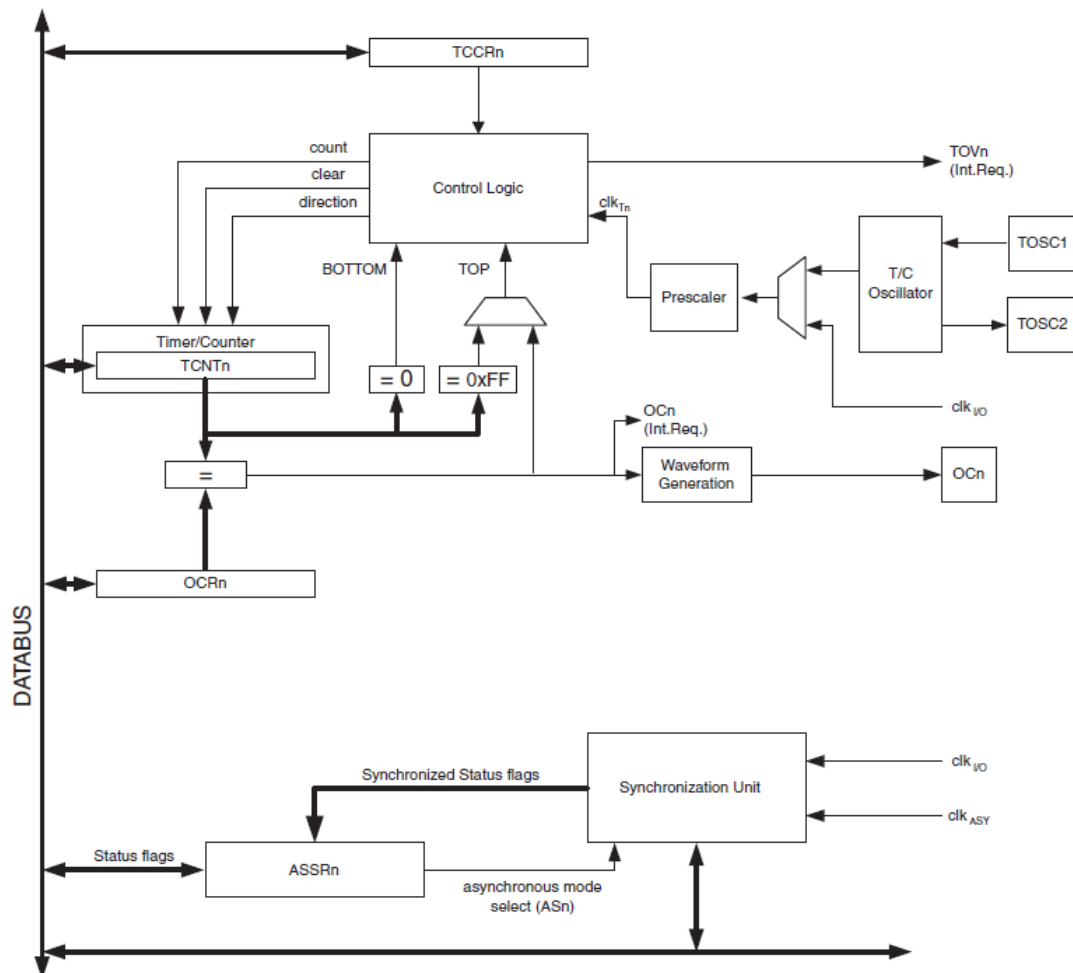


Atmega128 8-bit Timer/Counter0

- 주요 기능
 - Single Channel Counter
 - Clear Timer on Compare Match
 - Phase Correct Pulse Width Modulator (PWM)
 - Frequency Generator
 - 10-bit Clock Prescaler
 - Overflow / Compare Match Interrupt Sources (TOV0, OCF0)

Figure 34. 8-bit Timer/Counter Block Diagram



- Registers
 - Timer/Counter (TCNT0)와 Output Compare Register (OCR0)를 Register로 가지고 있다.
 - TCNT0 와 OCR0 값을 비교해 PWM 신호 생성하는 Waveform Generator에 쓰이거나 Output Compare Pin(OC0)에 주파수 출력 값으로 사용된다.

- Interrupt Request 여부를 확인할 수 있는 Timer Interrupt Flag Register (TIFR)와 Interrupt Request를 결정하는 Timer Interrupt Mask Register (TIMSK) 또한 존재한다.
 - Asynchronous Status Register (ASSR)은 비동기 연산을 control 한다. (보통 T/C Oscillator)
 - compare flag (OCF0)을 통해서 compare match event가 발생했을 시 output compare interrupt request가 발생하기도 한다.
- Timer/Counter Clock Sources (clk_{T0})
 - 1) Default 상태 : MCU clock을 통해 받은 $clk_{I/O}$ 로부터 받는다.
 - 2) ASSR Register의 AS0 bit을 1로 설정하면 Timer/Counter Oscillator로부터 clock source를 받는다.
 - Asynchronous Operation of Timer/Counter0
 - Oscillator는 32.768 kHz watch crystal 이용하는 데 최적화 되어있기 때문에 , TOSC1 pin에 외부 clock을 적용하면 Timer/Counter0 operation에 부정확한 결과가 나올 수 있다.
 - Asynchronous Status Register - ASSR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	-	-	-	AS0	TCN0UB	OCR0UB	TCR0UB	ASSR
Read/Write	R	R	R	R	R/W	R	R	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- Bit 3 - AS0 : Asynchronous Timer/Counter0
 AS0 이 0일 때 : Timer/Counter0이 I/O clock으로부터 clock source를 받음.
 AS0 이 1일 때 : Timer/Counter0이 Timer Oscillator1 (TOSC1 핀)으로부터 clock source를 받음.

AS0 값이 변화할 때 TCNT0, OCR0, TCCR0 값이 손상될 수 있으므로 Timer/Counter0 Interrupt 해제한 이후 해당 레지스터 값을 변경해야한다.

- Bit 2 - TCN0UB : Timer/Counter0 Update Busy
 TCNT0 값이 1일 때 TCN0UB 값이 set 된다.
 TCNT0 값은 H/W에 의해 변경이 되는데 , TCNT0 값이 0이면 TCN0UB도 0이 된다.

- Bit 1 - OCR0UB : Output Compare Register0 Update Busy
OCR0 값이 1일 때 OCR0UB 값이 set 된다.
OCR0 값은 H/W에 의해 변경이 되는데 , OCR0 값이 0이면 OCR0UB도 0이 된다.
- Bit 0 - TCR0UB : Timer/Counter Control Register0 Update Busy
TCR0 값이 1일때 TCR0UB 가 set 된다.
TCR0 값은 H/W에 의해 변경이 되는데 , TCR0 값이 0이면 TCR0UB 도 0이 된다.

==> TCN0UB, OCR0UB, TCR0UB 상태 검사 Register

- Timer/Counter Interrupt Mask Register - TIMSK

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0	TIMSK
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	

- Bit 1 - OCIE0 : Timer/Counter0 Output Compare Match Interrupt Enable
OCIE0 bit 1이면 Timer/Counter0 Compare Match Interrupt enable됨.
- Bit 0 - TOIE0 : Timer/Counter0 Overflow Interrupt Enable
마찬가지로 Bit 0 값 1되면 Overflow Interrupt Enable 됨.

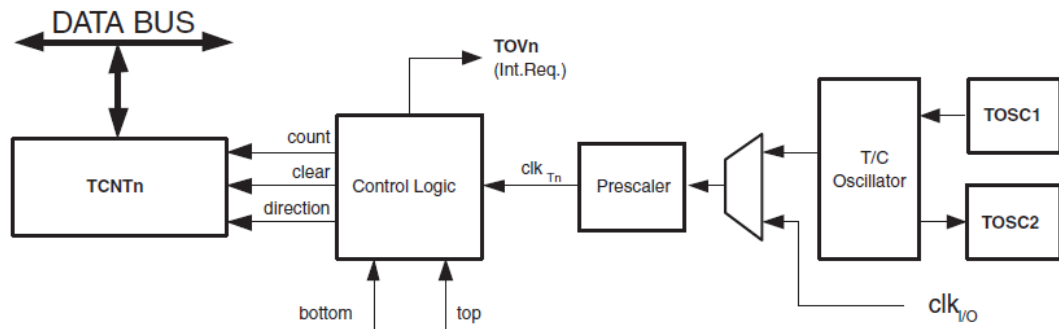
- Timer/Counter Interrupt Flag Register - TIFR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0	TIFR
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	

- Bit 1 - OCF0 : Output Compare Flag0
OCF0 bit 값 1 되면 OCR0 데이터 값과 Timer/Counter0에서 Compare Match Event 진행 함.
- Bit 0 - TOV0 : Timer/Counter0 Overflow Flag0
TOV0 bit 값 1 되면 Timer/Counter0에서 Overflow Event 진행함.

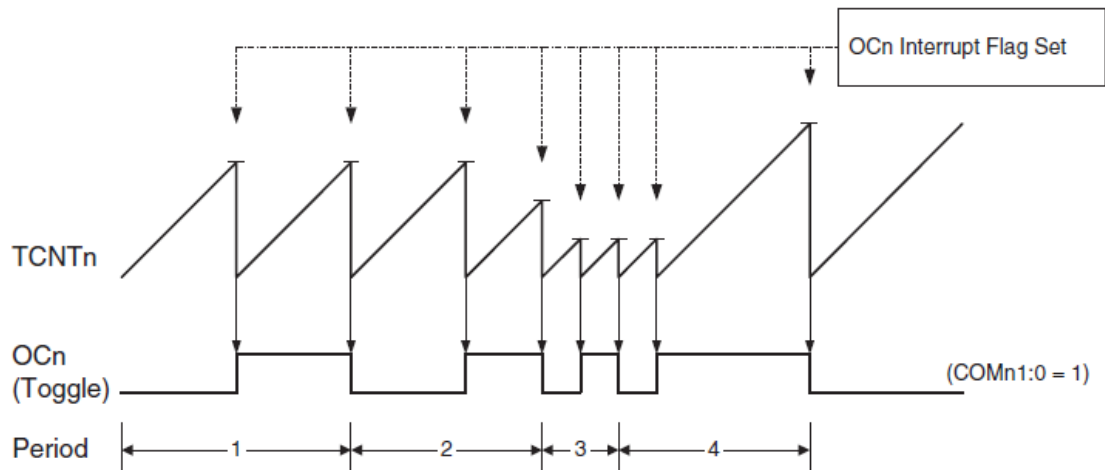
- Counter Unit

Figure 35. Counter Unit Block Diagram



- TCCR0 내의 WGM01, WGM00 bit로 Waveform Generation Mode(Normal, CTC, PWM, fast PWM)를 변경할 수 있으며, 해당 모드에 따라 TOV0 bit나 OCF0 bit에 의해 CPU Interrupt가 발생한다.
- TCNT0 값은 $clk_{I/O}$ 와 무관하게 Data Bus 통해서 CPU에서 접근할 수 있다.
- Normal Mode
 - WGM01:0 = 0 으로 설정 시 operate 가능하며 앞서 언급한 Overflow Interrupt를 발생시킬 수 있다.
 - TCNT0 (Counter 값) 이 단순히 증가함. TCNT0가 최대 값(TOP, 0xFF)이 되면 BOTTOM (0x00)으로 초기화 됨.
 - Normal Mode에서 Waveform 생성하는 것은 CPU 리소스를 많이 먹어 비효율적임.
- Clear Timer on Compare Match (CTC) Mode
 - WGM01:0 = 2 로 설정하면 된다. 마찬가지로 Compare Match Interrupt를 발생시킬 수 있다.
 - TCNT0 가 OCR0 (기준 값)이 되면 0x00으로 초기화 됨.
Normal Mode에서 TOP 값이 OCR0인 Mode라고 생각하면 될거 같다.

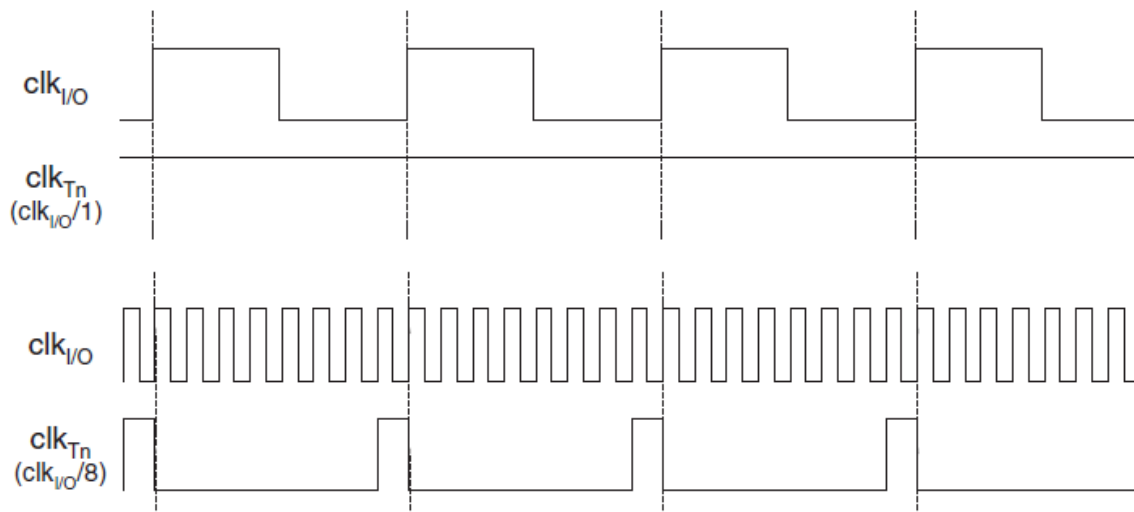
Figure 38. CTC Mode, Timing Diagram



$$f_{OCn} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \cdot N \cdot (1 + OCRn)}$$

waveform frequency는 다음 공식에 따라 계산할 수 있으며,
N은 prescale factor(분주비) 값으로 (1, 8, 32, 64, 128, 256, 1024)로 설정할 수 있다.

- 분주비는 높은 주파수를 가진 System Clock 을 waveform 생성하는 데 사용하게 되면 너무 많은 Interrupt를 발생시키기 때문에 적절하게 낮은 주파수로 맞춰주는 값이다.



(다음 그림은 분주비 1일 때 / 분주비 8일 때 Clock Diagram 이다.)

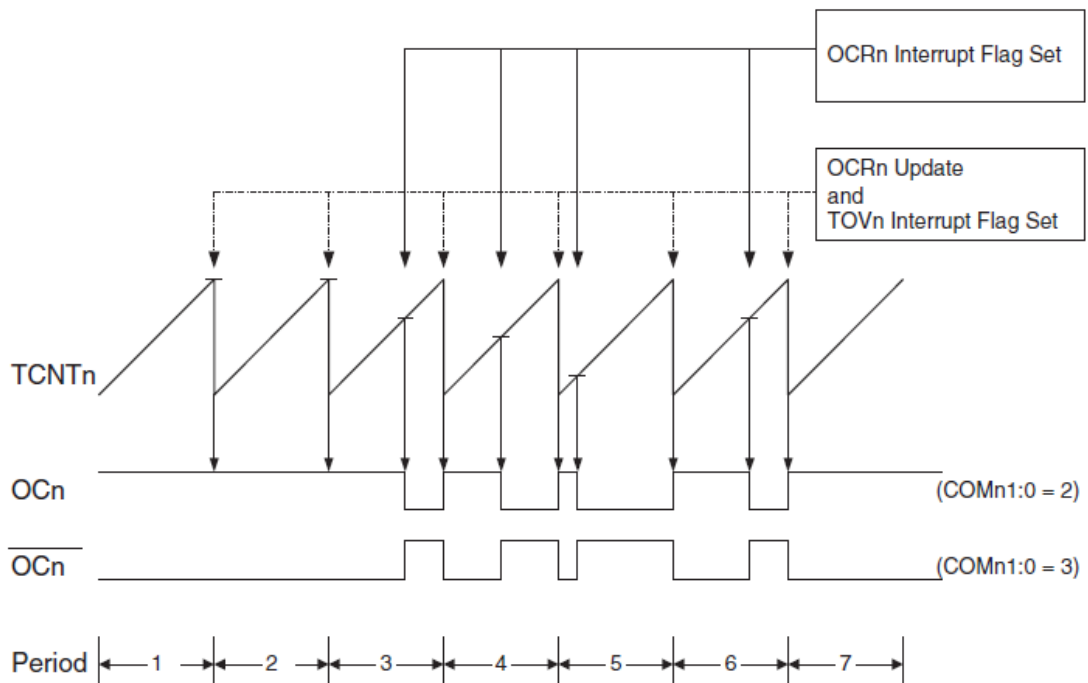
- $f_{clk_I/O}$ 는 System clock을 의미 한다.
- 예를 들어 $f_{clk_I/O}$: 16MHz , N = 1024 , OCR0 = 0xFF로 설정했다고 가정하면

$$f_{OC0} = (16 \cdot 10^6) / (2 \cdot 1024 \cdot 256) = 30.5 \text{ Hz}$$

주기가 약 1/30s 인 PWM 파형이 생성 된다.

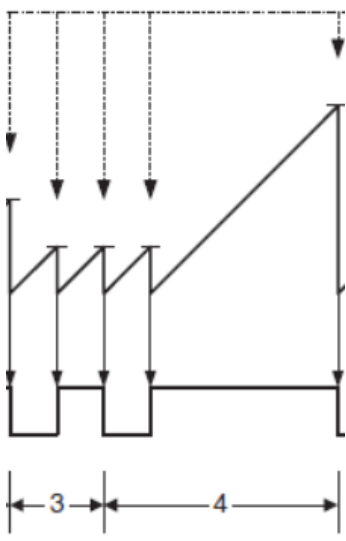
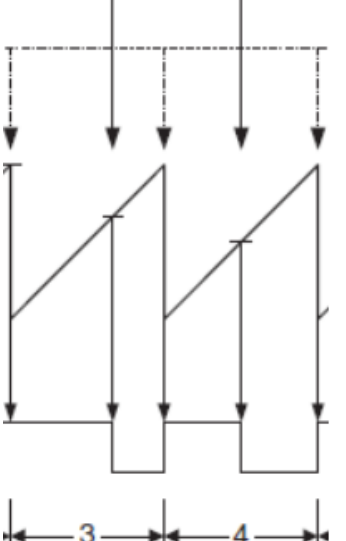
- Fast PWM Mode
 - WGM01:0 = 3 으로 설정하면 된다.
 - 다른 PWM Mode들은 Inverting 과 Non-Inverting Operation 둘다 지원하지
만, Fast PWM Mode는 Non-Inverting Operation만 수행하기 때문에 동일
조건(prescale, System Clock)에서 타 PWM 모드에 비해 2배 빠른 PWM 파형
을 생성할 수 있다.
(unsigned 와 signed 자료형와 비슷한 느낌이다.)

Figure 39. Fast PWM Mode, Timing Diagram



- TCNT0값이 MAX가 될때마다 Timer/Counter Overflow Flag(TOV0)를 설정하
고, OCR0 값을 Update를 하기 때문에 일정한 주기에서 듀티비가 다른
PWM 파형을 생성할 수 있다.
- 잠시 CTC Mode와 Fast PWM Mode 비교

CTC	Fast PWM
-----	----------

	
<p>TCNT0 값이 OCR0 값과 동일 할 때 Pulse가 0인 부분 / 1인 부분을 결정</p>	<p>TCNT0 값이 OCR0 값과 동일할 때 Pulse가 1인 부분 결정 / 나머지는 0인 부분</p>
<p>PWM 파형을 생성하기 위해 최소 2배 높은 waveform이 요구 됨.</p>	<p>같은 주기를 가진 waveform으로 PWM 파형 생성 가능</p>

◦
$$f_{OCnPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{N \cdot 256}$$

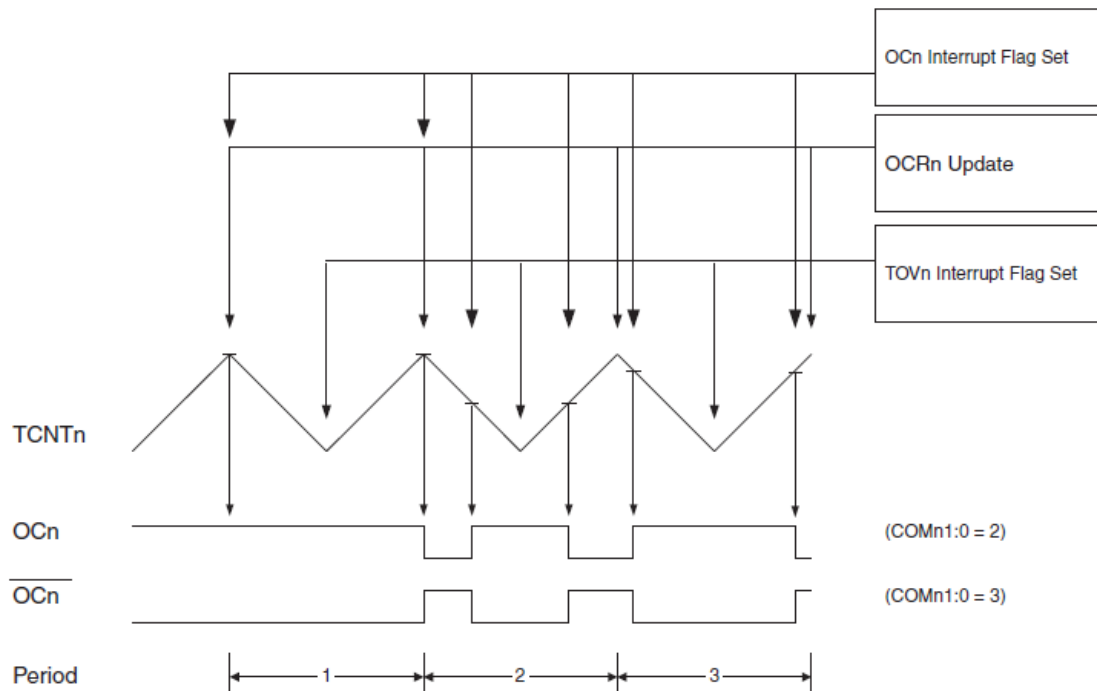
- Fast PWM Mode 로 생성된 파형은 다음 공식에서 구할 수 있다.
(256 = 1 + 0xFF이며 공식 내에서 System Clock을 2로 나누지 않는 것에 유의하자)
분주비 N : (1, 8, 32, 64, 128, 256, 1024)

- Phase Correct PWM Mode

- WGM01:0 = 1 로 설정하면 된다.
- Phase Correct PWM은 고해상도 PWM 파형을 생성하고 싶을 때 사용하면 되는 데,
다른 PWM과 달리 TCNT0 값이 (BOTTOM -> TOP -> BOTTOM ...) 식으로 Counter가 작동한다.

- PWM 파형 자체가 대칭적으로 생성되기 때문에 보통 모터 제어할때 사용이 된다.

Figure 40. Phase Correct PWM Mode, Timing Diagram



- Fast PWM Mode와 같이 Inverted PWM 도 출력한다.
- BOTTOM에서 TOV0 Interrupt Flag 설정하고, TOP에서 OC0 Interrupt Flag 설정 후 OCR0 값을 Update 한다.
- $$f_{OCnPCPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{N \cdot 510}$$
- Phase Correct PWM Mode 로 생성된 파형은 다음 공식에서 구할 수 있다.
분주비 N : (1, 8, 32, 64, 128, 256, 1024)

• Timer/Counter Control Register - TCCR0

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00	TCCR0
Read/Write	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	

- Bit 7 - FOC0 : Force Output Compare
 - PWM Mode를 사용하지 않을 때 해당 bit를 사용할 수 있다.
 - PWM Mode에서는 0으로 값이 고정 되고, PWM Mode가 아닐 때 1로 설정하면 강제로 OCR0와 TCNT0 값 Compare Match한다.

- Bit 6, 3 - WGM01:0 : Waveform Generation Mode

Table 52. Waveform Generation Mode Bit Description

Mode	WGM01 ⁽¹⁾ (CTC0)	WGM00 ⁽¹⁾ (PWM0)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR0 at	TOV0 Flag Set on
0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	1	PWM, Phase Correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	1	0	CTC	OCR0	Immediate	MAX
3	1	1	Fast PWM	0xFF	BOTTOM	MAX

- Timer/Counter Operation Mode 설정 가능하다.

- Bit 5:4 - COM01:0 : Compare Match Output Mode

- Output Compare (OC0) Pin을 설정해 PWM 파형의 결과값을 출력할 수 있다.

Table 53. Compare Output Mode, non-PWM Mode

COM01	COM00	Description
0	0	Normal port operation, OC0 disconnected.
0	1	Toggle OC0 on compare match
1	0	Clear OC0 on compare match
1	1	Set OC0 on compare match

Table 54. Compare Output Mode, Fast PWM Mode⁽¹⁾

COM01	COM00	Description
0	0	Normal port operation, OC0 disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC0 on compare match, set OC0 at BOTTOM, (non-inverting mode)
1	1	Set OC0 on compare match, clear OC0 at BOTTOM, (inverting mode)

Table 55. Compare Output Mode, Phase Correct PWM Mode⁽¹⁾

COM01	COM00	Description
0	0	Normal port operation, OC0 disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC0 on compare match when up-counting. Set OC0 on compare match when downcounting.
1	1	Set OC0 on compare match when up-counting. Clear OC0 on compare match when downcounting.

- Bit 2:0 - CS02:0 : Clock Select

Table 56. Clock Select Bit Description

CS02	CS01	CS00	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped)
0	0	1	clk _{T0S} /(No prescaling)
0	1	0	clk _{T0S} /8 (From prescaler)
0	1	1	clk _{T0S} /32 (From prescaler)
1	0	0	clk _{T0S} /64 (From prescaler)
1	0	1	clk _{T0S} /128 (From prescaler)
1	1	0	clk _{T0S} /256 (From prescaler)
1	1	1	clk _{T0S} /1024 (From prescaler)

- prescaler 값 조정 가능하다.

- Timer/Counter Register - TCNT0

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TCNT0[7:0]								TCNT0
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	

- TCNT0 값을 직접 R/W 할 수 있긴 하나, Compare Match가 진행되고 있을 때 값으 변경하게 되면 Interrupt가 제대로 작동하지 않는 등 Compare Match 결과값에 지장이 있을 수 있다.

- Output Compare Register - OCR0

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	OCR0[7:0]								OCR0
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	

- 8- bit 기준 값인 OCR0 Register 이다.
TCNT0 값과 비교가 된다.