

## Lab07. 함수 발생기 및 오실로스코프

### 1.1 개요

#### ■ 실험 목표

1. 함수발생기 (Function Generator)의 사용법을 알고 정현파, 구형파 등의 신호를 생성할 수 있다.
2. 오실로스코프 (Oscilloscope)의 기능을 이해하고 시간에 따른 신호를 측정할 수 있다.

#### ■ 실험 준비물

1. EEBoard (HW), Waveforms (SW)
2. 저항:  $1K\Omega$ ,  $4.7K\Omega$

#### ■ 예비 보고서

1. 예비보고서 양식을 이용하여 내용 작성하고 제출

#### ■ 실험 검사 및 최종 보고서

1. 게시된 양식을 활용하여 내용을 작성하여 제출

## 1.2 이론 내용

먼저 신호는 주기적인 신호 (periodic waveform)와 비주기적인 신호(non-periodic waveform)으로 구별할 수 있다. 주기적인 신호는 일정 시간 간격으로 신호의 모양이 반복되는 신호를 의미한다. 이 때 반복되는 시간을 주기(period)라고 하고, 1초당 반복되는 횟수를 주파수(frequency)라고 한다. 주파수의 단위는 hertz(Hz)로 된다. 주기(T)와 주파수(f)와의 관계는 다음과 같고, 주기 T의 단위는 초(second)이다.

$$f = 1/T \Leftrightarrow T = 1/f$$

### 1.2.1 정현파 (Sinusoidal waveform)

주기적인 정현파 신호는 다음과 같이 정의가 된다.

$$v(t) = V_A \cdot \sin(2\pi f \times t + \phi) + V_{offset}$$

위에서  $V_A$ 는 진폭(amplitude)을 나타내며,  $f$ 는 주파수(frequency),  $\phi$ 는 위상(phase) offset,  $V_{offset}$ 은 DC 전압 offset을 나타낸다. Figure 1에서 진폭  $V_A$ 는 2칸이고 세로축 한 칸당  $VOLTS/DIV=0.5V$ 임으로  $V_A=1V$ 이다. 진폭을 peak-to-peak 값으로 표현하면 높이 축으로 4칸에 해당하므로  $V_{peak-to-peak}=2V_{pp}$ 이다. 그리고 DC Offset 전압은  $V_{offset}=0.5V$ 이다. 또한 신호의 주기  $T=0.2ms \times 5=1ms$ 이고, 주파수는  $f=1/T=1kHz$ 이다.

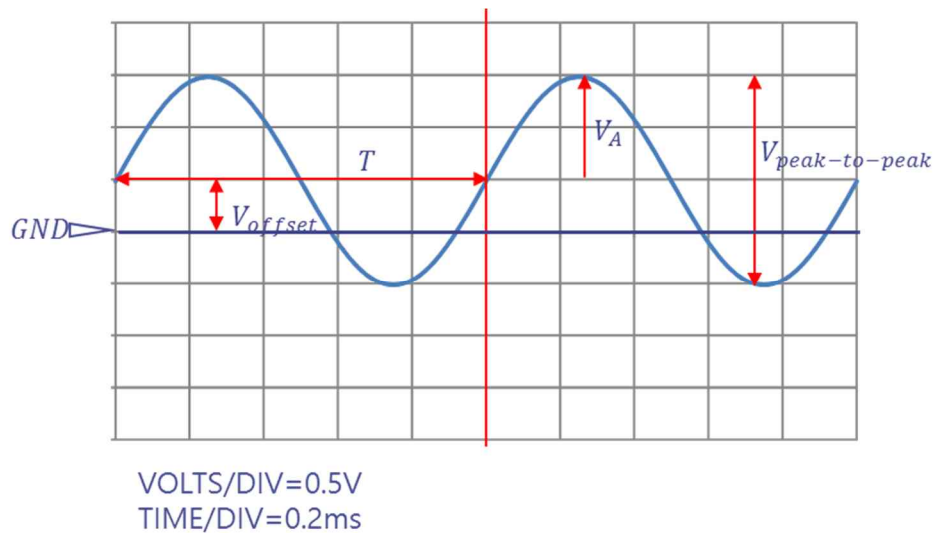
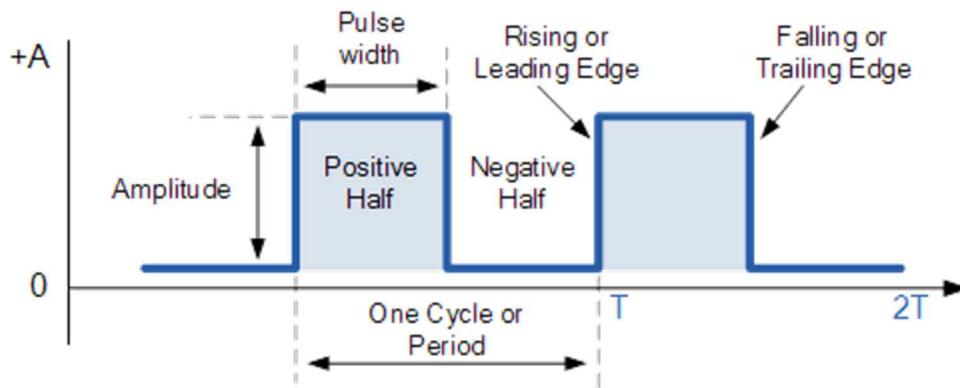


Figure 1. 정현파 신호

## 1.2.2 구형파 (Square waveform)

주기적인 구형파의 신호는 아래 그림과 같다.

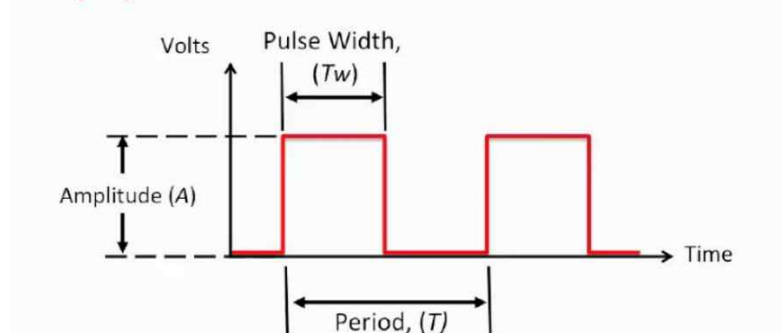


(\*<https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/waveforms.html>)

Figure 2. 구형파 신호

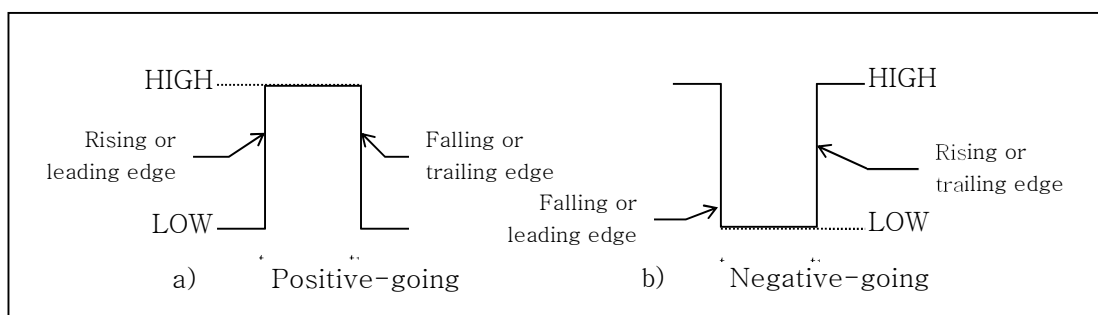
또한 주기적인 pulse 신호에서 duty cycle은 다음과 같이 표현된다. ( $\frac{\text{Pulse width}}{\text{Period}} * 100$ )

**Duty Cycle** = ratio of the Pulse Width to the Period

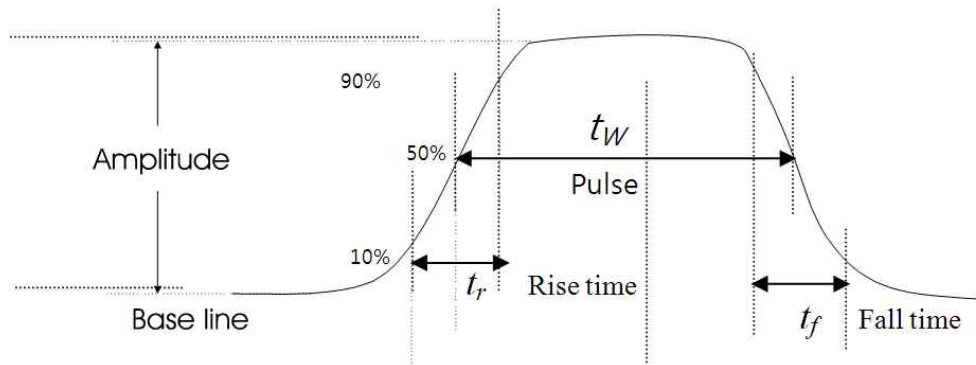


(\*<https://www.youtube.com/watch?v=ERMAPLVG8Z8>)

이상적인 pulse 신호의 형태는 아래 그림에서 보는 바와 같이 'positive-going pulse'와 'negative going pulse'가 존재하며, rising edge와 falling edge를 포함한다.



하지만 일반적인 pulse의 형태는 아래 나타난 그림과 같이 신호가 급격하게 변하지 않는다. 그와 같은 경우에 'rise time'은 신호의 크기가 10%에서 90%에 도달할 때까지의 시간을 의미하며, 'fall time'은 반대로 신호의 크기가 90%에서 10%에 도달할 때까지의 시간을 의미한다. 또한 pulse의 폭은 신호의 크기가 50%일때의 폭을 의미한다.



또한 바람직하지는 않지만 일반적으로 관찰되는 pulse의 특성으로 'overshoot'와 'ringing'이 존재한다. Overshoot는 rising edge나 falling edge에서 짧은 시간이지는 하지만 정상적인 'high' 혹은 'low' 신호 크기보다 더 커지거나 낮아지는 것을 의미하며 이러한 현상은 회로나 측정 장치의 capacitive effect로 인하여 발생한다. Ringing 현상 또한 pulse의 rising edge나 falling edge에서 발생하는 신호의 oscillation을 의미하며, 이와 같은 현상은 회로나 측정 장치의 capacitance와 inductance에 의해서 발생한다. Figure 3은 구형파에서 나타나는 Overshoot현상과 ringing이 잦아드는 시간에 대한 파형의 특성을 나타낸다. 그림에서 1은 최종 수렴 값을 나타내며  $t_r$ 은 10%에서 90%까지 상승 시간,  $t_d$ 는 delay,  $t_p$ 는 Overshoot이 발생하는 peak time 그리고  $t_s$ 는 ringing이  $\pm\delta$ 보다 작아지는 settling time을 각각 나타낸다.

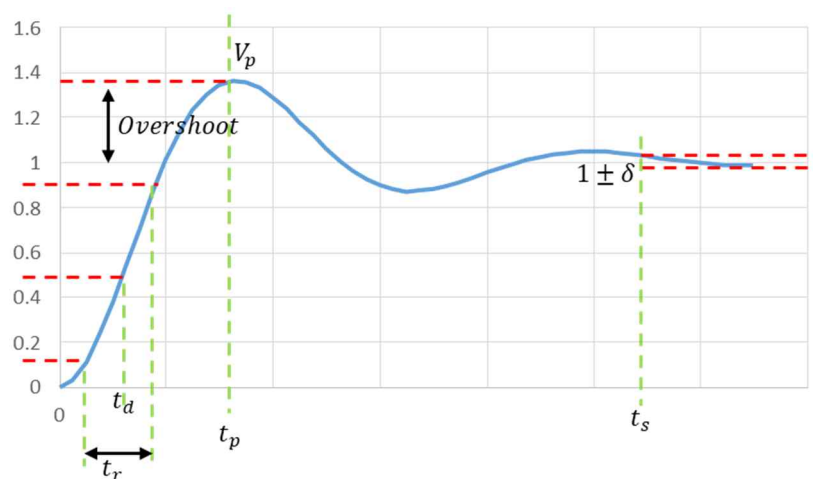


Figure 3. 구형파의 특성

### 1.2.3 함수 발생기 (Function generator)

회로 특성을 측정할 때 종종 회로의 입력에 테스트 신호로 구형파 (rectangular wave)나 정현파 (sinewave)를 인가하여 회로의 출력을 측정한다. 이 경우 다양한 종류의 테스트 신호를 생성하는 기능이 필요한데, 범용적으로는 함수 발생기 (function generator)를 사용하며, EEboard에서는 AWG (Arbitrary Waveform Generator)를 통해 이 기능을 사용할 수 있고, 2개의 채널을 제공하고 있다.



Figure 4는 AWG 1번 채널과 2번 채널을 통해 각각 정현파와 구형파를 출력하도록 설정한 모습이다. 왼쪽 설정 창에서 파형, 주파수, 진폭, DC오프셋 값을 설정하면 오른쪽에 해당 setting이 반영된 파형을 표시해준다.

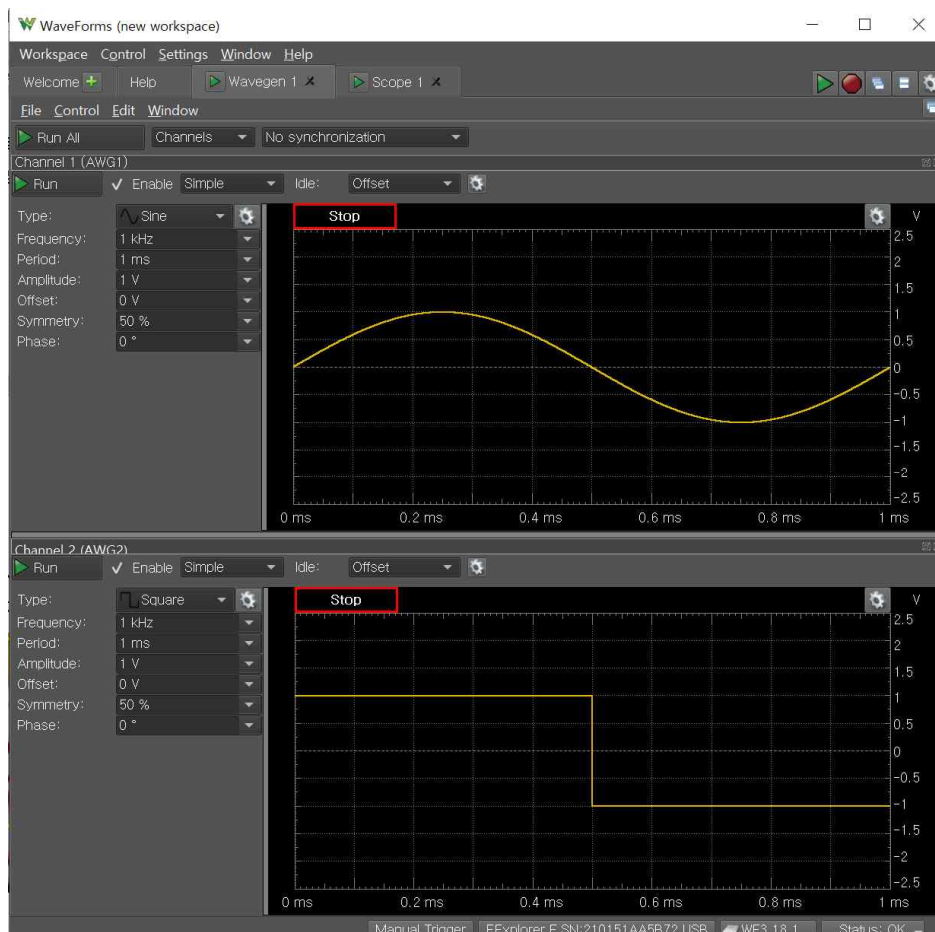


Figure 4. AWG 설정 (Ch1: 정현파 및 Ch2: 구형파)

## 1.2.4 오실로스코프 (Oscilloscope)

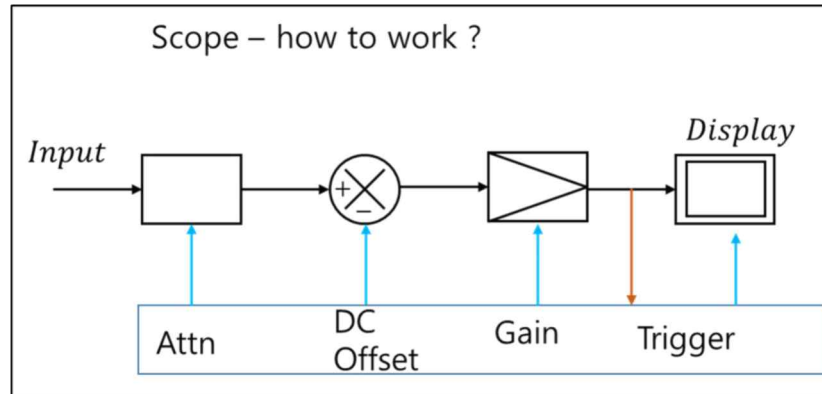


Figure 5. 오실로스코프의 동작 개요

오실로스코프 (Oscilloscope, 이하 “스코프(Scope)”라고도 함)는 기본적으로 시간에 따른 전압 파형을 눈으로 볼 수 있도록 전압 파형을 시간에 대해 2차원 동적 그래프로 나타낸다. Scope 창은 Vertical 축으로 전압을 Horizontal 축으로 시간을 표시하며, 이러한 그림을 파형 (Waveform)이라고 한다. EEBoard에는 4개의 파형을 동시에 관찰할 수 있는 Scope 채널 (SCOPE1~SCOPE4)이 제공된다.

Figure 6는 EEBoard에서 제공하는 4개의 Scope 채널의 위치를 보여준다. Scope의 각 채널은 AC 또는 DC 커플링 커넥션이 제공되고 있다. AC 커플링의 경우 신호의 DC 성분을 제거한 파형이 관측된다. 신호의 DC 성분은 신호의 Time Average 값을 나타낸다.

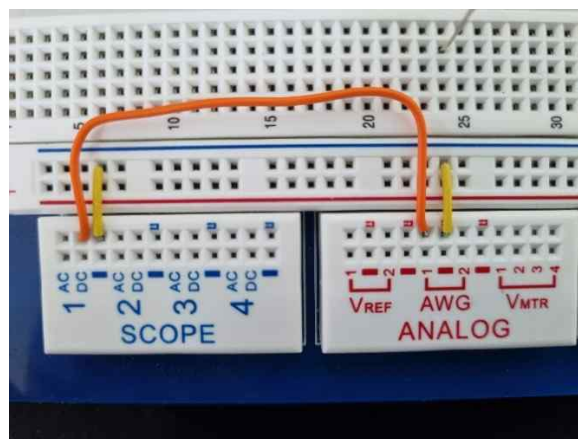


Figure 6. EEboard의 AWG 및 Scope

오실로스코프의 파형을 관측하는 경우 수직축 방향의 전압의 크기와 offset을 제어할 수 있으며, 수평축 방향으로 시간 Scale을 제어할 수 있다. 특히 측정하는 시간의 경우 기준시간 즉, 측정에서  $t=0$ 에 해당하는 지점을 결정해 주어야 한다. 이러한 시간의 기준점을 결정하는데 있어서 측정되는 신호의 전압 Level과 변화의 방향 또는 신호의 패턴을 이용하게 된다.

시간의 기준을 정하는 방법은 trigger 방식으로 설정해 준다.

출력된 파형을 측정하기 위해, Figure 6 에서와 같이 AWG1 출력을 Scope 1의 DC 커플링에 연결한다. Scope창에서 측정을 실행하면 Figure 7과 같이 관측된 파형을 그려준다. Scope로 신호를 관측하기 위해서는 수평축(Time)과 수직축(Voltage Level) 그리고 Trigger를 설정해주어야 한다. 이때 파형을 생성하는 "Wavegen 1" 탭에서 "RUN"을 선택하여 파형이 생성되고 있는 상태여야 하고, 파형을 관찰하는 "Scope 1"에서도 "RUN"을 선택하여 파형이 측정되고 있는 상태여야 한다. 그리고 화면 오른쪽 Channel 화면에서 "Channel" 옆의 체크 박스를 클릭함으로써 파형을 표시할 수도 있고, 제거할 수도 있다.

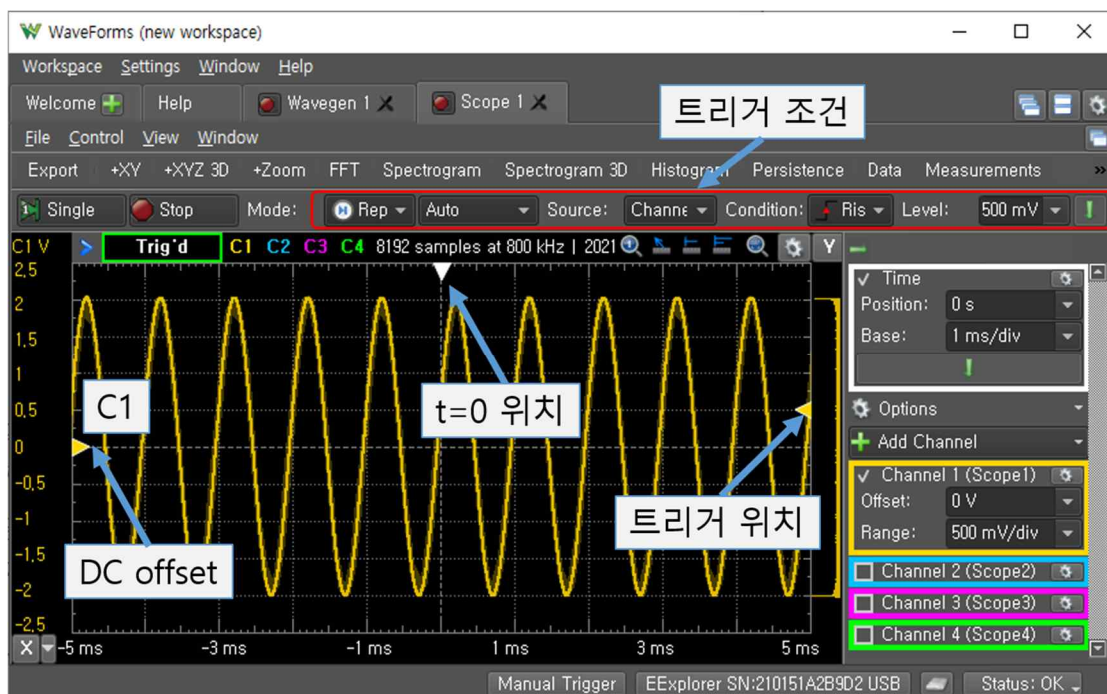


Figure 7. Trigger 설정 및 파형 측정

Figure 7의 화면을 보면 3개의 삼각형이 표시되어 있다. 왼쪽 삼각형 C1은 현재 스톱의 DC offset 위치를 나타내고 오른쪽의 삼각형은 Trigger Level을 나타내며 상단의 삼각형은 현재 Trigger 지점을 표시해 주고 있다. 상단의 삼각형을 따라 아래 시간 축을 살펴보면  $t=0$ 인 것을 확인 할 수 있다.

그림 Figure 7에서 수평축 시간 설정은 현재 Position 0s와 1ms/DIV로 설정되어 있다. 이는 아래 그래프에서 수평축 주 눈금 한 칸이 1ms에 해당하며, 주 눈금 10칸이 -5ms에서 +5ms까지 Position 0s를 중심으로 10ms 시간 범위(Span)을 가지고 있음을 알 수 있다. 채널 1(C1)의 수직축 전압 설정은 Offset 0V, Range 500mV/Div로 설정되어 있으며, 이는 수직축 주 눈금 한 칸이 0.5V에 해당하며 10칸의 주 눈금이 offset 0V를 중심으로 -2.5V에서 +2.5V 까지 5V 범위(Span)을 가지고 있음을 나타낸다. 만약 채널 1(C1)의 수직축 전압 설정은

Offset 0V, Range 1V/Div로 설정되어 있으면, 이는 수직축 주 눈금 한 칸이 1V에 해당하므로 10칸의 주 눈금이 offset 0V를 중심으로 -5V에서 +5V까지 10V 범위의 값이 화면에 표시된다.

트리거 (trigger) 기능은 오실로스코프가 언제 파형을 포착하고 화면에 표시하는지를 결정하는데 사용된다. 다시 말하면, 측정하고자 하는 파형의 소스와 트리거 레벨을 동기화시켜 트리거 레벨부터 관측된 신호를 화면에 출력하여 파형이 안정되게 표시되도록 해 준다.

정현파 또는 구형파 Test Signal은 일정한 주기를 가지고 있으며 주기 신호의 시작 시점을 스코프의 Trigger 조건을 이용하여 찾아낸다. Trigger 조건에 맞는 지점을 찾으면, 스코프는 반복되는 파형의 Trigger 지점을 기준으로 화면에 그리게 된다. 따라서 Trigger 신호 조건을 설정해 주면 실제 관측되는 파형의 정지된 파형을 관측할 수 있다. Trigger 설정은 (1) 어떠한 신호를 기준으로 trigger할 것인지를 정하는 신호원(trigger source)과 (2) trigger할 전압의 수준을 정하는 Trigger Level 그리고 (3) 전압의 상승위치에서 설정할지 또는 하강하는 위치에서 설정할 것인지에 대한 옵션이 있다. Figure 7에서 Trigger설정은 오른쪽 상단에 Source를 Channel1 그리고 조건(Cond)를 Rising, Trigger 수준(Level)을 500mV로 설정하고 있다. Figure 7의 스코프 화면 오른쪽에 작은 삼각형은 현재 Trigger Level을 표시하며, 0.5V에 위치하고 있다. 위의 정보를 종합하면 현재 Trigger되는 위치는 수평축(시간)  $t=0\text{ms}$ , 수직축(전압)  $V=0.5\text{V}$ 의 상승 조건임을 알 수 있다. Trigger가 정상적으로 설정되면 화면은 정지한 파형을 보여준다.



Figure 8는 TexTronix 사의 판매하는 오실로스코프 장비의 한 예를 보여준다. EEBoard의 Scope와 동일한 기능을 가지고 있고, EEBoard보다 빠른 신호를 계측할 수 있도록 설계되어 있다. EEboard는 최대 10MHz까지 측정할 수 있지만 대개 1MHz이상 신호의 경우 측정에 오차가 많아 사용하기 어렵다. 그러나 일반적인 오실로스코프 장비의 경우 수백 MHz에서 고가의 경우 수십 GHz까지 측정이 가능하다.

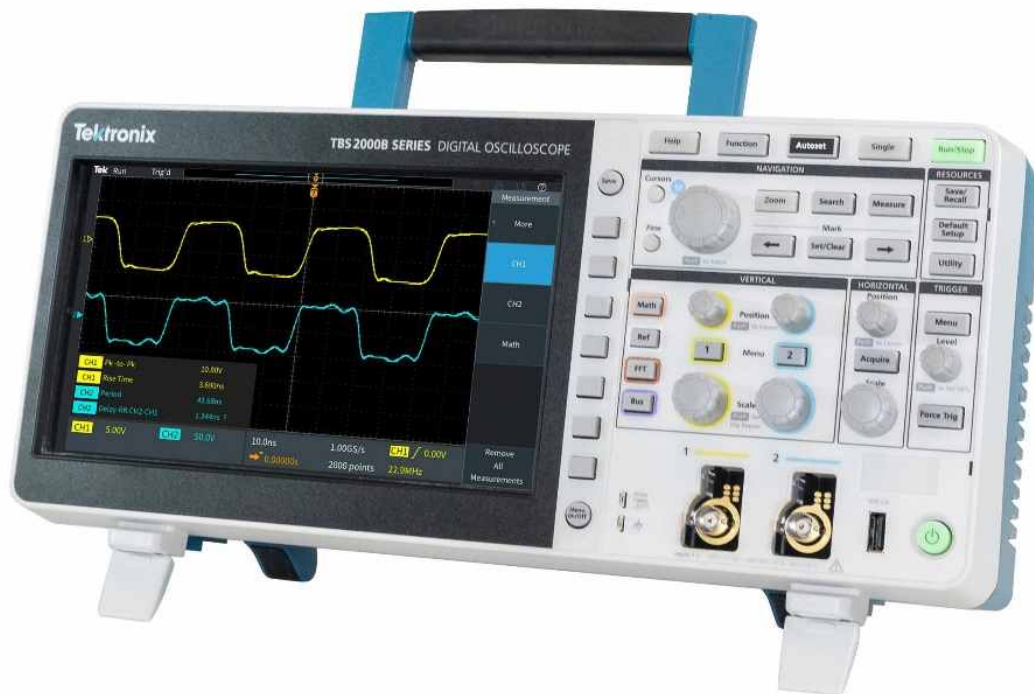


Figure 8. Tektronix 오실로스코프 장비

오실로스코프에는 높은 주파수의 신호를 측정하기 위해 장비마다 사용할 수 있는 Probe를 제공하고 있다. 높은 정밀도를 요구하는 경우 장비가 요구하는 Probe를 사용해야만 한다. Figure 9은 오실로스코프 Probe이며 스크와 연결하는 BNC 커넥터 앞에는 사용하는 장비와 매치되는 보상회로가 내장되어 있다.



Figure 9. 오실로스코프 Probe

Figure 9과 같은 오실로스코프 Probe 다른 쪽 끝은, 신호를 pick-up하는 probe 팁 부분과 악어 클립으로 연결할 수 있는 스코프 ground 선으로 구성되어 있으며 특히 스코프 ground는 절대 기준 전압인 Earth에 연결되어 있다. 따라서 스코프 ground 선이 연결되는 지점이 Earth에 연결되기 때문에 회로의 ground 이외에는 연결할 수 없다.

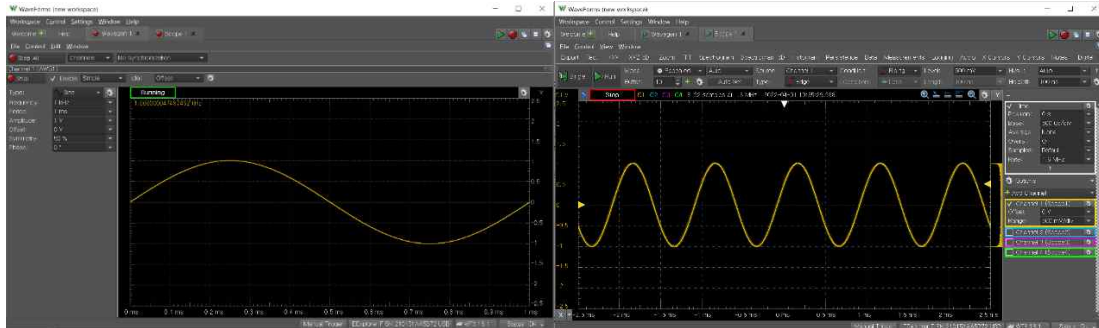
## 1.3 실험 내용

### 1.3.1 정현파 생성 및 측정

실험 안내: 오실로스코프는 DC 커플링 모드로 측정한다. (Scope에 연결 시 DC에 연결)

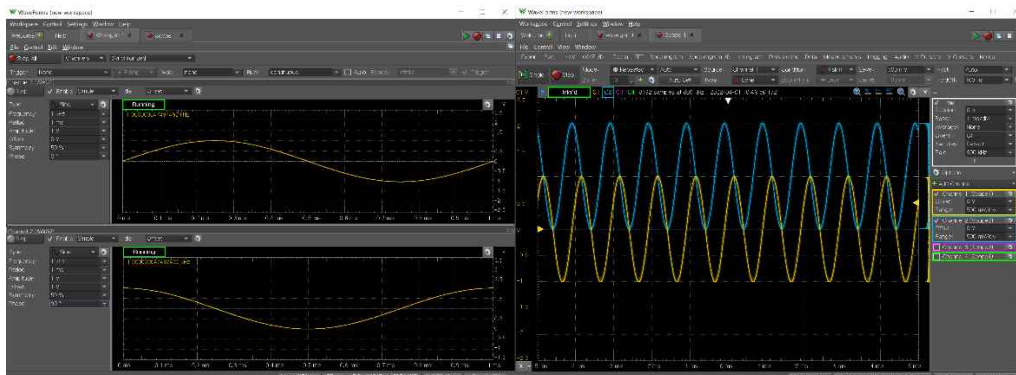
1. AWG1과 Scope의 채널 1번을 서로 연결하고, EEboard에서 AWG1과 Scope ch1을 아래와 같이 setting 및 측정한 후, 측정된 신호를 capture하고 Data를 export하여 Lab07\_01.csv로 저장한다.

- A. AWG1 → 정현파(Sine), Frequency: 1KHz, 2Vpp (-1V ~ 1V)
- B. Scope ch1 → 가로축: 0.5ms/DIV, 세로축: offset 0V, 0.5V/DIV, 트리거 소스: Channel 1, condition: rising, level: 0.5V



2. Wavgen에서 AWG2를 추가하고 EEboard에서 AWG2와 Scope의 채널 2번을 서로 연결한다. AWG와 SCOPE을 아래와 같이 setting 및 측정한 후, 측정된 신호를 capture하고 Data를 export하여 Lab07\_02.csv로 저장한다.

- A. AWG1 → 정현파(Sine), Frequency: 1KHz, 2Vpp (-1V ~ 1V)
- B. AWG2 → 정현파(Sine), Frequency: 1KHz, 2Vpp (0V~2V), Phase: 90°
- C. Scope ch1/ch2 → 가로축: 0.5ms/DIV, 세로축: offset 0V, 0.5V/DIV, 트리거 소스: Channel 1, condition: rising, level: 0.5V



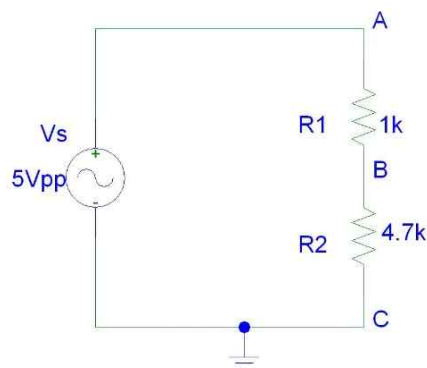
### 1.3.2 구형파 생성 및 측정

1. AWG1과 Scope의 채널 1번을 서로 연결하고, EEboard에서 AWG1과 Scope ch1을 아래와 같이 setting 및 측정한 후, 측정된 신호를 capture하고 Data를 export하여 Lab07\_03.csv로 저장한다.
  - A. AWG1 → 구형파(Square), Frequency: 5KHz, 5Vpp (0V ~ 5V), Duty cycle: 50%
  - B. Scope ch1 → 가로축: 100us/DIV, 세로축: offset 0V, 2V/DIV, 트리거 소스: Channel 1, condition: rising, level: 3V
2. AWG1에서 다음과 같은 신호를 발생시키고 측정된 신호를 capture하고 Data를 export하여 Lab07\_04.csv로 저장한다.
  - A. AWG1 → 구형파(Square), Frequency: 5KHz, 5Vpp (0V ~ 5V), Duty cycle: 20%
  - B. Scope ch1 → 가로축: 100us/DIV, 세로축: offset 0V, 2V/DIV, 트리거 소스: Channel 1, condition: rising, level: 3V
3. 앞의 2번 신호를 AC-coupling 모드에서 측정하고, 측정된 신호를 capture 하고 Data를 export하여 Lab07\_05.csv로 저장한다.

### 1.3.3 회로를 구성하여 측정

사용 부품: 1K $\Omega$ , 4.7k $\Omega$

다음의 회로를 구성하고, Scope ch1을 노드 A에 연결하고, Scope ch2를 노드 B에 연결한다. Scope의 Math기능을 사용하여 1K $\Omega$  저항 양단에 걸리는 전압,  $V_{AB}(V_A - V_B)$ 를 측정한 후  $V_A$ ,  $V_B$  신호와 함께 Scope에 plot하고 신호를 capture 하고 Data를 export하여 Lab07\_06.csv로 저장한다.



Signal source 및 Scope는 아래와 같이 설정한다.

1) AWG1 → 정현파(Sine), Frequency: 1KHz, 5Vpp (-2.5V ~ 2.5V)

2) Scope ch1/ch2/Math → 가로축: 0.5ms/DIV, 세로축: offset 0V, 1V/DIV, 트리거 소스:  
Channel 1, condition: rising, level: 1.0V