HW3

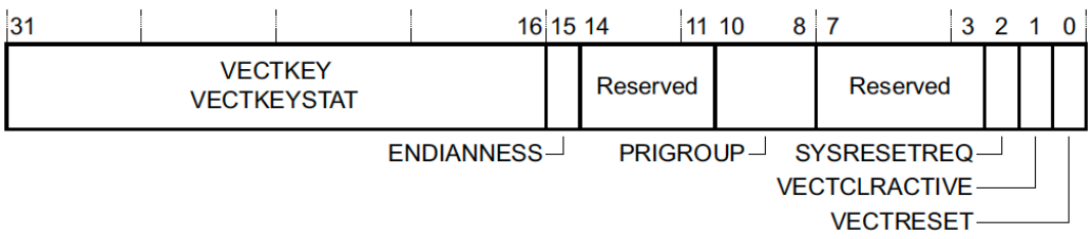
1. 다음과 같은 main.c 함수를 갖는 project를 MDK-ARM tool에서 생성한 다음, compile 후에 실습 kit로 download하시오.

main.c

```
1  #include "stm32f4xx.h"
2
3  void EXTI0_IRQHandler(void);
4
5  void EXTI0_IRQHandler(void) {
6    volatile int32_t i;
7
8    // meaningless delay
9    for (i = 10; i >= 0; i--) {
10   }
11 }
12
13
14 int main()
15 {
16
17   NVIC_SetPriorityGrouping(5);     //[5:0]: subpriority
18
19   NVIC_SetPriority(6, 0x40>>4);    //EXTI0 priority = 0x40
20   NVIC_SetPriority(7, 0x00>>4);    //EXTI1 priority = 0x00
21
22   NVIC_EnableIRQ(6);
23   NVIC_EnableIRQ(7);
24
25   NVIC_SetPendingIRQ(6);
26
27   while(1) {
28   }
29 }
30
```

(a) 17번, 19번, 22번과 25번 라인의 코드의 동작을 각각 설명하시오. (8점)

17번: AIRCR[10:8]에 주어진 값을 write하게 되며, 17번 코드는 AIRCR[18:8]=5 가 되게 한다. 그 결과는 priority 8bits 중에서 [7:6] bits는 group priority 부분이고, [5:0] bits는 subpriority 부분이 되도록 한다.



19번 라인은: external interrupt 6번 (STM32F411에서는 EXTI Line 0 interrupt)의 우선순위를 0x40으로 설정하는 코드이다. STM32F411에서는 상위 4 bits만 priority로 사용하기 때문에 (0x40>>4) 즉 0x4 (0100_2) 값을 주고 있다. 이 값은 IPR1 register의 [23:20]에 write되게 된다.

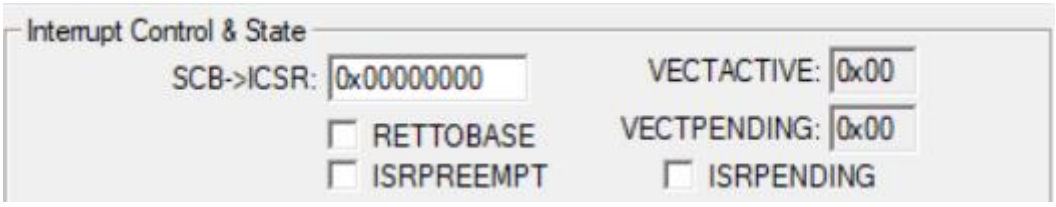
22번 라인은 EXTI0 interrupt에 대해서 enable 시키라는 코드이다. EXTI0에 인터럽트가 발생하면 그것이 CPU core에 전달되게 된다. NVIC의 ISER0 register의 bit [6]를 set 시키는 기능을 수행한다.

25번 라인은 SW를 이용하여 EXTI0 interrupt를 발생시키는 코드이다. 즉 NVIC의 ISPR0 register의 bit [6]를 set 시키는 기능을 수행한다.

(b) 디버거를 시작한 다음, 25번 라인과 5번 라인에 breakpoint를 설정하고, Peripherals -> Core Peripherals -> NVIC를 선택 다음, Idx 22번과 23번의 상태를 설명하시오. (E, P, A, Priority) 그리고 Interrupt Control & State register (scb->ICSR)의 주요 필드들의 상태를 설명하시오 (VECTACTIVE, RETTOBASE, VECTPENDING, ISRPREEMPT, ISRPENDING)

Idx	Source	Name	E	P	A	Priority
22	EXTI Line0 interrupt	EXTI0	0	0	0	0 = 0 s0
23	EXTI Line1 interrupt	EXTI1	0	0	0	0 = 0 s0

EXTI0와 EXTI1 모두 E=0 (disable 상태), P=0 (no pending 상태) A=0 (inactive 상태, 즉 interrupt가 실행 중이 아님) 그리고 priority는 0 (즉 group priority = 0, sub-priorirty = 0)인 상태를 나타냄. (4점)



VECACTIVE = 0 (현재 서비스(active 상태) 받고 있는 interrupt는 없음)

VECPENDING = 0 (현재 pending 상태인 interrupt는 없음)

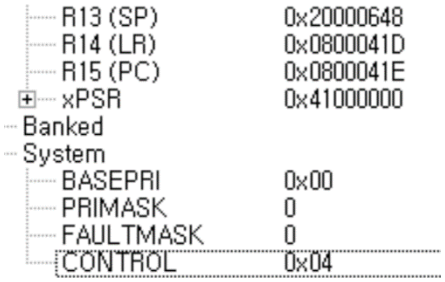
RETTOBASE = 0 (handler mode에서 thread 모드로 돌아가는 상태가 아님)

ISRPREEMPT = 0 (다음 cycle 때 interrupt service 받을 interrupt는 없음)

ISRPENDING = 0 (pending 되어 있는 interrupt 없음) (5점)

(c) Run 버튼을 클릭하시오. 그러면 25번 breakpoint에서 실행이 일단 멈출 것이다. 이때 SP, 값은 무엇인가? 그리고 CONTROL register 값이 무엇인지 기록하고, 그 값의 의미

를 설명하시오. 그리고 Peripherals -> Core Peripherals -> NVIC에서 Idx 22번과 23번의 바뀐 상태를 설명하시오. (E, P, A, Priority)

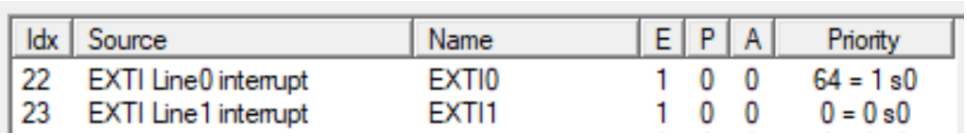


SP = 0x2000_0648 (1점)

CONTROL = 0x04 즉 CONTROL[2]=1

즉 FPU 관련된 명령어가 사용되었음을

나타내고 있음. (3점)



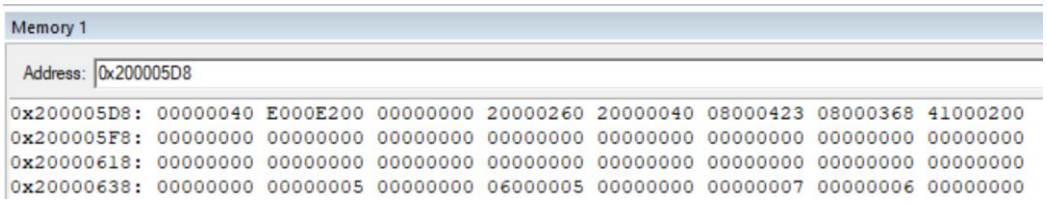
Idx	Source	Name	E	P	A	Priority
22	EXTI Line0 interrupt	EXTI0	1	0	0	64 = 1 s0
23	EXTI Line1 interrupt	EXTI1	1	0	0	0 = 0 s0

EXTI0와 EXTI1 interrupt 모두 E=1 즉 interrupt enable되었음.

EXTI0의 우선 순위가 64 (0x40) 따라서 group priority = 01b = 1, sub-priority = 0 으로 설정되었음. (4점)

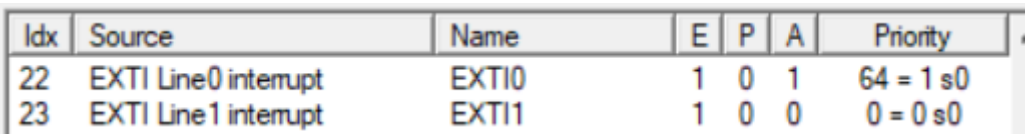
(d) Run 버튼을 클릭하시오. 그러면 5번 breakpoint에서 실행이 일단 멈출 것이다. 이때 SP 값은 무엇인가? Stack에 저장된 내용들을 설명하시오. (10점) 그리고 Peripherals -> Core Peripherals -> NVIC와 Interrupt Control & State register (scb->ICSR)의 주요 필드들에서 바뀐 상태와 LR에 나타난 EXC_RETURN 값의 의미를 설명하시오.

SP = 0x2000_05D8 (7점)

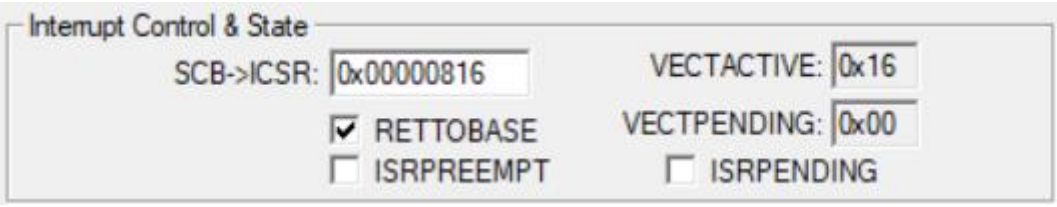


0x20000644	0x60000005	NVIC_SetPendingIRQ(6) 루틴에서 사용하고 있는 stack
0x20000640	0x000000000	(8-byte) Alignment을 위한 추가 영역. xPSR[9] 확인!
0x2000063C	0x000000005	(extended stack frame) Alignment을 위한 영역
0x20000638	0x00000000	FPSCR

0x20000634	0x00000000	S15 저장을 위한 영역
0x20000630	0x20000260	S14 저장을 위한 영역
0x2000062C	0x00000000	S13 저장을 위한 영역
0x20000628	0x00000000	S12 저장을 위한 영역
0x20000624	0x00000000	S11 저장을 위한 영역
0x20000620	0x00000000	S10 저장을 위한 영역
0x2000061C	0x00000000	S9 저장을 위한 영역
0x20000618	0x00000000	S8 저장을 위한 영역
0x20000614	0x00000000	S7 저장을 위한 영역
0x20000610	0x00000000	S6 저장을 위한 영역
0x2000060C	0x00000000	S5 저장을 위한 영역
0x20000608	0x00000000	S4 저장을 위한 영역
0x20000604	0x00000000	S3 저장을 위한 영역
0x20000600	0x00000000	S2 저장을 위한 영역
0x200005FC	0x00000000	S1 저장을 위한 영역
0x200005F8	0x00000000	S0 저장을 위한 영역
0x200005F4	0x41000200	xPSR, **xPRST[9] == 1**
0x200005F0	0x08000368	PC (return address)
0x200005EC	0x08000423	LR
0x200005E8	0x20000040	R12
0x200005E4	0x20000260	R3
0x200005E0	0x00000000	R2
0x200005DC	0xE000E200	R1
0x200005D8	0x00000040	R0



EXTI0의 A = 1 (즉 EXTI0의 interrupt가 active 즉 서비스 중이라는 의미임.)



VECTACTIVE = 0x16 (=22) 즉 현재 active 상태인 interrupt가 22번이라는 의미임.

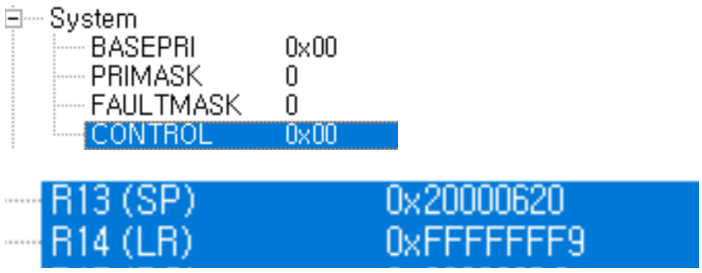
RETTOBASE = 1 (즉 현재 서비스를 받고 있는 interrupt가 종료되면 thread 모드로 돌

아 간다는 의미임.) (4점)

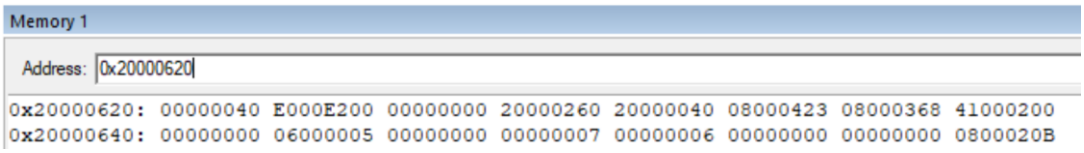
EXC_RETURN = 0xFFFF_FFE9 (4점)

- Bit 4 = 0 (extended stack frame is used)
- Bit 3 = 1 (interrupt에서 복귀 시 thread 모드)
- Bit 2 = 0 (interrupt에서 복귀 시 main stack)
- Bit 1 = 0 (reserved bit)
- Bit 0 = 1 (interrupt에서 복귀 시 thumb 모드)

(e) 디버거를 reset시키고 (RSR 버튼 클릭) Run 버튼을 클릭하시오. 그러면 25번 breakpoint에서 실행이 일단 멈출 것이다. ((c)에서의 SP 값이 같음을 일단 확인하시오.) 이 때 CONTROL register의 값을 0x00으로 변경한 다음, Run 버튼을 클릭하시오. 그러면 5번 breakpoint에서 실행이 일단 멈출 것이다. 이때 SP 값은 무엇인가? 그리고 Stack에 저장된 내용들을 설명하시오. 그리고 LR에 나타난 EXC_RETURN 값의 의미를 설명하시오.



SP = 0x2000_0620 (5점)



0x20000644	0x06000005	NVIC_SetPendingIRQ(6) 루틴에서 사용하고 있는 stack
0x20000640	0x00000000	8-byte) Alignment을 위한 추가 영역. xPSR[9] 확인!
0x2000063C	0x41000200	xPSR
0x20000638	0x08000368	PC (return address)
0x20000634	0x08000423	LR
0x20000630	0x20000040	R12

0x2000062C	0x20000260	R3
0x20000628	0x00000000	R2
0x20000624	0xE000E20000	R1
0x20000620	0x00000040	R0

EXC_RETURN = 0xFFFF_FFF9 (3점)

- Bit 4 = 1 (standard stack frame is used)
- Bit 3 = 1 (interrupt에서 복귀 시 thread 모드)
- Bit 2 = 0 (interrupt에서 복귀 시 main stack)
- Bit 1 = 0 (reserved bit)
- Bit 0 = 1 (interrupt에서 복귀 시 thumb 모드)

(f) (d)와 (e)의 결과가 다른 이유를 설명하시오. (5점)

CONTROL[2]=1 인 경우는 FPU 관련된 명령어가 사용되었음을 의미하므로 ISR routine에서 FPU 관련 instruction을 사용하면 FPU 관련 register 중에서 S0 ~ S15까지의 값을 stack에 저장하여 값이 변하지 않도록 동작하도록 되어 있다. (하지만 S0 ~ S15 register 값을 무조건 저장하지는 않는다. ISR에서 FPU 관련 명령어를 사용하게 되면 그때, S0 ~ S15 register 값이 현재 예비된 stack 영역에 저장되게 된다. 이와 같은 mechanism 을 last stacking 이라고 한다.)

하지만 CONTROL[2]=0 인 경우는 FPU 관련 명령어가 사용되지 않았기 때문에 ISR 에서 FPU 관련 명령어를 사용한다고 하더라도 굳이 이전 FPU register 값을 저장할 필요가 없다. 따라서 FPU register S0 ~ S15 저장을 위한 공간을 stack에 확보할 필요는 없다.