
마이크로컨트롤러 기능

제 7장 TC를 이용한 PWM



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

TC를 이용한 PWM

1. PWM(Pulse Width Modulation)
2. 8비트 타이머/카운터의 동작모드
3. 16비트 타이머/카운터
4. PWM으로 LED 밝기 조절하기
5. PWM으로 Full Color LED 제어하기



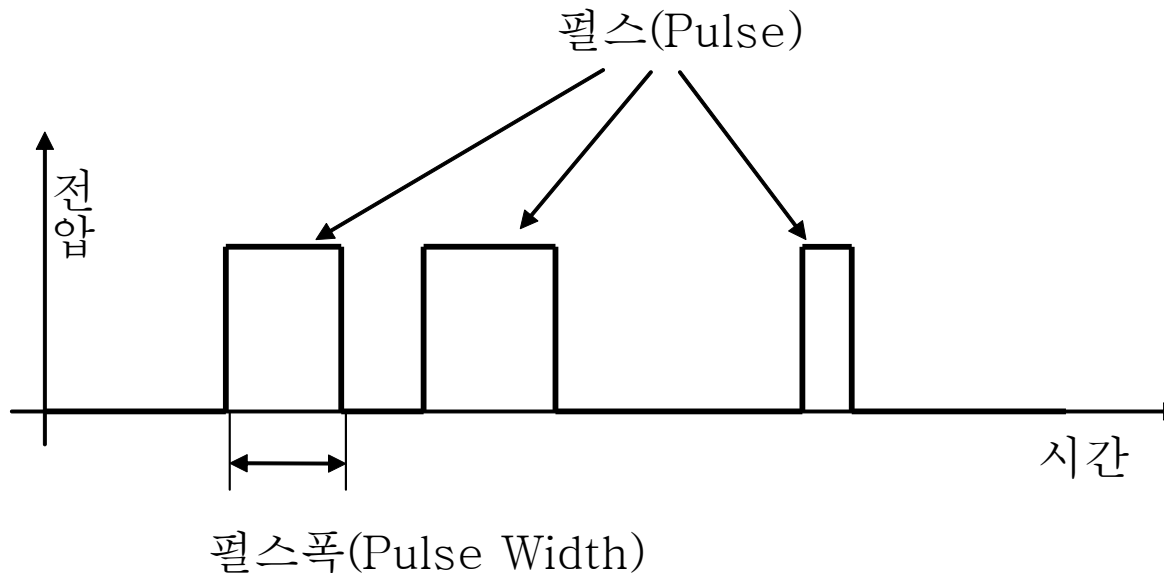
ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

PWM(Pulse Width Modulation)

□ 펄스(Pulse)와 펄스폭(Pulse Width)

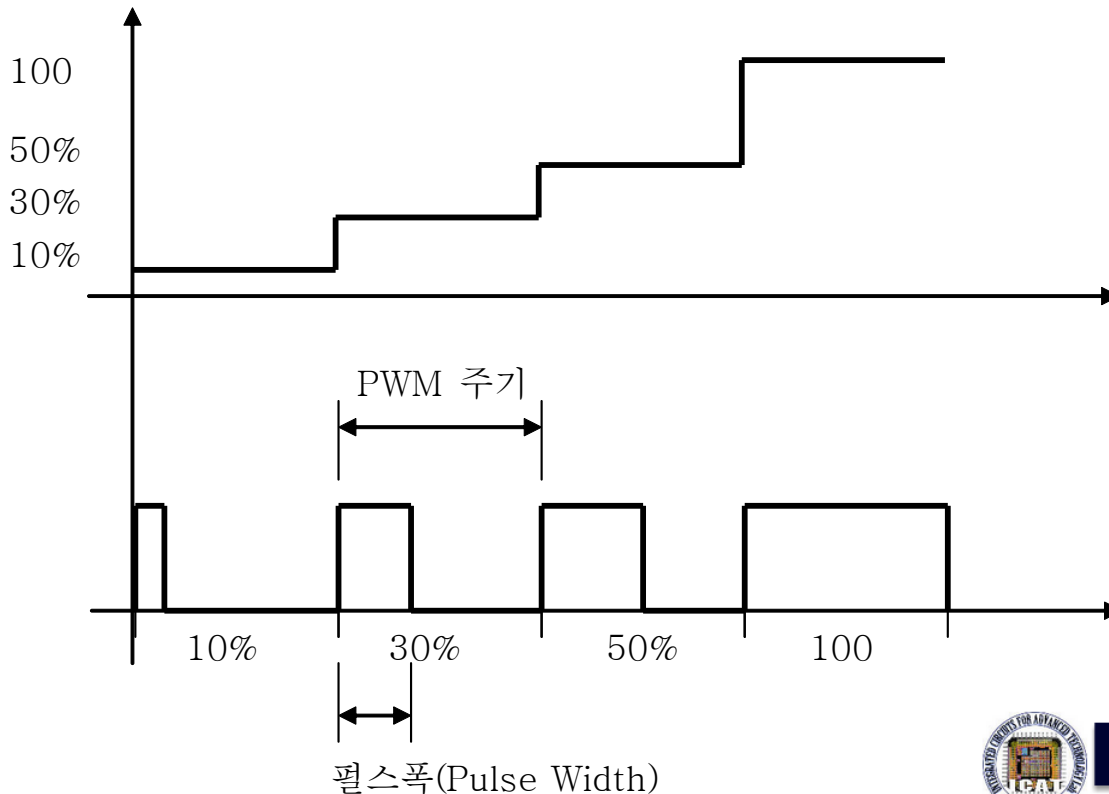
- ❖ 펄스 : 짧은 시간동안 생기는 진동 현상
- ❖ 펄스폭 : 하나의 펄스가 가지는 폭



PWM(Pulse Width Modulation)

□PWM(펄스폭 변조)

- ❖ 펄스 폭을 전송하고자 하는 신호에 따라 변화시키는 변조 방식
- ❖ 모터 제어나 전압제어 등에 널리 사용



PWM주기
안에서의 펄스
폭으로 신호의
값을 나타냄

ATmega128A의
타이머는 펄스를
만드는데 매우
유용하다



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

8비트 타이머/카운터

□ TCCRn(Timer/Counter Control Register n)

❖ FOC(Force Output Compare)

- FoC가 1로 세트되면 출력 비교 실시(OC핀 작동)
- FoC가 0로 세팅되면 출력 비교를 실시하지 않음.

❖ WGM(Waveform Generation Mode)

- 타이머/카운터의 동작모드 설정
- 카운터의 카운팅 방향, 최대 카운터 값, Waveform Generation 방식 등을 결정

모드	WGMn1 (CTCn)	WGMn0 (PWMn)	타이머/카운터 동작모드	TOP	OCRn의 업데이트	TOVn Flag Set-on
0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	1	PWM, Phase Correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	1	0	CTC	OCRn	Immediate	MAX
3	1	1	Fast PWM	0xFF	TOP	MAX



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

8비트 타이머/카운터

□TCCRn(Timer/Counter Control Register n)

❖ COM(Compare Output Mode)

- OCn핀의 동작을 조정, 이 핀을 출력으로 사용하기 위해 DDR 레지스터를 출력으로 설정해야 함
- COMn1/COMn0에 따른 Ocn 핀의 동작
 - **Compare Output**, Non-PWM 모드

COMn1	COMn0	내용
0	0	normal 포트 동작, OCn 연결을 끊다.
0	1	Toggle OCn on compare match
1	0	Clear OCn on compare match
1	1	Set OCn on compare match



8비트 타이머/카운터

□TCCRn(Timer/Counter Control Register n)

- Compare Output, Fast-PWM 모드

COMn1	COMn0	내용
0	0	normal 포트 동작, OCn 연결을 끊다.
0	1	예약
1	0	Clear OCn on compare match, set OCn at TOP
1	1	Set OCn on compare match, clear OCn at TOP

- Compare Output, PC PWM Mode

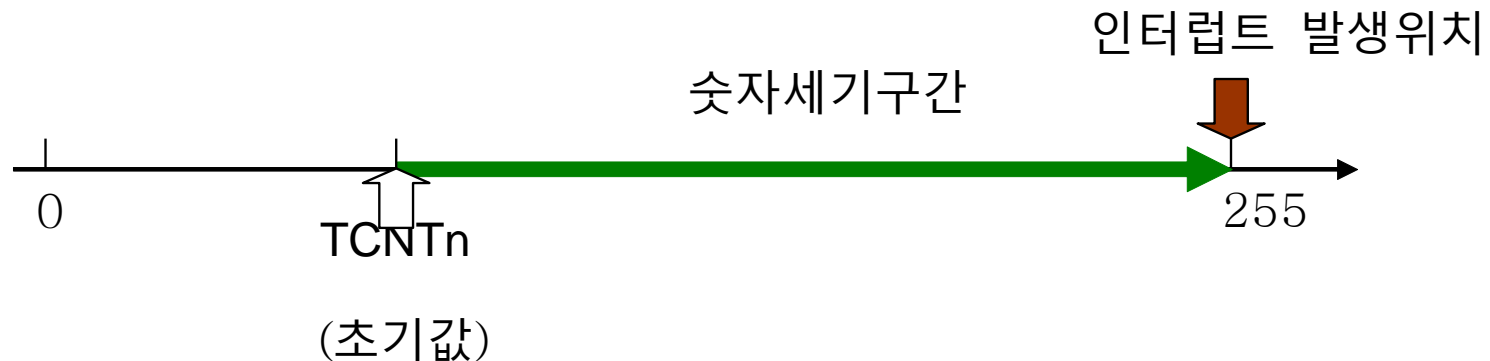
COMn1	COMn0	내용
0	0	normal 포트 동작, OCn 연결을 끊다.
0	1	예약
1	0	up카운팅일때 Clear OCn on compare match, down카운팅일때 set Ocn
1	1	up카운팅일때 Set OCn on compare match, down카운팅일때 clear Ocn



8비트 타이머/카운터의 동작모드

□ Normal Mode(일반 동작모드)

- ❖ 카운터는 업 카운터로서만 동작
 - MAX(0xFF)값이 되면, BOTTOM(0x00)값부터 다시 시작
 - MAX 위치에서 오버플로우 인터럽트 발생
- ❖ TCNTn의 초기값을 설정하여 전체 타이머 주기를 결정
- ❖ TCCRn 레지스터의 WGMn1:n0 = 00으로 설정



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

8비트 타이머/카운터의 동작모드

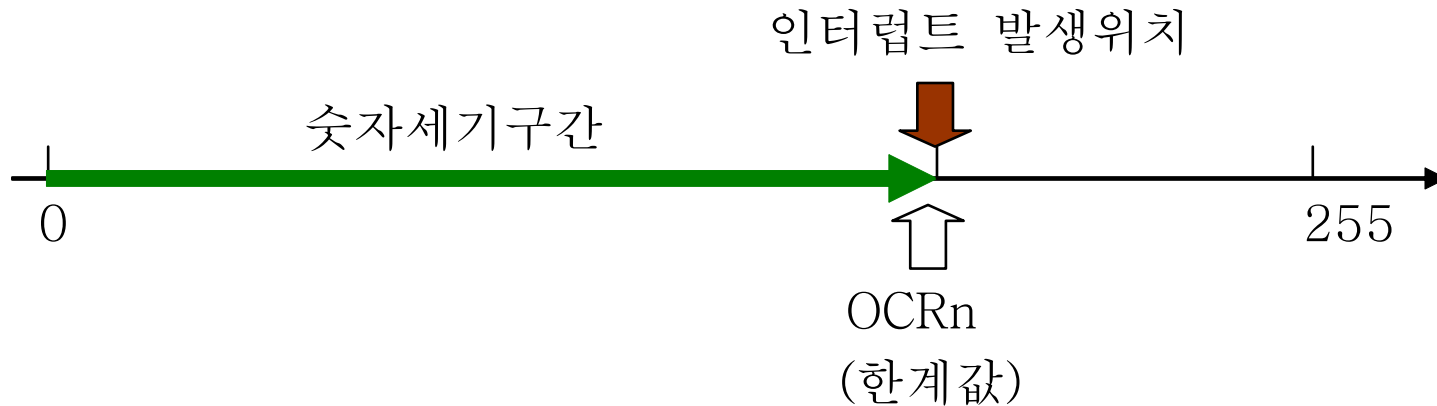
□CTC(Clear Timer on Compare match) Mode

- ❖ 카운트의 한계값(최대로 세는 수)을 설정
- ❖ 카운터는 업 카운터로서만 동작
 - 0으로부터 설정된 한계값까지 세고 다시 0으로 클리어
 - TCNT 값이 증가하여, OCR값과 일치하면 출력 비교 인터럽트 발생
 - OCRn의 값을 바꾸면 그 다음 카운터 주기를 원하는 대로 변경 가능
- ❖ OCn단자를 이용하여 출력파형 발생 가능
 - TCCRn의 COMn1~n0을 01로 설정
 - OCRn레지스터 값을 바꿔가면서 출력비교에 의해 OCn의 신호를 토글
 - 출력되는 파형의 주기는 $f_{oc} = f_{clk} / (2 * N * (1 + OCR0))$ 로 계산
- ❖ TCCRn레지스터의 WGMn1:n0를 “10”으로 설정



8비트 타이머/카운터의 동작모드

□CTC(Clear Timer on Compare match) Mode

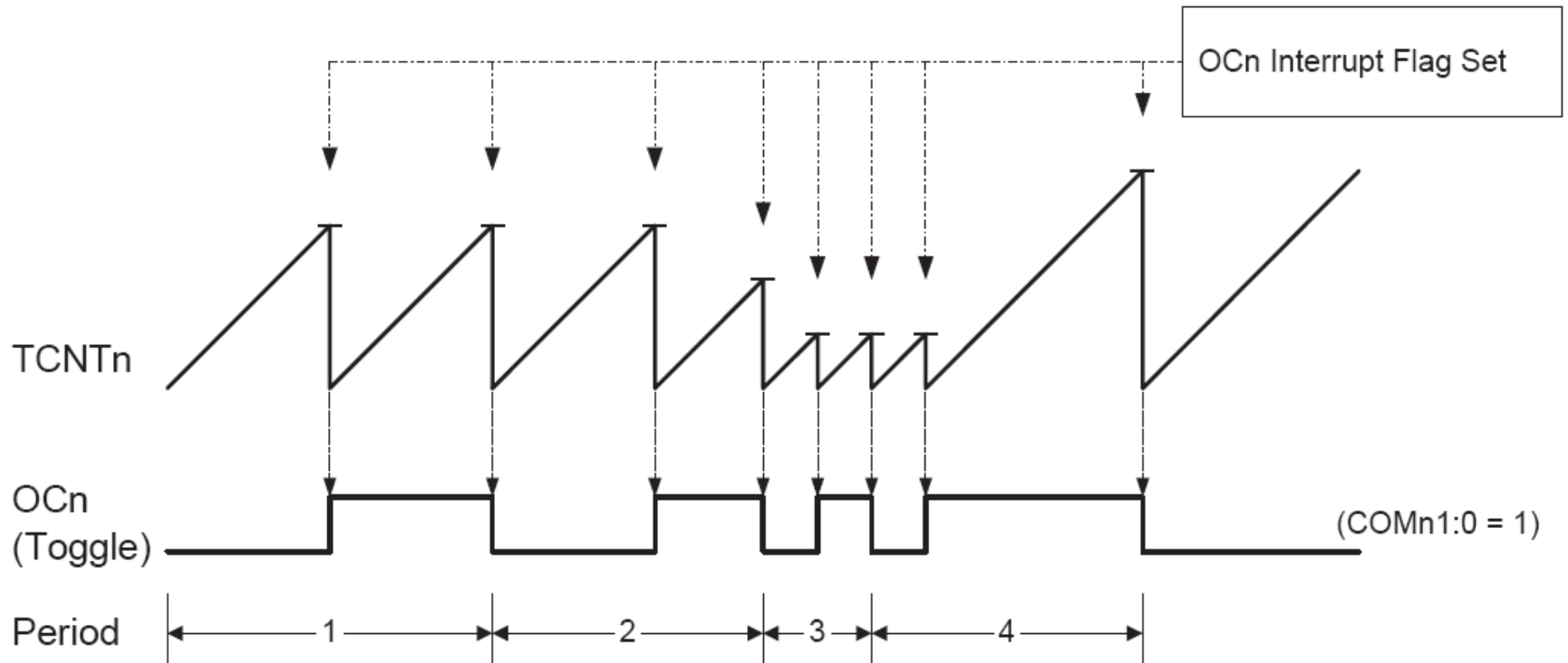


ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

8비트 타이머/카운터의 동작모드

□CTC(Clear Timer on Compare match) Mode



8비트 타이머/카운터의 동작모드

□Fast PWM Mode

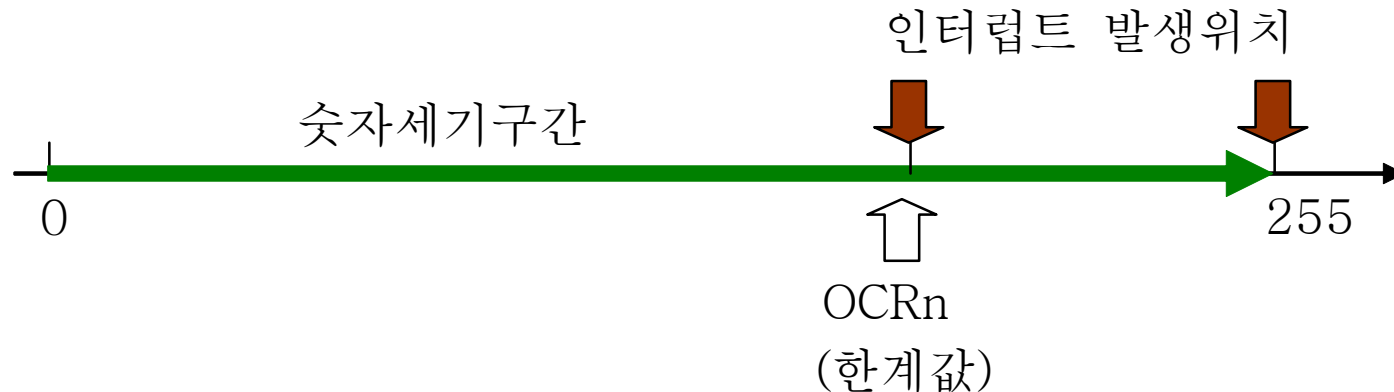
- ❖ 0에서 255까지 세는 동안 두 번의 인터럽트 발생 가능
- ❖ 카운터는 업 카운터로서만 동작
 - TCNT 값이 증가하여, OCR값과 일치하면 출력 비교 인터럽트 발생
 - TCNTn는 업카운팅을 계속하여 255까지 증가했다가 0으로 바뀌는 순간 오버플로우 인터럽트 발생
 - OCRn의 값을 바꾸면 그 다음 펄스 폭을 원하는 대로 변경 가능
- ❖ 두가지 모드로 OC0핀에 구형파 출력 가능
 - 비반전 비교 출력 모드
 - TCCRn 레지스터의 COM 비트를 “10”로 설정
 - TCNT0가 OCR0와 일치하면, OC0 핀에 0를 출력하고 TCNT0가 0이 되면 OC0 핀에 1을 출력
 - 반전 비교 출력 모드
 - TCCRn 레지스터의 COM 비트를 “11”로 설정
 - TCNT0가 OCR0와 일치하면, OC0 핀에 1을 출력하고, TCNT0가 0이 되면 OC0 핀에 0을 출력
 - 출력 파형 주파수 $f_{oc} = f_{clk} / (N * 256)$



8비트 타이머/카운터의 동작모드

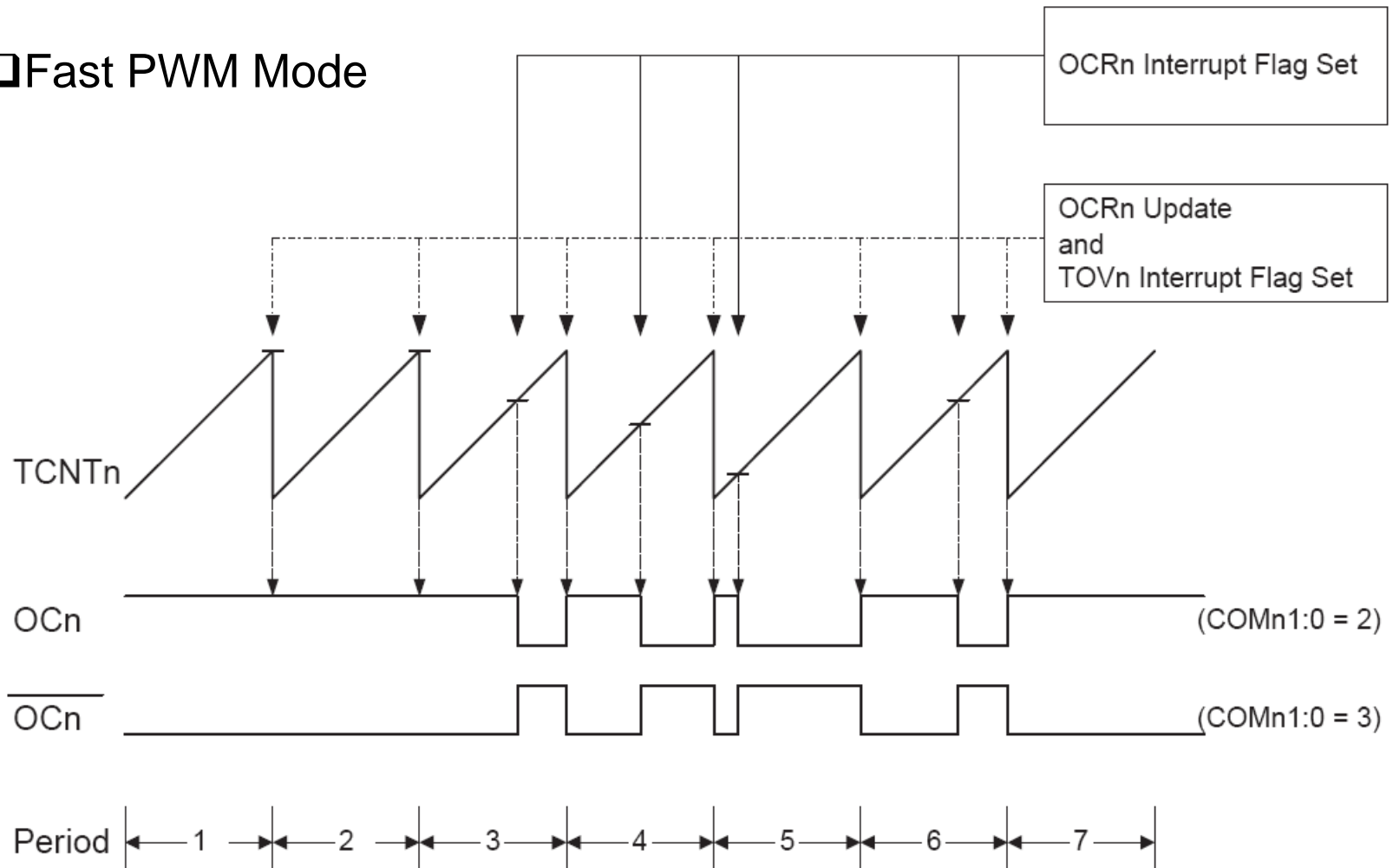
□Fast PWM Mode

- ❖ TCCRn 레지스터의 WGMn1:n0를 11으로 설정
- ❖ 높은 주파수의 PWM 파형 발생시 유용



8비트 타이머/카운터의 동작모드

□ Fast PWM Mode



8비트 타이머/카운터의 동작모드

□PCPWM(Phase Correct Pulse Width Modulation) Mode

- ❖ Fast PWM과 유사
- ❖ 업카운팅과 다운카운팅이 번갈아 일어남
 - TCNT 값이 증가하여, OCR값과 일치하면 출력 비교 인터럽트 발생
 - TCNTn는 업카운팅을 계속하여 TCNTn는 255에 도달하면 다운카운팅 시작.
 - TCNT=0 이면 오버플로우 인터럽트가 발생
 - OCRn의 값을 바꾸면 그 다음 카운터 주기를 원하는 대로 변경 가능
- ❖ PWM 주기를 변경하기 위해 OCRn 레지스터에 새로운 값을 기록하더라도 즉시 변경되지 않고 TCNTn이 255에 도달하면 갱신됨.



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

8비트 타이머/카운터의 동작모드

□PCPWM(Phase Correct Pulse Width Modulation) Mode

❖ 두 가지 모드로 OC0핀에 구형파 출력 가능

- 비반전 비교 출력 모드(TCCRn 레지스터의 COM 비트를 “10”로 설정)
 - 업 카운트 중에 TCNT0와 OCR0가 일치하면, OC0핀에 0를 출력
 - 다운 카운트 중에 일치하면, OC0핀에 1을 출력
- 반전 비교 출력 모드(TCCRn 레지스터의 COM 비트를 “11”로 설정)
 - 업 카운트 중에 TCNT0와 OCR0가 일치하면, OC0핀에 1을 출력
 - 다운 카운트 중에 일치하면, OC0핀에 0를 출력
- 출력 파형 주파수 $f_{oc} = f_{clk} / (N * 256)$



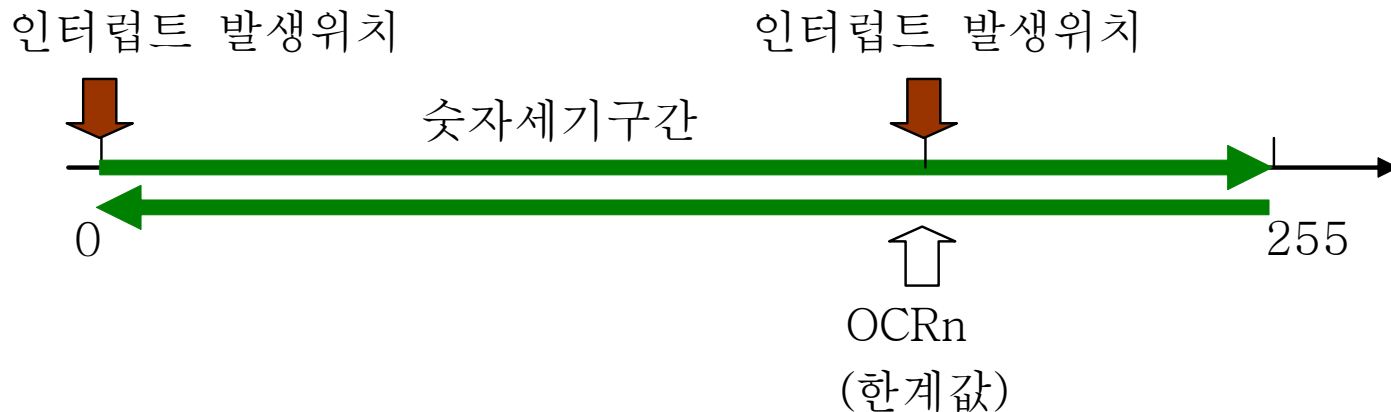
ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

8비트 타이머/카운터의 동작모드

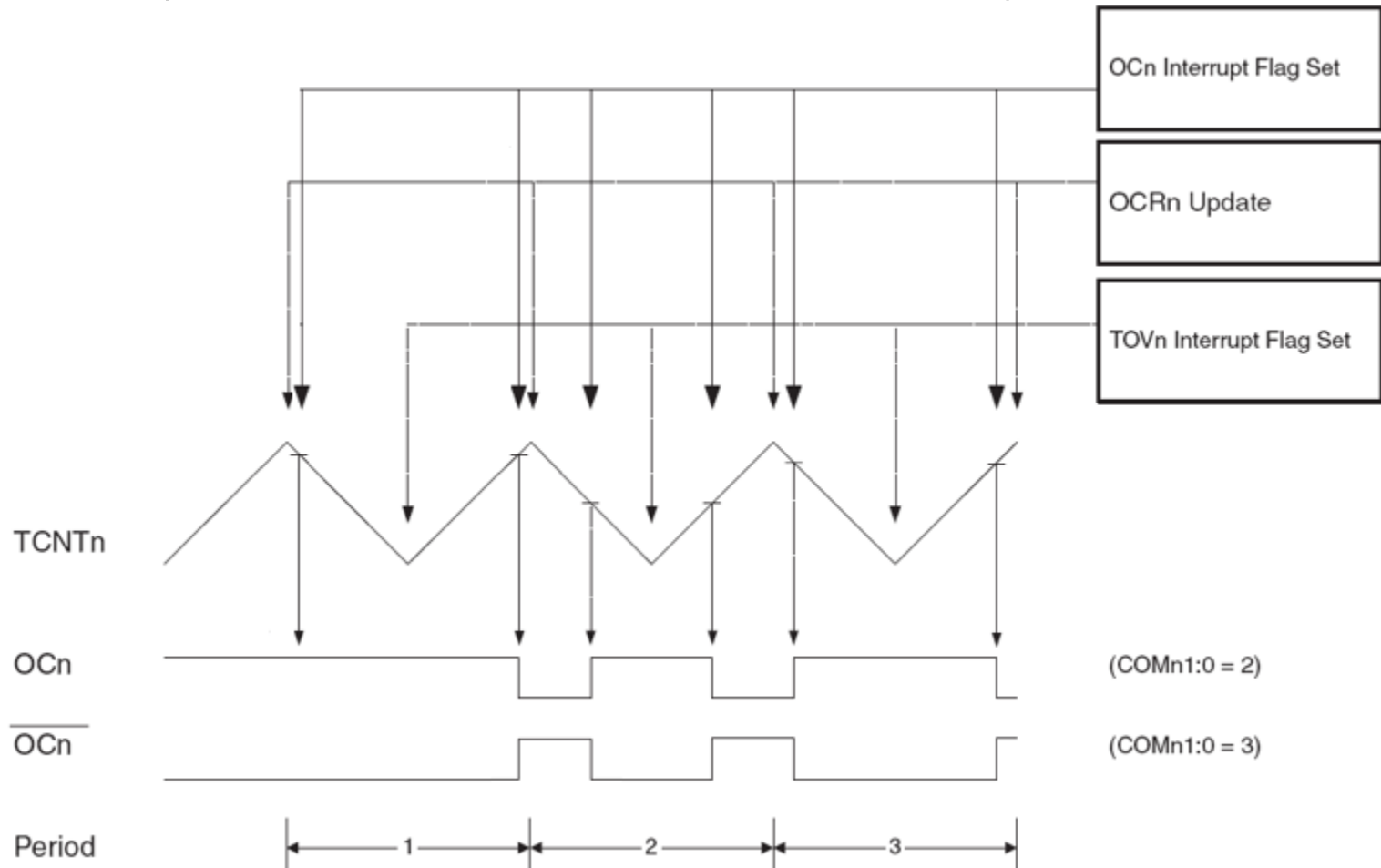
□PCPWM(Phase Correct Pulse Width Modulation) Mode

- ❖ TCCRn 레지스터의 WGMn1:n0를 01으로 설정
- ❖ 높은 분해능의 PWM 파형 발생시 유용



8비트 타이머/카운터의 동작모드

□PCPWM(Phase Correct Pulse Width Modulation) Mode



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□ 16비트 타이머/카운터

- ❖ 타이머/카운터 1,3
- ❖ 16비트의 카운터를 보유
 - $2^{16} = 65536$ 까지 셀 수 있음
- ❖ 10비트 프리스케일러 내장
- ❖ 입력 캡처 유닛 내장
- ❖ 비교 매치에서 타이머 클리어(오토 리로드)
- ❖ 3개의 PWM 출력
 - 가변 PWM 주기 파형 출력
 - 3개의 출력 비교 유닛 내장
- ❖ T1, T3핀에 의한 카운터 동작
- ❖ 10개의 인터럽트 소스
 - 오버플로우, 출력 비교 매치 A,B,C, 입력캡처



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□ 16비트 타이머/카운터 레지스터

❖ TCCRxA~C

- 타이머x의 동작 방식 설정

❖ TCNTx(Timer/CouNter x)

- 타이머x의 16비트 카운터 값을 저장

❖ OCRxA~C(Output Compare Resister x A~C)

- TCNTx의 값과 출력 비교되기 위한 16비트 데이터 값을 저장

❖ ICRx(Input Capture Register x)

- 입력캡처시 TCNTx의 카운터 값을 저장

❖ TIMSK(Timer Interrupt MaSK)

❖ ETIMSK(Extended TIMSK)

❖ TIFR(Timer Interrupt Flag Register)

❖ ETIFR(Extended TIFR)



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□TCCRnA(Timer/Counter Control Register nA)

- ❖ 타이머/카운터 제어 레지스터 nA (n=1 or 3)
- ❖ 타이머/카운터 1,3 의 동작을 설정

7	6	5	4	3	2	1	0
COMnA1	COMnA0	COMnB1	COMnB0	COMnC1	COMnC0	WGMn1	WGMn0

- 비트 7:6 : COMnA1:0
- 비트 5:4 : COMnB1:0
- 비트 3:2 : COMnC1:0
- 비트 1:0 : WGMn1:0



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□ TCCRnA (Timer/Counter Control Register nA)

❖ COMnA1:0, COMnB1:0, COMnC1:0

- 출력비교 핀 OCnA와 OCnB, OCnC를 제어

출력모드 비교, non-PWM

COMnA1/COMnB1/COMnC1	COMnA0/COMnB0/COMnC0	설명
0	0	normal 포트 동작, OCnA/OCnB/OCnC 분리
0	1	Toggle OCnA/OCnB/OCnC on compare match
1	0	Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match (low level에서 출력)
1	1	Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match (high level에서 출력)



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□TCCRnA(Timer/Counter Control Register nA)

출력모드 비교, Fast-PWM

COMnA1/COMnB1/COMnC1	COMnA0/COMnB0/COMnC0	설명
0	0	normal포트 동작, OCnA/OCnB/OCnC분리
0	1	WGMn3:0=15:Toggle OCnA on compare match, OCnB, OCnC disconnected(normal포트동작) For all other WGMn3:0 settings, normal 포트동작, OCnA/OCnB/OCnC disconnected
1	0	Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match, set OCnA / OCnB / OCnC at TOP
1	1	Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match, clear OCnA/OCnB/OCnC at TOP



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□TCCRnA(Timer/Counter Control Register nA)

출력모드 비교, Phase correct and Phase and Frequency Correct PWM

COMnA1/COMnB1/COMnC1	COMnA0/COMnB0/COMnC0	설 명
0	0	normal포트 동작, OCnA/OCnB/OCnC 출력 차단
0	1	WGMn3:0=9 or 11:Toggle OCnA on compare match, OCnB, OCnC disconnected(normal포트동작) For all other WGMn3:0 settings, normal 포트동작, OCnA/OCnB/OCnC disconnected
1	0	업 카운팅일때 Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match, 다운 카운팅일때 set OCnA / OCnB / OCnC at TOP
1	1	업 카운팅일때 Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match, 다운 카운팅일때 clear OCnA/OCnB/OCnC at TOP



16비트 타이머/카운터

□ TCCRnA (Timer/Counter Control Register nA)

- ❖ 비트 1:0 : WGMn1:0 : TCCRnB 레지스터의 WGNn3:2 비트와 조합하여 **15가지의 동작 모드를 결정**

Mode	WGMn3	WGMn2 (CTCn)	WGMn1 (PWMn1)	WGMn0 (PWMn0)	타이머/카운터의 1,3 동작 모드	TOP	OCR1x 업데이트	TOV1플래그 Set 시점
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, Phase Correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCRnA	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM 8-bit	0x00FF	TOP	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM 9-bit	0x01FF	TOP	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM 10-bit	0x03FF	TOP	TOP
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency Correct	ICRn	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and Frequency Correct	OCRnA	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICRn	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCRnA	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICRn	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	Reserved	-	-	-
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICRn	TOP	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCRnA	TOP	TOP



16비트 타이머/카운터

□TCCRnB(Timer/Counter Control Register nB)

- ❖ 타이머/카운터 제어 레지스터 nB (n=1 or 3)
- ❖ 타이머/카운터1, 3의 프리스케일러 등을 설정하는 기능 수행

7	6	5	4	3	2	1	0
ICNCn	ICESn	-	WGMn3	WGMn2	CSn2	CSn1	CSn0

- 비트 7 : ICNCn
- 비트 6 : ICESn
- 비트 4:3 : WGMn3:2
- 비트 2:0 : CSn2:0, -클럭 선택



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□TCCRnB(Timer/Counter Control Register nB)

❖ 비트 7 : ICNCn

- 1로 세트하면 Input Capture Noise Canceler 설정
- 입력 캡처 핀(ICPn)의 입력을 필터링
- 4개의 오실레이터 사이클 만큼 지연

❖ 비트 6 : ICESn

- ICPn에 해당되는 에지의 형태를 선택
- 1로 설정하면 상승에지에서 검출, 0으로 설정하면 하강에지에서 검출
- 카운터 값은 ICRn에 저장되고, 입력 캡처 플래그(ICPn)가 설정된 경우 입력 캡처 인터럽트가 발생된다.

❖ 비트 4:3 : WGMn3:2

- TCCRnA의 비트1~0(WGMx1~0)와 결합하여 동작모드를 설정



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□TCCRnB(Timer/Counter Control Register nB)

❖ 비트 2:0 : CSn2:0

- 분주비와 클럭소스를 선택

CSn2	CSn1	CSn0	설명
0	0	0	클럭소스 없음(타이머/카운터가 멈춤)
0	0	1	클럭소스 존재(프리스케일링이 없음)
0	1	0	8분주
0	1	1	64분주
1	0	0	256분주
1	0	1	1024분주
1	1	0	T1핀에서 외부클럭소스, 하강에지에서 클럭 발생
1	1	1	T1핀에서 외부클럭소스, 상승에지에서 클럭 발생



16비트 타이머/카운터

□TCCRnC(Timer/Counter Control Register nC)

- ❖ 타이머/카운터 제어 레지스터 nC (n=1 or 3)
- ❖ 타이머/카운터 1, 3의 Force Output Compare를 설정

7	6	5	4	3	2	1	0
FOCnA	FOCnB	FOCnC	-	-	-	-	-

- 비트 7 : FOCnA
- 비트 6 : FOCnB
- 비트 5 : FOCnC
- ❖ non-PWM모드일 경우에만 활성화
- ❖ 1로 설정하면 compare match가 파형 발생 장치로 되어, OCnA/OCnB/OCnC에 출력비교가 일치할 때 출력되는 값과 동일한 출력을 내보낸다.



16비트 타이머/카운터

□ TCNTn (Timer Counter Register n)

- ❖ 타이머 카운터 레지스터 n (n=1 or 3)
- ❖ 타이머/카운터1, 3의 16비트 카운터 값을 저장하고 있는 레지스터
 - 읽기 및 쓰기가 가능한 카운터로 동작하며 자동으로 증가한다.
 - 16비트 레지스터 값을 저장
 - TCNTnH와 TCNTnL로 구성.

15	14	13	12	11	10	9	8
TCNTn15	TCNTn14	TCNTn13	TCNTn12	TCNTn11	TCNTn10	TCNTn9	TCNTn8
7	6	5	4	3	2	1	0
TCNTn7	TCNTn6	TCNTn5	TCNTn4	TCNTn3	TCNTn2	TCNTn1	TCNTn0



16비트 타이머/카운터

□ OCRnA, OCRnB, OCRnC (Output Compare Register)

- ❖ 출력 비교 레지스터(TCNT1/3와 계속적으로 비교)
- ❖ 16비트
- ❖ 두 레지스터의 값이 일치했을 때, OCnA, OCnB, OCnC 핀을 통하여 설정된 값이 출력되거나 출력 비교 인터럽트가 발생

□ ICRn(Input Capture Register)

- ❖ 입력캡처레지스터
- ❖ 입력캡처핀 ICx으로 들어오는 신호변화를 검출하여 일어나는 입력캡처시 TCNTx의 카운터 값을 저장하는 16비트 레지스터
- ❖ 이때 ICFx 플래그가 세트되고 입력캡처 인터럽트가 요청
- ❖ 어떤 신호의 주기 측정에 응용



16비트 타이머/카운터

□TIMSK(Timer Interrupt MaSK)

- ❖ 타이머 인터럽트 마스크 레지스터
- ❖ 타이머/카운터0, 타이머/카운터1, 타이머/카운터2가 발생하는 인터럽트를 개별적으로 enable하는 레지스터

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

- 비트 5 : TICIE1
- 비트 4:3 : OCIE1A~B
- 비트 2 : TOIE1



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□TIMSK(Timer Interrupt MaSK)

- ❖ TICIE1:Timer Input Capture Interrupt Enable 1
 - 1로 설정되면 타이머1의 입력캡처 인터럽트를 개별적으로 Enable
 - IC1 핀에서 캡처 트리거 이벤트가 발생했을 경우, TIFR.ICF1 플래그가 세트되면서 인터럽트 서비스 루틴이 실행
- ❖ OCIE1A~B
: Output Compare match Interrupt Enable timer 1 A~B
 - 1로 설정되면 타이머1의 출력비교 인터럽트 A, B를 개별적으로 Enable
 - TCNT1과 OCR1A/B의 값이 일치하면, TIFR.OCF1A/B 플래그가 세트되면서 인터럽트 서비스 루틴이 실행.
- ❖ TOIE1 : Timer Overflow Interrupt Enable for timer 1
 - 1로 설정되면 타이머1의 오버플로우 인터럽트를 개별적으로 Enable
 - 타이머/카운터1의 오버플로우가 발생시 TIFR.TOV1 플래그가 세트되면서 인터럽트 서비스 루틴이 실행.



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□ETIMSK(Extended Timer Interrupt MaSK)

- ❖ 확장 타이머 인터럽트 마스크 레지스터
- ❖ 타이머1, 3이 발생하는 인터럽트를 개별적으로 Enable 제어하는 레지스터

7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	TICIE3	OCIE3A	OCIE3B	TOIE3	OCIE3C	OCIE1C

- 비트 5 : TICIE3
- 비트 4:3 : OCIE3A~B
- 비트 2 : TOIE3
- 비트 1:0 : OCIE_{Ex}C



16비트 타이머/카운터

□ETIMSK(Extended Timer Interrupt MaSK)

❖ TICIE3 : Timer Input Capture Interrupt Enable 3

- 1로 설정되면 타이머3의 입력캡처 인터럽트를 개별적으로 Enable
- IC3 핀에서 캡처 트리거 이벤트가 발생했을 경우, TIFR.EICF3 플래그가 세트되면서 인터럽트 서비스 루틴 실행

❖ OCIE3A~B : Output Compare match Interrupt Enable timer 3 A~B

- 1로 설정되면 타이머3의 출력비교 인터럽트 A, B를 개별적으로 Enable.
- TCNT3과 OCR3A/B의 값이 일치하면, ETIFR.OCF3A/B 플래그가 세트되면서 인터럽트 서비스 루틴 실행.

❖ TOIE3 : Timer Overflow Interrupt Enable for timer 3

- 1로 설정되면 타이머3의 오버플로우 인터럽트를 개별적으로 Enable.
- 타이머/카운터3의 오버플로우가 발생시 ETIFR.TOV3 플래그가 세트되면서 인터럽트 서비스 루틴이 실행.

❖ OCIExC : Output Compare match Interrupt Enable timer x C

- 1로 설정되면 타이머x의 출력비교 인터럽트 C를 개별적으로 Enable.
- TCNT3/1과 OCR3C/OCR1C의 값이 일치하면, ETIFR.OCF3C/ETIFR.OCF1C 플래그가 세트되면서 인터럽트 서비스 루틴이 실행.



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□TIFR(Timer Interrupt Flag Register)

- ❖ 타이머 인터럽트 플래그 레지스터
- ❖ 타이머 0~2가 발생하는 인터럽트 플래그를 저장하는 레지스터

7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	-	-

- 비트 5 : ICF1(Input Capture Flag 1)
- 비트 4:3 : OCF1A~B(Output Compare match Flag 1 A~B)
- 비트 2 : TOV1 (Timer Overflow Flag 1)



16비트 타이머/카운터

□TIFR(Timer Interrupt Flag Register)

❖ ICF1 : Input Capture Flag 1

- 입력캡처신호 또는 아날로그 비교기로부터의 신호에 의해 캡처 동작이 수행 될 때 1로 세트되고, 입력캡처 인터럽트가 발생.
- ICR1 레지스터가 TOP 값으로 사용되는 동작 모드에서 TCNT1의 값이 TOP과 같아질 때 1로 세트되고 인터럽트가 발생

❖ OCF1A~B : Output Compare match Flag 1 A~B

- TCNT1레지스터와 출력비교 레지스터 OCR1A~B의 값을 비교하여 같으면 OCF1A~B는 1로 세트되고 출력비교 인터럽트가 발생

❖ TOV1 : Timer Overflow Flag 1

- 오버플로우가 발생하면(0xFFFF까지 세고 0x0000으로 넘어가게 되면) 이 TOV1는 1로 세트되면서 오버플로우 인터럽트가 발생
- Phase correct PWM 모드에서는 타이머1이 0x00에서 계수방향을 바꿀 때 TOV1가 세트됨.



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

□ETIFR(Extended Timer Interrupt Flag Register)

- ❖ 타이머 인터럽트 플래그 레지스터
- ❖ 타이머 1,3이 발생하는 인터럽트 플래그를 저장하는 레지스터

7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	ICF3	OCF3A	OCF3B	TOV3	OCF3C	OCF1C

- 비트 5 : ICF3(Input Capture Flag 3)
- 비트 4,3,1 : OCF3A,B,C (Output Compare match Flag 3 A,B,C)
- 비트 2 : TOV3 (Timer Overflow Flag 3)
- 비트 0 : OCF1C: Output Compare match Flag 1 C



16비트 타이머/카운터

□ETIFR(Extended Timer Interrupt Frag Register)

❖ ICF3 : Input Capture Flag 3

- 입력캡처신호 또는 아날로그 비교기로부터의 신호에 의해 캡처 동작이 수행 될 때 1로 세트되고 입력캡처 인터럽트 발생.
- ICR3 레지스터가 TOP 값으로 사용되는 동작 모드에서 TCNT3의 값이 TOP과 같아질 때 1로 세트되고 인터럽트 발생.

❖ OCF3A,B,C: Output Compare match Flag 3 A,B,C

- TCNT3레지스터와 출력비교 레지스터 OCR3A~C의 값을 비교하여 같으면 OCF3A~C는 1로 세트되고 출력비교 인터럽트 요청.

❖ TOV3 : Timer Overflow Flag 3

- 오버플로우가 발생하면 이 TOV3는 1로 세트되면서 오버플로우 인터럽트 발생
- PC PWM 모드에서는 타이머1이 0x00에서 계수방향을 바꿀 때 TOV3가 세트

❖ OCF1C: Output Compare match Flag 1 C

- TCNT1레지스터와 출력비교 레지스터 OCR1C의 값을 비교하여 같으면 OCF1C는 1로 세트되고 출력비교 인터럽트 발생



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□ 16비트 타이머/카운터 동작모드

- ❖ 크게 나누어 5가지 동작 모드

- 8비트 타이머/카운터 4가지 모드 + PFC PWM(Phase and Frequency Correct PWM) 모드

- ❖ 세분하면 총 15가지 동작모드로 구분

□ Normal Mode(일반 동작모드)

- ❖ 타이머_n는 항상 상향 카운터로만 동작
- ❖ TCNT_n의 값이 0xFFFF에서 0으로 바뀌는 순간 TOV_n비트가 세트되며 오버플로우 인터럽트 발생
- ❖ TCCR_xA~B의 WGM_x3~0 = 00으로 설정
- ❖ 카운터가 16비트라는 것을 제외하고는 8비트 타이머와 동일



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터

- ❖ TCCRnA 레지스터의 WGMn1:0와 TCCRnB 레지스터의 WGNn3:2 비트와 조합하여 15가지의 동작 모드를 결정

Mode	WGMn3	WGMn2 (CTCn)	WGMn1 (PWMn1)	WGMn0 (PWMn0)	타이머/카운터의 1,3 동작 모드	TOP	OCR1x 업데이트	TOV1플래그 Set 시점
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, Phase Correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCRnA	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM 8-bit	0x00FF	TOP	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM 9-bit	0x01FF	TOP	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM 10-bit	0x03FF	TOP	TOP
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency C orrect	ICRn	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and Frequency C orrect	OCRnA	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICRn	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCRnA	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICRn	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	Reserved	-	-	-
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICRn	TOP	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCRnA	TOP	TOP



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□CTC(Clear Timer on Compare match) 모드

❖ 4번 모드

- **인터럽트** : TCNTn의 값이 OCRnA에 설정한 값과 일치되면 그 다음 클럭 사이클에서 TCNTn의 값이 0으로 클리어되고, OCFnA비트가 세트되며 출력비교 인터럽트 발생
- **출력파형** : COMnA/COMnB/COMnC1~0을 01로 설정하고 OCRnA레지스터 값을 바꿔가면서 출력비교에 의해 OCnA/OCnB/OCnC의 신호를 토글

❖ 12번 모드

- **인터럽트** : TCNTn의 값이 ICRn에 설정한 값과 일치되면 그 다음 클럭 사이클에서 TCNTn의 값이 0으로 클리어되고, ICFn비트가 세트되며 입력캡처 인터럽트 발생
- **출력파형** : COMnA/COMnB/COMnC1~0을 01로 설정하고 OCRnA/OCRnB/OCRnC 레지스터 값을 바꿔가면서 출력비교에 의해 OCnA/OCnB/OCnC의 신호를 토글

❖ TCCRnA, B 레지스터의 WGMx3~0을 4 또는 12로 설정

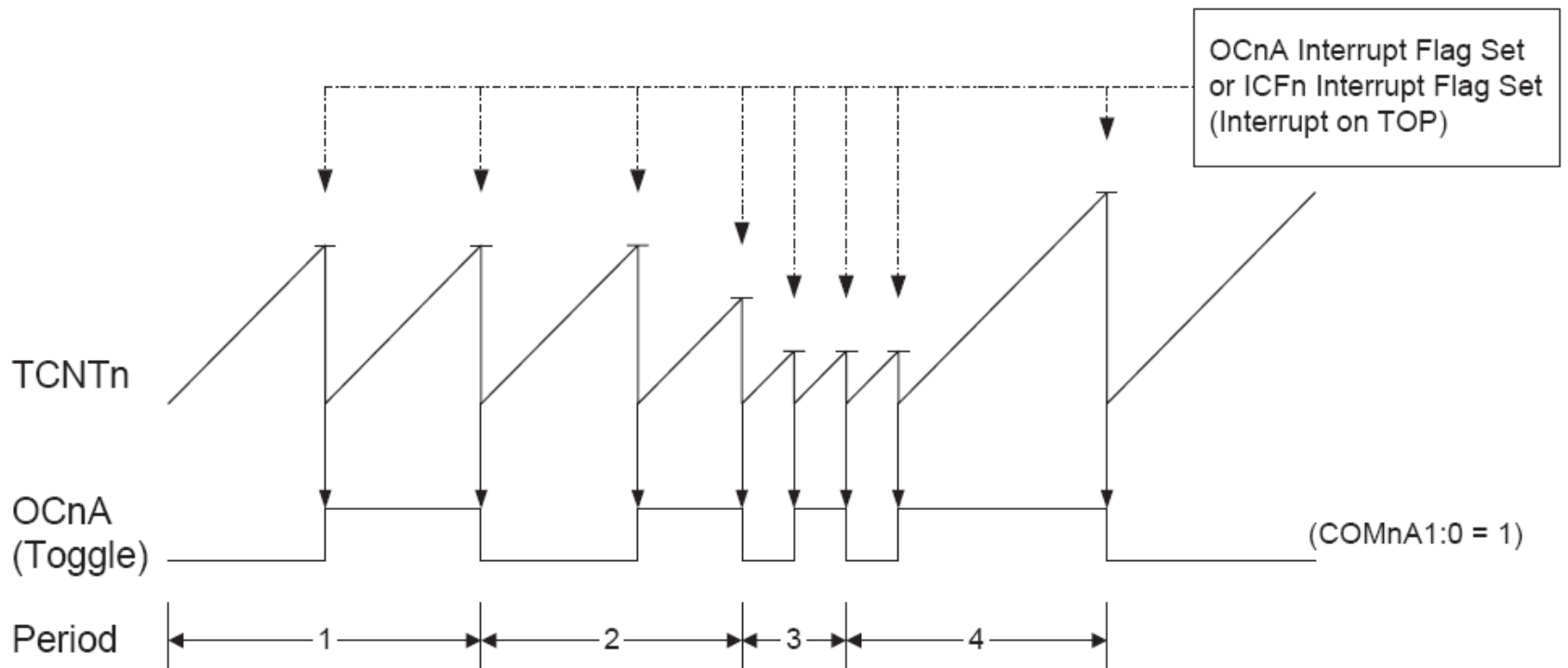


ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□CTC(Clear Timer on Compare Match) 모드



16비트 타이머/카운터 동작모드

□Fast PWM(Fast Pulse Width Modulation) 모드

- ❖ TCNTn는 반복적으로 업카운팅하며 항상 0x0000~TOP의 값을 가짐
- ❖ TCNTn의 값이 TOP 값과 일치되면 그 다음 사이클에서 0으로 클리어
- ❖ 모드별 TOP 값

동작모드	5	6	7	14	15
TOP 값	0x00FF	0x01FF	0x03FF	ICRn	OCRnA

❖ 인터럽트

- OCFnA비트 세트, 출력비교 인터럽트 발생
- ICFn비트 세트, 입력캡처 인터럽트 발생
- TOVn비트 세트, 오버플로우 인터럽트 발생

- ❖ TCCRnA, B레지스터의 WGMx3~0 비트를 5,6,7,14,15로 설정



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□Fast PWM(Fast Pulse Width Modulation) 모드

❖ 출력 파형

- COM1:0 가 “10”일때
 - TCNTn의 값이OCRnX 값과 같아지면 OCnX의 값은 0으로 클리어
 - TOP까지 증가했다가 0으로 바뀌는 순간 OCnX 는 1로 세트
- COM1:0 가 “11”일때
 - TCNTn의 값이 OCRnX 값과 같아지면 OCnX의 값은 1로 세트
 - TOP까지 증가했다가 0으로 바뀌는 순간 OCnX 는 0으로 클리어
- PWM 주기를 변경하기 위해 OCRnA/OCRnB/OCRnC 레지스터에 새로운 값을 기록하더라도 즉시 변경되지 않고 TCNTn이 TOP에 도달하면 비로소 값이 갱신된다

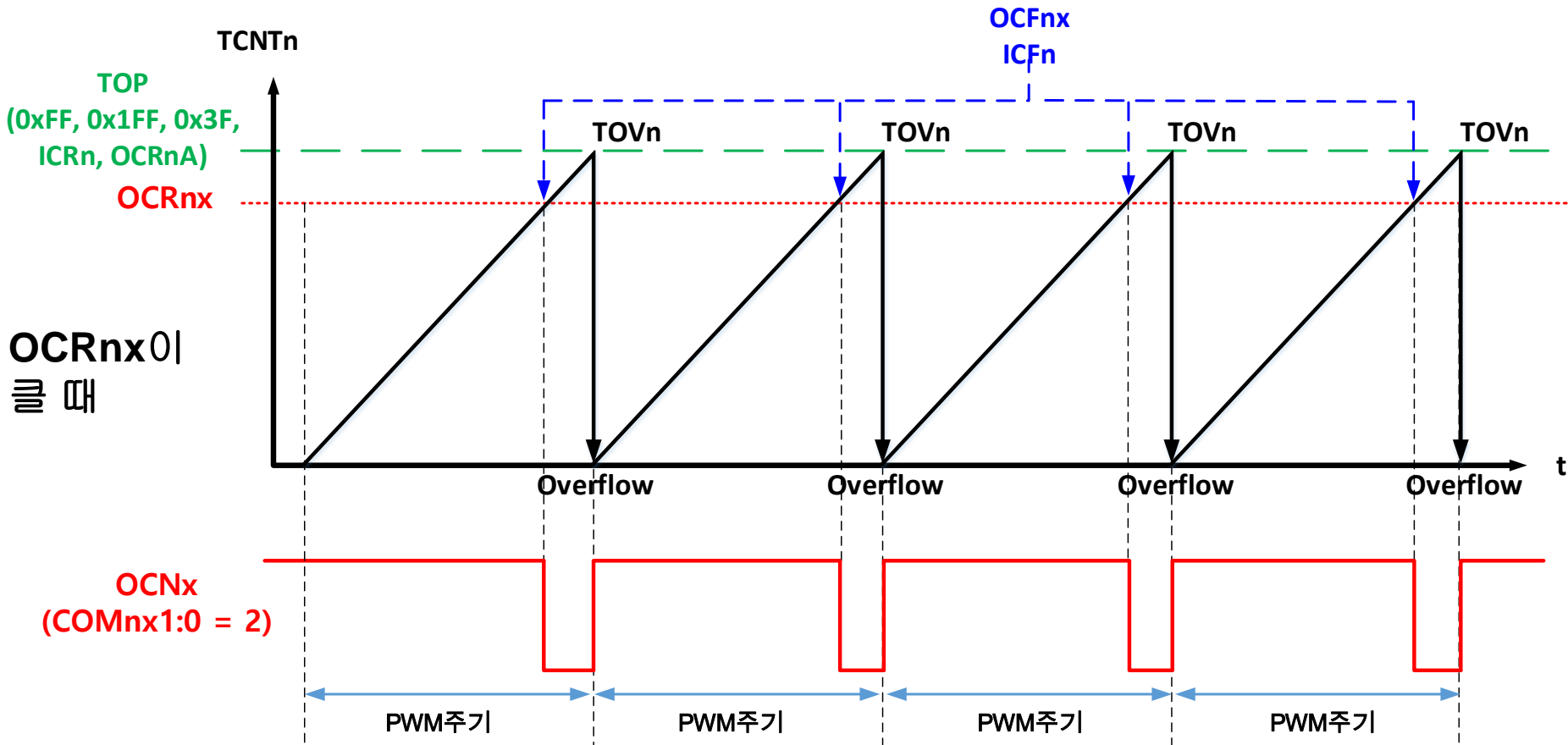


ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□ Fast PWM(Fast Pulse Width Modulation) 모드

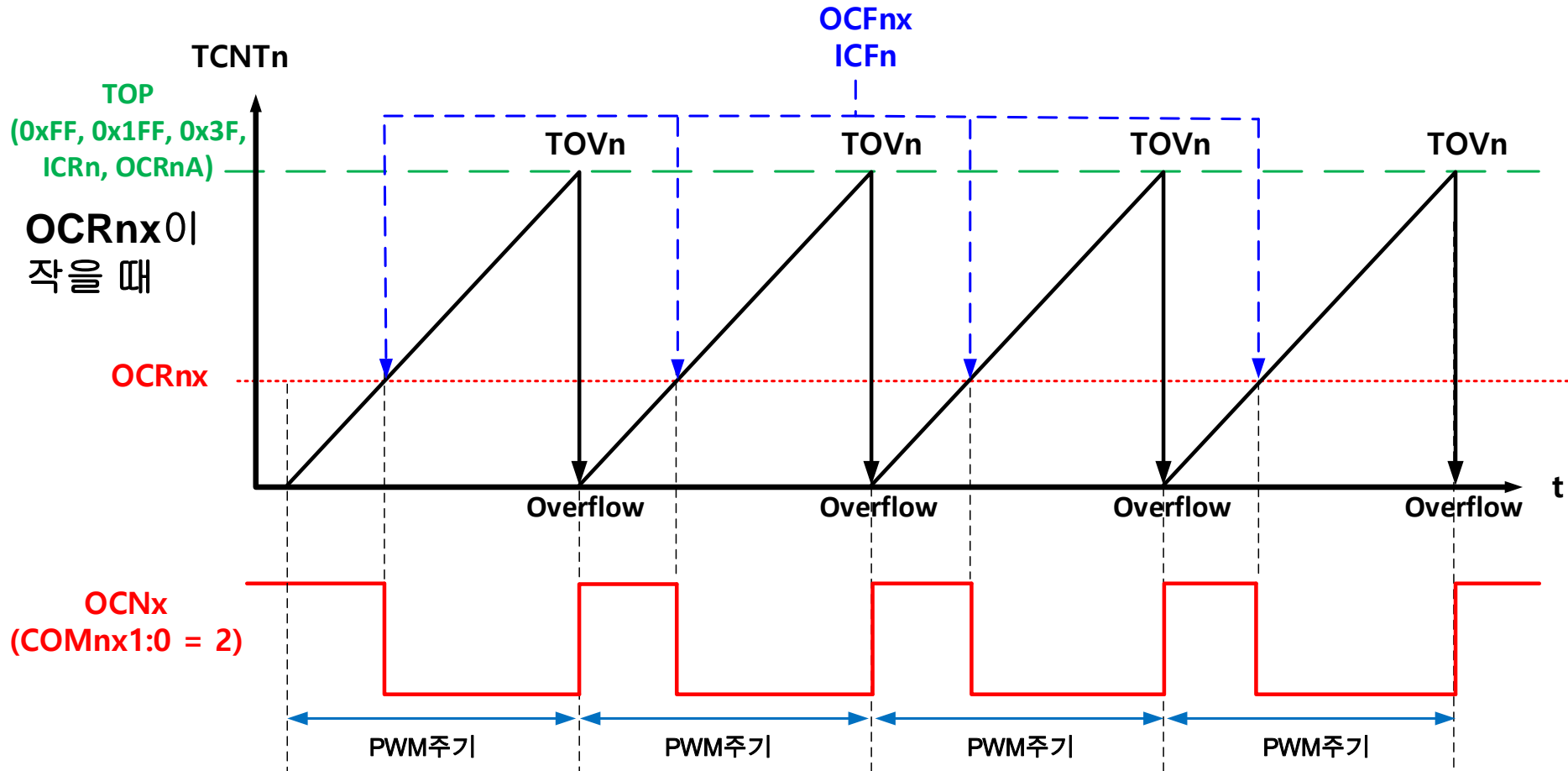


ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□ Fast PWM (Fast Pulse Width Modulation) 모드



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□ PC PWM(Phase Correct PWM) 모드

- ❖ TCNTn는 업카운팅하여 TOP으로 증가하다가 다운카운팅으로 0x0000으로 감소를 반복
- ❖ 모드별 TOP 값

동작모드	1	2	3	10	11
TOP 값	0x00FF	0x01FF	0x03FF	ICRn	OCRnA

- ❖ 인터럽트
 - OCFnA비트 세트, 출력비교 인터럽트 발생
 - ICFn비트 세트, 입력캡취 인터럽트 발생
 - TOVn비트 세트, 오버플로우 인터럽트 발생
- ❖ TCCRnA, B레지스터의 WGMx3~0 비트를 1,2,3,10,11로 설정



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□ PC PWM(Phase Correct PWM) 모드

❖ 출력 파형

- COM1:0 가 “10”일때
 - TCNTn의 값이 OCRnX 레지스터에 설정한 값과 일치되면 OCnX의 값은 상향 카운팅의 경우에는 0으로, 하향의 경우에는 1로 세트.
 - COM1:0 가 “11”일때
 - TCNTn의 값이 OCRnX 레지스터에 설정한 값과 일치되면 OCnX의 값은 상향 카운팅의 경우에는 1로, 하향의 경우에는 0로 세트.
 - COM1:0 가 “00”or “01”일때
 - OCnA/OCnB/OCnC는 신호 출력되지 않음
- ❖ PWM 주기를 변경하기 위해 OCRnA/OCRnB/OCRnC 레지스터에 새로운 값을 기록하더라도 즉시 변경되지 않고 TCNTn이 TOP에 도달하면 비로소 값이 갱신된다

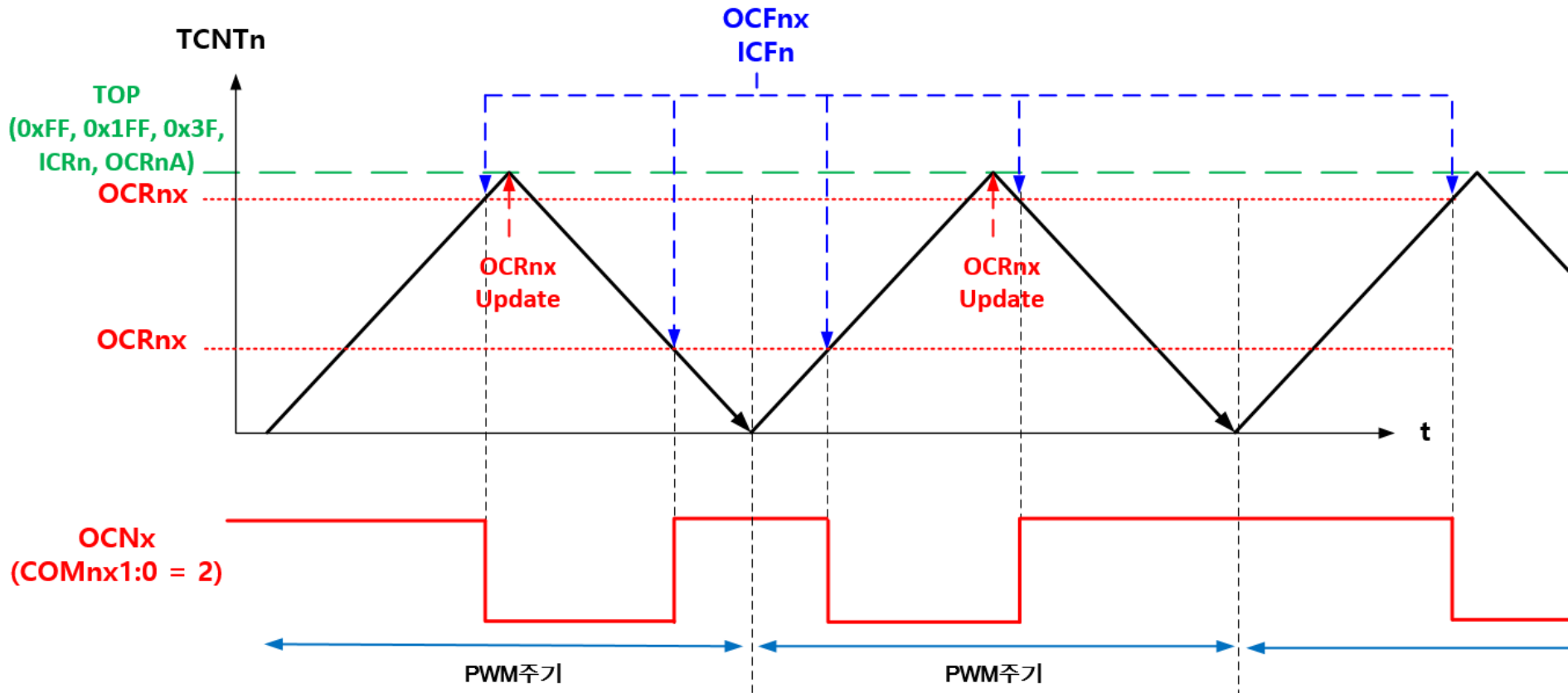


ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□ PC PWM(Phase Correct PWM) 모드



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□PFC PWM(Phase & Frequency Correct PWM) 모드

- ❖ PC PWM 모드와 거의 유사
- ❖ 모드별 TOP 값
 - 모드 8 : ICR1
 - 모드 9 : OCRnA
- ❖ TCNTn는 업카운팅하여 TOP으로 증가하다가 다운카운팅으로 0x0000으로 감소를 반복
- ❖ 인터럽트
 - OCFnA비트 세트, 출력비교 인터럽트 발생
 - ICFn비트 세트, 입력캡춰 인터럽트 발생
 - TOVn비트 세트, 오버플로우 인터럽트 발생
- ❖ 새로운 값으로의 갱신이 TCNTn가 0일 때 이루어짐.
- ❖ TCCRxB레지스터의 WGMx3~0 비트를 8,9로 설정



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

16비트 타이머/카운터 동작모드

□PFC PWM(Phase & Frequency Correct PWM) 모드

❖ 출력 파형

- COM1:0 가 “10”일때
 - TCNTn의 값이 OCRnX 레지스터에 설정한 값과 일치되면 OCnX 의 값은 상향 카운팅의 경우에는 0으로, 하향의 경우에는 1로 세트.
- COM1:0 가 “11”일때
 - TCNTn의 값이 OCRnX 레지스터에 설정한 값과 일치되면 OCnX 의 값은 상향 카운팅의 경우에는 1로, 하향의 경우에는 0로 세트.
- COM1:0 가 “00”or “01”일때
 - OCnA/OCnB/OCnC는 신호 출력되지 않음



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

실습 9 : PWM으로 LED 밝기 조절

□실습 개요

- ❖ 타이머 0의 PC PWM 동작 모드를 이용하여 LED의 밝기를 조절하는 실습
- ❖ PWM 동작 모드에서 OC0 핀을 통해 PWM신호를 만들어 출력함으로써, LED의 밝기를 조절하도록 함.
- ❖ 밝기는 PWM 신호의 듀티비(Pulse Duty)에 의해 좌우됨.

□실습 목표

- ❖ 타이머0의 PWM 기능 동작원리 이해
- ❖ 타이머0의 PCPWM 모드 제어 방법의 습득(관련 레지스터 이해)
- ❖ PWM 신호 출력 제어 방법 습득



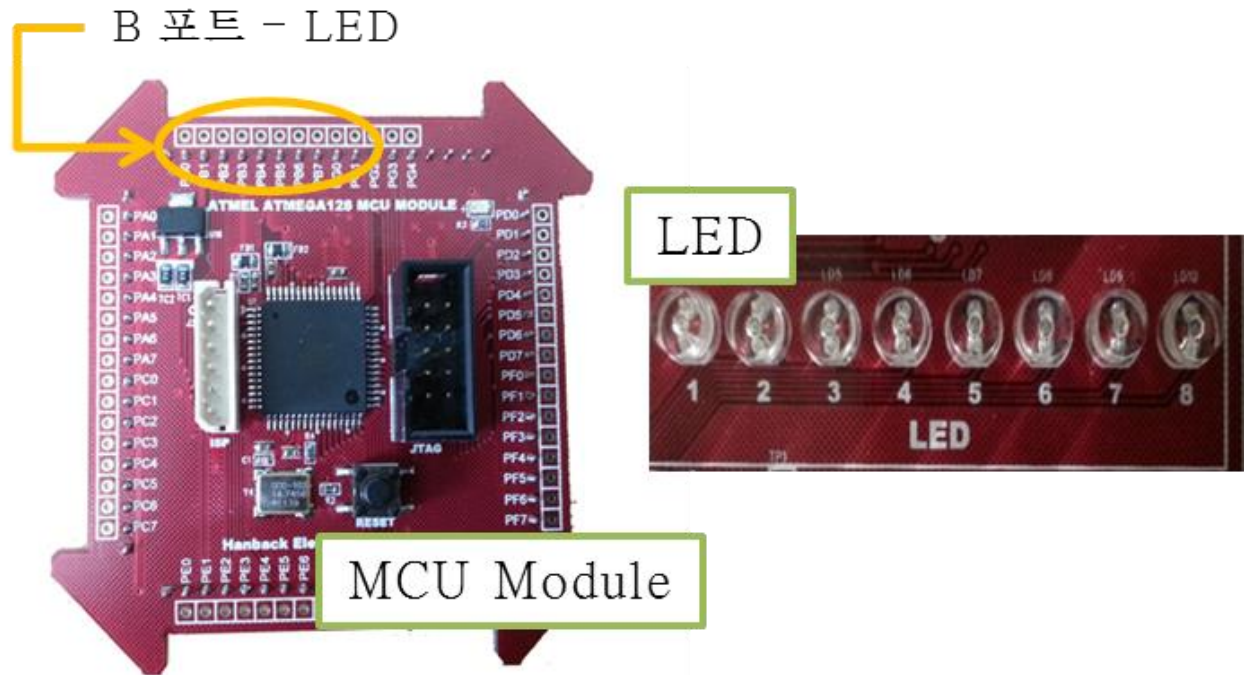
ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

실습 9 : PWM으로 LED 밝기 조절

□ 사용 모듈

- ❖ MCU 모듈, LED 모듈



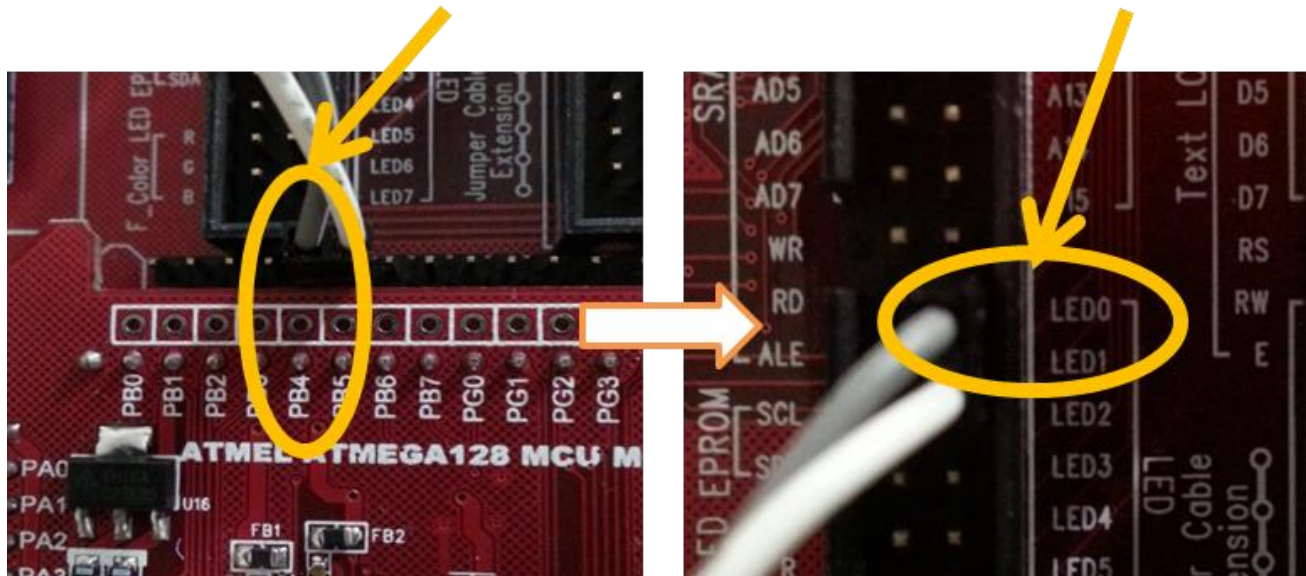
실습 9 : PWM으로 LED 밝기 조절

□ 모듈 결선 방법

- ❖ MCU 모듈 포트B의 PB4를 LED 모듈의 LED0에 연결

MCU 모듈
포트 B 4번 핀

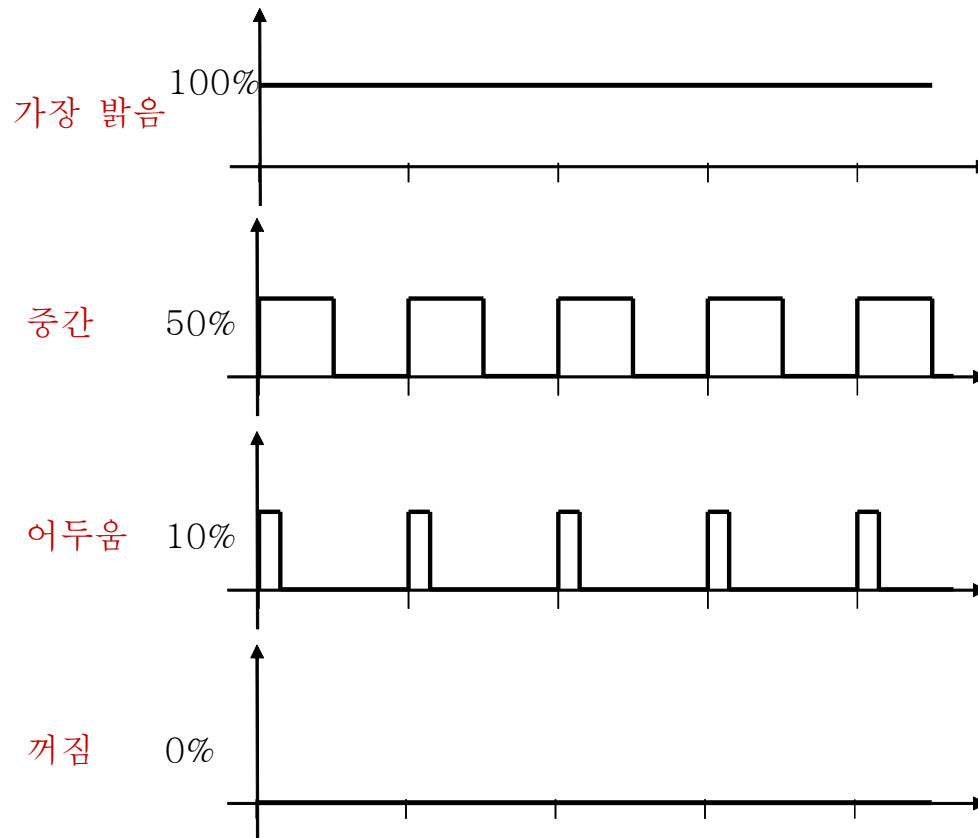
LED 0 신호
포트선



실습 9 : PWM으로 LED 밝기 조절

❖ 구동 프로그램 : 사전 지식

❖ PWM 신호에 의한 LED의 밝기 조절 방법



듀티비 100%인 경우
LED는 가장 밝을
것이며, 듀티비가
0%이면 LED는 꺼진다

출력 비교용
레지스터(OCR)값을
조절하여
OC0로 출력되는 PWM
신호의 듀티비를
원하는 대로 변경



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

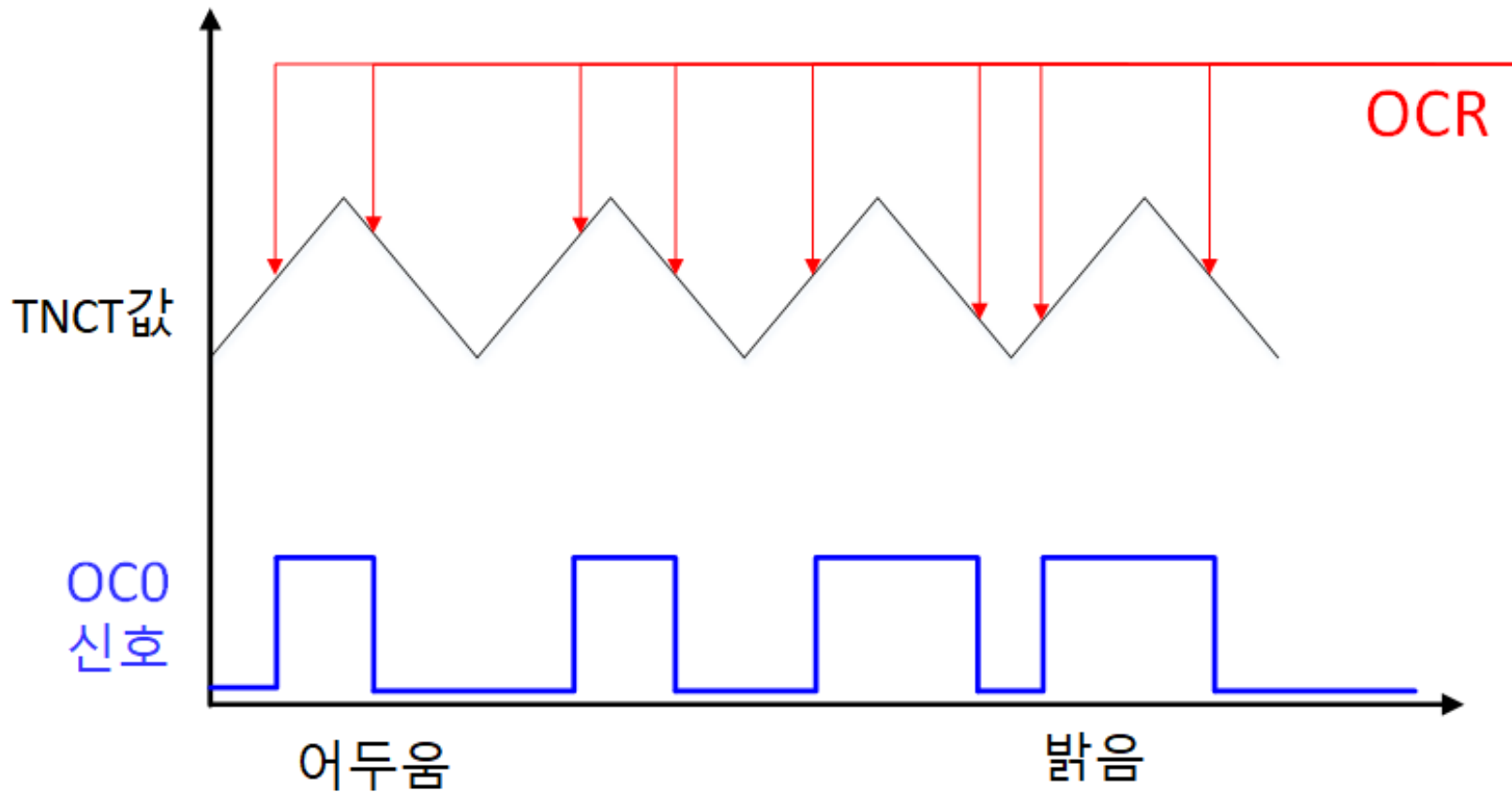
실습 9 : PWM으로 LED 밝기 조절

- ❖ 구동 프로그램 : 사전 지식(PWM 동작 모드 설정)
 - ❖ 타이머/카운터 0 사용
 - ❖ Phase Correct PWM 동작 모드 사용
 - ❖ TCCR0 설정
 - CS 비트는 01로 세팅하여 Prescaler의 분주비를 1로 설정
 - FOC 비트는 0로 설정
 - WGM 비트는 PC PWM 모드인 01로 설정
 - COM 비트는 11로 세팅하여 업카운팅의 경우 OC0를 1로 세트 하고, 다운카운팅의 경우 OC0를 클리어 시키도록 설정
 - PWM 클럭 = 메인클럭/N*510, (N = 클럭분주)



실습 9 : PWM으로 LED 밝기 조절

- ❖ 구동 프로그램 : 사전 지식(PWM 동작 모드 설정)



실습 9 : PWM으로 LED 밝기 조절

□ 구동 프로그램 : 소스 분석

❖ Pwm_led.c

1)	<pre>#include<avr/io.h> #include<avr/interrupt.h> #include<util/delay.h> int main(){ unsigned char Light=0; DDRB = 0x10; /* 0~7비트까지의 레지스터 중에서 4번째 비트의 레지스터를 사용하여 출력한다. */</pre>
2)	<pre>TCCR0 = 0x71; //PWM, No Prescaling /* 0~7비트까지의 모든 레지스터 중에서 0, 4, 5, 6번째의 레지스터를 사용하여 출력한다. */ TCNT0 = 0; while(1){</pre>

PB4는 OC0핀
(PWM출력핀)



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

실습 9 : PWM으로 LED 밝기 조절

□ 구동 프로그램 : 소스 분석

❖ `TCCR0 = 0x71;`

7	6	5	4	3	2	1	0
FOCn	WGMn0	COMn1	COMn0	WGMn1	CSn2	CSn1	CSn0
0	1	1	1	0	0	0	1

- CS는 “001” 이므로 Prescaler의 분주비가 1
- WGM(1:0)는 “01” 이므로 PC PWM 모드
- COM(1:0)는 “11” 로 세팅
- FOC 는 ‘0’로 세팅



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

실습 9 : PWM으로 LED 밝기 조절

```
3)    for(Light=0;Light<255;Light++){
        OCR0 = Light;
        _delay_ms(10);           //10ms만큼의 딜레이 간격
    }
    for(Light=255;0<Light;Light--){
        OCR0 = Light;
        _delay_ms(10);
    }
    }
    return 0;
    }
```



실습 9 : PWM으로 LED 밝기 조절

□ 실행 결과



LED On



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

□실습 개요

- ❖ 타이머 1의 PC PWM 동작 모드를 이용하여 Full Color LED의 색깔을 제어 하도록 설계
- ❖ PWM 동작 모드에서 OC1A, OC1B, OC1C 핀을 통해 PWM신호를 만들어 출력
- ❖ 1의 3개의 PWM 신호를 제어하면 Full Color LED의 색깔이 제어된다.

□실습 목표

- ❖ 16비트 타이머/카운터 활용 방법의 습득(관련 레지스터 이해)
- ❖ Full Color LED의 동작원리 이해



ICAT

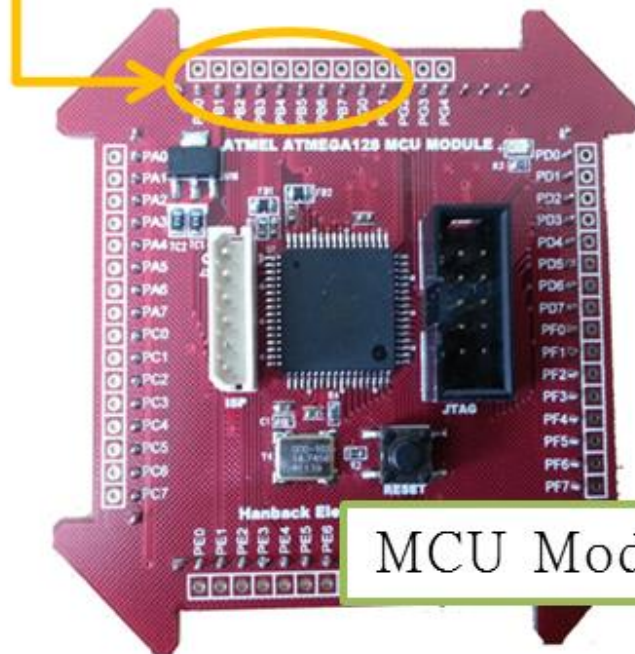
Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

□ 사용 모듈

- ❖ MCU 모듈, Full Color LED 모듈

B 포트 - Full Color LED



MCU Module

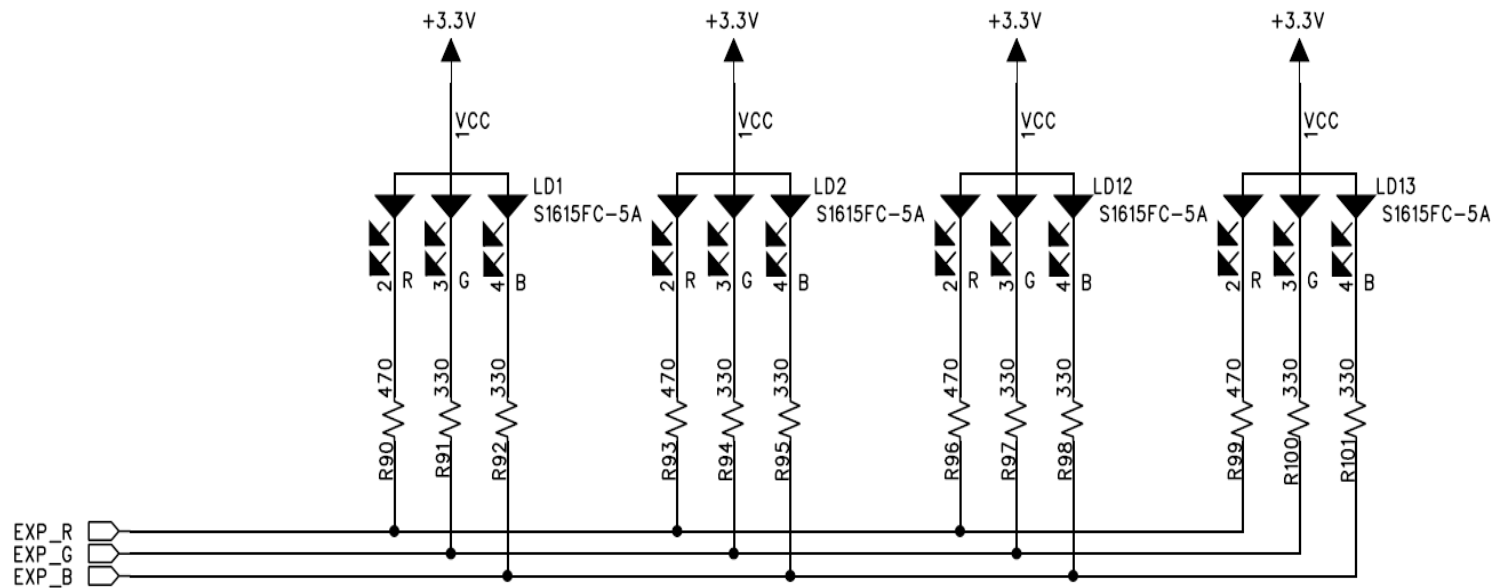
Full Color LED



실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

□ 사용 모듈

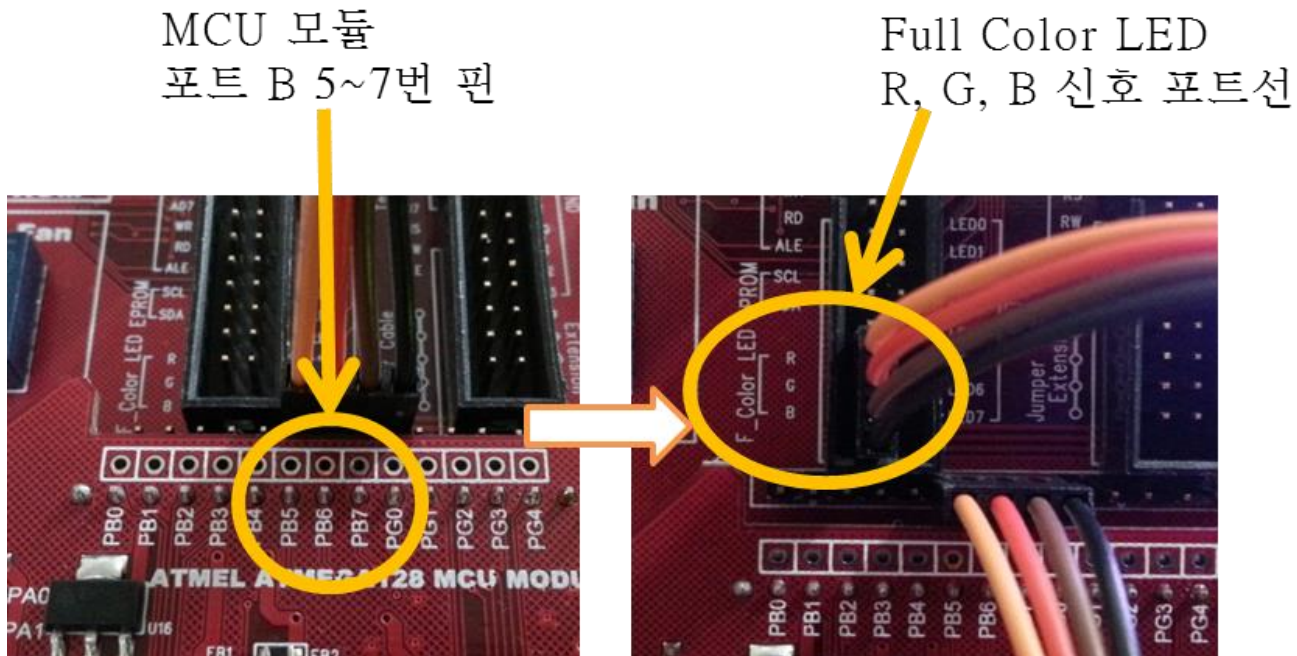
❖ Full Color LED 모듈 회로



실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

□ 모듈 결선 방법

- ❖ MCU 모듈 포트 B의 PB5~PB7을 Full Color LED 모듈의 R, G, B에 연결.



실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

□ 구동 프로그램 : 사전 지식

- ❖ 타이머를 이용하여 Full Color LED에서 여러 색깔을 나타나게 함.
- ❖ 각기 다른 R, G, B를 조합해 원하는 색을 만들어 주면 됨
- ❖ 16비트 타이머/카운터 1을 이용/OC1A, OC1B, OC1C를 사용
- ❖ TCCR1A/TCCR1B/ TCCR1C 레지스터들을 적절히 세팅
 - Full Color LED에 입력될 신호는 OC1A, OC1B, OC1C핀을 사용
 - WGM(3:0)은 "0001"로 세팅
 - COM1A(1:0), COM1B(1:0), COM1C(1:0),는 "10" 로 세팅
 - 업 카운팅 시 OC가 1로 되고 다운 카운팅 때 0로 됨



ICAT

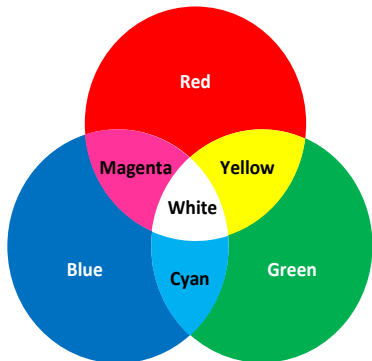
Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

□ 구동 프로그램 : 사전 지식

❖ 8색 LED 색상 조합

LED 색상			Color
Red	Green	Blue	
0	0	0	Black
0	0	1	Blue
0	1	0	Green
0	1	1	Cyan
1	0	0	Red
1	0	1	Magenta
1	1	0	Yellow
1	1	1	White



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

□ 구동 프로그램 : 소스 분석

❖ PWM_3led.c

1)	<pre>#include<avr/io.h> #include<util/delay.h></pre>
2)	<pre>unsigned char rgbTable[20][3] = { // r g b { 0xff, 0x00, 0x00 }, //0 red { 0xff, 0x45, 0x00 }, //1 orangered { 0xff, 0x8c, 0x00 }, //2 darkorange { 0xff, 0xa5, 0x00 }, //3 orange { 0xff, 0xd7, 0x00 }, //4 gold { 0xff, 0xff, 0x00 }, //5 yellow { 0xad, 0xff, 0x2f }, //6 greenyellow { 0x9a, 0xcd, 0x32 }, //7 yellowgreen { 0x00, 0x80, 0x00 }, //8 green { 0x22, 0x8b, 0x22 }, //9 forest green { 0x2e, 0x8b, 0x57 }, //10 sea green { 0x00, 0x80, 0x80 }, //11 teal { 0x5f, 0x9e, 0xa0 }, //12 cadet blue</pre>



ICAT

실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

2)	<pre>{ 0x87, 0xce, 0xeb }, //13 sky blue { 0x00, 0x00, 0xff }, //14 blue { 0x00, 0x00, 0x8b }, //15 darkblue { 0x48, 0x3d, 0x8b }, //16 darkslateblue { 0x93, 0x70, 0xdb }, //17 medium purple { 0xba, 0x55, 0xd3 }, //18 medium orchid { 0x80, 0x00, 0x80 }, //19 purple };</pre>
3)	<pre>int main(){ unsigned char i=0; DDRB = 0xE0; //PB5~PB7 출력 TCCR1A = 0xA9; //PWM, Phase Correct, 8-bit – mode2 TCCR1B = 0x02; //14.7456MHz / (2 x 8분주 x 256) = 3.6khz TCCR1C = 0x00; while(1){</pre>



실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

□ 구동 프로그램 : 소스 분석

❖ TCCR1A = 0xA9;

7	6	5	4	3	2	1	0
COMnA1	COMnA0	COMnB1	COMnB0	COMnC1	COMnC0	WGMn1	WGMn0
1	0	1	0	1	0	0	1

- COM1A, 1B, 1C(1:0)은 “10”으로 셋팅하여 업카운팅 시 OC가 1로 되고 다운 카운팅 때는 0로 된다.

❖ TCC1B = 0x02;

7	6	5	4	3	2	1	0
ICNCn	ICESn	-	WGMn3	WGMn2	CSn2	CSn1	CSn0
0	0	0	0	0	0	1	0



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

4)

```
OCR1A = rgbTable[i][0];
OCR1B = rgbTable[i][1];
OCR1C = rgbTable[i][2];
i++;
if(i == 20) i = 0;
_delay_ms(1000);
}
return 0;
}
```



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

실습 10 : PWM으로 Full Color LED 제어

□ 실행 결과



ICAT

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.