인덕션 요리의 물리학

A. 소개



그림 1. 인덕션 조리기

이 문제는 인덕션 조리기라는 매우 흥미로운 주방 물리학을 다룹니다. 인덕션 조리기는 주로 코일로 구성되는데, 코일에 교류 전류를 흘려 코일 위에 있는 금속 팬을 가열하는 방식으로 작동합니다. 불이나 가연성 가스가 없는 안전한 조리 환경을 제공하고, 그을음 없는 깨끗한 도구이며, 더 빠른 조리가 가능하고, 더불어 재생 전기 에너지를 사용할 수 있어 친환경적이라는 점 등, 인덕션 조리기는 현대 요리의 대안으로 여러 이점을 제공합니다. 우리는 이 실험에서 인덕션 조리기의 흥미로운 물리의 기본 원리를 살펴볼 것입니다.

실험은 세 부분으로 진행됩니다. 먼저 코일의 인덕턴스(L)와 코일의 내부 저항(R_L)을 측정합니다. 두 번째로, 우리는 인덕션 요리에 중요한 금속의 침투 깊이 (skin depth) 현상을 탐구합니다. 마지막으로 다양한 금속 팬의 비열 용량(c)과 유효 하중 저항(R_{LOAD})을 측정할 것입니다.



그림 2. 실험 셋업. 구성 요소들은 아래 목록에 설명되어 있습니다.

B. 실험 구성 요소

1. 함수 생성기(FG)(작동 주파수: $20\,\text{Hz}$ ~ $100\,\text{kHz}$).
2. 디지털 오실로스코프 ”Zoyi” + BNC 케이블 프로브 (1개).
3. 플라스틱 판(base)에 장착된 동일한 코일 (2개).
4. 스톱워치 (1개).
5. 바나나-바나나잭 케이블 2쌍 (4개).
6. 바나나잭 - 핀 케이블 2쌍 (4개).
7. 블랙박스에 장착된 노란색 금속 저항기 "R_1"$(1\,\Omega, 100\,\text{Watt})$ (1개).
8. 4개의 암컷 바나나잭 소켓이 있는 블랙박스 (1개).
9. 커패시터 $470\,\text{nF}$: (갈색), $470\,\mu\text{F}, 1000\,\mu\text{F}, 2200\,\mu\text{F}$: (진한 파란색 실린더) (각 1개)
10. M3 알렌(L) 키 (1개).
11. NTC 서미스터(음의 온도 계수를 갖는 온도 저항계)가 부착된 알루미늄 ”팬”, size $= 2\,\text{cm} \times 2\,\text{cm}$, thickness $= 0.73\,\text{mm}$ (1개). 표면 외관: 양면 모두 무광.
12. 스테인리스 스틸 SS410 ”팬”, NTC 서미스터 부착, size $= 2\,\text{cm} \times 2\,\text{cm}$, thickness $= 0.76\,\text{mm}$ (1개) . 표면 외관: 양면 모두 거울과 비슷.
13. 알루미늄 플레이트, size $= 2.7\,\text{cm} \times 4.6\,\text{cm}$, thickness $= 0.73\,\text{mm}$, 상대 자기 투과성 $\mu_r = 1$, (5 개). 표면 외관: 양면 모두 무광.
14. 구리 플레이트, size $= 2.7\,\text{cm} \times 4.6\,\text{cm}$, thickness $= 0.71\,\text{mm}$, 상대 자기 투과성 $\mu_r = 1$ (5개) . 표면 외관: 양면 모두 주황색.
15. 스테인리스 스틸 ”SS304” 플레이트, size $= 2.7\,\text{cm} \times 4.6\,\text{cm}$, thickness $= 0.72\,\text{mm}$, 상대 자기 투과성 $\mu_r = 1$ (4개) . 표면 외관: 한쪽은 거울/ 다른 쪽은 무광.
16. 스테인리스 스틸 ”SS410” 플레이트, size $= 2.7\,\text{cm} \times 4.6\,\text{cm}$, thickness $= 0.76\,\text{mm}$, 상대 자기 투과성 $\mu_r = 700$ (4개). 표면 외관: 양면 모두 거울과 비슷.

17. 디지털 핸드헬드 오실로스코프용 충전기 및 USB-C 케이블 (1개).

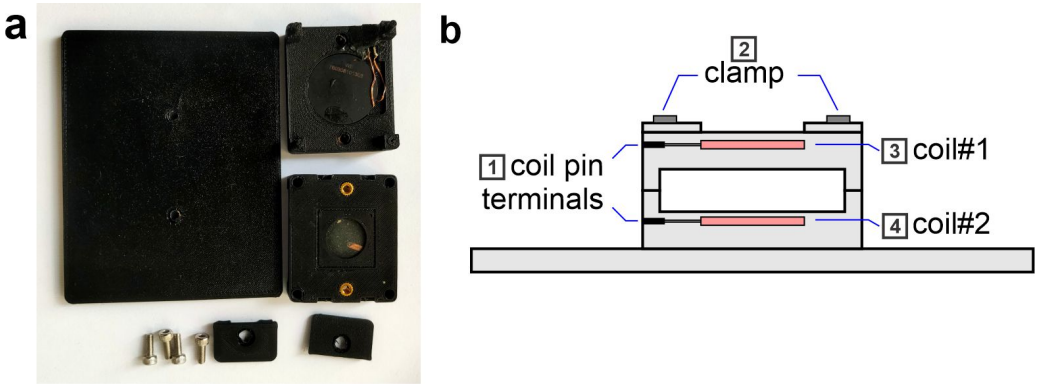


그림 3. 인덕션 조리기 셋업, (1): 코일 핀 단자, (2): 클램프, (3): 코일 #1, (4): 코일 #2.

매개변수 및 상수

매개변수/상수	기호	값
스테판 볼츠만 상수	σ_s	$5.670 \times 10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}K^{-4}}$
진공 자기 투과성	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{H/m}$
Al(알루미늄)의 질량 밀도	ρ_{Al}	$2700\,\mathrm{kg/m^3}$
SS410(스테인레스 스틸 410)의 질량 밀도	ρ_{SS410}	$7700\,\mathrm{kg/m^3}$
Al의 복사 방사율	e_{Al}	0.65
SS410의 복사 방사율	e_{SS410}	0.8

참고:

1. 섹션 D: ”장비 운영 절차”를 참조하세요.
2. 모든 실험에서 커패시터가 포함된 RLC 직렬 회로가 구성되어야 한다. 커패시터(C)가 없으면, 즉 저항과 코일로만 회로가 구성되면 코일이 매우 뜨거워져 위험할 수 있다.
3. 모든 실험에서 **오류 분석은 필요하지 않다.**
4. 모든 실험에서 함수 생성기의 ’파형’ 선택을 ’Sine’ 기능으로 설정하세요.
5. 코일에 흐르는 전류는 최대 약 $2\,\mathrm{A}$-peak 으로 제한합니다.
6. 디지털 오실로스코프의 경우 ”오실로스코프(oscillscope)” 모드를 사용하여 전압과 주파수를 측정하고 신호의 파형을 볼 수 있습니다. ”멀티미터(multimeter)” 모드는 저항을 측정하는 데 사용됩니다.
7. 오실로스코프 프로브(2번 항목)를 바나나-바나나 케이블(5번)에 연결하면 다양한 ’바나나’ 단자에 쉽게 연결할 수 있습니다.

C. 실험

C.1 실험#1: 인덕션 코일의 특성 검사 (4.5포인트)

인덕션 조리기의 첫 번째 핵심 부품은 코일입니다. 이 실험에서 우리는 그림 3b에 나오는 코일 # 1(상단 코일)의 자체 인덕턴스(L)를 측정합니다. 이 코일은 내부 코일 저항 R_L 과 직렬로 연결된 이상적인 인덕터 L 로 모델링할 수 있습니다.

노란색 금속 저항 R_1, 코일 #1 및 커패시터를 직렬로 연결한 RLC 회로를 사용하시오. 커패시터는 네 가지가 주어졌습니다. 주파수를 변경할 때, 부하 임피던스가 변경될 수 있고 이 때문에 함수 생성기(FG) 출력 전압이 달라질 수 있다는 점에 유의하세요.

1.1	구성한 회로의 회로도를 그리고 모든 관련 주요 부품의 이름을 기재하시오. 회로의 총 저항 값(R_{TOT})에 기여하는 케이블들의 전체 저항 값(R_C)은 무시할 수 없다. 저항측정기(ohmmeter)를 이용하여 R_C 을 측정하시오.	0.4 pt

1.2	$C = 470\,\text{nF}$ 와 $2200\,\mu\text{F}$, 두 커패시터에 대한 RLC 회로의 공진 주파수를 결정하시오. 실험 데이터를 표에 기록하시오. 실험 결과에 따라 공진 곡선 그래프를 그리시오. L의 값을 결정하시오.	1.2 pt

1.3	우리는 또한 코일 저항 R_L 도 결정하고자 한다. 측정한 RLC 실험 결과로부터 L 과 R_L, 둘 모두를 선형 피팅의 방식으로 결정할 수 있는 방정식 형태를 구하시오.	0.5 pt

1.4	다른 두 커패시터에 대한 동일한 실험을 수행합니다: $C = 470\,\mu\text{F}$ 및 $1000\,\mu\text{F}$. 측정 결과를 기록하시오. 앞의 제안한 방정식 형태를 사용하여 네 개의 RLC 데이터를 각각 분석하시오. 주파수 범위를 잘 정해서 그래프를 각각 그리시오.	1.4 pt

1.5	네 개의 커패시터를 사용한 모든 실험에 대해 R_L 및 L 을 각각 구하시오. 이들의 평균을 계산하시오.	1.0 pt

C.2 실험#2: 상호 유도 및 침투 깊이 (skin depth) (8.1pt)

참고:

1. 이 실험#2에서는 코일을 구동하기 위해 $C = 1000\,\mu$F 이 들어간 직렬 RLC 회로를 사용합니다.
2. 전압 신호가 너무 작아 디지털 오실로스코프로 읽기가 어려우면 다음과 같이 할 수 있습니다: (1) 메뉴 > F4를 선택하여 "PROBE"를 x1(1배)에서 x10(10배)로 전환하여 신호를 10배 증폭합니다. (2) "HOLD/SAVE"를 눌러 디스플레이를 고정합니다.
3. 디지털 오실로스코프를 사용하여 전압을 측정할 때 노이즈나 "스파이크"가 있으면 "VMAX" 수치가 부정확할 수 있습니다. 이런 경우, 보이는 파형에서 신호 진폭을 직접 읽어 측정하시오.

A. 상호 인덕턴스

실험#2-A에서는 그림 4와 같이 두 개의 코일을 사용하되 *금속판은* 사용하지 않습니다. 먼저 두 코일 사이의 상호 인덕턴스 M 를 측정합니다. 패러데이의 법칙에 따라 첫 번째 코일의 전류 변화는 두 번째 코일의 전압을 유도합니다.

2.1	두 코일 간의 상호 인덕턴스를 결정하기 위한 실험 셋업의 회로도를 그리시오.	0.4 pt

2.2	상호 인덕턴스 M 측정을 위해 두 코일의 역할을 반대로 하여, 총 두 번의 실험을 수행할 필요가 있다. 각 구성에 대해 측정을 수행하고, 데이터를 기록한 후, 결과 그래프를 각각 그리시오.	1.0 pt

2.3	각 구성에 대한 상호 인덕턴스 M 를 결정하시오.	0.4 pt

B. 침투 깊이 (skin depth) 실험

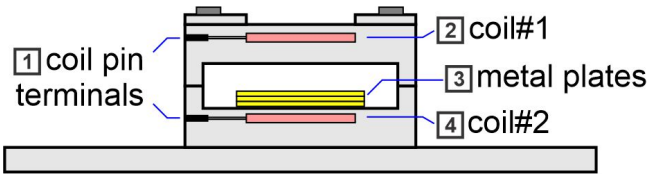


그림 4: 침투 깊이 실험, (1): 코일 핀 단자, (2): 코일#1, (3): 금속판, (4): 코일#2.

인덕션 조리기에서는 "침투 깊이(skin depth)" 개념이 중요한 역할을 합니다. "침투 깊이"는 교류(AC) 유도 전자기장이 금속에 침투하는 깊이를 나타냅니다. 이 실험에서는 프라이팬으로 사용할 수 있는 다양한 금속의 침투 깊이를 조사합니다. 주파수 의존성을 조사하고 금속의 전기 전도도(σ)를 측정할 것입니다.

코일#1을 1차 코일로, 코일#2를 2차 코일로 설정했습니다. 전체 금속 두께($\sim 3\,$mm)가 코일-코일 사이 거리($15\,$mm)에 비해 작기 때문에 2차 코일 근처, 하단 영역에서의 자기장은 거의 일정하다고 가정할 수 있습니다(금속이 없는 경우).

맥스웰의 방정식에 따르면, 진동하는 전기장 또는 자기장이 도체를 투과할 때 도체 내부의 전자기장은 투과 거리 z에 따라 기하급수적으로 감소합니다 :

$$B(z) = B_0\, e^{-z/\delta}\, \cos(\omega t - z/\delta + \phi) \tag{1}$$

여기서 B_0는 도체에 들어가기 직전에 자기장의 진폭, δ 는 '침투 깊이', ϕ 는 위상입니다. 참고: 이 실험에서는 위상 값 $(-z/\delta + \phi)$ 는 무시합니다.

도체의 침투 깊이는 다음과 같이 주어집니다:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sigma^m f^n}{\pi \mu}} \tag{2}$$

여기서 σ 은 전기 전도도, f 은 주파수, $\mu = \mu_r \times \mu_0$ 은 자기 투과성이다. 지수 m 과 n 은 정수이며 이 실험에서 결정할 값입니다.

다음 네 가지 금속에 대해서 실험을 진행합니다: (1) 알루미늄, (2) 구리, (3) 스테인리스 스틸 "SS304", (4) 스테인리스 스틸 "SS410". 코일 사이에 금속을 놓았을 때, 금속에 유도된 와전류(eddy current)에 의해 자기장 '차폐'가 발생하고 이로 인해 2차 코일의 전압이 떨어집니다.

참고: 먼저 2차 코일 전압에 큰 변화가 일어나는 적절한 주파수 범위를 찾고,이를 사용하시오.

2.4	위의 수식을 이용하여, n 을 구하기 위한 실험을 설계하고, 이를 수행하시오. 각 금속에 대해 n 을 구할 때, 가장 가까운 정수로 반올림하시오. 실험 데이터를 기록하고, 선형 피팅으로 n 및 σ 을 측정 할 수 있도록 적절한 그래프를 그리시오 (σ 는 2.6번 문항에서 구할 것임). 극단적인 침투 깊이로 인해 좋은 데이터를 얻기 어려운 금속 하나가 어떤 금속인지 식별하시오. 이 금속은 다음 2.5와 2.6에서 무시하시오.	5.5 pt

2.5	차원 분석(dimensional analysis)을 사용하여 이전 결과로부터 전기 전도도에 대한 지수 m 을 구하시오.	0.2 pt

2.6	2.4에서 좋은 데이터를 생성하는 세 가지 금속에 대해 σ 을 결정하시오.	0.6 pt

C.3 실험 #3, "요리": 비열 용량 및 유효 부하 저항(7.4pt)

참고:
1. 이 실험 #3에서는 코일을 구동하기 위해 $C = 1000\,\mu$F 이 들어간 직렬 RLC 회로를 사용하세요.
2. **경고:** 과열을 방지하기 위해 코일에 공급되는 최대 전류를 약 2 A-peak 정도로 제한하세요.
3. "인덕션 조리기"를 작동을 위해 주파수를 대략 $f = 40$ kHz 로 사용하세요.

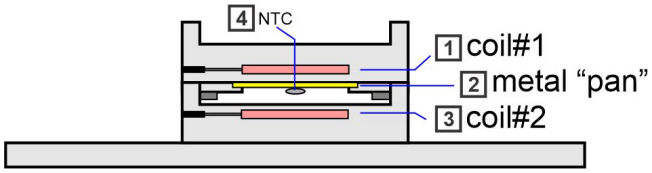


그림 5. 인덕션 요리 실험 셋업, (1): 코일#1, (2): 금속판, (3): 코일#2, (4): NTC

이 실험에서는 알루미늄과 SS304 금속을 "쿠킹 팬"으로 사용합니다. 먼저 알루미늄 "팬"(항목 #11)을 장착하고 상단 플랫폼에 고정시킨 다음 그림 5와 같이 거꾸로 뒤집습니다. **코일 # 2를 사용하여** 실험을 진행합니다. 이는 코일이 "팬"과 떨어져 있어 전도에 의한 열 전달이 없도록 하기 위함입니다.

실험 셋업을 블랙박스(8번 항목) 안에 설치합니다. 이는 대류로 인한 열 손실은 무시할 정도로 작게 합니다. 금속 '팬'이 플라스틱 플랫폼(단열재) 위에 놓여져 있기 때문에 전도로 인한 열 손실도 없다고 가정합니다. 따라서 유일한 열 손실은 주변으로의 열 복사로 인한 것입니다. 온도가 T 인 물체의 열 복사율은 다음과 같이 주어집니다:

$$P_{RAD} = eA\sigma_S T^4 \tag{3}$$

여기서 e 는 복사 방사율, σ_S 는 스테판-볼츠만 상수, A 는 방사 표면적입니다.

금속 "팬"의 온도는 부착되어 있는 NTC 서미스터의 저항을 측정함으로써 측정할 수 있습니다. 서미스터의 저항은 다음과 같이 주어집니다:

$$R_{NTC} = R_0 \exp\left[B(1/T - 1/T_0)\right] \tag{4}$$

여기서 $R_0 = 10\,\text{k}\Omega$ 은 기준 온도 $T_0 = 298$ K에서의 저항 값이며, $B = 3950$ K 은 상수, T 은 서미스터 온도(K 단위)입니다.

3.1	인덕션 조리기의 작동 원리를 설명하는 다이어그램을 그려보시오. 관련된 모든 물리량을 표시하고 이름을 적으시오.	0.2 pt

3.2	금속 팬의 비열*(c)*을 구하기 위한 방정식을 쓰시오.	0.5 pt

3.3	알루미늄 팬의 비열을 측정하는 실험을 하시오. 실험 데이터에 대한 적절한 그래프를 그리시오. 가열이 필요할 때는 2번 코일을 사용하시오.	1.5 pt

3.4	SS410 ”팬”에 대해 Q3.3을 반복하시오.	1.5 pt

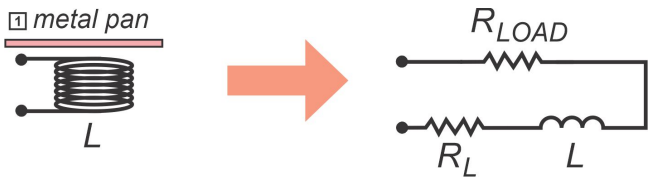


그림 6. 인덕션 조리기와 동등한 회로 모델

마지막으로, 그림 *6*과 같이 금속 ”팬”의 가열을 회로에 ”부하 저항” R_{LOAD} 가 추가되는 것으로 설명하는 모델을 살펴봅니다. 즉, 코일 및 금속 팬 시스템은 코일 인덕턴스 L, 코일 저항 R_L 및 ”부하 저항” R_{LOAD} 으로 모델링할 수 있습니다.

3.5	알루미늄 ”팬”에 대해 R_{LOAD} 을 구하기 위한 방정식을 쓰고, 실험을 통해 R_{LOAD}를 측정합니다. 측정 데이터에 대한 적절한 그래프를 그리시오. 제안: 코일에 일정한 전력을 공급하여 열이 균일하게 퍼지게 하기 위해서, 전원을 가하고 약 30초 후에 측정합니다.	1.6 pt

3.6	SS410 ”팬”에 대해 3.5번을 반복합니다.	1.5 pt

3.7	어떤 금속이 조리용 팬으로 더 적합할까요? (a) 알루미늄 또는 (b) SS410 중 하나를 선택하시오.	0.1 pt

3.8	위의 선택에서 유도 가열 효과에 가장 중요한 역할을 하는 금속의 물리적 변수는 무엇입니까? (a) 전기 전도도, (b) 자기 투과성, (c) 질량 밀도, (d) 비열 또는 (e) 열 전도성 중 하나를 선택하시오.	0.1 pt

3.9	인덕션 조리 효율(η)은 금속 플레이트에 전달되는 전력과 코일에 전달되는 전력의 비율로 정의됩니다. 두 금속 팬의 효율을 계산하시오.	0.4 pt

D. 장비 운영 절차

D.1. 함수 생성기 상자



그림 7. 함수 생성기 상자.

구성 요소:

1. 전원 LED 표시기
2. 진폭 노브(Amplitude knob): 출력 신호의 진폭을 조정합니다.
3. 주파수 범위(Frequency range) 노브 : 주파수 범위를 선택
4. Coarse and Fine 노브: 범위 내에서 주파수를 조정합니다.
5. 파형(Waveform) 노브: ”사인(sine)”, ”삼각형” 또는 ”사각형” 파형을 선택합니다. 이 실험에서는 **항상 ”사인(sine)” 기능을 선택합니다**.
6. 증폭 전 BNC 출력: **여기서는 사용되지 않습니다**. 증폭 전의 원본 신호를 모니터링하는 데 사용됩니다.
7. 바나나잭 출력 단자
8. 전원 소켓
9. 전원(power) 버튼: 전원 켜기 또는 끄기
10. 퓨즈 박스

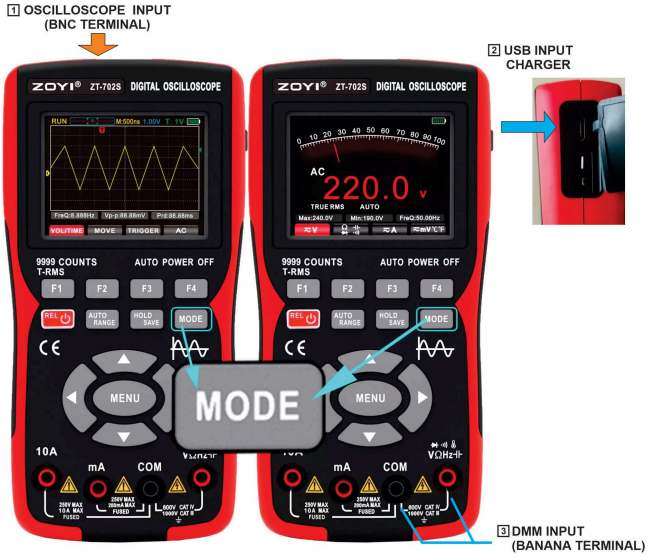


그림 8: 디지털 오실로스코프

D.2. 디지털 오실로스코프

1. 패널 키 기능 이 키를 사용하여 설정을 탐색하고, 기능을 선택하고, 측정값을 조정할 수 있습니다.

1. **F1-F4 키** 이 키는 화면 하단에 표시되는 기능 메뉴에 해당합니다.
2. **보류/저장 (HOLD/SAVE) 키**
   오실로스코프 모드에서: - 짧게 누릅니다: 파형 표시를 정지하거나 다시 시작합니다. - 길게 누르기: 현재 표시된 파형 데이터를 저장합니다.
   멀티미터 모드에서: - 짧게 누릅니다: 측정 수치를 정지하거나 다시 시작합니다.
3. **모드(MODE) 키** '오실로스코프' 모드 또는 '멀티미터' 모드 사이를 전환합니다.
4. **전원 키를** 누릅니다. 2초간 눌러 기기를 켜거나 끕니다.
5. **자동 범위(AUTO-RANGE) 키**. 범위를 자동으로 조정
6. **메뉴(MENU) 키**
   - MENU를 눌러 확장된 시스템 기능 메뉴를 엽니다.
   - 왼쪽/오른쪽 방향키를 사용하여 확장된 메뉴 옵션을 탐색합니다.
   - F1-F4 키를 사용하여 해당 시스템 기능을 사용자 지정합니다.
7. **방향(위, 아래, 왼쪽 및 오른쪽) 키.** 설정(예: 전압, 시간 눈금)을 조정하려면 커서 위치를 이동하고 메뉴를 탐색합니다.

2. 오실로스코프 측정 모드:

오실로스코프 모드에서 장치는 전압만 측정하고 파형을 시간의 함수로 표시합니다. 이 모드는 최대 $1\,\mathrm{MHz}$ 까지 매우 높은 주파수의 전압 신호를 측정할 수 있습니다.

1. **입력:** BNC 케이블 프로브(항목#2)를 사용하여 상단의 BNC 단자에 연결합니다.
2. **프로브 감쇠 설정:** 프로브에는 신호 측정에 영향을 주는 감쇠 스위치가 포함되어 있습니다. X1 또는 X10으로 설정할 수 있습니다.
   중요: 항상 프로브의 감쇠 설정이 X1인지 확인하십시오. 필요한 경우 오실로스코프 소프트웨어 설정을 조정할 수 있습니다: MENU를 눌러 확장 메뉴를 열고 F4를 눌러 "PROBE"를 X1과 X10 사이에서 전환합니다.

3. 오실로스코프 설정
   (ㄱ) **자동 범위(Auto Range)**. 수직 및 수평 눈금을 자동으로 조정합니다.
   (ㄴ) **수직/수평 스케일 및 위치 수직/수평 스케일** 조정: F1을 눌러 VOL/TIME 메뉴를 선택합니다. 위/아래 방향키를 사용하여 전압 눈금을 조정합니다. 왼쪽/오른쪽 방향키를 사용해 시간 눈금을 조정합니다.
   (ㄷ) **수직/수평 위치 조정**: F2를 눌러 이동 메뉴를 선택합니다. 위/아래 방향키를 사용해 파형을 세로로 이동합니다. 파형을 수평으로 이동하려면 왼쪽/오른쪽 방향 키를 사용합니다. 트리거 커서가 파형과 함께 이동합니다.
   (ㄹ) **트리거 시스템 트리거 커서 설정하기**: F3 키를 눌러 트리거 메뉴를 선택합니다. 위쪽 및 아래쪽 방향키를 눌러 트리거 위치 트리거 모드를 조정합니다: MENU를 눌러 팝업 메뉴를 확장한 후 F2를 눌러 트리거 모드로 이동합니다. 자동, 일반, 단일 중에서 선택할 수 있습니다. 트리거 가장자리: MENU를 눌러 팝업 메뉴를 확장합니다. F3을 눌러 트리거 엣지 모드를 선택합니다. 상승 엣지 트리거와 하락 엣지 트리거 중에서 선택할 수 있습니다.
   (ㅁ) **커플링 설정**. F4를 눌러 AC 커플링과 DC 커플링 간에 전환합니다. 이 실험에서는 AC 커플링만 사용합니다.
   (ㅂ) **추가 팁**: 전압 신호를 읽을 때 신호 파형에서 진폭을 얻거나 최대 전압 또는 진폭에 대한 ”VPP”(피크 대 피크 전압) 또는 ”Vmax”를 판독할 수 있습니다. 경고: 간혹 노이즈나 전압 스파이크가 있는 경우 ”Vmax” 수치가 실제 전압 진폭보다 높을 수 있습니다. 보다 신뢰할 수 있는 결과를 얻으려면 오실로스코프 파형 판독값을 확인하거나 사용하세요.

3. 멀티미터 **측정 모드**: 멀티미터 모드에서는 전압 및 저항과 같은 전기적 파라미터를 측정하는 데 사용됩니다. AC 전압계 모드에서는 최대 4개의 유의미한 수치로 수치 판독 값을 제공하지만 주파수는 40Hz에서 1kHz 사이로만 제한됩니다.

1. **입력:** 바나나 잭이 있는 케이블을 전면 패널의 바나나 입력 단자에 연결합니다.
2. **전압 측정:**
   (ㄱ) F1 키를 눌러 전압을 측정합니다.
   (ㄴ) F1 키를 다시 눌러 AC 전압 범위와 DC 전압 범위 사이를 전환합니다(이 실험에서는 AC 전압 모드만 사용).
   (ㄷ) 경고: 멀티미터 모드에서 AC 전압을 측정하는 경우 주파수 범위는 40Hz~1kHz 범위로만 제한됩니다. 1kHz 보다 큰 주파수의 AC 전압을 측정하려면 ’오실로스코프’ 모드를 사용하세요.
3. **저항 측정**
   저항을 측정하려면 F2 키를 누릅니다. F2를 다시 누르면 저항, 연속성, 다이오드 및 커패시턴스 모드를 순환합니다. ’저항’ 모드를 선택했는지 확인하세요.

4. 추가 기능

1. 자동 종료(”Auto Off”)
   (ㄱ) MENU 키를 눌러 확장 시스템 메뉴를 엽니다.
   (ㄴ) F2 키를 눌러 자동 종료 시간 설정을 선택합니다.
   (ㄷ) 장치가 유휴 상태일 때 배터리 전원을 절약하려면 15분으로 설정하는 것이 좋습니다.
2. 백라이트 밝기(”BK 라이트”)
   (ㄱ) MENU 키를 눌러 확장 시스템 메뉴를 엽니다.
   (ㄴ) F3 키를 눌러 백라이트 밝기 조절을 조정합니다.

5. 디지털 오실로스코프 충전하기 기기를 항상 사용할 준비가 되었는지 확인하려면 배터리 잔량을 추적하세요.

1. 디스플레이 오른쪽 상단에 배터리 표시기가 표시됩니다.
2. 제공된 타입-C USB 케이블과 어댑터를 사용하여 핸드헬드 오실로스코프를 충전합니다.
3. 충전 중에는 의도하지 않은 노이즈가 발생할 수 있으므로 휴대용 오실로스코프를 사용하지 않는 것이 좋습니다.
4. 배터리 잔량을 유지하려면 멀티미터를 사용하지 않을 때는 충전하고 자동 종료 기능도 사용하는 것이 좋습니다.