임베디드 시스템 설계 및 실험 보고서
3 주차 실험_GPIO 제어

분반 : 001 분반
교수님 : 정 상화 교수님
조교님 : 유 동화 조교님
실험일 : 2019-09-16
제출일 : 2019-09-23

00. 목차

7 조
장 수현
박 창조
임 다영
이 힘찬

01. 실험 목적

- 임베디드 시스템 설계의 기본 원리를 습득한다.
- 디버깅 툴 사용법을 습득하고 레지스터 제어를 통한 임베디드 펌웨어 개발을 경험해본다.

02. 실험 과제

2.1 주과제

조이스틱을 이용하여 LED 에 불을 켜는 동작을 제어한다.

2.2 세부과제

- 개발 환경 구축
- DS-5 에서 프로젝트 생성 및 설정
- Datasheet 및 Reference Manual 을 참고하여 해당 레지스터 및 주소에 대한 설정 이해
- GPIO(general-purpose input/output)를 사용하여 LED 제어

03. 실험 준비

3.1 실험 시 주의 사항

반드시 아래의 보드 연결 및 해제 순서를 지켜 실험을 진행해야 한다.

보드 연결 및 해제 순서

연결 과정	분리 과정
• 보드와 DSTREAM JTAG 연결 • 보드 전원선만 연결 (보드의 전원은 OFF 상태) • DSTREAM 전원 연결 및 ON • DSTREAM Status LED 점등 확인 • 보드 전원 ON • DSTREAM Target LED 점등 확인 • DS-5에서 'connect target'	• DS-5에서 'disconnect target' • 보드 전원 OFF • DSTREAM 전원 해제 및 OFF • 보드 전원선 분리 • DSTREAM과 보드 JTAG 분리

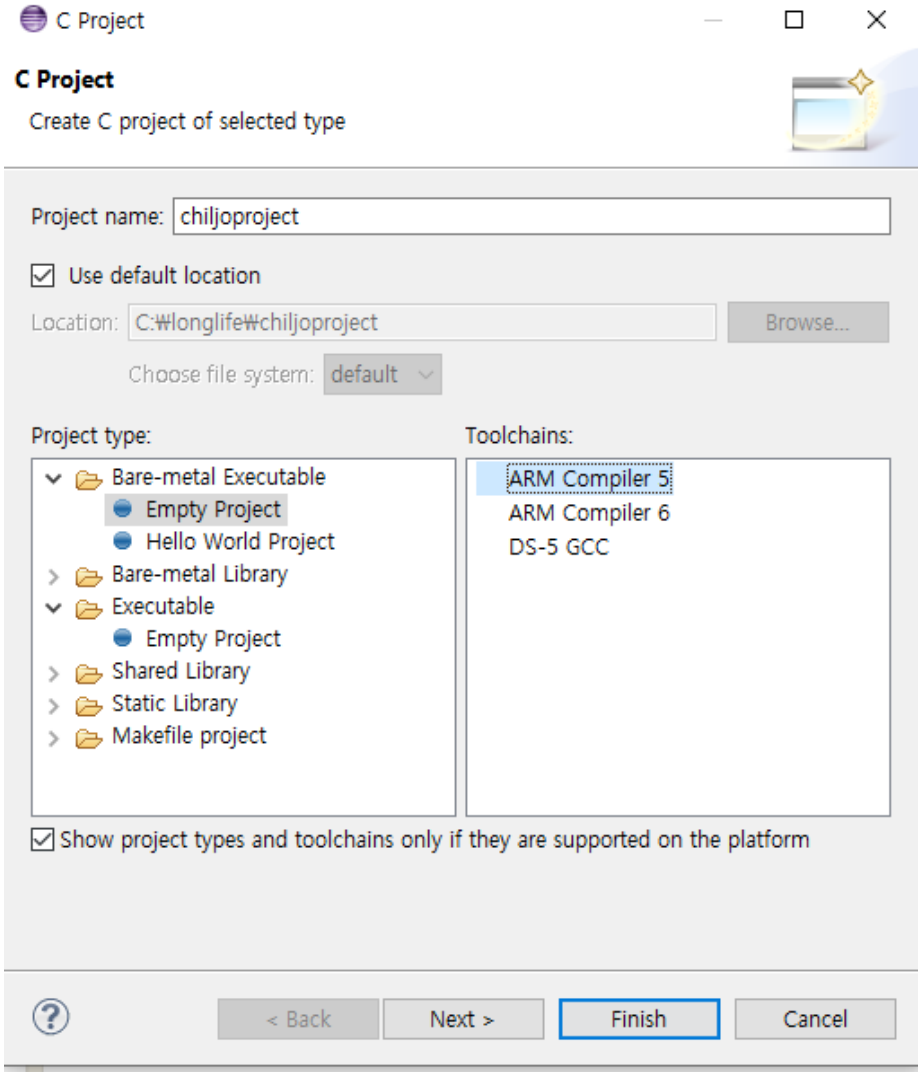
2

3.2 환경 설정

실험을 진행하기전 아래의 프로젝트 생성 및 기본 환경 설정을 해주어야 한다.

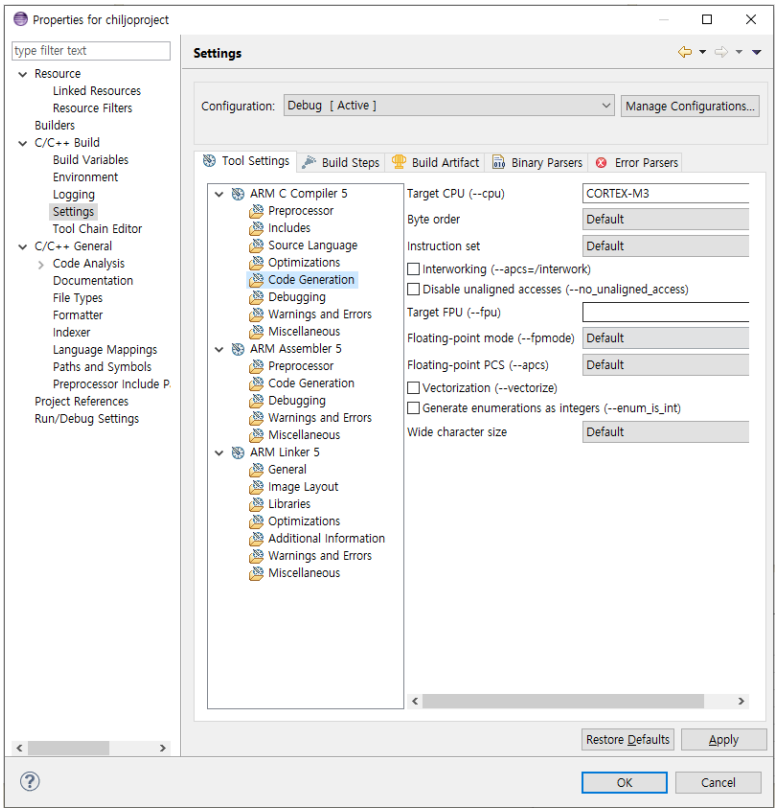
3.2.1 프로젝트 생성

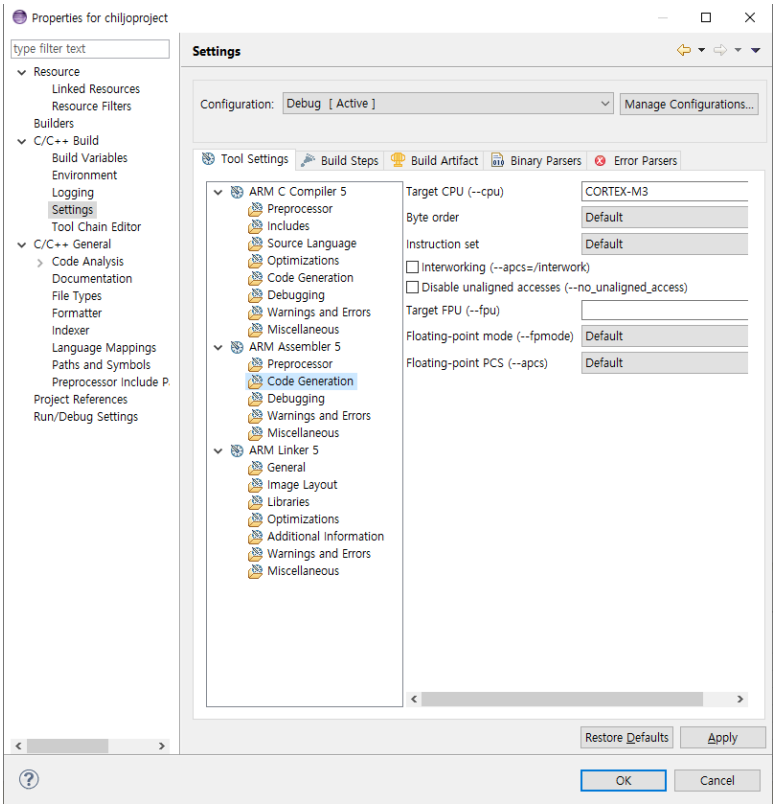
C 언어로 소스코드를 작성하기 때문에 C++프로젝트가 아닌 C 프로젝트를 생성해준다. Project type 은 Bare-metal Executable -〉 Empty Project 로, Toolchains 은 Arm Compiler 5 로 설정한다.

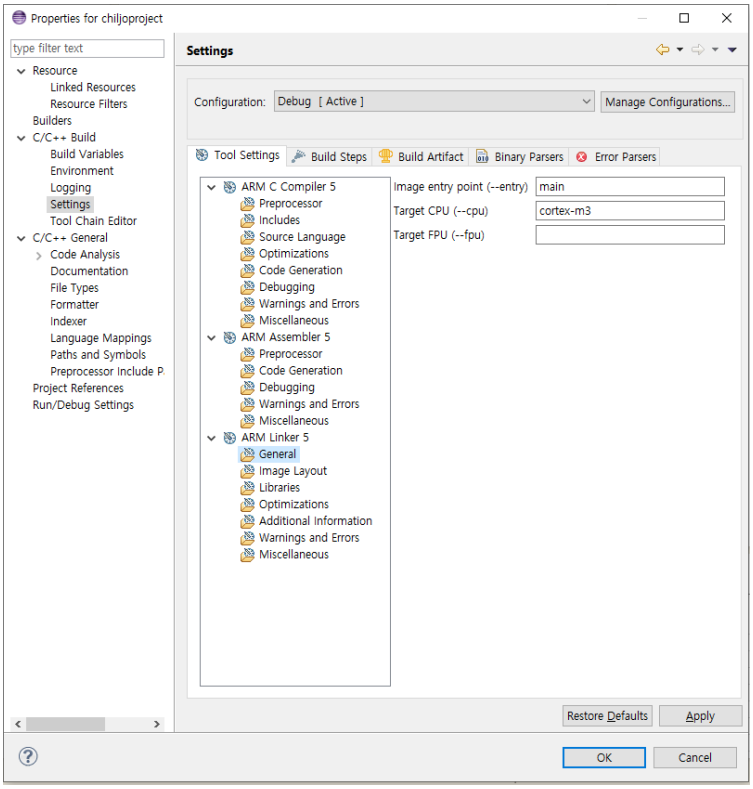


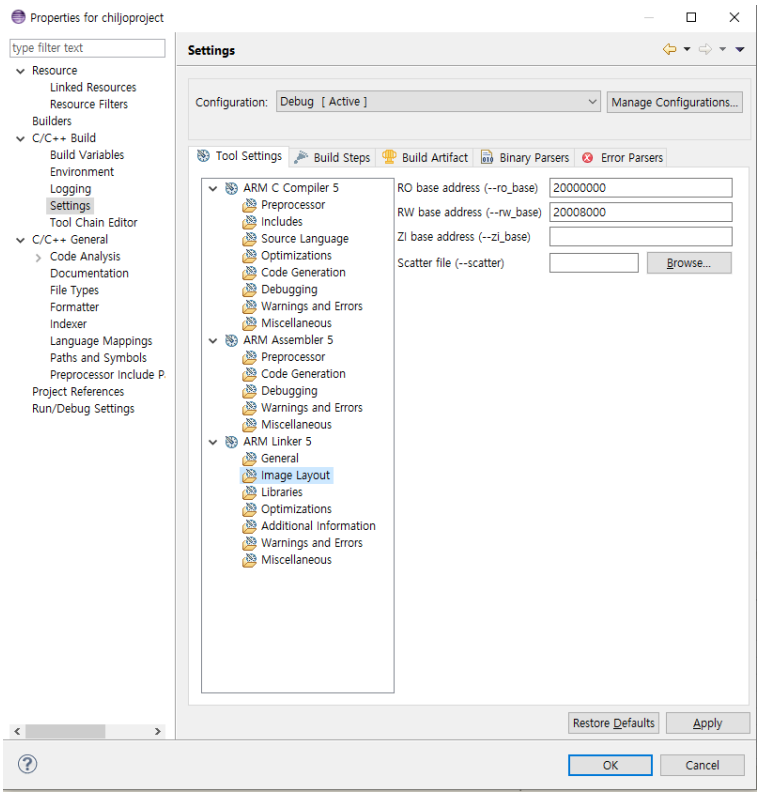
3.2.2 프로젝트 Properties-Settings

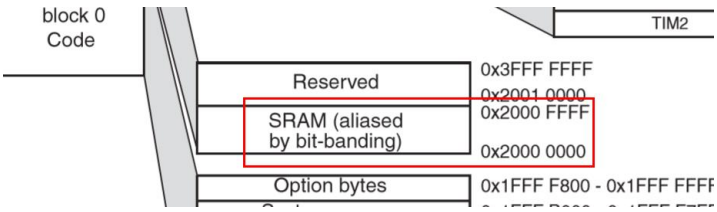
프로젝트 속성값을 세팅한다. 이때, RO(Read Only) base address 와 RW(Read Write) base address 는 스택 베이스를 설정해주는 것인데, Datasheet 에 있는 메모리 매핑 그림에서 SRAM 의 주소값 범위를 보고 찾아서 입력해준다. 주의해야 할 점은 스택이 점점 위로 쌓여가므로 RO 의 주소값이 RW 의 주소값보다 작아야 한다는 것이다.


Properties for chiljoproject
type filter text
Resource
Linked Resources
Resource Filters
Builders
C/C++ Build
Build Variables
Environment
Logging
Settings
Tool Chain Editor
C/C++ General
Code Analysis
Documentation
File Types
Formatter
Indexer
Language Mappings
Paths and Symbols
Preprocessor Include P.
Project References
Run/Debug Settings
Settings
Configuration: Debug [Active]
Manage Configurations...
Tool Settings
Build Steps
Build Artifact
Binary Parsers
Error Parsers
ARM C Compiler 5
Preprocessor
Includes
Source Language
Optimizations
Code Generation
Debugging
Warnings and Errors
Miscellaneous
ARM Assembler 5
Preprocessor
Code Generation
Debugging
Warnings and Errors
Miscellaneous
ARM Linker 5
General
Image Layout
Libraries
Optimizations
Additional Information
Warnings and Errors
Miscellaneous
Target CPU (--cpu)
CORTEX-M3
Byte order
Default
Instruction set
Default
Interworking (--apcs=/interwork)
Disable unaligned accesses (--no_unaligned_access)
Target FPU (--fpu)
Floating-point mode (--fpmode)
Default
Floating-point PCS (--apcs)
Default
Vectorization (--vectorize)
Generate enumerations as integers (--enum_is_int)
Wide character size
Default
Restore Defaults
Apply
OK
Cancel


Properties for chiljoproject
type filter text
Resource
Linked Resources
Resource Filters
Builders
C/C++ Build
Build Variables
Environment
Logging
Settings
Tool Chain Editor
C/C++ General
Code Analysis
Documentation
File Types
Formatter
Indexer
Language Mappings
Paths and Symbols
Preprocessor Include P.
Project References
Run/Debug Settings
Settings
Configuration: Debug [Active]
Manage Configurations...
Tool Settings
Build Steps
Build Artifact
Binary Parsers
Error Parsers
ARM C Compiler 5
Preprocessor
Includes
Source Language
Optimizations
Code Generation
Debugging
Warnings and Errors
Miscellaneous
ARM Assembler 5
Preprocessor
Code Generation
Debugging
Warnings and Errors
Miscellaneous
ARM Linker 5
General
Image Layout
Libraries
Optimizations
Additional Information
Warnings and Errors
Miscellaneous
Target CPU (--cpu)
CORTEX-M3
Byte order
Default
Instruction set
Default
Interworking (--apcs=/interwork)
Disable unaligned accesses (--no_unaligned_access)
Target FPU (--fpu)
Floating-point mode (--fpmode)
Default
Floating-point PCS (--apcs)
Default
Restore Defaults
Apply
OK
Cancel


Properties for chiljoproject
type filter text
Resource
Linked Resources
Resource Filters
Builders
C/C++ Build
Build Variables
Environment
Logging
Settings
Tool Chain Editor
C/C++ General
Code Analysis
Documentation
File Types
Formatter
Indexer
Language Mappings
Paths and Symbols
Preprocessor Include P.
Project References
Run/Debug Settings
Settings
Configuration: Debug [Active]
Manage Configurations...
Tool Settings
Build Steps
Build Artifact
Binary Parsers
Error Parsers
ARM C Compiler 5
Preprocessor
Includes
Source Language
Optimizations
Code Generation
Debugging
Warnings and Errors
Miscellaneous
ARM Assembler 5
Preprocessor
Code Generation
Debugging
Warnings and Errors
Miscellaneous
ARM Linker 5
General
Image Layout
Libraries
Optimizations
Additional Information
Warnings and Errors
Miscellaneous
Image entry point (--entry)
main
Target CPU (--cpu)
cortex-m3
Target FPU (--fpu)
Restore Defaults
Apply
OK
Cancel


Properties for chiljoproject
type filter text
Resource
Linked Resources
Resource Filters
Builders
C/C++ Build
Build Variables
Environment
Logging
Settings
Tool Chain Editor
C/C++ General
Code Analysis
Documentation
File Types
Formatter
Indexer
Language Mappings
Paths and Symbols
Preprocessor Include P.
Project References
Run/Debug Settings
Settings
Configuration: Debug [Active]
Manage Configurations...
Tool Settings
Build Steps
Build Artifact
Binary Parsers
Error Parsers
ARM C Compiler 5
Preprocessor
Includes
Source Language
Optimizations
Code Generation
Debugging
Warnings and Errors
Miscellaneous
ARM Assembler 5
Preprocessor
Code Generation
Debugging
Warnings and Errors
Miscellaneous
ARM Linker 5
General
Image Layout
Libraries
Optimizations
Additional Information
Warnings and Errors
Miscellaneous
RO base address (--ro_base)
20000000
RW base address (--rw_base)
20008000
ZI base address (--zi_base)
Scatter file (--scatter)
Browse...
Restore Defaults
Apply
OK
Cancel


block 0
Code
TIM2
Reserved
0x3FFF FFFF
0x2001 0000
SRAM (aliased
by bit-banding)
0x2000 FFFF
0x2000 0000
Option bytes
0x1FFF F800 - 0x1FFF FFFF

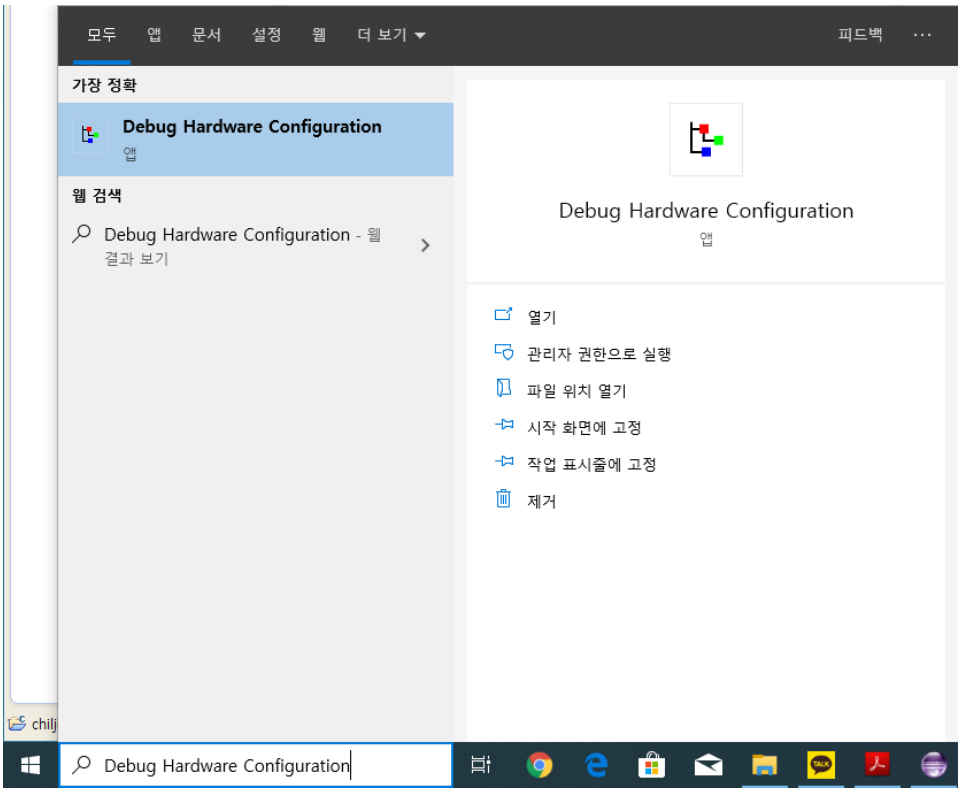
3.2.3 보드 연결

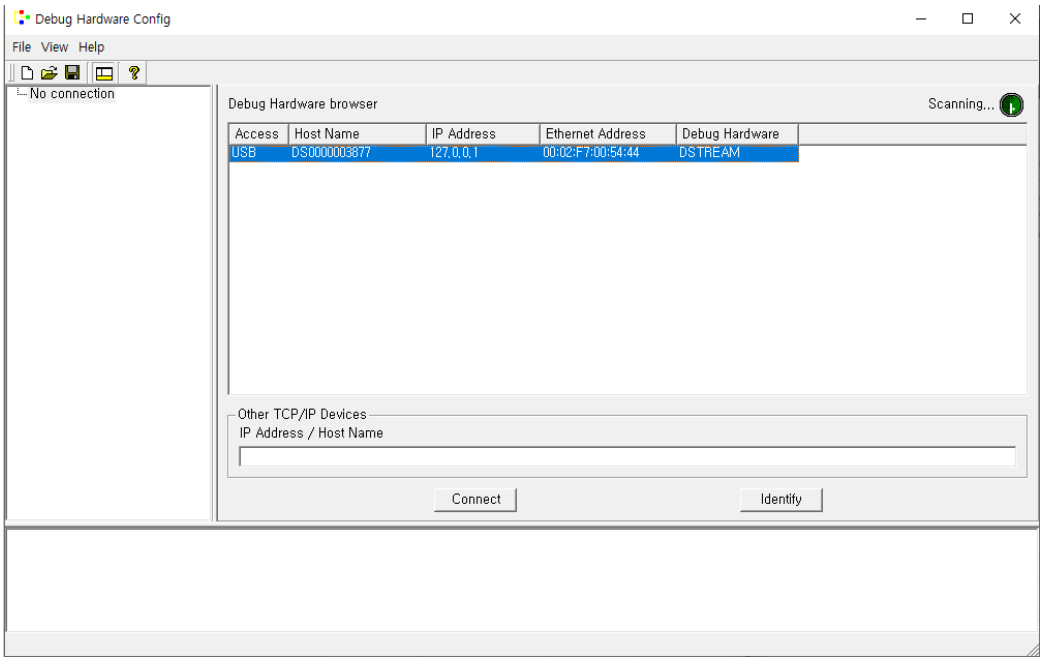
보드 연결 시에는 반드시 연결 순서를 지켜 연결하고, 맞는 전원선을 사용해야한다.

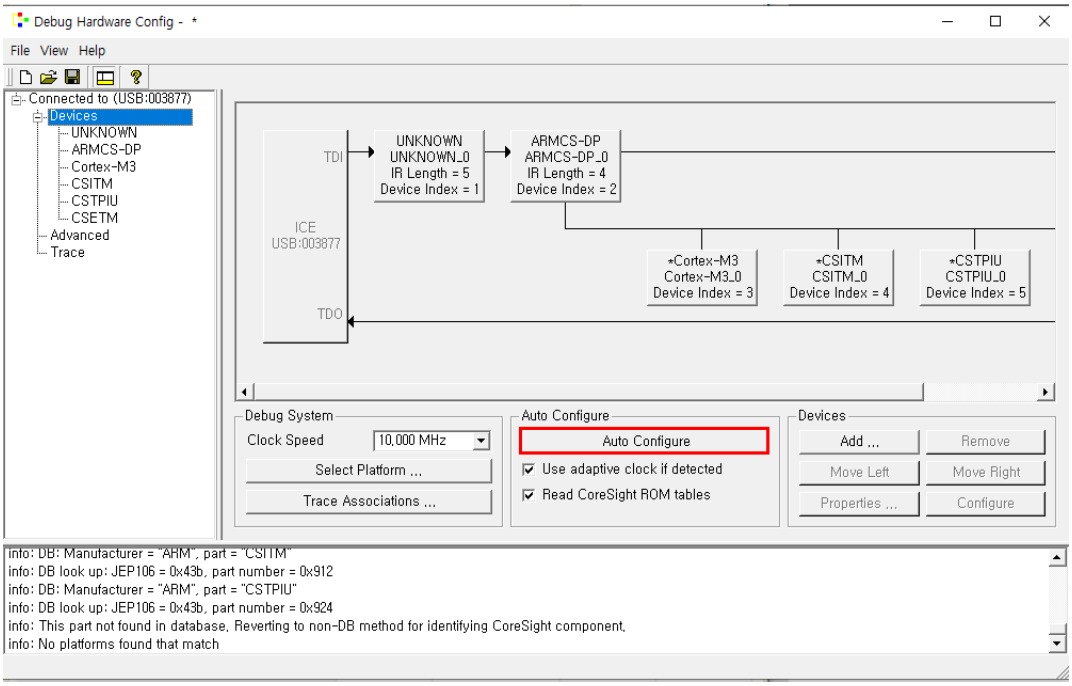
연결 순서 : 보드와 Dstream JTAG 연결 -〉 보드전원선 연결(보드 전원은 OFF) -〉 Dstream 전원 연결 및 ON -〉 Dstream Status LED 점등 확인 후 보드 전원 ON -〉 Dstream Target LED 점등 확인 후 DS-5 에서 'connect target'

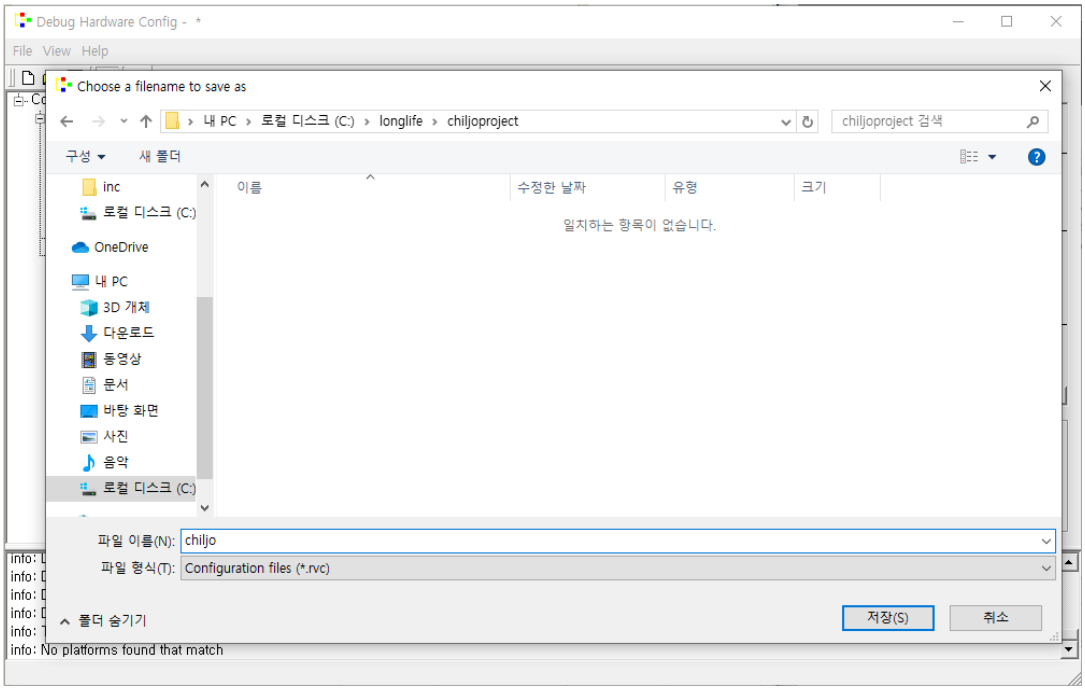
3.2.4 데이터 베이스 설정

Dstream 를 USB 로 컴퓨터에 연결하고 Debug Hardware config 에서 보드를 connect 한다. 보드 연결 후에는 Auto Configure 를 클릭하여 설정을 진행하고, rvc 파일로 저장한다. 이때 주의해야 할 점은 rvc 파일을 저장하는 파일의 경로에 한글 경로가 들어가면 안된다는 것이다.



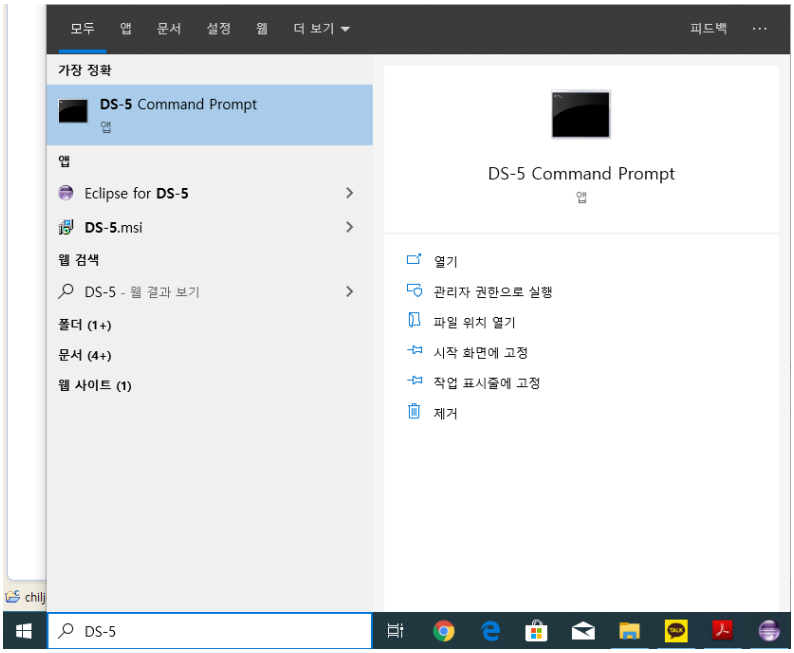



Debug Hardware Config - *
File View Help
Connected to (USB:003877)
Devices
UNKNOWN
ARMCS-DP
Cortex-M3
CSITM
CSTPIU
CSETM
Advanced
Trace
TDI
ICE
USB:003877
TDO
UNKNOWN
UNKNOWN_0
IR Length = 5
Device Index = 1
ARMCS-DP
ARMCS-DP_0
IR Length = 4
Device Index = 2
*Cortex-M3
Cortex-M3_0
Device Index = 3
*CSITM
CSITM_0
Device Index = 4
*CSTPIU
CSTPIU_0
Device Index = 5
Debug System
Clock Speed
10,000 MHz
Select Platform ...
Trace Associations ...
Auto Configure
Auto Configure
Use adaptive clock if detected
Read CoreSight ROM tables
Devices
Add ...
Remove
Move Left
Move Right
Properties ...
Configure
info: DB: Manufacturer = "ARM", part = "CSITM"
info: DB look up: JEP106 = 0x43b, part number = 0x912
info: DB: Manufacturer = "ARM", part = "CSTPIU"
info: DB look up: JEP106 = 0x43b, part number = 0x924
info: This part not found in database, Reverting to non-DB method for identifying CoreSight component.
info: No platforms found that match


Debug Hardware Config - *
File View Help
Choose a filename to save as
내 PC › 로컬 디스크 (C:) › longlife › chiljoproject
chiljoproject 검색
구성
새 폴더
inc
로컬 디스크 (C:)
OneDrive
내 PC
3D 개체
다운로드
동영상
문서
바탕 화면
사진
음악
로컬 디스크 (C:)
이름
수정한 날짜
유형
크기
일치하는 항목이 없습니다.
파일 이름(N): chiljo
파일 형식(T): Configuration files (*.rvc)
폴더 숨기기
저장(S)
취소
info: No platforms found that match

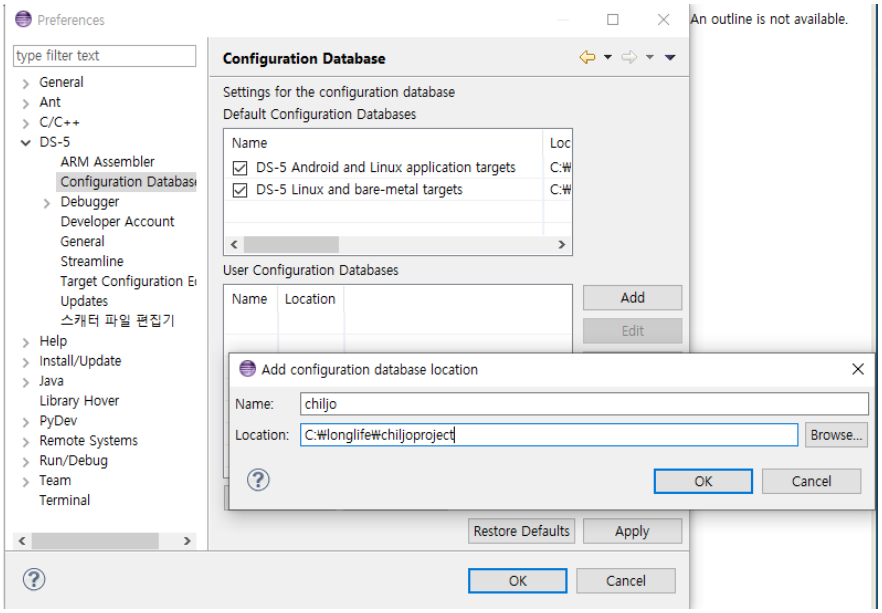
3.2.5 cdbimporter

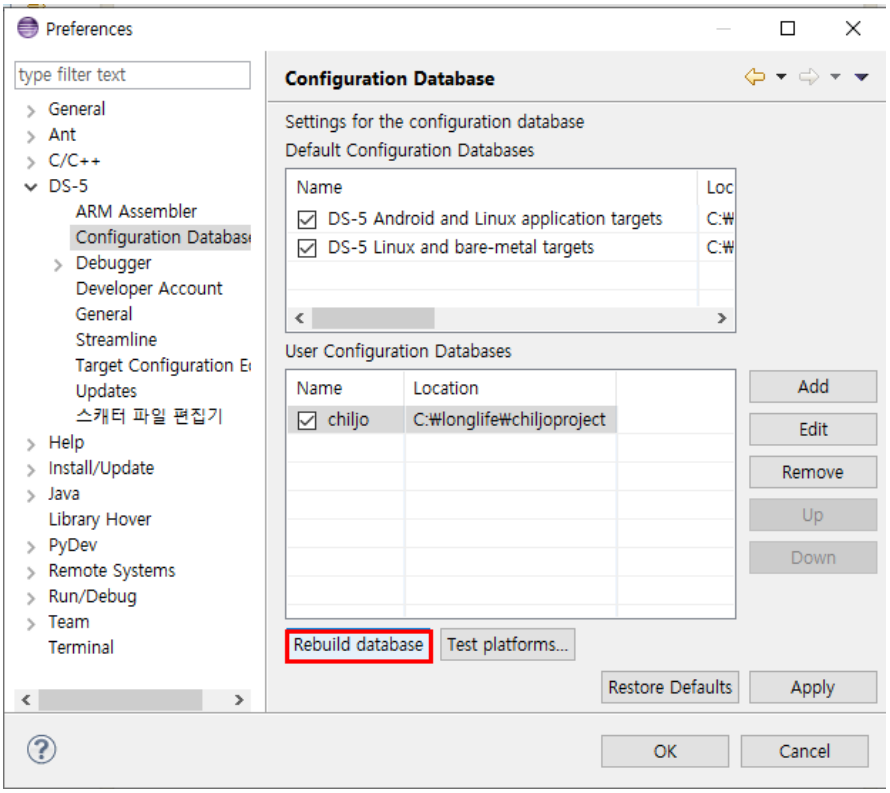
DS-5 Command Prompt 에서 RVC 파일이 있는 폴더로 이동 후 아래와 같이 명령문을 작성한다.



3.2.6 데이터 베이스 등록

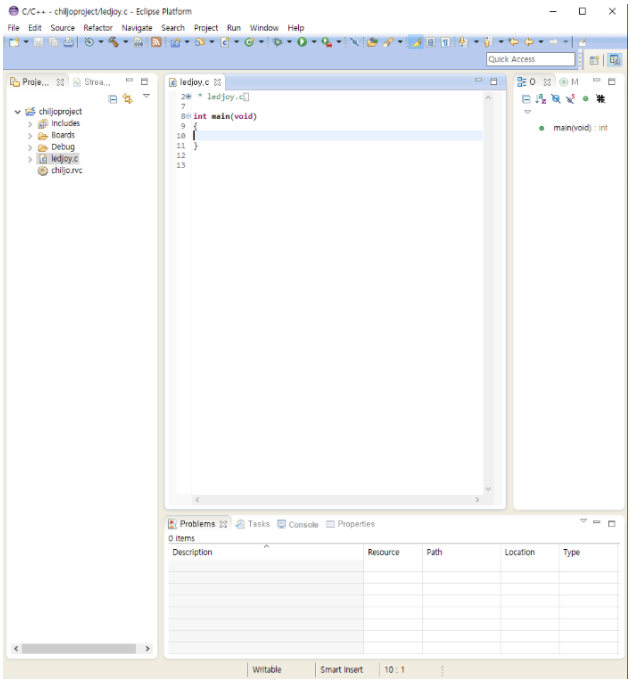
아래와 같이 데이터 데이스 등록을 진행한다.

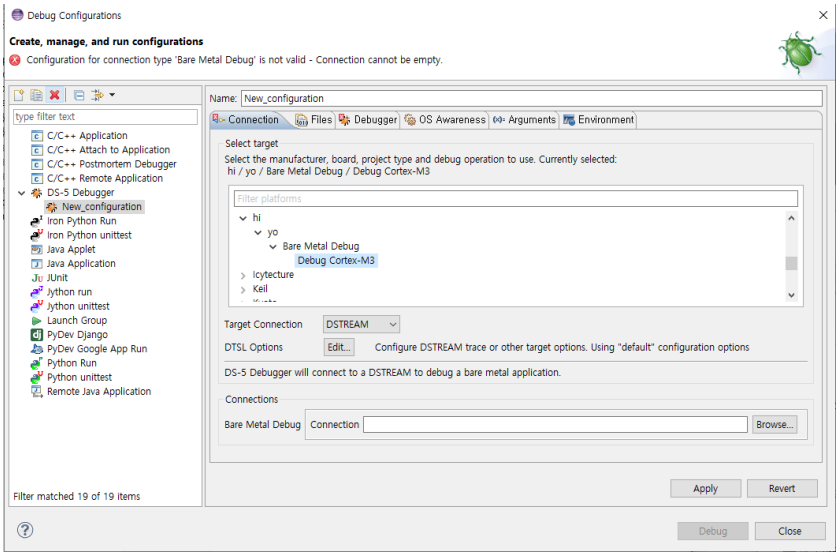


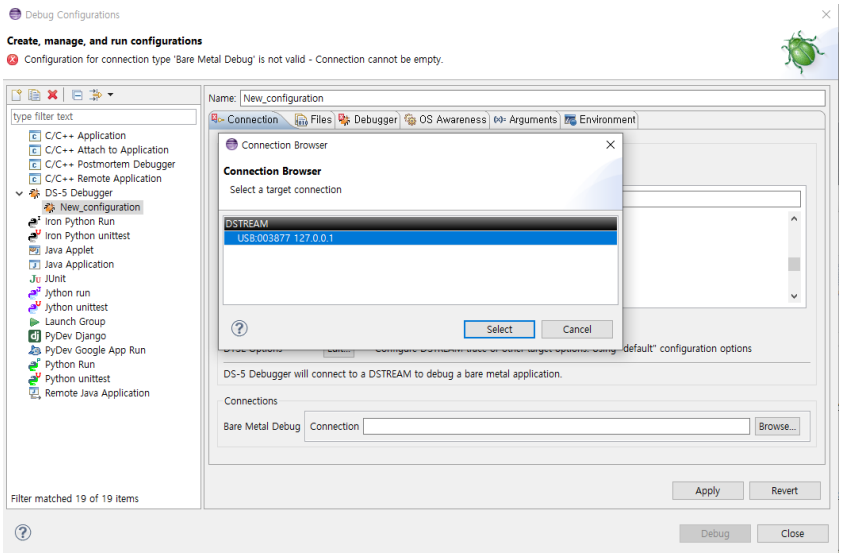


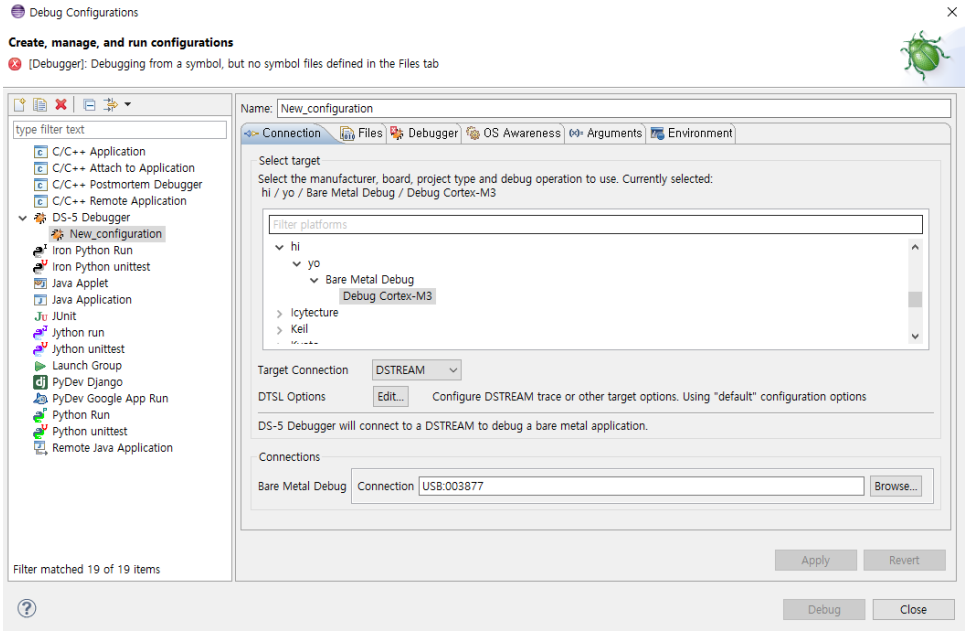
3.2.7 디버그 설정

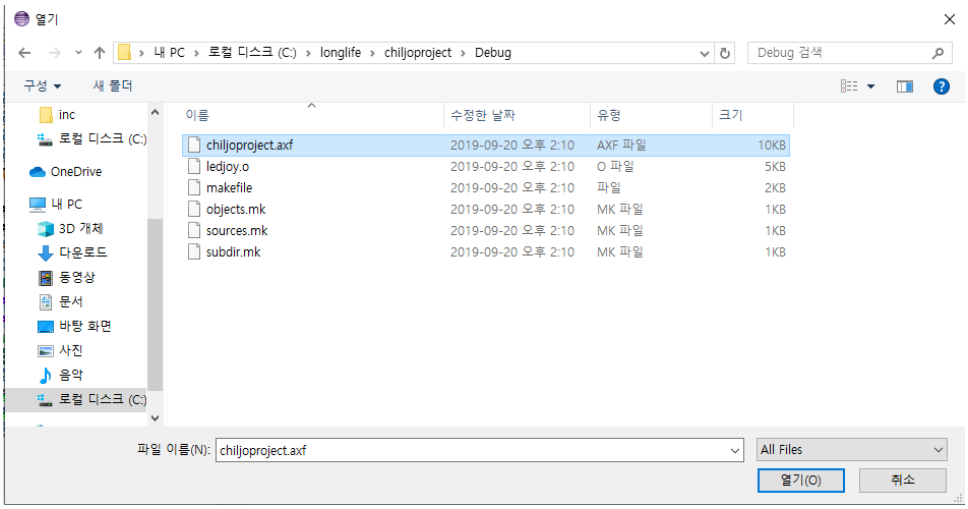
C 언어 소스파일을 만들어 빌드하여 axf 파일을 만든 뒤 아래와 같이 디버그 설정을 한다.

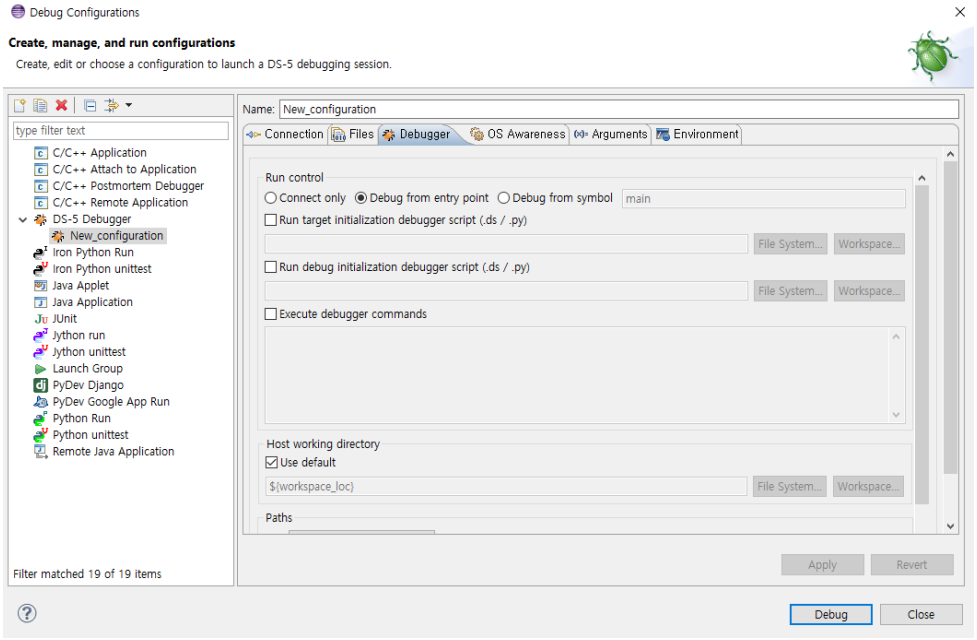







Debug Configurations
Create, manage, and run configurations
[Debugger]: Debugging from a symbol, but no symbol files defined in the Files tab
type filter text
C/C++ Application
C/C++ Attach to Application
C/C++ Postmortem Debugger
C/C++ Remote Application
DS-5 Debugger
New_configuration
Iron Python Run
Iron Python unittest
Java Applet
Java Application
JUnit
Jython run
Jython unittest
Launch Group
PyDev Django
PyDev Google App Run
Python Run
Python unittest
Remote Java Application
Filter matched 19 of 19 items
Name: New_configuration
Connection
Files
Debugger
OS Awareness
Arguments
Environment
Select target
Select the manufacturer, board, project type and debug operation to use. Currently selected:
hi / yo / Bare Metal Debug / Debug Cortex-M3
Filter platforms
hi
yo
Bare Metal Debug
Debug Cortex-M3
Icytecture
Keil
Target Connection
DSTREAM
DTSL Options
Edit...
Configure DSTREAM trace or other target options. Using "default" configuration options
DS-5 Debugger will connect to a DSTREAM to debug a bare metal application.
Connections
Bare Metal Debug
Connection
USB:003877
Browse...
Apply
Revert
Debug
Close


열기
내 PC
로컬 디스크 (C:)
longlife
chiljoproject
Debug
Debug 검색
구성
새 폴더
inc
로컬 디스크 (C:)
OneDrive
내 PC
3D 개체
다운로드
동영상
문서
바탕 화면
사진
음악
로컬 디스크 (C:)
이름
수정한 날짜
유형
크기
chiljoproject.axf 2019-09-20 오후 2:10 AXF 파일 10KB
ledjoy.o 2019-09-20 오후 2:10 O 파일 5KB
makefile 2019-09-20 오후 2:10 파일 2KB
objects.mk 2019-09-20 오후 2:10 MK 파일 1KB
sources.mk 2019-09-20 오후 2:10 MK 파일 1KB
subdir.mk 2019-09-20 오후 2:10 MK 파일 1KB
파일 이름(N): chiljoproject.axf
All Files
열기(O)
취소


Debug Configurations
Create, manage, and run configurations
Create, edit or choose a configuration to launch a DS-5 debugging session.
type filter text
C/C++ Application
C/C++ Attach to Application
C/C++ Postmortem Debugger
C/C++ Remote Application
DS-5 Debugger
New_configuration
Iron Python Run
Iron Python unittest
Java Applet
Java Application
JUnit
Jython run
Jython unittest
Launch Group
PyDev Django
PyDev Google App Run
Python Run
Python unittest
Remote Java Application
Filter matched 19 of 19 items
Name: New_configuration
Connection
Files
Debugger
OS Awareness
Arguments
Environment
Run control
Connect only
Debug from entry point
Debug from symbol
main
Run target initialization debugger script (.ds / .py)
File System...
Workspace...
Run debug initialization debugger script (.ds / .py)
Execute debugger commands
Host working directory
Use default
${workspace_loc}
Paths
Apply
Revert
Debug
Close

04. 실험 및 과제 해결

4.1 GPIO(General purpose Input Output) 레지스터 클럭 인가

4.1.1 RCC(reset and clock control) 클럭 인가

RCC 로 사용하고자 하는 GPIO 에 클럭을 인가한다. 이 과제의 경우에는 입출력 디바이스로 조이스틱과 LED 를 사용하는데, 아래 보드의 schematic 을 보면 사용하는 포트와 레지스터 정보를 알 수 있다. 조이스틱에 연결된 레지스터는 B 포트의 8 번 레지스터, C 포트의 2~5 번 레지스터이고, LED 에 연결된 레지스터는 D 포트의 2,3,4,7 번 레지스터임을 알 수 있다. 따라서 RCC 로 B,C,D 포트에 클럭을 인가해 주어야 한다.

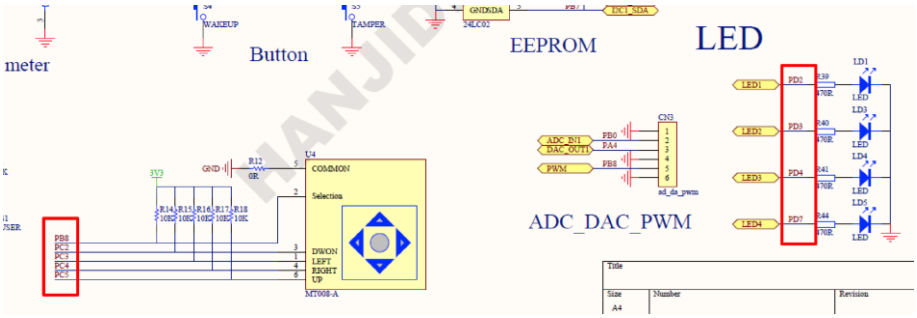


그림 1. 조이스틱과 LED 의 Schematic

RCC 는 Datasheet 의 메모리 매핑 그림을 보면 RCC 의 시작 주소값을 알 수 있고, 레퍼런스를 보고 RCC 의 OFFSET 값과 초기값, 연결되어 있는 포트 정보 등을 알 수 있다.

Figure 5. Memory map

AHB	Reserved	0x5000 0400 - 0x5FFF FFFF
	USB OTG FS	0x5000 0000 - 0x5003 FFFF
	Reserved	0x4003 0000 - 0x4FFF FFFF
	Ethernet	0x4002 8000 - 0x4002 9FFF
	Reserved	0x4002 3400 - 0x4002 7FFF
	CRC	0x4002 3000 - 0x4002 33FF
	Reserved	0x4002 2400 - 0x4002 2FFF
	Flash interface	0x4002 2000 - 0x4002 23FF
	Reserved	0x4002 1400 - 0x4002 1FFF
	RCC	0x4002 1000 - 0x4002 13FF
	Reserved	0x4002 0800 - 0x4002 0FFF
	DMA2	0x4002 0400 - 0x4002 07FF
	DMA1	0x4002 0000 - 0x4002 03FF
	Reserved	0x4001 3C00 - 0x4001 FFFF
	USART1	0x4001 3800 - 0x4001 3BFF

7.3.7 APB2 peripheral clock enable register (RCC_APB2ENR)

Address: 0x18

Reset value: 0x0000 0000

Access: word, half-word and byte access

No wait states, except if the access occurs while an access to a peripheral in the APB2 domain is on going. In this case, wait states are inserted until the access to APB2 peripheral is finished.

Note: When the peripheral clock is not active, the peripheral register values may not be readable by software and the returned value is always 0x0.

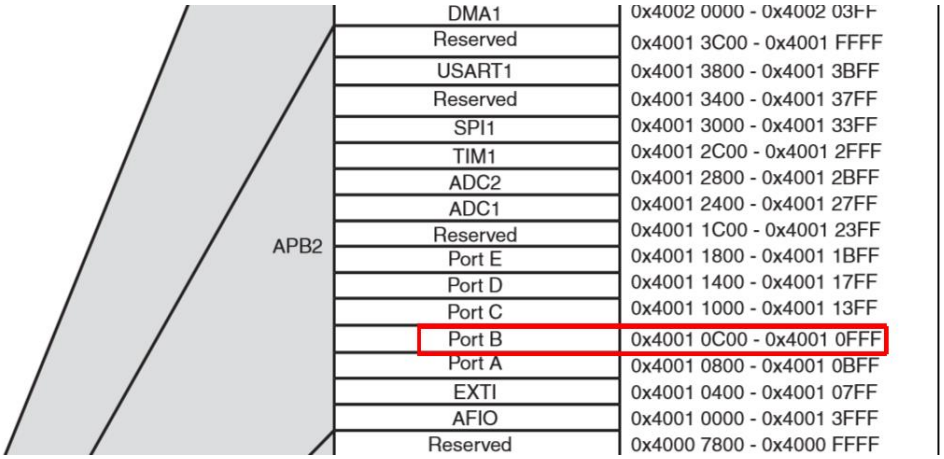
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										TIM11 EN	TIM10 EN	TIM9 EN	Reserved		
										rw	rw	rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADC3 EN	USART 1EN	TIM8 EN	SPI1 EN	TIM1 EN	ADC2 EN	ADC1 EN	IOPG EN	IOPF EN	IOPE EN	IOPD EN	IOPC EN	IOPB EN	IOPA EN	Res.	AFIO EN
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw

위의 정보들로 RCC 의 시작 주소값 + OFFSET 을 하여 기준 주소값을 알아낸 뒤에 B,C,D 포트에 각각 클럭 인가를 해준다는 0x38 이라는 값을 넣어주면 된다.

4.1.2 B 포트 클럭 인가

B 포트로 사용하고자 하는 레지스터에 클럭 인가를 해준다. B 포트는 조이스틱의 selection 에 연결된 8 번 레지스터 하나만을 사용한다. RCC 처럼 Datasheet 의 메모리 매핑 그림을 보면 B 포트의 시작 주소값을 알 수 있고, 레퍼런스를 보고 각 포트의 GPIO 레지스터 OFFSET 값과 초기값, 연결되어 있는 레지스터 정보 등을 알 수 있다. 이때 B 포트는 8 번 레지스터를 사용하므로 GPIO_CRH(Configuration Register High)를 봐야한다.



9.2.2 Port configuration register high (GPIOx_CRH) (x=A..G)

Address offset: 0x04

Reset value: 0x4444 4444

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CNF15[1:0]		MODE15[1:0]		CNF14[1:0]		MODE14[1:0]		CNF13[1:0]		MODE13[1:0]		CNF12[1:0]		MODE12[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CNF11[1:0]		MODE11[1:0]		CNF10[1:0]		MODE10[1:0]		CNF9[1:0]		MODE9[1:0]		CNF8[1:0]		MODE8[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

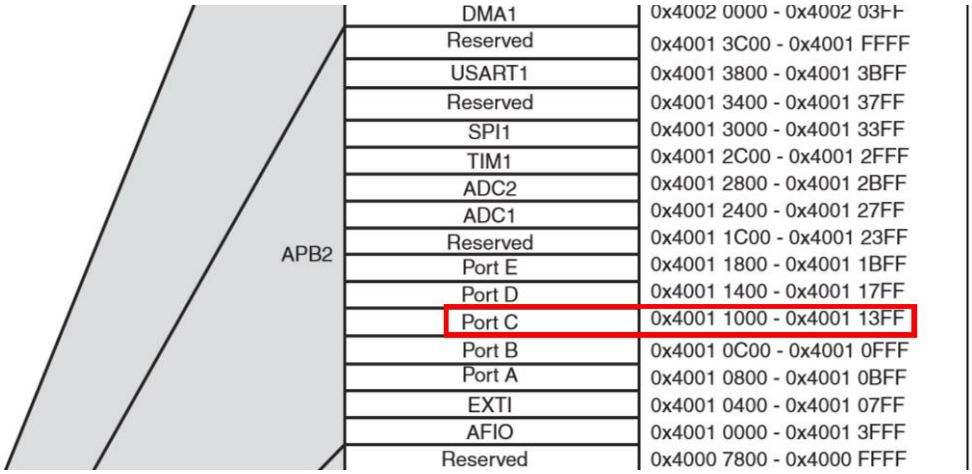
Bits 31:30, 27:26, 23:22, 19:18, 15:14, 11:10, 7:6, 3:2 **CNFy[1:0]:** Port x configuration bits (y= 8 .. 15)
These bits are written by software to configure the corresponding I/O port.
Refer to *Table 20: Port bit configuration table on page 161*.
In input mode (MODE[1:0]=00):
00: Analog mode
01: Floating input (reset state)
10: Input with pull-up / pull-down
11: Reserved
In output mode (MODE[1:0] > 00):
00: General purpose output push-pull
01: General purpose output Open-drain
10: Alternate function output Push-pull
11: Alternate function output Open-drain

Bits 29:28, 25:24, 21:20, 17:16, 13:12, 9:8, 5:4, 1:0 **MODEy[1:0]:** Port x mode bits (y= 8 .. 15)
These bits are written by software to configure the corresponding I/O port.
Refer to *Table 20: Port bit configuration table on page 161*.
00: Input mode (reset state)
01: Output mode, max speed 10 MHz.
10: Output mode, max speed 2 MHz.
11: Output mode, max speed 50 MHz.

위의 정보들로 B 포트의 시작 주소값 + OFFSET 을 하여 기준 주소값을 알아낸 뒤에 8 번 레지스터에 클럭 인가를 해준다. 이때 조이스틱은 보드기준으로 input 의 동작을 한다. 그래서 mode 는 00 이고 CNF 값은 10 이 되므로 0x00000008 이라는 값을 넣어주면 된다.

4.1.3 C 포트 클럭 인가

C 포트로 사용하고자 하는 레지스터에 클럭 인가를 해준다. C 포트는 조이스틱의 네 방향에 연결된 2~4 번 레지스터들을 사용한다. RCC 처럼 Datasheet 의 메모리 매핑 그림을 보면 C 포트의 시작 주소값을 알 수 있고, 레퍼런스를 보고 각 포트의 GPIO 레지스터 OFFSET 값과 초기값, 연결되어 있는 레지스터 정보 등을 알 수 있다. 이때 C 포트는 2~4 번 레지스터를 사용하므로 GPIO_CRL(Configuration Register Low)를 봐야한다.



9.2.1 Port configuration register low (GPIOx_CRL) (x=A..G)

Address offset: 0x00

Reset value: 0x4444 4444

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CNF7[1:0]		MODE7[1:0]		CNF6[1:0]		MODE6[1:0]		CNF5[1:0]		MODE5[1:0]		CNF4[1:0]		MODE4[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CNF3[1:0]		MODE3[1:0]		CNF2[1:0]		MODE2[1:0]		CNF1[1:0]		MODE1[1:0]		CNF0[1:0]		MODE0[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

Bits 31:30, 27:26, 23:22, 19:18, 15:14, 11:10, 7:6, 3:2 **CNFy[1:0]:** Port x configuration bits (y= 0 .. 7)

These bits are written by software to configure the corresponding I/O port.

Refer to *Table 20: Port bit configuration table on page 161*.

In input mode (MODE[1:0]=00):

00: Analog mode

01: Floating input (reset state)

10: Input with pull-up / pull-down

11: Reserved

In output mode (MODE[1:0] > 00):

00: General purpose output push-pull

01: General purpose output Open-drain

10: Alternate function output Push-pull

11: Alternate function output Open-drain

Bits 29:28, 25:24, 21:20, 17:16, 13:12, 9:8, 5:4, 1:0 **MODEy[1:0]:** Port x mode bits (y= 0 .. 7)

These bits are written by software to configure the corresponding I/O port.

Refer to *Table 20: Port bit configuration table on page 161*.

00: Input mode (reset state)

01: Output mode, max speed 10 MHz.

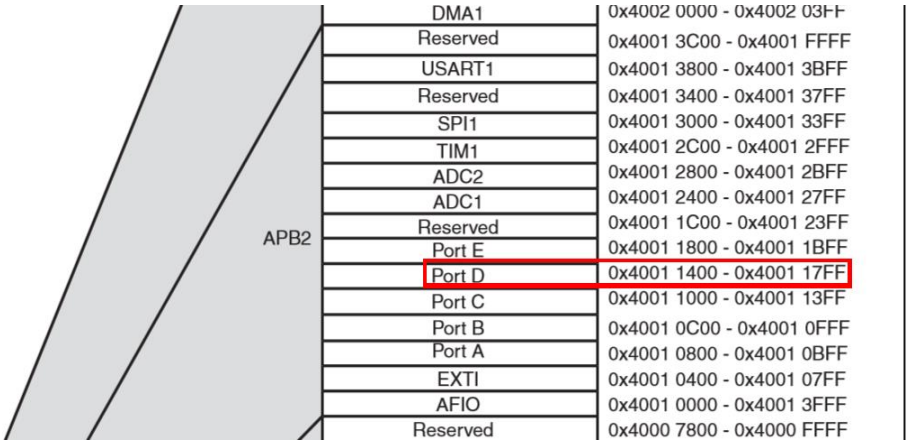
10: Output mode, max speed 2 MHz.

11: Output mode, max speed 50 MHz.

위의 정보들로 C 포트의 시작 주소값 + OFFSET 을 하여 기준 주소값을 알아낸 뒤에 2~4 번 레지스터에 클럭 인가를 해준다. 이때 조이스틱은 보드기준으로 input 의 동작을 한다. 그래서 mode 는 00 이고 CNF 값은 10 이 되므로 0x00888800 이라는 값을 넣어주면 된다.

4.1.4 D 포트 클럭 인가

D 포트로 사용하고자 하는 레지스터에 클럭 인가를 해준다. D 포트는 LED 에 연결된 2,3,4,7 번 레지스터들을 사용한다. RCC 처럼 Datasheet 의 메모리 매핑 그림을 보면 D 포트의 시작 주소값을 알 수 있고, 레퍼런스를 보고 각 포트의 GPIO 레지스터 OFFSET 값과 초기값, 연결되어 있는 레지스터 정보 등을 알 수 있다. 이때 D 포트는 2,3,4,7 번 레지스터를 사용하므로 GPIO_CRL(Configuration Register Low)를 봐야한다.



9.2.1 Port configuration register low (GPIOx_CRL) (x=A..G)

Address offset: 0x00

Reset value: 0x4444 4444

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CNF7[1:0]		MODE7[1:0]		CNF6[1:0]		MODE6[1:0]		CNF5[1:0]		MODE5[1:0]		CNF4[1:0]		MODE4[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CNF3[1:0]		MODE3[1:0]		CNF2[1:0]		MODE2[1:0]		CNF1[1:0]		MODE1[1:0]		CNF0[1:0]		MODE0[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

Bits 31:30, 27:26, 23:22, 19:18, 15:14, 11:10, 7:6, 3:2 **CNFy[1:0]:** Port x configuration bits (y= 0 .. 7)
These bits are written by software to configure the corresponding I/O port.
Refer to *Table 20: Port bit configuration table on page 161.*
In input mode (MODE[1:0]=00):
00: Analog mode
01: Floating input (reset state)
10: Input with pull-up / pull-down
11: Reserved
In output mode (MODE[1:0] > 00):
00: General purpose output push-pull
01: General purpose output Open-drain
10: Alternate function output Push-pull
11: Alternate function output Open-drain

Bits 29:28, 25:24, 21:20, 17:16, 13:12, 9:8, 5:4, 1:0 **MODEy[1:0]:** Port x mode bits (y= 0 .. 7)
These bits are written by software to configure the corresponding I/O port.
Refer to *Table 20: Port bit configuration table on page 161.*
00: Input mode (reset state)
01: Output mode, max speed 10 MHz.
10: Output mode, max speed 2 MHz.
11: Output mode, max speed 50 MHz.

위의 정보들로 D 포트의 시작 주소값 + OFFSET 을 하여 기준 주소값을 알아낸 뒤에 2,3,4,7 번 레지스터에 클럭 인가를 해준다. 이때 LED 는 보드기준으로 output 의 동작을 한다. 그래서 mode 는 00 이외의 값들 중에 11 로 하고, CNF 값은 00 이 되므로 0x30033300 이라는 값을 넣어주면 된다.

4.2 GPIO(General purpose Input Output) 조작

4.2.1 IDR(Input Data Register) 조작

IDR 에는 조이스틱의 B 포트와 C 포트의 레지스터에 Input 값을 저장한다. IDR 에는 write 는 할 수 없고 read 만 할 수 있다. 나중에 IDR 에 들어오는 값을 읽어온 뒤 차를 이용해서 조이스틱 조작을 인식하는 것에 사용한다. IDR 의 주소값은 위의 경우처럼 각 포트의 시작 주소값에 OFFSET 를 더하는 것으로 구할 수 있다.

9.2.3 Port input data register (GPIOx_IDR) (x=A..G)

Address offset: 0x08h

Reset value: 0x0000 XXXX

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IDR15	IDR14	IDR13	IDR12	IDR11	IDR10	IDR9	IDR8	IDR7	IDR6	IDR5	IDR4	IDR3	IDR2	IDR1	IDR0
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

Bits 31:16 Reserved, must be kept at reset value.

Bits 15:0 **IDRy:** Port input data (y= 0 .. 15)
These bits are read only and can be accessed in Word mode only. They contain the input value of the corresponding I/O port.

4.2.2 BSRR(Bit Set/Reset Register) 조작

BSRR 로는 레지스터의 값을 세팅하거나 리셋 할 수 있다. 0~15 번 비트로는 셋을 16~31 번 비트로는 리셋을 하는데 같은 레지스터의 위치에 셋과 리셋에 값을 동시에 1 로 값을 넣어줄 경우 충돌하게 된다. 따라서 세팅을 할 때만 BSRR 을 이용하는 것이 좋고, 리셋을 할 때는 다음 항목에 나올 BSR 을 이용하는 것이 좋다. BSRR 로 D 포트의 LED 와 연결된 2,3,4,7 번 레지스터에 값을 넣음으로써 LED 점등 조작이 가능하다. 그리고 BSRR 의 주소값은 위의 경우처럼 포트의 시작 주소값에 OFFSET 을 더하는 것으로 구할 수 있다.

9.2.5 Port bit set/reset register (GPIOx_BSRR) (x=A..G)

Address offset: 0x10

Reset value: 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
BR15	BR14	BR13	BR12	BR11	BR10	BR9	BR8	BR7	BR6	BR5	BR4	BR3	BR2	BR1	BR0
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BS15	BS14	BS13	BS12	BS11	BS10	BS9	BS8	BS7	BS6	BS5	BS4	BS3	BS2	BS1	BS0
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w

Bits 31:16 **BRy:** Port x Reset *bit y (y= 0 .. 15)*
These bits are write-only and can be accessed in Word mode only.
0: No action on the corresponding ODRx bit
1: Reset the corresponding ODRx bit
Note: If both BSx and BRx are set, BSx has priority.

Bits 15:0 **BSy:** Port x *Set bit y (y= 0 .. 15)*
These bits are write-only and can be accessed in Word mode only.
0: No action on the corresponding ODRx bit
1: Set the corresponding ODRx bit

4.2.3 BRR(Bit Reset Register) 조작

BRR 로 레지스터의 값을 리셋 할 수 있다. BSRR 에서 같은 레지스터의 위치에 셋과 리셋에 값을 동시에 1 로 값을 넣어줄 경우 충돌하게 된다는 문제점 때문에 리셋을 할 때는 BSR 을 이용하는 것이 좋다. BRR 을 쓰게 될 경우 장점이 하나 더 있는데 BSRR 에 넣었던 값을 그대로 BRR 에 넣어주면 쉽게 리셋이 가능하다. BRR 로 D 포트의 LED 와 연결된 2,3,4,7 번 레지스터에 값을 넣음으로써 LED 소등 조작이 가능하다. 그리고 BRR 의 주소값은 위의 경우처럼 포트의 시작 주소값에 OFFSET 을 더하는 것으로 구할 수 있다.

9.2.6 Port bit reset register (GPIOx_BRR) (x=A..G)

Address offset: 0x14

Reset value: 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BR15	BR14	BR13	BR12	BR11	BR10	BR9	BR8	BR7	BR6	BR5	BR4	BR3	BR2	BR1	BR0
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w

Bits 31:16 Reserved

Bits 15:0 **BRy:** Port x Reset bit y (y= 0 .. 15)
These bits are write-only and can be accessed in Word mode only.
0: No action on the corresponding ODRx bit
1: Reset the corresponding ODRx bit

05. 실험 결과

5.1 소스코드

위의 GPIO 조작 내용을 바탕으로 작성한 소스코드는 아래와 같다.

```
/*
 * ledjoy.c
 *
 *  Created on: 2019. 9. 20.
 *      Author: TEAM07
 */

#include <time.h>

#define RCC         (*(volatile unsigned int*)0x40021018)

#define B_PORT_CRH  (*(volatile unsigned int*)0x40010c04)
#define C_PORT_CRL  (*(volatile unsigned int*)0x40011000)
#define D_PORT_CRL  (*(volatile unsigned int*)0x40011400)

#define B_PORT_IDR  (*(volatile unsigned int*)0x40010c08)
#define C_PORT_IDR  (*(volatile unsigned int*)0x40011008)
#define D_PORT_BSRR (*(volatile unsigned int*)0x40011410)
#define D_PORT_BRR  (*(volatile unsigned int*)0x40011414)

#define Selection   0x100
#define UP          0x020
#define LEFT        0x008
#define DOWN        0x004
#define RIGHT       0x010


```

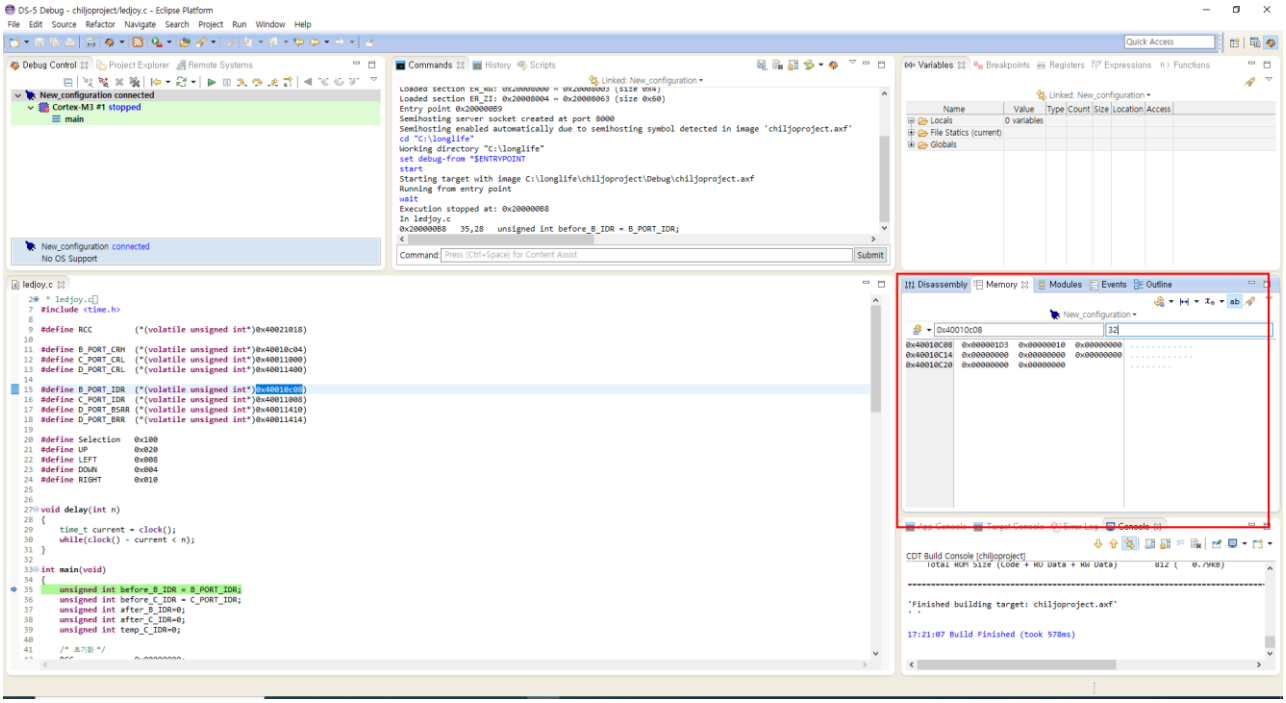
```c
void delay(int n)
{
    time_t current = clock();
    while(clock() - current < n);
}

int main(void)
{
    unsigned int before_B_IDR = B_PORT_IDR;
    unsigned int before_C_IDR = C_PORT_IDR;
    unsigned int after_B_IDR=0;
    unsigned int after_C_IDR=0;
    unsigned int temp_C_IDR=0;

    /* 초기화 */
    RCC         =   0x00000000;
    B_PORT_CRH  =   0x44444444;
    C_PORT_CRL  =   0x44444444;
    D_PORT_CRL  =   0x44444444;

    /* 클럭 인가 */
    RCC         =   0x00000038;
    B_PORT_CRH  =   0x00000008;
    C_PORT_CRL  =   0x00888800;
    D_PORT_CRL  =   0x30033300;

    /* LED 불 다 꺼짐 */
    D_PORT_BRR  =   0x9c;

    /* 조이스틱 작동 */
    while(1){
        after_B_IDR = B_PORT_IDR;
        after_C_IDR = C_PORT_IDR;

        if((before_B_IDR - after_B_IDR) == Selection) {         // Selection
            while((before_B_IDR - B_PORT_IDR) == Selection){
                D_PORT_BSRR =   0x9c;
                delay(50);
                D_PORT_BRR  =   0x9c;
                delay(50);
            }
        }
        if((before_C_IDR - after_C_IDR) == UP) {            // Up
            while(1){
                temp_C_IDR = after_C_IDR;
                if(temp_C_IDR != C_PORT_IDR)
                    break;
                D_PORT_BSRR =   0x04;
                D_PORT_BRR  =   0x98;
                delay(50);
                D_PORT_BRR = 0x9c;
                delay(50);
            }
        }
        if((before_C_IDR - after_C_IDR) == LEFT) {          // Left
            while(1){
                temp_C_IDR = after_C_IDR;
                if(temp_C_IDR != C_PORT_IDR)
                    break;
                D_PORT_BSRR =   0x08;
                D_PORT_BRR  =   0x94;
                delay(50);
                D_PORT_BRR = 0x9c;
                delay(50);
            }
        }
        if((before_C_IDR - after_C_IDR) == DOWN) {          // Down
            while(1){
                temp_C_IDR = after_C_IDR;
                if(temp_C_IDR != C_PORT_IDR)
                    break;
                D_PORT_BSRR =   0x10;
                D_PORT_BRR  =   0x8C;
                delay(50);
                D_PORT_BRR = 0x9c;
                delay(50);
            }
        }
        if((before_C_IDR - after_C_IDR) == RIGHT) {         // Right
            while(1){
                temp_C_IDR = after_C_IDR;
                if(temp_C_IDR != C_PORT_IDR)
                    break;
                D_PORT_BSRR =   0x80;
                D_PORT_BRR  =   0x1C;
                delay(50);
                D_PORT_BRR = 0x9c;
                delay(50);
            }
        }
        delay(20);
    }

}
```

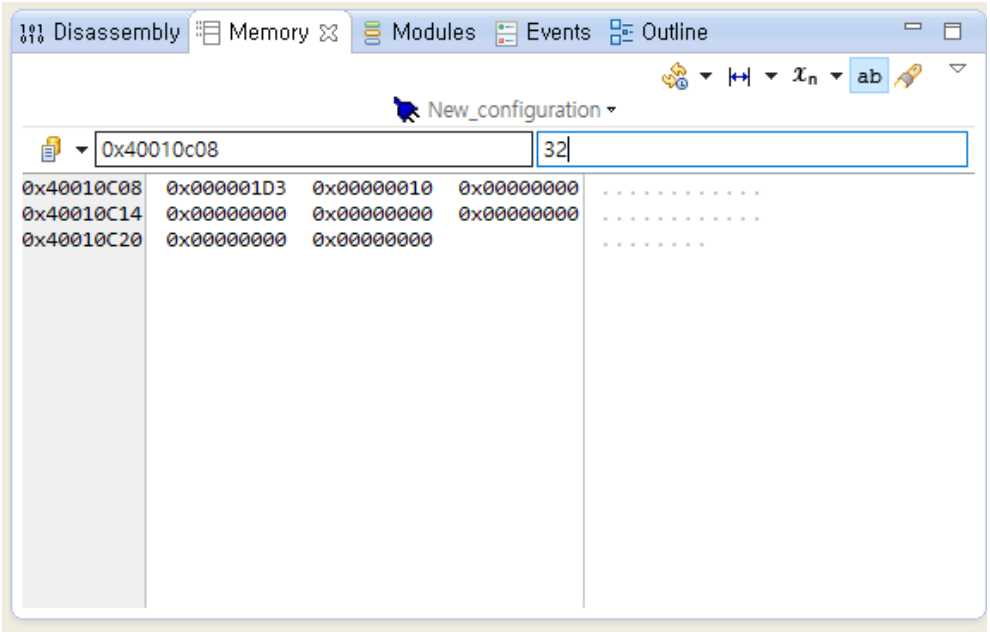
5.2 소스코드 해설

우선, 레지스터에 직접 접근해야 하므로 각 레지스터의 주소값을 다 구해야 한다. 그 방법에 대한 설명은 04. 실험 및 과제 해결에 있으니 생략한다. 그리고 주소값 그대로 두면 소스코드 작성에 어려움도 있고, 가독성도 떨어지기 때문에 #define 을 이용하여 변수처럼 사용하였다.

그리고 초기화를 해준 뒤, 각 레지스터를 사용하겠다는 뜻을 밝히는 것으로 각 포트와 레지스터들에 클럭 인가를 해 주었다.

모든 LED 의 불을 소등 상태로 바꿔준 뒤, 조이스틱의 IDR 값의 차에 따라 LED 조작도 연계해주는 코드를 작성하였다. 이때 IDR 차를 구하는 방법은 아래처럼 디버깅 모드에서 memory 에 있는 값을 읽어서 확인하면 된다.





그리고 delay 가 없으면 클럭 속도가 너무 빨라서 사람의 눈으로 LED 의 불빛을 확인할 수 없을 정도로 프로그램이 빨리 종료되기 때문에 time 라이브러리를 include 하여 delay 를 사용해준다.

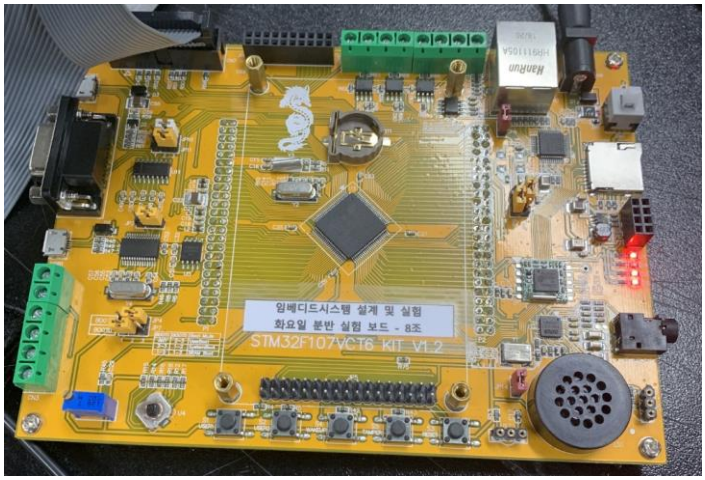
5.3 결과 확인 사진 및 영상

해당 소스 코드대로 동작하는 프로그램은 다음과 같이 확인되었다.

- 조이스틱 Up : Up 상태를 유지하는 동안 오른쪽 맨 아래의 LED 가 점멸
- 조이스틱 Left : Left 상태를 유지하는 동안 오른쪽 아래에서 두번째 LED 가 점멸
- 조이스틱의 Down : Down 상태를 유지하는 동안 오른쪽 위에서 두번째 LED 가 점멸
- 조이스틱의 Right : Right 상태를 유지하는 동안 오른쪽 맨 위의 LED 가 점멸
- 조이스틱의 Selection : Select 상태를 유지하는 동안 오른쪽 네 개의 LED 가 점멸

아쉽게 동영상 찍는 것을 잊어서 첨부하지 못하지만, 조교님께서 현장에서 확인해 주셨다.

아래는 일부 LED 가 점등된 상태의 보드 사진이다.



그리고 해당 소스 코드대로가 아니지만 조이스틱으로 LED 를 제어하는 영상 링크도 함께 첨부한다.

https://photos.app.goo.gl/CPbbAdCTDXApMWwV7

06. 결론

지금까지 이론으로만 배우던 내용을 적용해보는 실험이었는데 처음으로 레지스터에 직접 접근하려고 하니 익숙하지 않아서 많이 헤맸다. 잘 알고 있다고 생각했던 구조가 실제로는 그렇지 않음을 알게 되었다. 덕분에 실제 임베디드 시스템의 구조와 GPIO 조작법에 대해 잘 알게 되었다. 환경 설정하는 것부터 코드 짜는 것까지 다 힘들었지만 배운 게 많은 실험이다.