

## 제10장. PWM 타이머

### 개요

S3C2410X는 다섯 개의 16비트 타이머를 가지고 있다. 타이머 0, 1, 2, 3은 PWM 기능을 가지고 있다. 반면에 타이머 4는 출력 핀이 아닌 내부용 타이머이다. 타이머 0은 대용량 전류 기기에서 사용되는 데드-존 발생기를 가지고 있다.

타이머 0과 1은 1개의 8비트 분주기를 공유하며, 타이머 2, 3, 4는 다른 1개의 8비트 분주기를 공유한다. 모든 타이머는 각각 5가지의 경우(1/2, 1/4, 1/8, 1/16, TCLK)로 신호를 분주하는 클럭 분주기를 갖는다. 각각의 타이머 블록은 8비트 프리스케일러와 일치하는 클럭을 받는 클럭 분주기로부터 자신의 클럭 신호를 수신한다. 8비트 프리스케일러는 프로그래밍이 가능하며 TCFG0와 TCFG1 레지스터에 저장된 값을 읽어서 PCLK를 분주한다.

타이머 카운트 버퍼 레지스터(TCNTBn)는 타이머가 인에이블 될 때 다운 카운터로 호출되는 초기값을 갖는다. 타이머 비교 버퍼 레지스터(TCMPBn)는 다운 카운터 값과 비교하기 위해서 비교 레지스터로 호출되는 초기값을 갖는다. TCNTBn과 TCMPBn의 더블 버퍼링 특성은 주파수와 듀티-비가 변경될 때 타이머가 안정된 출력을 발생하도록 만들어준다.

각각의 타이머는 타이머 클럭에 의해서 구동되는 자신의 16비트 다운 카운터를 갖는다. 다운 카운터 값이 0이 되면, 타이머 동작이 완료되었다는 것을 CPU에 알려주기 위해서 타이머 인터럽트 요청이 발생된다. 타이머 카운터가 0이 될 때, 다음의 동작을 진행하기 위해서 TCNTBn 레지스터와 일치되는 값이 다운 카운터에 자동으로 호출된다. 어쨌든, 타이머가 동작 모드에 있는 동안에 TCONn의 타이머 인에이블 비트를 클리어 해서 타이머가 멈추게 되면 TCNTBn 레지스터의 값은 카운터로 호출되지 않는다.

TCMPBn 레지스터의 값은 펄스 폭 변조(PWM)에 이용된다. 타이머 컨트롤 로직은 다운 카운터의 값이 타이머 컨트롤 로직 안의 비교 레지스터의 값과 일치할 때 출력 레벨이 변경된다. 이러한 이유로 비교 레지스터는 PWM 출력의 turn-on 시간(or turn-off 시간)을 결정한다.

### Feature

- ☞ 5개의 16비트 타이머
- ☞ 2개의 8비트 프리스케일러와 2개의 4비트 분주기
- ☞ PWM의 듀티비 설정 가능
- ☞ 자동 재호출 모드 혹은 one-shot 펄스 모드
- ☞ 데드-존 발생기

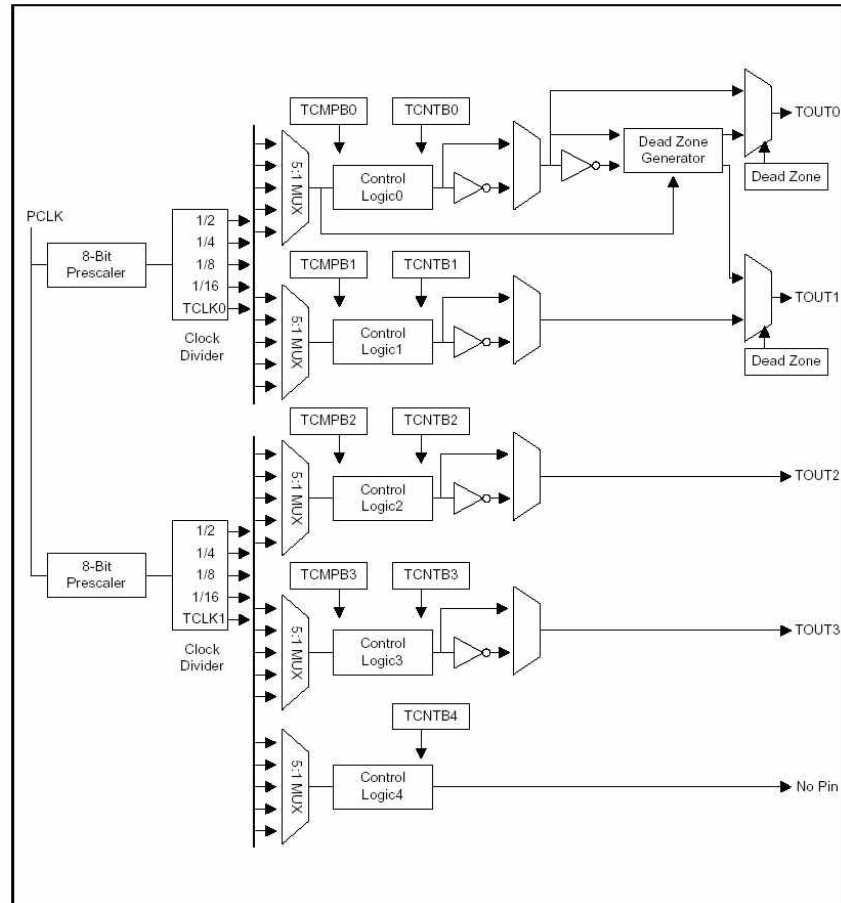


그림 10-1. 16비트 PWM 타이머 블록 다이어그램

## PWM 타이머 동작

### 프리스케일러 & 분주기

8비트의 프리스케일러와 4비트의 분주기를 이용하면 아래와 같은 주파수를 생성할 수 있다.

4비트 분주기 설정	최소 해상도 (프리스케일러=0)	최대 해상도 (프리스케일러=255)	최대 간격 (TCNTBn=65535)
1/2(PCLK=50MHz)	0.0400us(25.0000MHz)	10.2400us(97.6562Khz)	0.6710 sec
1/4(PCLK=50MHz)	0.0800us(12.5000MHz)	20.4800us(48.8281Khz)	1.3421 sec
1/8(PCLK=50MHz)	0.1600us(6.2500MHz)	40.9601us(24.4140Khz)	2.6843 sec
1/16(PCLK=50MHz)	0.3200us(3.1250MHz)	81.9188us(12.2070Khz)	5.3686 sec

## 타이머의 기본 동작

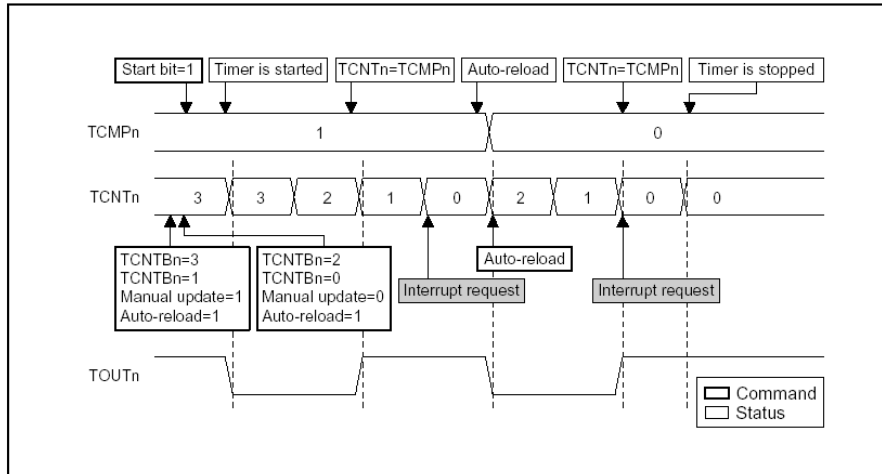


그림 10-2. 타이머 동작

타이머(타이머 채널 5는 제외)는 TCNTBn, TCNTn, TCMPBn, TCMPn 레지스터를 가지고 있다. (TCNTn과 TCMPn은 내부 레지스터의 이름이다. TCNTn 레지스터는 TCNTOn 레지스터로부터 읽힐 수 있다.) TCNTBn과 TCMPBn은 타이머 값이 0이 될 때 TCNTn과 TCMPn으로 호출된다. TCNTn 값이 0이 될 때, 인터럽트가 인에이블 되어 있으면 인터럽트 요청이 발생된다.

## 자동 재실행 & 더블 버퍼링

S3C2410X의 PWM 타이머는 현재 실행되고 있는 타이머의 동작을 멈추지 않고도 다음번의 타이머 동작 시에 변경된 값을 재실행 할 수 있는 더블 버퍼링 기능을 가지고 있다. 즉, 새로운 타이머 값이 설정되더라도 현재의 타이머 동작이 성공적으로 완료된다.

타이머 값이 타이머 카운트 버퍼 레지스터(TCNTBn)에 기록할 수도 있고, 타이머의 현재 카운터 값을 타이머 카운트 관측 레지스터(TCNTOn)에서 읽을 수도 있다. 만약 TCNTBn의 값이 읽혀지면 읽혀진 값은 카운터의 현재 상태를 가리키는 것이 아니고 다음에 동작되는 타이머의 값을 다시 호출하는 것이다.

자동 재실행 기능은 TCNTn의 값이 0이 될 때 TCNTBn의 값을 TCNTn으로 복사한다. TCNTBn에 쓰여지는 값은 TCNTn의 값이 0이 되고 자동 재실행 기능이 인에이블 되어 있을 경우에만 TCNTn으로 호출된다. 만일 TCNTn이 0이 되고 자동 재실행 비트가 0이면, TCNTn은 더 이상 동작하지 않는다.

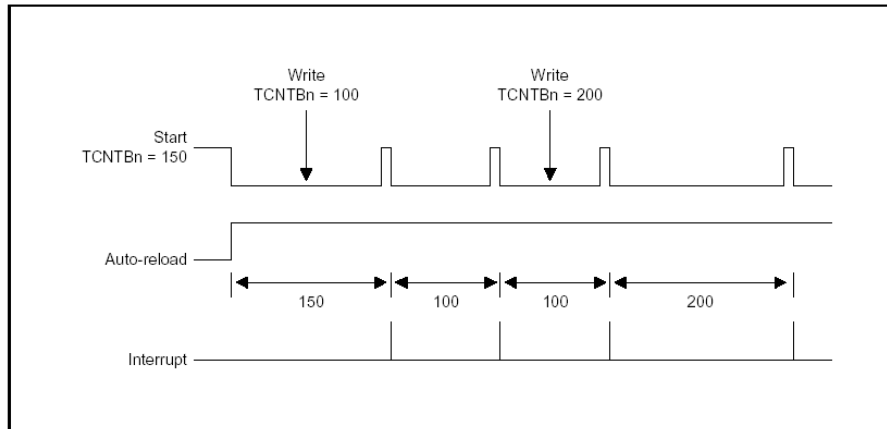


그림 10-3. 더블 버퍼링 동작 예

### 매뉴얼 업데이트 bit와 인버터 bit를 이용한 타이머 초기화

타이머의 자동 재실행 동작은 다운 카운터의 값이 0이 될 때 실행된다. 즉, TCNTn의 시작 값은 사용자가 설정해야 한다. 이러한 경우에, 시작 값은 매뉴얼 업데이트 비트에 의해서 호출되어야 한다. 아래의 과정은 타이머를 시작하는 방법에 대해서 설명한다.

- 1) TCNTBn과 TCMPBn에 초기 값을 기록한다.
- 2) 해당하는 타이머에 매뉴얼 업데이트 비트를 설정한다. 이 경우에 인버터 on/off 비트 (인버터를 사용할지 안 할지)를 설정할 것을 권고한다.
- 3) 타이머를 시작하기 위하여 해당 타이머의 시작 비트를 설정한다(그리고 매뉴얼 업데이트 비트를 클리어 한다)

만약 타이머가 강제로 정지되면, TCNTn은 카운터의 값을 유지하지만 TCNTBn으로부터 재 호출 되지는 않는다. 만일 새로운 값 설정이 필요하다면 매뉴얼 업데이트를 실행한다.

#### 주의할 점

TOUT 인버터 on/off 비트가 변경될 때마다, TOUTn 로직 값은 타이머가 동작되는 거에 상관없이 변경된다. 그러므로 인버터 on/off 비트는 매뉴얼 업데이트 비트와 함께 설정하는 것이 바람직하다.

### 타이머의 동작

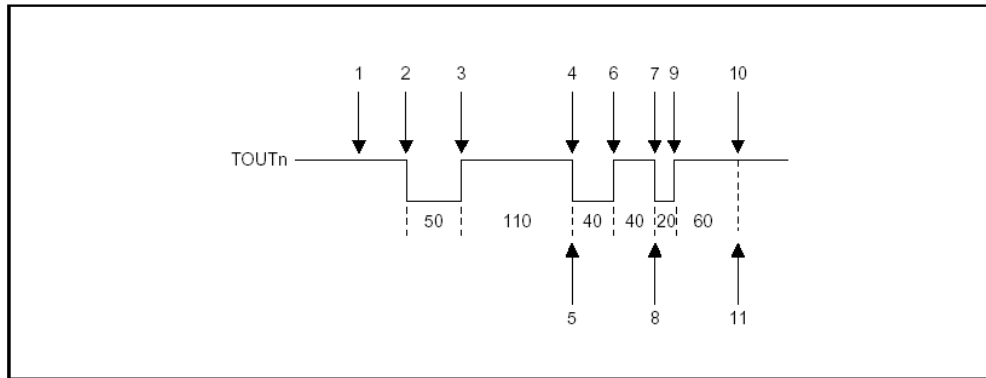


그림 10-4. 타이머 동작 예

그림 10-4는 아래와 같은 실행 결과를 보여준다.

1. 자동 재실행에 기능을 인에이블 한다. TCNTBn을 160(50+110)으로 설정하고 TCMPBn을 110으로 설정한다. 매뉴얼 업데이트 비트를 셋으로 하고 인버터 비트(on/off)를 설정한다. 매뉴얼 업데이트 비트를 통해서 TCNTn과 TCMPn을 각각 TCNTBn과 TCMPBn의 값으로 설정 한다. 그리고 나서, 다음에 재실행 되는 값을 결정하기 위하여 TCNTBn과 TCMPBn을 각각 80(40+40)과 40으로 설정한다.
2. 매뉴얼 업데이트가 0이고, 인버터가 off이고 자동 재실행이 on이 되도록 시작 비트를 설정 한다. 타이머는 타이머 해상도의 지연 시간이 있는 후에 카운트 다운을 시작한다.
3. TCNTn 이 TCMPn의 값과 같을 때, TOUTn의 로직 레벨은 Low에서 High로 바뀐다.
4. TCNTn이 0이 되면, 인터럽트 요청이 발생되고 TCNTBn의 값은 임시 레지스터로 호출된다. 다음에 발생하는 타이머 틱에서, TCNTn은 임시 레지스터의 값(TCNTBn)으로 재실행 된다.
5. 인터럽트 서비스 루틴(ISR)에서, TCNTBn과 TCMPBn은 다음 상태에서 각각 80(20+60)과 60으로 설정된다.
6. TCNTn이 TCMPn의 값과 같을 때, TOUTn의 로직 레벨은 low에서 high로 바뀐다.
7. TCNTn이 0이 되면, TCNTn은 TCNTBn에 자동으로 재호출 되며, 인터럽트 요청을 발생한다.
8. 인터럽트 서비스 루틴(ISR)에서, 타이머를 정지시키기 위해서 인터럽트 요청이 디스에이블 된다.
9. TCNTn이 TCMPn의 값과 같을 때, TOUTn의 로직 레벨은 low에서 high로 바뀐다.
10. TCNTn이 0에 도달하더라도 TCNTn은 더 이상 재호출 되지 않으며 자동 재호출 기능이 디스에이블 되어 있기 때문에 타이머는 정지된다.
11. 인터럽트 요청이 더 이상 발생하지 않는다.

## 펄스 폭 변조(PWM)

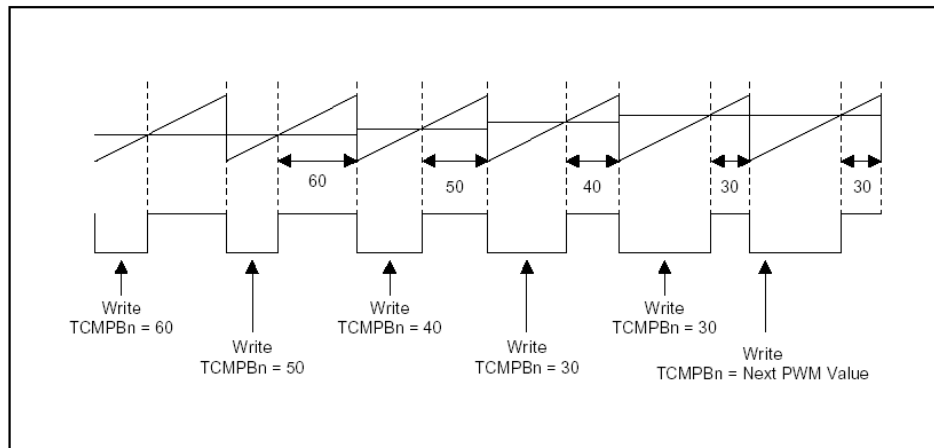


그림 10-5. PWM의 예

PWM 기능은 TCMPBn을 이용하여 구현된다. PWM 주파수는 TCNTBn에 의해서 결정된다. 그림 10-5는 TCMPBn에 의해 결정된 PWM 값을 나타내고 있다.

PWM 값이 최고점에 도달하면 TCMPBn의 값은 감소되고 PWM의 값이 최저점에 도달하면 TCMPBn의 값은 증가된다. 만일 출력 인버터가 인에이블 되어 있으면, 증가/감소 파형은 반전 된다.

다음 번의 PWM 사이클에서 더블 버퍼링의 기능이 TCMPBn에 적용되며, ISR이나 다른 루틴에 의해서 현재 PWM 사이클의 임의의 지점에 기록된다.

## 출력 레벨 컨트롤

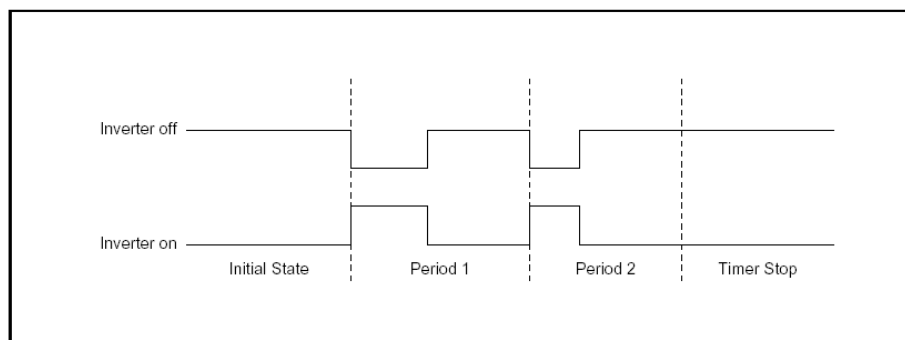


그림 10-6. 인버터 On/Off

아래의 과정은 TOUT을 high나 low(인버터는 off라고 가정)로 유지되는 방법에 대해서 설명한다.

1. 자동 재실행 비트를 Turn off 한다. 그러면, TOUTn은 high level로 되고 TCNTn의 값이 0이 된 후에 타이머는 정지한다.
2. 타이머 시작/정지 비트를 0으로 클리어 해서 타이머를 정지 시킨다. 만일 TCNTn  $\leq$  TCMPn이면 출력 레벨은 high가 되고, TCNTn  $>$  TCMPn 이면 출력은 low가 된다.
3. TOUTn은 TCON의 인버터 on/off 비트에 의해 반전 된다. 인버터는 출력 레벨을 조절하기 위한 추가적인 회로를 필요로 하지 않는다

## 데드-존 발생기

데드-존은 전력 기기의 PWM을 컨트롤 용으로 사용된다. 이 기능은 스위칭 기기의 turn-off와 다른 스위칭 기기의 turn on 사이에 타임 갭의 삽입을 인에이블 한다. 이 타임 갭은 매우 짧은 시간에 두 개의 스위칭 디바이스가 동시에 켜지는 것을 금지시킨다.

TOUT0는 PWM 출력이다. nTOUT0은 TOUT0의 반전이다. 만일 데드-존이 인에이블 되면, TOUT0과 nTOUT0의 출력 파형은 각각 TOUT0\_DZ와 nTOUT0\_DZ가 된다. nTOUT0\_DZ는 TOUT1 핀으로 라우팅 된다.

데드-존 간격에서, TOUT0\_DZ와 nTOUT0\_DZ는 절대로 동시에 turn on이 되지 않는다.

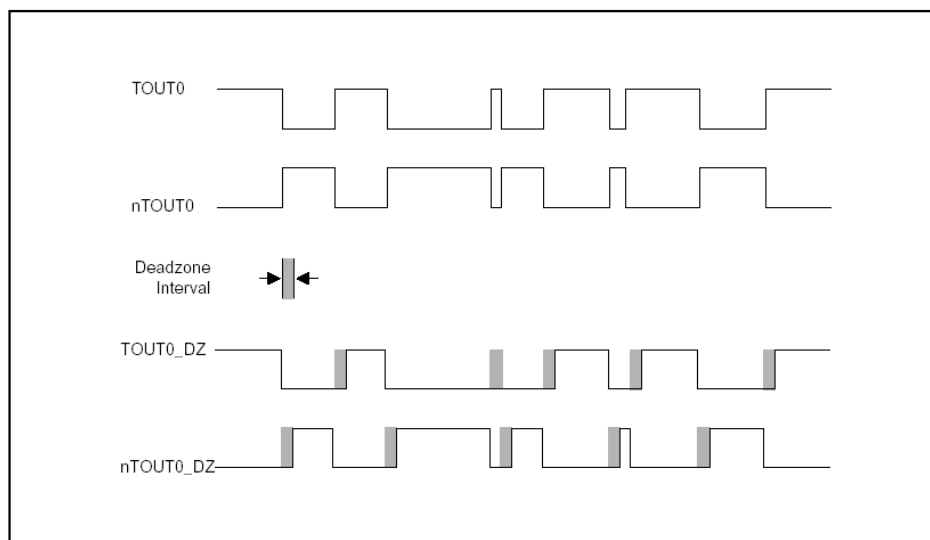


그림 10-7. 데드-존이 인에이블 될 때의 파형

## DMA 요청 모드

PWM 타이머는 매번 특정한 시간마다 DMA 요청을 발생할 수 있다. 타이머가 ACK 신호를 수신할 때까지 타이머는 DMA 요청 신호(nDMA\_REQ)를 low로 유지한다. 타이머가 ACK

신호를 수신할 때는 인터럽트 요청 신호를 비활성화 상태로 만든다. DMA 요청을 생성하는 타이머는 DMA 모드 비트(TCFG1 레지스터의)를 세팅함으로써 결정된다. 만일 타이머들 중 하나가 DMA 요청 모드로 설정 되어 있으면, DMA 요청 모드로 설정된 타이머는 인터럽트 요청을 발생하지 않는다. 나머지 타이머들은 정상적으로 인터럽트를 발생할 수 있다.

#### DMA 모드 설정과 DMA/인터럽트 동작

DMA Mode	DMA Request	Timer0 INT	Timer1 INT	Timer2 INT	Timer3 INT	Timer4 INT
0000	No select	ON	ON	ON	ON	ON
0001	Timer0	OFF	ON	ON	ON	ON
0010	Timer1	ON	OFF	ON	ON	ON
0011	Timer2	ON	ON	OFF	ON	ON
0100	Timer3	ON	ON	ON	OFF	ON
0101	Timer4	ON	ON	ON	ON	OFF
0110	No select	ON	ON	ON	ON	ON

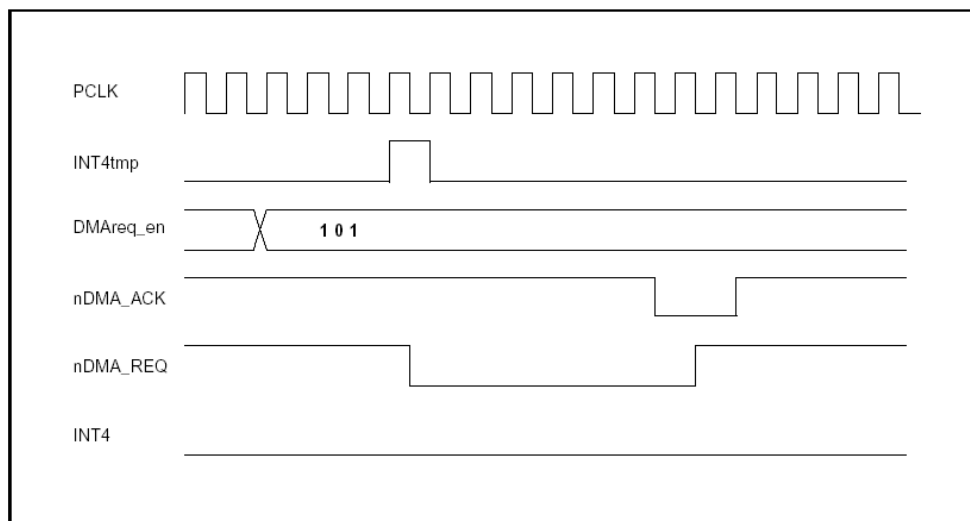


그림 10-8. 타이머 4 DMA 모드 동작

## PWM 타이머 컨트롤 레지스터

### 타이머 설정 레지스터0(TCFG0)

타이머 입력 클럭 주파수 =  $PCLK / \{prescaler\ value + 1\} / \{divider\ value\}$   
 $\{prescaler\ value\} = 0 \sim 255$



{divider value}=2, 4, 8, 16

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCFG0	0x51000000	R/W	Configures the two 8-bit prescalers	0x00000000

TCFG0	Bit	Description	Initial State
Reserved	[31:24]		0x00
Dead zone length	[23:16]	These 8 bits determine the dead zone length. The 1 unit time of the dead zone length is equal to that of timer 0.	0x00
Prescaler 1	[15:8]	These 8 bits determine prescaler value for Timer 2, 3 and 4.	0x00
Prescaler 0	[7:0]	These 8 bits determine prescaler value for Timer 0 and 1.	0x00

## 타이머 설정 레지스터1(TCFG1)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCFG1	0x51000004	R/W	5-MUX & DMA mode selecton register	0x00000000

TCFG1	Bit	Description	Initial State
Reserved	[31:24]		00000000
DMA mode	[23:20]	Select DMA request channel 0000 = No select (all interrupt) 0001 = Timer0 0010 = Timer1 0011 = Timer2 0100 = Timer3 0101 = Timer4 0110 = Reserved	0000
MUX 4	[19:16]	Select MUX input for PWM Timer4. 0000 = 1/2 0001 = 1/4 0010 = 1/8 0011 = 1/16 01xx = External TCLK1	0000
MUX 3	[15:12]	Select MUX input for PWM Timer3. 0000 = 1/2 0001 = 1/4 0010 = 1/8 0011 = 1/16 01xx = External TCLK1	0000
MUX 2	[11:8]	Select MUX input for PWM Timer2. 0000 = 1/2 0001 = 1/4 0010 = 1/8 0011 = 1/16 01xx = External TCLK1	0000
MUX 1	[7:4]	Select MUX input for PWM Timer1. 0000 = 1/2 0001 = 1/4 0010 = 1/8 0011 = 1/16 01xx = External TCLK0	0000
MUX 0	[3:0]	Select MUX input for PWM Timer0. 0000 = 1/2 0001 = 1/4 0010 = 1/8 0011 = 1/16 01xx = External TCLK0	0000

## 타이머 컨트롤(TCON) 레지스터

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCON	0x51000008	R/W	Timer control register	0x00000000

TCON	Bit	Description	Initial state
Timer 4 auto reload on/off	[22]	Determine auto reload on/off for Timer 4. 0 = One-shot      1 = Interval mode (auto reload)	0
Timer 4 manual update (note)	[21]	Determine the manual update for Timer 4. 0 = No operation      1 = Update TCNTB4	0
Timer 4 start/stop	[20]	Determine start/stop for Timer 4. 0 = Stop      1 = Start for Timer 4	0
Timer 3 auto reload on/off	[19]	Determine auto reload on/off for Timer 3. 0 = One-shot      1 = Interval mode (auto reload)	0
Timer 3 output inverter on/off	[18]	Determine output inverter on/off for Timer 3. 0 = Inverter off      1 = Inverter on for TOUT3	0
Timer 3 manual update (note)	[17]	Determine manual update for Timer 3. 0 = No operation      1 = Update TCNTB3 & TCMPB3	0
Timer 3 start/stop	[16]	Determine start/stop for Timer 3. 0 = Stop      1 = Start for Timer 3	0
Timer 2 auto reload on/off	[15]	Determine auto reload on/off for Timer 2. 0 = One-shot      1 = Interval mode (auto reload)	0
Timer 2 output inverter on/off	[14]	Determine output inverter on/off for Timer 2. 0 = Inverter off      1 = Inverter on for TOUT2	0
Timer 2 manual update (note)	[13]	Determine the manual update for Timer 2. 0 = No operation      1 = Update TCNTB2 & TCMPB2	0
Timer 2 start/stop	[12]	Determine start/stop for Timer 2. 0 = Stop      1 = Start for Timer 2	0
Timer 1 auto reload on/off	[11]	Determine the auto reload on/off for Timer1. 0 = One-shot      1 = Interval mode (auto reload)	0
Timer 1 output inverter on/off	[10]	Determine the output inverter on/off for Timer1. 0 = Inverter off      1 = Inverter on for TOUT1	0
Timer 1 manual update (note)	[9]	Determine the manual update for Timer 1. 0 = No operation      1 = Update TCNTB1 & TCMPB1	0
Timer 1 start/stop	[8]	Determine start/stop for Timer 1. 0 = Stop      1 = Start for Timer 1	0

TCON	Bit	Description	Initial state
Reserved	[7:5]	Reserved	
Dead zone enable	[4]	Determine the dead zone operation. 0 = Disable      1 = Enable	0
Timer 0 auto reload on/off	[3]	Determine auto reload on/off for Timer 0. 0 = One-shot      1 = Interval mode(auto reload)	0
Timer 0 output inverter on/off	[2]	Determine the output inverter on/off for Timer 0. 0 = Inverter off      1 = Inverter on for TOUT0	0
Timer 0 manual update (note)	[1]	Determine the manual update for Timer 0. 0 = No operation      1 = Update TCNTB0 & TCMPB0	0
Timer 0 start/stop	[0]	Determine start/stop for Timer 0. 0 = Stop      1 = Start for Timer 0	0

주의할 점 : 위의 비트들은 다음 쓰기 동작에서 클리어 되어야 한다.

## 타이머 0 카운트 버퍼 레지스터 & 비교 버퍼 레지스터(TCNTB0/TCMPB0)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCNTB0	0x5100000C	R/W	Timer 0 count buffer register	0x00000000
TCMPB0	0x51000010	R/W	Timer 0 compare buffer register	0x00000000

TCMPB0	Bit	Description	Initial State
Timer 0 compare buffer register	[15:0]	Set compare buffer value for Timer 0	0x00000000

TCNTB0	Bit	Description	Initial State
Timer 0 count buffer register	[15:0]	Set count buffer value for Timer 0	0x00000000

타이머 0 카운트 관측 레지스터(TCNT00)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCNT00	0x51000014	R	Timer 0 count observation register	0x00000000

TCNT00	Bit	Description	Initial State
Timer 0 observation register	[15:0]	Set count observation value for Timer 0	0x00000000

## 타이머 1 카운트 버퍼 레지스터 & 비교 버퍼 레지스터(TCNTB1/TCMPB1)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCNTB1	0x51000018	R/W	Timer 1 count buffer register	0x00000000
TCMPB1	0x5100001C	R/W	Timer 1 compare buffer register	0x00000000

TCMPB1	Bit	Description	Initial State
Timer 1 compare buffer register	[15:0]	Set compare buffer value for Timer 1	0x00000000

TCNTB1	Bit	Description	Initial State
Timer 1 count buffer register	[15:0]	Set count buffer value for Timer 1	0x00000000

## 타이머 1 카운트 관측 레지스터(TCNT01)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCNT01	0x51000020	R	Timer 1 count observation register	0x00000000

TCNT01	Bit	Description	Initial State
Timer 1 observation register	[15:0]	Set count observation value for Timer 1	0x00000000

## 타이머 2 카운트 버퍼 레지스터 & 비교 버퍼 레지스터(TCNTB2/TCMPB2)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCNTB2	0x51000024	R/W	Timer 2 count buffer register	0x00000000
TCMPB2	0x51000028	R/W	Timer 2 compare buffer register	0x00000000

TCMPB2	Bit	Description	Initial State
Timer 2 compare buffer register	[15:0]	Set compare buffer value for Timer 2	0x00000000

TCNTB2	Bit	Description	Initial State
Timer 2 count buffer register	[15:0]	Set count buffer value for Timer 2	0x00000000

## 타이머 2 카운트 관측 레지스터(TCNT02)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCNT02	0x5100002C	R	Timer 2 count observation register	0x00000000

TCNT02	Bit	Description	Initial State
Timer 2 observation register	[15:0]	Set count observation value for Timer 2	0x00000000

## 타이머 3 카운트 버퍼 레지스터 & 비교 버퍼 레지스터(TCNTB3/TCMPB3)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCNTB3	0x51000030	R/W	Timer 3 count buffer register	0x00000000
TCMPB3	0x51000034	R/W	Timer 3 compare buffer register	0x00000000

TCMPB3	Bit	Description	Initial State
Timer 3 compare buffer register	[15:0]	Set compare buffer value for Timer 3	0x00000000

TCNTB3	Bit	Description	Initial State
Timer 3 count buffer register	[15:0]	Set count buffer value for Timer 3	0x00000000

## 타이머 3 카운트 관측 레지스터(TCNT03)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCNTO3	0x51000038	R	Timer 3 count observation register	0x00000000

TCNTO3	Bit	Description	Initial State
Timer 3 observation register	[15:0]	Set count observation value for Timer 3	0x00000000

#### 타이머 4 카운트 버퍼 레지스터(TCNTB4)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCNTB4	0x5100003C	R/W	Timer 4 count buffer register	0x00000000

TCNTB4	Bit	Description	Initial State
Timer 4 count buffer register	[15:0]	Set count buffer value for Timer 4	0x00000000

#### 타이머 4 카운트 관측 레지스터(TCNTO4)

Register	Address	R/W	Description	Reset Value
TCNTO4	0x51000040	R	Timer 4 count observation register	0x00000000

TCNTO4	Bit	Description	Initial State
Timer 4 observation register	[15:0]	Set count observation value for Timer 4	0x00000000