

8주차 4월20일~4월24일 수업

# 전자회로실험

공통 에미터 증폭기, 교재: 실험 7

김영탁교수  
IT대학 전자정보공학부

## → 실험 목적

- NPN형 BJT를 사용한 공통이미터 증폭기의 회로 구성과 동작을 확인한다.
- 부하저항에 따른 공통이미터 증폭기의 전압이득을 확인한다.
- 시뮬레이션을 통해 공통이미터 증폭기의 동작 특성을 예측한다.

## → 실험 내용

- 실험 7-1 | NPN형 BJT 공통이미터 증폭기의 동작 특성 측정하기



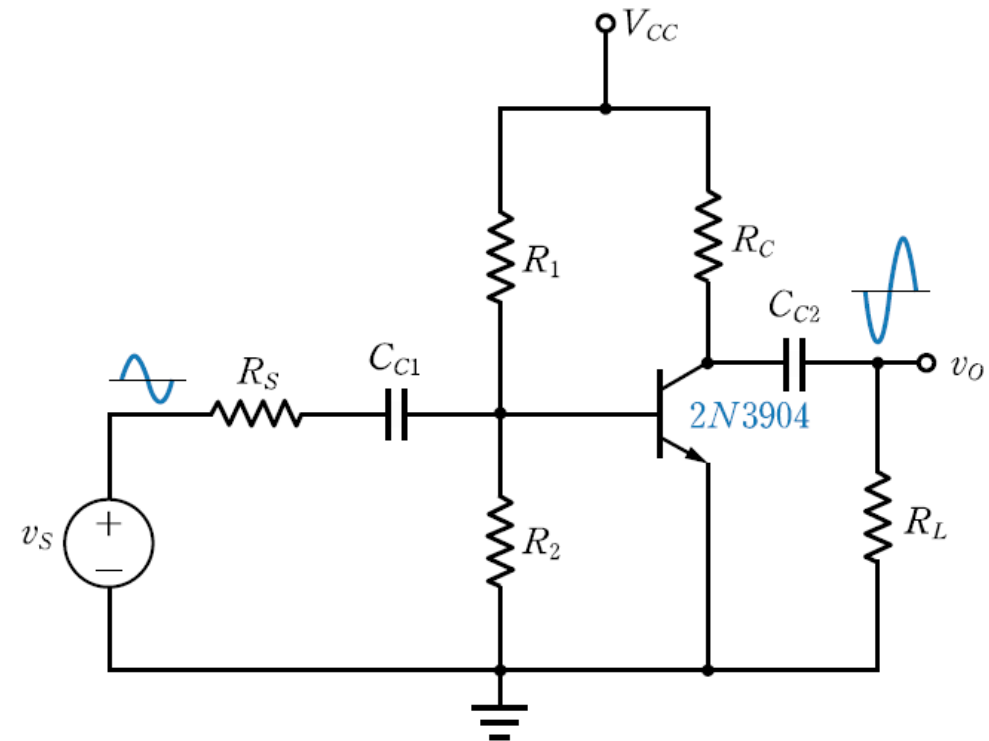
STEP 01

# 이론적 배경 알아보기



## ★ 회로 구성

- NPN형 BJT 공통이미터 증폭기
  - ▶ 이미터가 접지로 연결되어 입력단과 출력단의 공통단자로 사용됨
  - ▶ 컬렉터는 저항  $R_C$ 를 통해 전원  $V_{CC}$ 로 연결됨
- 입력전압  $v_s$  : 결합 커패시터  $C_{C1}$ 을 통해 BJT의 베이스로 입력됨
- 출력전압  $v_o$  : 컬렉터에 연결된 결합 커패시터  $C_{C2}$ 를 통해 얻어짐



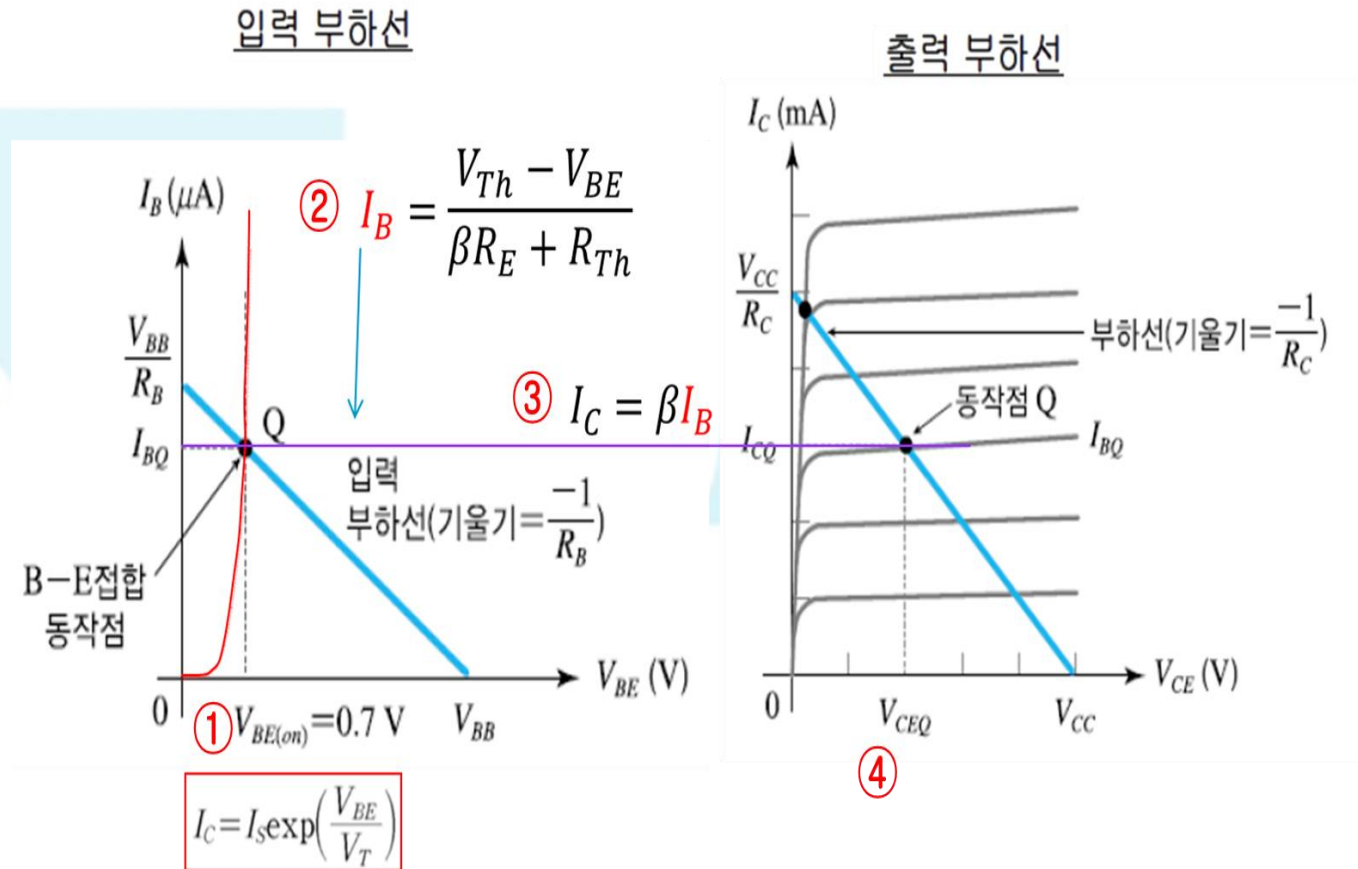
(a) NPN형 BJT 공통이미터 증폭기

그림 7-1 공통이미터 증폭기

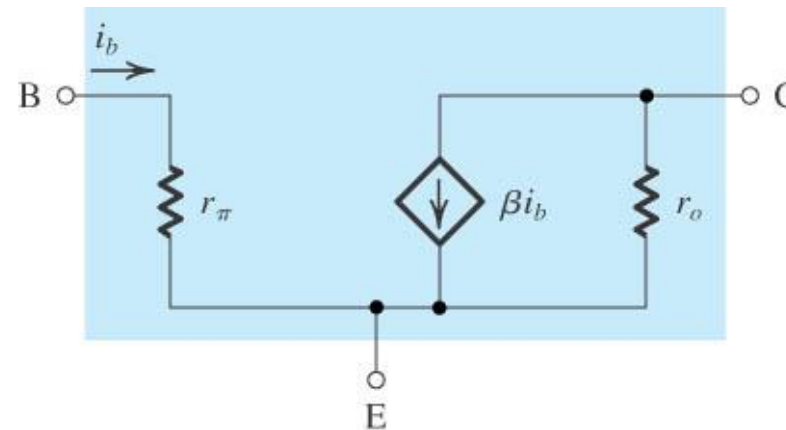
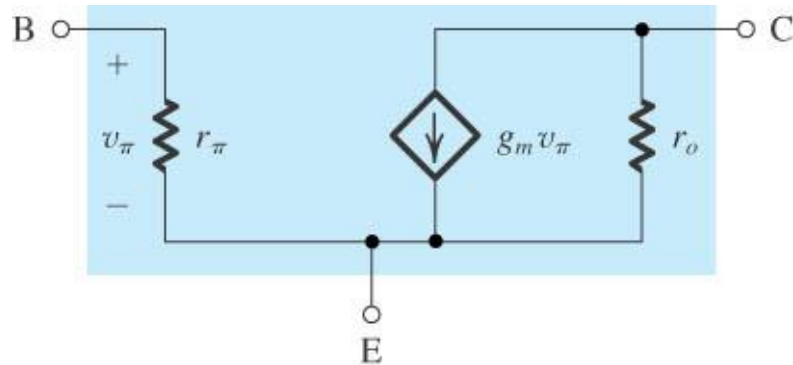
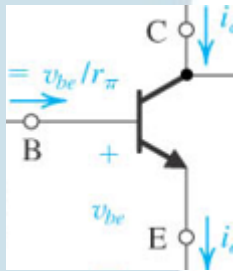


## ★ 바이어스

- 저항  $R_1$ ,  $R_2$  에 의해 베이스 바이어스 전류  $I_{BQ}$ 와 베이스-이미터 바이어스 전압  $V_{BEQ}$ 가 결정됨
- 저항  $R_C$  에 의해 컬렉터 바이어스 전류  $I_{CQ}$ 와  $V_{CEQ}$ 가 결정됨
- BJT가 순방향 활성영역에서 동작하도록 바이어스되어야 함



# BJT 소신호 해석



## Model Parameters in Terms of DC Bias Currents

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad r_e = \frac{V_T}{I_E} = \alpha \left( \frac{V_T}{I_C} \right) \quad r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = \beta \left( \frac{V_T}{I_C} \right) \quad r_o = \frac{|V_A|}{I_C}$$

## In Terms of $g_m$

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

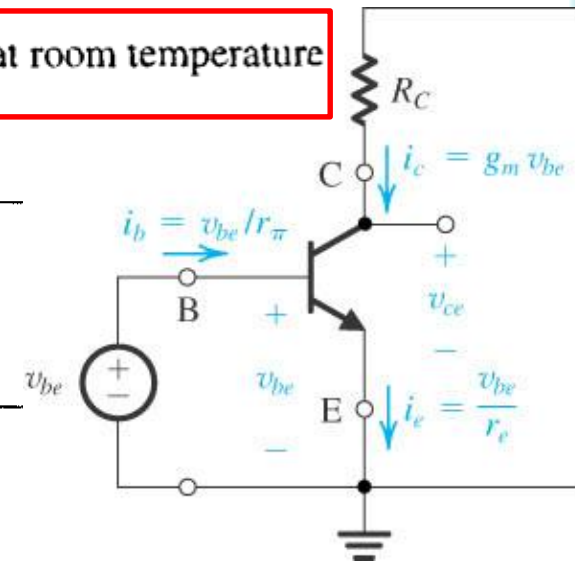
$$V_T = \text{thermal voltage} = \frac{kT}{q} \cong 25 \text{ mV at room temperature}$$

## In Terms of $r_e$

$$g_m = \frac{\alpha}{r_e} \quad r_\pi = (\beta + 1)r_e \quad g_m + \frac{1}{r_\pi} = \frac{1}{r_e}$$

## Relationships Between $\alpha$ and $\beta$

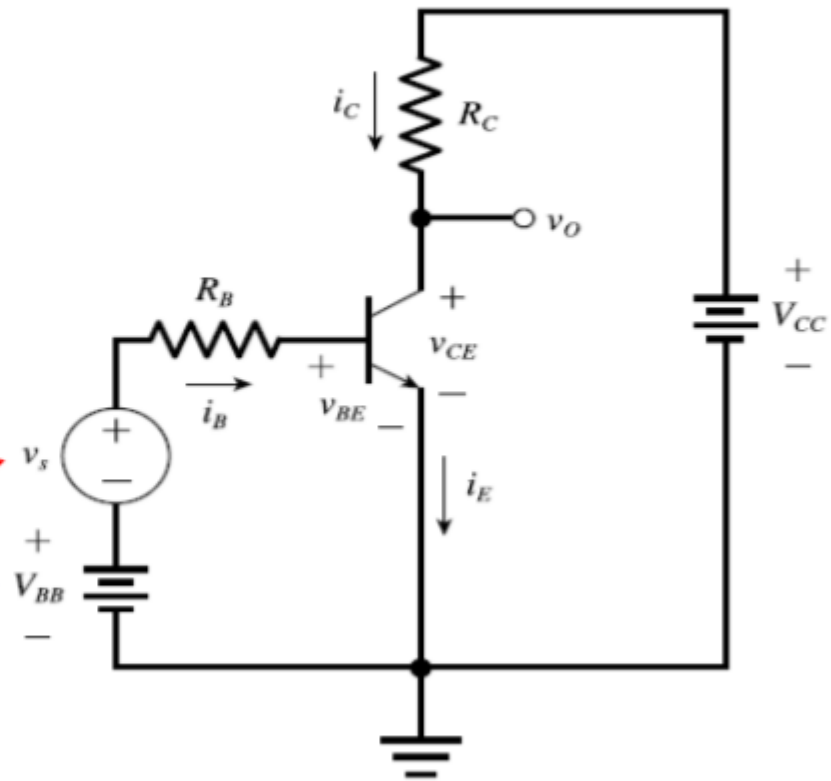
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad \beta + 1 = \frac{1}{1 - \alpha}$$



# 공통 에미터(CE) 증폭기

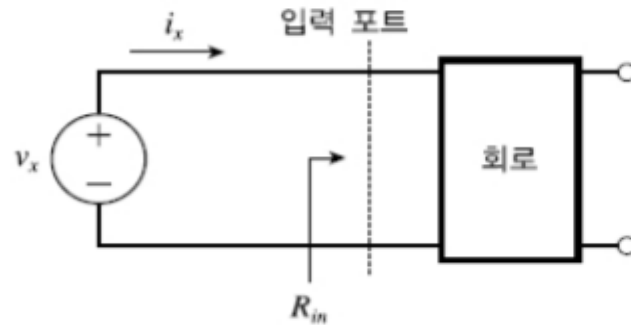
## □ 증폭기 해석과 파라미터 표기법

변수	의미
$i_B, v_{BE}$	전체 순시값(DC+AC)
$I_B, V_{BE}$	DC 값
$i_b, v_{be}$	순시값(AC)

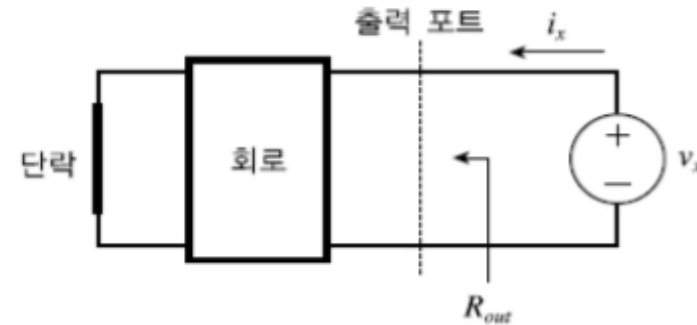


## □ 입력 및 출력 임피던스 개념

- 전압 증폭기 앞,뒤에 다른 회로를 연결을 고려
- 이상적인 입력 임피던스는 무한대
- 이상적인 출력 임피던스는 0
- 입출력 임피던스는  $i_x$  를 측정하여  $R_{in} = v_x / i_x$  로 구함
- 입력 임피던스를 측정할 때, 출력단은 개방되어 있음에 유의.
- 출력 임피던스를 측정할 때, 입력 전압원은 단락, 입력 전류원은 개방.



(a) 입력 임피던스의 측정



(b) 출력 임피던스의 측정





# 공통 에미터(CE) 증폭기

## □ DC 해석을 통한 동작점 (Q-점) 해석

- $v_s = 0$  으로 가정 후 B-E와 C-E루프에 KVL 적용  
 $I_{BQ}, I_{CQ}, V_{BEQ}, V_{CEQ}$  는 동작점에서의 전류, 전압)

$$V_{BB} = I_{BQ}R_B + V_{BEQ} \rightarrow \text{(식5)}$$

$$V_{CC} = I_{CQ}R_C + V_{CEQ} \rightarrow \text{(식6)}$$

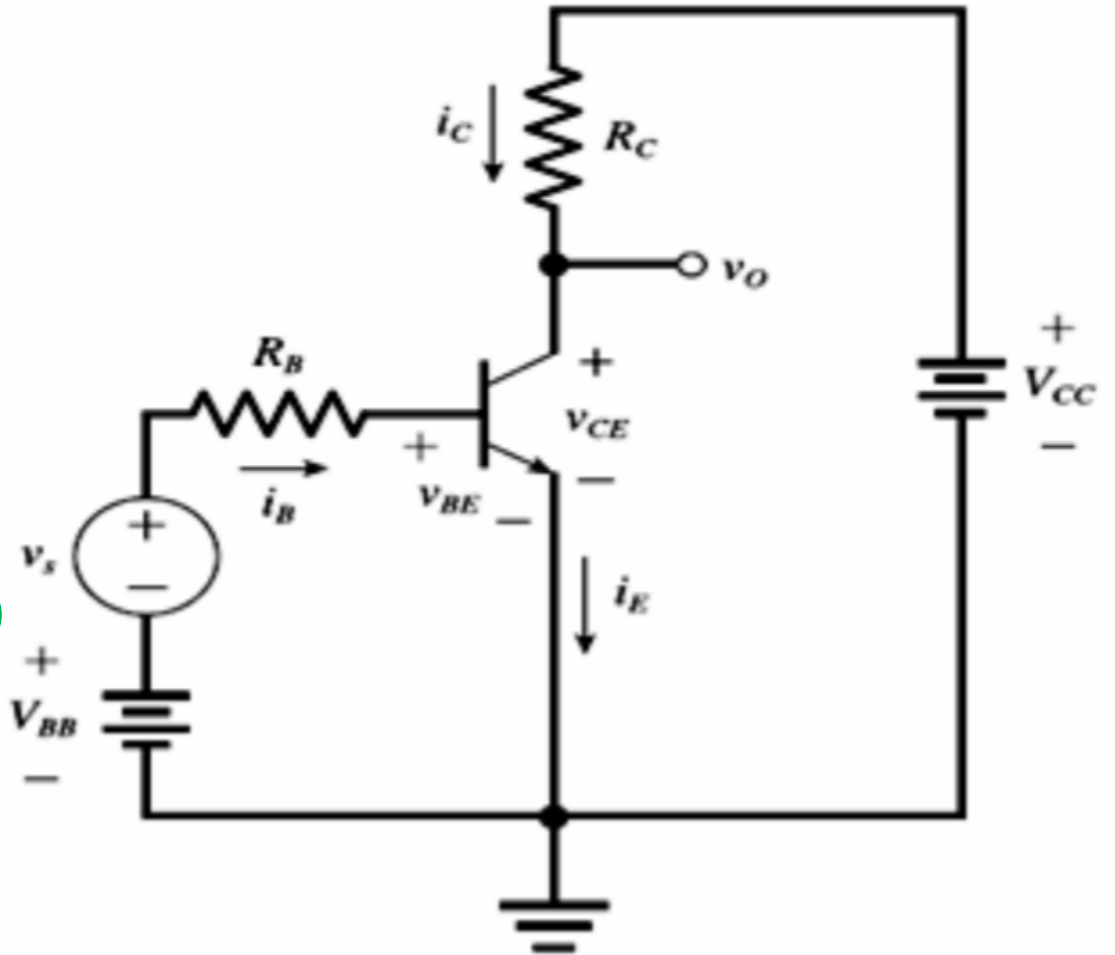
- 시변신호를 고려한 E-B 루프에 KVL 적용

$$V_{BB} + v_s = i_B R_B + v_{BE} \rightarrow \text{(식7)}$$

$$V_{BB} + v_s = (I_{BQ} + i_b)R_B + (V_{BEQ} + v_{be}) \rightarrow \text{(식8)}$$

$$V_{BB} - I_{BQ}R_B - V_{BEQ} = i_b R_B + v_{be} - v_s \rightarrow \text{(식9)}$$

- $V_{BB} - I_{BQ}R_B - V_{BEQ} = 0$  이기 때문에 간소화 가능  
 $v_s = i_b R_B + v_{be} \rightarrow \text{(식10)}$



# 공통 에미터(CE) 증폭기

## □ DC 해석을 통한 동작점 해석

- 시변신호를 고려하여 C-E루프에 KVL 적용

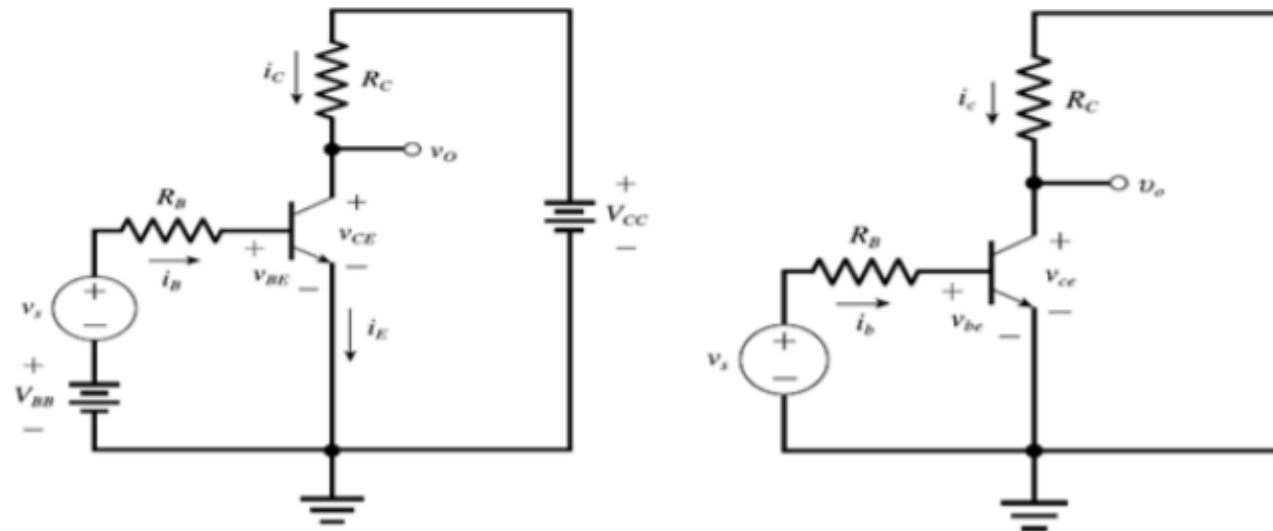
$$V_{CC} = i_C R_C + v_{CE} = (I_{CQ} + i_c) R_C + (V_{CEQ} + v_{ce}) \rightarrow \text{(식11)}$$

$$V_{CC} - I_{CQ} R_C - V_{CEQ} = i_c R_C + v_{ce} \rightarrow \text{(식12)}$$

- $V_{CC} - I_{CQ} R_C - V_{CEQ} = 0$  이기 때문에 간소화된다

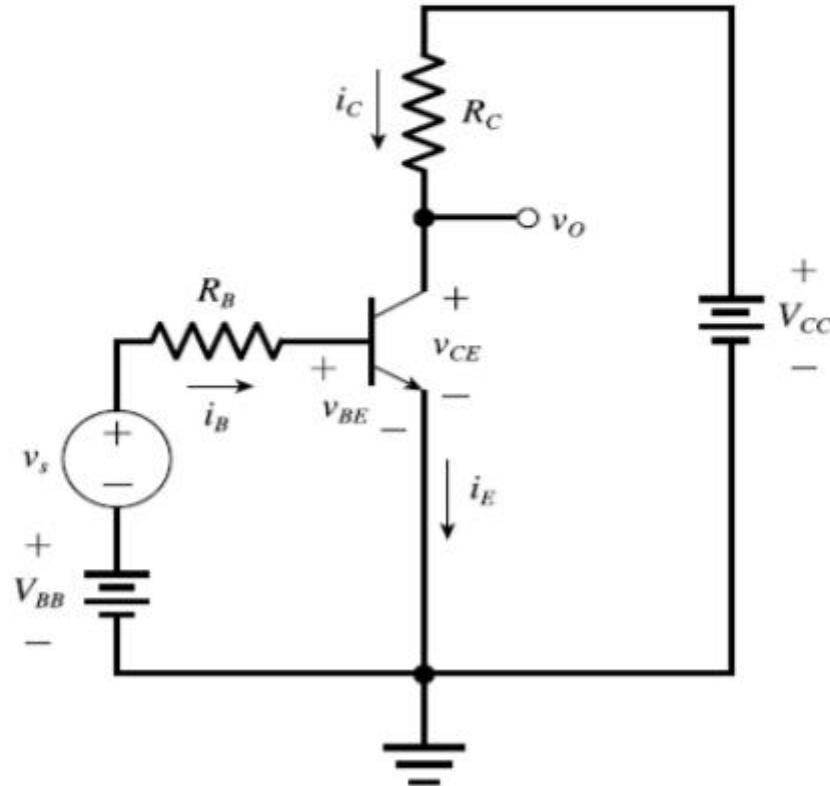
$$i_c R_C + v_{ce} = 0 \rightarrow \text{(식13)}$$

- 공통 이미터 증폭기 회로(왼쪽)와 AC등가 회로(오른쪽)



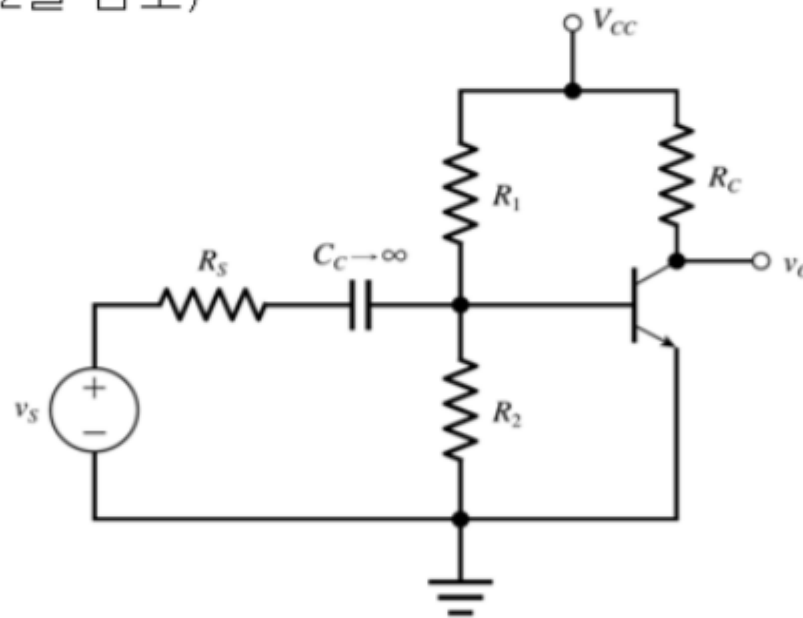
# 공통 에미터(CE) 증폭기

입력신호가 베이스 단자에 인가되고 컬렉터에서 출력신호가 나오도록 구성된다. 이 회로는 이미터 단자가 접지되어 입력과 출력에 공통단자 역할을 하므로 공통 이미터(common emitter) 증폭기라고 부른다.



## □ 기본 공통 이미터 증폭기

- $v_s$  는 커패시터  $C_C$ 를 통해 BJT의 베이스 단자로 입력(DC성분 차단)
- 저항  $R_1$ 과  $R_2$ 는 BJT가 순방향 활성영역에서 동작하도록 동작점을 결정
- 여기서  $C_C$ 는 결합 커패시터(coupling capacitor)라고 하며, 동작 주파수 범위에서 임피던스가 매우 작아지도록 큰 값의 커패시터를 사용
- 결합 및 바이패스 커패시터는 증폭기의 저주파(low frequency) 응답특성에 영향을 미침(8장 2절 참조)



[그림 4-6] 공통 이미터 증폭기



# 공통 에미터(CE) 증폭기

## □ 소신호 등가회로 해석

하이브리드- $\pi$  모델 사용

- 전달컨덕턴스 :

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} \rightarrow \text{(식14)}$$

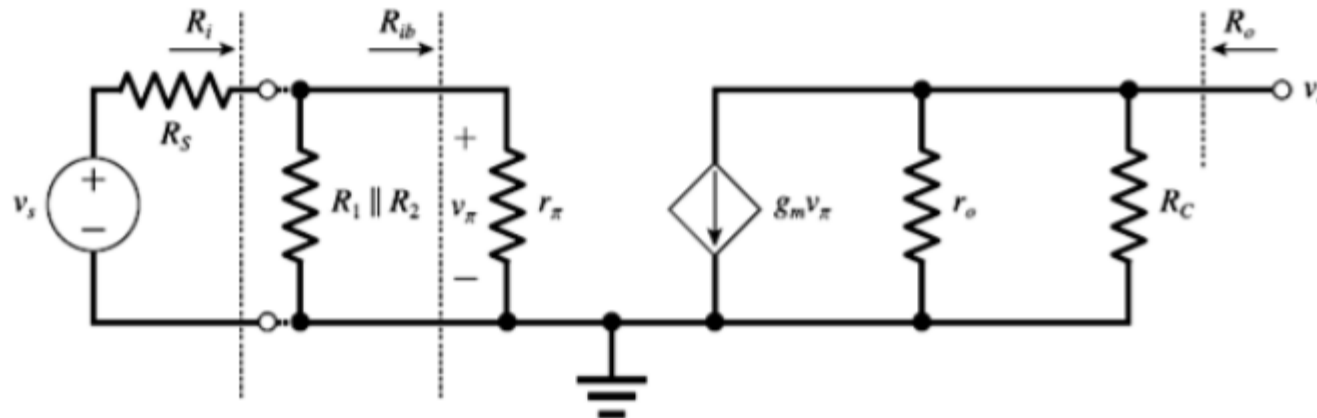
- 베이스-에미터 입력저항 :

$$r_\pi = \frac{V_T \beta_{ac}}{I_{CQ}} = \frac{V_T}{I_{BQ}} = \frac{\beta_{ac}}{g_m} \rightarrow \text{(식15)}$$

- 컬렉터 출력저항 :

$$r_o = \frac{V_A}{I_{CQ}} \rightarrow \text{(식16)}$$

- 등가회로의 소신호 출력전압 :  $v_o = -(g_m v_\pi)(r_o \parallel R_C)$   $\rightarrow \text{(식17)}$



# 공통 에미터(CE) 증폭기

## □ 소신호 등가회로 해석

•  $r_\pi$ 에 걸리는 전압 : 
$$v_\pi = \left( \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi}{R_S + (R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi)} \right) v_s \rightarrow \text{(식18)}$$

• 소신호 전압이득 : 
$$A_v \equiv \frac{v_o}{v_s} = -g_m \left[ \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi}{R_S + (R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi)} \right] (r_o \parallel R_C) \rightarrow \text{(식19)}$$

• 베이스 단자에서 본 입력저항 :  $R_{ib} = r_\pi$

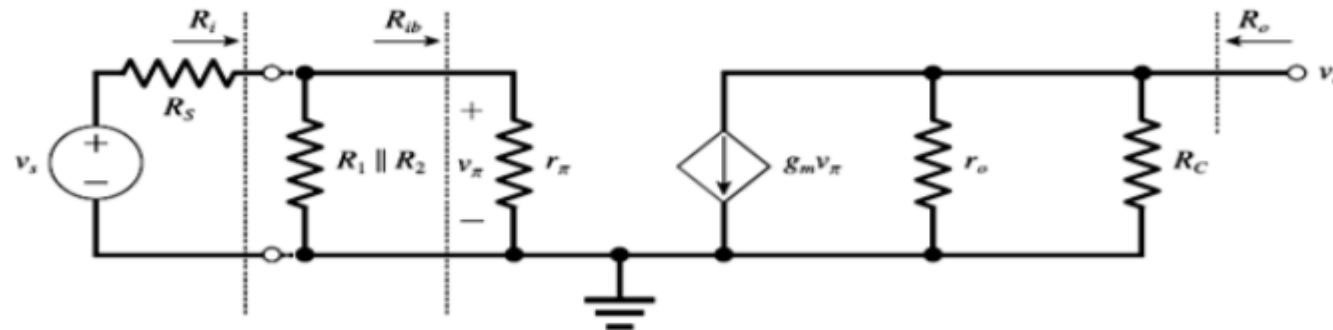
• 바이어스 회로를 포함한 입력저항 :  $R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi$

•  $v_s$ 를 0으로 놓았을 때 출력저항 :  $R_o = r_o \parallel R_C$

• 간소화한  $A_v$ : 
$$A_v = (-g_m R_o) \left( \frac{R_i}{R_S + R_i} \right) \rightarrow \text{(식20)} \rightarrow A_v = \beta R_o / (R_S + r_\pi) \rightarrow \text{(식21)}$$

$$\beta = g_m r_\pi$$

$$R_i \cong r_\pi$$

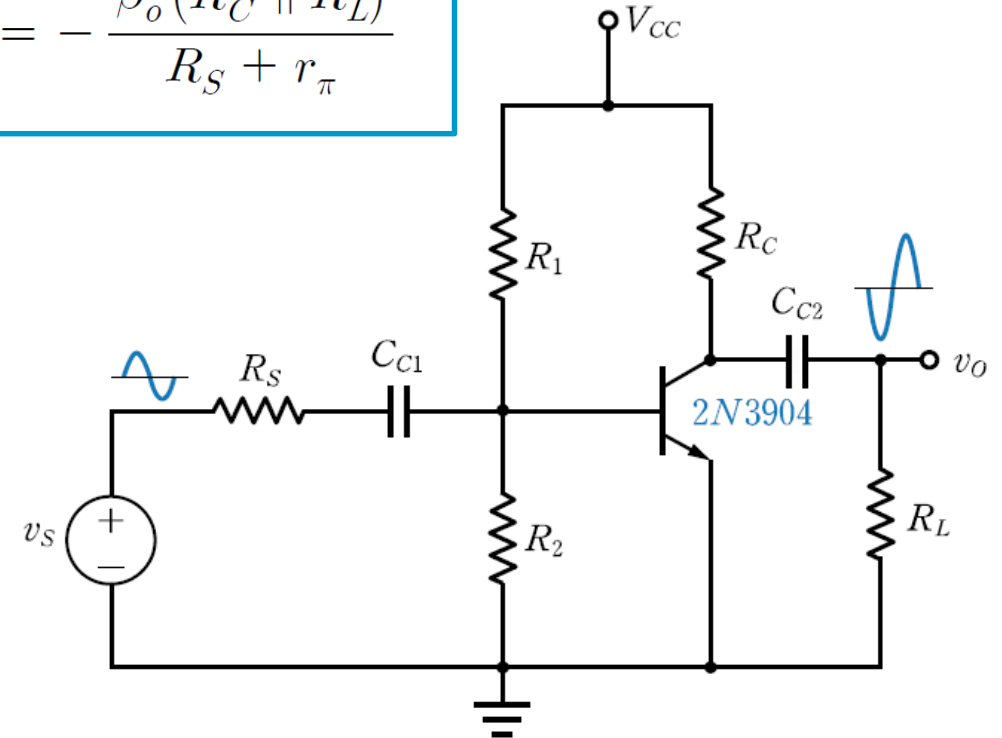


## ★ 전압이득

- 가정 : 바이어스 저항의 영향 무시 ( $R_1 \parallel R_2 \gg r_\pi$ ), 컬렉터 출력저항  $r_o$  를 무시
- 공통이미터 증폭기의 소신호 전압이득
- 전류증폭률  $\beta_o$  와  $R_C \parallel R_L$  ( $R_C$ 와  $R_L$ 의 병렬 합성저항)의 곱에 비례함
- 마이너스 부호는 입력전압과 출력전압의 위상이 서로 반전 관계임을 의미함

$$A_v \equiv \frac{v_o}{v_s} = - \frac{\beta_o (R_C \parallel R_L)}{R_S + r_\pi}$$

(식22)



(a) NPN형 BJT 공통이미터 증폭기

그림 7-1 공통이미터 증폭기





## 여기서 잠깐 | 증폭기 회로의 고장 진단

증폭기 회로를 구성하고 전원과 입력신호를 인가한 상태에서 출력신호를 측정했을 때, 회로가 올바르게 동작하지 않아 신호가 증폭되지 않거나 파형에 왜곡이 생기는 경우 다음과 같은 과정으로 진단하여 원인을 찾아 해결한다.

- 1 BJT의 이미터, 베이스, 컬렉터 단자가 회로기판에 올바르게 연결되었는지 확인한다.
- 2 DC 전원전압이 회로에 올바르게 인가되었는지 확인한다. NPN형 BJT를 사용하는 경우, 전원장치의 (+) 단자가 트랜지스터의 컬렉터 쪽에 연결되어야 한다.
- 3 BJT에 인가된 바이어스 상태를 확인한다. BJT가 증폭기로 동작하기 위해서는 순방향 활성 영역에서 동작하도록 바이어스되어야 한다. BJT가 차단영역 또는 포화영역에서 동작하는지 확인한다.
- 4 출력 파형이 찌그러져 왜곡이 발생하는 것은 동작점이 포화 또는 차단영역 근처로 치우쳐져 있기 때문이므로, 바이어스 회로를 수정해서 동작점을 선형영역의 중앙 근처로 이동시킨다.
- 5 마지막으로, 측정 방법이 올바른지 확인한다. 오실로스코프의 접지 단자가 회로의 접지에 연결되어 있는지 확인한다.

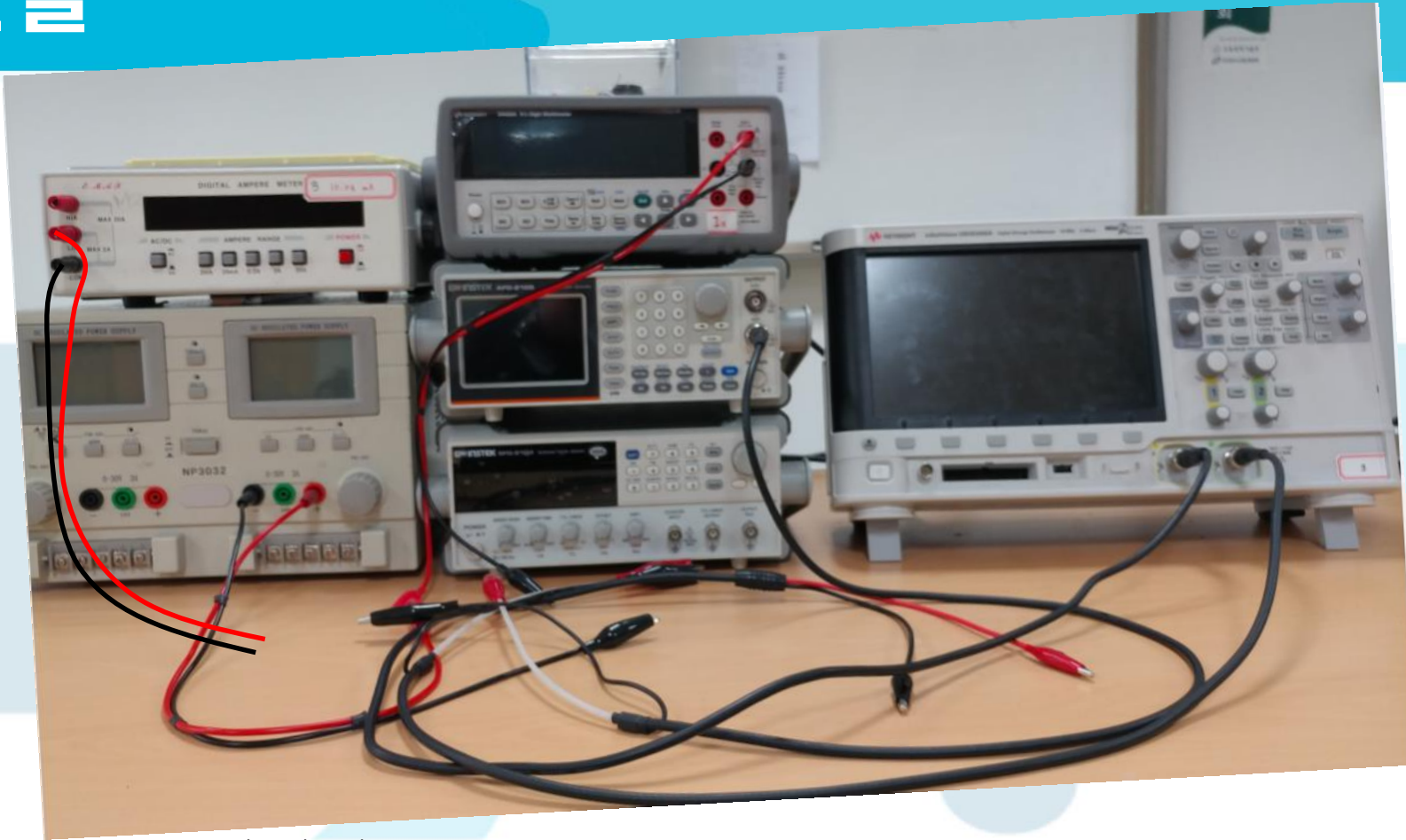


STEP 03

# 실험 진행하기



# 계측기 연결



바나나 cable 3EA, BNC cable 3EA

저항: 0.51k, 1k, 1.5k, 2k, 2.4k, 3.0k, 3.6k, 75k, 100k,  
110k, 22k, 0.75k / 100 $\mu$ F



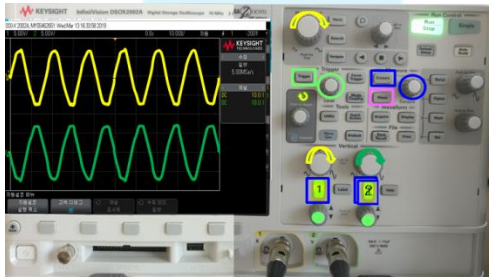
# 실험 진행하기

[실험 장비]

장비명	수량	장비명	수량
DC 전원공급 장치	1대	오실로스코프(2채널)	1대
함수발생기	1대	멀티미터	1대

[실험 부품]

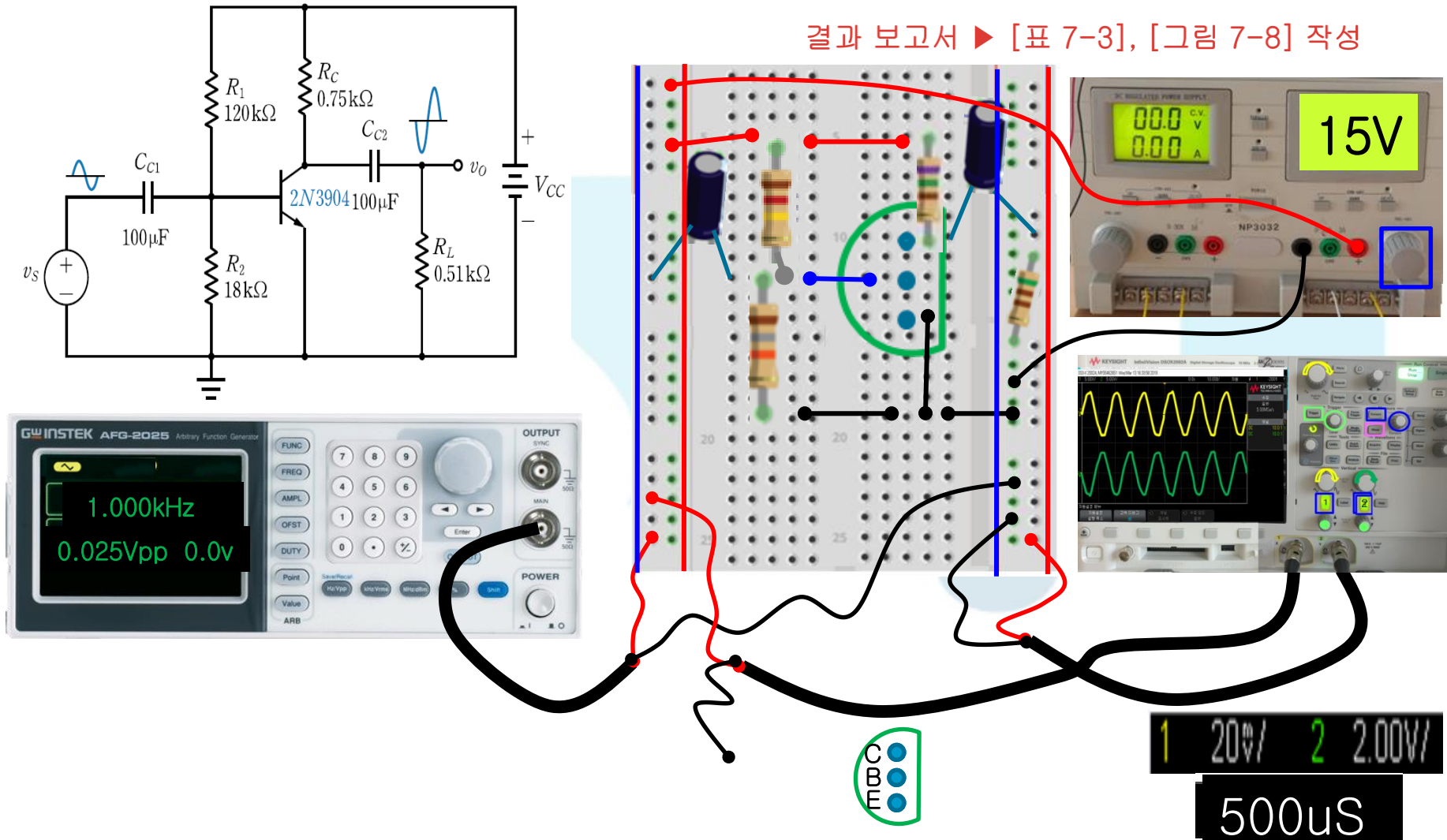
트랜지스터	NPN형 BJT 2N3904, PNP형 BJT 2N3905
커패시터	100 $\mu$ F
저항	0.51k $\Omega$ , 0.75k $\Omega$ , 1.0k $\Omega$ , 1.5k $\Omega$ , 2.0k $\Omega$ , 2.4k $\Omega$ , 3.0k $\Omega$ , 3.6k $\Omega$ , 18k $\Omega$ , 22k $\Omega$ , 110k $\Omega$ , 120k $\Omega$



# NPN형 BJT 공통이미터 증폭기의 동작 특성측정하기

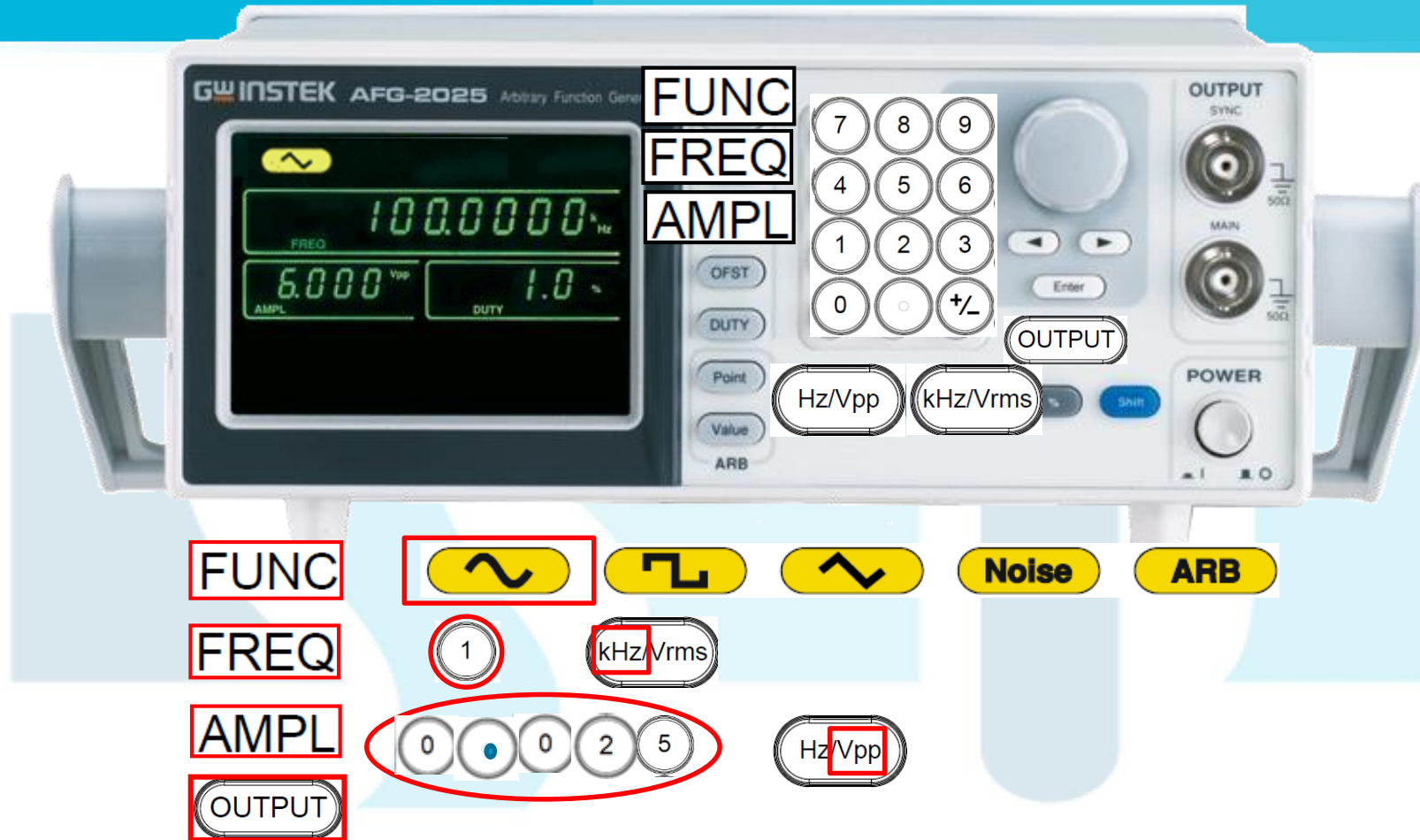
## 실험 7-1 | NPN형 BJT 공통이미터 증폭기의 동작 특성측정하기

결과 보고서 ▶ [표 7-3], [그림 7-8] 작성

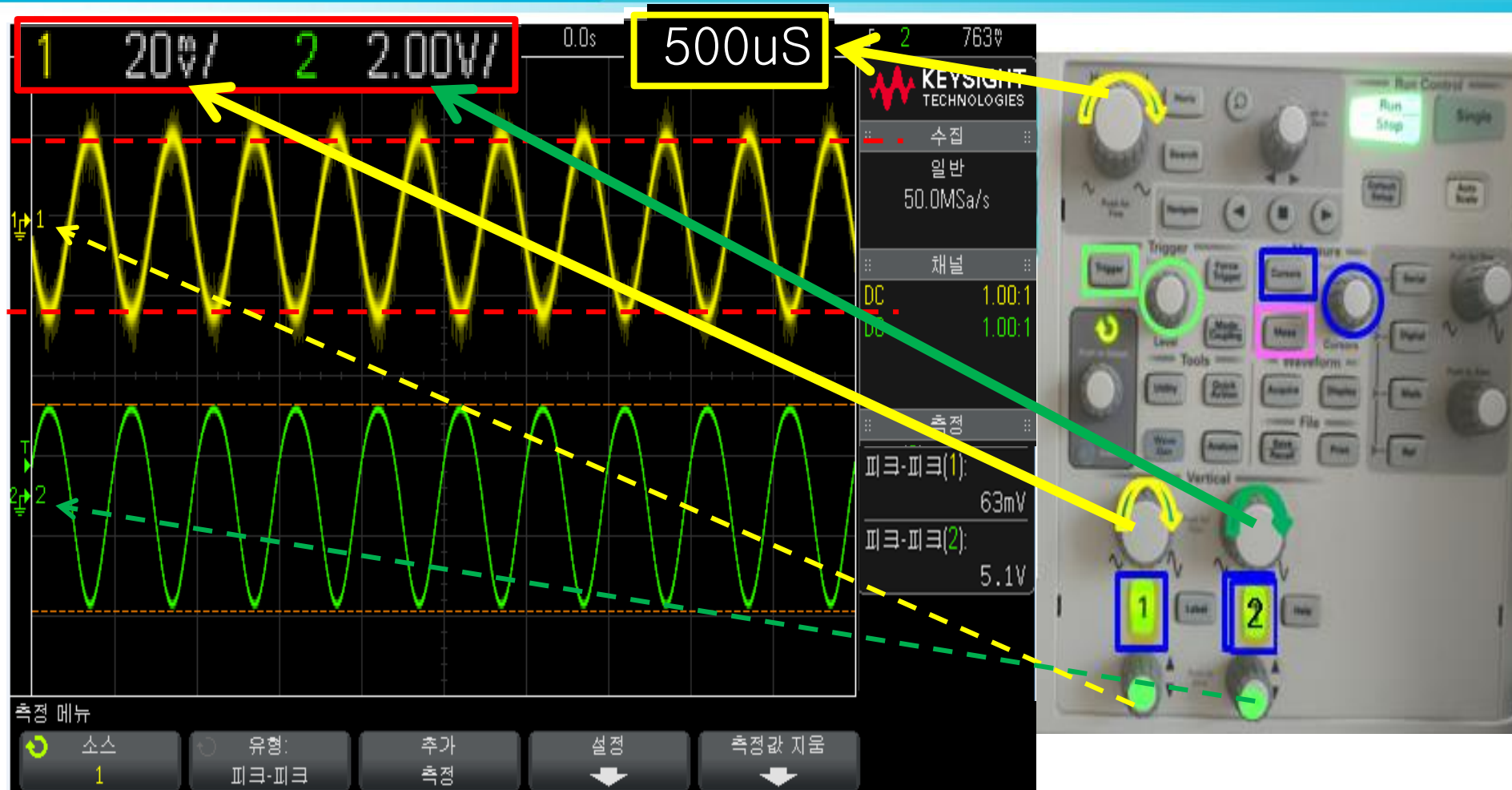




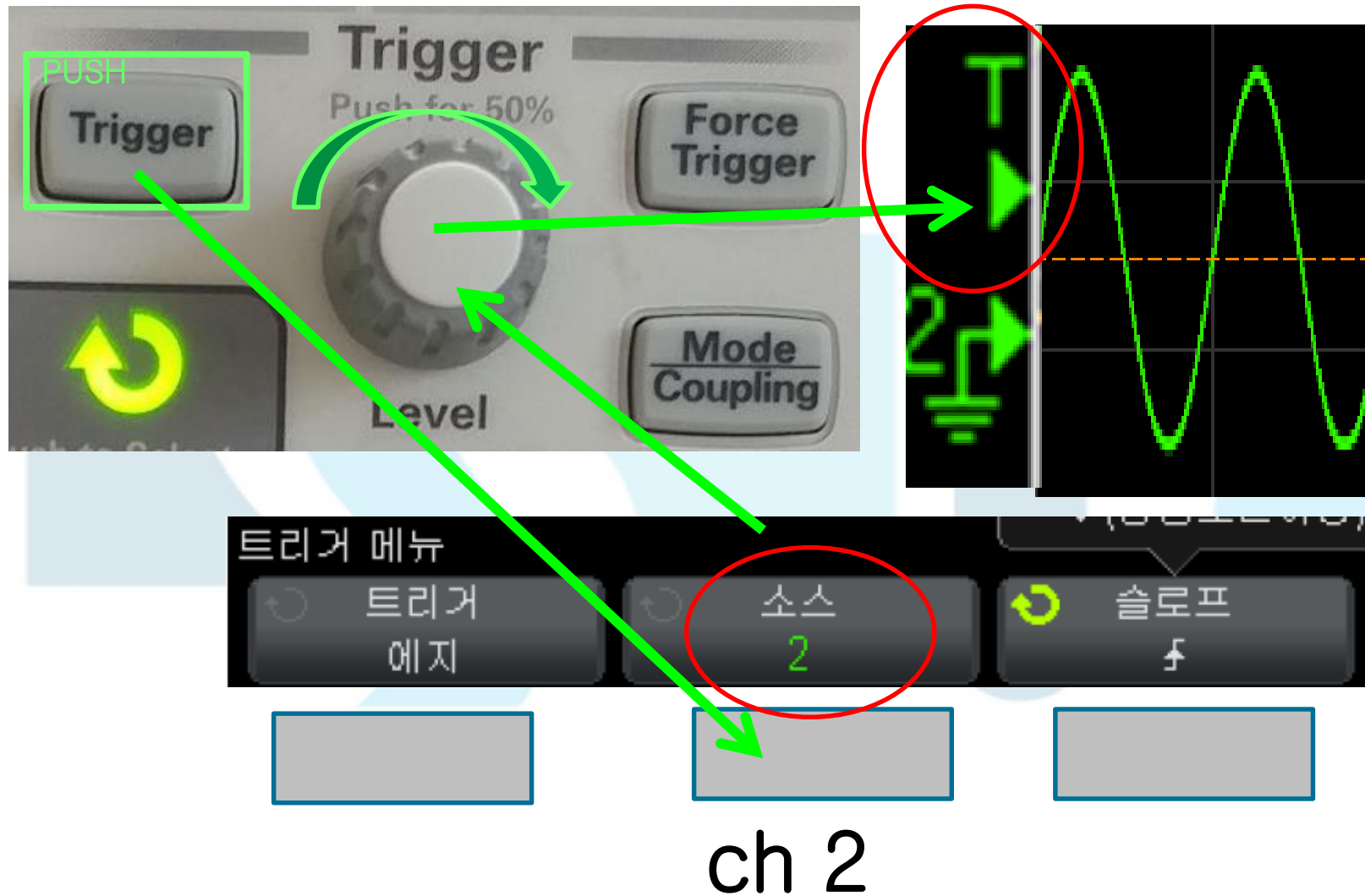
# AFG-2025 Function Generator



# 오실로스코프 설정(실험7-1)



# Trigger: ch 2





# BJT CE 증폭기 회로

동작점  
전류, 전압(측정  
결과)

$I_{BQ} [\mu A]$

$V_{BEQ} [V]$

$I_{CQ} [mA]$

$V_{CEQ} [V]$

소신호  
파라미터  
계산값

$$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_{BQ}} [k\Omega]$$

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} [mA/V]$$

$$\beta_o = g_m r_{\pi}$$

$R_L [K\Omega]$

$V_o \text{ p-p}$

0.51

1.0

1.5

2.0

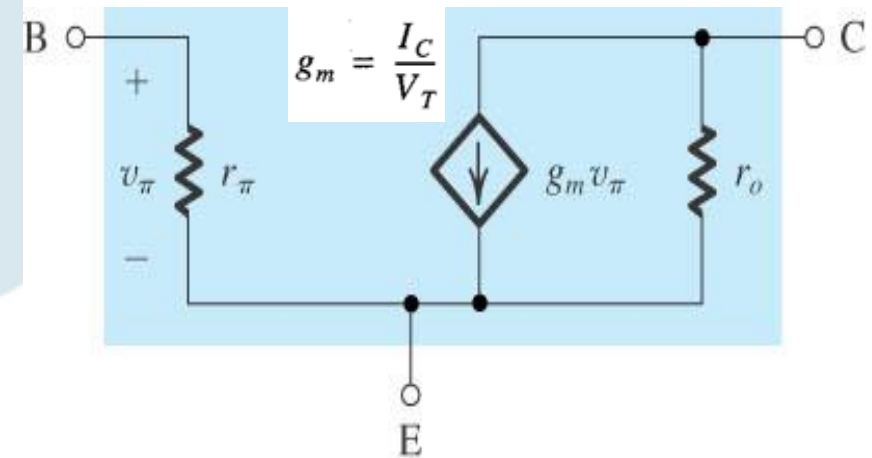
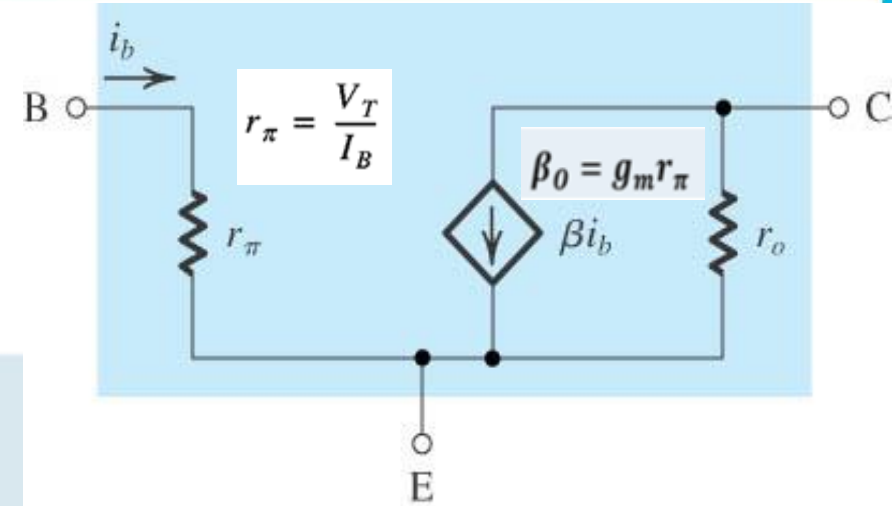
2.4

3.0

3.6

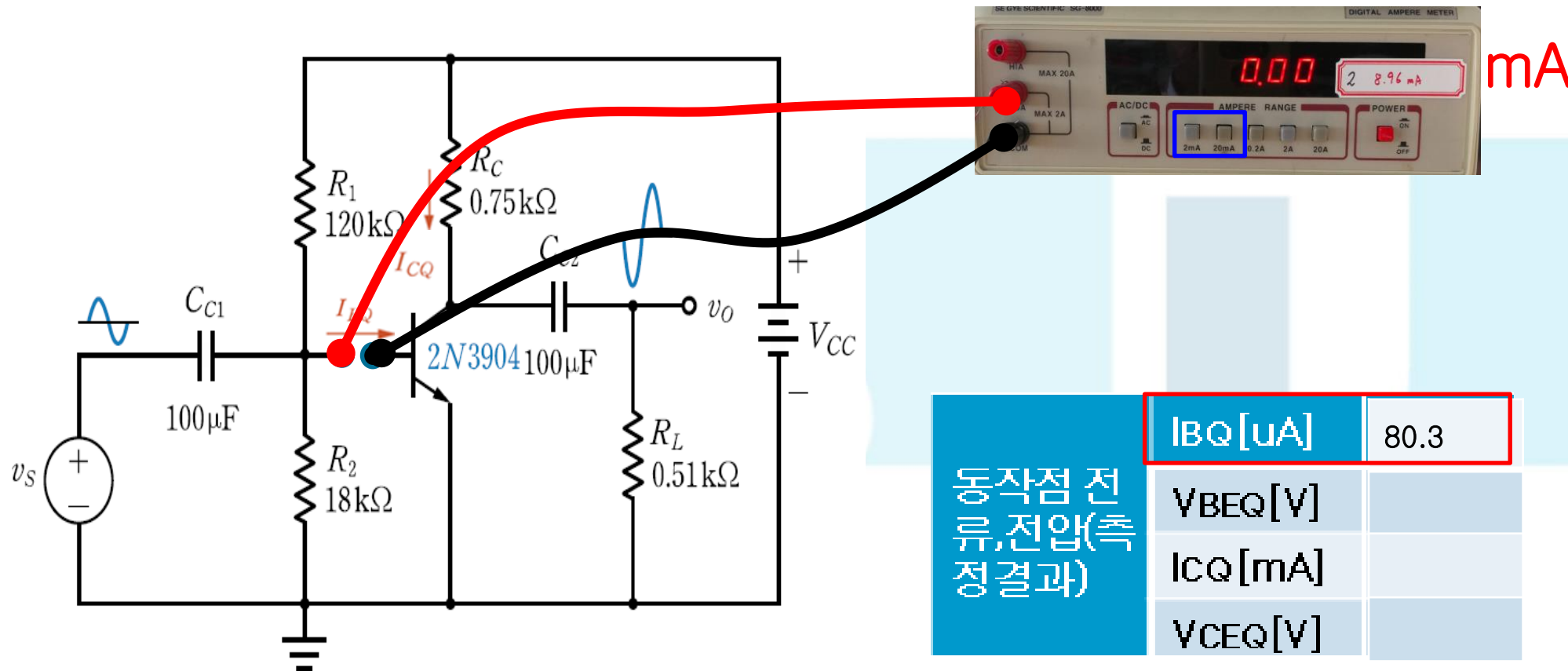
4.0

$V_T = \text{thermal voltage} = \frac{kT}{q} \cong 25 \text{ mV at room temperature}$



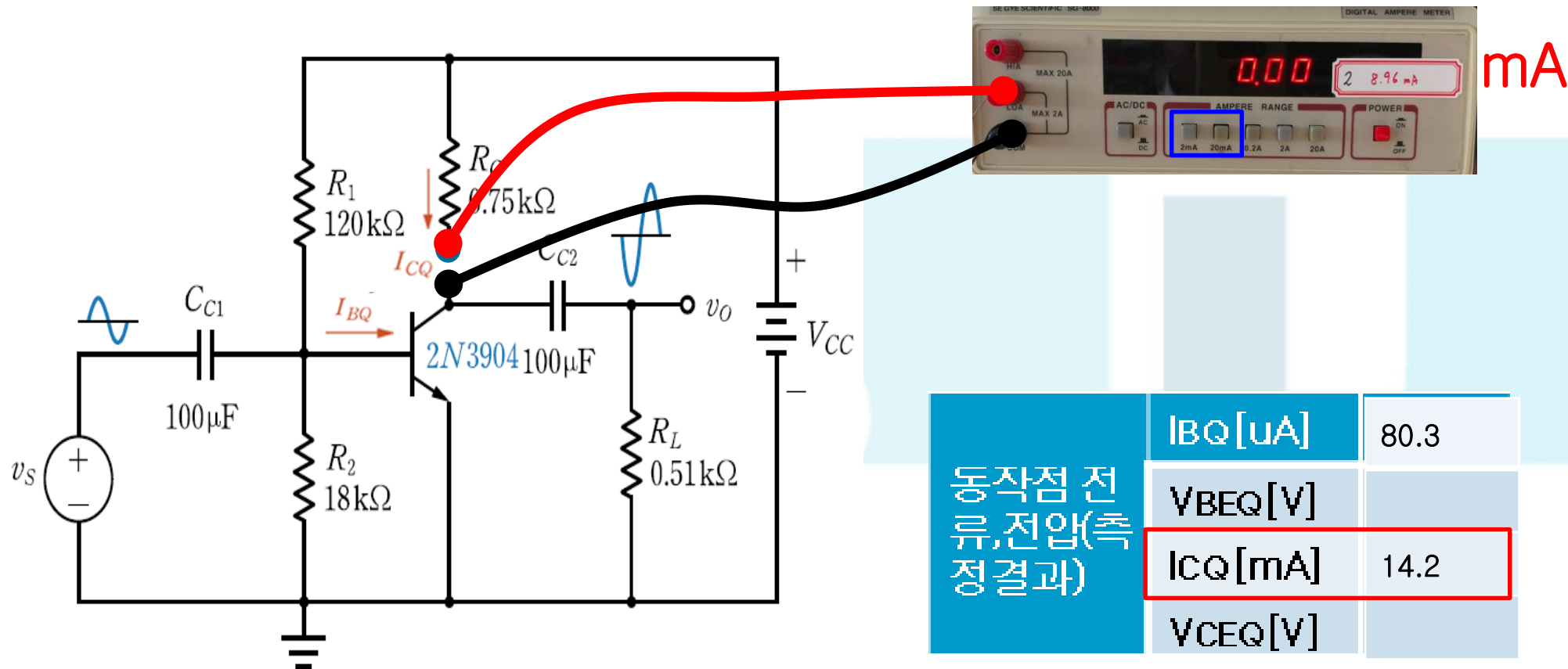
(a)

# 전류측정

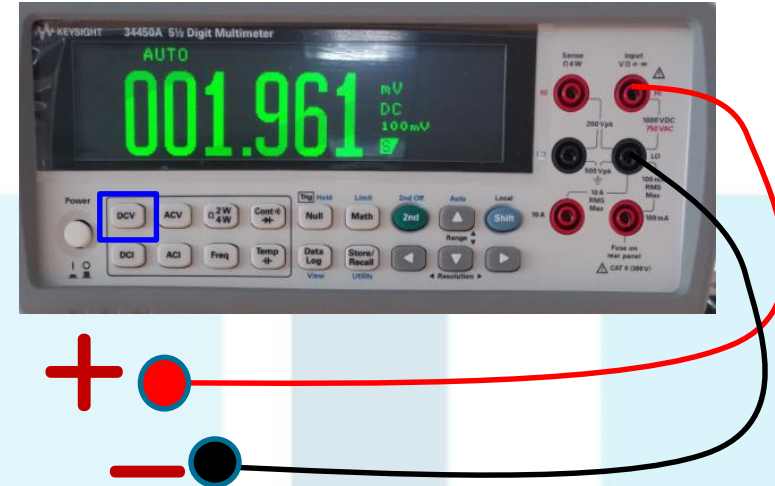
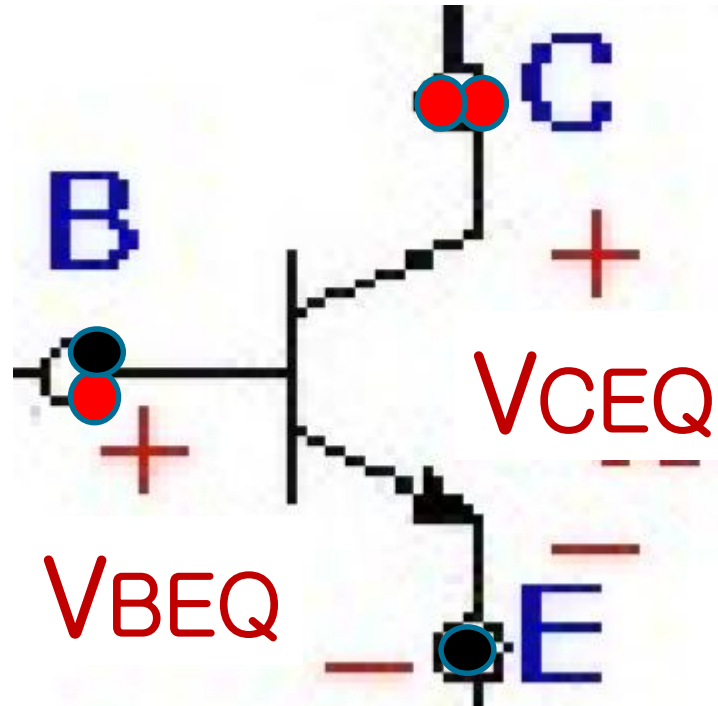


(a) 실험회로

# 전류측정

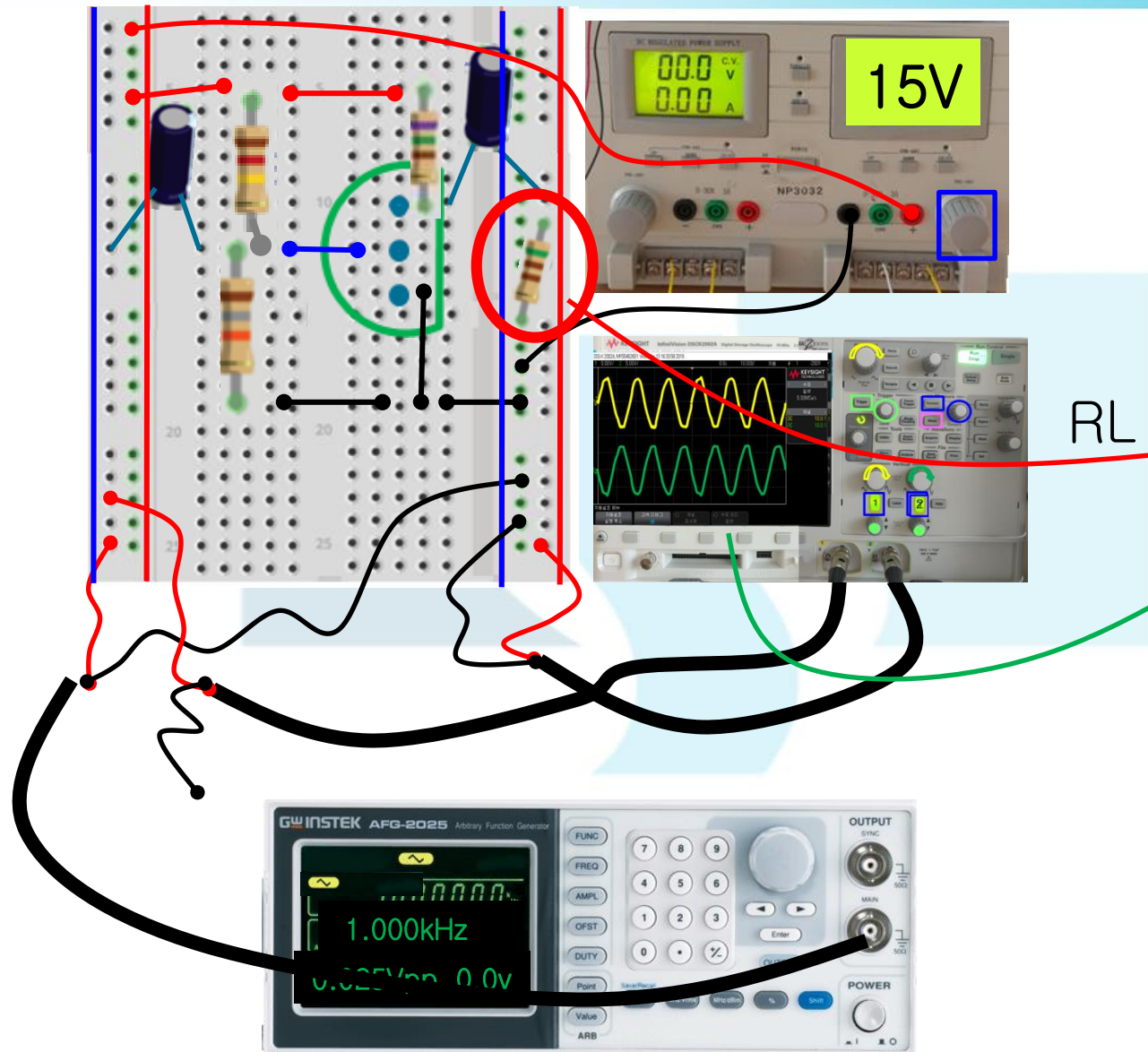


(a) 실험회로



동작점 전류, 전압(측정결과)	$I_{BQ} [\mu A]$	80.3
	$V_{BEQ} [V]$	0.75
	$I_{CQ} [mA]$	14.2
	$V_{CEQ} [V]$	4.9

# NPN형 BJT 공통이미터 증폭기의 동작 특성측정하기



$V_s = 50\text{mV}$

$R_L [\text{K}\Omega]$	$V_o \text{ p-p}$	$A_v$ 측정
0.51	5.0	100
1.0	6.7	134
1.5	7.5	150
2.0	8.0	160
2.4	8.4	168
3.0	8.6	172
3.6	8.8	176
4.3	9.0	180

# BJT CE 증폭기 회로

동작점  
전류,  
전압  
(측정  
결과)

$I_{BQ}[\mu A]$	80.3
$V_{BEQ}[V]$	0.7
$I_{CQ}[mA]$	14.2
$V_{CEQ}[V]$	4.0

소신호  
파라미  
터 계  
산값

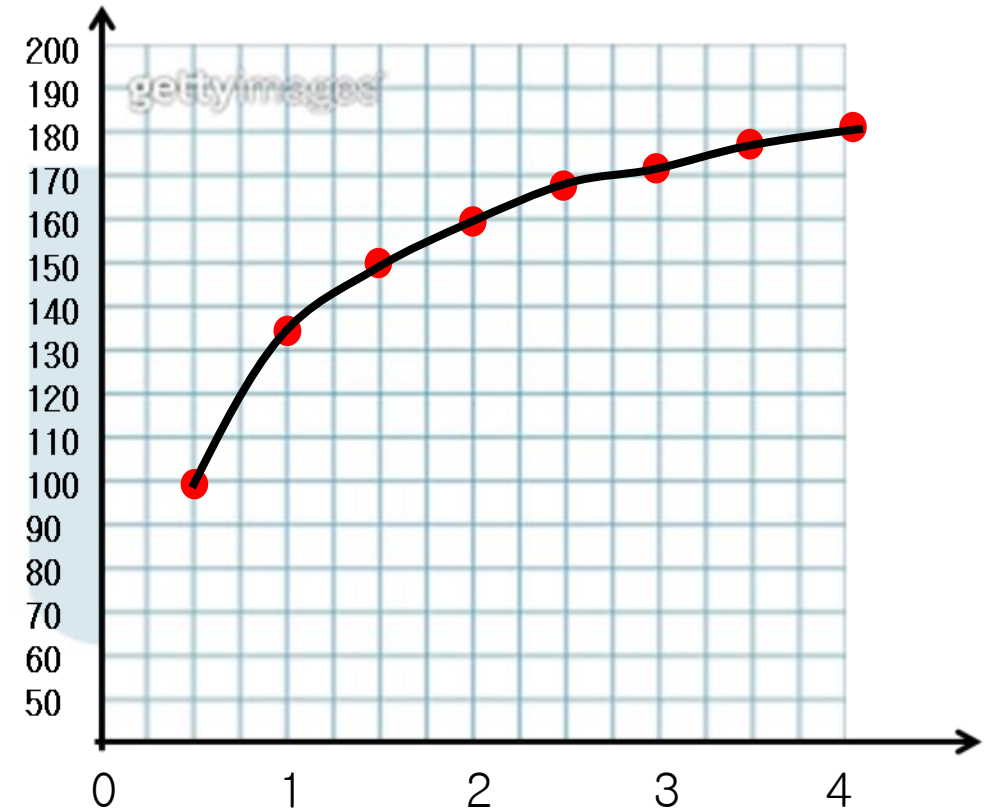
$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_{BQ}} [k\Omega]$	312.5 $\Omega$
$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} [mA/V]$	568mA/V
$\beta_0 = g_m r_{\pi}$	177.5

$$V_T = \text{thermal voltage} = \frac{kT}{q} \cong 25 \text{ mV}$$

$V_s = 50\text{mV}$

$R_L [K\Omega]$	$V_o \text{ p-p}$	$A_v$ 측정
0.51	5.0	100
1.0	6.7	134
1.5	7.5	150
2.0	8.0	160
2.4	8.4	168
3.0	8.6	172
3.6	8.8	176
4.3	9.0	180

$A_v [V/V]$



$R_L [K\Omega]$



# 8 주차 결과보고서

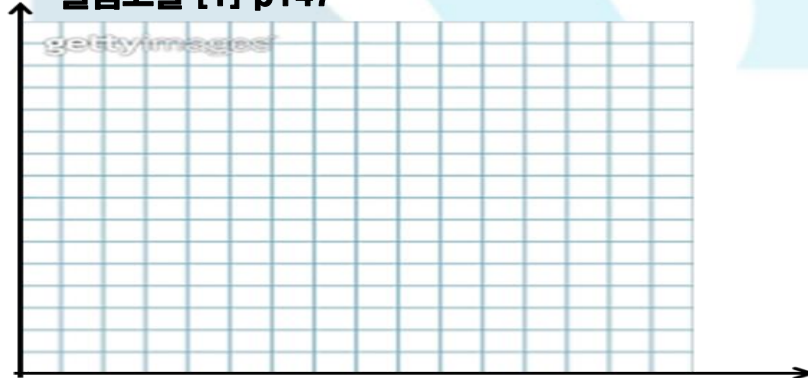
## 8 주차 결과보고서 \_\_월\_\_일

\_\_분반 \_\_조 학번: \_\_\_\_\_ 성명: \_\_\_\_\_

### 실험7-1 NPN형 BJT 공통에미터 증폭기 동작 특성측정 p 143 표 작성

동작점 전류, 전압 (측정 결과)	$I_{BQ} [\mu A]$		$R_L [K\Omega]$	$V_O \text{ p-p}$
	$V_{BEQ} [V]$		0.51	
	$I_{CQ} [mA]$		1.0	
	$V_{CEQ} [V]$		1.5	
소신호 파라미터 계산값	$r_\pi = \frac{V_T}{I_{BQ}} [k\Omega]$		2.0	
	$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} [mA/V]$		2.4	
			3.0	
			3.6	
	$\beta_o = g_m r_\pi$		4.0	

### 실험고찰 [1] p147



### [실험관찰]

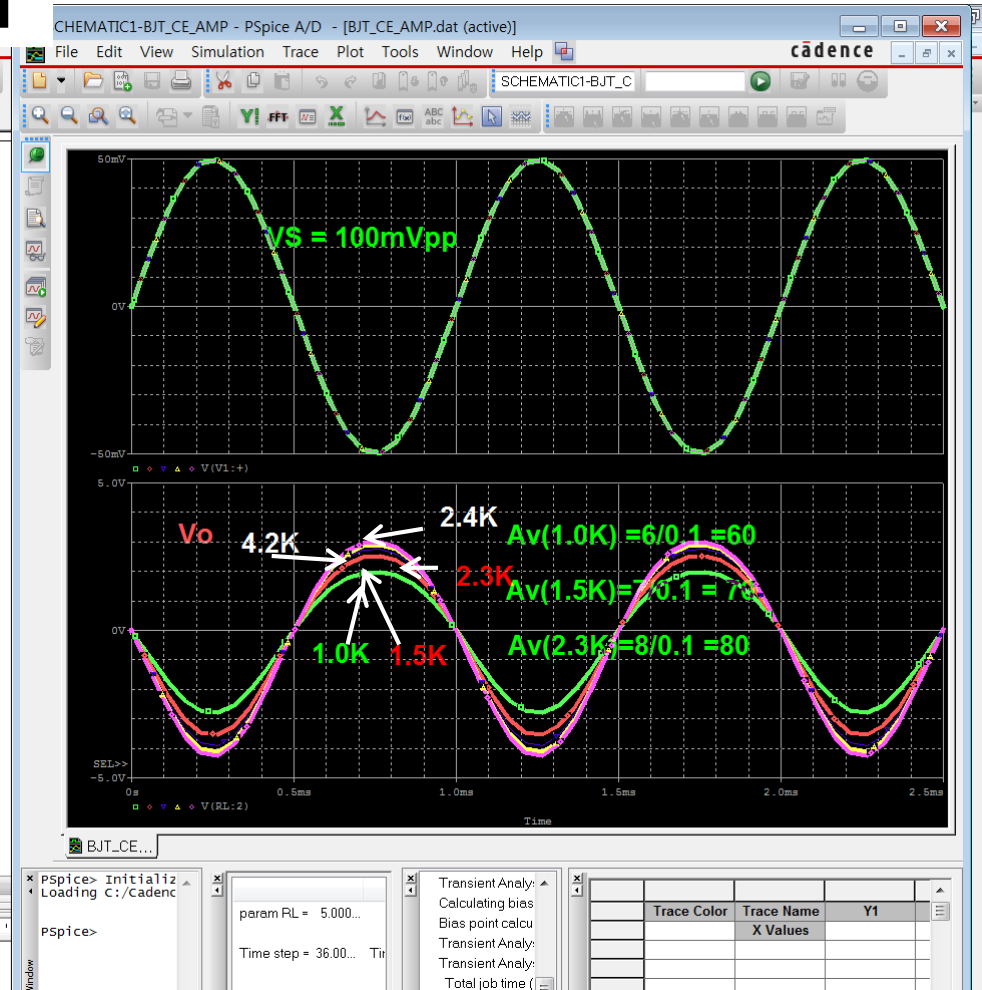
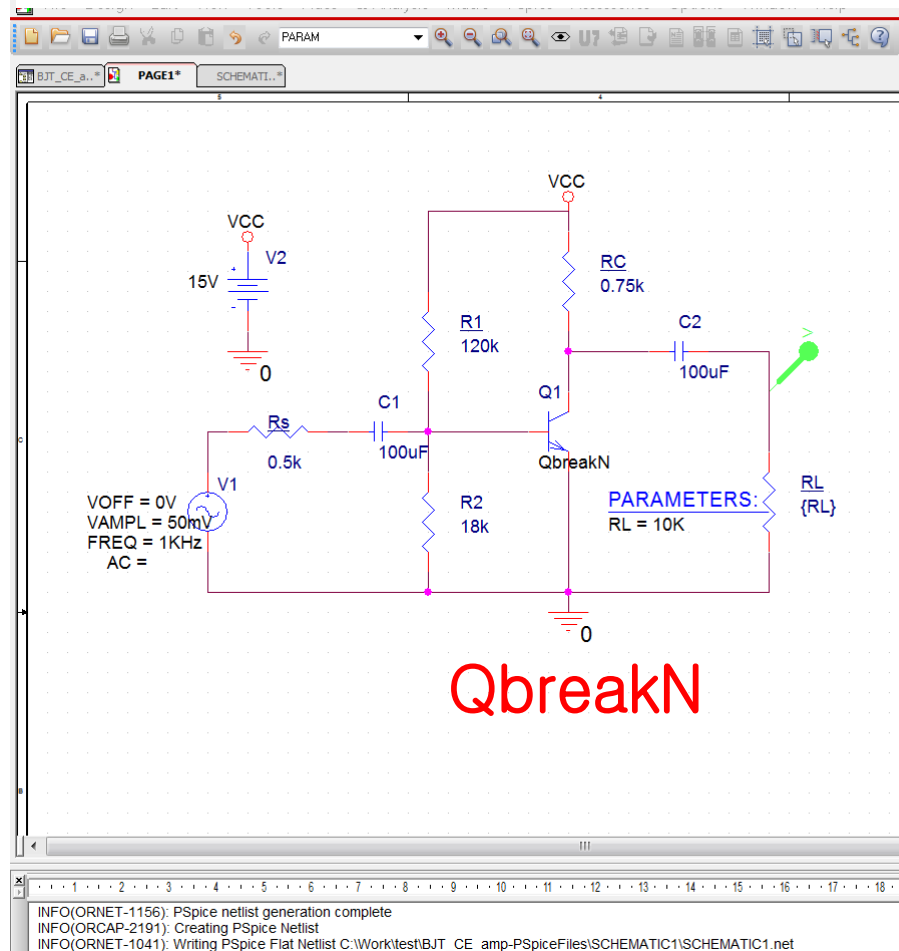
실험에서 배운 점... 등  
실험 결과의 의미를 이론에 비추어 확인해 본다  
실험 결과에 나타난 오차의 원인이나 이유를 찾아서 설명해 본다

xx $\mu A$   
 $I_B = xx\mu A$   
 $I_B = xx\mu A$

$I_B = ()$

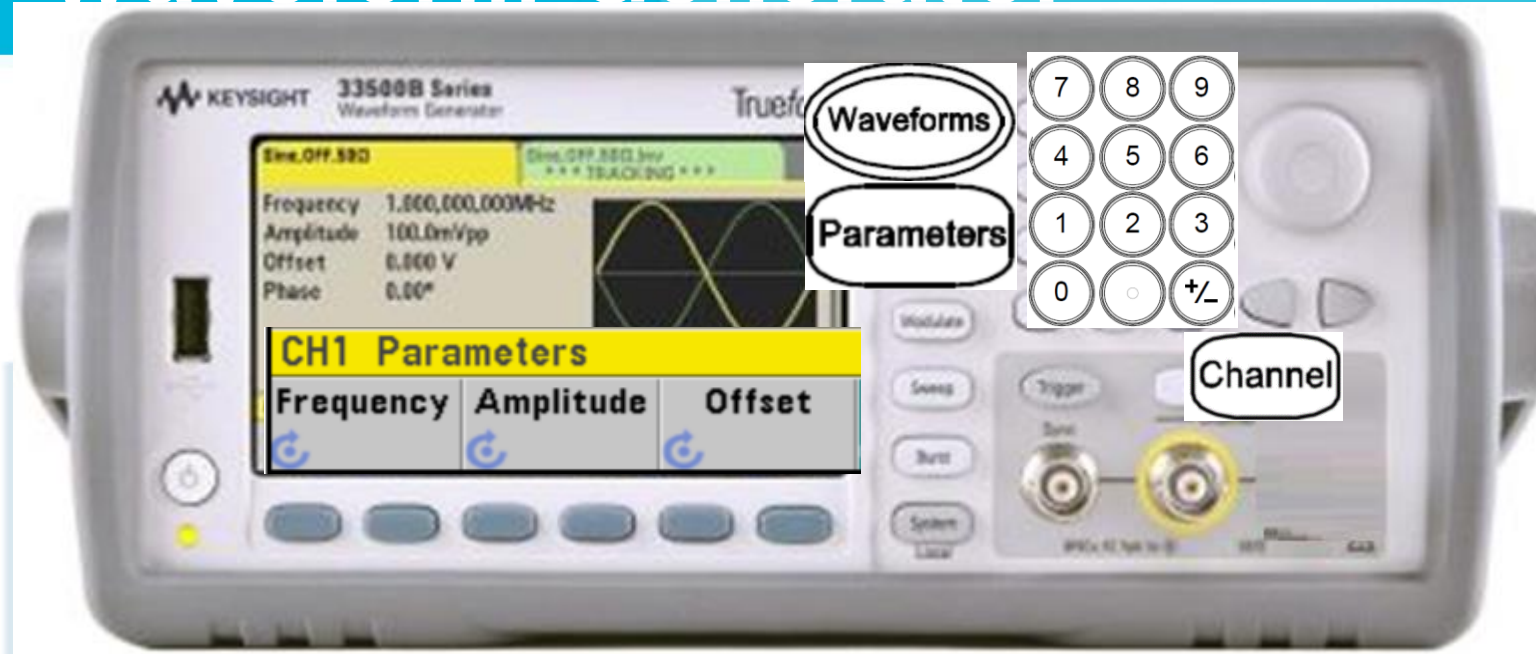
# 시뮬레이션 - PSpice

## Pspice NPN CE 증폭기 해석 p131





# 33500B Waveform Generator



**Waveforms** Sine Square Ramp Pulse Arb More 1 of 2

**Parameters** Frequency Amplitude Offset 1 kHz

**Parameters** Frequency Amplitude Offset 2 5 mVpp

**Channel** Output Off / On

Q & A

감사합니다.

