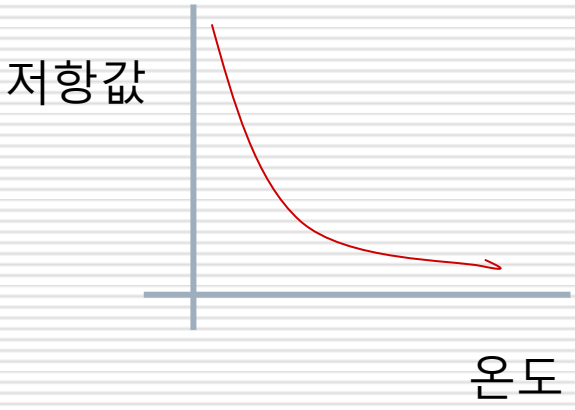
14 장 : 온도센서를 이용하여 디지털 온도계 만들기

JCnet 제이씨넷 신 상 석

목차

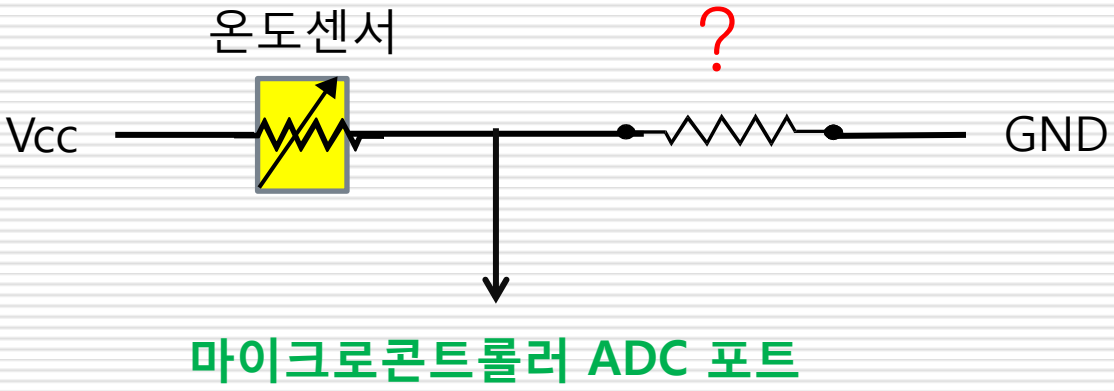
온도 센서

- 온도 센서 (아날로그)
  - 보통 Thermistor를 이용하여 온도 측정
  - Thermistor
    - 니켈, 코발트, 구리, 철 등의 화합물로 이루어진 물질
    - 온도가 높아지면 저항값이 내려가고, 온도가 내려오면 저항값이 올라가는 특성을 가짐



온도 센서

- 온도 센서 (아날로그)
  - 온도센서 저항값의 예
    - 100도 : 1 KΩ 이하
    - 0 도 : 15 KΩ 정도
    - -10도 : 25 KΩ 이상
  - 마이크로콘트롤러와의 연결



온도 센서

- 온도 센서 (디지털)
  - 아날로그 온도 센서와 이와 결합한 로직을 이용하여 디지털 인터페이스를 가지는 온도 센서
  - 보통 모듈이나 IC 형태를 가짐
  - 마이크로콘트롤러와의 연결

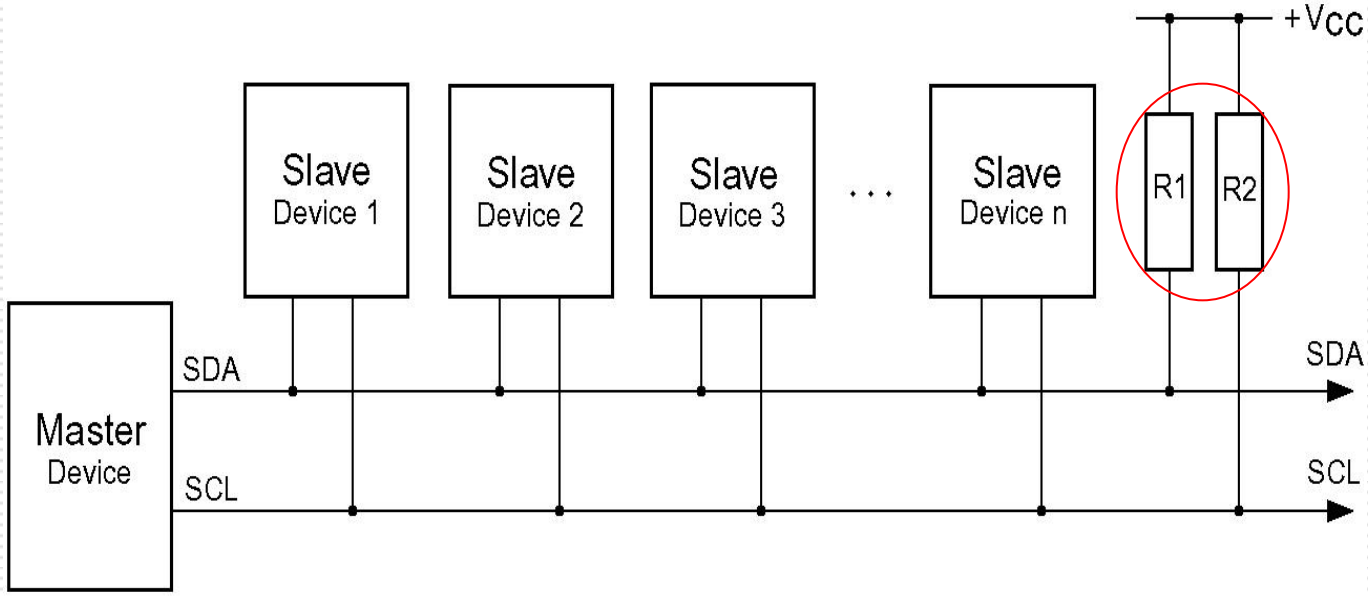
I2C(TWI) 통신

- 기본 규격
  - I2C : Inter Integrated Circuit (I square C)
  - Philips 사가 제안한 근거리용 직렬 동기식 양방향 통신 규격
  - 마이크로콘트롤러에 여러가지 메모리, I/O 소자를 연결할 때 사용
  - Atmega128에서는 TWI(Two Wire Interface)로 명칭
  - SDA(Serial Data), SCL(Serial Clock)의 2개 신호만 사용
    - SCL(Serial Clock)는 Master가 제공하는 클록
    - SDA(Serial Data)는 Master와 Slave가 함께 사용하는 데이터
    - 100kbps, 400kbps, 3.4Mbps의 3가지 전송 속도 지원
    - Slave 지정은 7비트 어드레스를 이용하며, 전체 Slave를 호출하는 기능(broadcasting)도 지원
    - Multi Master 조정(arbitration) 기능 지원

I2C(TWI) 통신

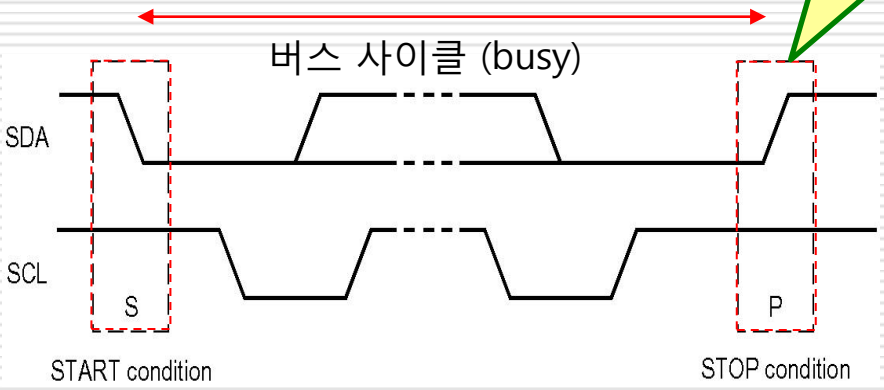
◻ 시스템의 구성

* Open Drain 또는 Open Collector 방식



I2C(TWI) 통신

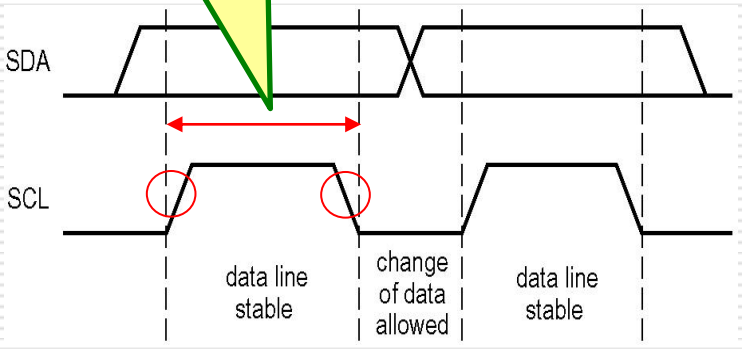
◻ 기본 전송 포맷



SCL이 "High" 인 상태에서 SDA가 ↑

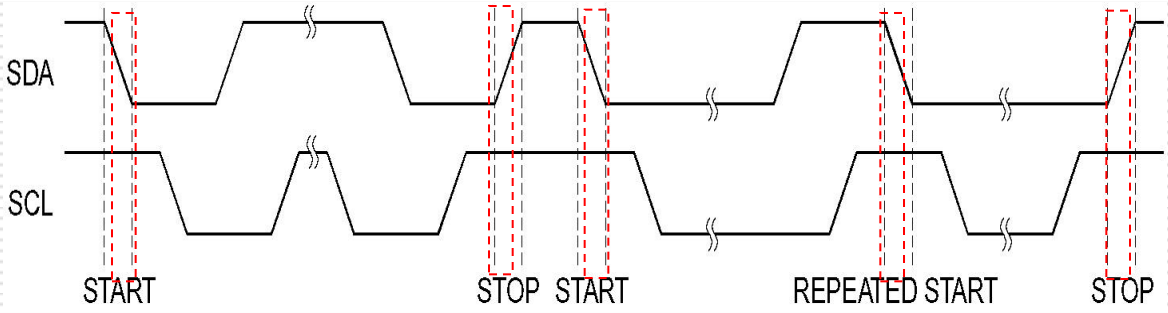
SCL이 "High" 인 상태에서 SDA가 ↓

(a) START, STOP



SDA가 변하지 않는 상태에서 SCL이 ↑ 및 ↓

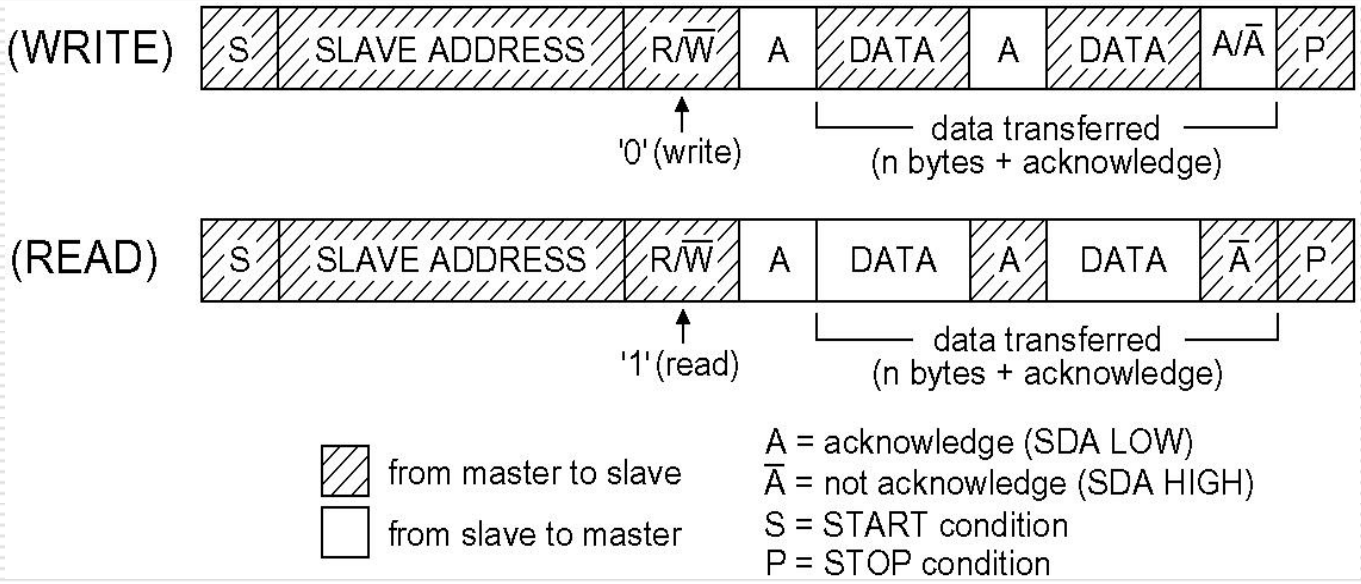
(b) 1비트 데이터 전송



(c) START, REPEATED START, STOP

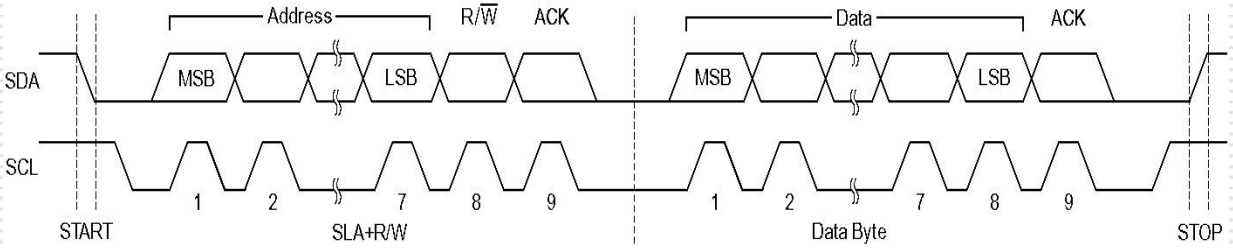
I2C(TWI) 통신

데이터 송수신 포맷



I2C(TWI) 통신

- 데이터 송수신 동작
  - Address Cycle + Data Cycle
  - Stop이 나타나기 전까지는 하나의 Master가 버스를 관장함



* Data Byte의 개수는 가변

JKIT-128에서의 온도센서 연결 설계

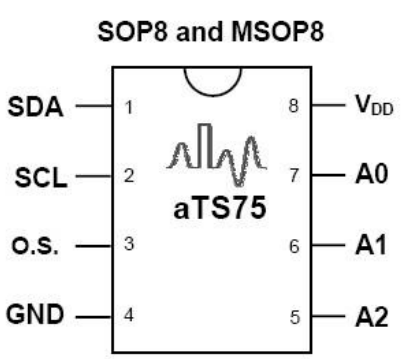
- JKIT-128-1에서의 온도센서 연결 설계 개념
  - 온도센서는 다양성을 위하여 디지털 온도센서 사용
  - 가능한 I2C(TWI)나 SPI 통신 인터페이스가 가능한 센서 채택
  - 가격이 저렴하고 쉽게 구할 수 있는 센서 선택

    ➔ <aTS75> 디지털 온도 센서 (I2C 인터페이스) 채택
  - aTS75 (또는 LM75A)
    - Slave Address 값 중 High 4비트의 값은 "1001"로 정해져 있고, 설계자는 Low 3비트의 값을 임의로 정할 수 있음

      → "000"과 "100"의 2개의 값 중 선택이 가능하도록 처리하되 기본값은 "100"으로 함
    - SCL, SDA에 pullup 저항 연결 필요
      - (JKIT-128-1) MISSING !!! → 설계 오류?
      - 해결 방법 : SCL, SDA가 연결되어 있는 포트인 PD0, PD1에 연결된 pullup 저항을 활성화시켜서 해결(SW 해결법 사용)

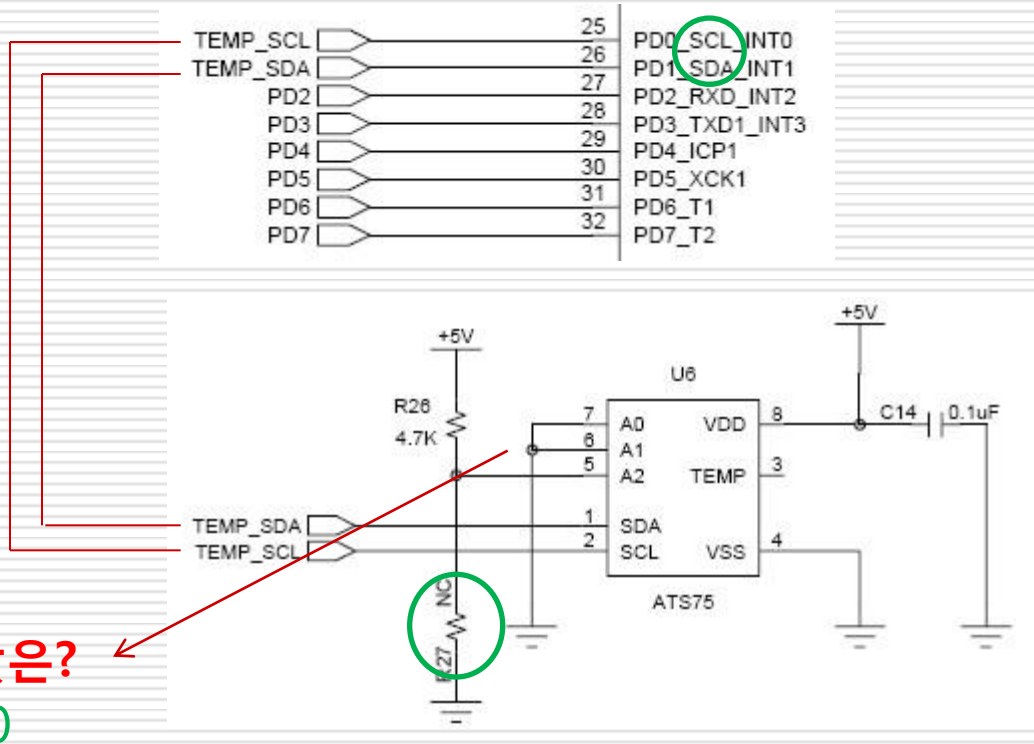
JKIT-128에서의 온도센서 연결 설계

- aTS75 온도 센서
  - 디지털 온도 센서
  - 온도 측정 범위 : 섭씨 -30도 ~ 125도
  - 측정 오차 : 최대 +/- 2도(25도에서), +/-3도 (전 온도 구간)
  - 분해능(resolution) : 9~12비트 (0.5도 ~ 0.0625도)
  - 인터페이스 : I2C (TWI)
  - 동작 전압 : 2.7V ~ 5.5V
  - 패키지 타입 : SOIC-8, MSOP-8
  - 어드레스 선택 : A2, A1, A0의 3개 신호



JKIT-128에서의 온도센서 연결 설계

- JKIT-128-1에서의 온도센서 연결 설계



Slave Address 값은?

= (1001)100

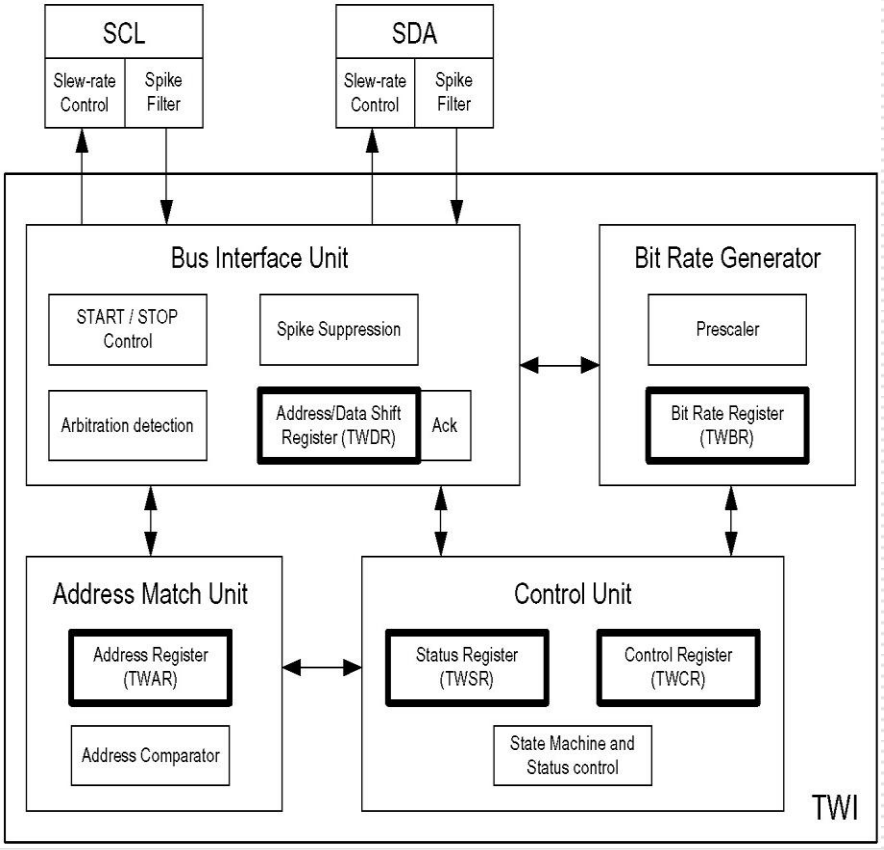
JKIT-128에서의 온도센서 연결 설계

마이크로콘트롤러와 외부 IC(또는 모듈)
연결시 주의사항 !!!

1. 매뉴얼(datasheet, manual, 설명서 등)이 가장 중요 !!!
2. 하드웨어 연결
   - 핀 정의, 기능 및 연결 방법
   - 예제 연결도(Recommended Circuits)
   - 전기적 규격(Electrical Ratings : 정격 전압/전류 등)
   - 주변 RLC(Resistor, Inductor, Capacitor) 규격, 연결방법 등
3. 소프트웨어 인터페이스
   - 오퍼레이션(인터페이스) 방법/순서
   - 예제 프로그램(Sample Code)

ATmega128의 TWI 인터페이스

- ATmega128의 TWI 특징
  - 7비트 어드레스 방식만 지원
  - I2C 전송속도 중 표준 모드(100kbps)와 고속 모드(400kbps)만 지원
  - 구성 블록도



ATmega128의 TWI 인터페이스

- TWBR : TWI Bit Rate Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
$70	TWBR7	TWBR6	TWBR5	TWBR4	TWBR3	TWBR2	TWBR1	TWBR0	TWBR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	1	0	0	0	0	0	0	= 0x40

  - SCL 클록의 주파수를 맞추기 위한 분주비 설정

$$\text{F scl (SCL 클록 주파수)} = \frac{\text{F cpu (CPU 클록 주파수)}}{16 + 2 * \text{TWBR} * 4^{\text{TWPS}}} = \frac{16\text{Mhz}}{16+2*64*4^{0}}$$

(단, TWBR은 10 이상, TWPS는 TWSR 레지스터 설정값)

ATmega128의 TWI 인터페이스

- TWDR : TWI Data Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
$73	TWD7	TWD6	TWD5	TWD4	TWD3	TWD2	TWD1	TWD0	TWDR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	1	1	1	1	1	1	1	1	

  - 송신모드에서 다음에 송신(write) 할 바이트(슬레이브 어드레스 또는 데이터)를 저장
  - 수신모드에서 수신(write)된 바이트(데이터)를 저장

ATmega128의 TWI 인터페이스

- TWCR : TWI Control Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
$74	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE	TWCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

  - TWINT(TWI Interrupt Flag) : TWI가 현재의 동작을 완료했음을 알리는 플래그로 '1'은 동작완료를 나타냄, 자동으로 clear되지 않으며 이것이 '1'인 동안은 SCL이 '0' 상태를 유지하므로 반드시 clear시켜야 함, clear 하려면 이 비트에 '1'을 write함.
  - TWEA(TWI Enable Acknowlege) : 1 바이트 데이터를 수신한 경우 ACK 신호를 '1'로 발생하도록 함
  - TWSTA(TWI Start Condition Bit) : START 조건 출력, 다시 clear되어야 함

ATmega128의 TWI 인터페이스

- TWCR : TWI Control Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
$74	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE	TWCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

  - TWSTO(TWI STOP Condition Bit) : STOP 조건 출력, 자동으로 clear됨
  - TWEN(TWI Enable) : TWI 버스를 enable시킴
  - TWIE(TWI Interrupt Enable) : TWI 인터럽트가 발생하도록 허용, '1'로 세트되어 있으면 TWINT가 생성될 때 인터럽트 발생

ATmega128의 TWI 인터페이스

- TWSR : TWI Status Register

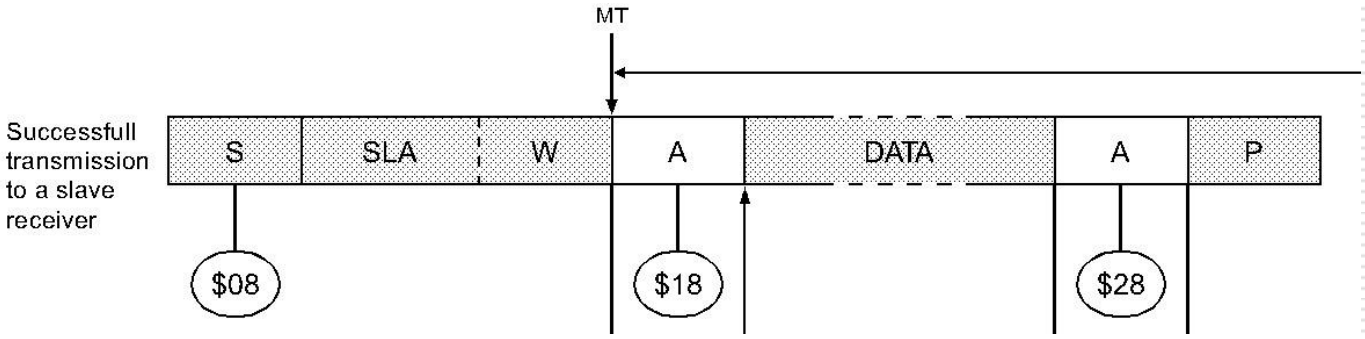
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
$71	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	–	TWPS1	TWPS0	TWSR
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	1	1	1	1	1	0	0	0	

  - TWS[7:3](TWI Status) : TWI 진행 상태 표시값 (단계별 동작 참조)
  - TWPSI[1:0](TWI Prescaler Bits) : TWI 클록 계산에 사용되는 프리스케일러값 세팅
    - 00 =1분주, 01=4분주, 10=16분주, 11=64분주

ATmega128의 TWI 인터페이스

TWI 동작

Master 송신(Write)

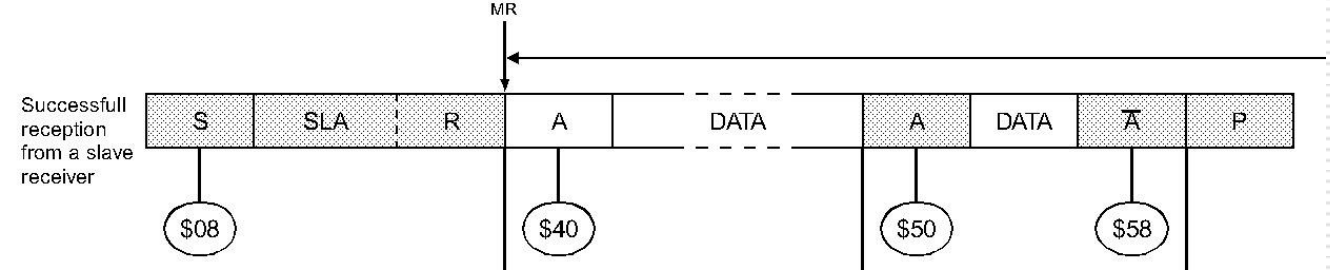


1. START 전송 : TWCR ➔ TWINT=1, TWSTA=1, TWEN=1
2. 상태 체크 : TWSR ➔ TWSR & 0xF8 = 0x08
3. TWDR에 SLA+W 세트 : TWDR ➔ TWDR = SLA + W
4. SLA+W 전송 : TWCR ➔ TWINT=1, TWEN=1
5. Ack 체크 : TWSR ➔ TWSR & 0xF8 = 0x18
6. TWDR에 데어터값 세트 : TWDR ➔ TWDR = DATA
7. 데이터 전송 : TWCR ➔ TWINT=1, TWEN=1
7. Ack 체크 : TWSR ➔ TWSR & 0xF8 = 0x28
8. STOP 전송 : TWCR ➔ TWINT=1, TWSTO=1, TWEN=1

ATmega128의 TWI 인터페이스

TWI 동작

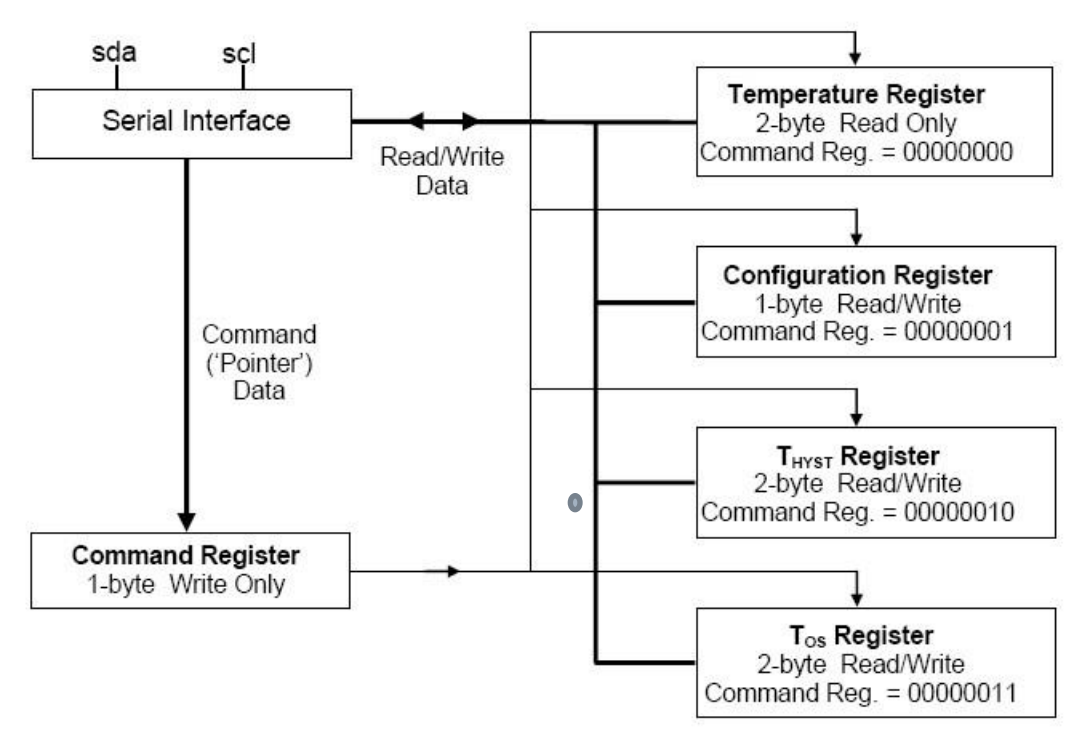
Master 수신(Read)



1. START 전송 : TWCR ➔ TWINT=1, TWSTA=1, TWEN=1
2. 상태 체크 : TWSR ➔ TWSR & 0xF8 = 0x08
3. TWDR에 SLA+W 세트 : TWDR ➔ TWDR = SLA + W
4. SLA+W 전송 : TWCR ➔ TWINT=1, TWEN=1
5. Ack 체크 : TWSR ➔ TWSR & 0xF8 = 0x40
6. 데이터 수신 : TWCR ➔ TWINT=1, TWEA=1, TWEN=1
7. 상태 체크 : TWSR ➔ TWSR & 0xFC = 0x50 (다음 데이터의 경우 6, 7 반복)
8. STOP 전송 : TWCR ➔ TWINT=1, TWSTA=0, TWSTO=1, TWEN=1

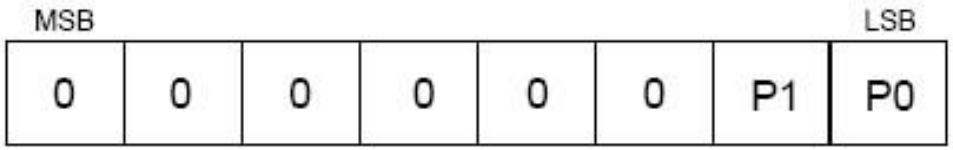
aTS75 온도 센서의 TWI 인터페이스

- aTS75 : 레지스터



aTS75 온도 센서의 TWI 인터페이스

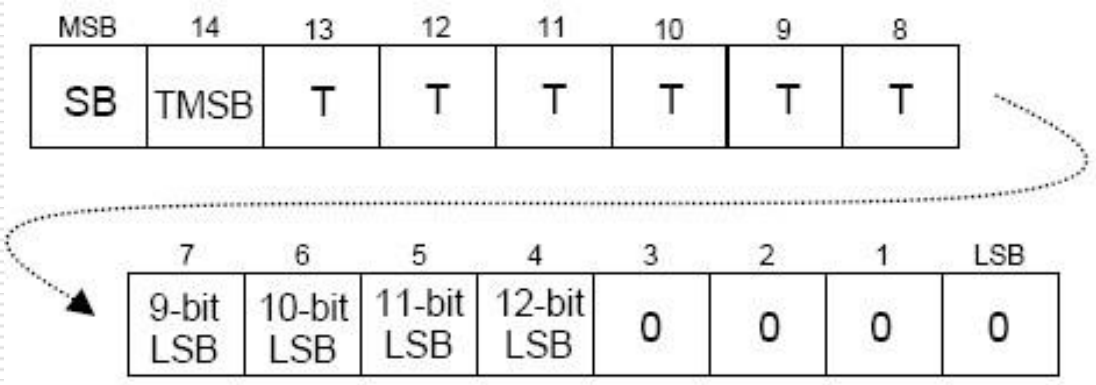
- aTS75 : Command Register
  - 내부의 다른 레지스터를 지정하기 위한 레지스터
  - 일종의 Indirect Address Register 역할
  - 다른 레지스터에 접근하기 위하여는 먼저 Command Register에 접근하고자 하는 레지스터에 해당되는 값을 Write 한 후에 원하는 레지스터를 Read/Write하여야 함



Register	P1	P0
Temperature Register	0	0
Configuration Register	0	1
T_{HYST} Register	1	0
T_{OS} Register	1	1

aTS75 온도 센서의 TWI 인터페이스

- aTS75 : Temperature Register
  - 온도값 표시 : 표시 형식은 다음 테이블 참조
  - 2 바이트 (16비트)



SB = Two's complement sign bit
TMSB = Temperature MSB
T = Temperature data
9-bit LSB = Temperature LSB for 9-bit conversions
10-bit LSB = Temperature LSB for 10-bit conversions
11-bit LSB = Temperature LSB for 11-bit conversions
12-bit LSB = Temperature LSB bit for 12-bit conversions

aTS75 온도 센서의 TWI 인터페이스

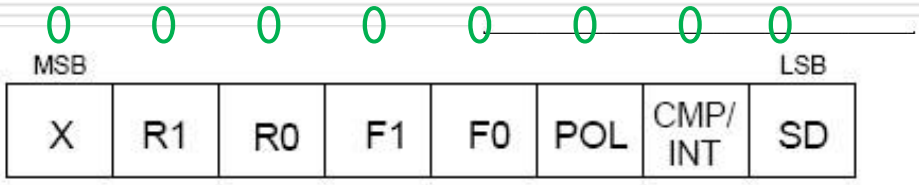
- aTS75 : 온도와 디지털값과의 관계

2's complement 표현 방식 사용

Temperature	Digital Output							
	Sign Bit	Number of bits used by conversion resolution		9-bit	10-bit	11-bit	12-bit	Always zero
All Temperatures	12-Bit Resolution							0000
	11-Bit Resolution						0	0000
	10-Bit Resolution					0	0	0000
	9-Bit Resolution				0	0	0	0000
+125°C	0	111	1101	0	0	0	0	0000
+100.0625°C	0	110	0100	0	0	0	1	0000
+50.125°C	0	011	0010	0	0	1	0	0000
+12.25°C	0	000	1100	0	1	0	0	0000
0°C	0	000	0000	0	0	0	0	0000
-20.5°C	1	110	1011	1	0	0	0	0000
-33.25°C	1	101	1110	1	1	0	0	0000
-45.0625°C	1	101	0010	1	1	1	1	0000
-55°C	1	100	1001	0	0	0	0	0000

aTS75 온도 센서의 TWI 인터페이스

- aTS75 : Configuration Register
  - 온도값 유효 비트 설정 : **9,** 10, 11, 12 비트
  - 모드 설정 : **Comparator mode** vs Interrupt mode



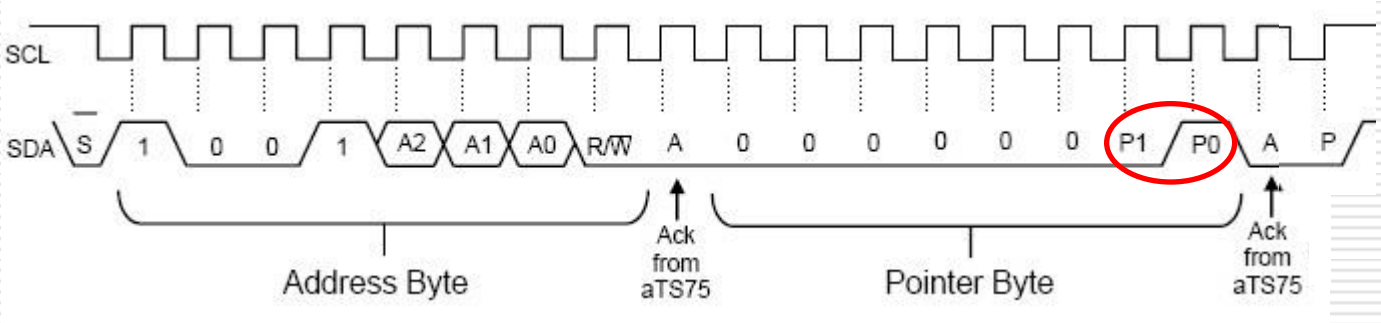
R1 = Resolution bit 1. (See Table 3)
R0 = Resolution bit 0 . (See Table 3)
F1 = Fault tolerance bit 1. (See Table 4)
F0 = Fault tolerance bit 0 . (See Table 4)
POL = O.S. output polarity. 0 = active low, 1 = active high.
CMP/INT = Thermostat mode.
0 = Comparator Mode, 1 = Interrupt Mode.
SD = Shutdown. 0 = normal operation. 1 = Shutdown Mode

aTS75 온도 센서의 TWI 인터페이스

- aTS75 : Slave Address 설정
  - Slave Address 값 = 1001(A2)(A1)(A0) (7비트)
    - 1001은 내부적으로 고정
    - (A2)(A1)(A0)은 외부 하드웨어 신호 연결의 레벨에 따라 결정
      - ✓ Vcc 연결이면 '1'
      - ✓ GND 연결이면 '0'
      - ✓ 예 : JKIT-128-1에서는 '100' ➔ 1001100

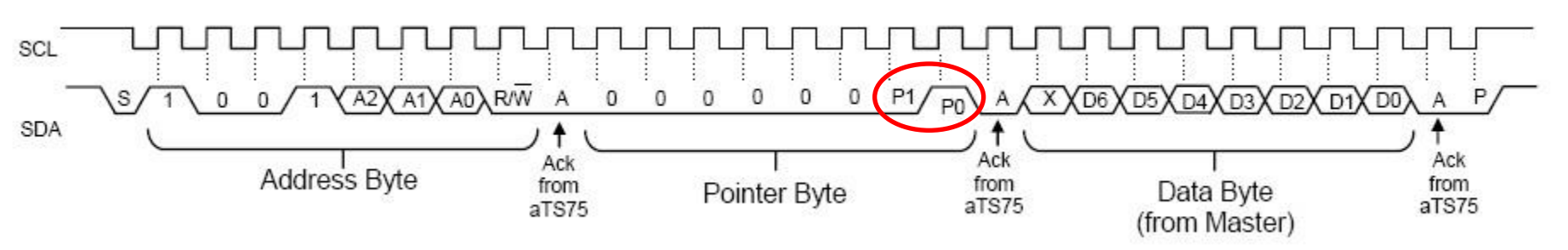
aTS75 온도 센서의 TWI 인터페이스

- aTS75 : TWI Read/Write Operation
  - Pointer Set(Command Register)

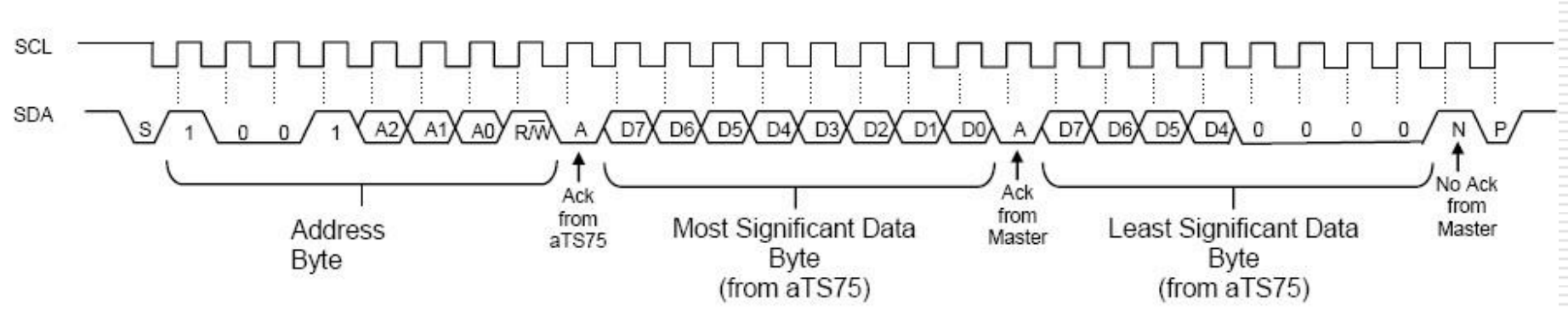


aTS75 온도 센서의 TWI 인터페이스

- aTS75 : TWI Read/Write Operation
  - One Byte Write with Pointer Set(Command/Configuration R)



  - Two Bytes Read with Preset



실습 TEMP-1 : 온도센서로 디지털온도계 만들기

- 실습 내용
  - aTS75 온도센서를 이용하여 디지털 온도계 만들기
    - 0.5도 단위까지 측정
    - FND에 "(-)XY.Z" 형태로 표시

실습 TEMP-1 : 온도센서로 디지털온도계 만들기

- 구동 프로그램 설계 : 디지털온도계 (temp_1.c)
  - aTS75에서 온도값을 아래 순서로 Read
    - aTS75의 Configuration Register를 적합한 값으로 Write
      - 9 bit 모드, Normal 모드 선택
      - Internal Address(0x98) & Register의 2바이트 데이터 전송
    - aTS75의 Command Register가 Temperature Register를 포인팅 하도록 세트한 후 2바이트 온도값 읽기
  - 읽은 온도값을 아래와 같이 디스플레이
    - 읽은 High Byte의 MSB 값을 확인하여 '0' 이면 FND[3]에 아무것도 디스플레이하지 않고 '1'이면 '-'를 디스플레이하고 나머지 부분을 비트 Exclusive OR 한 값으로 변경
    - High Byte 부분을 FND[2]-FND[1]에 디스플레이 하며, FND[1]에는 '.'를 함께 표시
    - FND[0]는 Low Byte의 MSB 값을 확인하여 '0'이면 '0'을 디스플레이하고, '1'이면, '5'를 디스플레이 함

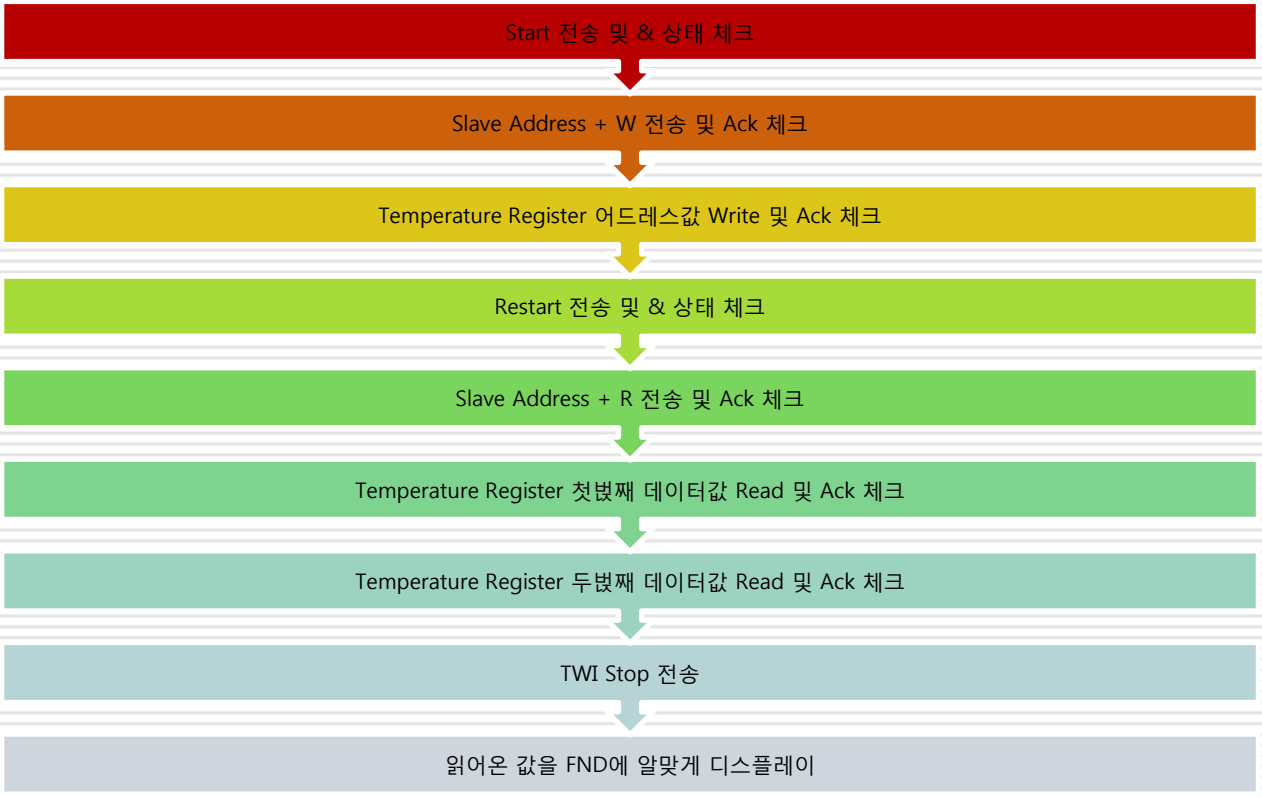
실습 TEMP-2 : 온도센서로 디지털온도계 만들기

구동 프로그램 설계 : 디지털온도계 (temp_1.c)

계속하여 …

실습 TEMP-2 : 온도센서로 디지털온도계 만들기

구동 프로그램 설계 : 디지털온도계 (temp_1.c)



실습 TEMP-2 : 온도센서로 디지털온도계 만들기

구동 프로그램 코딩 : 디지털온도계 (temp_1.c)

```
#define F_CPU       16000000UL          // CPU 클록 값 = 16 Mhz
#define F_SCK       40000UL             // SCK 클록 값 = 40 Khz
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#define ATS75_ADDR          0x98        // 0b10011000, 7비트를 1비트 left shift
#define ATS75_CONFIG_REG            1
#define ATS75_TEMP_REG              0
void init_twi_port();
void write_twi_1byte_nopreset(char reg, char data);
int read_twi_2byte_nopreset(char reg);
void display_FND(int value);
```

실습 TEMP-2 : 온도센서로 디지털온도계 만들기

구동 프로그램 코딩 : 디지털온도계 (temp_1.c)

```
int main()
{
        int         temperature;
        init_twi_port();                    // TWI 및 포트 초기화
        write_twi_1byte_nopreset(ATS75_CONFIG_REG, 0x00); // 9비트, Normal
        _delay_ms(100);                     // 다음 사이클을 위하여 잠시 기다림
        while (1)                           // 온도값 읽어 FND 디스플레이
        {
            temperature = read_twi_2byte_nopreset(ATS75_TEMP_REG);
            display_FND(temperature);
        }
}
```

실습 TEMP-2 : 온도센서로 디지털온도계 만들기

구동 프로그램 코딩 : 디지털온도계 (temp_1.c)

```
void init_twi_port()
{
        DDRC = 0xff; DDRG = 0xff;    // FND 출력 세팅
        PORTD = 3;                   // For Internal pull-up for SCL & SCK
        SFIOR &= ~(1<<PUD);          // PUD = 0 : Pull Up Disable
        TWBR = (F_CPU/F_SCK - 16) / 2;        // 공식 참조, bit trans rate 설정
        TWSR = TWSR & 0xfc;                   // Prescaler 값 = 00 (1배)
}
```

실습 TEMP-2 : 온도센서로 디지털온도계 만들기

구동 프로그램 코딩 : 디지털온도계 (temp_1.c)

```
void write_twi_1byte_nopreset(char reg, char data)
{
        TWCR = (1 << TWINT) | (1<<TWSTA) | (1<<TWEN);// START 전송
        while (((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x08) ;
                // START 상태 검사, 이후 모두 상태 검사
        TWDR = ATS75_ADDR | 0;                          // SLA+W 준비, W=0
        TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN);              // SLA+W 전송
        while (((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x18) ;
        TWDR = reg;                                     // aTS75 Reg 값 준비
        TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN);              // aTS75 Reg 값 전송
        while (((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x28) ;
        TWDR = data;                                    // DATA 준비
        TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN);              // DATA 전송
        while (((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x28) ;
        TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWSTO) | (1 << TWEN);     // STOP 전송
}
```

실습 : 온도센서를 이용하여 디지털온도계 만들기

구동 프로그램 코딩 : 디지털온도계 (temp_1.c)

```
int read_twi_2byte_nopreset(char reg)
{
        char high_byte, low_byte;
        TWCR = (1 << TWINT) | (1<<TWSTA) | (1<<TWEN);// START 전송
        while (((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x08) ;
                // START 상태 검사, 이후 ACK 및 상태 검사
        TWDR = ATS75_ADDR | 0;                          // SLA+W 준비, W=0
        TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN);              // SLA+W 전송
        while (((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x18) ;
        TWDR = reg;                                     // aTS75 Reg 값 준비
        TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN);              // aTS75 Reg 값 전송
        while (((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x28) ;
```

실습 : 온도센서를 이용하여 디지털온도계 만들기

- 구동 프로그램 코딩 : 디지털온도계 (temp_1.c)

```
        TWCR = (1 << TWINT) | (1<<TWSTA) | (1<<TWEN);// RESTART 전송
        while (((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x10) ;
                // RESTART 상태 검사, 이후 ACK, NO_ACK 상태 검사
        TWDR = ATS75_ADDR | 1;                          // SLA+R 준비, R=1
        TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN);              // SLA+R 전송
        while (((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x40) ;
        TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN | 1 << TWEA);// 1st DATA 준비
        while(((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x50);
        high_byte = TWDR;                               // 1st DATA 수신
        TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN);// 2nd DATA 준비
        while(((TWCR & (1 << TWINT)) == 0x00) || (TWSR & 0xf8) != 0x58);
        low_byte = TWDR;                                // 2nd DATA 수신
        TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWSTO) | (1 << TWEN);     // STOP 전송
        return((high_byte<<8) | low_byte);              // 수신 DATA 리턴
}
```

실습 TEMP-2 : 온도센서로 디지털온도계 만들기

구동 프로그램 코딩 : 디지털온도계 (temp_1.c)

```
void display_FND(int value)
{
        char digit[12] = {0x3f, 0x06, 0x5b, 0x4f, 0x66, 0x6d, 0x7c, 0x07, 0x7f, 0x67,
0x40, 0x00};
        char fnd_sel[4] = {0x01, 0x02, 0x04, 0x08};

        char value_int, value_deci, num[4];
        int i;
        if((value & 0x8000) != 0x8000)                  // Sign 비트 체크
                num[3] = 11;
        else
        {       num[3] = 10;
                value = (~value)-1;                     // 2's Compliment
        }
```

실습 TEMP-2 : 온도센서로 디지털온도계 만들기

- 구동 프로그램 코딩 : 디지털온도계 (temp_1.c)

```
        value_int = (char)((value & 0x7f00) >> 8);
        value_deci = (char)(value & 0x00ff);
        num[2] = (value_int / 10) % 10;
        num[1] = value_int % 10;
        num[0] = ((value_deci & 0x80) == 0x80) * 5;
        for(i=0; i<4; i++)
        {
                PORTC = digit[num[i]];
                PORTG = fnd_sel[i];
                if(i==1)
                        PORTC |= 0x80;
                _delay_ms(2);
        }
}
```

묻고 답하기

Q & A