



## AVR 10회차

임베디드스쿨1기

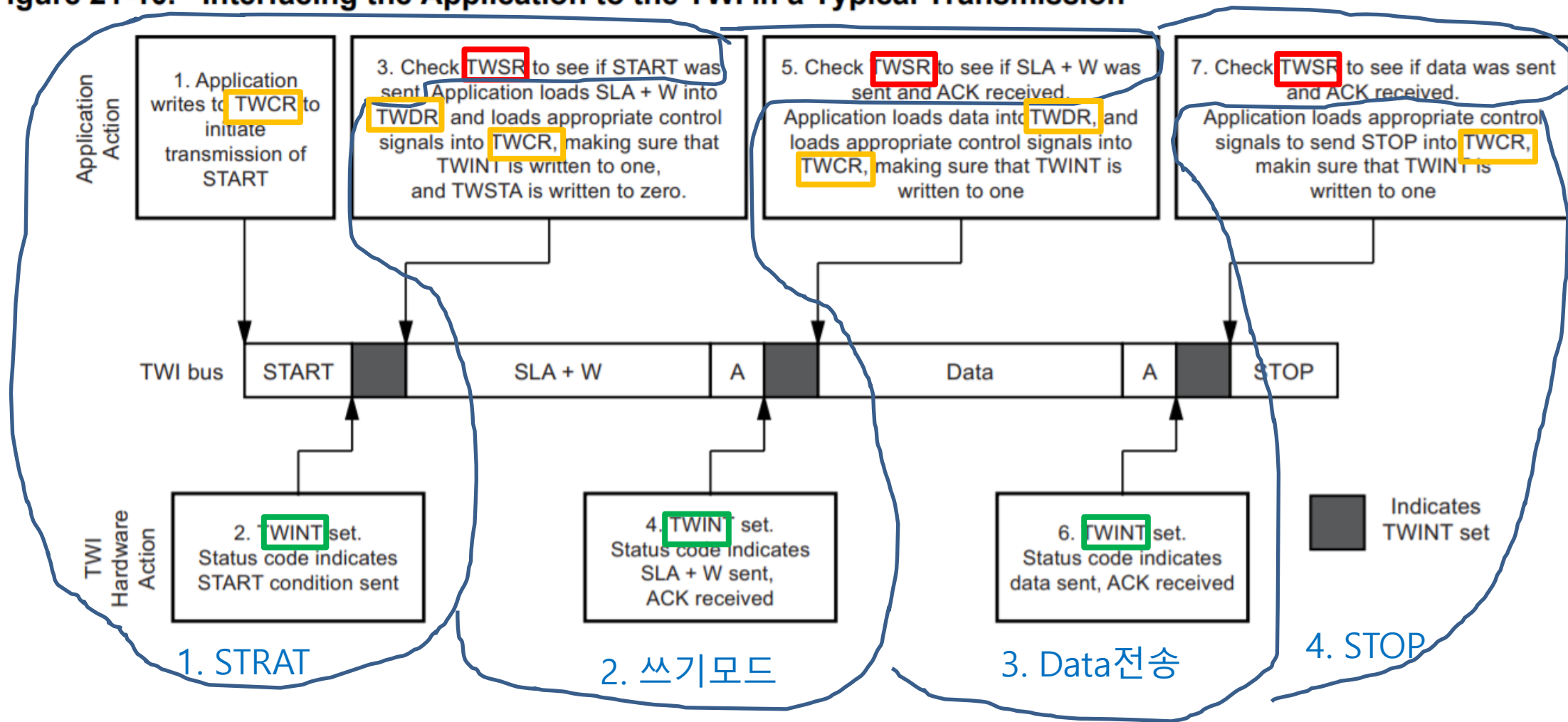
lv1과정

2020. 11. 20

김인겸

# TWI 복습

Figure 21-10. Interfacing the Application to the TWI in a Typical Transmission



**TWCR** 설정 -> **TWINT** 체크 -> **TWSR** 체크  
이렇게 한 사이클임

원하는 동작이 잘 수행되면 **TWINT** flag가 set되고  
그때 **TWSR**가 각각의 모드와 동작에 맞게 세팅  
되는데 그 값을 확인하면 된다(이미 정해져 있음)

# TWI 복습

---

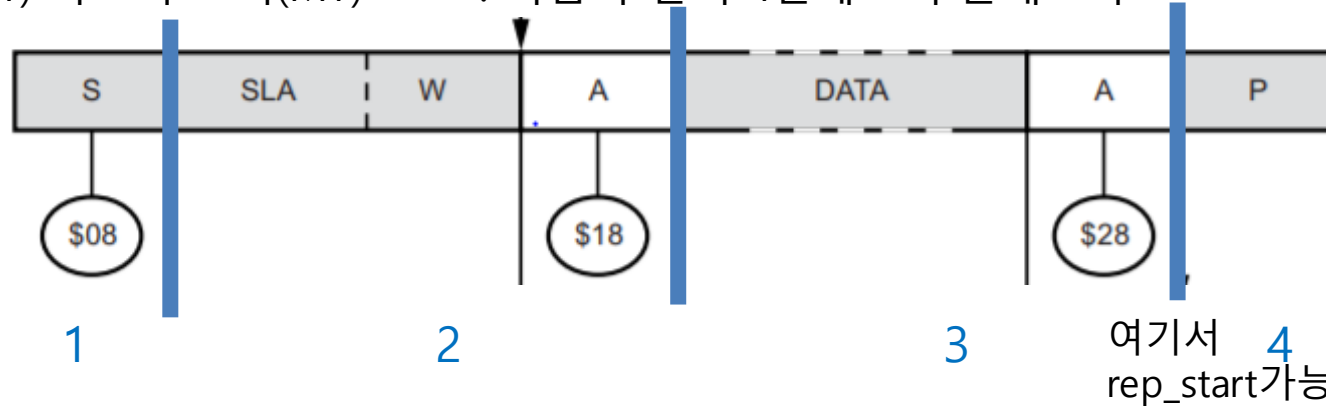
- TWINT flag가 set되는 조건!!

The TWINT flag is set in the following situations:

- After the TWI has transmitted a START/REPEATED START condition.
- After the TWI has transmitted SLA+R/W.
- After the TWI has transmitted an address byte.
  - After the TWI has lost arbitration.
  - After the TWI has been addressed by own slave address or general call.
- After the TWI has received a data byte.
- After a STOP or REPEATED START has been received while still addressed as a slave.
  - When a bus error has occurred due to an illegal START or STOP condition.

# TWI 복습

1) 마스터 쓰기(MT) 모드 : 다음과 같이 4단계로 구분해보자



1~4단계를 수행할 때  
TWCR을 다음과 같이  
설정하고  
TWSR을 표와같이 체크한다

SART :

TWCR value	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE
	1	X	1	0	X	1	0	X

SLA + W :

TWCR value	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE
	1	X	0	0	X	1	0	X

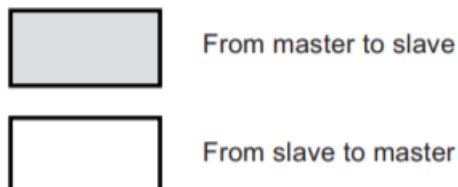
DATA :

TWCR value	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE
	1	X	0	0	X	1	0	X

STOP :

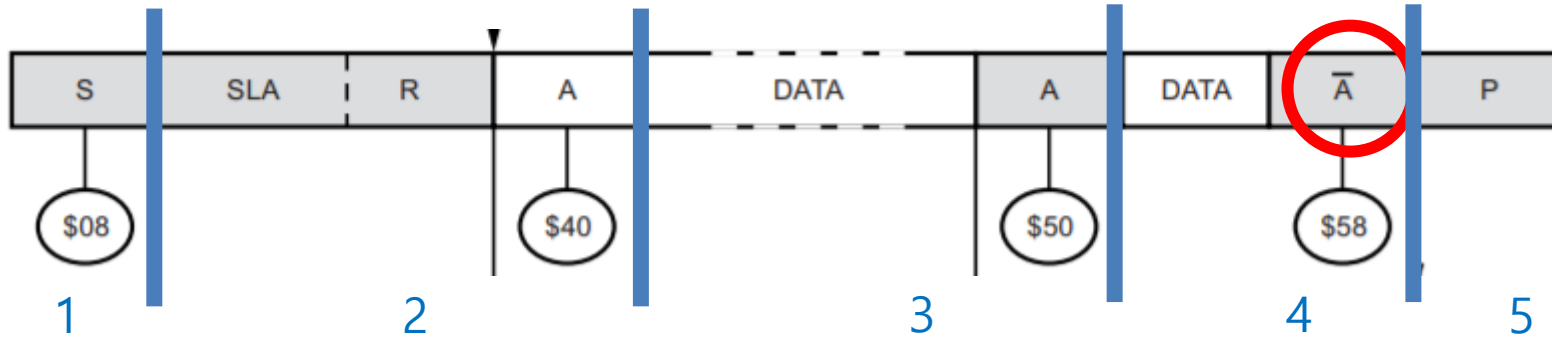
TWCR value	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE
	1	X	0	1	X	1	0	X

TWSR	조건
0x08	START condition
0x10	Repeated SART condition
0x18	SLA_W transmitted : receive ACK
0x28	DATA byte transmitted : receive ACK



# TWI 복습

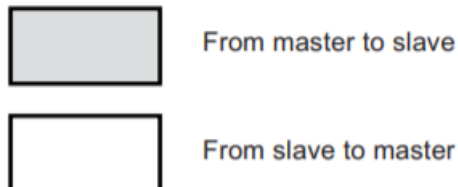
2) 마스터 읽기(MR) 모드 : 다음과 같이 4단계, 혹은 5단계로 구분해보자



여러 바이트의 데이터를 수신받은 후 마지막에는 NACK신호를 전송한다

읽기 모드일때도 TWCR은 방금 전의 그림을 따르고 TWSR을 표와같이 체크해준다.

TWSR	조건
0x08	START condition
0x10	Repeated SART condition
0x40	SLA+R has been transmitted; ACK has been received
0x50	Data byte has been received; ACK has been returned
0x58	Data byte has been received; NOT ACK has been returned



# TWI 복습

## TWCR – TWI Control Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0xBC)	<b>TWINT</b>	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	<b>TWEN</b>	–	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  
set -> interrupt flag  
clear를 의미함.  
하드웨어적으로  
clear되지 않으므로  
소프트웨어적으로  
clear해야됨.

시작 조건

정지 조건

Master가 Slave에게 ACK펄스를 보내고 싶을 때 사용함!!

TWINT, TWEN은 필수로 set해야됨. 나머지는 상황에 맞게.

## TWSR – TWI Status Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0xB9)	<b>TWS7</b>	<b>TWS6</b>	<b>TWS5</b>	<b>TWS4</b>	<b>TWS3</b>	–	<b>TWPS1</b>	<b>TWPS0</b>	TWSR
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	1	1	1	1	1	0	0	0	

프리스케일러

TWPS1	TWPS0	Prescaler Value
0	0	1
0	1	4
1	0	16
1	1	64

이 5개의 비트로 상태를 계속해서 체크함.  
읽기 전용.

```
uint8_t twi_status = TWSR & 0xF8;
```

# TWI 복습

## TWBR – TWI Bit Rate Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0xB8)	<b>TWBR7</b>	<b>TWBR6</b>	<b>TWBR5</b>	<b>TWBR4</b>	<b>TWBR3</b>	<b>TWBR2</b>	<b>TWBR1</b>	<b>TWBR0</b>	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	

$$\text{SCL frequency} = \frac{\text{CPU Clock frequency}}{16 + 2(\text{TWBR}) \times (\text{Prescaler Value})}$$

## TWDR – TWI Data Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0xBB)	<b>TWD7</b>	<b>TWD6</b>	<b>TWD5</b>	<b>TWD4</b>	<b>TWD3</b>	<b>TWD2</b>	<b>TWD1</b>	<b>TWD0</b>	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	

## TWAR – TWI (Slave) Address Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0xBA)	<b>TWA6</b>	<b>TWA5</b>	<b>TWA4</b>	<b>TWA3</b>	<b>TWA2</b>	<b>TWA1</b>	<b>TWA0</b>	<b>TWGCE</b>	TWAR
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	0	

슬레이브로 쓰일 때  
제조단계에서 이미  
만들어진 주소

## TWAMR – TWI (Slave) Address Mask Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0xBD)	<b>TWAM[6:0]</b>							<b>-</b>	TWAMR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	



# MS5611 센서 복습

## TECHNICAL DATA

Sensor Performances (V <sub>DD</sub> = 3 V)				
Pressure	Min	Typ	Max	Unit
Range	10		1200	mbar
ADC	24			bit
Resolution (1)	0.065 / 0.042 / 0.027 / 0.018 / <b>0.012</b>			mbar
Accuracy 25°C, 750 mbar	-1.5		+1.5	mbar
Error band, -20°C to +85°C, 450 to 1100 mbar (2)	-2.5		+2.5	mbar
Response time (1)	0.5 / 1.1 / 2.1 / 4.1 / <b>8.22</b>			ms
Long term stability		±1		mbar/yr
Temperature	Min	Typ	Max	Unit
Range	-40		+85	°C
Resolution		<0.01		°C
Accuracy	-0.8		+0.8	°C
Notes: (1) Oversampling Ratio: 256 / 512 / 1024 / 2048 / <b>4096</b> (2) With autozero at one pressure point				

- 오버샘플링 : 샘플링 할 수 있는 최고의 샘플링 주파수로 신호를 샘플링하는 과정.
- OSR ↑ -> 분해능 ↑, 변환 시간 ↑, 공급전류 ↑

분해능(비트)

분해능(mbar)

## SPECIFICATIONS

- High resolution module, 10 cm
- Fast conversion down to 1 ms
- Low power, 1  $\mu$ A (standby < 0.15  $\mu$ A)
- QFN package 5.0 x 3.0 x 1.0 mm<sup>3</sup>
- Supply voltage 1.8 to 3.6 V
- Integrated digital pressure sensor (24 bit  $\Delta\Sigma$  ADC)
- Operating range: 10 to 1200 mbar, -40 to +85 °C
- I<sup>2</sup>C and SPI interface up to 20 MHz
- No external components (Internal oscillator)
- Excellent long-term stability





# MS5611 센서 복습

## COMMANDS 다섯 가지 명령만 익히면 됨

The MS5611-01BA has only five basic commands:

1. Reset
2. Read PROM (128 bit of calibration words)
3. D1 conversion
4. D2 conversion
5. Read ADC result (24 bit pressure / temperature)

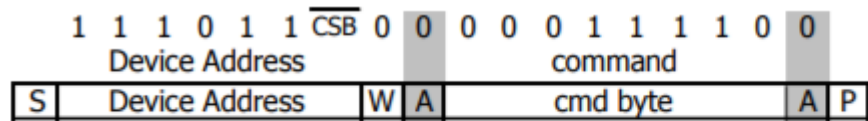
	Command byte								hex value
Bit number	0	1	2	3	4	5	6	7	
Bit name	PR M	COV	-	Typ	Ad2/ Os2	Ad1/ Os1	Ad0/ Os0	Stop	
Command									
Reset	0	0	0	1	1	1	1	0	0x1E
Convert D1 (OSR=256)	0	1	0	0	0	0	0	0	0x40
Convert D1 (OSR=512)	0	1	0	0	0	0	1	0	0x42
Convert D1 (OSR=1024)	0	1	0	0	0	1	0	0	0x44
Convert D1 (OSR=2048)	0	1	0	0	0	1	1	0	0x46
Convert D1 (OSR=4096)	0	1	0	0	1	0	0	0	0x48
Convert D2 (OSR=256)	0	1	0	1	0	0	0	0	0x50
Convert D2 (OSR=512)	0	1	0	1	0	0	1	0	0x52
Convert D2 (OSR=1024)	0	1	0	1	0	1	0	0	0x54
Convert D2 (OSR=2048)	0	1	0	1	0	1	1	0	0x56
Convert D2 (OSR=4096)	0	1	0	1	1	0	0	0	0x58
ADC Read	0	0	0	0	0	0	0	0	0x00
PROM Read	1	0	1	0	Ad2	Ad1	Ad0	0	0xA0 to 0xAE

D1(압력)을 오버샘플링비율  
4096으로 Convert하겠다는 뜻

포기하면 얻는 건 아무것도 없다.

# MS5611 센서 복습

## 1. 리셋 명령

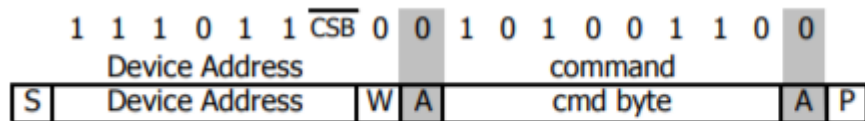


From Master      S = Start Condition      W = Write      A = Acknowledge  
From Slave      P = Stop Condition      R = Read      N = Not Acknowledge

Figure 10: I<sup>2</sup>C Reset Command

쓰기모드 1번만 실행시킴

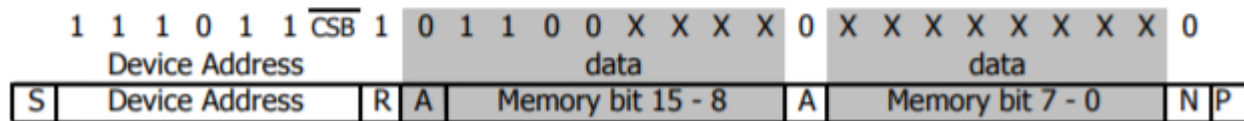
## 2. PROM Read 명령



From Master      S = Start Condition      W = Write      A = Acknowledge  
From Slave      P = Stop Condition      R = Read      N = Not Acknowledge

Figure 11: I<sup>2</sup>C Command to read memory address= 011 (Coefficient 3)

쓰기모드 1번,  
읽기모드 1번 실행시킴.  
PROM에 있는 보정계수는  
16bit이므로 데이터를 8비트씩  
두 번 받음.

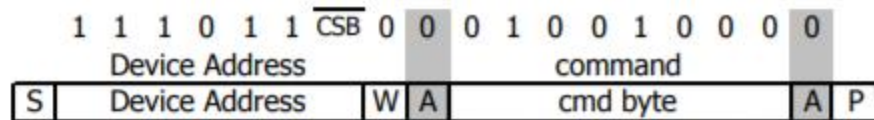


From Master      S = Start Condition      W = Write      A = Acknowledge  
From Slave      P = Stop Condition      R = Read      N = Not Acknowledge

Figure 12: I<sup>2</sup>C answer from MS5611-01BA

# MS5611 센서 복습

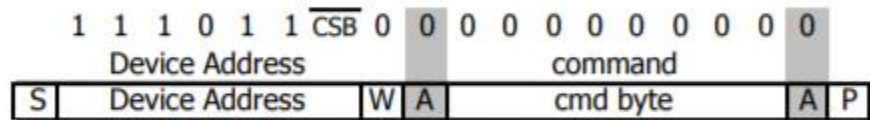
## 3. Convert 명령



D1을 OSR= 4096으로 Convert하라는 명령



Figure 13: I<sup>2</sup>C Command to initiate a pressure conversion (OSR=4096, typ=D1)



Convert한 D1을 읽으라는 명령



Figure 14: I<sup>2</sup>C ADC read sequence



D1은 24bit이므로 데이터를 세 번 받음.

Figure 15: I<sup>2</sup>C answer from MS5611-01BA

# EEPROM 특징

---

ATmega328p는 1KByte의 EEPROM을 가짐.  
EEPROM은 읽고 쓸 수 있는 비휘발성 메모리.  
SRAM에 비해 접근 시간이 느림.  
100,000번 쓰기 가능.

# EEPROM 레지스터

EEARH and EEARL – The EEPROM Address Register

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8
0x22 (0x42)	–	–	–	–	–	–	–	EEAR8
0x21 (0x41)	EEAR7	EEAR6	EEAR5	EEAR4	EEAR3	EEAR2	EEAR1	EEAR0
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	X
	X	X	X	X	X	X	X	X

EEDR – The EEPROM Data Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
0x20 (0x40)	MSB							LSB
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

10비트가 아니라 왜 9비트임?

쓰기 이전에 set되어야 됨,  
set된 후에 4클럭 이후 자동으로 clear되므로 4클럭  
이내에 EEPF를 set해야 데이터를 쓸 수 있음.

EECR – The EEPROM Control Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
0x1F (0x3F)	–	–	EEPM1	EEPM0	EERIE	EEMPE	EEPE	EERE
Read/Write	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Initial Value	0	0	X	X	0	0	X	0

인터럽트  
enable

모드 설정

쓰기 읽기

프로그래밍 시간이 느린 것을 확인할 수 있다

EEPM1	EEPM0	Programming Time	Operation
0	0	3.4ms	Erase and write in one operation (atomic operation)
0	1	1.8ms	Erase only
1	0	1.8ms	Write only
1	1	–	Reserved for future use



# EEPROM 접근 과정

1. Wait until EEPE becomes zero.
2. Wait until SELFPRGEN in SPMCSR becomes zero. EEPROM은 CPU가 플래시 메모리에 쓰는 동안 프로그래밍 할 수 없으므로 이 비트를 체크 해야됨
3. Write new EEPROM address to EEAR (optional).
4. Write new EEPROM data to EEDR (optional).
5. Write a logical one to the EEMPE bit while writing a zero to EEPE in EECR.
6. Within four clock cycles after setting EEMPE, write a logical one to EEPE.

6단계 : EEPROM이 기록되면 CPU는 다음 명령이 실행되기 전에 2 클럭 사이클 동안 정지.

+ ) EEPROM을 읽으면 CPU는 다음 명령이 실행되기 전에 4 클럭 사이클 동안 정지.

\* 5~6단계 사이에서 인터럽트 발생 시 4사이클 이내에 EEPE를 set할 수 없으므로 EEPROM에 데이터가 쓰이지 않음. 따라서 SREG는 clear해주는 것이 좋음.

## SPMCSR – Store Program Memory Control and Status Register

The store program memory control and status register contains the control bits needed to control the program memory operations.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x37 (0x57)	SPMIE	RWWSB	–	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SELFPRGEN	SPMCSR
Read/Write	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

플래쉬 메모리에 데이터를 지우거나 쓰는 중에는 이 비트가 set되고 그렇지 않으면 clear됨.  
따라서 EEPROM에 데이터를 쓰거나 읽을 때 이 비트가 clear되었는지 확인해야함.

# EEPROM 예제

```
void EEPROM_write(unsigned int uiAddress, unsigned char ucData)
```

```
{  
    /* Wait for completion of previous write */  
    while(EECR & (1<<EEPE))  
    ;  
    /* Set up address and Data Registers */  
    EEAR = uiAddress;  
    EEDR = ucData;  
    /* Write logical one to EEMPE */  
    EECR |= (1<<EEMPE);  
    /* Start eeprom write by setting EEPE */  
    EECR |= (1<<EEPE);  
}
```

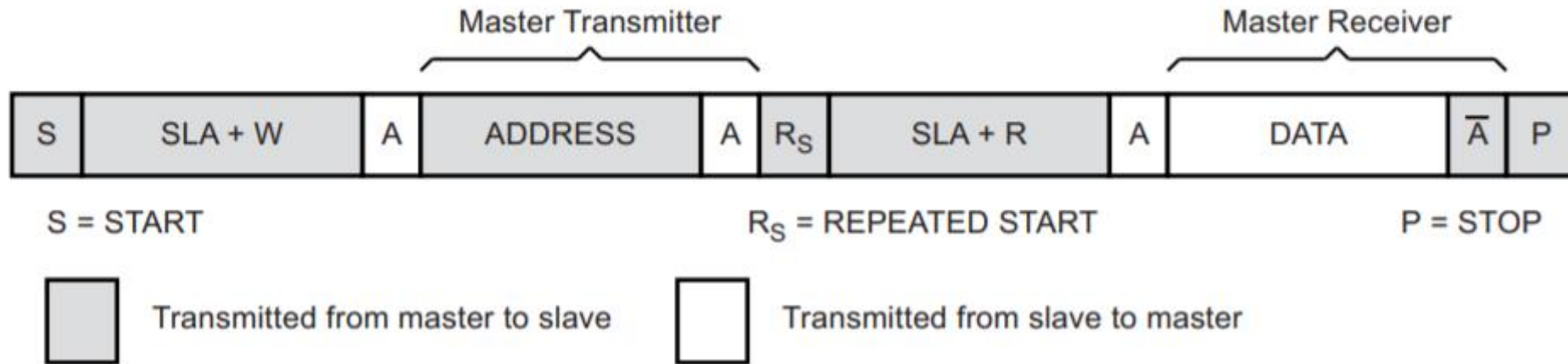
전역 인터럽트 비활성화 되어  
있고 플래쉬 프로그램 쓰기  
과정은 없다고 가정

```
unsigned char EEPROM_read(unsigned int uiAddress)
```

```
{  
    /* Wait for completion of previous write */  
    while(EECR & (1<<EEPE))  
    ;  
    /* Set up address register */  
    EEAR = uiAddress;  
    /* Start eeprom read by writing EERE */  
    EECR |= (1<<EERE);  
    /* Return data from Data Register */  
    return EEDR;  
}
```

# EEPROM with TWI

## Combining Several TWI Modes to Access a Serial EEPROM



TWI방식을 이용하여 다른 센서의 EEPROM에 있는 데이터를 읽어올 수 있다

# 와치독 타이머

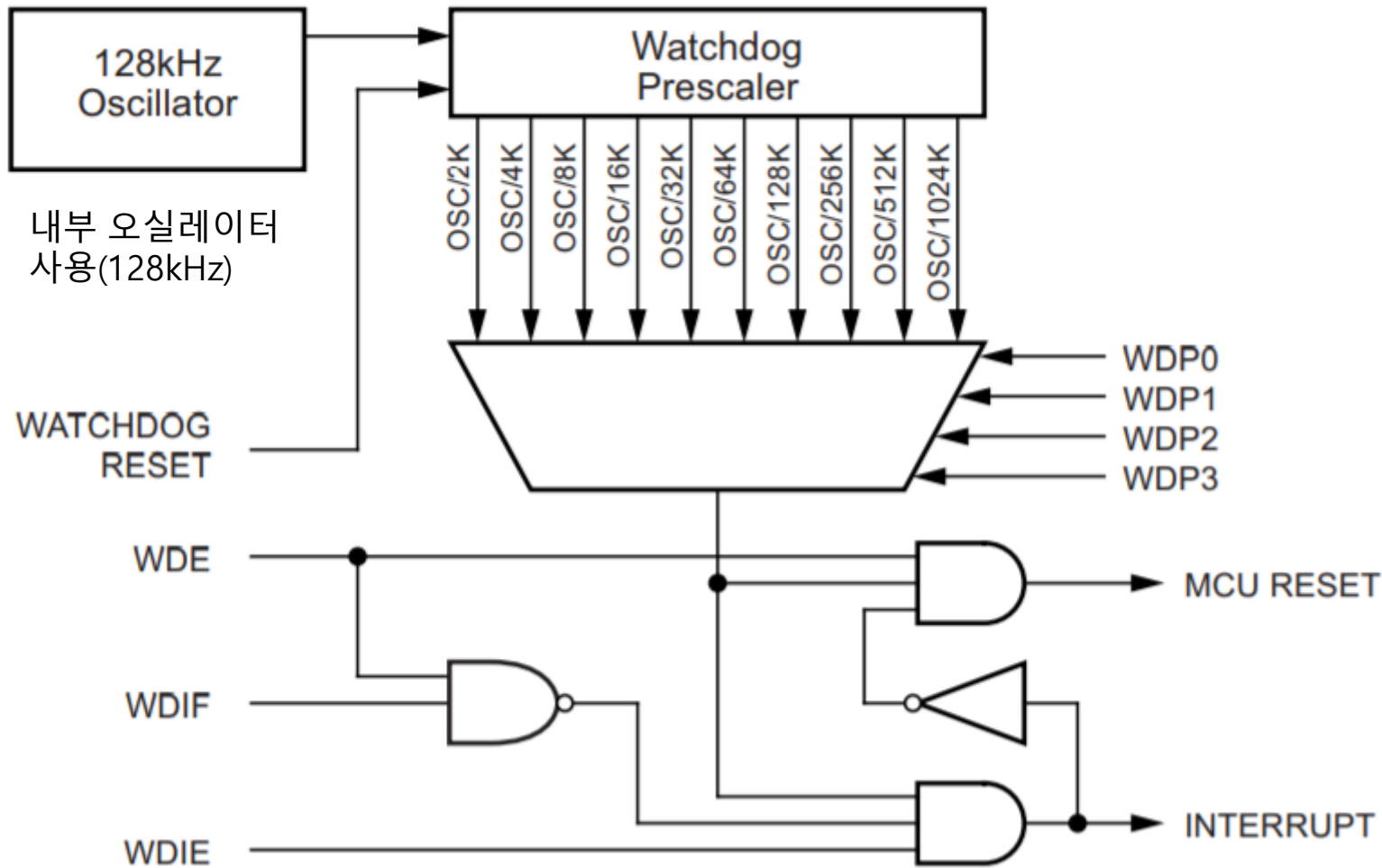
---

시스템이 정상적인 동작을 수행하지 않을 때(무한 루프에 빠지거나 정지하는 경우) 시스템을 리셋시키기 위해서 사용됨.

와치독 타이머를 잘못 설정하면 시스템이 비정상적인 리셋을 반복할 수 있으므로 사용할 때 주의해야한다!

- Clocked from separate on-chip oscillator
- 3 operating modes 세가지 모드!!
  - Interrupt
  - System reset
  - Interrupt and system reset
- Selectable time-out period from 16ms to 8s 16ms ~ 8s 주기의 타이머를 설정할 수 있다
- Possible hardware fuse watchdog always on (WDTON) for fail-safe mode

# 와치독 타이머



Reset이랑 Interrupt를 같이 쓸 경우 인터럽트가 먼저 발생하고 그 다음에 리셋이 수행된다.

# 와치독 타이머

## MCUSR – MCU Status Register

The MCU status register provides information on which reset source caused an MCU reset.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
0x35 (0x55)	-	-	-	-	WDRF	BORF	EXTRF	PORF
Read/Write	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W
Initial Value	0	0	0	0		See Bit Description		

와치독 리셋이 발생되면  
Flag가 Set됨

## WDTCR – Watchdog Timer Control Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
(0x60)	WDIF	WDIE	WDP3	WDCE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Initial Value	0	0	0	0	X	0	0	0

주기를 변경하고  
싶을 때 사용함

분주비(표 참고) : 타이머 주기를  
설정할 수 있다

모드 설정

리셋

인터럽트

WDTON <sup>(1)</sup>	WDE	WDIE	Mode	Action on Time-out
1	0	0	Stopped	None
1	0	1	Interrupt mode	Interrupt
1	1	0	System reset mode	Reset
1	1	1	Interrupt and system reset mode	Interrupt, then go to system reset mode
0	x	x	System reset mode	Reset



하이 퓨즈 비트에서 설정할 수 있음.