

원자력발전소 공정제어계통의 PLC 적용 연구

* 양승권*, 박현신*, 박종범*, 정학영*
*한국전력공사 전력연구원

A Research of PLC application to NPCS of Nuclear Power Plant

* Seung kwon yang * .Hyun Shin Park * . Jong Berm Park * . Hak Yeong Chung*
* Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Most of Instrumentation and control system in Nuclear Power Plant using analog equipment has a limitations in system designing and operation. So the network based PLC application to Nuclear Power Plant has been studied so far. This paper defines the configuration and method with Prototype which are to be applied to NPCS (NSSS Process Control System) of KNGR (Korea Next Generation Reactor). It is expected that Test result of NPCS Pototype will satisfy the essential requirements in designing KNGR.

1. 서 론

90년대 이전에 건설, 운전중인 대부분 국내 원자력 발전소의 계측제어 계통은 아날로그 제어방식을 적용한 관계로 계통설계의 한계성을 갖고 있으며, 계통의 부품의 생산이 대부분 중단 혹은 대폭 감소로 인해 유지, 보수에 상당한 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이의 대체 수단으로 최근에는 설계의 표준화, 단순화 및 유지보수에 매우 유리한 디지털 계통의 설계 기술이 산업체는 물론 원전에도 폭넓게 적용되고 있는 추세다.

따라서 21세기초에 국내에 건설 예정인 차세대원자력 발전소(KNGR)는 제어계통분야에 전면적으로 PLC (Programmable Logic Controller)를 적용할 예정인데 이는 이미 산업체를 통해 디지털 시스템으로서의 안정성 및 신뢰성이 충분히 검증된바 있다. 특히 차세대원전의 공정제어계통에 PLC를 적용, 설계하기 위해 계통의 Prototype제작 및 검증 절차는 필수적인데 이를 위한 PLC H/W 구성 및 관련 논리 프로그램 개발의 최적화 방안을 논해 보고자 한다.

2. 계통의 구성 및 기능

차세대원전의 공정제어계통은 발전소 배전반에서 제어되는 펌프, 밸브, 팬, 히터, 차단기등 모든 발전소 공정(Process)기기들을 제어하는 계통을 의미한다. 공정제어계통은 연속(Continuous) 혹은 비연속(Discrete) 신호를 갖는 기기들을 제어할수 있도록 설계된다.

2.1 공정제어계통의 구성

차세대원전의 공정제어계통은 다음과 같이 구성되어 있다.

- 급수제어계통(FeedWater Control System)
- 증기우회제어계통(Steam Bypass Control System)
- 가압기 압력 및 수위제어계통(Pressurizer Pressure Control System & Level Control System)
- 붕산제어계통(Boron Control System)

2.1.1 공정제어계통의 기능 및 특성

차세대원전 공정제어계통은 발전소 기기의 제어는 물론 데이터 취득 기능도 함께 보유하고 있어야 하는데, 이 계통의 계통별 운전 특성은 다음과 같다

1) 주급수제어계통(FWCS)

급수제어밸브 위치와 주급수 펌프 속도요구신호에 의한 펌프속도제어에 따라 증기발생기 수위를 효과적으로 제어하는 계통이다. 이 계통은 15-100% 발전소 출력범위내에서 10%의 순간 부하변화를 감당 할수 있고 15%-100%범위 내에서 $\pm 5\%$ 부하변화를 수용할수 있도록 설계되어야 한다. 주급수제어계통은 다운코마수위, 급수량, 증기량 등의 3요소를 사용하여 제어밸브 위치와 펌프속도 요구신호를 발생하는 3요소 제어시스템이다.

2) 증기우회제어계통(SBCS)

NSSS에서 100%출력부터 터빈 트립까지 운전기간 동안 원자로 트립 없이 신속한 부하제거가 가능하도록 하는 기능을 갖는다. 이 계통은 최소 55% 용량이상을 갖어야 하며, 터빈 우회밸브에 요구신호를 제공하여 발전소의 가열이나 냉각동안 원자로 냉각수 온도의 수동제어가 가능해야하고, 고온대기 동안 주증기 헤더의 자동제어 기능을 갖추어야 한다.

3) 가압기 압력 및 수위제어계통(PPCS&PLCS)

발전소 정상운전 중에 원자로 냉각재 압력과 체적을 유지하는 기능을 갖는다. 이 제어계통은 가압기히터와 분주밸브, 충전제어밸브, 그리고 배수오리피스 등을 사용하여 특정 한계치 이내로 압력과 수위를 제어하기 위해 공급된다. 발전소 전출력 운전기간 동안 가압기 내부의 절반은 포화수로 차있고, 나머지는 포화증기로 차있다. 열손실을 보충하기위해 비례운전 모드에서 가압기 히터의 약간은 동작되고 있는 상태다.

4) 붕산제어계통(BCS)

붕산제어계통은 원자로 냉각수내의 붕산 농도를 감시하고 제어하는 기능을 갖는다. 원자로 냉각수내의 필요한 붕산 농도를 유지하기위해 체적제어 탱크내의 내용물은 수동 혹은 자동으로 미리 정해진 붕산 농도로 유지 될 것이다. 운전원이 원자로 냉각수(RCS)내의 적절한 붕산 농도를 유지하기 위해 SIAS 지시계와 IPS CRT화면 및 트랜드에 농도를 ppm단위로 나타내도록 해야 한다.

3. Prototype 개발

차세대 원전 공정제어계통은 한국표준형원전(KSNP)를 근간으로하여 보다 향상된 설계개념을 도입할 예정이므로 설계변화, 특히 보호 및 제어계통에 디지털 제어설비를 전면적으로 채택함에 따른 설계타당성 검증과정은 필수적이다.

3.1 Prototype H/W 구성

공정제어 계통 전체의 Prototype구현은 계통이 방대할 뿐 아니라 경제적으로도 불합리하므로 대표적인 핵심계통(FWCS, SBCS, PPCS&PLCS)을 중심으로 하여 Prototype을 구현하였다.

3.1.1 공정제어계통의 H/W구성

Prototype의 대상인 비안전 공정제어 계통은 현재 2개의 채널(케비넷)으로 설계될 예정이다. 또한 계통은 계통내에 제어의 Master역할을 담당하는 여러개의 그룹제어기(Group Controller)를 두고, 여기에 Slave기능을 수행하는 루프제어기(Loop Controller)들을 연결한다. 각 루프제어기는 Flow Path를 유지할 수 있도록 상호 독립성을 유지해야 한다. 케비넷간의 통신은 게이트웨이에 의해 이루어지게 되며 한 케비넷(Division)내에는 최대 6개의 그룹제어기(Group Controller)까지 배치가 가능하게 되어있다.

3.1.2 Prototype 구성

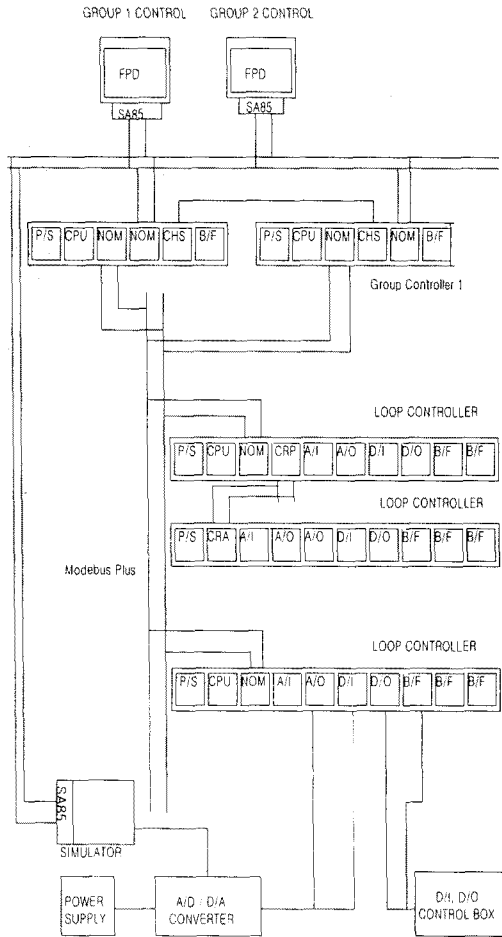


그림 1. 공정제어계통의 Prototype 구성

공정제어계통의 Prototype은 대표적인 계통인 급수제어 계통, 증기우회계통, 가압기 압력 및 수위제어계통을 대상으로 구현하였다. 실제 프로토타입의 구현을 위해 그림 1과 같이 발전소 각종 제어입력 신호를 제공하며 신호검증을 제어하는 Simulator를 중심으로 신호변환을 위한 A/D, D/A 변환기를 두었다. 또한 발전소 현장 접점 디지털 신호를 모사하기 위해 D/I, D/O 변환기를 두었고, Mode Bus Plus(토콘버스 통신 방식)통신 네트워크에 Host Computer와 PLC들과의 Interface를 위해 네트워크 어댑터(SA85)카드를 사용하였다. 차세대원전에서는 워크스테이션 근간의 배전반을 구성하고 현장 계통의 각종기계제어를 배전반에 설치된 컴퓨터 패

널(Flat Panel Display)를 통해 수행함에 따라, 이를 모사하기 위해 두 개의 FPD를 계통 네트워크에 연결함으로써 보다 실제적인 시험이 이루어지도록 구성하였다. 그룹제어기와 루프제어기들은 Quantum PLC들로 구성되었는데 그룹제어기와 루프제어기들간에 원활한 신호 교류를 위해 NOM(Network Option Module)카드를 사용하였고, 공정제어계통 운전의 신뢰성향상을 위해 CPU를 이중화(Hot Standby)시킴으로써 정상운전 중에 두 개의 CPU가 Master, Slave의 두 모드로 운전하다가 하나의 CPU Fail시 다른 CPU가 Bumpless로 백업운전 되도록 설계하였다.

3.2 Prototype 논리 프로그램 개발

공정제어계통에 적용될 소프트웨어는 기존 PLC의 경우 Ladder Logic을 채택하였으나 차세대원전 공정제어계통의 Prototype의 경우 FBD(Function Block Diagram)을 내장하고 있는 Concept PLC S/W를 사용하였다. 기존 Ladder Logic의 경우 순차적인 논리제어의 구현에는 유리하나 디버깅 및 프로그래밍 작업에 있어서 불리한 점들이 많다.

3.2.1 프로그램의 구성

Concept PLC 프로그램은 프로젝트(Project), PLC구성, 프로그램, Section순으로 계층적으로 이루어진다. 이 프로그램은 하나 이상의 Section으로 구성되어 있는데 Section이 실행되는 순서는 프로그램에서 지정된다.

3.2.2 프로그래밍

공정제어계통의 특정 계통별 프로젝트 설계는 다음과 같은 절차로 수행된다.

- 제 1단계 : Concept구동
- 제 2단계 : Configurator
- 제 3단계 : 프로그래밍
- 제 4단계 : 저장하기
- 제 5단계 : 다운로드 및 시험
- 제 6단계 : 최적화 및 연결 끊기
- 제 7단계 : 문서화

대표적인 계통인 급수제어계통을 위와 같은 절차를 거쳐 FBD로 구현하는 과정은 다음과 같다.

1) 계통도면 분석

발전소 급수제어 계통의 입력신호들을 아날로그 및 디지털 접점신호 별로 구분하고, 아울러 발전소 현장에서 입력되는 파라미터들과 타계통에서 입력되는 신호들을 상호 분리한다. 또한 이들 신호를 받아 프로세싱한 후 그 처리 결과를 출력하는 과정을 분석한다. 또한 각 파라미터 및 보조운전 변수(원자로 출력 값 등)들의 설정치 및 Process 값들의 처리를 위한 PI Block들의 제어 Factor(Gain 값 및 Reset Time 등)값을 정확히 분석, 정리해야한다.

2) 프로그래밍

계통도면 분석을 토대로 PLC 프로그래밍을 하기위해 먼저 이미 프로그램에 내장된 기본 Library의 등록 현황을 검토한후 기본 라이브러리에 없는 FBD들의 경우 DFB(Defined Function Block)를 구축하여 프로그래밍에 적용한다. DFB는 기존에 등록된 라이브러리들을 바탕으로 구현하고자 하는 계통의 필요에 따라 설계한다. 다만 DFB의 경우 다른 FBD의 라이브러리와는 달리 DFB내부에 많은 FBD로 구성되어 있으므로 일일이 Comment해놓지 않으면 Logic을 구현해 나가는데 어려움이 뒤따르게 된다.

각 FBD와 DFB들을 사용하여 Logic을 구성해 나가면서 가능한 Block과 Block사이의 연결시 직접연결 방식을 피하고 간접(Address할당)연결방식을 선택해야 한다. 만일 직접 연결방식을 선택할 경우 프로그래밍 후 검증시 파라미터 값의 변화를 확인하기 어려운 점이 있다.

3) 프로그램 검증

FBD와 DFB를 사용하여 계통 제어 알고리즘을 구현한 후 그 결과가 실제 발전소 도면 대로 짜여졌는가에 대한 확인 및 오류 확인 정정을 위해 프로그램 검증은 필수적이다. 프로그래밍의 결과를 검증하기 위해 먼저 "SIM"이라는 모의 검증용 소프트웨어를 사용한다. 이 프로그램은 실제 PLC Module에 프로그램을 다운로드 하기 전에 자체 검증이 가능한 소프트웨어로써 오류발생시 오류원인과 항목을 표시해 줌으로써 디버깅이 가능하도록 되어 있다.

1차적으로 계통도면 파라미터의 운전범위에 맞는 제어 입력공급하기 위해 DFB를 구현한후 이들을 동작 시켜 각 FBD가 정확하게 동작되는지 여부를 검증한다. 물론 실제 발전소 운전 상태와 맞는 검증은 이 방법으로는 불가능하지만 적어도 정확하게 프로그램 되었는지 여부를 이로서 확인해 볼수 있다.

4) MMI화면 구성

PLC의 제어로직 프로그램이 완성된후 FPD에서 실제로 입출력 시험을 수행하고 각 제어기기의 모사를 수행하기 위해 MMI화면 구성은 필수적이다. 이는 PLC와 가장 연관성 있게 개발된 Graphic Tool을 사용할 필요가 있는데 본 Prototype에서는 Lookout이라는 그래픽 프로그램을 사용하기로 했다. 본 프로그램은 Concept PLC S/W와의 인터페이스가 유리하며 화면구성에 여러 가지이점을 갖고 있기 때문이다.

MMI화면은 먼저 공정제어계통 전체를 하나의 화면에 구성한후 이 화면으로부터 각 제어계통들을 검색하기 위해 선택하여 들어갈수 있도록 구성하였다. 아울러 트랜드를 볼수 있는 기능과 설정치를 입력 시킬수 있도록 커맨드 버튼을 설치하였다.

3.2.3 Prototype개발 결과 적용

공정제어계통 프로토타입을 구성하고 프로그램의 작성 및 검증을 완성하고 나면 이를 그림 1로 구성된 프로토타입에 실제로 다운로드하여 MMI화면과 연계하여 통합 시험을 수행하게 된다. 구체적으로 현장 입출력 기능은 각 Control Box 및 A/D, D/A 변환기를 통해 수행하고 그밖에 제어프로그램의 모든 동작은 MMI화면의 명령버튼에 의해 수행된다. 모든 동작은 Simulator에 탑재될 응용프로그램(KISPAK Code 등)에 의해 검증되도록하는데, 주로 검증해야할 항목은 각 그룹제어기 및 루프제어기간의 신호전송 속도(Response Time), Hot Standby 동작의 원활성, 신호 유효성(Signal Validation), 제어 알고리즘의 적합성 등이다.

신호전송 속도검증의 경우는 각 제어기기 간에 요구되는 기본적인 응답시간들이 있는데 이들을 충족 시킬수 있는지 여부를 본 시험을 통해 확인 하게된다. Hot Standby의 경우 두 개의 CPU가 정상적으로 Master, Slave기능을 수행하고 있는 동안 어느 한개의 CPU가 Fail 될 때 다른 CPU가 계통에 영향을 주지않을 만큼의 시간적인 지연을 갖은채 정상적인 대기기능을 수행할 수 있는지를 시험, 입증하는 과정이다. 이것은 계통의 안정적 운전을 위한 이중화(Dual)요구에 대한 필수 사항이다. 신호유효성 검증은 입출력 신호(아날로그, 디지털)가 실제 제어운전에서 사용될수 있는지 검증하는 프로그램으로 신호가 일정 이상의 오류를 갖고 있을 때 이를 제거하거나 운전에서 배제함으로써 운전의 신뢰성을 제고토록하는 시험이다.

제어알고리즘의 적합성 시험은 차세대원전의 공정제어 각 계통의 설계가 타당한지를 점검하고 운전중 오류가 발생할 경우에 제어알고리즘의 수정을 통해 설계의 오류를 극복하고 운전능력 최적화를 도모코자 하는 것이다.

지금까지 차세대원전 공정제어 계통의 프로토타입의 구성 및 프로그래밍과정, 그리고 개발된 결과를 적용할 방법에 관해 대략적으로 논 하였다. 본 프로토타입의 구성을 통해 수행 될 관련 시험은 아직 개선될 여지를 아직도 갖고 있기 때문에 좀더 연구가 필요할것으로 보인다.

최종적으로 이들 시험결과는 차세대 원전 공정제어계통 설계의 타당성에 대한 근거를 제공하게 되며 아울러 본 프로토타입을 다른 계통들과 통합 연결하여 활용 할 경우 보다 실제적인 시험결과를 얻게 되어 21세기 초에 건설예정인 차세대 원전의 공정제어계통의 설계에 많은 도움을 줄것으로 판단된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전력공사 영광원전훈련센터, "표준경수로 계통설비(하)", Rev.0, pp.34-40, 1996.4
- [2] GROUP SCHNEIDER, Modico Modbus Plus Host Interface Device Driver Manual for Windows 95, 97.2
- [3] National Instruments, Lookout Process Control Software System, 1996. 5
- [4] 양승권, "차세대 I&C P-CCS 기능 및 설계 특성 연구보고서", KEPRI Technical Memo, pp. 1-44, 1997
- [5] KEPRI, 차세대 원자로 기술개발(II) Development of Software Verification and Validation(V/V) Technique & Quantitative Evaluation Methodology of Digital I&C System, pp.33-37, 1996.7