1. 외부 인터럽트(External Interrupt)

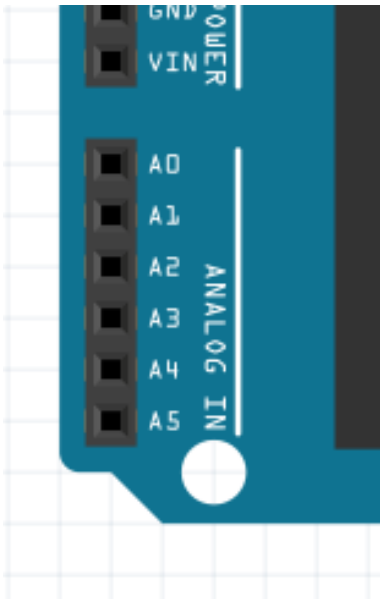
2. LCD 실험

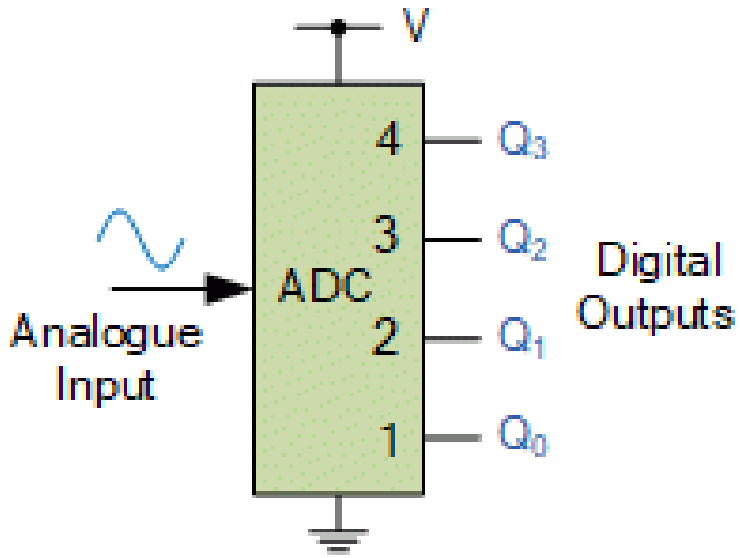
마이크로프로세서 종합 설계. 11주차.

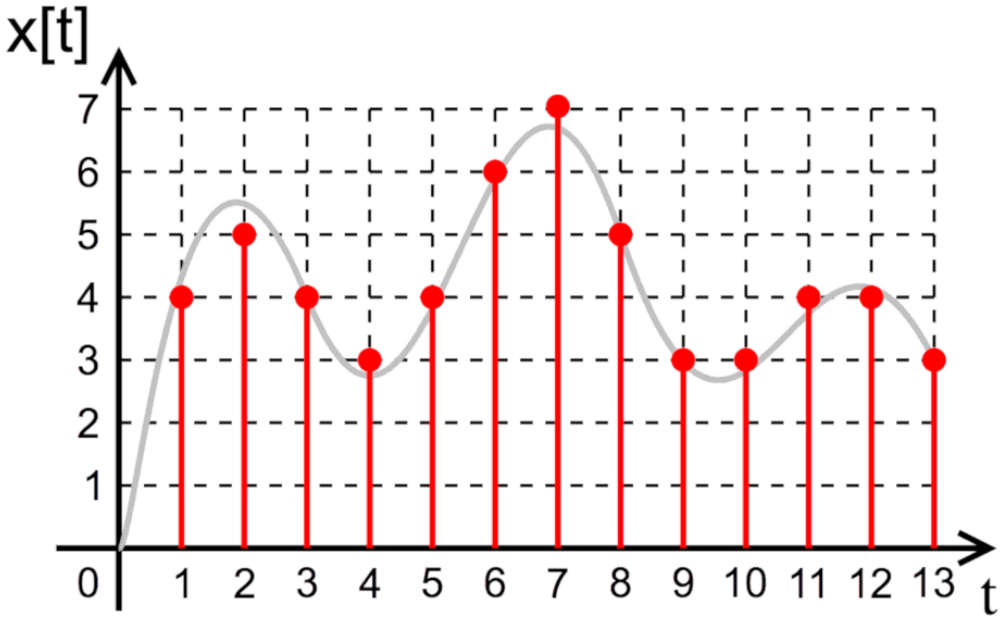
목표

- **ADC(Analog to Digital)의 이해와 실험**
- **외부 인터럽트의 이해와 실험**
- **LCD 실험**

아날로그 입력(ADC)


GND
VIN
POWER
A0
A1
A2
A3
A4
A5
ANALOG IN

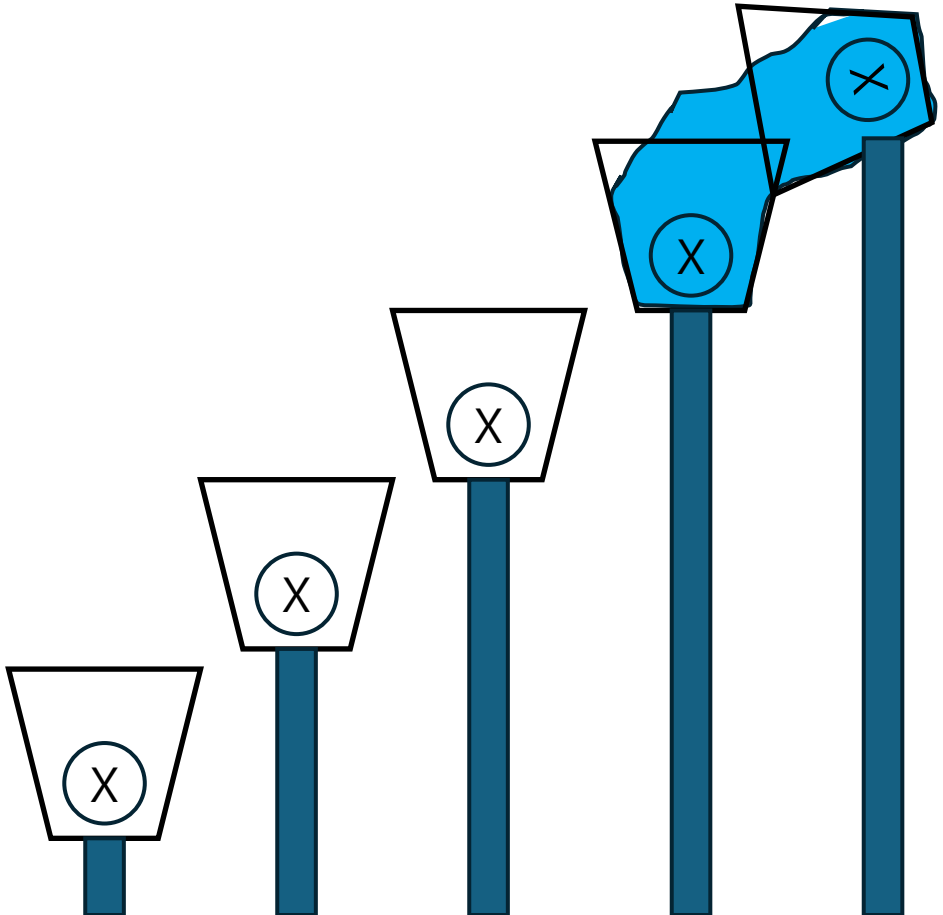

V
4
3
2
1
ADC
Q_3
Q_2
Q_1
Q_0
Analogue Input
Digital Outputs


x[t]
7
6
5
4
3
2
1
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
t

아날로그 입력(ADC)

아날로그 입력(ADC)

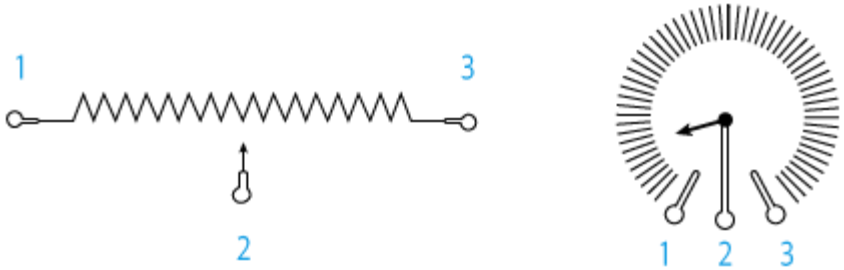
아날로그 입력(ADC)



아날로그 입력(ADC)

가변저항(Potentiometer, 볼륨)

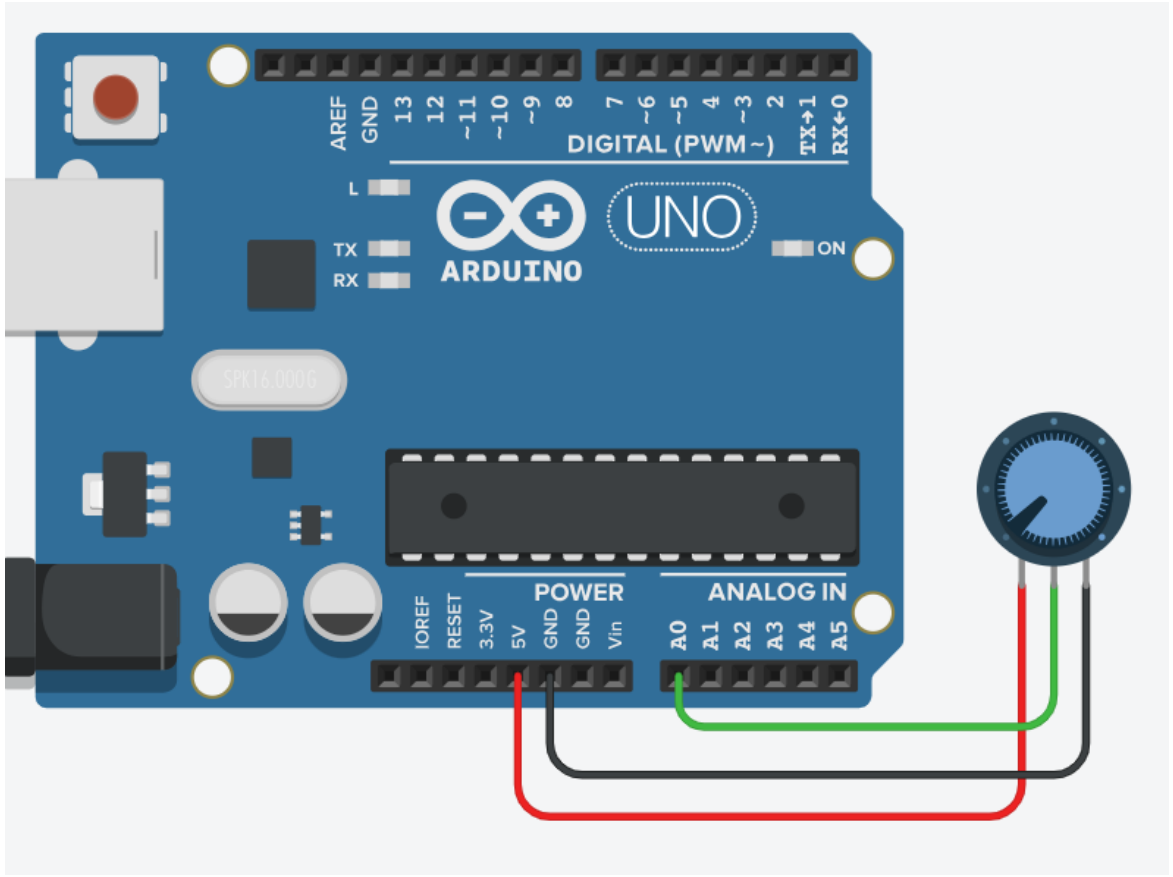
- 저항값을 변경



가변저항의 동작방식

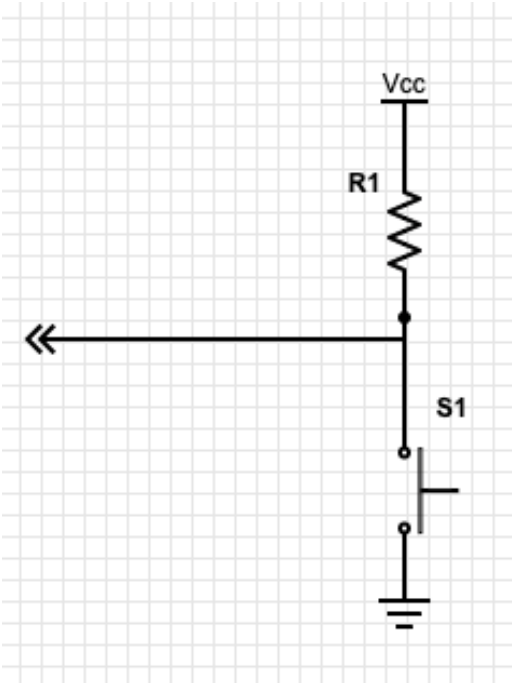
가변저항(Potentiometer, 볼륨)

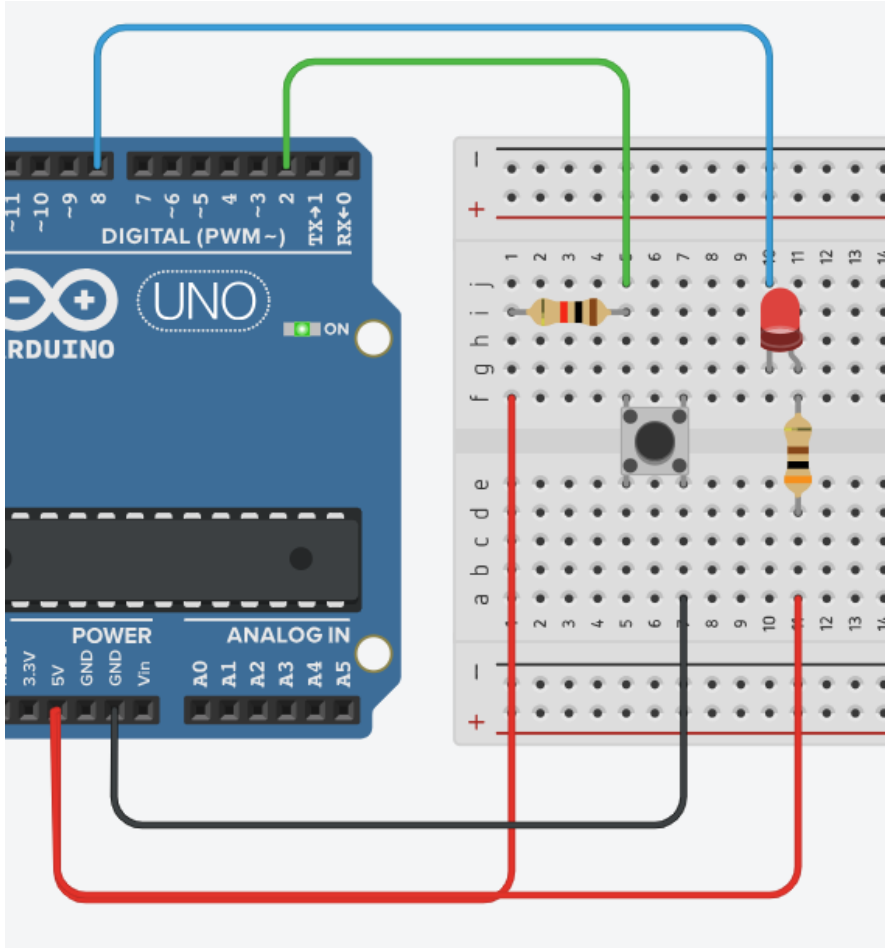
```
void setup ()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int val = analogRead(A0);
  Serial.print("Analog : ");
  Serial.println(val);
}
```



외부 인터럽트(External Interrupt)

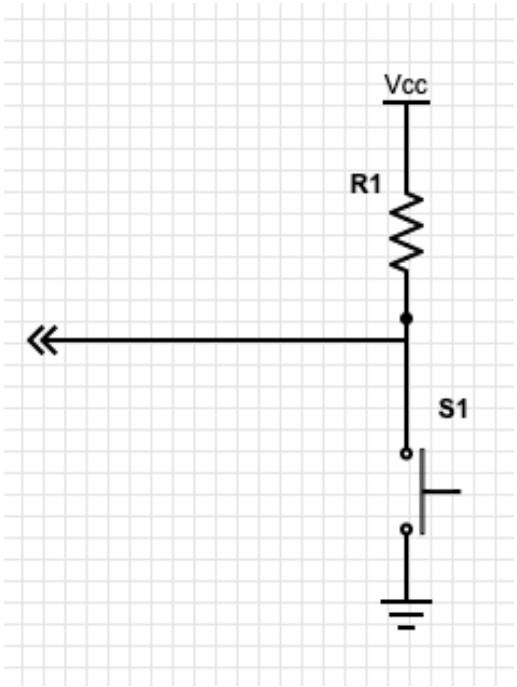
- **폴링** vs 인터럽트

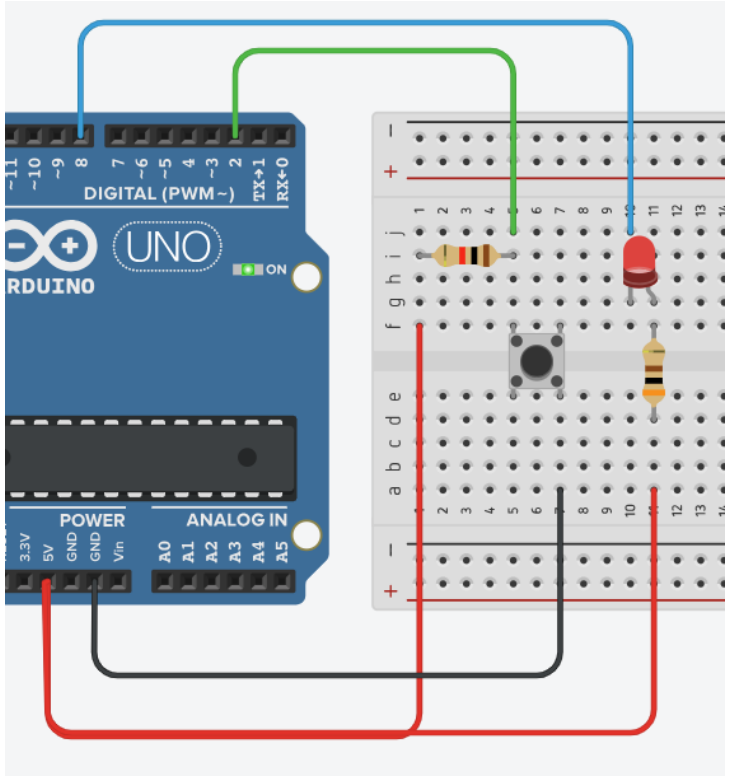




외부 인터럽트(External Interrupt)

- **폴링** vs 인터럽트

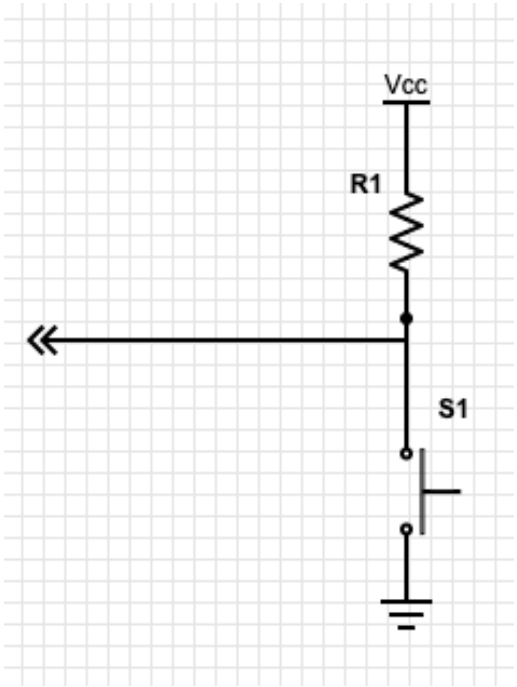


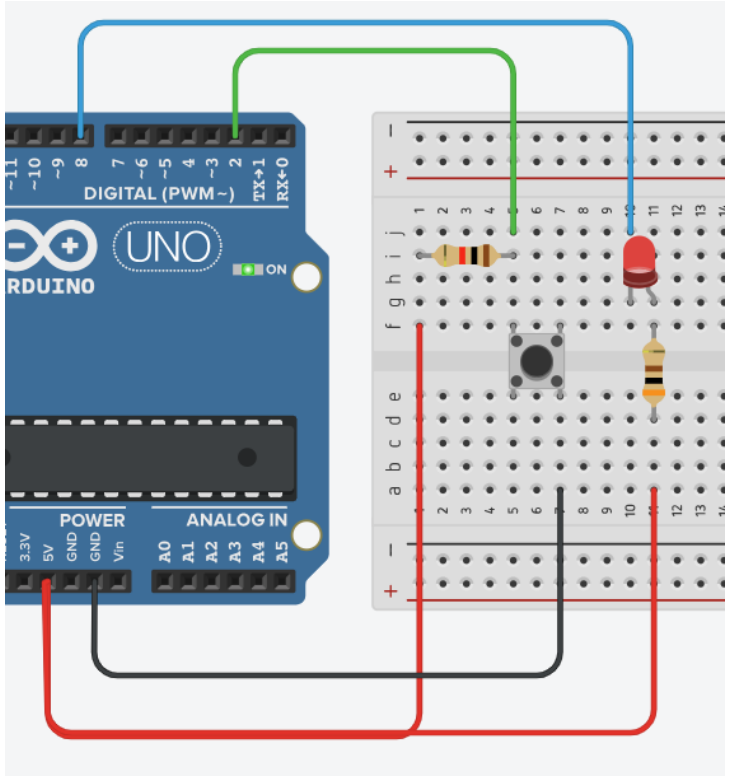



```
void setup()
{
  pinMode(2, INPUT) ;
  pinMode(8, OUTPUT) ;
}

void loop()
{
  int input = digitalRead(2) ;

  if( input == 0  )
  {
      digitalWrite(8, 0) ;
  }
  else
  {
       digitalWrite(8, 1) ;
  }
}
```

외부 인터럽트(External Interrupt)

- **폴링** vs 인터럽트

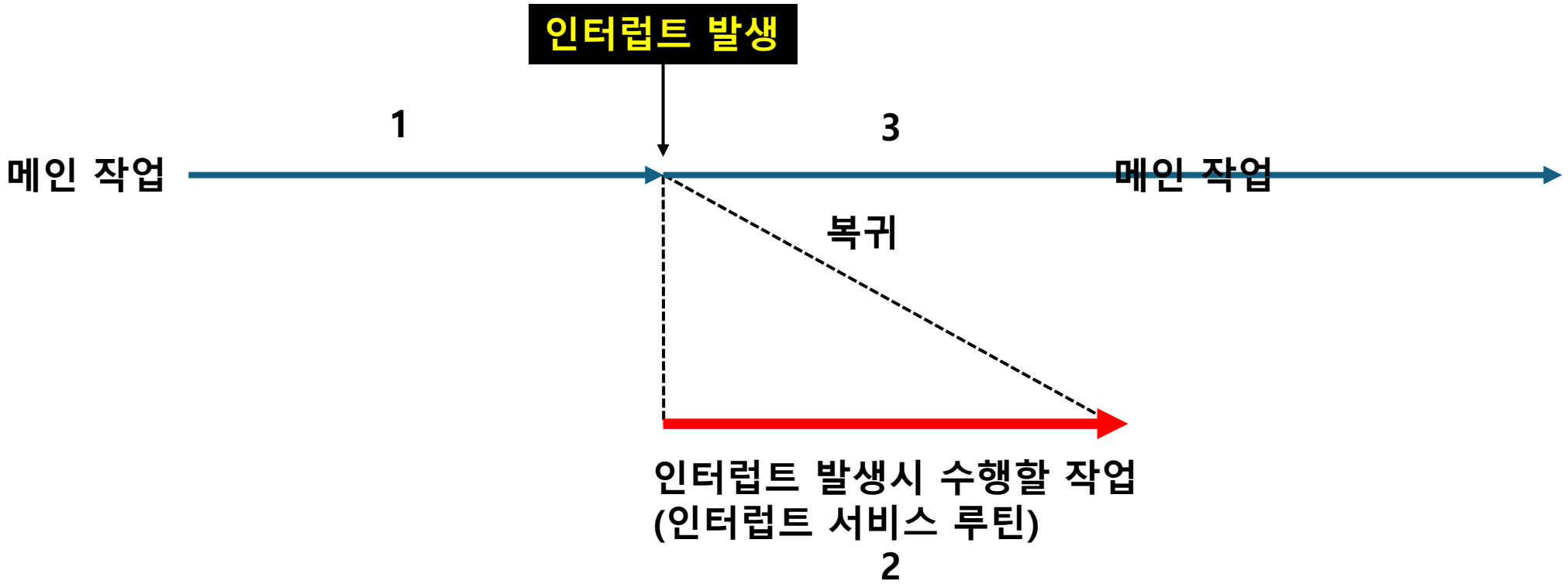





```
void setup()
{
  pinMode(2, INPUT) ;
  pinMode(8, OUTPUT) ;

  Serial.begin(9600) ;
}

void loop()
{

  digitalWrite(8, 0) ;
  delay(1000) ;

  digitalWrite(8, 1) ;
  delay(1000) ;

  int input = digitalRead(2) ;
  if( input == 0 )
  {
      Serial.println("key") ;
  }
}
```

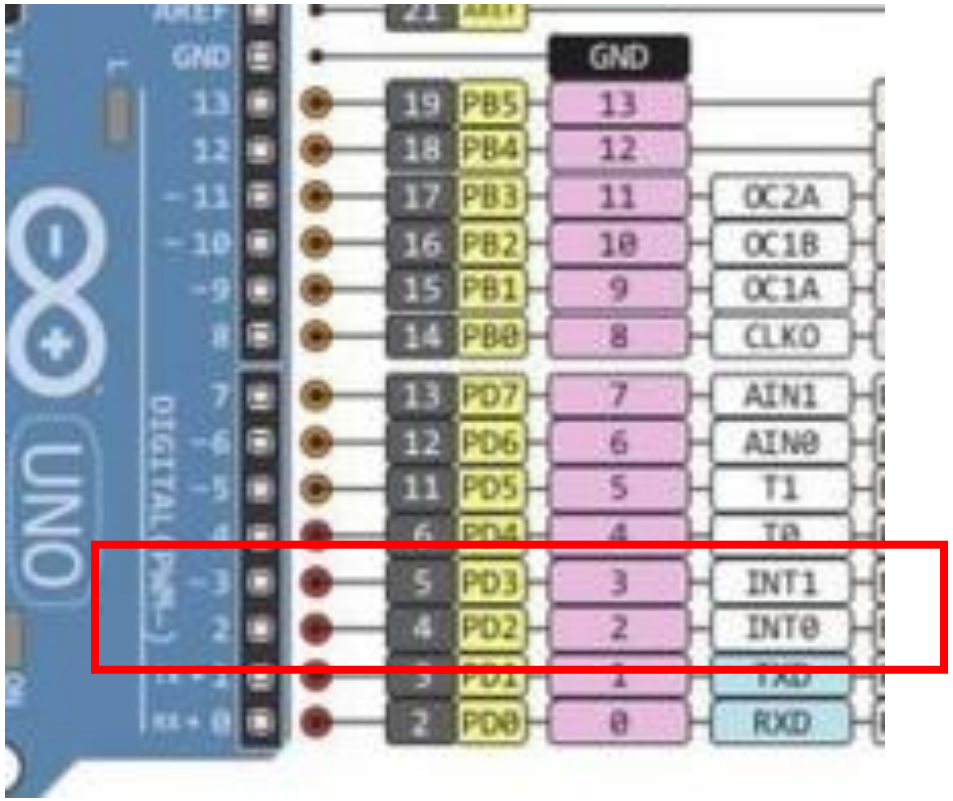
외부 인터럽트(External Interrupt)

- 폴링 vs **인터럽트**



외부 인터럽트(External Interrupt)

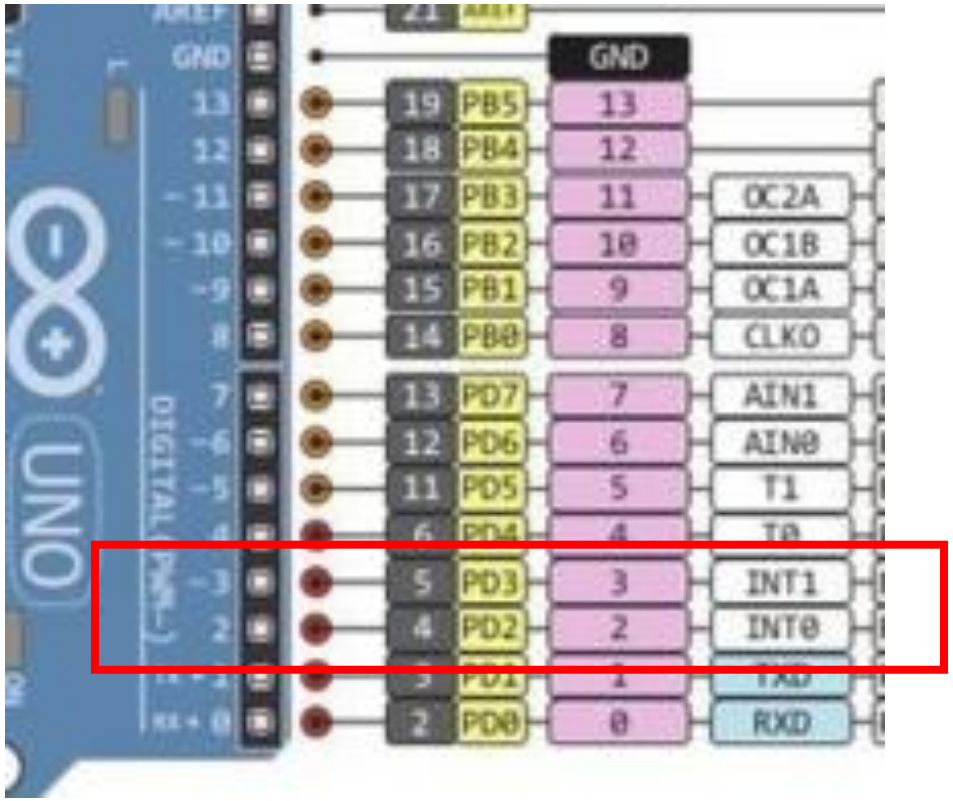
- 폴링 vs **인터럽트**



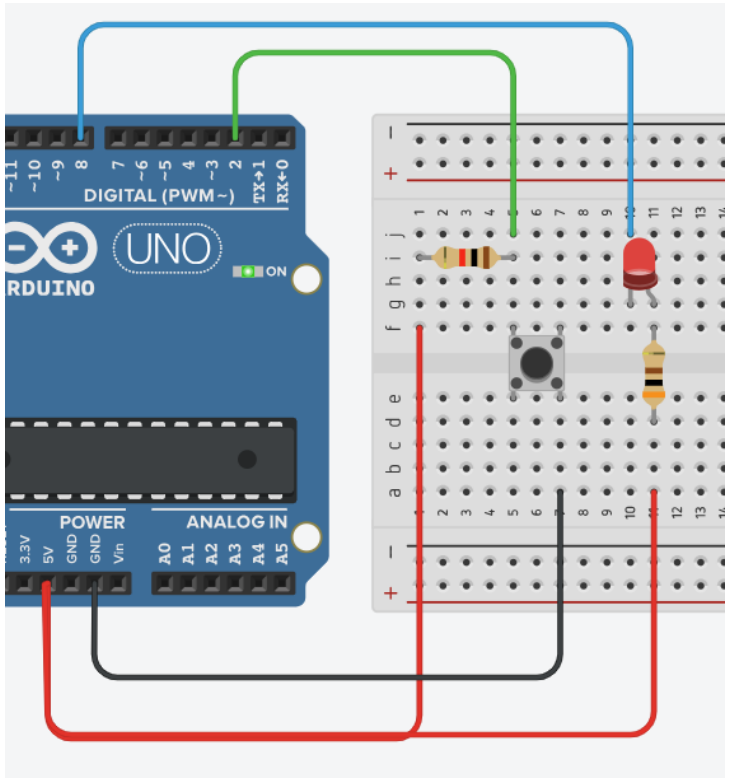
- **INT1 : Interrupt #1**
- **INT0 : Interrupt #0**

외부 인터럽트(External Interrupt)

- 폴링 vs **인터럽트**



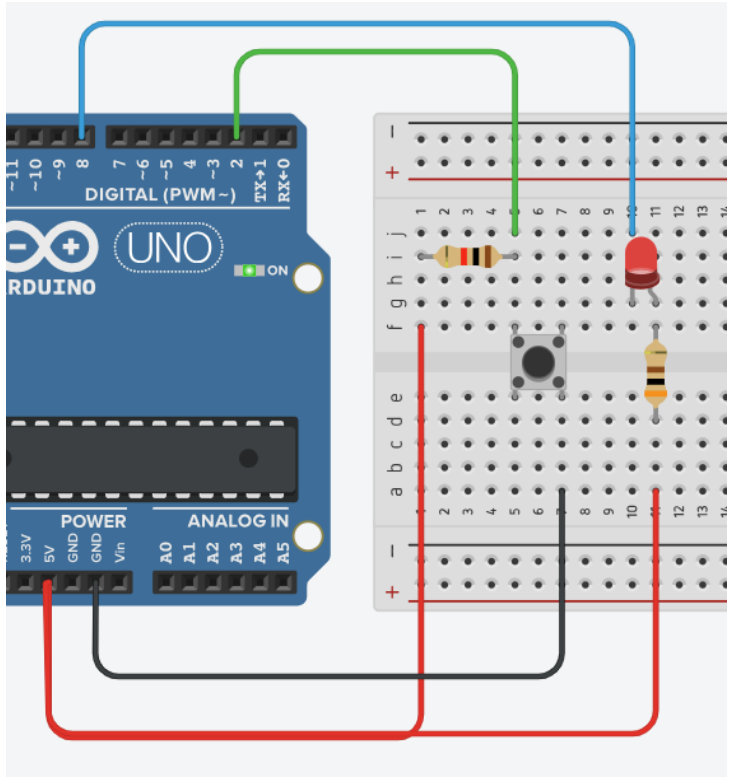
2 → INT0 : Interrupt #0



외부 인터럽트(External Interrupt)

- 폴링 vs **인터럽트**

2 → INT0 : Interrupt #0



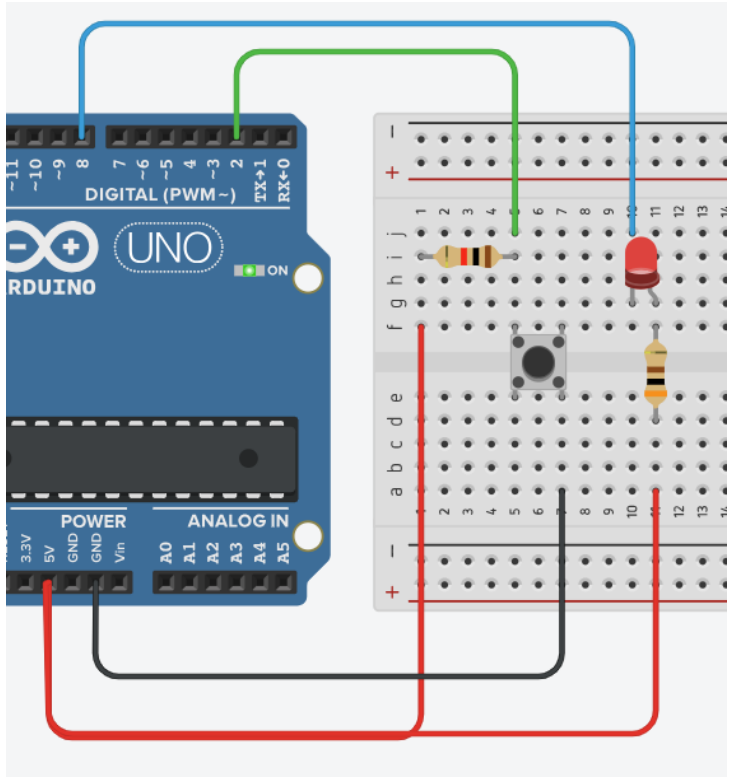
인터럽트 발동 조건 (mode)

모드	상태
LOW	핀이 LOW일때
CHANGE	LOW->HIGH or HIGH->LOW로 변할 때
RISING	LOW ->HIGH일때
FALLING	HIGH -> LOW일때
HIGH	핀이 HIGH일때

외부 인터럽트(External Interrupt)

- 폴링 vs **인터럽트**

2 → INT0 : Interrupt #0



attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(핀번호), 서비스루틴함수명, 모드);

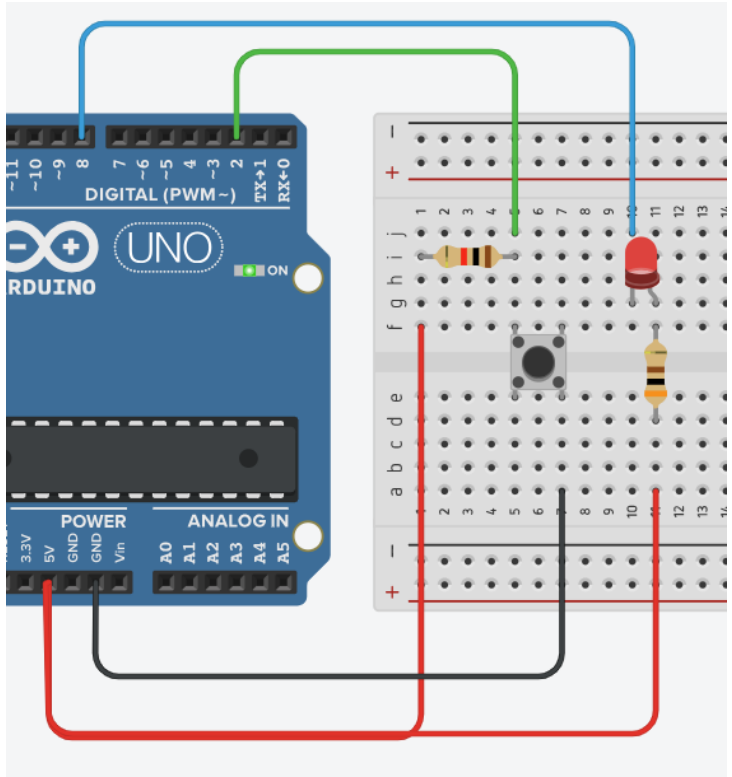
인터럽트 발동 조건 (mode)

모드	상태
LOW	**핀이 LOW일때**
CHANGE	**LOW->HIGH or HIGH->LOW로 변할 때**
RISING	**LOW ->HIGH일때**
FALLING	**HIGH -> LOW일때**
HIGH	**핀이 HIGH일때**

외부 인터럽트(External Interrupt)

- 폴링 vs **인터럽트**

2 → INT0 : Interrupt #0



attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), ExINT, FALLING);

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(핀번호), 서비스루틴함수명, 모드);

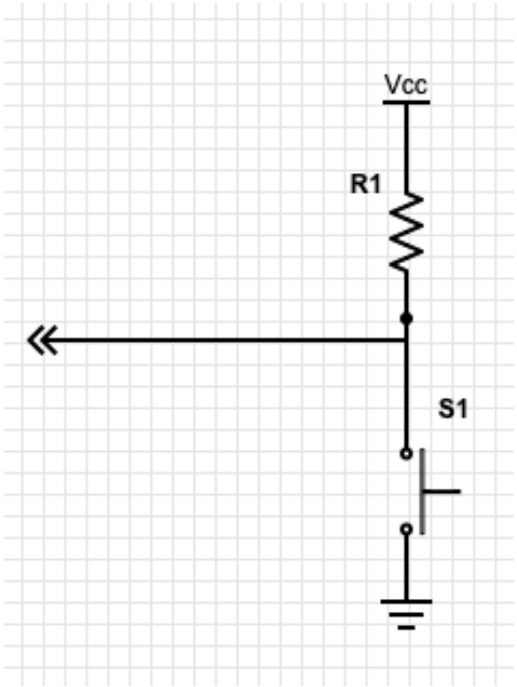
인터럽트 발동 조건 (mode)

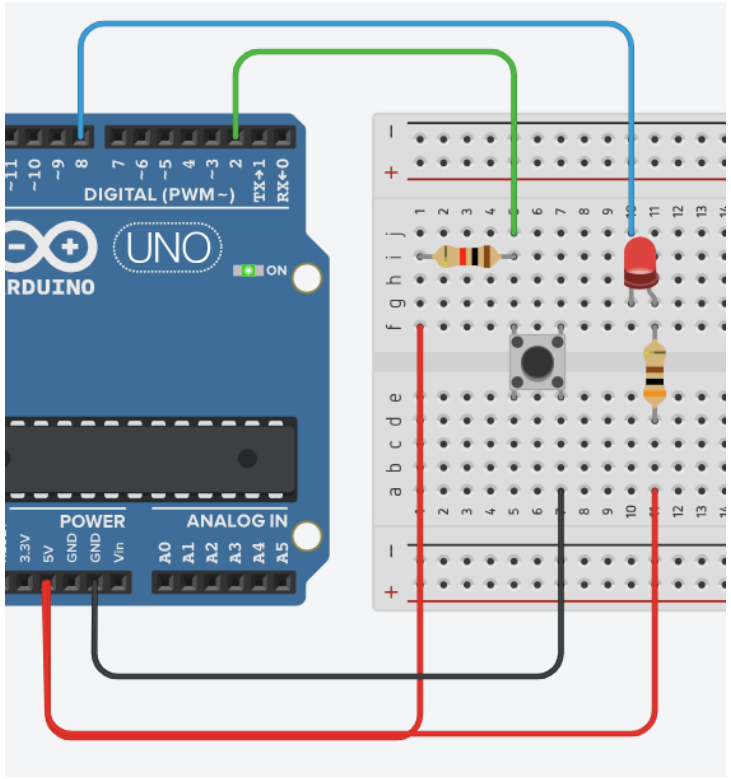
모드	상태
LOW	핀이 LOW일때
CHANGE	LOW->HIGH or HIGH->LOW로 변할 때
RISING	LOW ->HIGH일때
FALLING	HIGH -> LOW일때
HIGH	핀이 HIGH일때

외부 인터럽트(External Interrupt)

- 폴링 vs **인터럽트**

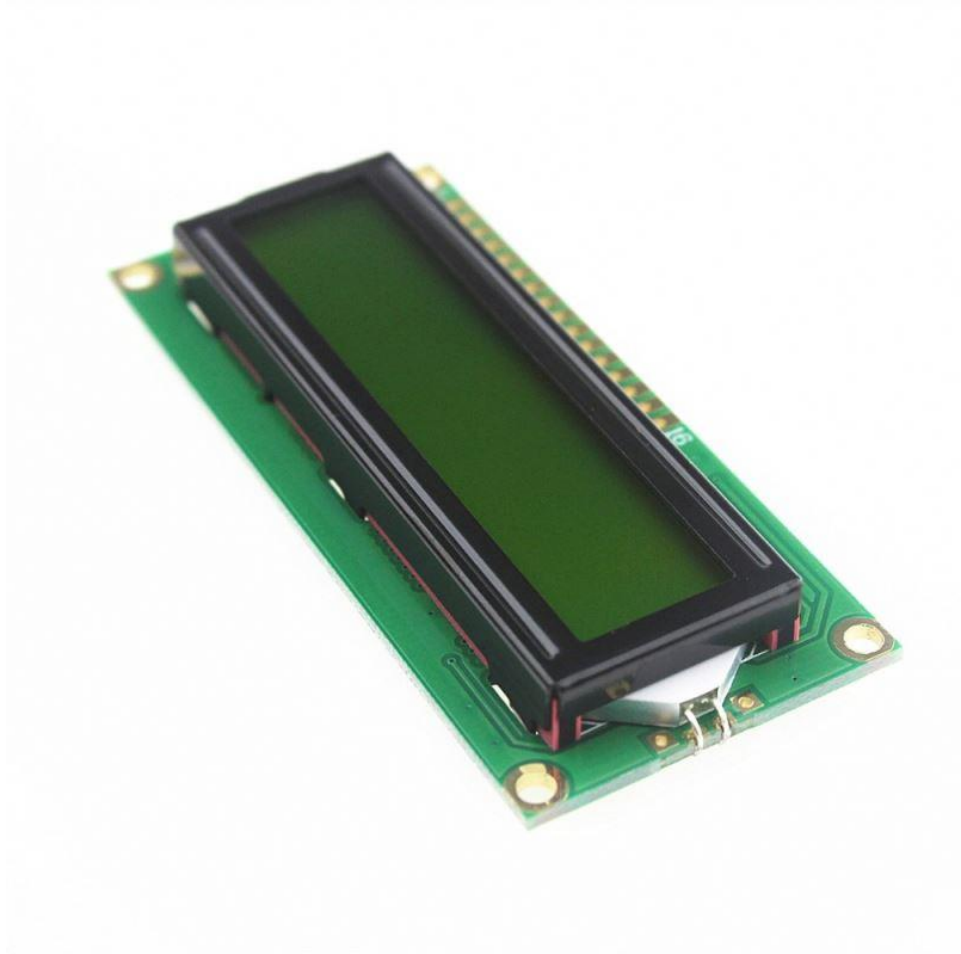
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), ExINT, FALLING);

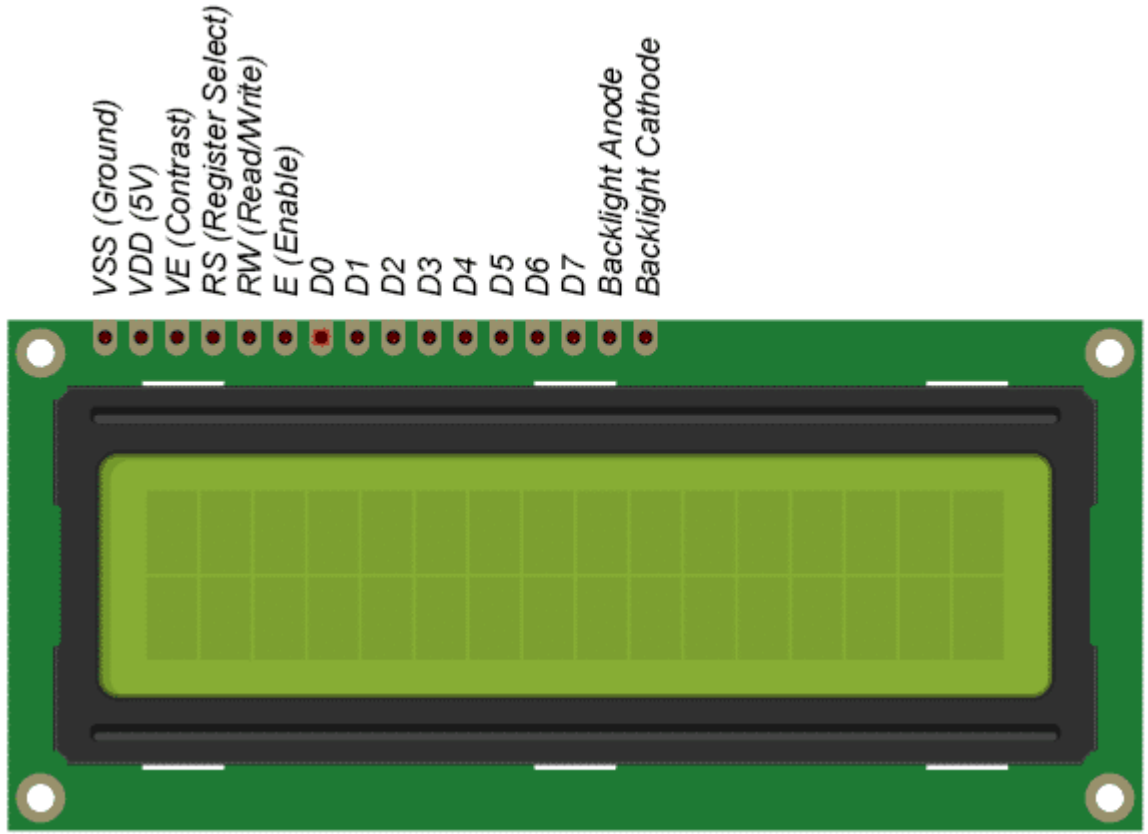




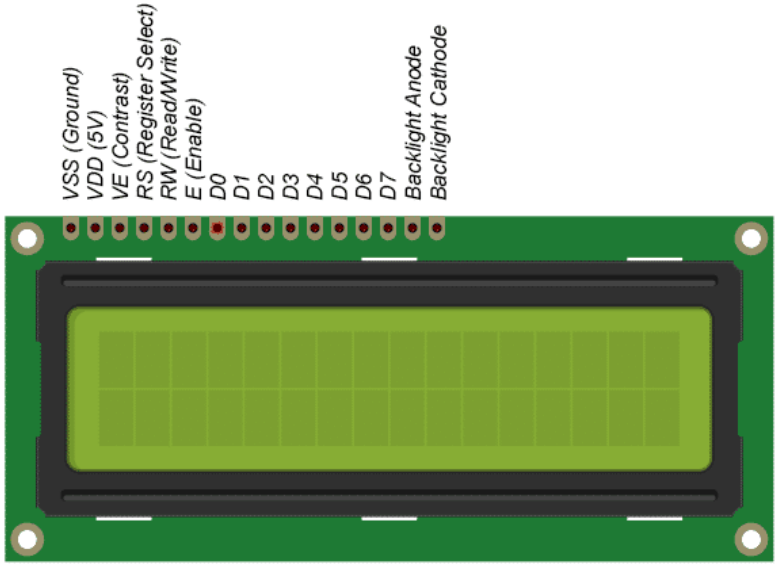

```
void setup()
{
  pinMode(8, INPUT) ;
  pinMode(2, OUTPUT) ;

  attachInterrupt( digitalPinToInterrupt(2), ExINT, FALLING );

  Serial.begin(9600) ;
}

void loop()
{
  digitalWrite(8, 0) ;
  delay(1000) ;

  digitalWrite(8, 1) ;
  delay(1000) ;
}

void ExINT()
{
  Serial.println("ExINT") ;
}
```

16x2 Character LCD



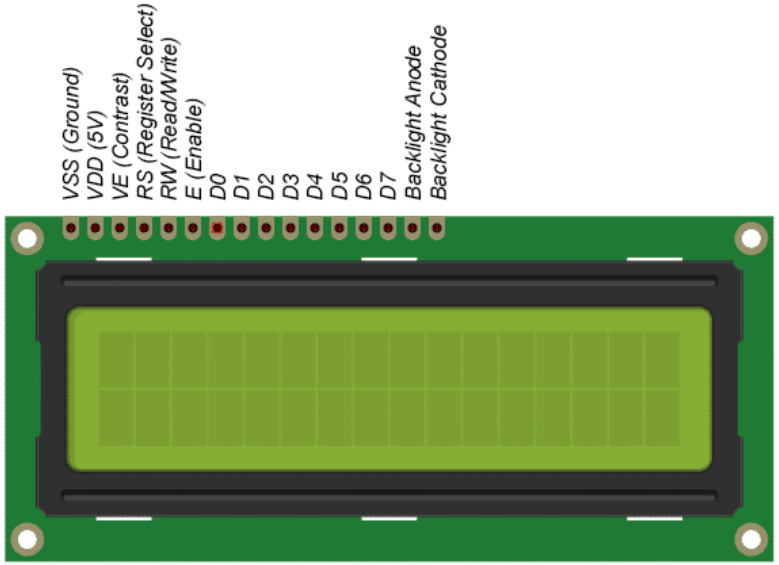


16x2 Character LCD



- **VSS(Ground)** : LCD에 전원을 인가하는 단자로, 0V(GND)에 연결.
- **VDD(5V)** : LCD에 전원을 인가하는 단자로, +5V에 연결.
- **VE(Contrast)** : LCD의 밝기를 조절하는 단자로서, 10kΩ의 가변 저항을 연결하여 밝기를 조정. 밝기 조정을 하지 않으려면 GND에 연결.
- **RS(Register Select)** : 레지스터 종류를 선택
  - 0 : 명령 레지스터
  - 1 : 데이터 레지스터
- **RW(Read/Write)** : 데이터 혹은 명령을 읽는지 쓰는지 설정
  - 0 : 레지스터의 데이터를 씀. (Write : 아두이노 → LCD)
  - 1 : 레지스터에 데이터를 읽음. (Read : 아두이노 ← LCD)
- **E(Enable)** : Enable 신호(LCD동작 허가)
  - 0 : LCD 동작 X
  - 1 : LCD 동작 O
- **D0~D7(Data Bus)** : 아두이노와 LCD 사이에 데이터를 주고받기 위한 데이터 핀. 만약 4비트를 사용할 경우에는 D4~D7만 사용.
- **Backlight Anode** : 백 라이트의 전원 단자로서 보통 저항과 IN4001(다이오드)을 연결
- **Backilight Cathode** : 백 라이트의 전원 단자로서 GND에 연결.

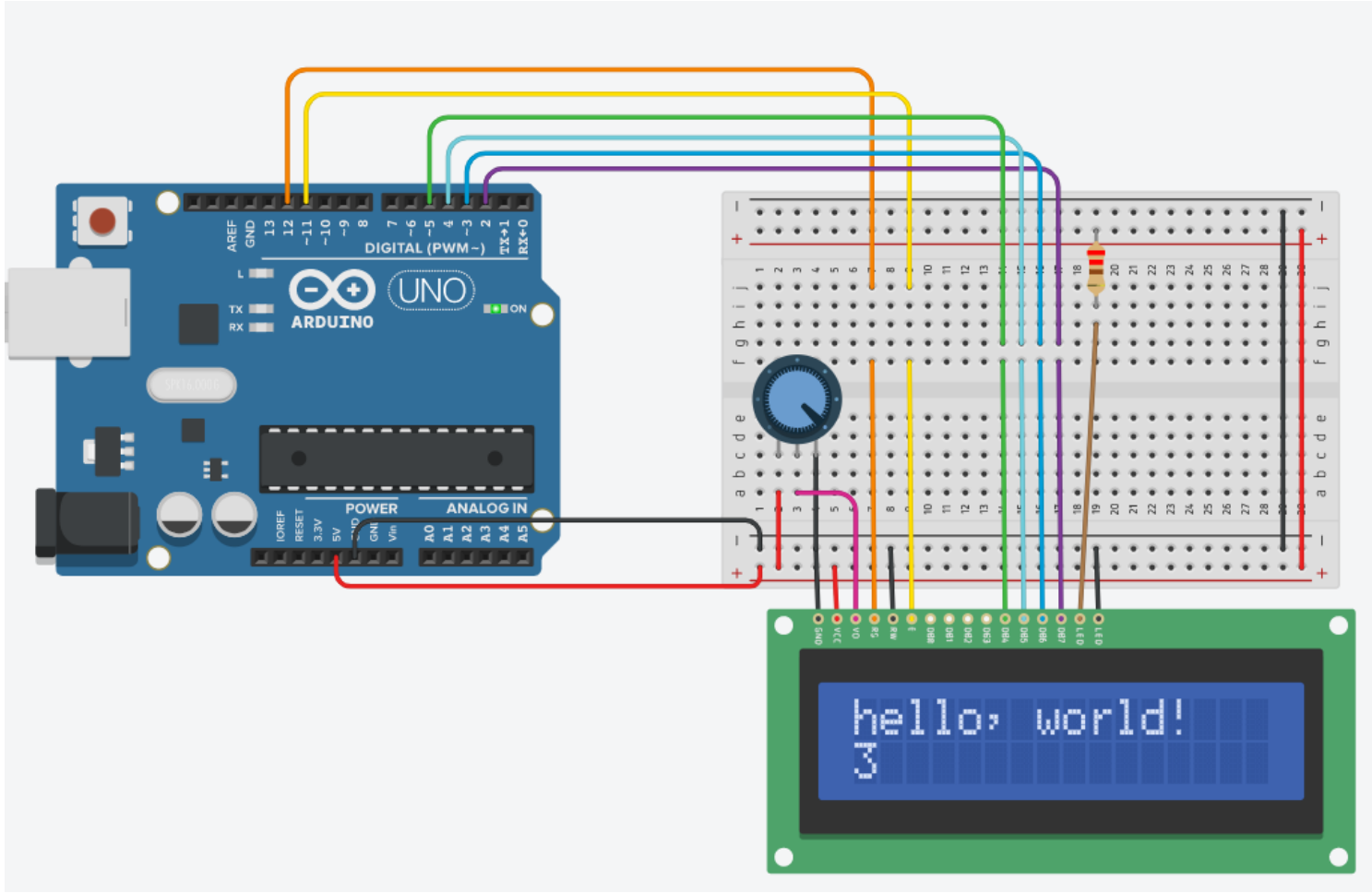
16x2 Character LCD



- **2개의 8-bit 레지스터**
  - RS(Register Select) 신호로 어떤 레지스터를 사용할 것인지 선택
  - **명령 레지스터** (Instruction Register, IR)
    - D.D.RAM, C.G.RAM에 대한 주소정보, 클리어, 커서 이동등 LCD 제어 명령
  - **데이터 레지스터** (Data Register, DR)
    - D.D.RAM, C.G.RAM에 써넣은 데이터나 읽어낸 데이터를 일시적으로 저장
- **D.D.RAM(Display Data RAM)**
  - 80x8비트 용량으로 80개의 8비트 아스키(ASCII)코드를 저장할 수 있다.
  - **0x00~0F 주소가 LCD의 1행의 1~16째**.
  - **0x40~4f 주소가 LCD의 2행의 1~16번째 문자로 표시 된다.**
  - 빈 주소에는 자유롭게 RAM 데이터 메모리로 사용이 가능하다.
- **C.G.RAM(Charactor Generator RAM)**
  - 사용자가 문자를 만들 때 사용하는 메모리로 5x7은 8개, 5x10은 4개를 만들어서 저장이 가능.
- **C.G.ROM((Charactor Generator ROM)** : 5x7, 5x10의 도트문자를 내장하고 있음. 아스키코드와 일치
- **Address Counter (AC)**
  - 주소를 저장하는 레지스터로 D.D.RAM과 C.G.RAM의 주소를 지정할 때 사용, 명령레지스터에 주소정보를 지정하면 AC로 주소정보가 전달 되고, D.D.RAM에 데이터를 쓰면 AC는 자동으로 (설정값에 따라) 1증가하거나 1감소한다.
- **Busy Flag (BF)**
  - Busy flag가 '1' → 내부에서 LCD가 명령을 처리 중으로 명령을 받을 수 없음.
  - Busy flag가 '0' → 명령 가능.
  - Busy flag를 확인 하려면? RS=0, R/W=1일 때, D7핀으로 출력

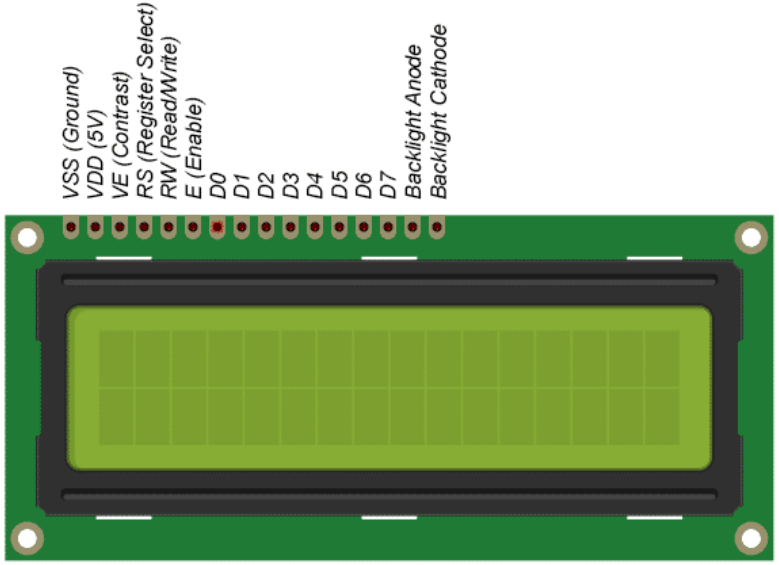
16x2 Character LCD 실험

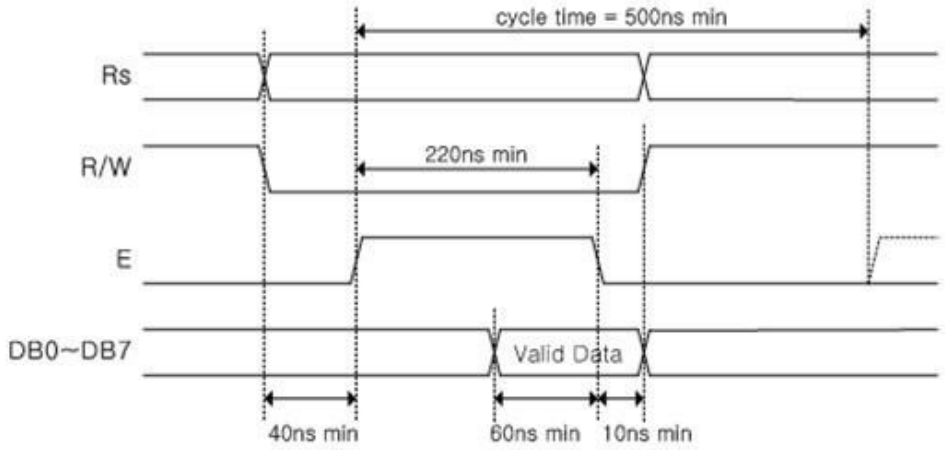
- **아두이노 라이브러리 사용**한 LCD실험



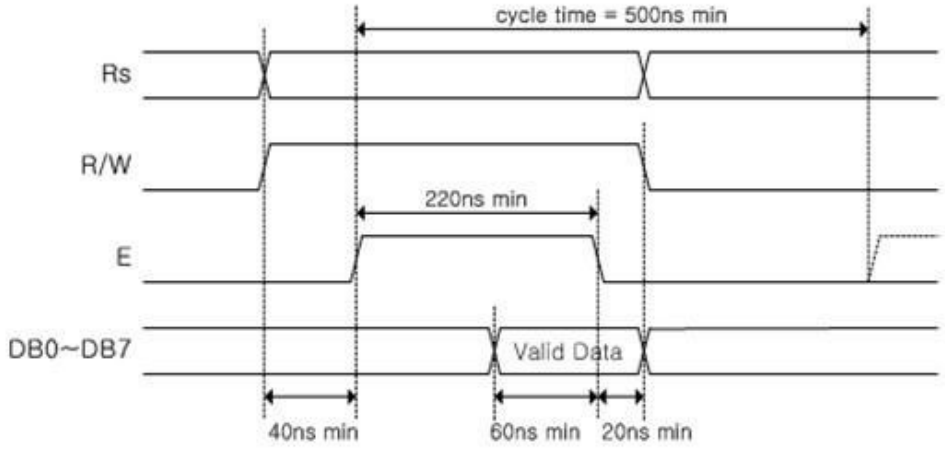

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("hello, world!");
}

void loop() {
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(millis() / 1000);
}
```

16x2 Character LCD



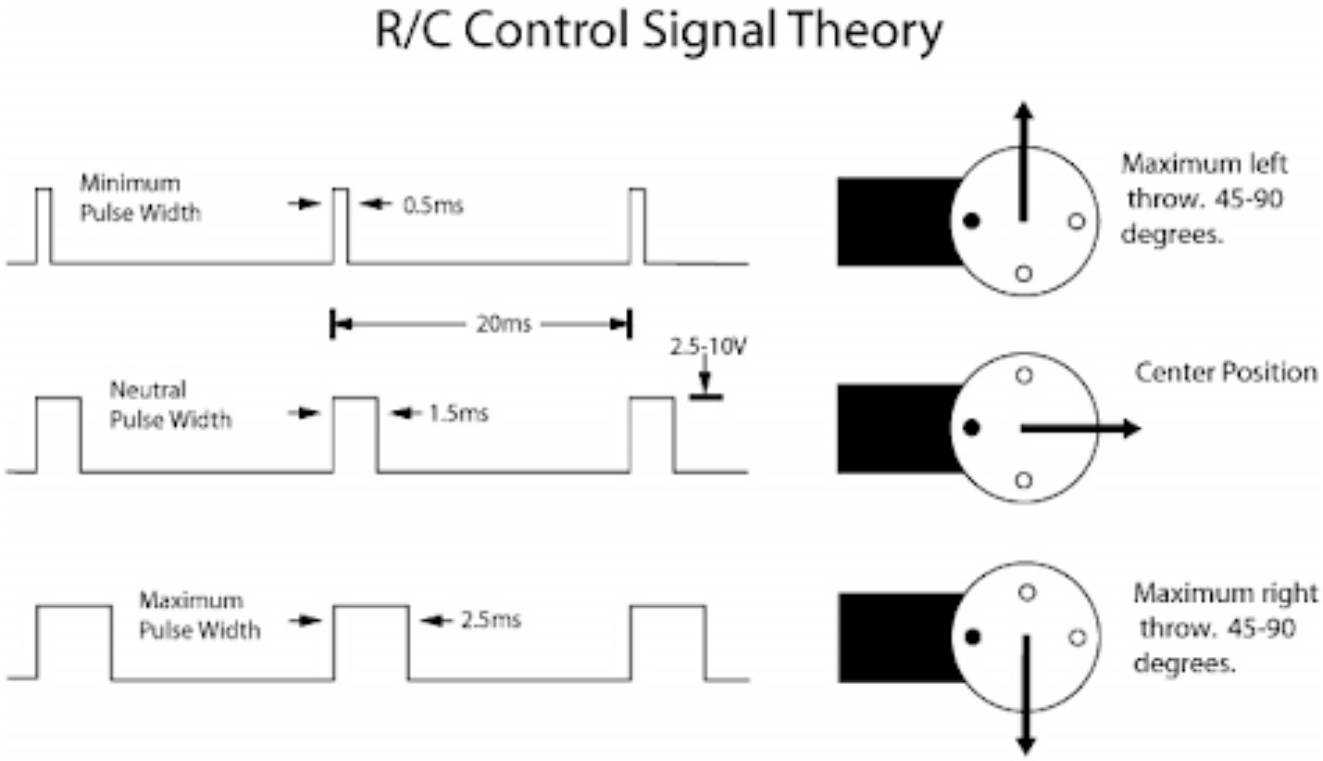


(a) Write from to LCD

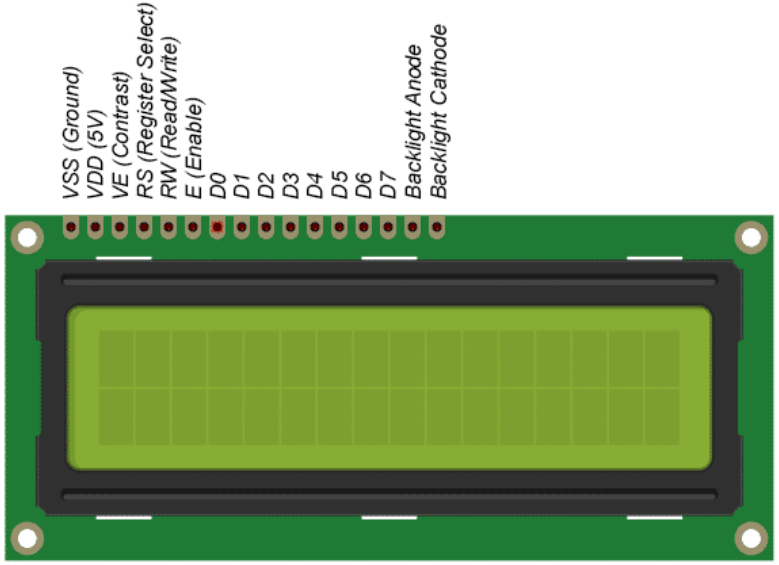


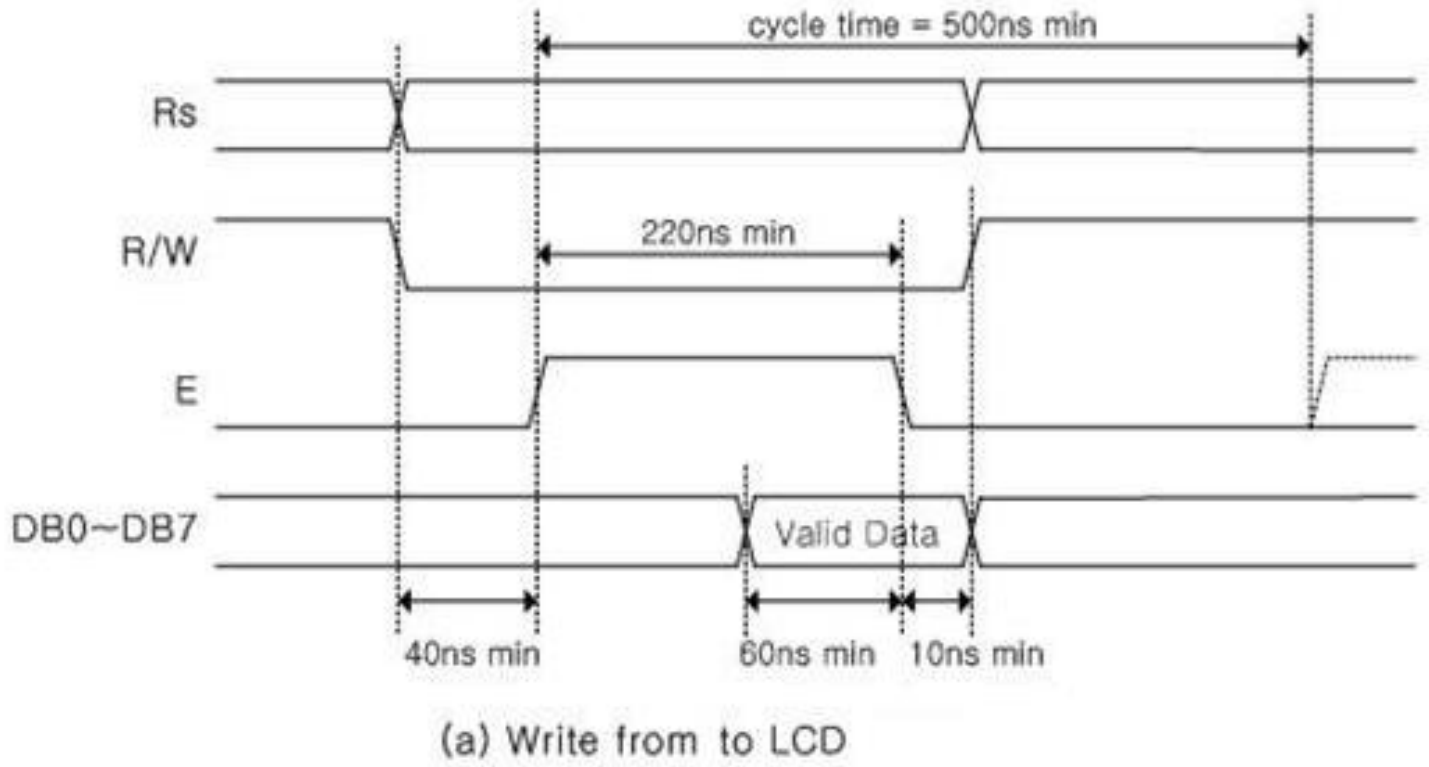
(b) Read from LCD

16x2 Character LCD



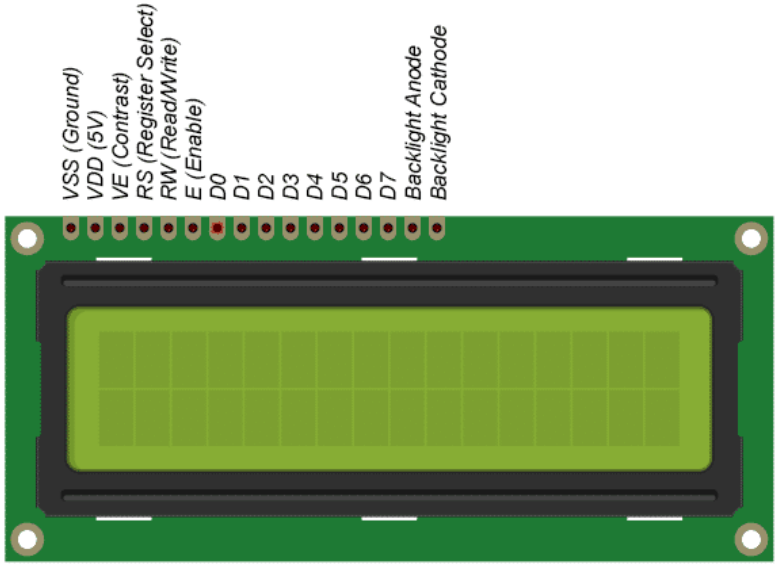
16x2 Character LCD





(a) Write from to LCD

16x2 Character LCD



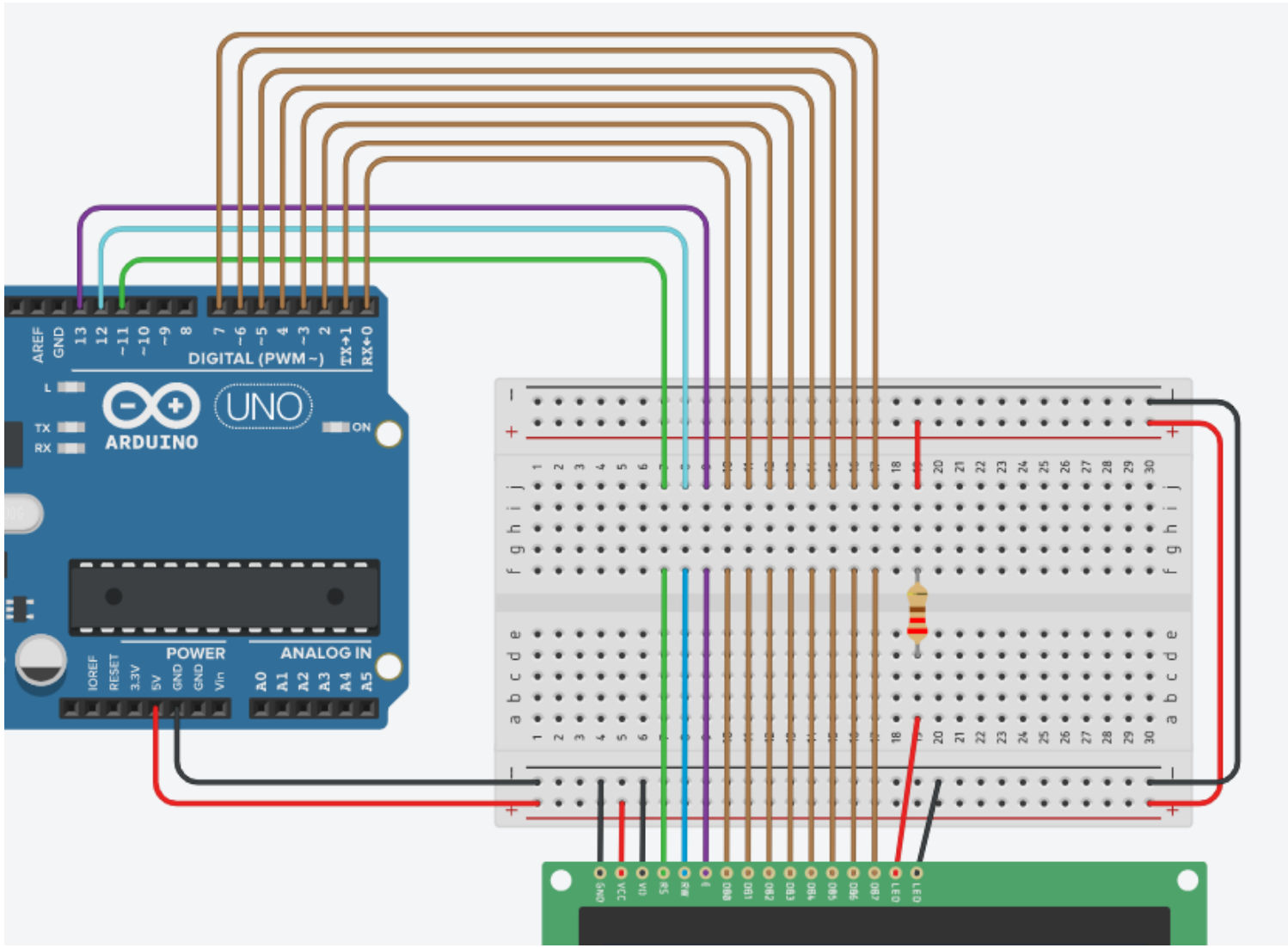
0x38 = **001**(기능셋)1 1000

명령	명령	데이터									설명	실행 시간
		RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	
명령 쓰기	화면지우기	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	화면지우기, 커서홈	1.52ms
	커서홈	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	커서 처음 위치로 이동	1.52ms
	엔트리 모드 셋	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	어드레스자동증가/감소(I/D) 표시 쉬프트(S)	37us
	표시 On/Off 제어	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	디스플레이(D), 커서(C), 깜박임(B) On/Off	37us
	표시, 커서 쉬프트	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	표시, 커서 이동	37us
	기능 셋	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	인터페이스라인(DL), 라인수(N), 문자폰트(F)	37us
	CGRAM 어드레스	0	0	0	1	CGRAM 어드레스(ACG)						CGRAM 어드레스 설정	37us
	DDRAM 어드레스	0	0	1	DDRAM 어드레스(ADD)							DDRAM 어드레스 설정	37us
명령 읽기	비지체크, 어드레스	0	1	BF	어드레스 카운터(AC)							비지플래그 읽기 어드레스 카운터 읽기	0us
데이터 쓰기	데이터 쓰기	1	0	write data								CGRAM 또는 DDRAM에 데이터 쓰기	37us
데이터 읽기	데이터 읽기	1	1	read data								CGRAM 또는 DDRAM에서 데이터 읽기	37us

I/D=1 : 어드레스 자동증가	I/D=0 : 어드레스 자동감소	DDRAM : 표시 데이터 RAM
S=1 : 전체 쉬프트	S=0 : 쉬프트 하지 않음	CGRAM : 폰트 제작 RAM
S/C=1 : 표시 쉬프트	S/C=0 : 커서 이동	ACG : CGRAM 어드레스
R/L=1 : 오른쪽으로 쉬프트	R/L=0 : 왼쪽으로 쉬프트	ADD : DDRAM 어드레스
DL=1 : 8비트	DL=0 : 4비트	AC : 어드레스 카운터
N=1 : 2라인	N=0 : 1라인	(DDRAM, CGRAM 어드레스)
F=1 : 5x10 dots	F=0 : 5x8 dot	
BF=1 : 내부 동작중	BF=0 : 명령/데이터 받기 가능	

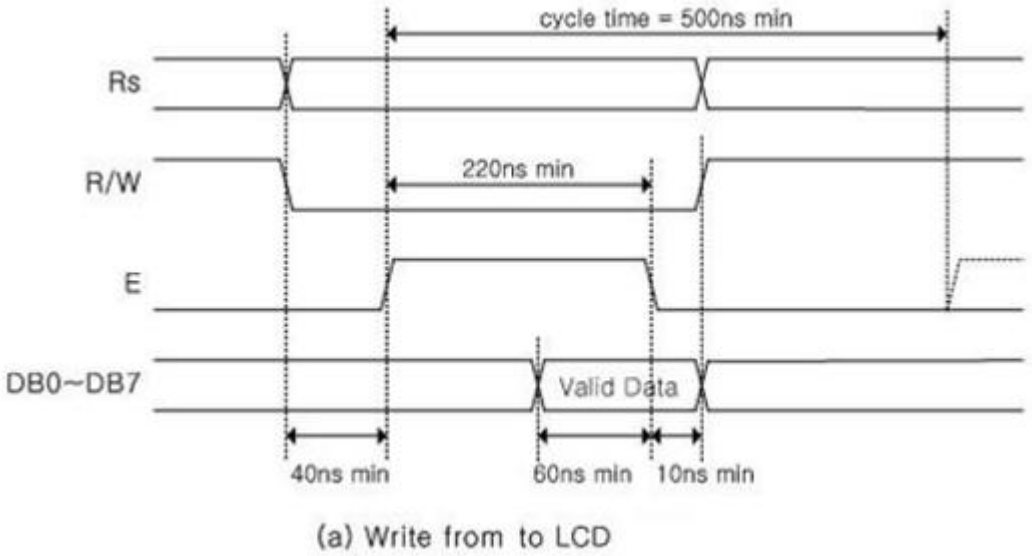
16x2 Character LCD 실험

- 회로 구성
  - RS : 11번핀(PORTB3)
  - RW : 12번핀(PORTB4)
  - E : 13번핀(PORTB5)
  - D0~D7 : 0번핀~7번핀)PORTD



16x2 Character LCD 실험

- LCD 초기화(명령 Write to LCD)



(a) Write from to LCD

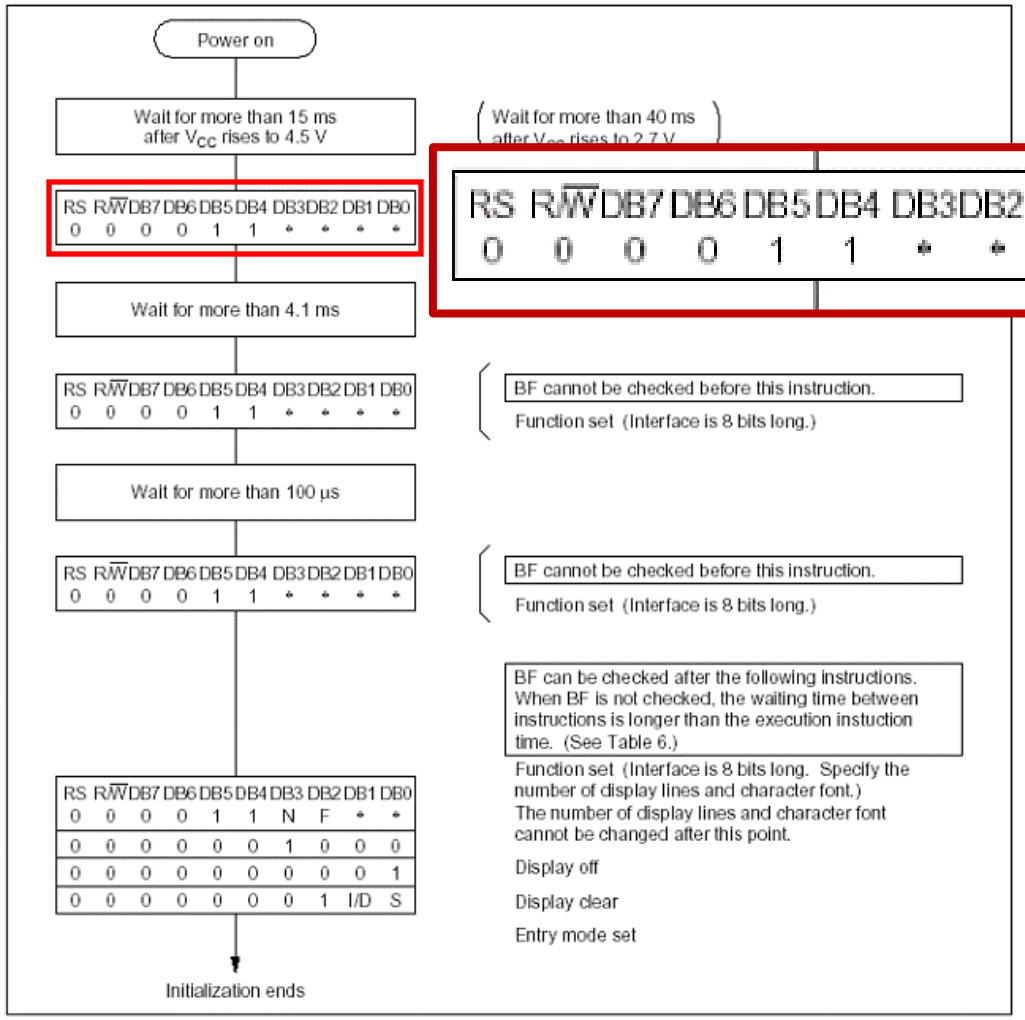
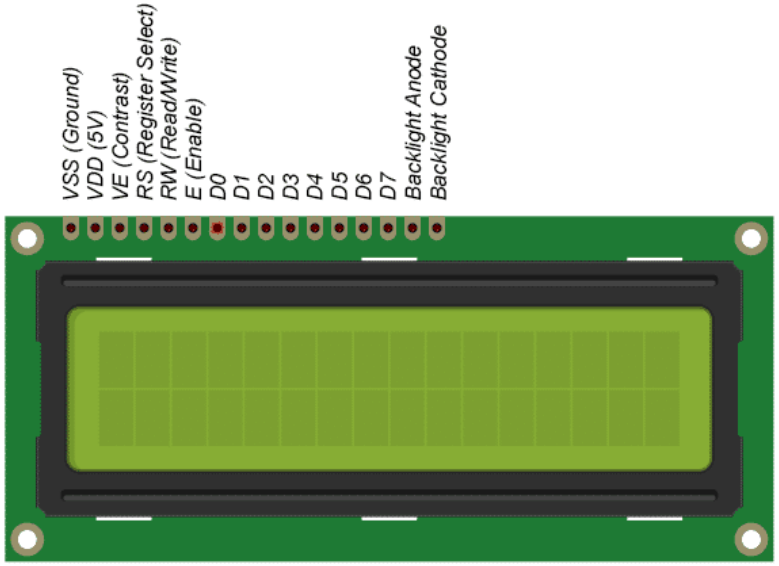


Figure 23 8-Bit Interface

16x2 Character LCD



0x38 = **001**(기능셋)1 1000

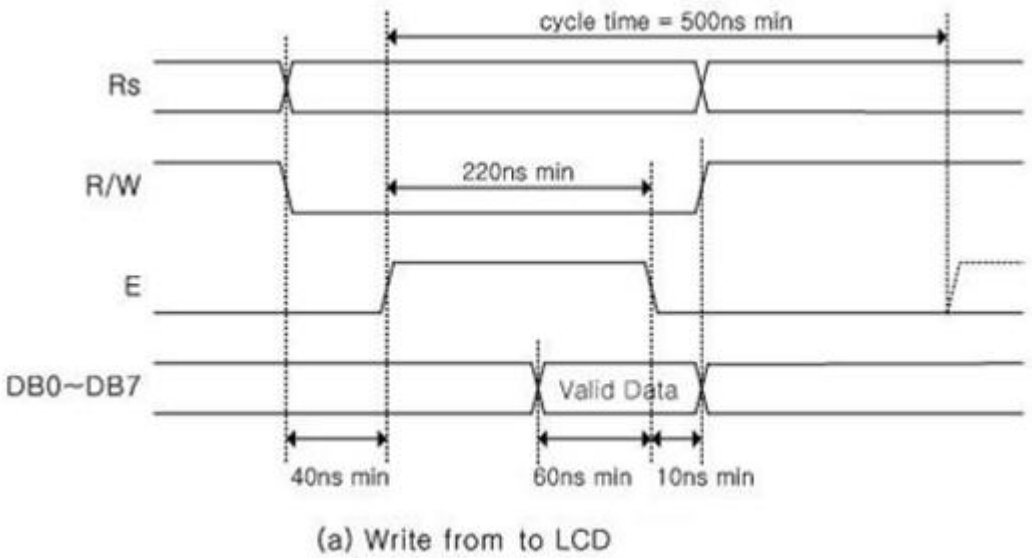
명령	명령	데이터									설명	실행 시간
		RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
명령 쓰기	화면지우기	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	화면지우기, 커서홈	1.52ms
	커서홈	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	커서 처음 위치로 이동	1.52ms
	엔트리 모드 셋	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	어드레스자동증가/감소(I/D) 표시 쉬프트(S)	37us
	표시 On/Off 제어	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	디스플레이(D), 커서(C), 깜박임(B) On/Off	37us
	표시, 커서 쉬프트	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	표시, 커서 이동	37us
	기능 셋	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	인터페이스라인(DL), 라인수(N), 문자폰트(F)	37us
	CGRAM 어드레스	0	0	0	1	CGRAM 어드레스(ACG)						CGRAM 어드레스 설정	37us
	DDRAM 어드레스	0	0	1	DDRAM 어드레스(ADD)							DDRAM 어드레스 설정	37us
명령 읽기	비지체크, 어드레스	0	1	BF	어드레스 카운터(AC)							비지플래그 읽기 어드레스 카운터 읽기	0us
데이터 쓰기	데이터 쓰기	1	0	write data								CGRAM 또는 DDRAM에 데이터 쓰기	37us
데이터 읽기	데이터 읽기	1	1	read data								CGRAM 또는 DDRAM에서 데이터 읽기	37us

I/D=1 : 어드레스 자동증가	I/D=0 : 어드레스 자동감소	DDRAM : 표시 데이터 RAM
S=1 : 전체 쉬프트	S=0 : 쉬프트 하지 않음	CGRAM : 폰트 제작 RAM
S/C=1 : 표시 쉬프트	S/C=0 : 커서 이동	ACG : CGRAM 어드레스
R/L=1 : 오른쪽으로 쉬프트	R/L=0 : 왼쪽으로 쉬프트	ADD : DDRAM 어드레스
DL=1 : 8비트	DL=0 : 4비트	AC : 어드레스 카운터
N=1 : 2라인	N=0 : 1라인	(DDRAM, CGRAM 어드레스)
F=1 : 5x10 dots	F=0 : 5x8 dot	
BF=1 : 내부 동작중	BF=0 : 명령/데이터 받기 가능	

16x2 Character LCD 실험

- LCD 초기화

RS(Register Select) : 0 → 명령 레지스터



(a) Write from to LCD

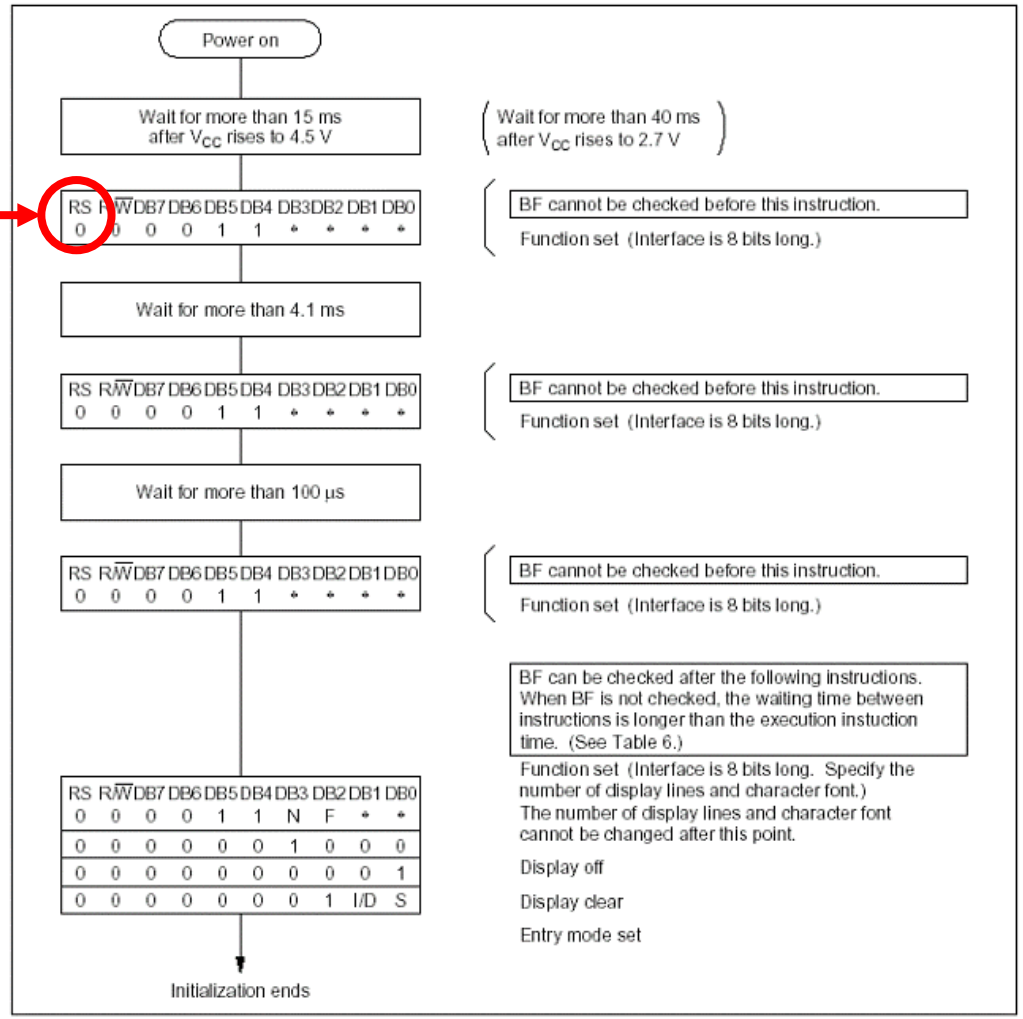
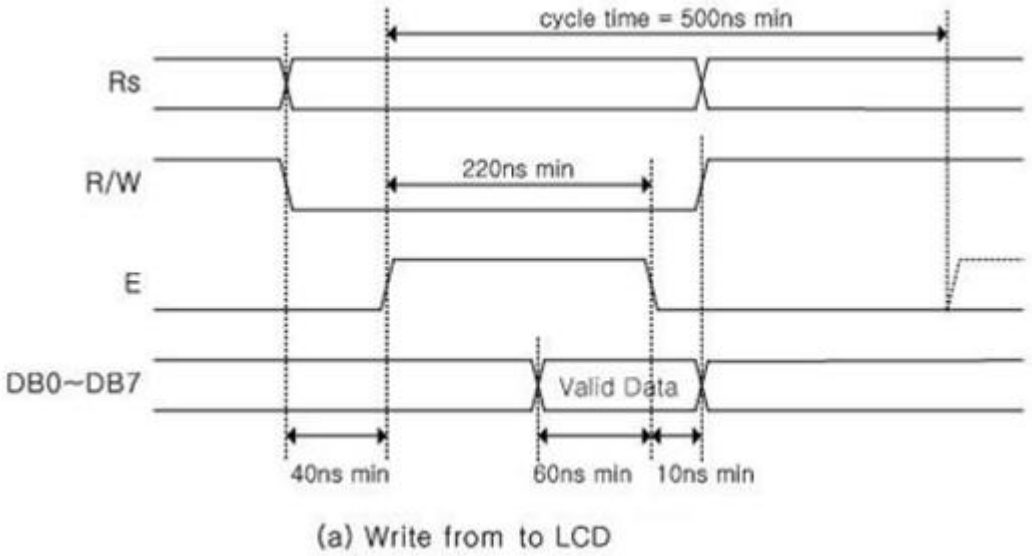


Figure 23 8-Bit Interface

16x2 Character LCD 실험

- LCD 초기화

RW(Read/Write) : 0 → Write



(a) Write from to LCD

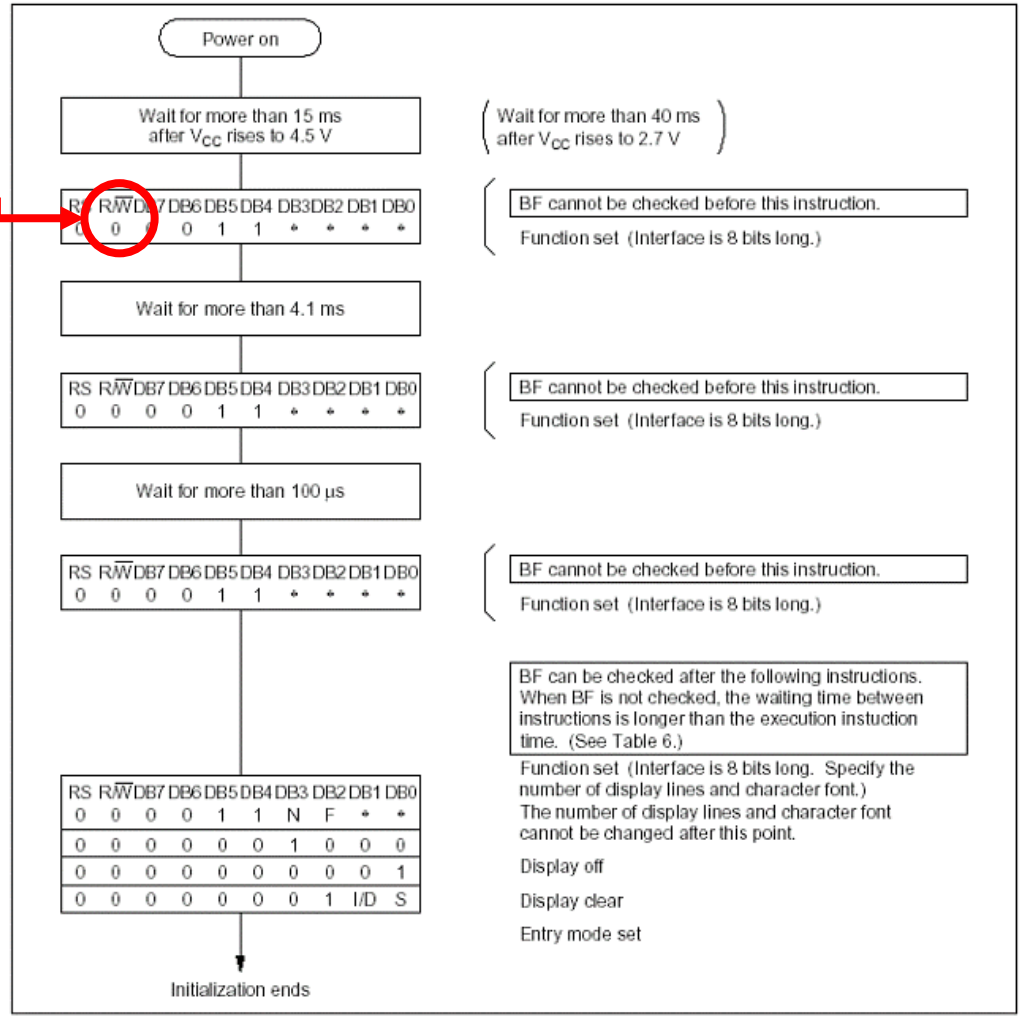
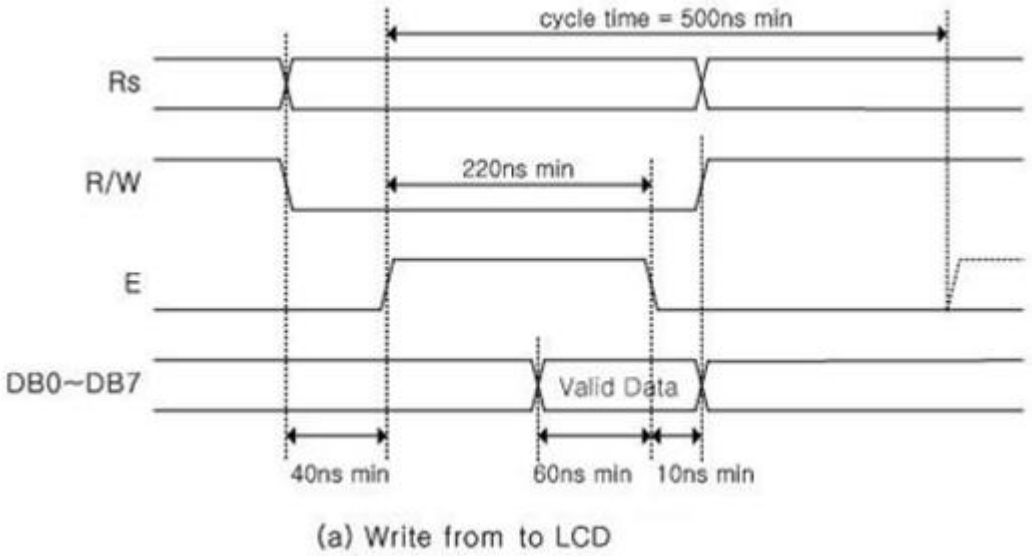


Figure 23 8-Bit Interface

16x2 Character LCD 실험

- LCD 초기화

DB5 bit가 1이면 “기능셋 " 설정



(a) Write from to LCD

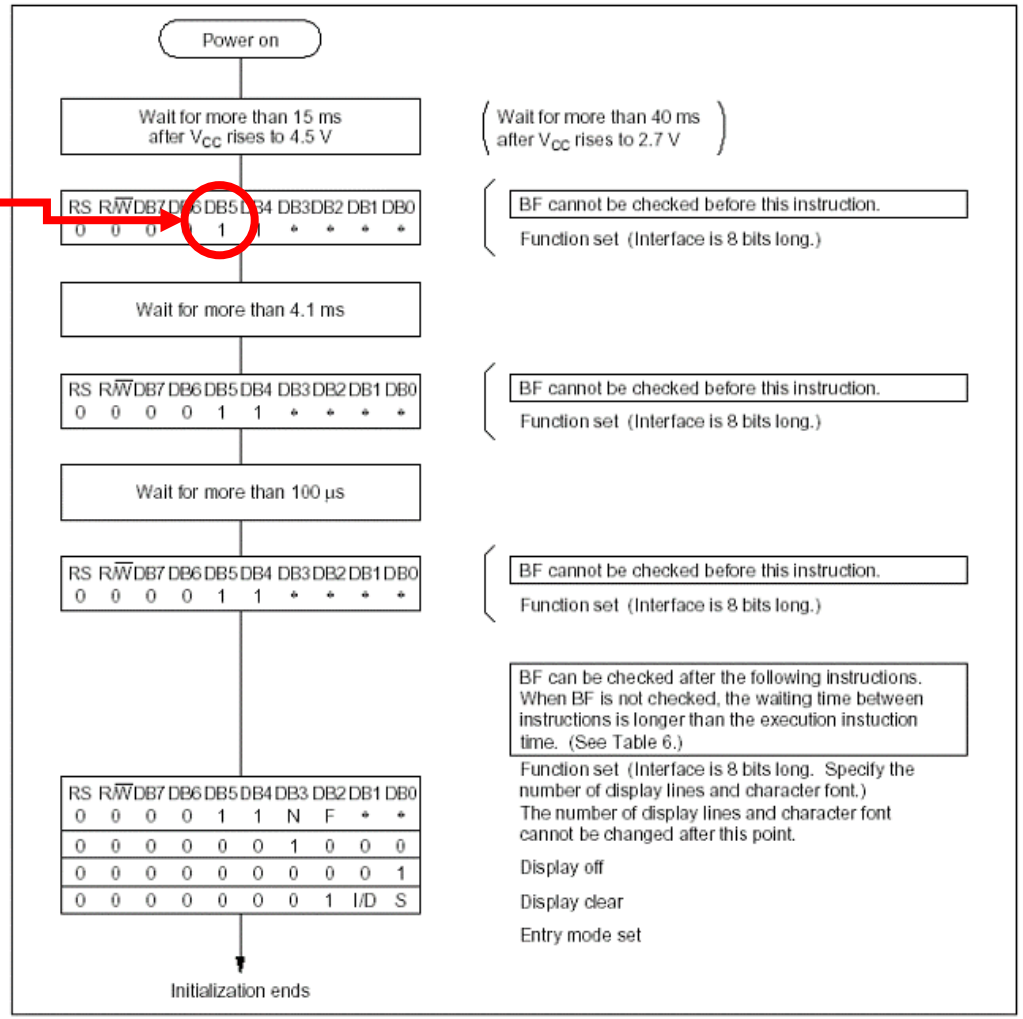
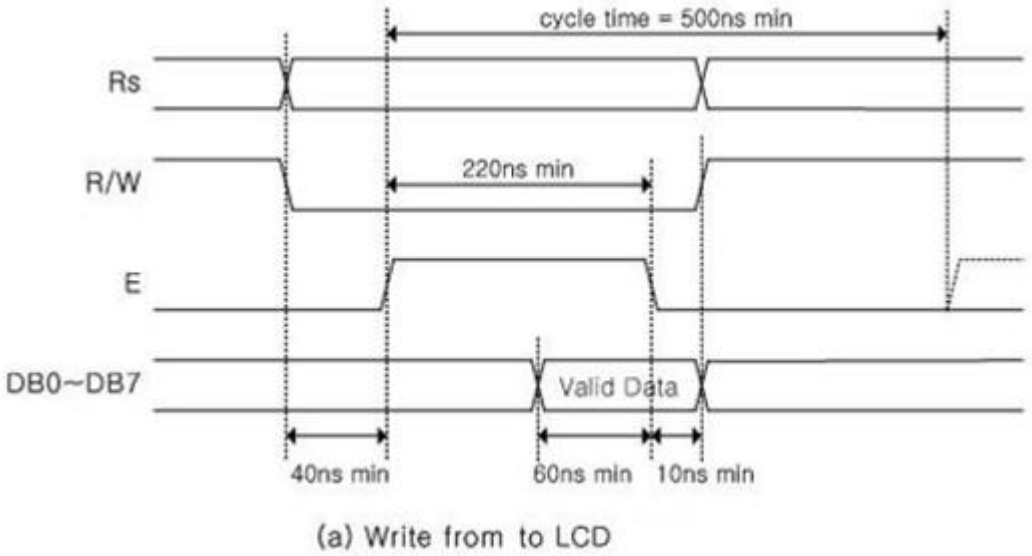


Figure 23 8-Bit Interface

16x2 Character LCD 실험

- LCD 초기화

DL(DB4 bit) : Data Line : 1 → 8Bit



(a) Write from to LCD

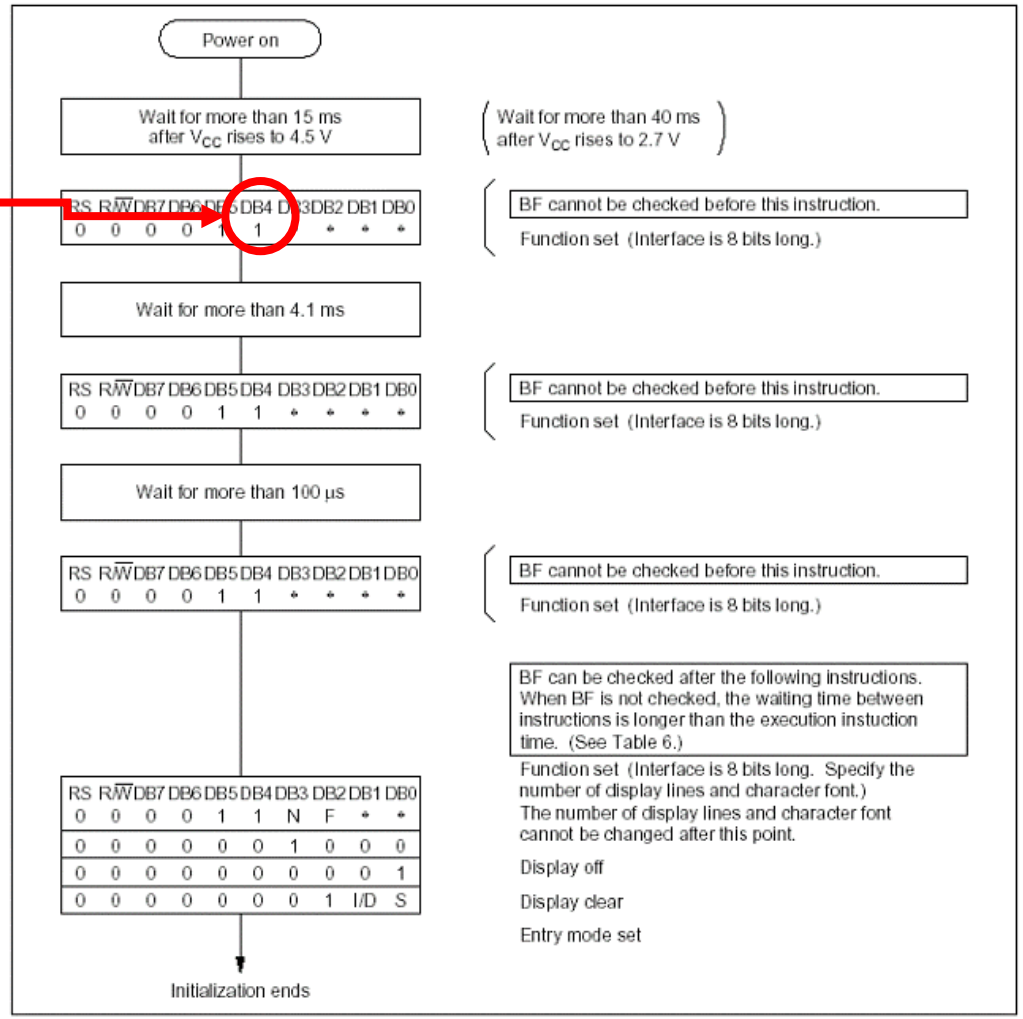


Figure 23 8-Bit Interface

16x2 Character LCD 실험

- LCD 초기화

명령	명령	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	설명	실행 시간
명령 쓰기	화면지우기	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	화면지우기, 커서홈	1,52ms
	커서홈	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	커서 처음 위치로 이동	1,52ms
	엔트리 모드 셋	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	어드레스자동증가/감소(I/D) 표시 쉬프트(S)	37us
	표시 On/Off 제어	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	디스플레이(D), 커서(C), 깜박임(B) On/Off	37us
	표시, 커서 쉬프트	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	표시, 커서 이동	37us
	기능 셋	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	인터페이스라인(DL), 라인수(N), 문자폰트(F)	37us
	CGRAM 어드레스	0	0	0	1	CGRAM 어드레스(ACG)						CGRAM 어드레스 설정	37us
	DDRAM 어드레스	0	0	1	DDRAM 어드레스(ADD)							DDRAM 어드레스 설정	37us
명령 읽기	비지체크, 어드레스	0	1	BF	어드레스 카운터(AC)							비지플래그 읽기 어드레스 카운터 읽기	0us
데이터 쓰기	데이터 쓰기	1	0	write data								CGRAM 또는 DDRAM에 데이터 쓰기	37us
데이터 읽기	데이터 읽기	1	1	read data								CGRAM 또는 DDRAM에서 데이터 읽기	37us

I/D=1 : 어드레스 자동증가	I/D=0 : 어드레스 자동감소	DDRAM : 표시 데이터 RAM
S=1 : 전체 쉬프트	S=0 : 쉬프트 하지 않음	CGRAM : 폰트 제작 RAM
S/C=1 : 표시 쉬프트	S/C=0 : 커서 이동	ACG : CGRAM 어드레스
R/L=1 : 오른쪽으로 쉬프트	R/L=0 : 왼쪽으로 쉬프트	ADD : DDRAM 어드레스
DL=1 : 8비트	DL=0 : 4비트	AC : 어드레스 카운터
N=1 : 2라인	N=0 : 1라인	(DDRAM, CGRAM 어드레스)
F=1 : 5x10 dots	F=0 : 5x8 dot	
BF=1 : 내부 동작중	BF=0 : 명령/데이터 받기 가능	

0x30 (0011 xxxx) : 초기화

0x38 (0011 1000) : 기능셋

0x08 (0000 1000)
표시On/Off 제어

0x01 (0000 0001)
화면지우기

0x04 (0000 0100)
엔트리모드셋

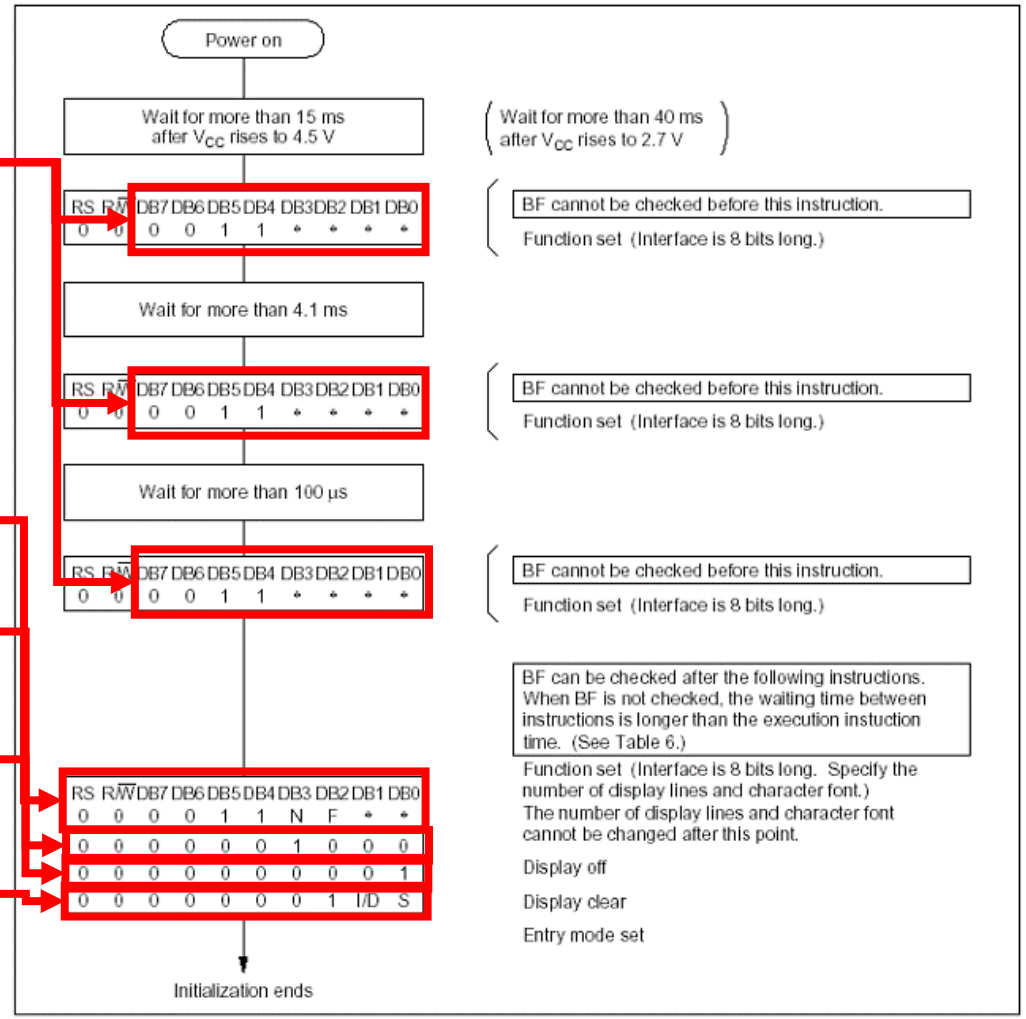
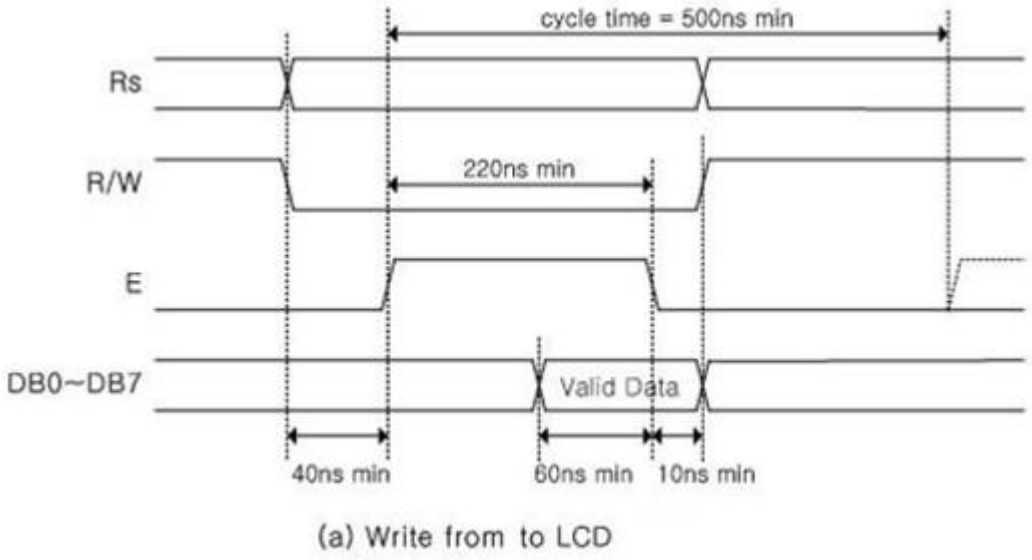


Figure 23 8-Bit Interface

16x2 Character LCD 실험

- LCD 초기화 코드 작성

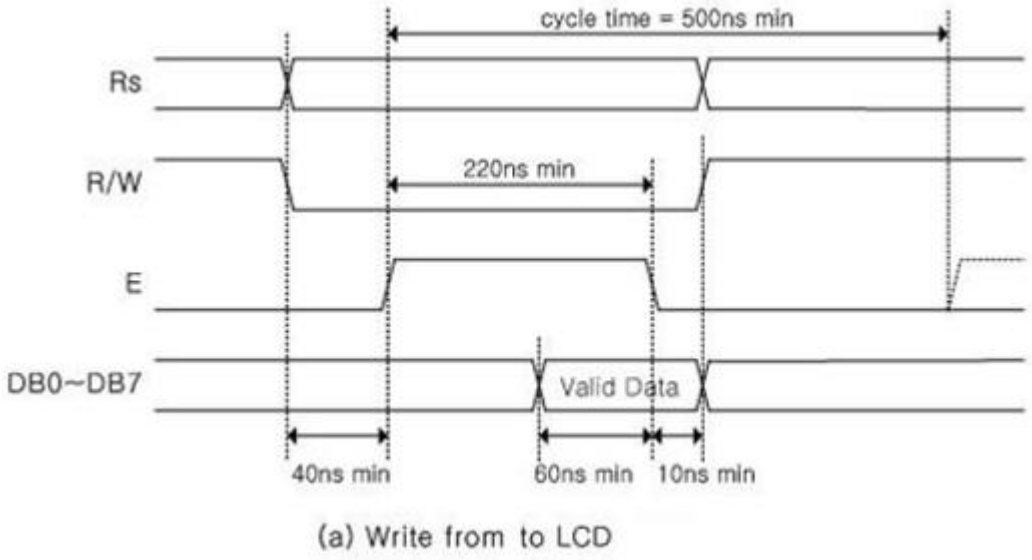


(a) Write from to LCD

```
void setup()
{
  //포트 방향 설정
  pinMode(11, OUTPUT) ;
  pinMode(12, OUTPUT) ;
  pinMode(13, OUTPUT) ;
  DDRD = B11111111 ;

  //명령 1개 전달
  digitalWrite(11, LOW); // RS = 0, 명령
  digitalWrite(12, LOW) ; // RW = 0, 쓰기
  digitalWrite(13, HIGH) ; // E = 1
  PORTD = 0x38;        // 데이터 출력
  delayMicroseconds(1);
  digitalWrite(13, LOW);  // 데이터 쓰기 동작 끝
  delayMicroseconds(1);
}

void loop()
{
}
```

16x2 Character LCD 실험

- LCD 초기화 코드 작성



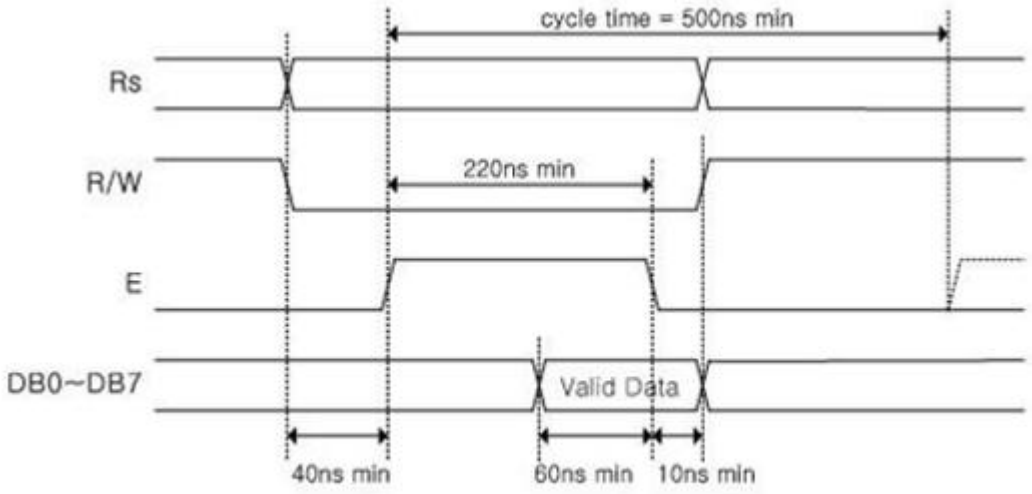
(a) Write from to LCD

0x38 = 0011 1000

```
#define RS          11
#define RW          12
#define EN          13

void setup()
{
  //포트 방향 설정
  pinMode(RS, OUTPUT) ;
  pinMode(RW, OUTPUT) ;
  pinMode(EN, OUTPUT) ;
  DDRD = B11111111 ;

  //명령 1개 전달
  digitalWrite(RS, LOW); // RS = 0, 명령
  digitalWrite(RW, LOW) ; // RW = 0, 쓰기
  digitalWrite(EN, HIGH) ; // E = 1
  PORTD = 0x38;        // 데이터 출력
  delayMicroseconds(1);
  digitalWrite(EN, LOW);  // 데이터 쓰기 동작 끝
  delayMicroseconds(1);
}

void loop()
{
}
```

16x2 Character LCD 실험

- LCD 초기화 코드 작성

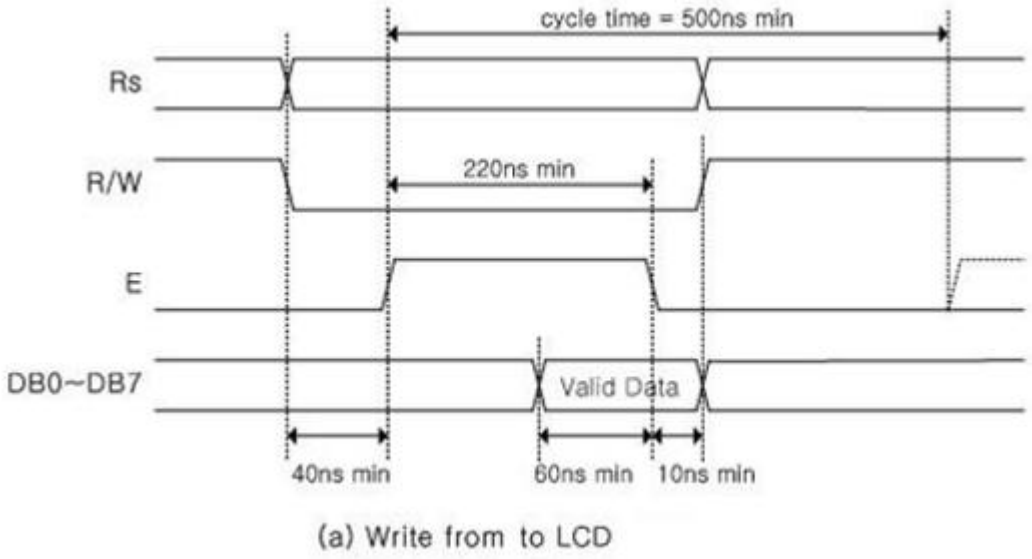


(a) Write from to LCD

```
#define RS       11
#define RW       12
#define EN       13

void LCD_Command_Write(char cmd)
{
  delayMicroseconds(100000) ;                  //100msec
  digitalWrite(RS, LOW) ; //8 - RS
  digitalWrite(RW, LOW) ; //9 - RW
  digitalWrite(EN, HIGH) ; //10 - Enable

  PORTD = cmd ;
  delayMicroseconds(1) ;
  digitalWrite(EN, LOW) ; //10 - Enable
  delayMicroseconds(1) ;
}

void setup()
{
  //포트 방향 설정
  pinMode(RS, OUTPUT) ;
  pinMode(RW, OUTPUT) ;
  pinMode(EN, OUTPUT) ;
  DDRD = B11111111 ;

  //명령 1개 전달
 LCD_Command_Write(0x38) ;
}

void loop()
{
}
```

16x2 Character LCD 실험 – example_28

- LCD 초기화 코드 작성

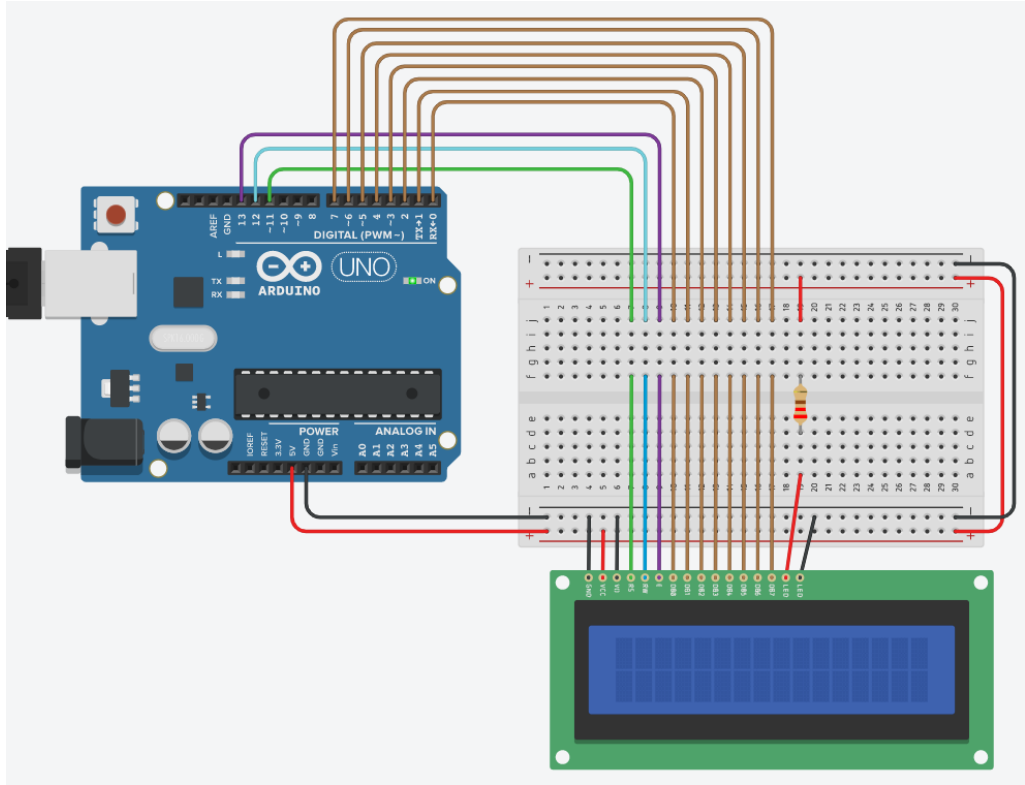


(a) Write from to LCD

```
void LCD_Command_Write(char cmd)
{
....
}

void setup()
{
....

  //LCD초기화
  delay(150);
  LCD_Command_Write(0x38);  //0x38 = 0011 1000
  delayMicroseconds(4100) ;
  LCD_Command_Write(0x38);
  delayMicroseconds(100);
  LCD_Command_Write(0x38);
  delayMicroseconds(100) ;

  LCD_Command_Write(0x38);
  LCD_Command_Write(0x0E);
  LCD_Command_Write(0x01);
  LCD_Command_Write(0x04);
}

void loop()
{
}
```

16x2 Character LCD 실험

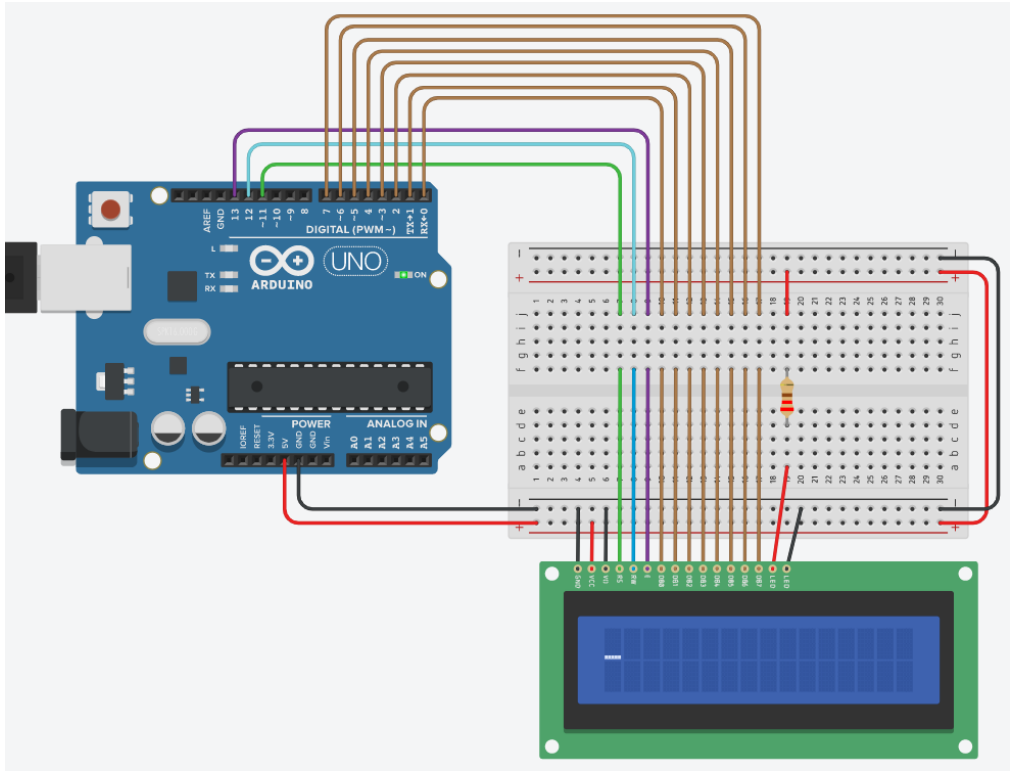
- LCD 초기화 코드 작성




```
#define RS      11
#define RW      12
#define EN      13

void LCD_Command_Write(char cmd)
{
.....
}

void setup()
{
  //포트 방향 설정
  pinMode(RS, OUTPUT) ;
  pinMode(RW, OUTPUT) ;
  pinMode(EN, OUTPUT) ;
  DDRD = B11111111 ;

  //LCD초기화
  delayMicroseconds(150000);
  LCD_Command_Write(0x38);  //0x38 = 0011 1000
  delayMicroseconds(4100) ;
  LCD_Command_Write(0x38);
  delayMicroseconds(100);
  LCD_Command_Write(0x38);
  delayMicroseconds(100) ;

  LCD_Command_Write(0x38);
  LCD_Command_Write(0x08);
  LCD_Command_Write(0x01);
  LCD_Command_Write(0x04);
}
```

16x2 Character LCD 실험

- LCD 초기화 코드 작성




```
#define RS      11
#define RW      12
#define EN      13

void LCD_Command_Write(char cmd)
{
.....
}

void setup()
{
  //포트 방향 설정
  pinMode(RS, OUTPUT) ;
  pinMode(RW, OUTPUT) ;
  pinMode(EN, OUTPUT) ;
  DDRD = B11111111 ;

  //LCD초기화
  delayMicroseconds(150000);
  LCD_Command_Write(0x38);  //0x38 = 0011 1000
  delayMicroseconds(4100) ;
  LCD_Command_Write(0x38);
  delayMicroseconds(100);
  LCD_Command_Write(0x38);
  delayMicroseconds(100) ;

  LCD_Command_Write(0x38);
  LCD_Command_Write(0x0E);              //Display On, 커서표시
  LCD_Command_Write(0x01);
  LCD_Command_Write(0x04);
}
```

16x2 Character LCD 실험

- LCD 문자표시 코드 작성

명령	명령	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	설명	실행 시간
명령 쓰기	화면지우기	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	화면지우기, 커서홈	1.52ms
	커서홈	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	커서 처음 위치로 이동	1.52ms
	엔트리 모드 셋	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	어드레스자동증가/감소(I/D) 표시 쉬프트(S)	37us
	표시 On/Off 제어	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	디스플레이(D), 커서(C), 깜박임(B) On/Off	37us
	표시, 커서 쉬프트	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	표시, 커서 이동	37us
	기능 셋	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	인터페이스라인(DL), 라인수(N), 문자폰트(F)	37us
	CGRAM 어드레스	0	0	0	1	CGRAM 어드레스(ACG)						CGRAM 어드레스 설정	37us
	DDRAM 어드레스	0	0	1	DDRAM 어드레스(ADD)							DDRAM 어드레스 설정	37us
명령 읽기	비지플래그, 어드레스	0	1	BF	어드레스 카운터(AC)							어드레스 카운터 읽기	0us

D.D.RAM(Display Data RAM)

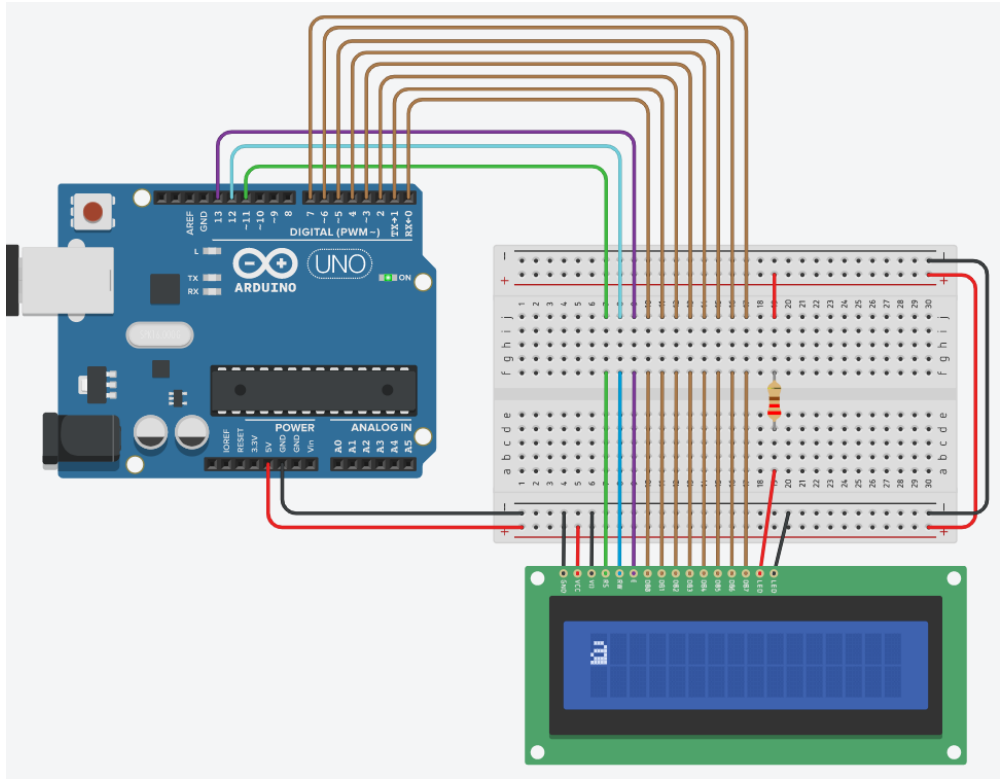
- 80x8비트 용량으로 80개의 8비트 아스키(ASCII)코드를 저장할 수 있다.
- 0x00~0F 주소가 LCD의 1행의 1~16째.
- 0x40~4f 주소가 LCD의 2행의 1~16번째 문자료 표시 된다.
- 빈 주소에는 자유롭게 RAM 데이터 메모리로 사용이 가능하다.

DL=1 : 8비트	DL=0 : 4비트	AC : 어드레스 카운터
N=1 : 2라인	N=0 : 1라인	(DDRAM, CGRAM 어드레스)
F=1 : 5x10 dots	F=0 : 5x8 dot	
BF=1 : 내부 동작중	BF=0 : 명령/데이터 받기 가능	

```
void LCD_Command_Write(char cmd)
{
...
}

void setup()
{
  //포트 방향 설정
  ....

  //LCD초기화
  ....
}

void loop()
{
  LCD_Command_Write(0x80 | 0x00);  // DDRAM Address = 0 설정

  digitalWrite(RS, HIGH); // 0번 비트 설정, RS = 1, 데이터
  digitalWrite(RW, LOW) ; // 1번 비트 클리어, RW = 0, 쓰기
  digitalWrite(EN, HIGH) ; // 2번 비트 설정, E = 1
  PORTD = 'a';        // 데이터 출력
  delayMicroseconds(1);
  digitalWrite(EN, LOW);  // 데이터 쓰기 동작 끝

  delayMicroseconds(1);
}
```

16x2 Character LCD 실험

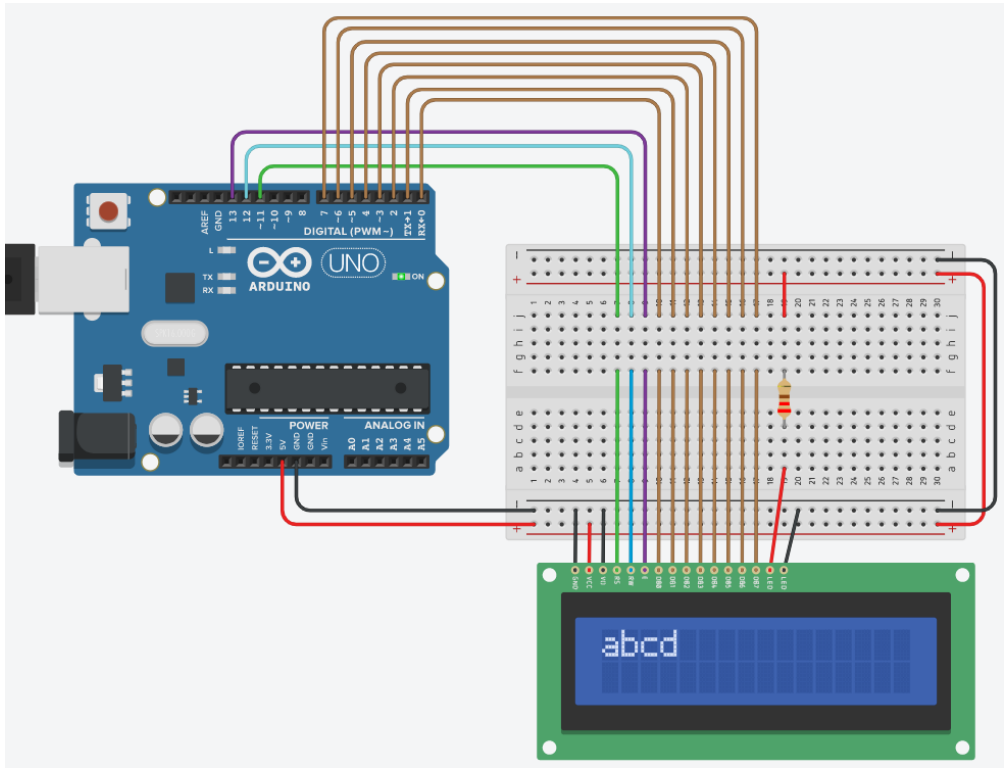
- LCD 문자표시 코드 작성




```
void LCD_Command_Write(char cmd) {
....
}

void LCD_Data_Write(char data)
{
  digitalWrite(RS, HIGH); // 0번 비트 설정, RS = 1, 데이터
  digitalWrite(RW, LOW) ; // 1번 비트 클리어, RW = 0, 쓰기
  digitalWrite(EN, HIGH) ; // 2번 비트 설정, E = 1

  PORTD = data;       // 데이터 출력
  delayMicroseconds(1);
  digitalWrite(EN, LOW);  // 데이터 쓰기 동작 끝

  delayMicroseconds(1);
}

void setup() {
  //포트 방향 설정
  ....

  //LCD초기화
  ....
}

void loop()
{
  LCD_Command_Write(0x80 | 0x00);  // DDRAM Address = 0 설정
  LCD_Data_Write('a') ;
}
```

16x2 Character LCD 실험

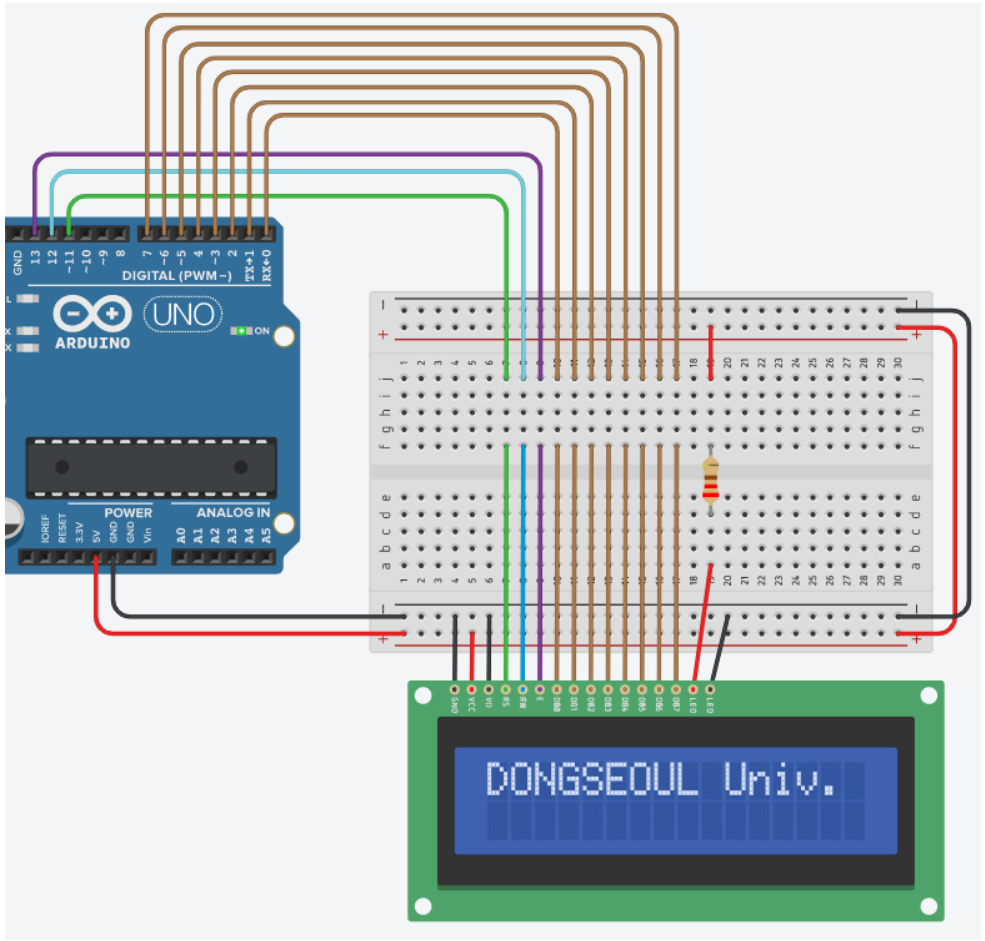
- LCD 문자표시 코드 작성




```
void LCD_Command_Write(char cmd) {
....
}

void LCD_Data_Write(char data) {
....
}

void setup() {
  //포트 방향 설정
  ....

  //LCD초기화
  ....
}

void loop()
{
  LCD_Command_Write(0x80 | 0x00);  // DDRAM Address = 0 설정
  LCD_Data_Write('a') ;

  LCD_Command_Write(0x80 | 0x01);  // DDRAM Address = 1 설정
  LCD_Data_Write('b') ;

  LCD_Command_Write(0x80 | 0x02);  // DDRAM Address = 2 설정
  LCD_Data_Write('c') ;

  LCD_Command_Write(0x80 | 0x03);  // DDRAM Address = 3 설정
  LCD_Data_Write('d') ;
}
```

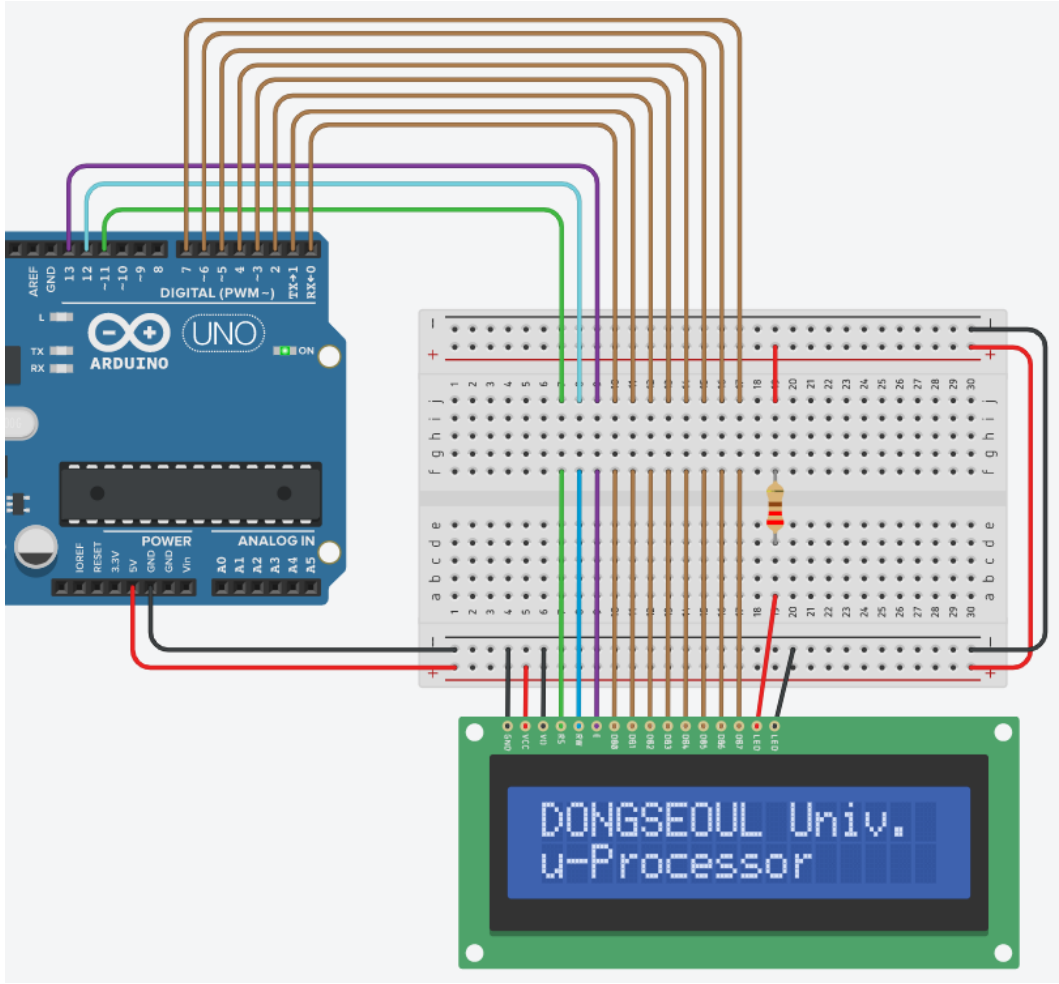
16x2 Character LCD 실험 – quiz1

- Example_32를 참고하여 아래의 그림과 같이 LCD에 문자를 출력 하시오



16x2 Character LCD 실험 – quiz2

- Example_32를 참고하여 아래의 그림과 같이 LCD에 문자를 출력 하시오



16x2 Character LCD 실험

- Contrast 조절