

부록

- 정답과 해설 264
- 찾아보기 274
- 자료 출처 277



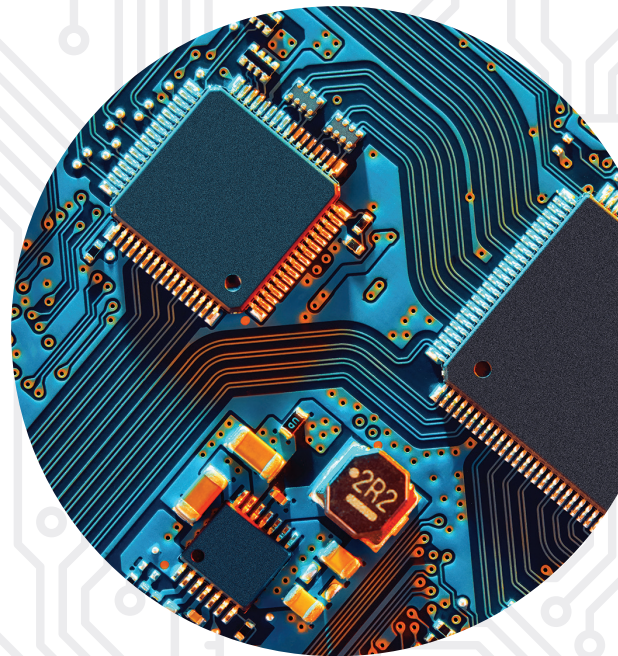
I

전기 회로의 개요

- 01 전기 에너지는 왜 중요할까?
- 02 전기와 자기는 언제부터 쓰이게 되었을까?
- 03 전기 회로는 어떻게 구성할까?

전기과 자기는 아주 오래전부터 알려져 있었지만, 우리가 필요로 하는 곳에 원활하게 활용하기에는 많은 어려움이 있다. 전기와 자기를 안정적으로 활용하기 위해 수많은 과학자들이 끊임없이 노력한 결과, 오늘날에는 매우 편리하고 안전하게 사용할 수 있게 되었다.

이 단원에서는 전기 에너지의 중요성, 전기와 자기의 어원과 역사에 대해 알아보고, 전기 공학에서 주로 사용하는 기호와 단위에 대해 학습해 보도록 한다.





1

전기 에너지는 왜 중요할까?

- 학습 목표**
- 전기의 중요성을 인식할 수 있다.
 - 전기 회로를 통해 전기를 안전하고 효과적으로 사용하는 방법을 알 수 있다.
- 주요 용어**
- 전기 에너지, 전기의 이용, 전기 회로

① 전기와 우리 생활

전기는 우리의 일상생활에서 빼놓을 수 없는 중요한 에너지원이다. 전기 에너지는 가정과 사무실에서 조명과 냉난방에 활용되고, 산업 분야에서는 다양한 기계를 가동시켜 제품 생산에 쓰인다. 또한 컴퓨터를 비롯한 디지털 기기를 작동시켜 필요한 정보를 얻는 데 필수적이다. 이처럼 다양한 전기 전자 제품에서부터 통신 수단 및 교통 수단에 이르기까지 전기는 현대 사회에서 필수적인 에너지 자원이다.

전기 활용의 큰 장점은 편리성이다. 석탄, 석유, 바람, 태양광 등 자연에서 얻은 1차 에너지는 장거리 이송이나 보관이 어렵고 에너지 유형에 맞는 장비가 필요하다. 하지만 이러한 1차 에너지를 전자기 유도 원리를 통해 2차 에너지인 전기 에너지로 전환하게 되면 송전 설비를 통해 먼 곳까지 운반할 수 있고, 각종 기계 장치를 손쉽게 운전하거나 관리할 수 있다.

전기의 이용

도시의 야경

전기를 이용하여 밤에도 낮처럼 생활을 할 수 있다.



산업 현장

산업 현장에서는 전기를 이용하여 생활에 필요한 각종 제품을 만든다.



가정

전기를 이용하여 생활에 필요한 제품을 작동시켜 편안한 삶을 누릴 수 있다.



교통수단

전기로 움직이는 교통수단을 이용하여 편리하게 이동을 할 수 있다.

② 전기의 중요성

인류가 전자기 현상을 본격적으로 이해하면서 전기를 활용하기 시작한 것은 불과 200년 전이지만, 오늘날 전기 에너지는 우리 삶과 경제 생활에 필수적인 요소가 되었다. 전기의 활용으로 인류는 과거 어느 때보다 다양한 기계 장치를 발명하여 편리한 생활을 하게 되었고, 수많은 농산물과 공산품을 생산하여 소비함으로써 풍요로운 삶을 누리게 되었다.

미래에도 전기의 원리를 기반으로 하는 전기 자동차 같은 교통수단과 인공 지능 같은 정보화 기술이 발전하면서 전기 에너지의 사용은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 소중한 전기 에너지를 보다 효율적이고 안전하게 활용할 수 있는 개발의 중요성이 커지고 있다.

우리 생활과 전기의 중요성

편리한 생활의 가능

전기는 조명, 난방, 냉방, 가전제품, 통신 등 우리 생활의 모든 영역에 사용된다. 전기가 없다면 우리는 어둠 속에서 생활하고 추위에 떨며, 더위에 지칠 것이다. 또한 전기 기구나 가전제품을 사용할 수 없기 때문에 일상의 삶은 더욱 불편해질 것이다.

경제 발전의 촉진

전기는 산업 생산에 필수적인 에너지이다. 공장, 제조업, 농업 등 모든 산업 분야에서 전기가 사용된다. 전기가 없다면 산업 생산은 중단되고, 경제는 침체될 것이다.

사회 발전의 촉진

전기는 통신, 교통, 교육 등 사회 발전의 기반이 된다. 전기가 없다면 우리는 서로 소통할 수 없고 이동할 수 없으며, 교육을 받을 수 없을 것이다. 전기는 사회 발전을 촉진하고, 더 나은 삶을 가능하게 한다.

③ 전기와 전기 회로

전기 에너지는 다양한 형태의 에너지와 상호 전환하여 사용할 수 있고 정밀하게 제어할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 잘못 관리할 경우 기계 오작동, 감전 사고, 화재 등의 위험을 초래할 수 있다. 따라서 전기 에너지를 제대로 활용하려면 전기 작용의 기초 원리 같은 전기의 특성을 이해하고, 전기 에너지를 안전하고 효과적으로 제어하는 기술이 필요하다.

우리가 전기 에너지를 사용하는 공간에서는 눈에 보이지 않지만 전기 에너지를 효율적이고 안전하게 사용하기 위하여 매우 복잡한 전기 회로가 존재한다. 전기를 배우기 위해서는 복잡한 전기 회로의 구성을 이해하고, 회로 소자의 특성을 이해하는 것이 매우 중요하다.

2

전기와 자기는 언제부터 쓰이게 되었을까?

- 학습 목표**
 - 전기와 자기의 어원과 역사를 설명할 수 있다.
 - 우리나라의 전기 역사를 설명할 수 있다.
- 주요 용어**
 - 호박석, 정전기, 원자 모형, 자석, 지남철

① 전기의 어원과 역사

오늘날 우리는 전기가 없이는 일상생활을 유지하기 어려울 정도로 전기를 많이 활용하고 있지만, 전기 현상을 제대로 이해하게 된 것은 그리 오래되지 않는다. 물론 비가 올 때 발생하는 번개 현상은 고대부터 경험되었지만, 그것이 전기 현상의 일부임을 깨닫게 된 것은 불과 300년 전의 일이다.



❖ 그림 I-1 호박

전기 현상에 대한 최초 기록은 기원전 600년경 고대 그리스의 철학자 탈레스가 사람들이 장신구로 사용하던 호박(electron)을 문지르면 먼지나 새털, 머리카락 등이 달라붙는 현상을 목격했다. 그는 이를 일부 물체를 마찰하면 다른 물체를 끌어당기는 신비한 힘으로 기록하였다. 하지만 탈레스는 무생물이 가진 신비한 힘 정도로 이해했을 뿐 정전기(static electricity)의 개념으로 발전시키지 못했다.

호박 장신구를 광택을 내려 문질렀더니 내 머리카락을 당기는 신비한 힘이 생겼어.



그 후 천 년 이상 전기에 대한 과학적 이해는 거의 진전되지 못했다. 16세기에 들어 지동설과 물체의 운동 법칙 같은 위대한 과학적 발견이 이루어지는 상황에서도 전기의 성질에 대한 실험이 단편적으로 이루어질 뿐, 과학자들에게는 여전히 미지의 세계로 남아 있었다. 그중에서도 영국 과학자 길버트가 전기와 자기 현상을 비교적 상세히 연구했지만, 두 가지 현상은 여전히 별개로 여겨졌다. 다만, 호박을 뜻하는 그리스어 'electron'에서 현재의 전기를 의미하는 'electricity'라는 용어를 사용하였을 뿐이다.

1752년 미국 과학자 프랭클린은 실험을 통해 번개가 전기 현상의 일종임을 밝혀냈다. 1780년 이탈리아의 의사 갈바니가 생명체의 몸속에 전류가 흐른다는 사실을 확인하여 전기에 대한 이해는 조금씩 진전되었다. 그러다가 1897년 영국의 물리학자 톰슨이 원자 모형을 통해 물질의 구조를 밝히면서 전기 현상의 원인이 물질의 구조 때문이라는 사실이 확인되었다.

❖ 그림 I-2 전기에 대한 고대인의 이해



비 오는 날 창을 들고 서 있는데 번개가 떨어졌어. 번개는 우리가 모르는 신비한 힘을 지녔어.

② 자기의 어원과 역사

쇠붙이를 끌어당기는 돌은 오래 전부터 전 세계에서 발견되었다. 특히 고대 소아시아 지역인 마그네시아(magnesia)에서는 양치기들이 쇠지팡이로 양을 몰고 다니다가 지팡이가 바위에 달라붙어 곤경에 처하는 상황이 자주 발생했다. 이러한 물체를 쇠를 끌어당기는 돌이라는 의미로 ‘magnet’(자철석 또는 자석)이라고 부르고, 그러한 물체가 가진 성질을 ‘magnetic’(자기)이라고 부르기 시작하였다.

당시 사람들은 자석이 가진 힘의 원인을 충분히 알지 못했다. 다만, 자석에 접촉했던 쇠지팡이에도 일시적으로 다른 쇠붙이를 끌어당기는 힘이 생긴다는 정도를 알아냈을 뿐이다.



❖ 그림 I-3 쇠붙이가 달린 지팡이를 끌어당기는 자철석

고대 중국에서는 자철석을 가공하여 만든 물체가 일정한 방향을 가리키는 성질을 가지고 있다는 것을 관찰했다. 이러한 특징에 착안하여 방향을 알려주는 도구인指南針을 만들어 사용하였다.指南針은 나침반으로 발전하게 된다. 지도가 정확하지 않던 시절 나침반은 장거리 여행자, 특히 먼 바다를 향해하는 사람들에게는 매우 중요한 도구였다. 13세기 후반 유럽의 탐험가들은 나침반을 활용해 먼 바다로 진출하면서 해외 식민지를 개척하고 지역 간 교류를 촉진하는 데 큰 역할을 하였다.

초기에는 나침반이 방향성을 보이는 이유에 대해서는 제대로 이해하지 못했다. 16세기 영국의 과학자 길버트는 『자석에 관하여』라는 저서에서 ‘지구가 거대한 자석’이기 때문에 나침반의 바늘이 항상 남북을 가리킨다는 것을 증명했다. 이를 통해 자석의 극성을 비롯한 특성이 조금씩 밝혀지기 시작했다.

1800년대 중반 덴마크의 외르스테드와 영국의 패러데이는 전기 현상과 자석을 활용한 실험을 진행하며 전기와 자기의 상호 작용을 확인하면서 전기와 자기가 하나의 현상임이 밝혀지게 되었다. 이후 19세기 후반에는 전기 현상과 자기 현상을 통합한 전자기학이 급속히 발전했다. 전자기학 연구를 통해 전자기력이 자연계의 기본적인 법칙으로 인정받게 되었고, 전자기학 원리에 기초한 다양한 전기 및 전자 기기가 발명되었다.


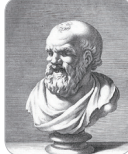

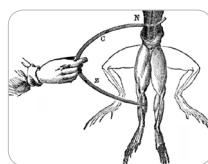


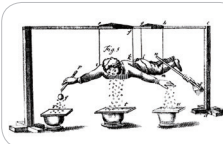
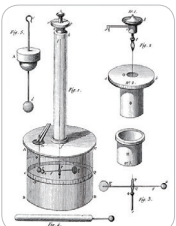
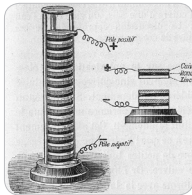
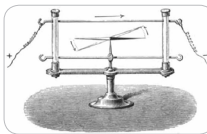


❖ 그림 I-4 고대 중국(한나라)의 숟가락 모양의 나침반

풍요롭고도 쾌적한 생활을 추구하는 생활 양식의 변화와 함께 전기는 이제 없어서는 안될 생활필수품이 되었다. 이러한 전기와 자기의 정체를 밝혀내기 위해 과학자들은 수백 년 동안 실험과 연구에 많은 시간과 노력을 쏟았다. 이처럼 과학자들의 노력으로 오늘날과 같은 전기의 비약적인 발전을 이룰 수 있었다.



한눈에 보는 전기, 자기의 역사

| | | | | |
|--|---|---|--|--|
| <p>기원전 630년</p> | <p>기원전 630년 탈레스(그리스) 호박에서 마찰 전기 현상 발견</p>  <p>▲ 호박석</p> | <p>기원전 400년 데모크리토스 고대 원자론 완성</p>  | <p>1600년대 ~ 1700년대</p> | <p>1600년 길버트(영국) 지구가 거대한 자석임을 발견</p>  |
| <p>1780년 갈바니(이탈리아) 동물 전기를 발표</p>  <p>▲ 갈바니의 개구리 실험</p> | <p>1752년 프랭클린(미국) 연날리기 실험으로 번개가 전기인 것을 증명, 피뢰침 발명</p>  <p>▲ 프랭클린과 피뢰침</p> | <p>1746년 위스헨브룩(네덜란드) 전기를 모으는 레이던병 발명</p>  <p>▲ 레이던병의 초기 모습</p> | <p>1729년 그레이(영국) 도체와 부도체의 발견으로 전자기학 발전에 기여</p>  <p>▲ 전기 놀이</p> | |
| <p>1785년 쿨롱(프랑스) 쿨롱의 법칙 발표</p>  <p>▲ 비틀림 저울</p> | <p>1800년대</p> | <p>1800년 볼타(이탈리아) 전류, 볼타 전지를 발명</p>  <p>▲ 볼타 전지</p> | <p>1820년 외르스테드(덴마크) 전류의 자기 작용 발견</p>  <p>▲ 외르스테드의 실험 장치</p> | |

1824년
아라고(프랑스)

회전 자기장
(맥놀이 전류) 발견



1827년
옴(독일)

전기 회로의 기초인
옴의 법칙을 발표



1831년
패러데이(영국)

전자기 유도 법칙을
발표



▲ 패러데이 실험실의 모습

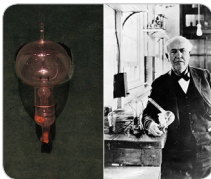
1834년
렌츠(러시아)

유도 전류의 법칙
발견



1879년
에디슨(미국)

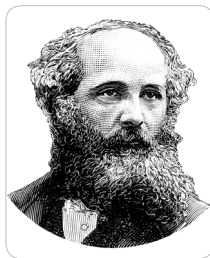
백열전구의 발명



▲ 에디슨과 백열전구

1864년
맥스웰(영국)

전자기학의 성립
맥스웰 방정식 발표



1840년
줄(영국)

전류의 열작용에 관한
줄의 법칙 발표



▲ 줄의 열기관

1835년
다니엘(프랑스)

다니엘 전지
발명



▲ 다니엘 전지

1882년
최초의 상업 발전소

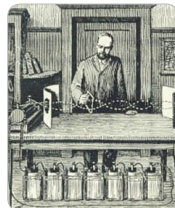
1882년 3대의 직류
발전기로 3,000여 개의
백열전구에 전력을 공급



▲ 최초의 백열전구

1888년
헤르츠(독일)

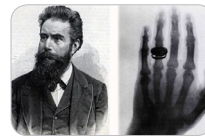
전자파의 존재 증명



▲ 헤르츠의 전파 검출 실험

1895년
뢴트겐(독일)

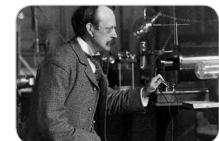
X선을 발견



▲ 뢰트겐과 X선 사진

1897년
톰슨(영국)

전자의 존재를 증명.
전자의 발견은 원자의
구조를 파헤치는 데
있어서 가장 선구적인
사건



1945년
최초의 원자력
발전소 가동



▲ 최초의 원자력 발전소

1942년
페르미(미국)

세계 최초의
원자로 완성. 세계
최초로 우라늄 핵분열
연쇄 반응 실험 성공



▲ 최초의 원자로

1900년대

현재



③ 우리나라의 전기 역사

우리나라의 전기 역사는 1887년 3월 6일 경복궁 건청궁에 최초로 전등불이 켜진 것으로 시작된다. 전기가 우리나라에 들어오면서 현재까지의 전기 역사의 주요 사건을 살펴보면 다음과 같다.

경복궁 건청궁 뜰
앞에서의 전기 점등
(1887. 3. 6.)



최초의 민간 전기 점등

한성전기회사의 본격적인 사업으로 전차와 전등에 전력을 공급하고, 길거리에 민간 조명용 전등이 설치되었다.

5.14 단전

남한은 전력 사용량의 60%를 북한에서 공급받았으나 북한의 일방적 단전으로 3분제나 격일제로 전기를 공급하는 심각한 전력난을 겪었다.

원자력 시대 개막

고리 원자력 발전소가 준공되면서 원자력 발전 시대가 개막되었으며, 세계 21번째로 경수로와 중수를 갖춘 원자력 발전소 보유국이 되었다.

한국형 원전(APR1400) 아랍에미리트에 수출

신형 가압 경수로인 한국형 원전을 수출하였다.

1887

최초의 전기 점등

에디슨이 백열전구를 발명한 지 8년 만에 경복궁의 건청궁에 우리나라 최초의 전등불을 밝혔다.

1898

한성전기회사 설립

대한제국의 고종 황제가 우리나라 최초의 전력 회사인 한성전기회사를 설립하였다.

1899

최초의 전차 개통

동대문과 서대문을 오가는 최초의 전기를 이용한 기차인 전차를 운행하였다.

1900

1944

대규모 수력 발전

대규모 수력 발전을 위해 압록강, 두만강, 장진강 등에 수력 발전소가 건설되었다.

1948

1965

농어촌 전력 사업

농어촌과 섬에 사는 주민에게까지 전기를 공급하였다.

1978

1995

해외 전력 사업 본격 진출

1995년 필리핀 말라야 화력 발전소를 운영하였고, 1996년 일리한 발전소를 건설하는 등 해외 사업에 진출하였다.

2009



◀ 우리나라 수출 원자력 발전소 1호 아랍에미리트의 바라카 원전

4 미래 전기 기술

미래 전기 기술은 크게 두 가지 방향으로 발전할 것으로 예상된다. 첫 번째는 친환경 에너지 기술의 발전이다. 현재 전기 에너지는 화석 연료를 통해 생산되고 있으며, 이는 탄소 배출량 증가, 지구 온난화, 기후 변화 등 심각한 환경 문제를 일으키고 있다. 따라서 전기 에너지를 생산하는 과정에서 온실가스 배출을 줄이기 위한 기술 개발이 활발히 진행되고 있다.

두 번째는 전기 융합 기술의 발전이다. 전기 기술은 다른 기술과 결합하여 새로운 가치를 창출할 수 있는 잠재력이 있다. 따라서 전기 기술과 인공지능, 소프트웨어, 신재생 에너지 등 다양한 기술을 융합한 새로운 전기 기술이 개발될 것으로 기대된다.

고효율 전력 변환 기술

전기 에너지는 생산, 전송, 소비 등의 과정에서 많은 에너지 손실이 발생한다. 따라서 고효율 전력 변환 기술을 개발하여 에너지 손실을 줄이는 것이 중요하다.

저장 가능한 전기 기술

신재생 에너지는 날씨에 따라 출력이 변동하는 특성이 있다. 따라서 신재생 에너지를 안정적으로 활용하기 위해서는 전기 에너지를 저장할 수 있는 기술이 필요하다.

스마트 그리드 기술

스마트 그리드 기술은 전력 시스템 전반을 지능화하여 효율성을 높이는 기술이다. 스마트 그리드 기술을 통해 전력 수요를 예측하고, 수요와 공급을 효율적으로 조절할 수 있다.

전기 자동차 기술

전기 자동차는 화석 연료를 사용하는 자동차에 비해 친환경적이며, 유지와 보수가 쉽다는 장점이 있다. 전기 자동차 기술의 발전을 통해 친환경 교통 수단을 확대할 수 있다.

자율 주행 자동차 기술

자율 주행 자동차는 운전자 없이 스스로 운행하는 자동차이다. 자율 주행 자동차 기술의 발전을 통해 교통안전을 향상시키고, 효율적인 교통 체계를 구축할 수 있다.

에너지 융합 기술

전기 기술과 다른 기술을 융합하여 새로운 가치를 창출하는 기술이다. 에너지 융합 기술을 통해 새로운 에너지원을 개발하고, 기존 에너지원을 효율적으로 활용할 수 있다.

이러한 미래 전기 기술의 발전은 우리 사회의 다양한 분야에 혁신을 가져올 것으로 기대된다. 친환경 에너지 기술의 발전은 지구 온난화와 기후 변화를 완화하고, 지속 가능한 사회를 만드는 데 기여할 것이다. 전기 융합 기술의 발전은 첨단 기술의 발전을 촉진하고, 우리 삶의 질을 향상시킬 것이다.

I. 전기 회로의 기초

단원 평가 문제

27쪽

01 ③ 02 ③ 03 ① 04 ② 05 ④ 06 ④ 07 ② 08 ④

[해설]

- 01 ① 전기의 어원은 호박을 뜻하는 'electron'에서 유래되었다.
 ② 그리스인들은 천으로 닦은 호박석에 먼지가 달라붙는 정전기 현상을 발견했지만 정전기라는 것은 알지 못했다.
 ④ 자철석에 쇠붙이가 달라붙는 것에서 자기의 존재를 알게 되었다.
- 02 영국의 물리학자 줄이 발견한 것은 전류의 열작용에 관한 줄의 법칙이며, 전자의 존재를 발견한 것은 영국의 톰슨이다.
- 03 미래 전기 기술은 화석 연료를 사용하는 자동차에 비해 친환경적인 전기 자동차 기술이 각광받을 것이며, 전기 기술과 다른 기술을 융합하여 새로운 가치를 창출하는 에너지 융합 기술이 발전될 것이다.
- 04 ① 전선: 전기가 흐르는 통로
 ③ 소자: 전기의 특성을 변화시키는 장치
 ④ 부하: 전원에서 전기 에너지를 공급받아 일을 하는 부분, 즉 전력을 소비하는 부분이다.
- 05 SI 단위계에서는 질량은 [kg](킬로그램), 시간은 [s](초), 길이는 [m](미터)를 사용한다.
- 06 전압은 단위로 [V](볼트), 주파수는 단위로 [Hz](헤르츠)를 사용한다.
- 07 23쪽의 표 I-3을 참고한다.
- 08 갑: $3 \times 10^3[\text{m}\Omega] = 3 \times 10^3 \times 10^{-3} = 3[\Omega]$
 을: $0.3 \times 10^{-5}[\text{M}\Omega]$
 $= 0.3 \times 10^{-5} \times 10^6 = 0.3 \times 10 = 3[\Omega]$
 병: $3 \times 10^6[\mu\Omega] = 3 \times 10^6 \times 10^{-6} = 3[\Omega]$
 장: $3 \times 10^6[\text{n}\Omega]$
 $= 3 \times 10^6 \times 10^{-9} = 3 \times 10^{-3} = 0.003[\Omega]$

II. 전기

II-01. 물질의 구조와 정전기 현상

단원 평가 문제

58쪽

01 ① 02 ② 03 ④ 04 ③ 05 ② 06 ③ 07 ② 08 ③
 09 ①

[해설]

- 01 원자핵에서 가장 멀리 떨어져 있어 원자핵의 구속력을 가장 적게 받는 전자는 외부의 에너지에 의해 쉽게 원자핵의 구속력을 벗어날 수 있는데, 이러한 전자를 자유 전자라고 한다.
- 02 도체, 반도체, 부도체는 실온에서의 저항률에 의해서 구분되며, 이 순서대로 저항률이 높아진다.
- 03 P형 반도체에는 13족 원소인 붕소(B), 인듐(In), 갈륨(Ga) 등이 첨가되며, N형 반도체에는 15족 원소인 인(P), 비소(As), 안티모니(Sb) 등이 첨가된다.
- 04 원자의 구조 중 대부분의 질량을 차지하는 것은 원자핵(양성자+중성자)이다. 전자의 질량은 원자의 질량 중 극히 일부분만을 차지한다.
- 05 같은 종류의 전하끼리는 서로 밀어내는 힘(척력)이 작용하고, 다른 종류의 전하끼리는 서로 당기는 힘(인력)이 작용한다.
- 06 전자 1개가 갖는 전하량은 다음과 같다.
 $e = 1.6021773348 \times 10^{-19} \approx 1.602 \times 10^{-19}[\text{C}]$
- 07 어떤 물질이 정전기를 발생하여 정상 상태보다 전자의 수가 많거나 적어지는 현상은 대전이다.
- 08 • 마찰 대전: 두 물체를 마찰할 때 정전기가 발생하는 대전 현상
 • 유동 대전: 액체가 파이프 등을 이동할 때 정전기가 발생하는 대전 현상
 • 분출 대전: 액체나 기체가 작은 구멍(노즐)을 통과할 때 정전기가 발생하는 대전 현상
- 09 부도체에 대전체를 가져다 대면, 원자핵의 구속이 강한 전자는 원자핵의 구속력을 벗어나지 못하고, 분자 내에서 전자가 이동하여 재정렬되고 중간에 위치한 전하들은 극성이 상쇄되며, 물체의 끝부분만 극성을 띠게 되는데, 이를 유전 분극 현상이라고 한다. 방전은 대전체가 전하를 잃는 과정으로, 충전의 반대 과정이다.

II-02. 전기장의 세기

단원 평가 문제

59~61쪽

01 ③ 02 ④ 03 ① 04 ③ 05 ④ 06 ② 07 ③ 08 ③
 09 ② 10 ④ 11 ② 12 ② 13 ② 14 ② 15 ③ 16 ②
 17 ③ 18 ① 19 ③ 20 ② 21 ① 22 ④ 23 ② 24 ①
 25 ①

[해설]

- 01 유전율의 단위는 [F/m]이다.
- 02 진공에서의 유전율 $\epsilon_0 \approx 8.854 \times 10^{-12}$ 으로 계산하면,
 $\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r = 8.854 \times 10^{-12} \times 9$
 $= 79.686 \times 10^{-12} [\text{F/m}]$
 $\approx 80 \times 10^{-12} [\text{F/m}]$

03 비유전율은 진공(공기) 중에서의 유전율을 1이라고 가정했을 때의 상대적인 유전율을 말한다. 따라서 진공 중에서의 비유전율 $\epsilon_r=1$ 이다.

04 진공에서의 쿨롱의 힘은 $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ [N]

이고 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9$ 이므로,

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{10^{-4} \cdot 10^{-8}}{10^2} = 9 \times 10^{-5} \text{ [N]}$$

05 진공 중에서의 정전기력은 다음과 같다.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \text{ [N]}$$

06 (정)전기력은 $F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ [N]로, 전기력은 비유전율과 반비례 관계이다. 따라서 비유전율이 큰 물질일수록 전기력의 크기는 작아지게 된다.

07 전기장의 단위는 [V/m]이다.

08 전기장 안에 단위 양전하를 놓았을 때 단위 양전하가 받는 힘의 크기를 전기장의 세기(E)라고 한다.

09 전기장의 세기 $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$ 이므로 $E \propto \frac{1}{r^2}$, 즉 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 전기장의 세기를 $\frac{1}{2}E$ 로 만들기 위해서는 새로운 거리 $r' = \sqrt{2}r$ 이 되어야 한다.

10 거리는 미터[m]를 기준으로 하므로, 50[cm]=0.5[m]로 변환시켜서 대입한다.

$$\begin{aligned} \therefore E &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \\ &= 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-7}}{0.5^2} \\ &= 1.44 \times 10^4 \text{ [V/m]} \end{aligned}$$

11 도체 내부의 전기장은 0이고, 도체 표면의 전기장의 방향은 표면에 수직이다.

12 전하의 크기와 전기장의 세기를 곱하면 전하가 받는 힘의 크기가 된다. $F=QE$ 에서

$$Q = \frac{F}{E} = \frac{0.1}{10} = \frac{10^{-1}}{10} = 10^{-2} \text{ [C]}$$

13 $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r} = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-8}}{10} = 27 \text{ [V]}$

14 $V = E \times d = 6 \times 10^4 \times 0.3 = 1.8 \times 10^4 \text{ [V]}$

15 전속 밀도 $D = \epsilon E$ 이므로,

$$\begin{aligned} E &= \frac{D}{\epsilon} = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{2 \times 10^{-6}}{8.854 \times 10^{-12} \times 2.5} \\ &\approx 9 \times 10^4 \text{ [V/m]} \end{aligned}$$

16 공기 중에서의 전위 $V = 9 \times 10^9 \cdot \frac{Q}{r}$ 이므로,

$$V_Q = 9 \times 10^9 \cdot \frac{3 \times 10^{-8}}{1} = 270 \text{ [V]}$$

$$V_P = 9 \times 10^9 \cdot \frac{3 \times 10^{-8}}{2} = 135 \text{ [V]}$$

$$\therefore V_Q - V_P = 270 - 135 = 135 \text{ [V]}$$

17 ㉠ 전기력선은 (+)전하에서 나와 (-)전하에서 끝난다.

㉡ 전기력선은 서로 교차하지 않는다.

18 도체 내부에는 전기력선이 존재하지 않는다.

19 전기력선의 밀도가 조밀할수록 전기장의 세기가 세다는 것을 의미한다.

20 등전위면은 전기력선과 항상 90°(수직)로 교차한다.

21 등전위면을 따라 전하를 운반할 때 일의 크기는 0이다.

22 ㉠ 등전위면은 전기력선과 수직이다.

㉡ 등전위면의 간격이 좁을수록 전기장의 세기가 강하다.

23 가우스의 법칙에서 임의의 폐곡면을 지나는 전속의 양이 많은 것은 전기장의 세기 또한 그만큼 크다는 것을 의미한다.

$$\begin{aligned} 24 D &= \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{3.14 \times 10^{-6}}{4 \times 3.14 \times 1^2} \\ &= \frac{1}{4} \times 10^{-6} = 2.5 \times 10^{-7} \text{ [C/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

25 $D = \epsilon_0 \epsilon_r E$ 에서,

$$E = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{1.771 \times 10^{-6}}{8.855 \times 10^{-12} \cdot 2} = 1 \times 10^5 \text{ [V/m]}$$

III. 자기

III-01. 자석과 자성체

단원 평가 문제

106쪽

01 ㉢ 02 ㉢ 03 ㉣ 04 ㉢

[해설]

01 외부 자력에 강하게 반응하여 스스로 자기화되어 끌려오는 물질을 강자성체라고 하며 철, 니켈, 코발트 등이 있다.

02 외부에서 자력이 가해지면 구성 원자의 일부가 외부 자력의 극성과 반대 방향으로 반응하여 밀려나는 힘을 받게 되는 물질을 반자성체라고 한다.

03 외부 자기장에 반응하여 자기화 되는 정도를 물리량으로 수치화하여 비율로 나타낸 것을 투자율이라고 하며, 단위로는 [H/m]를 사용한다.

04 진공에서의 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ [H/m]}$ 이다.

III-02. 자기장

단원 평가 문제

106~107쪽

01 ㉡ 02 ㉢ 03 ㉠ 04 ㉡ 05 ㉡ 06 ㉡ 07 ㉣ 08 ㉡
09 ㉢ 10 ㉠ 11 ㉣



[해설]

01 진공에서 두 자극 사이에 작용하는 힘을 나타내는 자기장에서의 쿨롱의 법칙은 다음과 같다.

$$F = \frac{1}{4\pi\mu_0} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2} [\text{N}]$$

02 진공에서 자기장에서의 쿨롱의 법칙은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F &= 6.33 \times 10^4 \times \frac{m_1 m_2}{r^2} \\ &= 6.33 \times 10^4 \times \frac{10^{-3} \cdot 10^{-5}}{1^2} \\ &= 6.33 \times 10^{-4} [\text{N}] \end{aligned}$$

03 자기장의 세기는 1개의 자극으로부터 단위 점자극 (+1[Wb])이 받는 힘의 세기이며, 방향을 갖는 물리량이다.

04 자기장의 세기는 $H = k \frac{m}{r^2}$ 으로 거리의 제곱에 반비례한다.

따라서 거리는 원래 거리 r 에서 $\sqrt{2}r$ 가 되어야 한다.

$$H' = k \frac{m}{(\sqrt{2}r)^2} = \frac{1}{2} k \frac{m}{r^2} = \frac{1}{2} H$$

05 $F = mH = 8 \times 10^{-3} \times 20 = 160 \times 10^{-3} = 0.16 [\text{N}]$

06 자속 밀도 $B = \mu H$ 이므로, 자기장은 자속 밀도를 투자율로 나눈 준 것과 같다.

07 전속 밀도는 자속 밀도와 대칭 관계를 갖는다.

08 자석은 일반적으로 고온에서 자력을 잃는다.

09 자기력선은 ① 눈에 보이지 않으며, ② 상호 간에 서로 교차되거나 끊어지지 않고, ④ N극에서 시작하여 S극에서 끝난다.

10 히스테리시스 곡선의 가로축은 자기장의 세기(H)를, 세로축은 자속 밀도(B)를 나타낸다.

11 히스테리시스 곡선이 가로축과 만나는 지점은 보자력(H_c)이며, 세로축과 만나는 지점은 잔류 자기(B_r)이다.

III-03. 전자기 유도 현상

단원 평가 문제

107~109쪽

- 01 ① 02 ④ 03 ① 04 ① 05 ③ 06 ① 07 ③ 08 ②
09 ③ 10 ④ 11 ② 12 ③ 13 ③ 14 ② 15 ② 16 ④
17 ③ 18 ① 19 ④ 20 ②

[해설]

01 전류에 의한 자기장의 방향을 나타내는 법칙은 앙페르의 오른손 법칙이다. 직선 도체일 경우 오른손 엄지손가락이 전류 방향 나머지 네 개 손가락 방향이 자기장의 방향이 되며, 원형 도체일 경우는 반대이다.

02 전자기력의 방향은 플레밍의 왼손 법칙으로 알 수 있다. 왼손의 검지손가락을 자기장의 방향, 중지를 전류의 방향으로 두었을 때 왼손의 엄지손가락 방향이 힘을 받아 움직이는 전자기력의 방향을 가리킨다. 이때 세 손가락은 각각 직각을 이루어야 한다.

03 $F = BIl \sin \theta = 2 \times 5 \times 0.6 \times \sin 30^\circ = 6 \times \frac{1}{2} = 3 [\text{N}]$

04 평행한 두 직선 도체에 같은 방향의 전류가 흐를 경우 (흡)인력이 작용하며, 반대 방향의 전류가 흐를 경우 척력(반발력)이 발생한다. 또한 두 도체 사이에 작용하는 힘 $F = 2 \times 10^{-7} \times \frac{I_1 I_2}{r}$ [N/m]으로 거리에 반비례하므로, r 이 클수록 그 힘은 작아진다.

05 비오-사바르의 법칙은 전류가 흐르는 도체와 일정 거리가 떨어진 지점에서의 자기장의 세기를 나타내는 법칙이다.

06 원형 코일 중심에서의 자기장의 세기는 다음과 같다.

$$H = \frac{NI}{2r}$$

07 환상 솔레노이드에서의 자기장의 세기는

$$H = \frac{NI}{2\pi r}$$

이다. 여기서 $2\pi r = l$, 즉 자속의 길이가 되므로,

$$H = \frac{NI}{2\pi r} = \frac{NI}{l} = \frac{8,000 \times 10 \times 10^{-3}}{2} = 40 [\text{AT/m}]$$

08 무한히 긴 직선 도선 전류에 의한 자기장의 세기는

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

이므로, 전류 I 에 비례하고 거리 r 에 반비례한다.

09 환상 솔레노이드 내부의 자기장은 $H = \frac{NI}{2\pi r}$ 이므로,

권수와 전류에 비례하고, 반지름에 반비례한다.

10 전자 유도에 관한 패러데이의 법칙은 쇠코는 자속의 증감에 비례하여 유도 기전력의 크기가 달라진다는 법칙이다.

11 유도 기전력 $e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ [V]에서 '-'가 의미하는 것은 자속의 변화를 방해하는 방향을 뜻하며, 렌츠의 법칙이다.

12 유도 기전력의 크기는 $|e| = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ [V]이다. 여기서 시간의 변화율 $\Delta t = 1/100 = 10^{-2}$ [sec]이고

자속의 변화율 $\Delta\Phi = 0.5 - 0.3 = 0.2$ [Wb]이므로, 이를 대입하면,

$$|e| = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 1 \times \frac{0.2}{10^{-2}} = 20 [\text{V}]$$

13 플레밍의 오른손 법칙에서 엄지는 운동 방향, 검지는 자기장의 방향, 중지손가락은 유도 기전력의 방향을 나타낸다.

14 유도 기전력 $e = Blv \sin \theta$ 에서, $B = 2$ [Wb/m²],

길이 $l = 10$ [cm] = 0.1 [m], $\sin 90^\circ = 1$ 이므로

$$\text{속도 } v = \frac{s[\text{m}]}{t[\text{sec}]} = \frac{8}{2} = 4 [\text{m/s}] \text{이므로 이를 대입하면,}$$

$$e = Blv \sin \theta = 2 \times 0.1 \times 4 \times 1 = 0.8 [\text{V}] \text{의 유도 기전력이 발생한다.}$$

15 $L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{100 \times 10^{-3}}{5} = 20 [\text{mH}]$

16 자기 유도로 발생하는 유도 기전력의 크기는

$$|e| = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 3 \times \frac{6}{3} = 6 [\text{V}]$$

17 서로 다른 코일을 근접시켰을 때 다른 코일의 전류 변화에 따른

자기장의 영향을 받아 전자 유도 작용이 일어나는 것을 상호 유도라고 한다.

- 18 상호 유도로 생성되는 유도 기전력의 크기는

$$|e| = M \frac{\Delta I}{\Delta t} \text{ 이고, 매초 전류가 } 150[\text{A}] \text{의 비율로 변하고 있음}$$

$$\text{므로, } \frac{\Delta I}{\Delta t} = 150 \text{이 된다.}$$

$$\therefore 60 = M \times 150, M = \frac{60}{150} = 0.4[\text{H}]$$

- 19 자기장이 더해지는 방향으로 접속하는 경우 가동 접속이므로, 이 때의 합성 인덕턴스는

$$L = L_1 + L_2 + 2M \text{으로 구할 수 있다.}$$

- 20 문제에서 가동 접속일 경우의 합성 인덕턴스 $L_+ = 90[\text{mH}]$ 이고,

차동 접속일 경우 합성 인덕턴스 $L_- = 30[\text{mH}]$ 가 되었으므로,

$$L_+ = L_1 + L_2 + 2M = 90,$$

$$L_- = L_1 + L_2 - 2M = 30$$

으로 식을 세울 수 있고, 두 식을 연립하여 빼면

$$L_+ - L_- = 4M = 60, \therefore M = 15[\text{mH}] \text{가 된다.}$$

IV. 직류 회로

IV-01. 직류 회로의 기초

단원 평가 문제

168~169쪽

- 01 ③ 02 ③ 03 ② 04 ① 05 ④ 06 ① 07 ② 08 ①
09 ④ 10 ④ 11 ③ 12 ② 13 ② 14 ② 15 ① 16 ②
17 ① 18 ④ 19 ③ 20 ④ 21 ③

[해설]

- 01 $I = \frac{Q[\text{C}]}{t[\text{s}]}$ 이고, 1분은 60초 [s]이므로

$$I = \frac{12}{60} = \frac{1}{5} = 0.2[\text{A}] = 200[\text{mA}] \text{이다.}$$

- 02 $I = \frac{Q}{t}$ 에서, $Q = 10 \times 5 \times 60 = 3,000[\text{C}]$ 이다.

- 03 전류의 이동 방향은 (+)전하의 이동 방향으로 정한다.

- 04 $V = \frac{W}{Q} = \frac{36}{3} = 12[\text{V}]$

- 05 5[A]의 전류가 3분 동안 흘렀을 때의 전하량은
 $Q = 5 \times 3 \times 60 = 900[\text{C}]$

$$\therefore W = QV = 900 \times 1.8 = 1,620[\text{J}]$$

- 06 전자 1개의 전하량 $e = 1.602 \times 10^{-19}[\text{C}]$ 이고,

전자가 한 일의 에너지는 $W = QV[\text{J}]$ 이므로,

$$\therefore W = QV = 1.602 \times 10^{-19} \times 100 \approx 1.6 \times 10^{-17}[\text{J}]$$

- 07 고유 저항 ρ 의 단위는 $[\Omega \cdot \text{m}]$, 전기 전도도 σ 의 단위는 $[\text{S}/\text{m}]$ 이다. (전기 전도도는 고유 저항과 역수 관계이므로, 단위도 역수 관계이다.)

- 08 원래의 저항을 $R = \rho \frac{l}{A}[\Omega]$ 이라고 하면, 변화된 저항은 길이가 n 배, 단면적이 $\frac{1}{n}$ 배이므로

$$R' = \frac{n \times l}{\frac{1}{n} \times A} = n^2 \times \rho \frac{l}{A} = n^2 R[\Omega]$$

즉, 원래 저항의 n^2 배가 된다.

- 09 전체 체적이 일정하다는 것은 부피가 일정하다는 말이므로, 길이가 2배로 늘어나면 단면적은 $\frac{1}{2}$ 로 줄어야 한다. 따라서 원래

저항의 크기를 $R = \rho \frac{l}{A}[\Omega]$ 이라고 할 때, 변화된 저항의 크기는

$$R' = \rho \frac{2 \times l}{\frac{1}{2} \times A} = 4 \cdot \rho \frac{l}{A} = 4R[\Omega] \text{으로 4배가 된다.}$$

- 10 전선의 단면적은 원형이므로,

$$R = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{\pi r^2}[\Omega] \text{이 된다. 따라서}$$

$$R' = \rho \frac{4l}{\pi \left(\frac{1}{2}r\right)^2} = 16 \cdot \rho \frac{l}{\pi r^2} = 16R[\Omega] \text{으로}$$

원래 저항의 16배가 된다.

- 11 발열량 $H = I^2 R t[\text{J}] = 0.24 I^2 R t[\text{cal}]$ 이므로,

$$H = 0.24 \times 1^2 \cdot 500 \cdot 60 = 7,200[\text{cal}] \text{이다.}$$

※ $1[\text{cal}] = 4.186[\text{J}] \approx 4.2[\text{J}]$ 이다.

- 12 $L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{100 \cdot 5 \times 10^{-3}}{5} = 100[\text{mH}]$

- 13 인덕터 2개가 병렬연결된 부분의 합성 인덕턴스는

$$\frac{1}{\frac{1}{L} + \frac{1}{L}} = \frac{1}{2} L = 0.5L[\text{H}]$$

이 병렬연결된 합성 인덕턴스와 나머지 인덕터가 직렬연결되어 있으므로,

$$L_{\text{최종}} = L + 0.5L = 1.5L[\text{H}] \text{이다.}$$

- 14 $W_L = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-3} \times 40^2 = 16[\text{J}]$

- 15 커패시터 2개가 병렬연결된 부분의 합성커패시턴스는

$$C + C = 2C[\text{F}] \text{이다.}$$

이 병렬연결된 합성 커패시턴스와 나머지 커패시터가 직렬연결되어 있으므로,

$$C_{\text{최종}} = C // 2C = \frac{1}{\frac{1}{C} + \frac{1}{2C}} = \frac{2}{3} C[\text{F}]$$

- 16 평행 평판 도체는 커패시터를 말한다. 커패시터의 정전 용량은

$C = \epsilon \frac{S}{d} = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}[\text{F}]$ 이므로, 유전율(ϵ), 비유전율(ϵ_r), 평행 평판의 면적(S)에 비례하고, 평행 평판 사이의 거리(d)에 반비례한다.

- 17 콘덴서의 정전 용량을 C [F]라고 하면,

$$\text{직렬연결 시 합성 정전 용량은 } C_{\text{직렬}} = \frac{C}{10}[\text{F}]$$



병렬연결 시 합성 정전 용량은 $C_{\text{병렬}}=10C$ [F]

$$\therefore \frac{C_{\text{직렬}}}{C_{\text{병렬}}} = \frac{\frac{C}{10}}{10C} = \frac{1}{100} \text{ [F]}$$

18 $W_C = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \times 10^{-6} \cdot 1000^2 = 5 \text{ [J]}$

19 $W = \frac{1}{2} DE = \frac{1}{2} \cdot 80 \cdot 50 = 2,000 \text{ [J/m}^3\text{]}$

20 금속 도체는 온도가 상승함에 따라 저항이 증가하는 정(+)의 온도 계수를 가지며, 반도체 등은 부(-)의 온도 계수를 갖는데, 서미스터는 반도체의 한 종류이다.

21 상승 후 온도 t_2 [°C]에서의 저항 R_2 는

$$R_2 = R_1 \{1 + a_t(t_2 - t_1)\}$$

$$= 20 \cdot \{1 + 4.3 \times 10^{-3} \cdot (50 - 0)\}$$

$$\approx 24.3 \text{ [\Omega]}$$

IV-02. 직류 회로의 해석

단원 평가 문제

170~171쪽

- 01 ① 02 ② 03 ③ 04 ① 05 ④ 06 ④ 07 ① 08 ①
 09 ④ 10 ③ 11 ④ 12 ② 13 ① 14 ② 15 ③ 16 ②
 17 ② 18 ① 19 ③ 20 ④ 21 ① 22 ② 23 ② 24 ④

[해설]

- 01 옴의 법칙은 $I = \frac{V}{R}$ 이므로, 전류는 전압에 비례하고 저항에 반비례한다.
- 02 전열기는 저항만의 회로이다. 따라서 이 회로의 저항은 옴의 법칙에서
- $$R = \frac{V}{I} = \frac{100}{10} = 10 \text{ [\Omega]}$$
- 따라서 이 회로에 220[V]를 가했을 때, 역시 옴의 법칙을 이용하여 구하면
- $$I = \frac{V}{R} = \frac{220}{10} = 22 \text{ [A]}$$
- 03 컨덕턴스 $G = \frac{1}{R}$ 이므로, 이를 옴의 법칙에 대입하면
- $$I = \frac{V}{R} = GV \text{ 에서, } G = \frac{I}{V} \text{ 가 된다.}$$
- 04 저항의 직렬 접속 시 직렬연결된 저항값을 모두 더해 주면 합성 저항값이 된다.
- $$R = 3 \times 3 + 4 \times 4 + 5 \times 5 = 50 \text{ [\Omega]}$$
- 05 저항이 직렬연결되어 있으므로, 합성 저항을 구하면
- $$R = 5 + 10 + 20 = 35 \text{ [\Omega]} \text{ 이다.}$$
- 따라서 회로의 전체 전류는 $I = \frac{105}{35} = 3 \text{ [A]}$ 이므로, 20[Ω]의 저항에 옴의 법칙을 적용하면

$$V_{20} = IR_{20} = 3 \times 20 = 60 \text{ [V]}$$

다른 풀이) 저항이 직렬연결되어 있으므로 전압 분배를 이용해도 된다.

$$V_{20} = 105 \times \frac{20}{5 + 10 + 20} = 105 \times \frac{20}{35} = 60 \text{ [V]}$$

06 10[Ω] 저항에 흐르는 전류는

$$I_{10} = \frac{V}{R} = \frac{20}{10} = 2 \text{ [A]} \text{ 이고, 저항이 직렬 접속되어 있으므로, 전체 전류 } I = I_{10} = 2 \text{ [A]} \text{ 이다. 회로의 합성 저항은 } R = 5 + 10 + 15 = 30 \text{ [\Omega]} \text{ 이므로, 옴의 법칙을 통해 전체 전압은 } V = IR = 2 \times 30 = 60 \text{ [V]}$$

07 저항의 병렬접속이므로, 합성 저항을 구하면

$$R = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}} = \frac{1}{\frac{4}{3}} = \frac{3}{4} = 0.75 \text{ [\Omega]}$$

08 저항은 병렬 접속 시 그 합성값이 감소하므로, 저항을 모두 병렬 연결할 때 가장 작은 값을 갖게 된다. 저항값이 모두 동일할 경우, 저항값을 저항의 개수로 나누게 되면 병렬 합성 저항값이 나오므로, 합성 저항 $R = \frac{9}{3} = 3 \text{ [\Omega]}$ 이다.

09 병렬 접속 회로에서는 전압이 일정하므로, 각 저항에 흐르는 전류를 구하면

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{30}{3} = 10 \text{ [A]}, I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{30}{5} = 6 \text{ [A]}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{30}{6} = 5 \text{ [A]}$$

키르히호프 법칙에 의해 전체 전류를 구하면

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 10 + 6 + 5 = 21 \text{ [A]} \text{ 가 된다.}$$

10 전체 전류를 I_t 라고 하면, 저항 R_2 에 흐르는 전류는 전류 분배 법칙에 의해

$$I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_t \text{ 이므로, 전체 전류에 대해 정리하면}$$

$$I_t = \frac{R_1 + R_2}{R_1} I \text{ 가 된다.}$$

11 제시된 그림의 회로에서 I_2 가 흐르는 직렬 접속된 저항 2개가 I_1 이 흐르는 저항 1개와 병렬 접속된 구조이다. 따라서 전류 분배 법칙을 적용하면,

$$I_1 = \frac{2R}{R + 2R} I = \frac{2}{1 + 2} \times 6 = \frac{2}{3} \times 6 = 4 \text{ [A]}$$

12 $R = \frac{6 \cdot 4}{6 + 4} + \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 2.4 + 5 = 7.4 \text{ [\Omega]}$

13 제시된 그림의 회로는 $(r+r)//r//(r+r)$ 의 구조이다. 따라서 $2r//r//2r$ 이고, 같은 저항값을 가진 $2r$ 의 저항끼리 먼저 병렬 합성하면 $\frac{2r}{2} = r \text{ [\Omega]}$ 이 되므로, 결국 $r//r$ 의 구조이다. 역시 같은 저항값을 가진 2개의 저항이므로 병렬 합성하면, $\frac{r}{2} \text{ [\Omega]}$ 이 최종 합성 저항값이 된다.

※ '/' 표시는 병렬임을 의미한다.

- 14 회로에 흐르는 전체 전류를 구하기 위해 저항을 합성하면

$$R_t = \frac{4 \cdot 6}{4+6} + 2.6 = \frac{24}{10} + 2.6 = 2.4 + 2.6 = 5[\Omega]$$

따라서 전체 전류 $I_t = \frac{10}{5} = 2[\text{A}]$ 가 되고, 이 전류가 병렬연결에서 전류분배되므로, 6[Ω] 저항에 흐르는 전류는

$$I = \frac{4}{4+6} \times 2 = 0.8[\text{A}] \text{가 된다.}$$

여기에 옴의 법칙을 적용하면 6[Ω] 저항의 전압을 구할 수 있다. 따라서 $V = IR = 0.8 \times 6 = 4.8[\text{V}]$

- 15 • 키르히호프의 제1법칙은 전류에 관한 법칙으로 회로망에 유입되는 전류의 합은 유출되는 전류의 합과 같다는 법칙이다.
• 키르히호프의 제2법칙은 전압에 관한 법칙으로 회로망의 임의의 한 폐회로에서 전압 강하의 대수 합과 기전력의 대수합이 같다는 법칙이다.

- 16 A단자에서 B단자 쪽으로 KVL을 적용하면, $2[\text{V}] + 3[\text{V}] + 1.5[\text{V}] - 1.5[\text{V}] - 3[\text{V}] = 2[\text{V}]$ 가 된다.

- 17 시계 방향으로 전류 방향(I)을 설정하고 KVL을 적용하면 $+15 - V_{3[\Omega]} - V_{2[\Omega]} - 5 = 0$ 가 되고, 옴의 법칙을 적용하면 $V_{3[\Omega]} = IR_{3[\Omega]} = 3I$, $V_{2[\Omega]} = IR_{2[\Omega]} = 2I$ 이므로 이를 대입하면 $+15 - 3I - 2I - 5 = 0$, $5I = 10 \quad \therefore I = 2[\text{A}]$

- 18 회로의 V_1 노드에 KCL을 적용한다. 유입 전류 5[A], 6[Ω] 저항과 4[Ω] 저항으로 유출되는 전류로 설정하고, 각 저항에서 옴의 법칙을 적용하여 전류의 값을 계산하면

$$5 = \frac{V_1}{6} + \frac{V_1 - 5}{4}, \quad 60 = 2V_1 + 3(V_1 - 5)$$

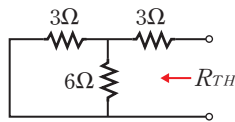
$$5V_1 = 75 \quad \therefore V_1 = 15[\text{V}]$$

- 19 닫힌 회로인 I_1 망로에서 KVL을 적용한다. 각 저항에 옴의 법칙을 적용하면,

$$6(I_1 - 5) + 4I_1 + 5 = 0, \quad 10I_1 = 25, \quad \therefore I_1 = 2.5[\text{A}]$$

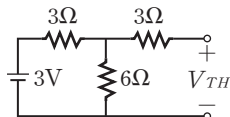
- 20 중첩의 원리를 적용할 때 독립 전원은 전류원은 개방, 전압원은 단락시켜 제거한다.

- 21 부하 저항 $R[\Omega]$ 을 제거하고 전압원을 단락시킨 후 테브난 저항을 구한다.



$$R_{TH} = 3[\Omega] // 6[\Omega] + 3[\Omega] = \frac{3 \times 6}{3+6} + 3 = 5[\Omega]$$

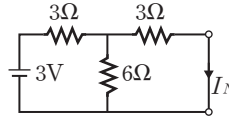
- 22 부하 저항 $R[\Omega]$ 을 제거한 후 양단 전압을 구한다.



전압 분배 법칙을 적용하면,

$$V_{TH} = 3 \times \frac{6}{3+6} = 2[\text{V}]$$

- 23 부하 저항 $R[\Omega]$ 을 제거하고 단락시킨 후 흐르는 전류를 구한다.



합성 저항 $R_{eq} = 3 + \frac{3 \times 6}{3+6} = 5[\Omega]$ 이므로, 전체 전류

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{3}{5} = 0.6[\text{A}] \text{이다.}$$

전체 전류에서 I_N 으로 분배되는 전류를 구하면,

$$I_N = I \times \frac{6}{6+3} = 0.6 \times \frac{6}{9} = 0.4[\text{A}] \text{가 된다.}$$

- 24 휘트스톤 브리지가 평형일 때, 마주보는 저항끼리 곱한 값이 같은 특징이 있다. 따라서

$$PX = QR \quad \therefore X = \frac{Q}{P}R$$

IV-03. 전류의 작용

단원 평가 문제

170~173쪽

- 01 ③ 02 ④ 03 ① 04 ③ 05 ① 06 ③ 07 ③ 08 ②
09 ③ 10 ④ 11 ④ 12 ② 13 ①

[해설]

- 01 전류의 발열 작용과 관계가 있는 법칙은 줄의 법칙이다.

- 02 열량 [cal]이므로, 다음의 식을 이용하여 구한다.

$$H = 0.24I^2Rt = 0.24 \times 1^2 \times 500 \times 60 = 7,200[\text{cal}]$$

- 03 전력량을 먼저 구하면,

$$W = Pt = 1,500 \times 30 \times 60 = 2,700[\text{kJ}]$$

발열량 $H = 0.24I^2Rt = 0.24Pt = 0.24Wt$ 이므로

$$\therefore H = 0.24 \times 2,700 = 648[\text{kcal}]$$

- 04 $P = VI = 100 \times 2.5 = 250[\text{W}]$

- 05 전열선은 저항만의 회로이므로

$$P = \frac{V^2}{R}, \quad R = \frac{V^2}{P} = \frac{200^2}{500} = 80[\Omega]$$

- 06 전열기는 저항만의 회로이고, 전압과 전력을 알고 있으므로,

$$P = \frac{V^2}{R} \text{ 식을 이용하여 저항값을 구할 수 있다.}$$

R 에 대해 위 식을 정리하면

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{200^2}{1000} = 40[\Omega]$$

따라서 100[V]에서 사용할 때의 소비 전력은

$$P_{100[\Omega]} = \frac{100^2}{40} = 250[\text{W}] \text{가 된다.}$$



07 백열전구는 R 만의 회로로 취급한다. 전압과 전력이 주어졌으므로, $P = \frac{V^2}{R}$ 을 이용하여 두 백열전구의 저항을 구하면

$$R_{100[W]} = \frac{V^2}{P_{100[W]}} = \frac{220^2}{100} = 484[\Omega]$$

$$R_{200[W]} = \frac{V^2}{P_{200[W]}} = \frac{220^2}{200} = 242[\Omega]$$

직렬 접속했으므로, 두 백열전구에 흐르는 전류는 동일하다. 따라서 $P = I^2 R$ 에서 전류가 동일하므로, 전력은 저항의 값에 비례한다. 따라서

$$P_{100[W]} > P_{200[W]} \text{이다.}$$

08 제베크 효과에 대한 설명이다.

09 펄티에 효과에 대한 설명이다.

10 패러데이의 법칙에서 전기 분해에 의해 석출되는 물질의 양은 $W = kQ$ [g]으로 정의되며, 여기서 k 는 물질의 화학당량, Q 는 전하량을 뜻한다.

11 패러데이의 법칙 $W = kQ$ [g]에서 석출되는 물질의 양과 비례하는 것은 총전하량이다.

12 $W = kQ = kIt$ 에서

$$I = \frac{W}{k \cdot t} = \frac{120}{0.001118 \times (10 \times 60 \times 60)} \approx 3[\text{A}]$$

13 충전을 통해 반복적으로 재사용이 가능한 전지는 2차 전지이며, 납축전지, 니켈-수소 전지, 리튬 이온 전지 등이 있다. 망간 건전지는 1차 전지에 해당한다.

V. 교류 회로

V-01. 교류 회로의 기초

단원 평가 문제

256쪽

01 ③ 02 ④

[해설]

01 순싯값 $V_m \sin(\omega t + \theta) = \sqrt{2} V_{rms} \sin(2\pi f t + \theta)$ 이다.

V_m = 최댓값, V_{rms} = 싯값, f = 주파수, θ = 위상이다.

02 두 교류 전류를 비교하기 위해 같은 사인 함수로 변환하여 위상차를 비교한다.

$\cos \omega t = \sin(\omega t + 90^\circ)$ 이므로, 두 교류 전류 사이에는 90° 의 위상차가 존재한다.

V-02. 교류 기본 회로의 해석

단원 평가 문제

256쪽

01 ① 02 ④ 03 ① 04 ② 05 ③ 06 ③ 07 ③ 08 ④ 09 ④

[해설]

01 전열 기구는 저항 소자만 가지는 회로이다.

$$\text{따라서 } I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{100}{50} = 2[\text{A}]$$

02 유도 리액턴스 $X_L = 2\pi f L = 2 \times 3.14 \times 10 \times 1 = 62.8[\Omega]$ 이다.

03 $2\pi f t = 120\pi t$ 므로, 주파수 $f = 60$ [Hz]이다.

따라서 유도 리액턴스는

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times 3.14 \times 60 \times 0.1 = 37.68[\Omega]$$

따라서 코일만의 회로에서 전류를 구하면

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{3.768}{37.68} = 0.1[\text{A}]$$

04 용량 리액턴스

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 60 \times 0.001} \approx 2.65[\Omega]$$

이다.

05 합성 임피던스를 \dot{Z} 이라고 하면,

$$\dot{Z} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 = (2+4) + j(11-3) = 6 + j8[\Omega],$$

$$Z = \sqrt{6^2 + 8^2} = \sqrt{100} = 10[\Omega]$$

06 $\dot{Z} = (2+4) + j(10-2) = 6 + j8[\Omega],$

$$Z = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10[\Omega],$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{36}{10} = 3.6[\text{A}]$$

$$\begin{aligned} 07 \quad \dot{Z} &= \frac{\dot{V}}{\dot{I}} = \frac{50}{8+j6} = \frac{50}{8+j6} \times \frac{8-j6}{8-j6} = \frac{50(8-j6)}{8^2+6^2} \\ &= \frac{50(8-j6)}{100} = 4-j3[\Omega] \end{aligned}$$

$$08 \quad \dot{Z} = \frac{\dot{V}}{\dot{I}} = \frac{20 \angle 60^\circ}{10 \angle 30^\circ} = 2 \angle 30^\circ$$

$$= 2(\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ)$$

$$= 2\left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right) = \sqrt{3} + j1[\Omega],$$

09 병렬연결일 때 합성 어드미턴스는 어드미턴스끼리 더해 주면 쉽게 구할 수 있다.

V-03. 교류 직렬 회로의 해석

단원 평가 문제

257쪽

01 ③ 02 ④ 03 ③ 04 ② 05 ④ 06 ④ 07 ②

[해설]

$$01 \quad Z = \sqrt{4^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5[\Omega],$$

$$V = IZ = 5 \cdot 5 = 25[\text{V}]$$

$$02 \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5[\Omega],$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{5} = 20[\text{A}],$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} = \tan^{-1} \left(\frac{4}{3} \right) \approx 53.1^\circ$$

※ $\tan^{-1} \frac{4}{3} \approx 36.87^\circ$ 이다. 자주 사용하는 값이므로 알아두면 좋다.

03 R-C 직렬 회로에서 임피던스의 크기는

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{9^2 + 12^2} = \sqrt{225} = 15[\Omega]$$

04 R-C 직렬 회로에서 $Z = R - jX_C = 6 - j8[\Omega]$

$$\dot{V} = \dot{I}Z = 10 \cdot (6 - j8) = 60 - j80[\text{V}]$$

05 직렬 회로이므로 저항과 콘덴서에 흐르는 전류는 모두 10[A]로 같다. 따라서

$$V = IX_C \text{에서 } X_C = \frac{V}{I} = \frac{80}{10} = 8[\Omega]$$

06 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{4^2 + (8 - 5)^2} = 5[\Omega]$

$$\therefore I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{5} = 20[\text{A}]$$

R-L-C 직렬 회로에서 $X_L > X_C$ 이므로 유도성이다.

$$07 f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$= \frac{1}{2 \times 3.14 \sqrt{35 \times 10^{-3} \cdot 300 \times 10^{-6}}} = 49.14 \approx 50[\text{Hz}]$$

V-04. 교류 병렬 회로의 해석

단원 평가 문제

257~258쪽

01 ③ 02 ② 03 ① 04 ① 05 ④ 06 ①

[해설]

01 저항에 흐르는 전류를 I_R , 코일에 흐르는 전류를 I_L , 전체 전류를 I 라고 하면,

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{120}{40} = 3[\text{A}], I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{120}{30} = 4[\text{A}]$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5[\text{A}]$$

02 $I_R = \frac{V}{R} = \frac{12}{4} = 3[\text{A}], I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{12}{X_L}$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = \sqrt{3^2 + I_L^2} = 5[\text{A}]$$

$$9 + I_L^2 = 25, I_L^2 = 25 - 9 = 16, I_L = \sqrt{16} = 4[\text{A}]$$

$$I_L = \frac{12}{X_L} = 4, \therefore X_L = 3[\Omega]$$

03 $I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{V}{\frac{1}{\omega C}} = \omega CV = 2\pi fCV$

$$= 2 \cdot (3.14) \cdot 60 \cdot (318 \times 10^{-6}) \cdot 200 \approx 24[\text{A}]$$

04 R-L 병렬 회로에서 위상차를 구하면,

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{R}{\omega L} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{4}{4\sqrt{3}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) = 30^\circ$$

R-L 병렬 회로에서는 전류가 전압보다 위상이 느리므로, 전압이 전류보다 30° 앞선다고 말할 수 있다.

05 $I_R = \frac{V}{R} = \frac{80}{10} = 8[\text{A}], I_C = \frac{V}{X_L} = \frac{80}{20} = 4[\text{A}]$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{80}{X_C}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} = \sqrt{8^2 + (I_C - 4)^2} = 10$$

$$64 + (I_C - 4)^2 = 100, (I_C - 4)^2 = 100 - 64 = 36$$

$$I_C - 4 = 6, I_C = 10[\text{A}] = \frac{80}{X_C} \quad \therefore X_C = \frac{80}{10} = 8[\Omega]$$

06 그림의 회로는 $X_L = X_C$ 인 병렬 공진 회로이다.

$$\text{따라서 } I = \frac{V}{R} = \frac{100}{20} = 5[\text{A}]$$

V-05. 교류의 전력

단원 평가 문제

258쪽

01 ③ 02 ② 03 ① 04 ④ 05 ③ 06 ② 07 ④

[해설]

01 저항 부하만으로 구성된 회로이므로

전압과 전류의 위상차 $\theta = 0^\circ$ 이다. 따라서

$$P = VI \cos \theta = 220 \cdot 5 \cdot \cos 0 = 1,100[\text{W}]$$

02 교류 회로에서 역률은 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$PF = \cos \theta = \frac{P}{S}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{80^2 + 60^2} = 100,$$

$$\therefore PF = \frac{P}{S} = \frac{80}{100} = 0.8$$

03 이 회로의 임피던스는

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{60^2 + 80^2} = 100[\Omega]$$

유효 전력은 저항 부하에서 소비한 전력이므로

$$P = I^2 R = \left(\frac{V}{Z} \right)^2 R = \left(\frac{100}{100} \right)^2 \cdot 60 = 60[\text{W}]$$

$$\text{역률 } \cos \theta = \frac{R}{Z} = \frac{60}{100} = 0.6 \text{이다.}$$

※ 직렬연결 회로에서는 전류가 일정하므로, 유효 전력은

$$P = I^2 R[\text{W}], \text{ 무효 전력은 } Q = I^2 X[\text{Var}] \text{로 구할 수 있다.}$$

04 $P = VI \cos \theta = 220 \cdot 3 \cdot 0.8 = 528[\text{W}]$

05 무효 전력 $Q = S \sin \theta$ 로 구할 수 있다. 이 회로의 역률은 80[%]이므로 $\cos \theta = 0.80$ 이다. 따라서

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6$$

또한 유효 전력 $P = S \cos \theta = 80[\text{kW}]$ 이므로

$$S = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{80[\text{kW}]}{0.8} = 100[\text{kVA}] \text{이고, 따라서}$$

$$Q = S \sin \theta = 100 \times 10^3 \cdot 0.6 = 60,000[\text{Var}] = 60[\text{kVar}]$$

06 리액턴스를 구해야 하므로, 무효 전력을 이용한다.

$$Q = I^2 X = VI \sin \theta, \therefore X = \frac{V \sin \theta}{I}$$



전류 I 를 구하기 위해 주어진 유효 전력을 이용하면

$$P = VI \cos \theta, \therefore I = \frac{P}{V \cos \theta} = \frac{800}{100 \cdot 0.8} = 10[\text{A}]$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6,$$

$$\therefore X = \frac{V \sin \theta}{I} = \frac{100 \cdot 0.6}{10} = 6[\Omega]$$

$$\begin{aligned} 07 \quad \dot{S} &= \dot{V} \dot{I}^* = (120 + j90)(3 - j4) \\ &= 720 - j210 = P + jQ[\text{VA}] \end{aligned}$$

역률을 구하면

$$\begin{aligned} PF &= \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \\ &= \frac{720}{\sqrt{720^2 + 210^2}} = 0.96 \end{aligned}$$

V-06. 3상 교류 회로

단원 평가 문제

258~260쪽

- 01 ③ 02 ④ 03 ② 04 ③ 05 ① 06 ③ 07 ① 08 ②
09 ② 10 ② 11 ② 12 ④ 13 ③ 14 ② 15 ③ 16 ③
17 ③ 18 ④ 19 ③

[해설]

01 c 상의 전압은 a 상의 전압과 크기는 같고, 위상차만 $+120^\circ (= \frac{2}{3}\pi)$ 만큼의 차이를 가진다. 이를 수식으로 표현하면

$$v_c = 100\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3} + \frac{2}{3}\pi\right)$$

$$v_c = 100\sqrt{2} \sin(\omega t + \pi) = 100\sqrt{2} \sin(\omega t - \pi)[\text{V}]$$

$$v_c = 100\sqrt{2} \sin(\omega t - \pi)[\text{V}]$$

02 Y 결선은 상전류와 선전류의 크기와 위상은 같고, 선간 전압은 상전압의 $\sqrt{3}$ 배이며, 위상차는 상전압보다 30° 빠른 특징을 갖는다.

$$\dot{V}_L = \sqrt{3} \dot{V}_P \angle 30^\circ [\text{V}] \quad (Y\text{결선})$$

03 Y 결선에서 선간 전압과 상전압의 크기는

$$V_L = \sqrt{3} V_P \text{이므로, 상전압을 구하면}$$

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} \approx 127[\text{V}]$$

04 Δ 결선 시에는 상전압과 선간 전압의 크기와 위상이 같고, 선전류는 상전류 크기의 $\sqrt{3}$ 배이며 위상차는 상전류보다 30° 느린 특징을 갖는다.

$$\dot{I}_l = \sqrt{3} \dot{I}_P \angle -30^\circ [\text{A}] \quad (\Delta\text{결선})$$

05 위 풀이 참조

06 3상 회로를 해석할 때는 상전압이나 상전류 기준으로 계산한 후 선간 전압, 선전류로 변환하면 편리하다.

$$Y\text{결선이므로 } \dot{I}_l = 20 \angle -90^\circ = \dot{I}_P$$

$$\dot{V}_P = \dot{I}_P \dot{Z} = 20 \angle -90^\circ \cdot 10 \angle 60^\circ$$

$$= 200 \angle -30^\circ [\text{V}]$$

Y 결선에서 $\dot{V}_L = \sqrt{3} \dot{V}_P \angle 30^\circ [\text{V}]$ 이므로

$$\dot{V}_{ab} = \dot{V}_l = \sqrt{3} \cdot 200 \angle -30^\circ \cdot \angle +30^\circ$$

$$= 200\sqrt{3} \angle (-30^\circ + 30^\circ) = 200\sqrt{3} \angle 0^\circ [\text{V}]$$

07 평형 3상 등가 회로의 Δ 부하와 Y 부하의 임피던스는

$$Z_\Delta = 3 Z_Y \text{의 관계에 있으므로,}$$

$$\therefore Z_Y = \frac{1}{3} Z_\Delta = \frac{1}{3} \cdot 12 = 4[\Omega]$$

08 Y 부하에서, $I_l = I_p = 10[\text{A}]$,

$$V_l = \sqrt{3} V_P \text{이므로}$$

$$\therefore V_P = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{210}{\sqrt{3}} \approx 121[\text{V}]$$

09 Y 결선에서 $V_P = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} \approx 220[\text{V}]$

$$I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{220}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 22[\text{A}] = I_l$$

10 * 문제에서 상전압인지 선간 전압인지 언급이 없다면 선간 전압을 의미한다.

$$Y\text{결선에서 } V_P = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{200}{\sqrt{3}} \approx 115.47[\text{V}]$$

$$I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{115.47}{\sqrt{4^2 + 3^2}} \approx 23.1[\text{A}]$$

11 Δ 결선에서 $V_P = V_l = 200[\text{V}]$,

$$I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{200}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = 40[\text{A}]$$

12 Δ 결선에서 $V_P = V_l = 220[\text{V}]$

$$I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{220}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 22[\text{A}]$$

$$I_l = \sqrt{3} I_P = 22\sqrt{3}[\text{A}]$$

13 선간 전압과 선전류가 주어졌으므로 다음의 식을 사용한다.

$$P = \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta$$

$$= \sqrt{3} \cdot 13,200 \cdot 800 \cdot 0.8 \approx 14,632[\text{kW}]$$

14 발전기 용량은 피상 전력이므로

$$S = 3 V_P I_P = 1,000[\text{kVA}]$$

출력은 유효 전력이므로

$$P = 3 V_P I_P \cos \theta = S \cos \theta$$

$$= 1,000 \cdot 0.7 = 700[\text{kW}]$$

15 $P = \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta$ 에서,

$$\cos \theta = \frac{P}{\sqrt{3} V_l I_l} = \frac{7,000}{\sqrt{3} \cdot 200 \cdot 25} \approx 0.8$$

$$07 \quad I_p = \frac{V_p}{Z_p} = \frac{\frac{200}{\sqrt{3}}}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = \frac{40}{\sqrt{3}} [\text{A}]$$

$$\therefore Q = 3 I_p^2 X = 3 \cdot \left(\frac{40}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot 3 = 4,800[\text{Var}]$$

$$17 \quad V_P = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{200\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = 200[\text{V}]$$

$$I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{200}{\sqrt{80^2 + 60^2}} = 2[\text{A}]$$

$$\therefore P = 3I_P^2 R = 3 \cdot 2^2 \cdot 80 = 960[\text{W}]$$

- 18 단상 전력계 2대를 사용하는 것은 2전력계법이며, 2전력계법의 3상 전력은 다음과 같이 계산한다.
 $P = P_1 + P_2[\text{W}]$
- 19 2전력계법의 전력 계산은 다음과 같다.
 $P = P_1 + P_2 = 300 + 500 = 800[\text{W}]$

V-07. 비사인파 교류 회로

단원 평가 문제

260~261쪽

- 01 ① 02 ① 03 ③ 04 ④ 05 ① 06 ④ 07 ② 08 ③ 09 ③ 10 ② 11 ③ 12 ② 13 ③ 14 ① 15 ②

[해설]

- 01 비사인파는 일반적으로 직류분+기본파+고조파로 구성되어 있다.
- 02 비사인파를 여러 개의 정현파의 합으로 나타내는 방법은 푸리에 분석으로, 푸리에 급수를 활용한다.
- 03 기본파의 주기 $T = 10[\text{ms}]$ 이므로
 $f_1 = \frac{1}{T} = \frac{1}{10 \times 10^{-3}} = 100[\text{Hz}]$
 제3고조파 주파수는 기본파 주파수의 3배이다.
 $\therefore f_3 = 3f_1 = 3 \times 100 = 300[\text{Hz}]$
- 04 비사인파의 실효값은 직류분, 기본파, 각 고조파의 실효값 제곱 합의 제곱근이다.
- 05 $I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_3^2} = \sqrt{3^2 + 10^2 + 5^2} \approx 11.6[\text{A}]$
- 06 최댓값 $V_m = 314[\text{V}]$ 이므로, 평균값은
 $V_{av} = \frac{2}{\pi} V_m = \frac{2}{3.14} \cdot 314 = 200[\text{V}]$ 이다.
- 07 각 파형의 실효값은 다음과 같다.
 • 사인 반파: $\frac{V_m}{2}$ • 사인 전파: $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$
 • 사각 전파: V_m • 사인 반파: $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$
 • 삼각파: $\frac{V_m}{\sqrt{3}}$
- 08 그림의 파형은 사각 반파이다.
 $I_{av} = \frac{I_m}{2} = 10[\text{A}], I_m = 2 \cdot 10 = 20[\text{A}]$
 $\therefore I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 10\sqrt{2} \approx 14[\text{A}]$
- 09 파형률 = $\frac{\text{실효값}}{\text{평균값}}$ 이고, 삼각파의 실효값 $\frac{V_m}{\sqrt{3}}$,
 평균값 = $\frac{V_m}{2}$ 이므로,

$$\text{파형률} = \frac{\frac{V_m}{\sqrt{3}}}{\frac{V_m}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \text{이다.}$$

- 10 기본파의 실효값을 V 라고 하면, 제3고조파 $V_3 = 0.03V$, 제5 고조파 $V_5 = 0.04V$, 제7 고조파 $V_7 = 0.01V$ 로 표현할 수 있다.
 $\therefore D = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2}}{V} \times 100[\%]$
 $= \frac{\sqrt{(0.03V)^2 + (0.04V)^2 + (0.01V)^2}}{V} \times 100[\%]$
 $= \sqrt{0.03^2 + 0.04^2 + 0.01^2} \times 100[\%] \approx 5.1[\%]$
- 11 비사인파 전압이 인가된 회로를 해석할 때는 중첩의 원리를 활용한다.
 ① 기본파에 의한 해석
 기본파에 의한 임피던스를 Z_1 이라고 하면
 $\dot{Z}_1 = R - j\frac{1}{\omega C} = 4 - j36[\Omega]$
 $\therefore I_1 = \frac{V_1}{Z_1} = \frac{120}{\sqrt{4^2 + 36^2}} \approx 3.3[\text{A}]$
- ② 제3고조파에 의한 해석
 제3고조파에 의한 임피던스를 구하면
 $\dot{Z}_3 = R - j\frac{1}{3\omega C} = 4 - j\frac{1}{3} \cdot 36 = 4 - j12[\Omega]$
 $\therefore I_3 = \frac{V_3}{Z_3} = \frac{60}{\sqrt{4^2 + 12^2}} \approx 4.74[\text{A}]$
- ③ 제5고조파에 의한 해석
 제5고조파에 의한 임피던스를 구하면
 $\dot{Z}_5 = R - j\frac{1}{5\omega C} = 4 - j\frac{1}{5} \cdot 36 = 4 - j7.2[\Omega]$
 $\therefore I_5 = \frac{V_5}{Z_5} = \frac{30}{\sqrt{4^2 + 7.2^2}} \approx 3.64[\text{A}]$
- ④ 중첩의 원리 적용
 $I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2}$
 $= \sqrt{3.3^2 + 4.74^2 + 3.64^2} \approx 6.83[\text{A}]$
- 12 $I_3 = \frac{V_3}{Z_3} = \frac{200}{\sqrt{R^2 + (3\omega L)^2}} = \frac{200}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 20[\text{A}]$
- 13 비사인파 교류의 전력은 주파수가 같은 전류와 전압 사이에서만 발생한다.
- 14 전압과 전류가 같은 주파수가 존재하지 않으므로, 평균 전력은 0이 된다.
- 15 $P = V_0 I_0 + V_1 I_1 \cos \theta$
 $= 200 \cdot 15 + \frac{141}{\sqrt{2}} \cdot \frac{4}{\sqrt{2}} \cdot \cos(0^\circ - (-60^\circ))$
 $= 3000 + 141 = 3,141[\text{W}]$



찾아보기

ㄱ

| | |
|----------|-----|
| 가변 저항 | 117 |
| 가변 커패시터 | 119 |
| 가우스 법칙 | 51 |
| 가전자대 | 32 |
| 간접 측정 | 235 |
| 감속기 | 101 |
| 감전 | 131 |
| 강자성체 | 72 |
| 개회로 | 140 |
| 검류계 | 94 |
| 결선 | 230 |
| 결합 계수 | 99 |
| 계측 장치 | 184 |
| 고압 직류 송전 | 25 |
| 고정 저항 | 117 |
| 고정 커패시터 | 119 |
| 고조파 | 242 |
| 공심 인덕터 | 118 |
| 공진 곡선 | 201 |
| 공진 주파수 | 201 |
| 교류 | 179 |
| 교류 발전기 | 241 |
| 교류 전동기 | 239 |
| 교류 전력 | 224 |
| 교류 전원 | 179 |
| 교유 저항 | 122 |
| 구동 배터리팩 | 101 |
| 구리 손실 | 79 |
| 구형파 | 182 |
| 국제단위계 | 20 |
| 국제도량형총회 | 23 |
| 권선 저항 | 117 |
| 극판 | 126 |
| 금속 도금 | 157 |
| 금지대 | 32 |
| 기계 손실 | 87 |
| 기본파 | 241 |

ㄴ

| | |
|----------|-----|
| 나침반 | 13 |
| 내핵 | 70 |
| 네오디움 자석 | 67 |
| 노드 | 141 |
| 노이즈 캔슬링 | 249 |
| 노턴 등가 회로 | 147 |
| 누설 지속 | 99 |
| 누설 전류 | 133 |
| 니켈 수소 전지 | 161 |

ㄷ

| | |
|----------|-----|
| 다이오드 | 33 |
| 단위 양전하 | 45 |
| 대역 필터 | 219 |
| 대전 서열 | 35 |
| 도스법 | 181 |
| 도체 | 32 |
| 등가 회로 | 136 |
| 등전위면 | 49 |
| 등전위선 | 49 |
| 디지털 기기 | 33 |
| 디지털 멀티미터 | 184 |
| 디지털 전력량계 | 237 |

ㄹ

| | |
|----------|-----|
| 렌츠의 법칙 | 94 |
| 리튬 이온 전지 | 159 |

ㅁ

| | |
|----------|-----|
| 마그네시아 | 13 |
| 마디 해석법 | 144 |
| 마찰 | 34 |
| 마찰 대전 | 35 |
| 망가니즈 건전지 | 159 |
| 망로 해석법 | 145 |

| | |
|---------|-----|
| 매질 | 79 |
| 메모리 반도체 | 39 |
| 모바일 기기 | 161 |
| 무선 통신 | 203 |
| 무효 전력 | 224 |
| 물리 전지 | 159 |

ㅂ

| | |
|----------|-----|
| 바리콘 | 119 |
| 박리 대전 | 35 |
| 반도체 | 32 |
| 반자성체 | 72 |
| 발열 | 155 |
| 발열 작용 | 151 |
| 발전기 | 180 |
| 벡터 | 46 |
| 벡터 합성법 | 47 |
| 병렬 공진 | 215 |
| 병렬연결 | 123 |
| 보자력 | 85 |
| 복소 전력 | 225 |
| 복소수 | 192 |
| 복소평면 | 192 |
| 볼타 전지 | 14 |
| 부도체 | 32 |
| 부하 | 221 |
| 분출 대전 | 35 |
| 브라운관 | 186 |
| 비메모리 반도체 | 39 |
| 비사인파 교류 | 244 |
| 비투자율 | 73 |

ㅅ

| | |
|--------|-----|
| 사인파 교류 | 180 |
| 산화 | 156 |
| 삼각파 | 243 |
| 상자성체 | 72 |
| 상전류 | 230 |



찾아보기

| | |
|------------|-----|
| 전류계 | 136 |
| 전선 | 18 |
| 전속 | 50 |
| 전속 밀도 | 51 |
| 전압 | 115 |
| 전압 강하 | 135 |
| 전압계 | 136 |
| 전원 | 18 |
| 전위 | 48 |
| 전자 | 31 |
| 전자 회로 | 18 |
| 전자기 유도 원리 | 10 |
| 전자기 현상 | 11 |
| 전자기학 | 13 |
| 전자석 | 68 |
| 전자파 | 15 |
| 전하 | 34 |
| 전하량 | 36 |
| 전하량 보존의 법칙 | 36 |
| 전해질 | 130 |
| 전해질 저항 | 130 |
| 절연 저항 | 130 |
| 절연체 | 32 |
| 접지 저항 | 131 |
| 접촉 저항 | 131 |
| 정공 | 33 |
| 정보화 기술 | 11 |
| 정전 전압계 | 127 |
| 정전기 | 34 |
| 정전기 유도 | 37 |
| 정전기력 | 42 |
| 정현파 | 182 |
| 제베크 효과 | 154 |
| 조파 분석 | 242 |
| 주기 | 179 |
| 줄의 실험 | 151 |
| 중성 | 37 |
| 중성자 | 31 |
| 중첩의 원리 | 143 |
| 증류수 | 130 |

| | |
|-------------|-----|
| 직렬연결 | 123 |
| 직류 | 179 |
| 직류 전원 공급 장치 | 116 |
| 직사각형파 | 243 |
| 직접 측정 | 235 |
| 진성 반도체 | 33 |
| 집적 회로 | 33 |

㉔

| | |
|--------|----|
| 차원 단위 | 21 |
| 척력 | 91 |
| 철 손실 | 79 |
| 초전도 자석 | 69 |
| 초전도 현상 | 33 |
| 초전도체 | 33 |

㉕

| | |
|-----------|-----|
| 커패시터 | 119 |
| 컨덕턴스 | 122 |
| 컨덕턴스 | 197 |
| 코일 | 124 |
| 콘덴서 | 41 |
| 쿨롱의 법칙 | 42 |
| 클램프 미터 | 244 |
| 키르히호프의 법칙 | 141 |
| 탄소 피막 저항 | 117 |

㉖

| | |
|-----------|-----|
| 태양 전지 | 159 |
| 터치 스크린 패널 | 53 |
| 테브난 등가 회로 | 146 |
| 톱니파 | 243 |
| 튜닝 회로 | 203 |
| 트랜지스터 | 33 |
| 트리거 | 187 |

㉗

| | |
|-------------|-----|
| 파고율 | 243 |
| 파형률 | 243 |
| 패러데이 | 50 |
| 패러데이 실험 | 94 |
| 페라이트 자석 | 67 |
| 페리 자성체 | 73 |
| 펠티에 효과 | 155 |
| 평균 전력 | 221 |
| 평균값 | 182 |
| 폐회로 | 140 |
| 표준 기호 | 19 |
| 퓨즈 | 123 |
| 프로보 | 186 |
| 플라즈마 | 69 |
| 플레밍의 오른손 법칙 | 96 |
| 플레밍의 왼손 법칙 | 90 |
| 피상 전력 | 225 |
| 필터 회로 | 203 |

㉘

| | |
|-----------|-----|
| 합성 저항 | 137 |
| 합성파 | 241 |
| 허수 | 193 |
| 허용 전류 | 152 |
| 헤르츠 | 179 |
| 헨리 | 118 |
| 호박 | 12 |
| 호수법 | 181 |
| 화학 전지 | 159 |
| 화학당량 | 157 |
| 환원 | 156 |
| 회로 소자 | 116 |
| 회로 손실 | 87 |
| 회로 시험기 | 136 |
| 흡열 | 155 |
| 히스테리시스 곡선 | 84 |
| 히스테리시스 손실 | 85 |



사진출처

I. 전기 회로의 개요

- 8~9쪽 배경 사진 서티스톡
- 10쪽 하단 배경 사진, 도시의 야경, 산업 현장, 가정, 교통수단 서티스톡
- 11쪽 하단 배경 사진 서티스톡
- 12쪽 호박석 <https://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=diddkfma21&logNo=221704013738&parentCategoryNo=&categoryNo=7&viewDate=&isShowPopularPosts=true&from=search>
- 13쪽 자철석 <https://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=dongjong-medicine&logNo=222182998925&parentCategoryNo=&categoryNo=134&viewDate=&isShowPopularPosts=true&from=search>
- 13쪽 나침반 <https://anashina.com/kompas-sinan/>
- 14쪽 전기, 자기의 역사 서티스톡
- 14쪽 호박 <https://ambermagic.lt/>
- 14쪽 길버트 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/William_Gilbert.jpg
- 14쪽 레이덴병의 초기 모습 <https://sungyun7295.tistory.com/99>
- 14쪽 프랭클린 <http://www.gndaily.kr/news/articlePrint.html?idxno=22608>
- 14쪽 갈바니의 개구리 실험 <https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Galvani-frogs-legs-electricity.jpg>
- 14쪽 비틀림 저울 <https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Bcoulomb.png>
- 14쪽 볼타 전지 https://simple.m.wikipedia.org/wiki/File:File_de_Volta.jpg
- 14쪽 외르스테드의 실험 장치 https://www.edunet.net/nedu/contsvc/viewWkstContPost.do?contents_id=fa85c26c-f379-48a7-8c51-a01add516336&head_div=
- 15쪽 아라고 https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%94%84%EB%9E%91%EC%88%98%EC%95%84_%EC%95%84%EB%9D%BC%EA%B3%A0
- 15쪽 옴 https://en.wikipedia.org/wiki/Georg_Ohm
- 15쪽 패러데이 실험실의 모습 <https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/michael-faraday/>
- 15쪽 렌츠 https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%95%98%EC%9D%B8%EB%A6%AC%ED%9E%88_%EB%A0%8C%EC%B8%A0#/media/%ED%8C%8C%EC%9D%BC:Heinrich_Friedrich_Emil_Lenz.jpg
- 15쪽 에디슨 <https://jmagic.tistory.com/476>
- 15쪽 다니엘 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Daniells_Cell.jpg
- 15쪽 줄의 열기관 <https://blog.naver.com/yeonhee436/222804901064>
- 15쪽 맥스웰 서티스톡
- 15쪽 헤르츠의 전파 검출 실험 <https://mdl.dongascience.com/magazine/view/S200507N030>
- 15쪽 린트겐과 X선 사진 <https://www.radiantvisionsystems.com/blog/x-factor-125-years-x-ray-innovation>
- 15쪽 톰슨 <https://blog.naver.com/toshizo/221203360954>
- 15쪽 최초의 원자로 https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%8B%9C%EC%B9%B4%EA%B3%A0_%ED%8C%8C%EC%9D%BC_1
- 15쪽 하단 사진 서티스톡
- 16쪽 건전궁 <https://www.energytimes.kr/news/articleView.html?idxno=61833>
- 16쪽 바리카 원전 <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea->

- [joins-indonesia-for-g20-event-highlighting-nuclear-power-for-clean-energy-transition](https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-joins-indonesia-for-g20-event-highlighting-nuclear-power-for-clean-energy-transition)
- 19쪽 전기 설비 서티스톡
- 20쪽 공학에서의 단위 표현 서티스톡
- 22쪽 자료실 사진 <https://www.manua.ls/philips/hf8005/manual?p=37>
- 23쪽 해보기 태양계 사진 서티스톡
- 24쪽 상단 에디슨 <https://namu.wiki/w/%ED%86%A0%EB%A8%B8%EC%8A%A4%2%EC%97%90%EB%94%94%EC%8A%A8>
- 24쪽 하단 테슬라 <https://brunch.co.kr/@minhoon27/28>
- 25쪽 고압 직류 송전 <https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=4624438&memberNo=5116868&searchKeyword=%EA%B7%9C%EC%86%8C&searchRank=99>

II. 전기

- 25쪽 시카고 세계 박람회장 모습 서티스톡
- 28~29쪽 배경 사진 서티스톡
- 30쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=CacYp-4BZhkW>
- 30쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=i3DIY98OLwM>
- 31쪽 하단 원자와 전기의 관계 서티스톡
- 34쪽 왼쪽 정전기 현상의 방지 서티스톡
- 39쪽 상단 오른쪽 사진 서티스톡
- 40쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=UXHgiMR25cc>
- 40쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=eVfcVlcXo40>
- 41쪽 하단 콘텐츠 사진 <https://openstory.tistory.com/160>
- 42쪽 콜롱의 실험 장치 https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Balance_de_Coulomb.jpg
- 50쪽 보조단 패러데이 https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Michael_Faraday?uselang=ko
- 53쪽 상단 터치 스크린 패널 사진 서티스톡
- 54쪽 반도체 설비 엔지니어 사진 서티스톡
- 62쪽 상단 초전도 현상 사진 <https://www.hellodd.com/news/articleView.html?idxno=102792>

III. 자기

- 64~65쪽 배경 사진 서티스톡
- 66쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=CzrXB1R8GGY>
- 66쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=RfJ9q8zcEn4>
- 67쪽 네오디뮴 자석 <https://m.blog.naver.com/jlmagnetic/222843007825>
- 67쪽 페라이트 자석 <https://m.indiamart.com/proddetail/ferrite-ring-magnet-2850956717862.html?pos=5&pla=n>
- 67쪽 사마륨 코발트 자석 <https://ko.aliexpress.com/item/1005003717070355.html>
- 67쪽 알니코 자석 <https://ko.xmmagnets.com/alnico-magnet/disc-alnico-magnet/cast-cylinder-disc-alnico-magnets.html>



자료 출처

68쪽 하단 전자석의 활용 사진 4장 서터스톡
 69쪽 상단 왼쪽 초전도 자석 사진 <https://www.linkedin.com/pulse/medical-imaging-superconducting-magnet-market-growth-2023-2029-waghe>
 69쪽 자기 공명 영상 장치 서터스톡
 69쪽 인공태양 KSTAR <http://www.tgnews.kr/news/article.html?no=115176>
 72쪽 보조단 자석과 클립, 하드 디스크 사진 서터스톡
 73쪽 보조단 펄서로이 <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%8D%BC%EB%A9%80%EB%A1%9C%EC%9D%B4>
 76쪽 왼쪽 배경 화면 https://youtu.be/OSfZtKGGDyU?si=M_vRrlBYBf_dp8Ng
 76쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=u4x8YAJMKNO>
 77쪽 자석과 자기장 사진 서터스톡
 78쪽 상단 쿨롱 https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%83%A4%EB%A5%BC_%EB%93%9C_%EC%BF%A8%EB%A1%B1
 85쪽 아몰퍼스 변압기 <https://vietnamtransformer.com/our-products/three-phase-amorphous-transformer-320kva>
 88쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=AcKKCDiBtow>
 88쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=ZPK5lphHGGU>
 89쪽 보조단 앙페르 <https://warbletoncouncil.org/andre-marie-ampere-7825>
 92쪽 보조단 외르스테드 https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%95%9C%EC%8A%A4_%ED%81%AC%EB%A6%AC%EC%8A%A4%ED%8B%B0%EC%95%88_%EC%99%B8%EB%A5%B4%EC%8A%A4%ED%85%8C%EB%93%9C
 95쪽 상단 교통카드 사진 <https://post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=11635421&memberNo=37255411>
 96쪽 보조단 전원용 발전기 서터스톡
 98쪽 보조단 주상 변압기 <https://www.ssangyong.co.kr/ko/product/%EC%A3%BC%EC%83%81%EB%B3%80%EC%95%95%EA%B8%B0/>
 102쪽 상단 왼쪽 수력 발전소 <https://electricpower.tistory.com/1662>
 102쪽 가운데 원자력 발전소 https://www.kita.net/board/totalTradeNews/totalTradeNewsDetail.do;JSESSIONID_KITA=9AC5004BD906069B16A6D4765E23DA9B.Hyper?no=72554&siteId=1
 102쪽 오른쪽 신재생 에너지 발전소 서터스톡
 110쪽 상단 무선 충전기 <https://www.infineon.com/cms/kr/discoveries/wireless-inductive-charging/>
IV. 직류 회로
 112~113쪽 배경 사진 서터스톡
 114쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=3TBtwsYtRxQ>
 114쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=gUivTtUITcU>
 116쪽 하단 직류 전원 공급 장치 <https://www.keysight.com/kr/ko/products/dc-power-supplies/bench-power-supplies.html>
 117쪽 상단 회로 기판과 저항 서터스톡
 117쪽 보조단 어레이 저항 <https://probots.co.in/10k-resistor-array.html>

117쪽 시멘트 저항 <https://www.amazon.sa/-/en/IIVVERR-Ceramic-Resistor-keramischer-Zementleistung-swiderstand/dp/B08LDWCR77>
 118쪽 보조단 변압기 <https://hicoamerica.com/index.php/gas-insulated-switchgear/>
 119쪽 상단 회로 기판 서터스톡
 123쪽 보조단 퓨즈 <https://kr.rs-online.com/web/p/cartridge-fuses/6685994>
 126쪽 보조단 플래시 사진 <https://post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=15583900&memberNo=33547606&searchKeyword=%EC%BA%90%EB%85%BC%20200d&searchRank=169>
 127쪽 하단 정전 집진 장치 <https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2019111910522567385>
 128쪽 보조단 서미스터의 외형 <https://trts1004.tistory.com/12109608>
 131쪽 상단 집진 저항을 측정하는 모습 <https://naver.me/GL87Hxvn>
 131쪽 하단 접촉 저항 서터스톡
 133쪽 집진 공사 <https://www.digikey.kr/ko/articles/what-you-need-to-know-about-ground-fault-sensing-and-protection>
 134쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=JJGdXT846f0>
 134쪽 오른쪽 배경 화면 https://www.youtube.com/watch?v=nwWS5-Q_O_I
 136쪽 하단 왼쪽 아날로그 회로 시험기 서터스톡
 136쪽 하단 오른쪽 디지털 회로 시험기 <https://www.keysight.com/kr/ko/products/digital-multimeters-dmm.html>
 141쪽 하단 배터리 점프 서터스톡
 149쪽 하단 전자 저울 서터스톡
 150쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=7GleevMThqg>
 150쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=bsIZ8w2vORs>
 151쪽 하단 대형 전기로 서터스톡
 153쪽 상단 제습기 사진 <https://www.tradeinn.com/kidinn/ko/cecotec-%EC%A0%9C%EC%8A%B5%EA%B8%B0-%EB%B9%85%EB%93%9C%EB%9D%BC%EC%9D%B4-3000-pure-light/138351859/p>
 154쪽 열전대 사진 <https://ko.aliexpress.com/item/1005002558163523.html>
 158쪽 보조단 볼타 <https://v.daum.net/v/M0P5e53D4D>
 158쪽 볼타 전지의 원리 https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B3%BC%ED%83%80_%EC%A0%84%EC%A7%80
 159쪽 전지 배경 사진 서터스톡
 160쪽 하단 알카라인 전지 https://m.lifesum.co.kr/goods/goods_view.php?goodsNo=1000000190
 161쪽 전지 배터리팩 <https://newsroom.posco.com/en/e-autopos-unboxing-3-simpler-and-lighter-e-autopos-battery-pack/>
 161쪽 하단 납축전지 <https://blog.naver.com/lagrange0115/222103678020>
 161쪽 하단 니켈-카드뮴 전지 <https://www.theengineerspost.com/types-of-batteries/>
 161쪽 하단 니켈-수소 전지 <https://www.ssg.com/item/itemView.ssg?itemId=1000367439427>
 161쪽 하단 리튬 이온 전지 서터스톡

163쪽 상단 연료 전지 발전소 https://knrec.energy.or.kr/energy/fuelcell_case.aspx
 164쪽 상단 전기 안전 관리자 <https://blog.naver.com/goodelecman/223047247613>
 165쪽 배경 화면 <https://www.law.go.kr/>
 165쪽 배경 화면 <https://www.keea.or.kr/head/main/main.do>

V. 교류 회로

176~177쪽 배경 사진 서티스톡
 178쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=PrhtYiHG5oc>
 178쪽 오른쪽 배경 화면 https://www.youtube.com/watch?v=_ON6_Yv0llw&list=PLcxFHh4eKcZj2j33OFR3CZviDOFtPSdLJ&index=3
 180쪽 상단 발전기 서티스톡
 184쪽 디지털 멀티미터 <https://kr.rs-online.com/web/p/multimeters/8672287>
 184쪽 데이터 로거 <http://www.uwintec.com/sub1/Portable%20Data%20Logger%20GL900.html>
 184쪽 메모리 레코드 <https://www.sshiki.kr/mainset.php?groups=pro&Xmenu=1&Mmenu=&id=kshop&page=9&xcode=&mcode=&type=&sort=&search=&search1=&nocode=1>
 184쪽 주파수 카운터 http://m.kdk.co.kr/goods/goods_view.php?goodsNo=1000000634
 184쪽 FFT 아날로이저 https://emin.vn/ko_KR/srsrcr770-standford-sr770-fft-seupegteureom-bunseoggi-476-uhz-100-khz-102623/pr.html
 184쪽 스펙트럼아날로이저 <https://www.keysight.com/kr/ko/products/spectrum-analyzers-signal-analyzers/basic-spectrum-analyzers.html>
 184쪽 파형 측정기 <https://www.tek.com/ko/solutions/application/electromagnetic-interference-emi-and-electromagnetic-compatibility-emc>
 184쪽 오실로스코프 해석 옵션 <https://rigol-mall.com/product/%EB%A6%AC%EA%B3%A8-rigol-dho914-4%EC%B1%84%EB%84%90-125mhz-1-25gsa-s-12%EB%B9%84%ED%8A%B8-%EC%98%A4%EC%8B%A4%EB%A1%9C%EC%8A%A4%EC%BD%94%ED%94%84/>
 184, 185쪽 오실로스코프 https://www.atminc.co.kr/shop/largeimage.php?it_id=1549863809&no=1
 184쪽 리얼 타임 스펙트럼 아날로이저 <https://www.keysight.com/kr/ko/products/spectrum-analyzers-signal-analyzers/real-time-spectrum-analyzers.html>
 186, 187쪽 디지털 오실로스코프 <https://namu.wiki/w/%EC%98%A4%EC%8B%A4%EB%A1%9C%EC%8A%A4%EC%BD%94%ED%94%84>
 190쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=PBTDLwaztYQ>
 190쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=mnYjdlFzIIM>
 200쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=pZTH1wEdurk>
 200쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=gUSbHVWbc9M>
 205쪽 보조단 자기 공명 영상 장치 <http://www.prestigemedicalimaging.com/echelon.html>

210쪽 왼쪽 배경 사진 https://www.youtube.com/watch?v=OPZbfDh9P_I
 210쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=fCWgR9wXS1U>
 220쪽 왼쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=rVldjdDM0Bs>
 220쪽 오른쪽 배경 화면 https://www.youtube.com/watch?v=F5tb_cizJCU
 222쪽 보조단 토스터 <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%86%A0%EC%8A%A4%ED%84%B0>
 224쪽 보조단 교류 전력 측정기 http://www.gonewtech.co.kr/common/product/product_view.asp?btype=&mtype=&stype=&idx=1452
 228쪽 왼쪽 배경 화면 https://www.youtube.com/watch?v=Pg_h0ibBl_Q
 228쪽 오른쪽 배경 화면 <https://www.youtube.com/watch?v=S0u3qhLMM5U&t=332s>
 229쪽 하단 배경 사진 서티스톡
 233쪽 하단 배경 사진 서티스톡
 237쪽 보조단 디지털 전력계 <https://boris-satsol.tistory.com/1896>
 239쪽 상단 3상 유도 전동기 https://www.wikiwand.com/en/Induction_motor
 240쪽 왼쪽 배경 사진 <https://www.youtube.com/watch?v=xVid9wKsbKo>
 240쪽 오른쪽 배경 화면 사진 https://youtu.be/OcYdo3-Tx_o?si=nbDBQ9c8iOXZ43Wu
 241쪽 상단 자동차에 사용되는 교류 발전기 <https://korean.automobilespare-parts.com/sale-13513709-silver-oem-263830-auto-engine-parts-maserati-alternators-replacement.html>
 244쪽 보조단 클램프 미터 https://www.merazet.pl/wp-content/uploads/61cc5ac750045e1a_large-1.jpg
 250쪽 상단 송배전 설비 기술자 서티스톡
 262쪽 원자력 발전소 https://www.kita.net/board/totalTradeNews/totalTradeNewsDetail.do;JSESSIONID_KITA=9AC5004BD906069B16A6D4765E23DA9B.Hyper?no=72554&siteId=1
 262쪽 변전소 <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B3%80%EC%A0%84%EC%86%8C>
 262쪽 식물 공장 <https://blog.naver.com/nurian/223029327582>

참고문헌 & 인용 자료

강형부 외, 『전자기학』, 한국맥그로힐, 2005.
 국태용 외, 『회로 이론』, 한티미디어, 2007.
 박송배 저, 『알기 쉬운 회로 이론』, 문운당, 2009.
 심귀보 외, 『회로 이론』, 한국맥그로힐, 2017.
 양해원 외, 『전기 이론』, 교육부, 2000.
 최재하 외, 『전자기학』, 진샘미디어, 2022.

누리집

국가법령정보센터: <http://www.law.go.kr/>
 대한전기학회: <http://www.kiee.or.kr/>
 전력거래소, <http://www.kpx.or.kr/>
 한국전기공사협회: <http://www.keca.or.kr/main>
 한국전기기술인협회: <http://www.keea.or.kr/>
 NCS국가직무능력표준: <https://www.ncs.go.kr/>

집필 위원

송정오*(서울 수도전기공업고등학교)

강병삼(서울 광운인공지능고등학교)

유재운(서울 서울공업고등학교)

유지예(서울 수도전기공업고등학교)

이순동(대전 한국폴리텍대학교)

* 대표 집필 위원

심의 기관

서울특별시교육청

심의 위원

○○○(○○대학교)*

○○○(○○대학교)

○○○(○○대학교)

○○○(○○대학교)

○○○(○○고등학교)

○○○(○○고등학교)

○○○(○○고등학교)

○○○(○○고등학교)

* 심의위원장

편찬 기관

BM (주)도서출판 성안당

편집 및 디자인 기관

BM (주)도서출판 성안당

개발 책임 | 백상현 편집 | 지병목, 문인곤 표지 디자인 | 박현정 내지 디자인 | 김대중, 알케미스트

컷 | 김성찬 삽화 | 이새 조판 | (주)금강에듀 윤문 | 지병목, 이현주

교육부 장관의 위임을 받아 서울특별시교육감이 2024년 0월 00일 인정 승인을 하였음

고등학교 전기 회로

2024. 0. 0. 초판 발행

정가 원

지은이 송정오 외 4인

발행인 **BM** (주)도서출판 성안당 (경기도 파주시 문발로 112)

인쇄인 ○○○○○ (○○시 ○○구 ○○길 ○○)

이 교과서의 본문 용지는 우수 재활용 제품 인증을 받은 재활용 종이를 사용했습니다.

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있는 분은 교육부와 한국교과서연구재단이 운영하는

교과서민원바로처리센터(전화: 1566-8572, 웹사이트: <http://www.textbook114.com> 또는 <http://www.교과서114.com>)에

문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상금은 문화체육관광부장관이 정하는 기준에 따라

사단법인 한국문학예술저작권협회(02-2608-2800, www.kolaa.kr)에서 저작재산권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의 | **BM** (주)도서출판 성안당 교과서연구실 전화: 031-650-6345 전송: 031-950-0510

공급 업무 대행 | 사단법인 한국교과서협회(경기도 파주시 문발로 439-1)

개별 구입 문의 | 홈페이지 주소 www.ktbook.com 031-956-8581 ~ 4 (사)한국교과서협회

<https://text.cyber.co.kr/> 031-950-6345 **BM** (주)도서출판 성안당

ISBN: