'99추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

차세대원전 계측제어 Prototype 통합 통신망 연구

A Study of Integration for I&C Network Prototype of KNGR

양승권, 박현신, 정학영

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

차세대원전 계측제어계통은 통신망 기반의 디지털시스템으로 설계되고 있다. 기존의 아날로그 설비와 달리 디지털 설비는 소프트웨어와 통신망의 신뢰성이 매우 중요하다. 따라서 I&C 전체 통합 통신망 설계의 건전성 검증을 위한 Prototype 개발은 필수적이다. 이에 따라 차세대원전 2단계 기간동안 설계검증을 위한 주요 계통별 Prototype이 개발되었고, 3단계에서는 이들 Prototype을 통합하여 I&C Prototype 통합 통신망을 구현할 예정이다. 따라서 본 논문에서는 주요계통별로 개발된 Prototype 개발 내용과 I&C 통합 통신망 Prototype 구조의 특성을 소개하고, 아울러 각 게이트웨이(Information Gate-Way) 및 Backbone Network 기능과 이들의 실제적인 Prototype 구현 방향을 제시하므로서 통합 통신망 설계 및 검증에 만전을 기하고자 한다.

Abstract

Full digitization of instrumentation and control system(I&C) based on the network is one of the distinguished design characteristics of Korean Next Generation Reactor(KNGR). However, as the reliability of digital I&C system tends to depend on the reliability of software and network, developing of integrated I&C network prototype is required to verify system integrity. To achieve this goal, some prototypes of I&C systems were already developed during KNGR(II). Also, during the period of KNGR(III), integrated I&C network prototypes will be designed by prototypes developed at the stage of KNGR(II). In this paper, it will be considered to develope prototypes of plant major system and to detail the characteristics of architecture for integrated I&C network. Also, the major role of gate-way(Information Gate-Way) and backbone network will be considered too. Through this, the integrity of network design of KNGR will be achieved.

1. 서 론

과거의 원전과 달리 최근에 건설중인 원자력발전소는 계측제어계통에 디지털시스템을 활발히 적용하고 있다. 특히 기존원전의 경우 계측제어계통 설비개선도 아날로그에서 디지털로 이루어지고 있는 추세다. 일반적으로 디지털시스템은 통신망기술을 바탕으로 개발, 적용되고 있기 때문에 디지털계통의 신뢰성입증을 위한 통신망의 건전성 확보가 필수적인 과제로 인식되고 있다. 현재 차세대 원전의 3단계 상세설계가 진행중인데 계측제어계통의 경우 전적으로 디지털기술 및 Network 기반 구조를 갖도록 설계되고 있다. 2단계 기간 동안 계측제어계통 설계의 타당성을 입증하기위해 주요 계통들의 Prototype이 개발되었고, 관련 필수적인 기능시험이 수행된 바 있다. 3단계 기간에는 이들 Prototype들을 통합하되 통신용 게이트웨이 개발을 통한 통합구조를 갖추면서 관련요건에 따라 각종 통신시험을 수행할 예정이다. 특히 차세대원자력발전소 디지털 설계는 기본적으로 다양성, 독립성, 심층방어 등의 기본설계 요건을 충실히 준수하여 이루어져야 하므로 향후 개발될 차세대 I&C 통합 통신망 Prototype은 차세대원전 디지털시스템 통신망의 설계요건에 따라 개발될 예정이다.

본 논문에서는 차세대원자력발전소 주요 시스템별 Prototype을 토대로 개발될 게이트웨이를 바탕으로 구성될 전체적인 I&C Prototype 통합 통신망 개발 구조를 제시하며, 아울러 각각의 기능 및 목적을 제시하므로서 통신망 설계 및 검증에 만전을 기하고자 한다.

2. 원전 주요계통 소개

차세대원전의 공정제어계통은 발전소 배전반에서 제어되는 펌프(Pump), 밸브(Valve), 팬(Fa히터(Heater), 차단기(Breaker)등 모든 발전소 공정(Process)기기들을 제어하는 계통을 의미 공정제어계통은 연속(Continuous)혹은 비연속(Discrete) 신호를 갖는 기기들을 제어할 수 있도 설계된다. 아울러 본 계통은 발전소 기기(Component) 상태(Status)및 다양한 공정 변수(Pro Parameter) 정보들을 상위 정보계통인 Information Processing System(IPS) 및 Q Information & Alarm System(QIAS)에 제공하는 기능을 갖는다.

2.1 원자로 보호계통(Plant Protection System)

원자로 보호계통은 발전소 주요 공정변수를 비교논리 프로세서에서 감시하여 입력된 공정변수값을 기 설정된 설정치와 비교하여 원자로 트립을 발생시키는 계통이다. 본 계통은 비교논리 프로세서(Bistable Processor), 동시논리 프로세서(Coincident Processor), 채널연결 프로세서(Cross Communication Processor), 보수시험반(Maintenance and Test Panel)등으로 구성되어 있다. 의 Prototype은 발전소보호계통 및 공학적 안전설비작동 제어계통에 대한 계통설계와 병행하여 한 개 채널의 주요기능을 반영하여 개발되었다.

2.2 공학적안전설비작동 제어계통(Engineering Safety Feature Componen

System)

공학적안전설비작동 제어계통은 네 개의 Division으로 구성되어 있으며, 각 Division은 Gro Controller와 Loop Controller로 구성되어 있다. 본 계통은 원자로보호계통에서 신호를 공급받아 out of 4 Logic을 구현하여 작동신호를 발생시키도록 설계되어있는데, Prototype은 1 Division을 으로 개발하였다.

2.3 노심보호연산기계통(Core Protection Calculation System)

노심보호연산기계통은 예상운전사건(AOO)시에 허용되는 핵연료 설계제한치(SAFL)를 초과하지 않도록 원자로 정지신호(Reactor Trip Signal)를 발전소 보호계통에 공급하고, 사고시에는 공학적안전비작동 제어계통(ESF-CCS)을 도와 사고결과를 완화시킨다. 또한, 제어봉집합체 인출금지신호와 제어봉집합체 동작금지 신호를 출력제어계통에 전송한다. 본 계통은 4 Channel로 구성되어 있는데 Prototypes은 그 가운데 한 채널만 구현하였다.

2.4 공정제어계통(Process Component Control System)

공정제어계통은 발전소 각종 공정변수를 감시하고 발전소현장의 여러 가지 제어기기(밸브,차단기,펌프 등)를 제어하는 계통이다. 특히 공정제어계통은 원자로계통 측면에서 증기발생기 수위제어계통, 가압기 압력 및 수위제어계통, 증기우회제어계통 등이 있으며 본 계통의 Prototype은 1Division 1Group Controller를 기준으로 개발되었다.

차세대원전의 공정제어계통 중 NSSS(Nuclear Steam Supply System)에 해당되는 계통들은 음과 같이 구성되어있다.

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

2.5. 통신망계통(Digital Communication Network System)

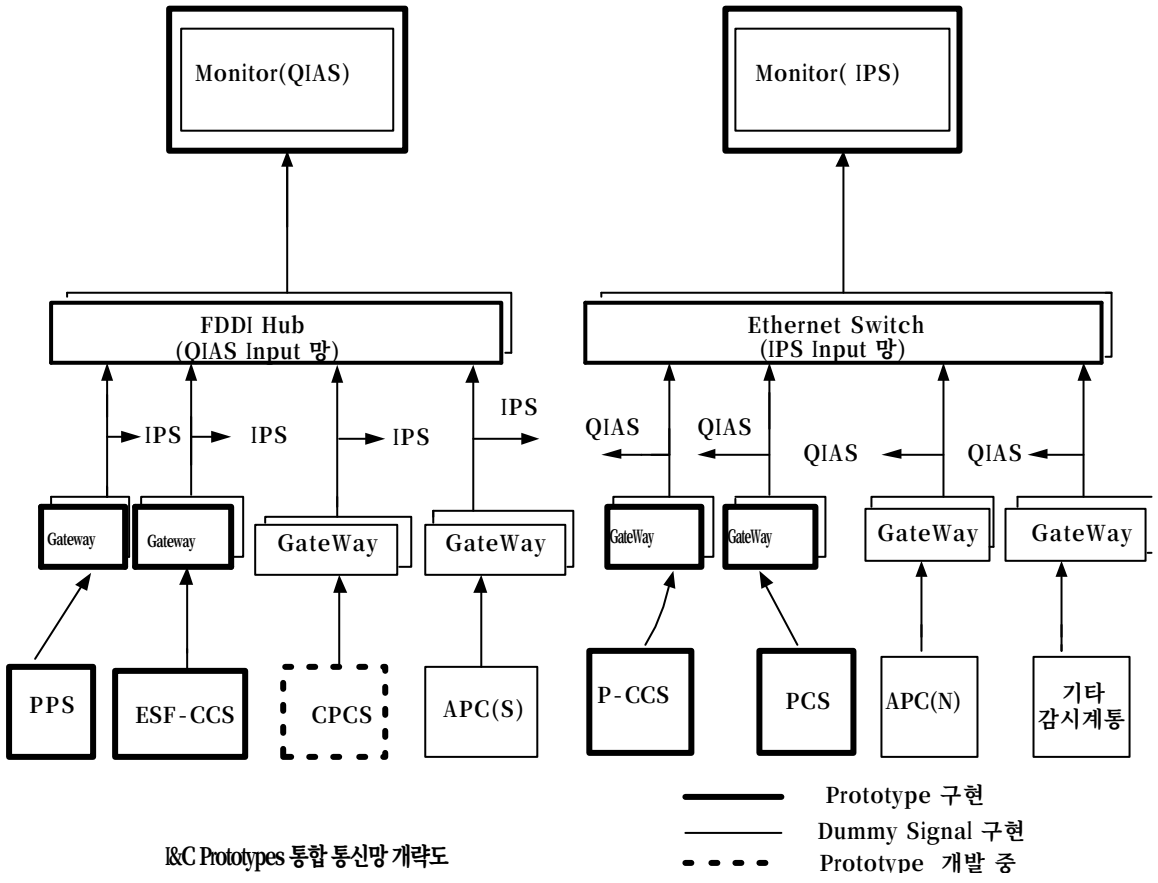
차세대원전 통신망계통은 하위제어계통과 상위정보계통을 연계시켜주는 게이트웨이를 포함한 Backbone 통신망과 각 계통별 계통 통신망으로 구분할 수 있다. 특히 통신망계통은 몇가지 설계요건을 준수하여 설계되어야 하는데, 이들은 결정론적 요건, Real Time Performance, Isolation, Recovery, Redundancy, Reliability 등에 해당된다. 2단계 기간에는 비보호용 정보계통(IPS)의 입신망 (Ethernet)을 Prototype으로 구현하여 시험한 바 있으며, 각 계통별 통신망은 해당 개 Prototype에 포함하여 개발되었다.

2.6 출력제어계통(Power Control System)

차세대원전의 출력제어계통은 정보처리계통 (Information Processing System), 발전소보호 (Plant Protection System) 및 공정기기제어계통 (Process Component Control System) 께 발전소 제어 계통을 구성하는 주요 계통으로 다음과 같은 소 계통으로 나누어진다.

- 반응도 제어 계통 (Reactivity Control System)
- 제어봉구동장치제어계통 (Control Element Drive Mechanism Control System)
- 원자로출력조절계통 (Reactor Regulating System)
- 원자로출력감발계통 (Reactor Power Cutback System)
- Megawatt Demand Setter (MDS)

본 계통에 대한 Prototype은 ACTM(Alternate CEDM Timing Module)과 DC 전력제어기 부 개발하였다.



I&C Prototypes 통합 통신망 개략도

3. Prototype 통합 통신망 구조

3.1 계통 통신망

3.1.1 제어계통(Control System)

Prototype으로 구현된 제어계통은 공정제어계통(P-CCS), 출력제어계통(PCS) 이다. 이 계통들은 PLC(Programmable Logic Controller)로 구성되어있으며, 통신망은 자체 Modbus Plus 통신망구조를 보유하고 있다. 제어계통은 그룹제어기(Group Controller)와 루프제어기(Loop Controller)로 구성되어 있으며, 루프제어기는 발전소 현장에서의 Sensor로 부터 데이터 수집과 각종 Component들의 제어 및 신호를 입출력시키는 기능을 갖는다. 현장에서의 Sensor로 부터의 데이터 수집과 제어신호 입출력은 루프제어기의 Multiplexer를 통해 이루어진다. 루프제어기는 대부분 기존 발전소의 ILS(Interposing Logic System) 역할을 수행하며, 그룹제어기에는 시스템 알고리즘이 내장되어 각종 시스템제어를 수행하는 역할을 한다. 본 제어계통은 게이트웨이와 중위 Backbone Network를 통해 상위 정보계통으로 신호를 전달한다.

3.1.2 보호계통(Plant Protection System)

Prototype으로 구현된 보호계통은 발전소보호계통(PPS)과 공학적안전설비 작동계통(ESF-CCS)이다. 이들 계통 역시 PLC(Programmable Logic Controller)로 구성되어 있으며, 통신망은 Advant FieldBus(AF-100)을 갖추고 있다. 발전소 보호계통은 4 채널로 구성되는데 각채널은 Bistable Logic과 Coincident Logic을 갖추고 있다. 발전소 보호계통의 각채널에서 취득되는 데이터 들은 관련 게이트웨이와 중위 Backbone Network를 통해 상위정보계통으로 신호를 전달한다. 반면, 공학적 안전설비계통(ESF-CCS)은 제어계통과 유사하게 그룹제어기와 루프제어기로 구성되어 있으며, 발전소 보호계통으로 부터 신호를 받아 동작되도록 설계되어있다. 공학적 안전설비계통 역시 각 Division에서 취득되는 데이터 들을 관련 게이트웨이와 중위 Backbone Network 를 통해 상위 정보계통으로 신호를 전달한다.

3.1.3 기타 감시계통(Monitoring System)

발전소 현장 각종 기기를 감시하는 감시계통 들은 주로 NIMS(NSSS Internals Monitoring System), APC(Auxiliary Process Cabinet) 등으로 구성되어 있다. 이들 감시계통들은 제어기능이 없으며 단지 여러 가지 특정한 데이터를 수집하여 분석, 제공하는 기능을 갖는다. 각 감시계통들은 상위 정보계통과의 연계를 위해 게이트웨이를 갖고 있으며, 본 게이트웨이에서 중위 Backbone Network를 통해 상위 정보계통으로 신호를 전달한다.

3.2 Backbone Network

Backbone Network는 I&C(Instrumentation and Control)의 전체계통구조상에서 상위의 정보계통과 하위의 제어 및 보호, 감시계통과의 Interface를 담당하지만, 단독으로 특정한 계통의 기능을 수행하는 것이 아니며 단지 지원 기능만을 갖는다. 물론 계통 통신망이나 상위 정보 통신망도 해당계통의 지원역할을 하며 통신망자체가 특정한 기능을 수행하는 것은 아니다. Backbone Network는 안전계통과 비안전계통과의 다양성(Diversity) 및 독립성(Independence) 요건을 충족시키며 아울러 결정론적 특성(Deterministic)과 실시간 조건(Real-Time)을 만족하도록 설계된다. 따라서 Backbone Network는 안전계통의 경우 결정론적 특성과 신뢰성이 높은 FDDI(Fiber Distributed Data Interface Network)를 채택하였고, 비안전계통의 경우 TCP/IP(Transport Control Protocol/Internet Protocol)의 Ethernet을 채택하였다. 각 스위치(FDDI, Ethernet)는 이중화로 구성하여 신뢰성을 제고하며, 각 스위치 하부에 WorkGroup Switch들을 두어 적절하게 게이트웨이들과 연계시키므로서 계통 최적화를 용이하게 할수 있게 구성되었다. 안전계통과 비안전계통과의 물리적, 통신적 격리를 위해 통신선을 광섬유(Optical Fiber)로 채택하였다.

3.3 게이트웨이

3.3.1 제어계통용 게이트웨이

차세대원전 제어계통은 PLC (Programmable Logic controller)로 설계(2단계 현재) 되고 있으며, 특히 제어계통의 Prorotype은 Modbus Plus의 Network 구조를 갖는 Quantum PLC로 제작하였는데, 계통단위의 본 Network를 상위 FDDI와 Ethernet으로 동시에 연결하기 위해서는 부득이 하나의 게이트웨이에 FDDI와 Ethernet 통신카드를 삽입하여 동시에 경보계통(QIAS)과 정보처리계통(IPS)에 데이터의 전송이 가능하도록 설계되어야 한다, 아울러 하위 제어계통으로 부터 제공되는 각종 Data를 Processing하기위해 Modbus Plus 통신카드가 데이터 입력단에 설치되어야 한다. 전체적으로 발전소 현장 Sensor나 Component로 부터 송신되는 데이터가 배전반의 정보계통에서 인식되는데 까지 대략 2초 내외의 시간이 허용되므로 게이트웨이에서는 이를 충분히 충족시킬 수 있도록 소프트웨어가 프로그램되어야 한다.

3.3.2 보호계통용 게이트웨이

차세대원전 보호계통의 Prototype은 Advant 110, 160으로 구성되어 있으며, 이는 Advant PLC 고유의 Fieldbus Network으로서 본 Network를 상위 FDDI와 Ethernet으로 동시에 연결하기 위해서는 제어계통과 동일하게 게이트웨이에 FDDI와 Ethernet 통신카드를 삽입하고, 하위 보호계통으로 부터 제

공되는 각종 Data를 Processing하기 위해 Interface용 통신카드가 게이트웨이의 입력단에 삽입되어 상위 정보계통으로 데이터를 공급할 수 있어야 한다. 이를 위해서 Protocol의 변환이 불가피할 뿐 아니라 동시에 FDDI와 Ethernet으로 데이터를 정해진 시간내에 처리하여 송신이 가능하도록 설계되어야 한다.

3.4 시험구조설정

기본적으로 통합 통신망 시험은 설계요건에 따른 검증이 가능한 구조를 갖추어야 하나 Prototype은 주요계통의 일부채널만을 구현한 것이므로 제한적인 조건하에서의 시험이 가능하다. 먼저 PLC로 구현된 계통에서는 실제 PLC Data를 발생시켜 이들이 상위 정보계통에 도달할 때의 시험데이터를 취득하게하되 PLC로 구현되지 못한 부분은 APC(Auxiliary Process Cabinet)에서 Dummy 신호를 발생시킬 수 있도록, DataBase를 구축할 예정이다. Prototype을 통해 전반적으로 안전계통과 비안전계통과의 Isolation 등을 확인하며, Gate-Way의 Protocol 등 에서 발생가능한 Error의 Recovery및 통신망 하드웨어 고장시 고장전파와 장애 등에 대해서도 시험이 가능하다. 특히 통합 통신망 Prototype은 게이트웨이에서의 Processing Time이 허용범위 이내에 있는지와 통신선로의 Maximum Traffic이 현 통신구조하에서 Real-Time 및 결정론적 통신의 충분한 보장 가능함을 확인할 수 있는 시험 구조를 갖추도록 구성한다.

4. 결론

지금까지 차세대원전 계측제어 통신망 Prototype의 설계특성과 기능, 그리고 구조에 관해 논하여보았다. 최근의 건설되거나 설계 가운데 있는 원전의 I&C는 대부분 디지털설비를 채택하고 있는바 디지털 설비의 신뢰성 확보를 위한 통신망검증은 점차 매우 중요한 과제가 되고 있다. 특히 통신 기술의 눈부신 발전에 따라 통신능력은 급격히 향상되고 있지만, 반면 원전에의 적용을 위해 요구되는 기본적인 요건과 신뢰성 충족을 위한 검증은 오히려 점점더 어려워지는 추세다. 이런 맥락에서 그동안 차세대원전 I&C 설계검증을 목적으로 I&C 주요계통에 관한 Prototype들이 개발, 설계 검증에 사용된바 있으며, 이를 바탕으로 향후 Prototype 들을 통합, 통합 통신망 Prototype을 개발해 나갈 예정이다. 본 Prototype 통합 통신망의 개발은 통신망 설계의 신뢰성 확보를 위한 검증 수단으로 활용될 뿐 아니라, 디지털 통신망 통합기술 확보에도 기여할 것으로 판단된다.

참고 문헌

(1) 원전 DCS 설계 기준서 개발, EPRI URD CH.10, 1996.9

(2) "LAN의 기초지식", 청문각, 1988

(3) National Instruments, Lookout Process Control Software System, 1996. 5

(4) "컴퓨터를 이용한 외부기기제어기술 및 인터페이스 기술", 한국산업기술원, 1999
(5) 양승권, "*차세대 I&C P-CCS 기능 및 설계 특성 연구보고서*", KEPRI Technical Memo, pp.1-44, 1
(6) "Concept", User Manual, Group Schneider, 1996.
(7) "Sys 80+ 계통설명서, ABB-CE, 1994.
(8)) "Modicon IBM Host Based Devices User's Guide", Version 2.0, Modicon, 1996.
(9)) "Lookout Process Control Software System", Reference Manual, National Instrument, 199
(10)) "표준 경수로 계통설비(상,하)", 한국전력공사 영광원전훈련센타, pp. 7-127, 1996.
(11) "데이터 통신과 컴퓨터네트워크", Ohm사, 1994