

## SMART 노심보호계통 설계

### SMART Core Protection System Design

이준구, 박희윤, 구인수, 박희석\*, 김종선\*, 손창호\*

한국원자력연구소, \*(주)삼창기업

대전광역시 유성구 덕진동 150

#### 요 약

SMART 노심보호계통은 상용화된 디지털 방식의 실시간 노심보호계통을 지향하며, 기존의 상용로에서 분리되어 있던 노심 보호 연산기 및 제어봉 연산기를 통합하여 제어봉 연산기를 하나의 소프트웨어 모듈로 구현하여, 계통의 복잡성을 줄이고 효율성이 증가하도록 설계하였다.

SMART 노심보호계통 하드웨어는 Digital Signal Processor 및 Network Interface Card로 구성되어 플랜트 보호계통 캐비닛에 장착된다. SMART 노심보호계통의 특성은 기존의 상용로와 비교할 때, 계통의 물리적 크기가 작아 독자적인 캐비닛이 필요가 없다. 또한 제어봉 연산기를 소프트웨어 모듈화하여, 각각의 독립적인 채널에 포함되었으며, SMART 노심보호계통의 입력이나 출력 등의 모든 자료들은 안전통신망계통을 통하여 전송된다.

#### Abstract

SMART CORE Protection System(SCOPS) is designed with real-time Digital Signal Processor(DSP) board and Network Interface Card(NIC) board. SCOPS has a Control Rod POSITION (CRPOS) software module while Core Protection Calculator System(CPCS) consists of Core Protection Calculators(CPCs) and Control Element Assembly(CEA) Calculators(CEACs) in the commercial nuclear plant. It's not necessary to have a independent cabinets for SCOPS because SCOPS is physically very small. Then SCOPS is designed to share the cabinets with Plant Protection System(PPS) of SMART. Therefore it's very easy to maintain the system because CRPOS module is used instead of the computer with operating system.

## 1. 서론

기존의 상용로의 노심 보호 연산기 계통은 디스플레이와 유지보수 기능을 제외하면 크게 노심 보호 연산기 및 제어봉 연산기로 구성되며, 노심 보호 연산기는 채널 A, B, C 및 D에 장착되며, 제어봉 연산기는 채널 B와 C에 장착된다. 제어봉 연산기는 제어봉의 위치편차와 위치편차의 유형에 따라 페널티 인자(Penalty Factor)를 계산하여, 각 채널의 노심 보호 연산기로 페널티 인자를 전송하게 되며, 노심 보호 연산기는 제어봉 연산기로부터 전송된 페널티 인자를 입력으로 최소 핵비등이탈율(DNBR) 및 최대 국부출력밀도(LPD)를 계산하여 보호계통으로 전송하게 된다.

SMART 노심보호계통은 플랜트보호계통의 한 구성요소로 설계되며, 과도상태에 대한 다중 방호 개념의 대처운전으로 원자로 운전의 유연성의 향상에 중점을 두고 있다. SMART 노심보호계통은 예상운전 과도 시에 허용 핵연료 제한치를 초과하지 않도록 원자로 정지신호를 플랜트보호계통에 전송하는 역할을 수행하도록 설계되어 있다.

SMART 노심보호계통은 제어봉 위치 및 원자로 계통 운전 변수들을 실시간으로 계측하여 최소 임계열속비(Critical Heat Flux Ratio) 및 최대 선출력밀도(Linear Power Density)를 계산하고, 계산된 값을 허용 핵연료 설계 제한치(SAFDL)와 비교하여 원자로 정지 신호를 발생시키는 역할을 수행하도록 되어 있다.

SMART 노심보호계통은 상용화된 디지털 방식의 실시간 노심보호계통을 지향하며, 기존의 상용로에서 분리되어 있던 노심 보호 연산기 및 제어봉 연산기를 통합하여 제어봉 연산기를 하나의 소프트웨어 모듈로 구현하여, 계통의 복잡성을 줄이고 효율성이 증가하도록 설계하였다.

SMART 노심보호계통 하드웨어는 Digital Signal Processor 및 Network Interface Card가 탑재된 랙으로 구성되어 플랜트 보호계통에 장착된다. SMART 노심보호계통의 특성은 기존의 상용로와 비교할 때, 계통의 물리적 크기가 작아 독자적인 캐비닛이 필요가 없으며, 제어봉표시계통의 역할이 정보처리계통 및 경보지시계통으로 이관되었다. 또한 CEAC를 소프트웨어 모듈화하여, 각각의 독립적인 채널에 포함되었으며, SMART 노심보호계통의 입력이나 출력 등의 모든 자료들은 안전통신망계통을 통하여 전송된다.

SMART 노심보호계통의 입력 및 출력은 기존의 상용로와 거의 유사하며, 일체형 원자로 설계 특성에 따라 주냉각재펌프 입력이 2개이며, 길이가 68cm인 제어봉의 개수가 12개 이다.

## II. SMART 노심보호계통 설계

### II.1 기능

비교적 정확하고 보수적인 CHF와 LPD를 실시간으로 계산해야 하는 노심보호계통 설계 기준을 만족시키기 위해서는 관련 계산 기능이 적절하게 분산되어야 한다. 따라서 노심보호계통 소프트웨어는 다음과 같이 구성하였다.

- Reactor Coolant Mass Flow Program (COOLANT)
- CEA Program (CRPOS)
- CHF and Power Density Update Program (CHECK)
- Power Distribution Program (POWER)
- Static CHF and Power Density Program (THERM)
- Trip Sequence Subroutine (TRIP)

COOLANT 프로그램은 주냉각재 펌프축의 회전속도로부터 노심의 냉각재의 유량을 계산한다. 또한 계산된 노심 유량으로부터 고온 관 채널의 유량을 보수적으로 계산한다.

CHECK 프로그램은 노외 중성자 계측기 출력 보정, 노심 열 출력 계산, 노심 평균 중성자속 크기 계산, hot pin flux distribution 계산, 최소 CHF가 발생하는 노드의 입력이 변경될 경우 CHF 여유도 계산, peak local power density 등을 해석할 수 있는 기능을 가져야한다.

POWER 프로그램은 노심 출력 분포를 계산하는 프로그램으로 평균 축 방향 노심출력 분포 계산, pseudo hot pin power distribution, three dimensional power peaking factor, hot channel 출력의 평균값 등을 계산한다.

THERM 프로그램은 단일 수로 해석 모델을 이용하여 고온 관 채널의 입구조건과 enthalpy 상승을 이용하여 노심의 최소 CHF를 계산한다.

CRPOS 프로그램은 제어봉 집합체의 삽입 상태를 조사하여 제어봉 그룹 간 삽입 및 인출에 따른 위치 편차가 발생하면 이에 따른 적절한 penalty 인자를 계산하여 CHECK 프로그램에 입력하고 이 penalty 인자는 최소 CHF 및 최대 LPD 값 계산시 penalty 인자로 고려하여 계산한다.

TRIP 서브루틴은 최소 CHF 및 최대 선출력밀도가 기 설정된 값을 상회하는 과도상태가 발생하면 적절한 SMART 정지신호를 발생시킨다.

## II.2 SMART 노심보호계통 소프트웨어 구조

SMART 노심보호계통은 기존의 상용로의 제어봉 연산기를 소프트웨어 모듈화를 통하여 상용로의 제어봉 연산기를 통합하였으며, 그림 1과 같이 동일한 프로세서의 5개의 태스크와 하나의 서브루틴으로 구성된다.

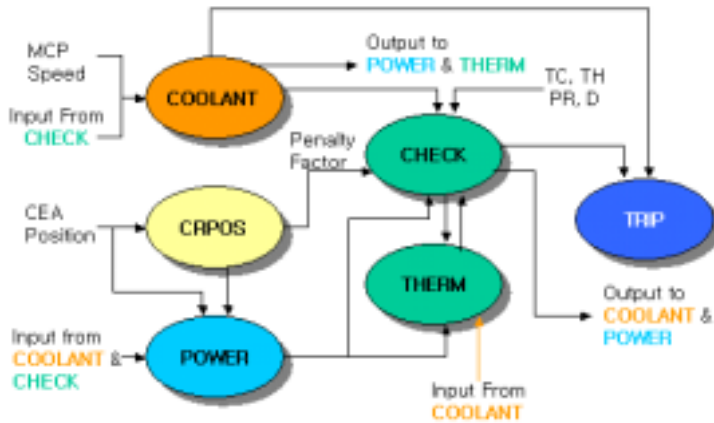


그림 1 SMART 노심보호계통 소프트웨어 구조도

그림 1에서 CRPOS 모듈은 기존의 CEAC를 소프트웨어 모듈로 대체한 것으로 제어봉 위치를 입력받아 제어봉 편차 및 제어봉 편차의 유형에 따라 페널티 인자 (Penalty Factor)를 계산하는 모듈이다. 상용로의 노심보호계통은 운영체계를 탑재한 컨커런트 컴퓨터를 이용하였으나, SMART 노심보호계통에서는 Digital Signal Process를 이용하여, 동일한 프로세서에서 그림 1에 나타나 있는 5개의 태스크 및 하나의 서브루틴이 실행된다. 이러한 태스크와 서브루틴을 주기적으로 실행시키기 위해서는 그림 2와 같이 타이머를 이용한 스케줄러가 제공된다.

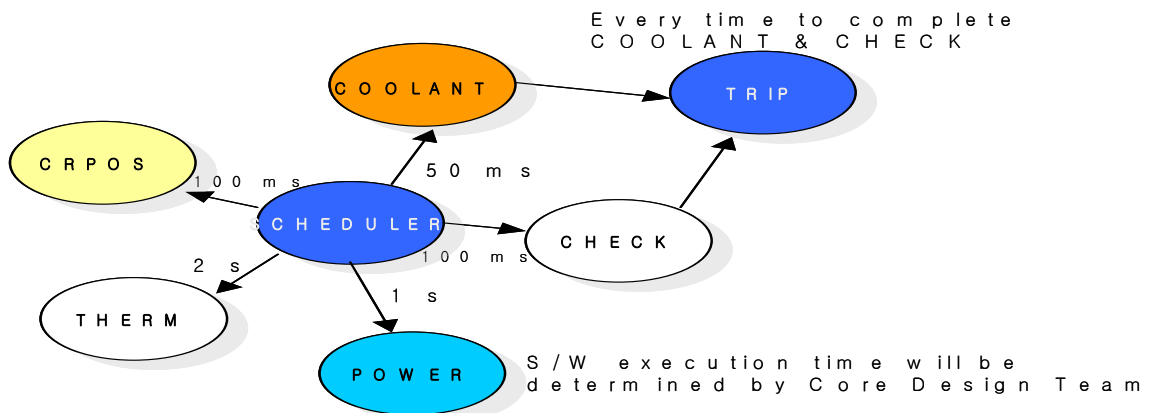


그림 2 SMART 노심보호계통 스케줄러

각 프로그램의 실행 주기는 적절하게 고정되어야 하며, 실행 간격이 짧은 프로그램이 우선적으로 실행되도록 설계하여야 한다. 각 프로그램에서 필요로 하는 입력 신호의 측정 주기도 이들 프로그램의 실행주기와 일치하도록 입력되어야 한다. 위의 그림 2에 나타난 실행주기는 기존의 상용로의 실행주기를 표시하고 있으며, 소프트웨어 각 모듈간의 제어 흐름도를 보여주고 있다.

### II.3 개발환경

SMART 노심보호계통에는 운영체계가 탑재되어 있지 않기 때문에 소프트웨어를 개발하기 위해서는 원시코드를 작성하고, 컴파일, 링크를 하여 수행코드를 만들어 Target System에 Downloading하여 실행시켜 줄 수 있는 Emulator가 필요하다. 개발환경의 하드웨어 구성은 그림 3과 같이 윈도우 98이상의 운영체계를 탑재한 컴퓨터, Target System 및 Emulator로 구성된다. SMART 노심보호계통의 프로그래밍 언어는 어셈블리 언어를 사용하는 것을 원칙으로 하되, 원시모형 개발 시에는 고급언어를 이용하여 프로그래밍하고 있다.

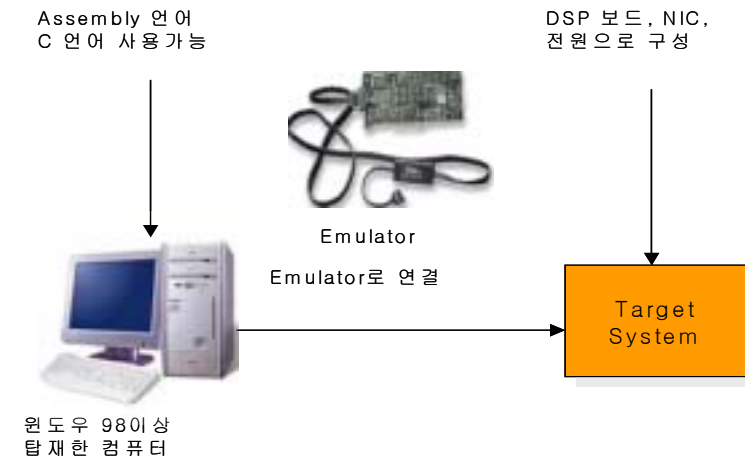


그림 3. SMART 노심보호계통 소프트웨어 개발환경

### III. 결론

SMART 노심보호계통은 기존의 상용로와 비교하여 채널당 Digital Signal Processor(DSP) 및 Network Interface Card(NIC)로 구성되어 있어서, 계통의 물리적 크기가 작아 독자적인 캐비닛이 필요가 없으며, 제어봉 연산기를 소프트웨어 모듈로 대체하여 DSP 및 NIC의 갯수가 적어지는 잇점이 있다. 또한 기존의 상용로에는 계통당 6대의 미니 컴퓨터를 유지보수 하여야 하는 번거로운 점을 단 4개의 DSP보드와 NIC보드로 대체하였기 때문에 유지보수의 노력을 절감할 수 있다.

또한 상용로의 제어봉 연산기는 독자적인 컴퓨터를 가지고 있어 항상 컴퓨터가 제대로 동작하는 지 감시를 하여야 하는 불편한 점이 있었지만, SMART 노심보호계통에서는 제어봉 연산기를 소프트웨어 모듈화하였기 때문에 이러한 번거로운 작업을 더 이상 수행하지 않아도 되는 잇점이 있다.

결론적으로 가격에서 뿐만이 아니라, 하드웨어 및 소프트웨어의 유지보수 측면에서도 충분한 경쟁력을 가지고 있으며, 만일의 치명적인 고장 시에도 한 장의 보드 교체로 계통을 바로 정상화 시킬 수 있는 장점이 있다.