

## 안전등급 PLC 기반 원자로 출력제어계통 제어함 설계

천종민, 이종우, 김석주, 박민국, 권순만  
한국전기연구원

### Design of Control Cabinet Based on Safety PLC for Reactor Power Control System

J.M. Cheon, J.M. Lee, S.J. Kim, M.K. Park, S Kwon  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - This paper deals with the design of control cabinet based on safety PLC for reactor power control system(PCS). The PCS controls the operation of the CEDMs(Control Element Drive Mechanisms). The CEDM moves the CEAs(Control Element Assemblies) which regulates the reactor power, vertically in the reactor core. The Control Cabinet in PCS makes and conveys control signals to the power cabinet which provides power to the CEDM. We designed the Control Cabinet, based on POSAFE-Q, safety PLC. The application programs working in PLC can be programmed by pSET, Identified Development Environment.

#### 1. 서 론

천연 자원이 부족한 우리나라에서는 급증하는 전력 수요에 대응하기 위하여 원자력 발전에 의존하지 않을 수 없다. 이를 위해 노후화된 원전의 retrofit에 의한 수명 연장이나 신규 원전 건설을 계획하고 있으며, 이에 대한 경제적이고 효율적인 수행을 위해서는 관련 국내 기술력 자립이 필수적이다. 현재 기계적인 하드웨어 설비 제작 기술은 거의 자립 단계에 이르렀지만 원전의 핵심 부분인 계측제어시스템에 관하여는 여전히 외국 기술에 의존하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 원전 계측제어시스템 중에서도 원자로 출력을 제어하는 역할을 하여 핵심 시스템이라고 할 수 있는 원자로 출력제어계통인 PCS에서 CEDM 구동을 제어하는 제어함[1]을 순수 국내 기술로 원전 계측제어시스템 용으로 개발된 안전등급 PLC(Programmable Logic Controller)인 POSAFE-Q를 이용하여 설계하였다. POSAFE-Q에서 작동하는 프로그램을 개발하기 위한 통합 개발 환경인 pSET(POSAFE-Q software Engineering Tool)을 사용하여 PCS 제어함 제어기의 응용 프로그램을 작성하였다. pSET은 IEC61131-3 제어 언어[2]를 제공하며, 사용자가 작성한 응용 프로그램을 컴파일하여 기계어 프로그램을 만드는 과정의 중간 언어로 C-언어 코드를 생성하여 사용자가 작성한 프로그램이 정상적으로 변환되었는지 검증할 수 있는 기능을 가지고 있다.

이렇게 순수 국내 기술로 개발된 제어기와 소프트웨어를 가지고 원자력 발전소 원전계측제어시스템 중 핵심인 원자로 출력제어계통의 제어함을 설계하여 높은 국산화 가능성을 확인한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 원자로 출력제어계통

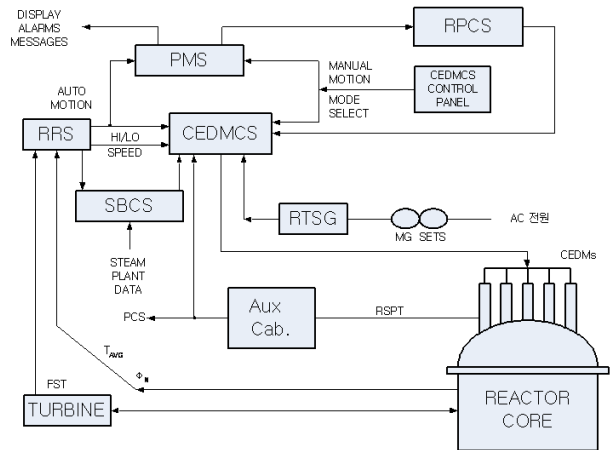
원자로 출력제어계통이란 차세대 원전인 APR-1400에 처음 도입된 용어로서 그림 1에서 보듯이 표준형 원전의 CEDMCS(Control Element Drive Mechanism Control System), RPCS(Reactor Power Cutback Sytems), AUX Cabinet Sytem과 RRS (Reactor Regulating System)를 포함하는 계통이다.

##### 2.2 CEDMCS

CEDMCS는 터빈 출력과 원자로 냉각수 온도를 비교하여 원자로 내의 핵반응도를 증감하기 위한 명령을 만드는 RRS 혹은 운전원으로부터 핵반응도 증감을 위한 CEA 운동 방향과 속도 명령을 받아서 이에 맞게 CEDM을 구동을 제어한다. CEDMCS는 제어함과 전력함으로 구성되어 제어함은 상부로부터 오는 명령을 받아서 구체적인 CEA 이동 구현 명령 신호를 만들어 전력함에 전달하고 전력함은 제어함으로부터의 명령에 따라 CEDM에 전력을 공급하는 역할을 한다.

##### 2.3 PCS 제어함 설계

본 논문에서는 제어함을 설계하는데 있어서 제어기로는 원전 용 안전 등급으로 순수 국내 기술에 의해 (주)포스콘에서 개발한 PLC인 POSAFE-Q를 기반으로 하였다.



〈그림 1〉 원자로 출력제어계통 구성도

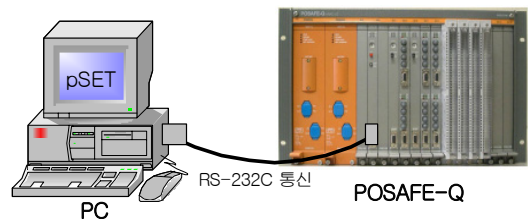
##### 2.3.1 제어함 제거기

PCS 제어함의 제어기 설계에 사용된 POSAFE-Q를 간단히 소개하면 (주)포스콘이 원전의 안전계통인 원자로보호계통, 공학안전설비-기계제어계통, 노심보호연산기계통 등에 적용하기 위해 KINCS(Korea Nuclear Instrumentation and Control System) 개발 사업의 일환으로 순수 국내 기술로 개발한 안전등급 PLC이다. POSAFE-Q는 전원 모듈, 프로세서 모듈, 통신 모듈, 디지털 입/출력 모듈, 아날로그 입/출력 모듈 그리고 펄스 카운트 모듈 등으로 구성되며 프로세서로 TMS320C32 DSP를 사용한다.

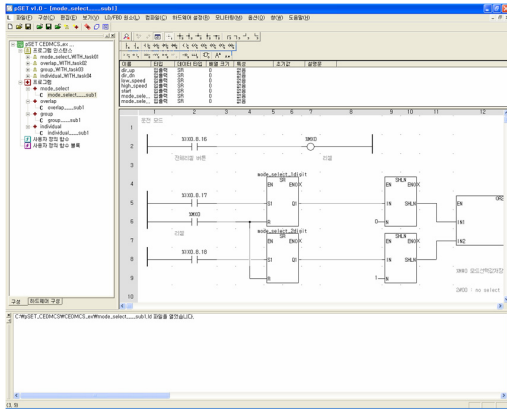
##### 2.3.2 응용 프로그램 통합 개발 환경

POSAFE-Q는 응용 프로그램을 작성하기 위한 통합 개발 환경으로 pSET을 사용하며 pSET은 IEC61131-3 제어 언어를 제공하고 사용자가 작성한 응용 프로그램을 컴파일하여 기계어 프로그램을 만드는 도중의 중간 언어로 C-언어 코드를 생성하므로, 이를 통해 사용자는 작성한 프로그램이 정상으로 변환되었는지 검증할 수 있다. pSET이 설치된 Host-PC에서 pSET으로 작성한 응용 프로그램을 컴파일하여 생성한 기계어 프로그램을 그림 2와 같이 RS-232C 시리얼 통신으로 연결된 POSAFE-Q 프로세서 모듈로 다운로드하여 실행시킨다.

pSET은 POSTECH과 (주)포스콘이 KNICS 개발 사업의 일환으로 공동 개발하였으며 한국전기연구원이 설계 문서 작성 및 기능 시험을 담당하였다.



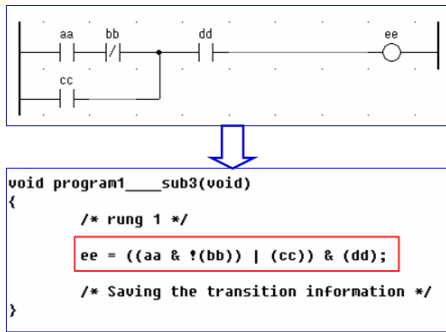
〈그림 2〉 POSAFE-Q 전체 시스템 구조



〈그림 3〉 pSET 화면

그림 3은 pSET 화면을 보여 주는데 구성과 하드웨어 구성을 보여주는 작업창과 작성 중인 프로그램에 사용된 변수 리스트를 보여주는 변수창, 프로그램을 작성할 수 있는 편집창 그리고 실행 결과 등을 출력하여 보여주는 출력창으로 구성된다. 총 8개의 태스크를 만들 수 있으며 하나의 태스크와 연동되는 프로그램은 여러 개의 서브 프로그램들로 나누어 작성할 수 있다.

그림 4는 간단한 예제 로직을 컴파일하여 중간 언어로 생성된 C-언어 코드를 보여 준다.



〈그림 4〉 C-언어 코드 변환 결과

### 2.3.3 제어함 응용 프로그램 작성

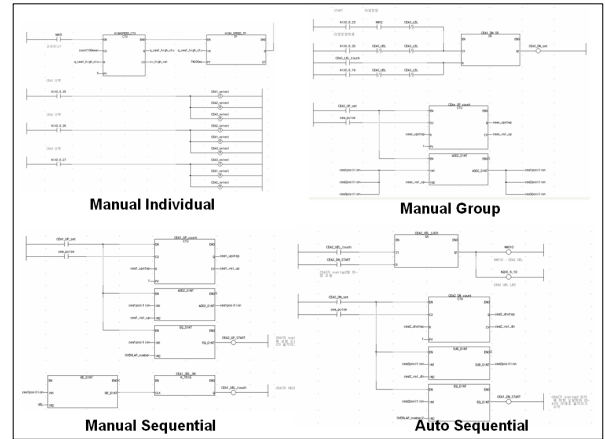
제어함은 RRS나 운전원로부터 핵반응도 증감을 위한 CEA 운동 방향과 속도 명령을 받아서, 운전 대상으로 하나의 CEA나 CEA 서브 그룹 또는 CEA 그룹을 지정하여 해당 전력함으로 CEA 이동 명령(방향 및 속도)을 만들어서 하달한다.

CEA는 총 5가지의 운전 모드로 동작할 수 있는데 이는 표 1과 같다. 여기서 수동 운전은 운전원의 명령에 의한 운전 모드이고 자동 운전이 RRS로부터 오는 명령에 의한 운전 모드이다.

그림 5는 각 운전 모드 별로 pSET으로 작성한 응용 프로그램을 보여주며 사용 언어는 IEC61131-3 언어 중에서 LD/FBD 언어를 사용하였다. 한국전기연구원에는 현재 총 3기의 CEA mock-up이 있어서 MI 모드에서는 3기 중 한 기의 CEA를 선택하여 운전하고 MG 모드에서는 3기의 CEA들이 한 그룹에 속하였다고 하고 모두 동시에 운전하며 MS나 AS에서는 각 CEA가 그룹을 대표하도록 하여 세 개의 그룹이 중첩 운전하도록 프로그램을 작성하였다.

〈표 1〉 CEA 운전 모드

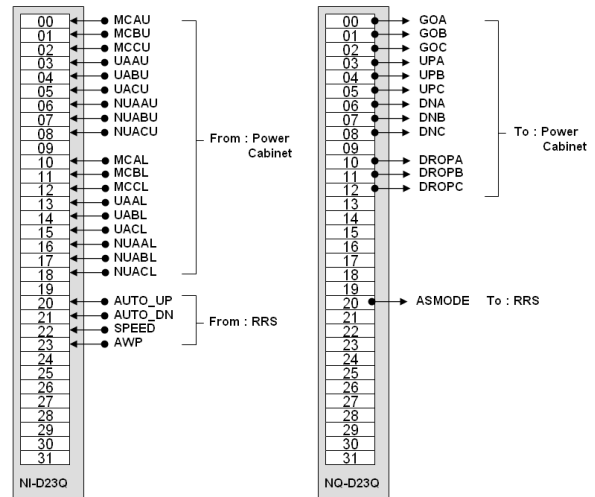
운전모드	기능
MI (Manual Individual)	한 개의 CEA를 수동으로 운전
MG (Manual Group)	한 개의 정지 그룹 또는 제어 그룹을 수동으로 운전
MS (Manual Sequential)	제어 그룹 연속 중첩 수동 운전
AS (Automatic Sequential)	제어 그룹 연속 중첩 자동 운전
SB (Standby)	모든 동작 중지



〈그림 5〉 CEA 운전 모드 별로 작성된 프로그램들

### 2.3.4 제어함 입출력 신호

POSAFE-Q의 디지털 입출력 모듈의 각 채널에 제어함 입출력 신호를 할당한다. 디지털 입출력 모듈은 각각 NI-D23Q 32채널 디지털 입력 카드와 NQ-D23Q 32 채널 디지털 출력 카드를 사용한다. 그림 6은 RRS와 전력함 측의 3개의 이중화 전력제어기들에 대하여 제어함 디지털 입출력 모듈의 각 채널 별로 입출력 신호들을 할당한 결과를 보여 준다.



〈그림 6〉 디지털 입출력 카드 각 채널에 할당된 제어함 입출력 신호들

## 3. 결 론

본 논문에서는 원전 안전등급 PLC인 POSAFE-Q 기반에서 차세대 원전인 APR-1400의 PCS 용 제어함을 설계하였다. POSAFE-Q 통합 개발 환경인 pSET을 사용하여 CEA 동작 모드 별로 프로그램을 작성하였으며 기능 동작을 확인하였다. 순수 국내 기술로 개발된 안전등급 PLC를 통하여 주요 원전 계측제어시스템인 PCS 제어함 설계하여 해당 시스템에 대한 국산화의 높은 가능성을 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Westinghouse, "Technical Manual for Control Element Drive Mechanism Control System", 2000.
- [2] IEC 61131-3, Programmable Controllers-Part 3: Programming Languages.