

**안전등급 PLC 소프트웨어 개발도구 컴파일러 테스트**

**천종민, 김석주, 이종무, 권순만**  
한국전기연구원 계측제어연구그룹

**Test of a compiler in Software Engineering Tool for Safety-grade PLC**

Jong-Min Cheon, Seog-Joo Kim, Jong-Moo Lee and Soonman Kwon  
I&C Research Group, Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)

**Abstract** - 본 논문은 한국원전계측제어시스템(KNICS) 개발 사업의 일환으로 개발되는 안전등급 PLC(Programmable Logic Controller) 소프트웨어 개발 도구의 컴파일러에 대한 시험을 다룬다. 개발된 컴파일러에 대하여 외부 시스템과 연계하지 않고 내부에서 각 컴포넌트 별로 시험하는 컴포넌트 시험과 컴파일러 외부 시스템과 연계하여 시험하는 통합 시험을 수행하였다. 시험 과정은 먼저 시험 계획 단계에서 시험 항목을 선정하고 각 항목 별로 사례와 시험 절차를 작성하며 이에 따라 시험을 수행한 결과를 분석하여 컴파일러의 수정 및 보완에 반영하는 것이다.

**1. 서 론**

한국원전계측제어시스템(KNICS, Korea Nuclear I&C System) 개발 사업의 일환으로 개발된 안전등급 PLC인 POSAFE-Q(Qualified POSCON Safety PLC)는 원자력발전소와 같은 안전을 최우선으로 하는 플랜트의 제어 및 감시에 사용될 목적으로 해당 소프트웨어와 하드웨어에 대하여 철저한 검증과 시험을 바탕으로 개발되었다[1].

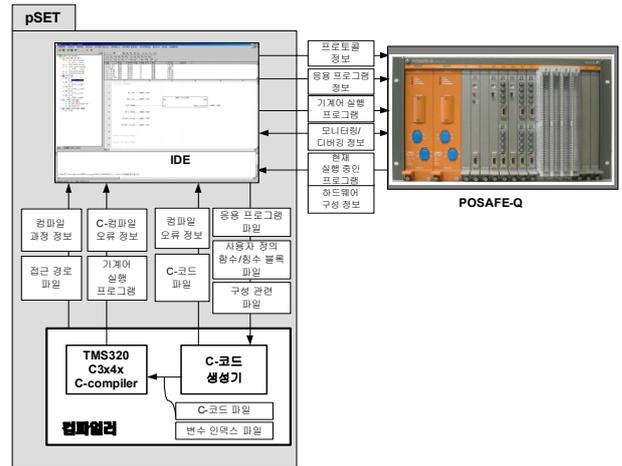
POSAFE-Q 응용 프로그램을 개발하는 소프트웨어 개발도구로서 pSET(POSAFE-Q Software Engineering Tool)이 개발되었으며 pSET은 응용 프로그램 개발을 위한 편집, 다운로드, 실행 및 모니터링 등을 수행하는 통합개발환경(IDE, Integrated Development Environment)과 IEC61131-3 PLC 국제 표준 언어로 작성된 응용 프로그램을 PLC에서 실행되는 기계어 프로그램으로 변환하는 컴파일러로 구성된다[2].

pSET-컴파일러의 특징은 IEC-61131-3의 LD/FBD 언어로 작성된 응용 프로그램을 기계어 실행 프로그램으로 변환하는 과정에서 C-코드 생성기가 동등 의미의 C-코드를 중간 코드로 생성하는 것이다[3]. 이렇게 하는 이유는 그래픽 언어인 LD/FBD로 작성된 응용 프로그램이 작성자가 의도한 대로 올바르게 변환되는지 확인 및 검증이 용이하며 생성된 C-코드를 상용(COTS, Commercial-Off-The-Shelf) 컴파일러를 이용하여 컴파일할 수 있기 때문이다. pSET에서 작성한 응용 프로그램이 실행되는 POSAFE-Q는 TMS320C32 DSP 기반 프로세서 모듈을 가지며 이에 맞는 기계어 실행 프로그램을 생성하기 위하여 TMS320C3x/4x Optimizing C 컴파일러를 사용한다[4].

pSET-컴파일러는 안전 관련(Safety Related) 소프트웨어 수준으로 개발되기 위하여 정해진 소프트웨어 개발 주기를 준수해야 한다. 이를 위하여 설계 단계에서 요구사항 명세서를 작성하고 요구사항에 대한 설계 명세서를 작성하며 구현단계에서 소프트웨어를 코딩하고, 시험 단계에서 소프트웨어가 설계 명세서대로 요구사항 명세서에서 요구하는 기능들을 완벽하게 만족하는지 시험한다. 본 논문은 pSET-컴파일러를 개발하는 과정에서 시험 단계에 해당하는 컴포넌트 시험과 통합 시험에 관하여 기술한다.

**2. pSET-컴파일러**

pSET-컴파일러는 PLC 응용 프로그램을 POSAFE-Q에서 실행되는 기계어 실행 프로그램으로 변환한다. pSET-컴파일러의 C-코드 생성기는 LD/FBD 프로그램에서 노드(node)와 브랜치(branch)로 연결된 하나의 링(rung)을 기본 단위로 구분하고 해당 링에서 직렬 또는 병렬 연결된 노드/브랜치 구조를 병합하여 최종적으로 더 이상 병합 또는 분리할 수 없는 단일 브랜치로 만드는 과정을 반복하면서 동등 의미의 C-코드를 생성한다. C-코드 생성기는 이러한 분석 과정에서 오류 및 경고 사항을 검출하고 오류 및 경고 사항이 없이 생성된 C-코드를 TMS320C3x/4x C 컴파일러가 전달받아서 기계어 실행 프로그램을 생성한다. 이 과정에서 시스템 제공 함수 및 함수 블록은 미리 컴파일되어 오브젝트 파일들로 존재하며 TMS320C3x/4x C 컴파일러의 링커에 의하여 링크된다.



〈그림 1〉 pSET-컴파일러 연계도

**3. pSET-컴파일러 컴포넌트 시험**

**3.1 컴포넌트 시험 계획**

pSET-컴파일러를 구성하는 프로젝트들은 LD2CC 프로젝트(LD/FBD 프로그램 유닛의 C-코드 생성 프로젝트), CCODE 프로젝트(TMS320C3x/4x C-Compiler를 이용하여 C-코드 파일을 기계어 실행 프로그램으로 변환하는 프로젝트) 그리고 CC2CC 프로젝트(C-언어 사용자 정의 함수/함수 블록의 C-코드 생성 프로젝트)이다. 프로젝트들을 컴포넌트 시험 대상으로 하여 프로젝트 각자의 주요 기능을 고려하여 시험 항목을 선정하였고 이에 대한 시험 통과 기준을 작성하였다.

**3.1.1 컴포넌트 시험 항목**

표 1에서는 pSET-컴파일러 컴포넌트 시험 항목을 보여 준다.

〈표 1〉 컴포넌트 시험 항목

ID	시험 내용
LD2CC01	LD2CC 프로젝트의 프로그램 유닛 분석 기능 시험
LD2CC02	LD2CC 프로젝트의 C-코드 생성 기능 시험
INT-LD2CC	LD2CC 프로젝트의 내부 연계 시험
CNT-LD2CC	LD2CC 프로젝트의 기능 연계 시험
CCODE01	CCODE 프로젝트의 오브젝트 코드 생성 기능 시험
CCODE02	CCODE 프로젝트의 코드 생성 전처리 기능 시험
CCODE03	CCODE 프로젝트의 기계어 코드 생성 기능 시험
CC2CC01	CC2CC 프로젝트의 C-언어 프로그램 유닛 분석 기능 시험
CC2CC02	CC2CC 프로젝트의 C-언어 프로그램 유닛의 C-코드 생성 기능 시험
CNT-CC2CC	CC2CC 프로젝트의 기능 연계 시험
FCN-	시스템 제공 표준 함수 화이트 박스 시험
FCNB-	시스템 제공 표준 함수 블록 화이트 박스 시험

### 3.1.2 컴포넌트 시험 통과 및 실패 기준

pSET-컴파일러의 요구사항 명세서의 기능 요건들이 만족되는지와 설계 명세서에 기술된 대로 설계되었는지를 기준으로 하여 시험 통과 및 실패 기준을 정하였다.

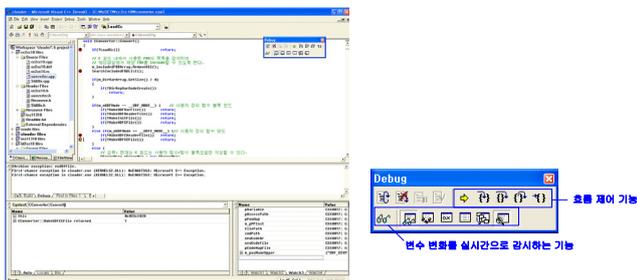
### 3.2 컴포넌트 시험 절차

pSET-컴파일러 컴포넌트 시험 절차는 다음과 같다.

1. 시험 환경을 구축한다.
2. 소프트웨어 컴포넌트 시험 방법을 결정한다.
3. 소프트웨어 컴포넌트 시험을 위한 시험 사례를 설정하고 구축한다.
4. 시험 사례 별 예제 프로그램을 pSET-IDE 편집기를 통해 작성한다.
5. pSET-컴파일러의 컴파일 수행 과정에 대하여 Visual C++ ver. 6.0 디버그 모드에서 시험 대상 영역에 브레이크 포인트들을 설정하고 흐름 제어 기능으로 스텝 실행 시켜 보면서 시험 결과값들을 출력창을 통해 확인한다.
6. 예상 결과와 실제 시험 결과를 비교한다.

### 3.3 컴포넌트 시험 결과

그림 2에서는 pSET-컴파일러 컴포넌트 시험 환경인 Visual C++ ver.6.0의 디버그 모드 화면을 보여 준다.



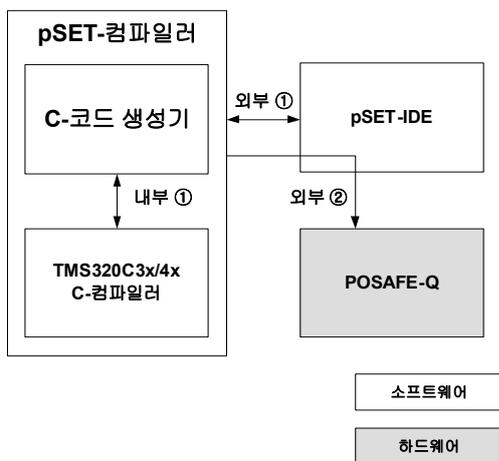
<그림 2> 컴포넌트 시험 환경

pSET-컴파일러에 대하여 컴포넌트 시험을 수행한 결과, 컴포넌트 시험에서 총 406개의 시험 사례 중에서 372개가 합격으로 평가되어 약 91.63%의 합격률을 보였으며 불합격 사례들을 pSET-컴파일러 설계자에게 전달하여 수정 및 보완에 반영하였다.

## 4. pSET-컴파일러 통합 시험

### 4.1 통합 시험 계획

pSET-컴파일러의 통합 시험 대상은 pSET-컴파일러의 내부 연계 소프트웨어 간의 통합과 pSET-컴파일러의 외부 연계 소프트웨어와 하드웨어 간의 통합을 기준으로 선정한다.



<그림 3> pSET-컴파일러 통합 시험 대상

표 2에서는 pSET-컴파일러 통합 시험 항목을 보여 준다.

<표 2> 통합 시험 항목

ID	시험 내용
CC-TI-	C-코드 생성기와 TMS320C3x/4x C-컴파일러 통합 시험
CMPL-IDE-	pSET-컴파일러와 POSAFE-Q의 통합 시험
CMPL-PLC-	pSET-컴파일러와 POSAFE-Q의 통합 시험

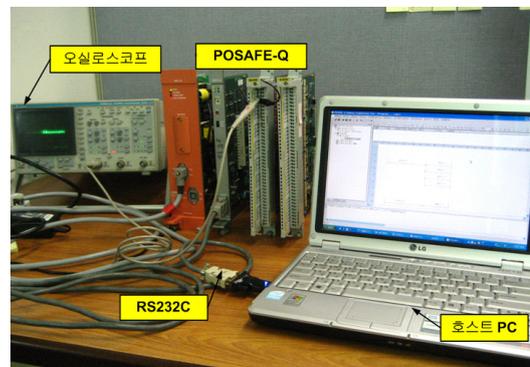
pSET-컴파일러의 요구사항 명세서의 연계 요건과 통합 기능 요건들이 만족되는지를 기준으로 하여 시험 통과 및 실패 기준을 정하였다.

### 4.2 통합 시험 절차

통합 시험 계획 단계에서 선정된 항목 별로 시험 사례들을 들고 시험 예제를 작성한다. 요구사항 명세서 및 설계 명세서를 기준으로 각 시험 사례에 대한 시험 절차 및 예상 결과를 기술한다.

### 4.3 통합 시험 결과

그림 4에서는 pSET-컴파일러 통합 시험 환경을 보여 준다. pSET과 pSET-컴파일러가 실행되는 Host 컴퓨터는 Intel Celeron Processor 1.60GHz, 504MB RAM 사양을 가지며 Host 컴퓨터와 POSAFE-Q의 프로세서 모듈(TMS320C32 DSP 기반)은 RS232C 시리얼 통신으로 연결된다. POSAFE-Q의 하드웨어 모듈은 디지털 입력으로 NI-D23Q 32 채널 카드를 사용하고 디지털 출력으로 NQ-A24Q 16채널 릴레이 카드를 사용하였다. 그리고 디지털 출력 파형을 측정하기 위하여 오실로스코프를 사용하였다.



<그림 4> pSET-컴파일러 통합 시험 환경

pSET-컴파일러에 대하여 통합 시험을 수행한 결과, 197개의 시험 사례 중에서 175개가 합격으로 평가되어 약 88.84%의 합격률을 보였으며 불합격 사례들을 pSET-컴파일러 설계자에게 전달하여 수정 및 보완에 반영하였다.

## 5. 결 론

안전등급 PLC인 POSAFE-Q에서 실행되는 기계어 프로그램을 생성하는 pSET-컴파일러는 안전 관련 소프트웨어로 분류되며 소프트웨어 개발 주기를 준수해야 한다. 본 논문에서는 설계 단계에서 작성된 요구사항 명세서와 설계 명세서를 바탕으로 pSET-컴파일러의 컴포넌트 시험과 통합 시험을 수행한 과정과 결과를 소개하였다. pSET-컴파일러와 같은 안전 관련 소프트웨어는 본 논문과 같은 시험과 시험 결과를 반영한 수정 및 보완과정을 반복하여 안전 관련 소프트웨어에 요구되는 신뢰성 수준을 확보해야 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김석주 외 3인, "안전등급 PLC 용 C-코드 발생기 시험", 2007년도 정보 및 제어 학술대회 논문집, 2007.
- [2] IEC Standard 61131-3: Programmable Controllers - Part 3, 1993.
- [3] 구경모 외 4인, "Development of Application Programming Tool for Safety Grade PLC(POSAFE-Q)", 원자력학회 추계학술대회, 2006.
- [4] "TMS320C3X/C4X Optimizing C Compiler, User's Guide", Texas Instrument.