Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting (KNS 2022)

Automated PLC software testing for Reactor Core Protection System Interface and Test Processor using the execution control method for test sequences

은형석(Hyeongseok Eun)* , Lingjun Liu, 지은경, 배두환, 이창재, 이윤희

* 한국전력기술 원자로설계개발단 보호계통분야, 한국과학기술원 전산학부

ehs@kepco-enc.com

2022.05.19

PLC (Programmable Logic Controller)

자동 제어 및 모니터링에 사용하는 제어 장치

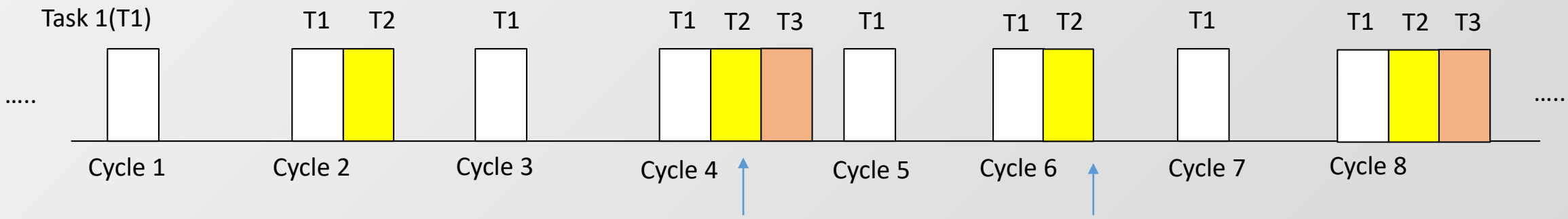
- 원자력 발전소의 Safety Critical 시스템에 사용. 센서 값을 계속적으로 모니터링하기 위하여 주기적이고 영구적으로 실행. 위험 조건이 감지되면 안전 조치를 실행
  → 계속적으로 결과값이 변화하나 멈출 수 없으므로
  이에 대한 디버깅이나 주기별 관찰이 불가능
  → 주기별 입출력 모사 어려움

- 기존 PLC 테스팅 방법으로는 주기별 입출력 모사가 어렵기 때문에, 공정 입력을 I/O 시뮬레이터에서 모사하고 최종 출력값을 확인하는 방법으로 테스팅을 수행.
  → 실제 멀티태스크 PLC 프로그램의 정밀한 PLC 테스팅에는 한계
  → I/O 시뮬레이터로 모사가 힘든 사항은 PLC 내부로직을 수정하여 진행하는 한계

PLC Program

PLC Program & Cycle

- **태스크의 상태와 주기에 따라 계속적으로 다른 값을 산출하는 특성**은 멀티태스크 PLC 프로그램의 정밀한 테스트를 어렵게 하는 요소임



특정 주기의 **상태를 모사**하여 **결과를 예측하거나 관측하는 것**이 어려움

- 특정 주기로 상태를 돌리면 매번 사용자의 Initial Condition 부터 시작시킬 수 있으므로 테스트를 자동화시킬 수 있음

Paper Submission

- **KSC 2021 (Korea Software Congress)**
  - A systematic execution and output method of test sequences for PLC program
- **KCSE 2022 (Korea Conference on Software Engineering)**
  - An execution control method of test sequences per cycle for multi-task PLC programs

: 실제 PLC 프로그램의 정밀한 PLC 테스팅이 가능하도록 원하는 주기의 입력을 모사하고 결과를 주기 별로 확인할 수 있는 방법론을 예시와 함께 제시

- **KNS 2022 (Korean Nuclear Society)**
  - Automated PLC software testing for Reactor Core Protection System Interface and Test Processor using the execution control method for test sequences

: 실제 RCOPS (Reactor Core Protection System) 의 ITP (Interface and Test Processor) 프로세서에 해당 방법론을 적용하여 시험결과를 제시

Function & Function Block

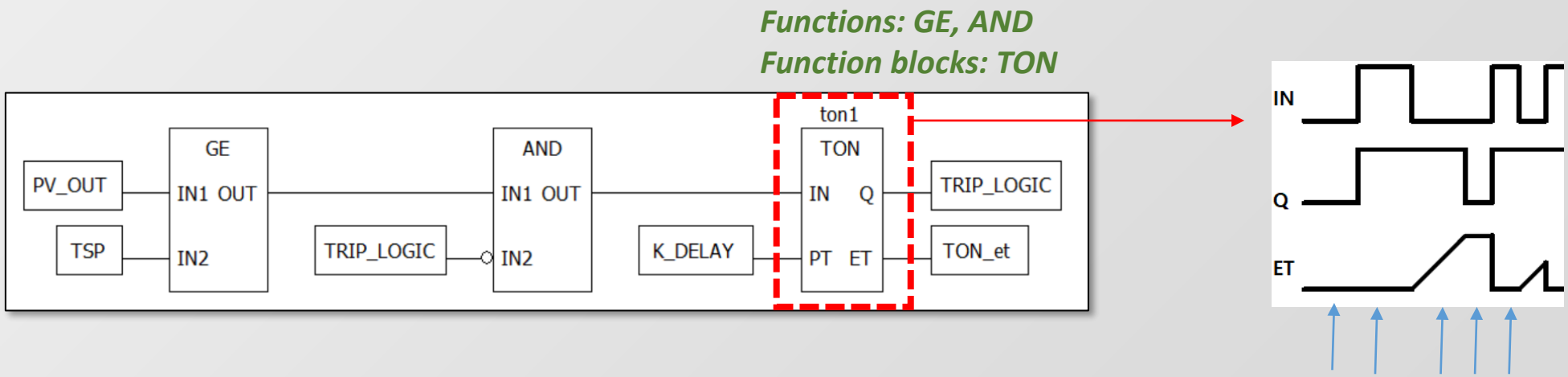
Function

- 내부 상태가 없음. 결과가 입력값만으로 결정. 입력값만 모사하면 주기 별 모사 가능
  - ex. ADD, AND, GE(Greater than or Equal to), OR, PACK, MIN, MAX

Function Block

- 내부 상태(모든 내부 메모리 변수) 존재. 결과는 입력값 및 내부 메모리 변수들로 결정
  - ex. SR, RS, R_TRIG, TON(On Delay Timer), CTUD(Counter Up/Down) 등
  - **상태 모사를 위해서는 입력값 뿐만 아니라 모든 내부 메모리 변수들을 모사할 수 있어야 함**

Functions: GE, AND
Function blocks: TON



User Function Block & Standard Function Block

User Function Block

- 사용자가 직접 제작하여 사용. 사용자는 이미 코드를 알고 있으므로 내부 메모리 변수들을 주기 별로 적절히 모사

이름	타입	형식	배열
T2S	입력 변수	BOOL	
CU	출력 변수	BOOL	
preCU	내부 변수	BOOL	
Q1	입력 변수	BOOL	
Q2	입력 변수	BOOL	

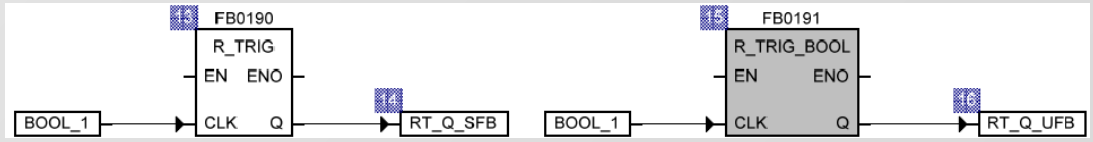
```
if (T2S == FALSE) // If T2 is not Suspended
{
      CU = Q1 && Q2;
}
else // If T2 is Suspended
{
      CU = preCU;
}

preCU = CU;
```

Standard Function Block (ex. ADD, SR, TON)

- 제조사가 IEC 61131-3 기반으로 자체 제작하여 사용자에게 제공

Table 44 – Standard edge detection function blocks

No.	Description/Graphical form	Definition (ST language)
1	Rising edge detector: R_TRIG (CLK, Q)	
	+---------+ | R_TRIG | BOOL --|CLK Q|-- BOOL +---------+	FUNCTION_BLOCK R_TRIG VAR_INPUT CLK: BOOL; END_VAR VAR_OUTPUT Q: BOOL; END_VAR VAR M: BOOL; END_VAR Q:= CLK AND NOT M; M:= CLK; END_FUNCTION_BLOCK



- 내부 상태를 모사하기 위해서는 상태에 따른 내부 메모리 변수를 알아야함
  → 직접 IEC 61131-3 을 참고하여 모사한 뒤 비교 테스팅하여 확인

Simulating Function Block with Execution Control (EC)

Test Driver & Test Stub

- Test Driver : 테스트 시퀀스 제공
- Test Stub : Target Program 의 Function Block 내부 메모리 변수에 접근

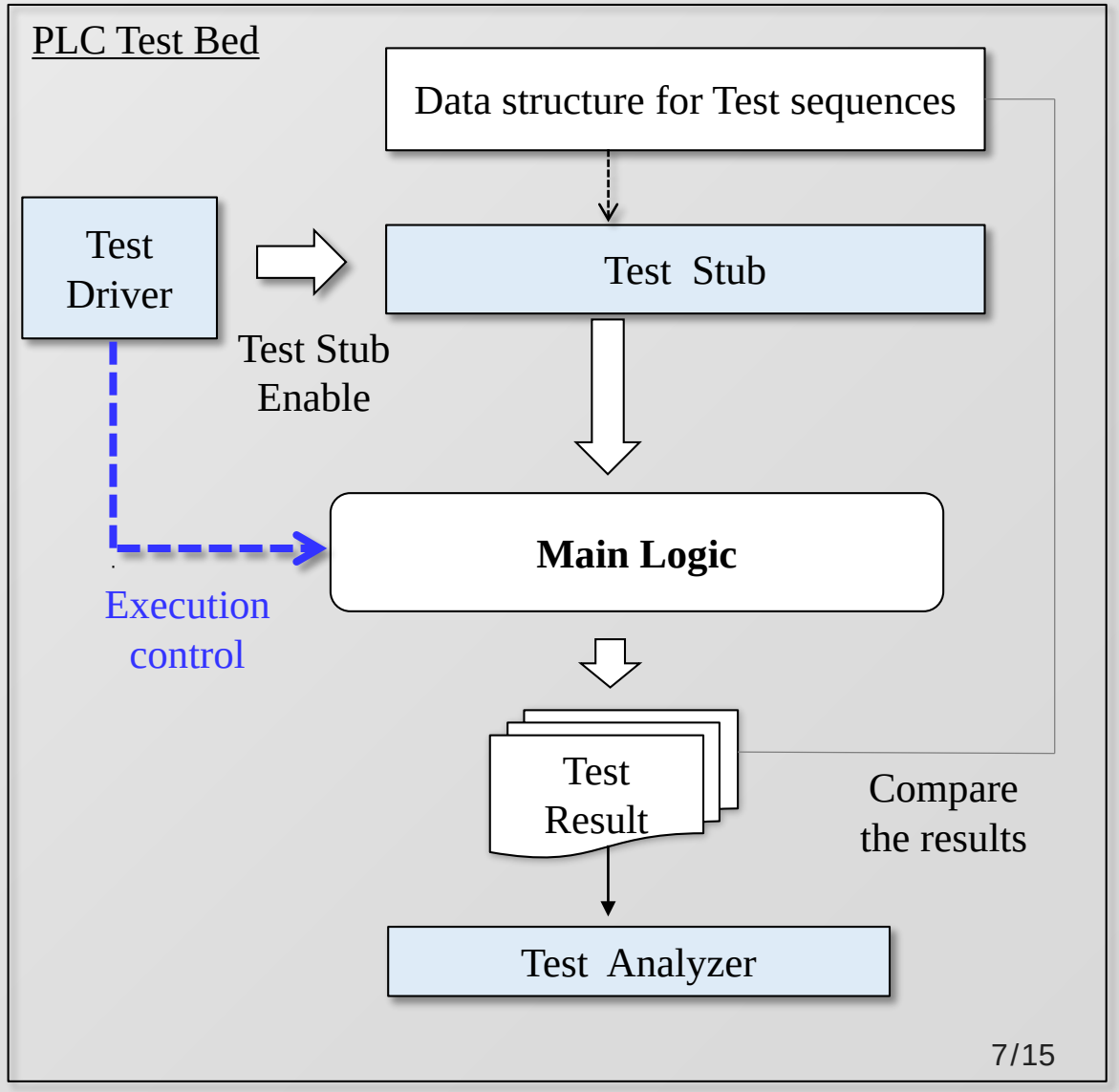
- 해당 Function Block 의

① 입력 및 내부 메모리 변수를 변경

② 실행 여부 제어 → Execution Control (EC)

Test Analyzer

- 테스트 시퀀스별 결과를 취합하여 예측값과 자동 비교. 결과 출력



RCOPS ITP PLC

RCOPS (Reactor Core Protection System) : 원자로노심보호계통

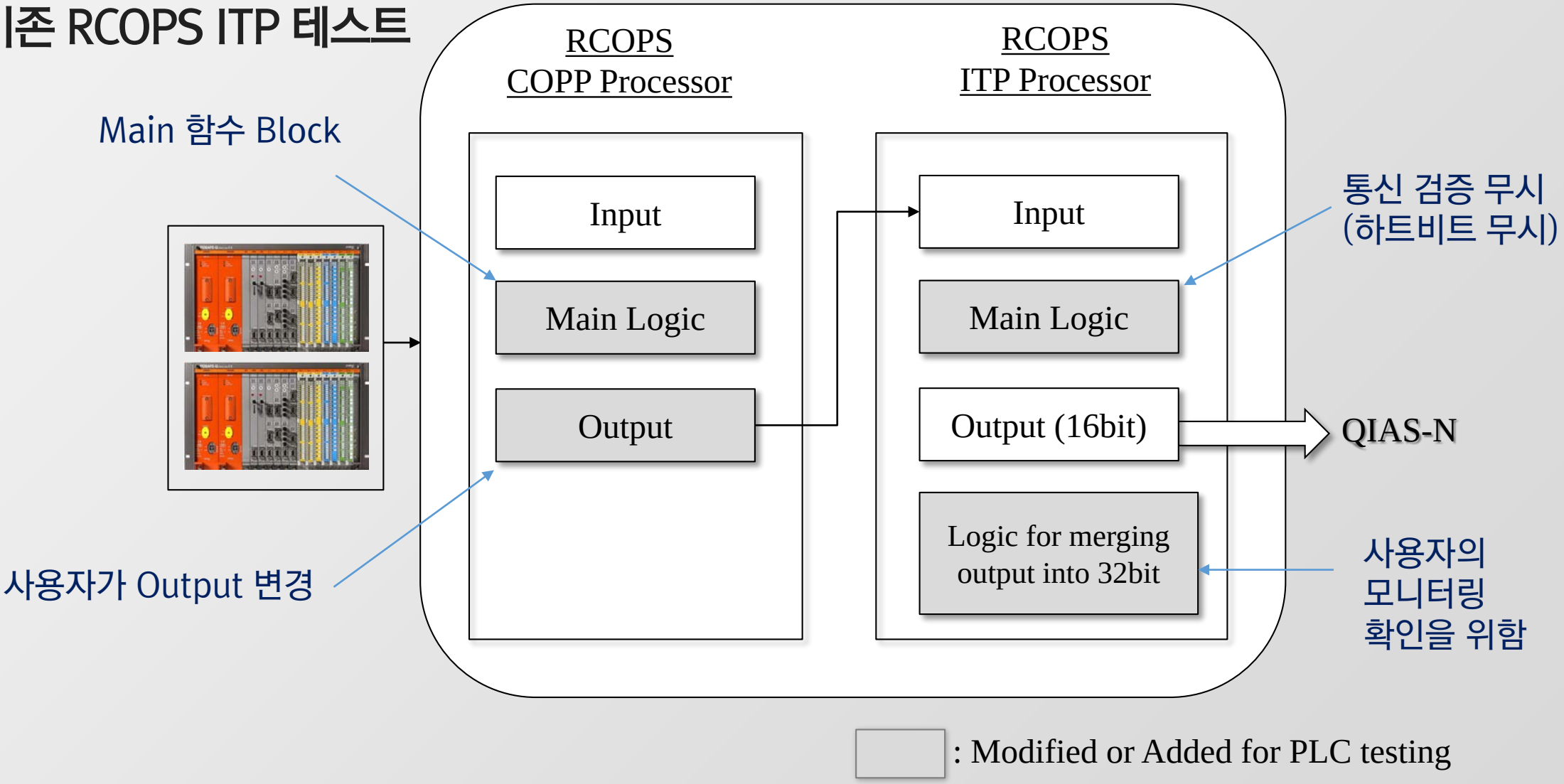
- DNBR(핵비등이탈률) Trip, LPD(국부출력밀도) Trip, Auxilary Trip(보조 정지) 생성, CWP 생성 등
- COPP, CEAP, CCP1,2, ITP 프로세서로 구성

RCOPS ITP (Interface and Test Processor)

- RCOPS COPP 에서 생성된 주요 변수들을 QIAS-N (Non-Safety) 계통에 전송
  - 주요 변수들의 Quality 신호 조합
  - QIAS-N 화면 내 표시를 위한 단위변환

RCOPS ITP PLC existing testing method

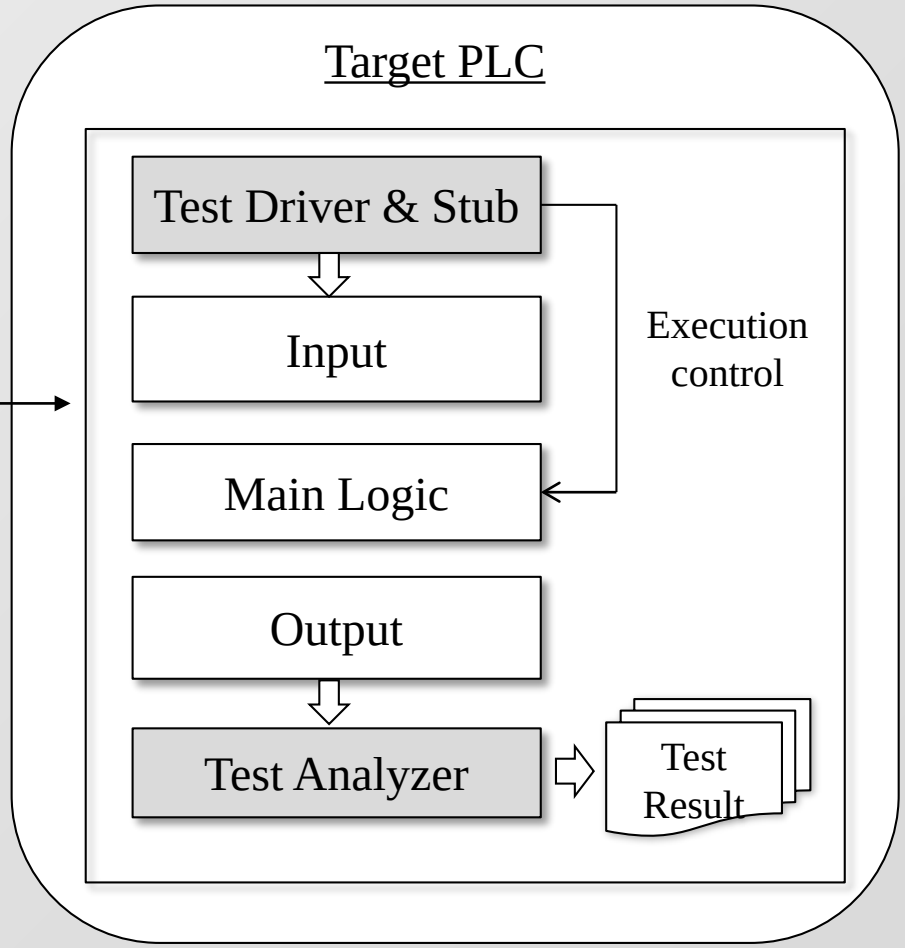
기존 RCOPS ITP 테스트



RCOPS ITP PLC Testing with EC method

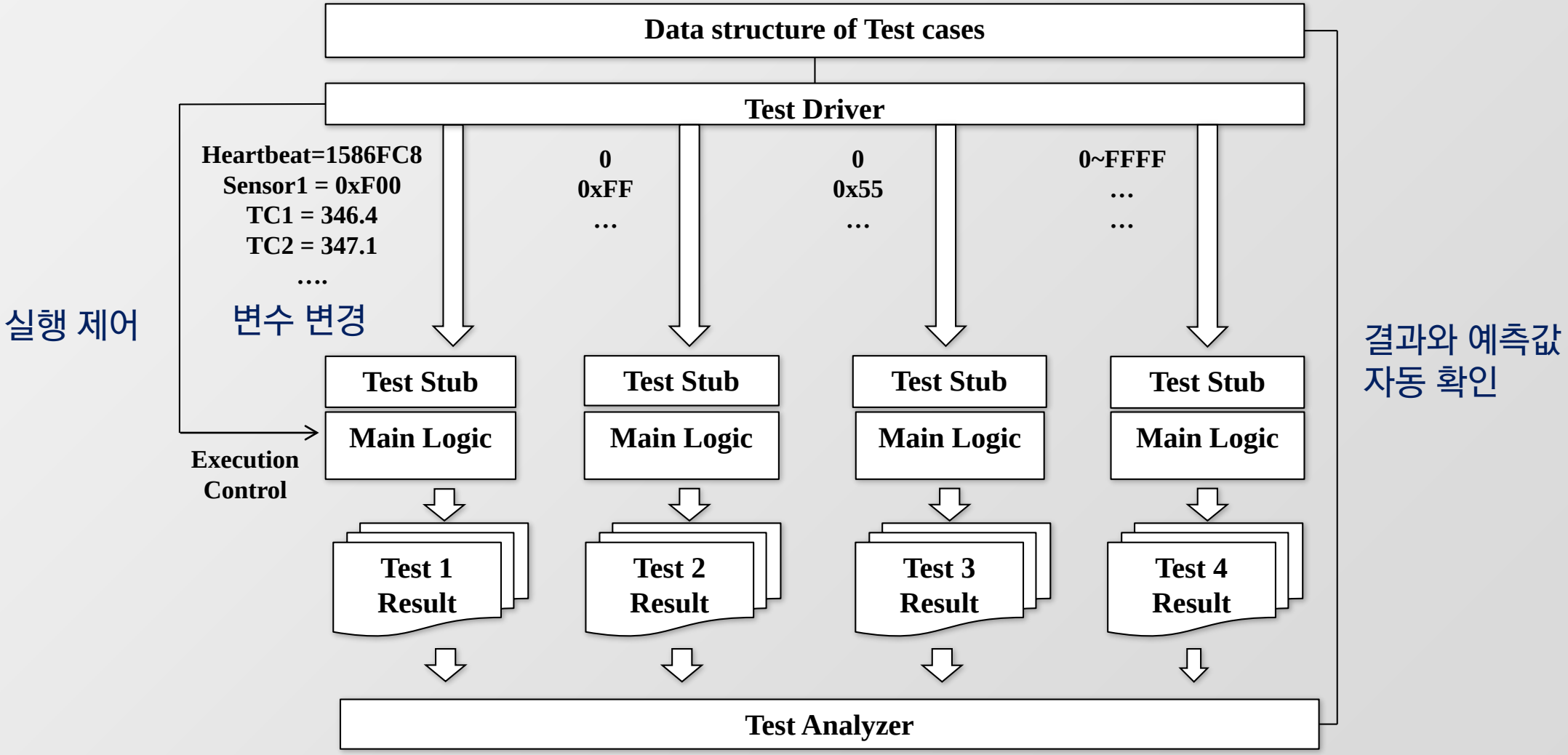
새 RCOPS ITP 테스트

- Test Driver로 테스트 시퀀스 자동 주입
- ITP 프로세서만 필요
- Main Logic 수정 없음
- 통신 검증 문제 해결
- Test Analyzer 로 결과 자동 확인

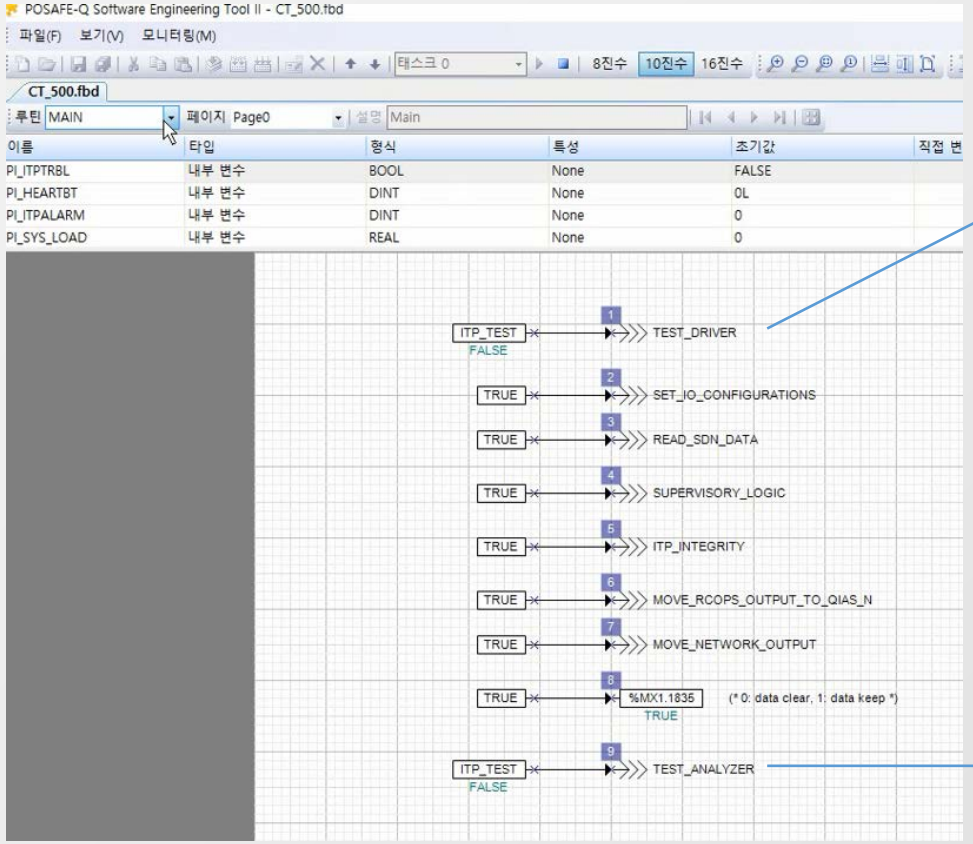


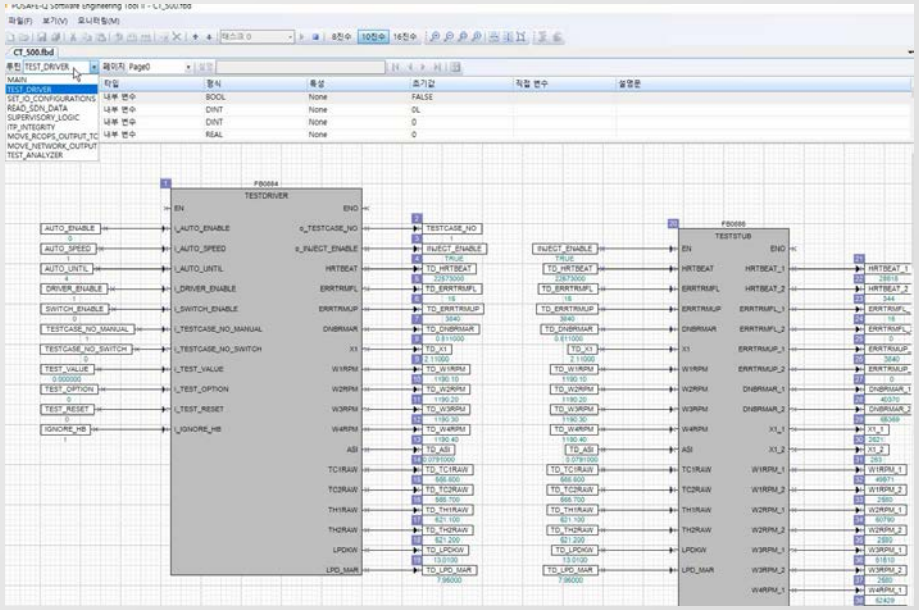
: Added for automated PLC testing

RCOPS ITP PLC Testing with EC method

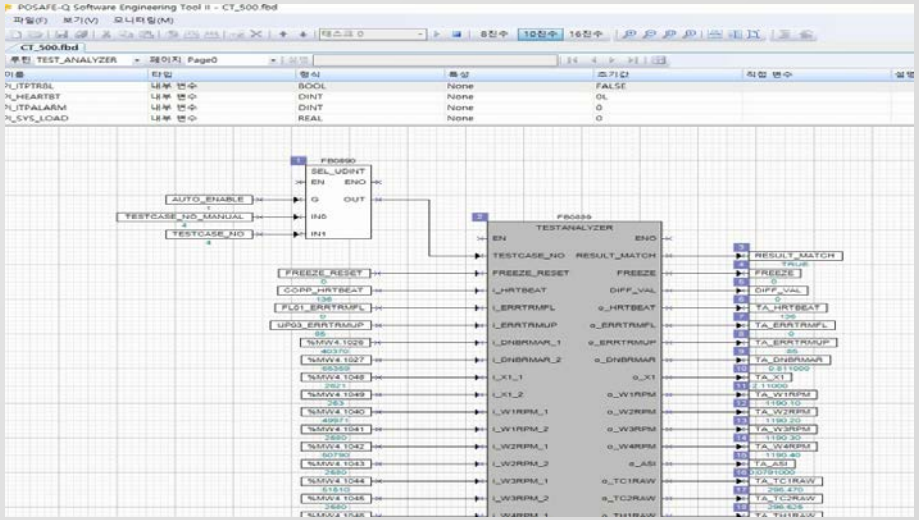


RCOPS ITP PLC Testing with EC method





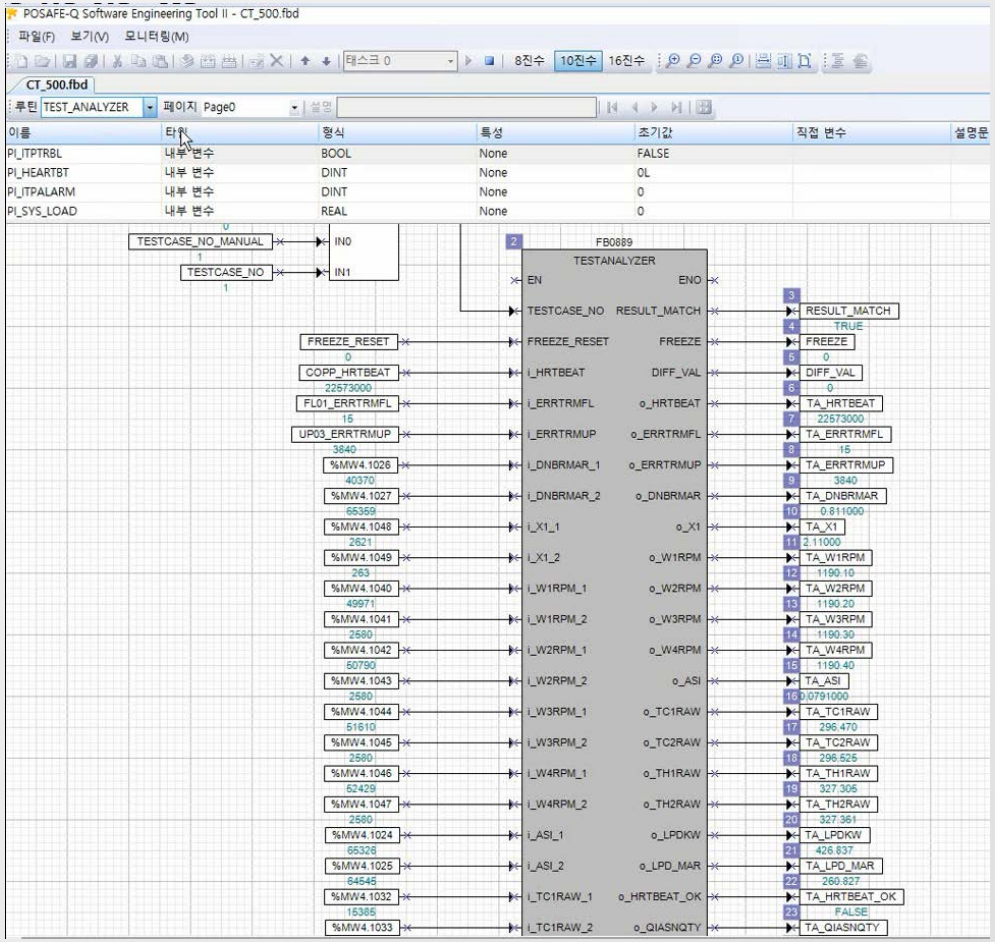
Test Driver &
Test Stub



Test Analyzer

RCOPS ITP PLC Testing with EC method

Test Results



Test case	#1	#2	#3	#4
Modified Inputs	16	3	3	1
Expected Outputs	16	1	1	1
Matched Outputs	16	1	1	1
Match Rate (%)	100%	100%	100%	100%

Testing execution time = PLC scan time (500 ms) × Number of test sequences (4) = 2 s

$$\frac{\text{Time of the EC method}}{\text{Time of the existing method}} = \frac{2+20\ s}{4*60\ +20\ s} \times 100\% = 8.5\%$$

∴ **91.5% of the testing time was reduced**

Conclusion

결론 및 향후 연구

- 새로운 PLC 테스트 자동화 방법을 통해 기존 소프트웨어의 로직을 수정하지 않고 기존 테스트 케이스를 모두 자동 시험함.
- 이 방법을 통해 안전계통 PLC 소프트웨어의 테스팅 수행시간을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대함.
- RCOPS ITP와는 달리 매우 많은 테스트 케이스를 지니는 PPS의 ITP 에도 본 방법을 적용하여 테스팅의 효과성을 검증할 예정.

Thank You.

은형석(Hyeongseok Eun)

* 한국전력기술 원자로설계개발단 보호계통분야, 한국과학기술원 전산학부

ehs@kepco-enc.com