'97 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

차세대원전 Information Network Architecture 개발

이광대, 정학영, 박현신
전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

차세대원자로(II)에서 개발중인 I&C 계통은 기존 아나로그 신호 체계를 가진 한국 표준형이나 웨스팅하우스형의 원전에 비해, 완전 디지탈화 및 소프트웨어에 의한 제어와 보호 기능 수행, 정보 계통의 클라이언트/서버 개념의 도입등 개선된 성능과 신뢰성을 바탕으로한 운전 지원 향상을 주요한 설계 목표로 추진중에 있다. 정보 흐름의 통로 역할을 수행하는 I&C 분야의 Data Communication Network (DCN)의 성능과 신뢰도는 정보 계통의 전체적인 성능과 신뢰도에 매우 중요하며, 특히 Network Architecture가 핵심 기술로써 개발중에 있다. 본 논문에서는 차세대 원전의 비안전성 정보 계통에 대해 기술하고, Information Network 의 성능 요건을 설정하였다. 또한 Information Network 설계를 위한 Traffic Load 를 간략히 분석한후, 이 결과로부터 Network Performance 증가를 통한 전송 신뢰도 향상을 위한 Information Network Topology 와 Architecture 를 개발하였다.

1. 서론

차세대원자로(II)에서 개발중인 I&C 계통은 기존 아나로그 신호 체계를 가진 한국 표준형이나 웨스팅하우스형의 원전에 비해, 완전 디지탈화 및 소프트웨어에 의한 제어와 보호 기능 수행, 정보 계통의 클라이언트/서버 개념의 도입등 개선된 성능과 신뢰성을 바탕으로한 운전 지원 향상을 주요한 설계 목표로 추진중에 있다. 정보 흐름의 통로 역할을 수행하는 I&C 분야의 Data Communication Network (DCN)의 성능과 신뢰도는 정보 계통의 전체적인 성능과 신뢰도에 매우 중요하며, 특히 Network Architecture가 핵심 기술로써 개발중에 있다. 특히, 운전 지원을 위한 정보 계통에는 정상 운전뿐만 아니라 비상 운전시에도 운전원 대처 능력을 극대화시키기 위하여, 다수의 운전원 워크스테이션 클라이언트와 내고장성 구조의 Application Server, Database Server, Data Logging Server등 기능적 분산된 서버군으로 구성된다. 본 논문에서는 차세대 원전의 비안전성 정보 계통에 대해 기술하고, Information Network 의 성능 요건을 설정하였다. 또한, Information Network 설계를 위하여 발전소 각 계통에서 정보 계통으로 단방향 전송되는 운전 변수에 의한 Network Traffic 과 운전 값을 처리, 저장하는 서버와 운전원 워크스테이션 사이의 Network Traffic 을 간략하게 분석하였다. 이 결과로부터 Network Performance 증가를 통한 신

뢰도 향상을 위하여 Switched Ethernet 기반의 Information Network Topology 와 Architecture 를 개발하였다.

2. 본론

차세대 원전에서는 향상된 정보 계통을 통한 운전 지원이 매우 중요한 설계 요소이며, 정보 흐름의 통로 역할을 수행하는 I&C 분야의 Data Communication Network (DCN)의 성능과 신뢰도가 매우 중요하다. 여기에서는 차세대 원전의 비안전성 정보 계통에 대해 기술하고, Information Network 의 성능 요건을 설정하였다. 또한 Information Network 설계를 위한 Traffic Load 를 간략히 분석한후, 이 결과로부터 Network Performance 증가를 통한 전송 신뢰도 향상을 위하여 개발된 Information Network Topology 와 Architecture 에 대하여 기술하였다.

2.1 비안전성 정보 계통 개요

기존 원전의 정보 계통인 Plant Computer System(PCS)은 Centralized Computer를 기반으로한 Dedicated Operator Station과 Dedicated Network Protocol을 사용하는 폐쇄적인 구조를 가지고 있다. 폐쇄 구조에 의한 개방성, 확장성이 미흡하여 기능을 향상 시킬수 없음은 물론 디지탈 기기의 짧은 Life Cycle로 유지 보수성이 매우 열악하여 조만간 Upgrade 하여야할 처지에 있다. 따라서, 차세대원전의 정보 계통 설계에는 개방형 구조, 확장성 및 유지 보수성을 고려한 구조, 상용 기기를 사용한 구조 개발을 수행하고있으며, 다수의 내고장성 구조를 가지며 기능적으로 분산된 서버와 서버의 데이터를 이용하는 다수의 운전원 워크스테이션 클라이언트로 구성되는 클라이언트/서버 구조로 개발중에 있다.

차세대 원전 정보 계통은 안전성 계통인 Post Accident Monitoring System을 포함하는 Safety Indication & Alarm System과 비안전성이며 운전 지원을 목적으로하는 비안전 정보 계통으로 구성된다. 비안전 정보 계통은 운전원 워크스테이션 군을 통하여, 운전원에게 발전소 운전 상황을 간략화된 그림으로 보여주거나, 과거 혹은 현재 운전 변수의 연속적 그래프 표시, Success Path Monitoring 등의 운전 변수를 기반으로한 응용 프로그램 결과 정보 제공등을 수행한다. 정보 계통의 정보 처리를 담당하는 서버군은 운전원 워크스테이션에 보낼 발전소 운전 데이터를 수집 저장하거나 응용 프로그램 수행 및 결과 보관등을 수행하며, 발전소 정보 게이트는 발전소 운전 변수가 통신망을 통해서 서버로 전달되는 통로 역할을 수행한다. [그림 1]

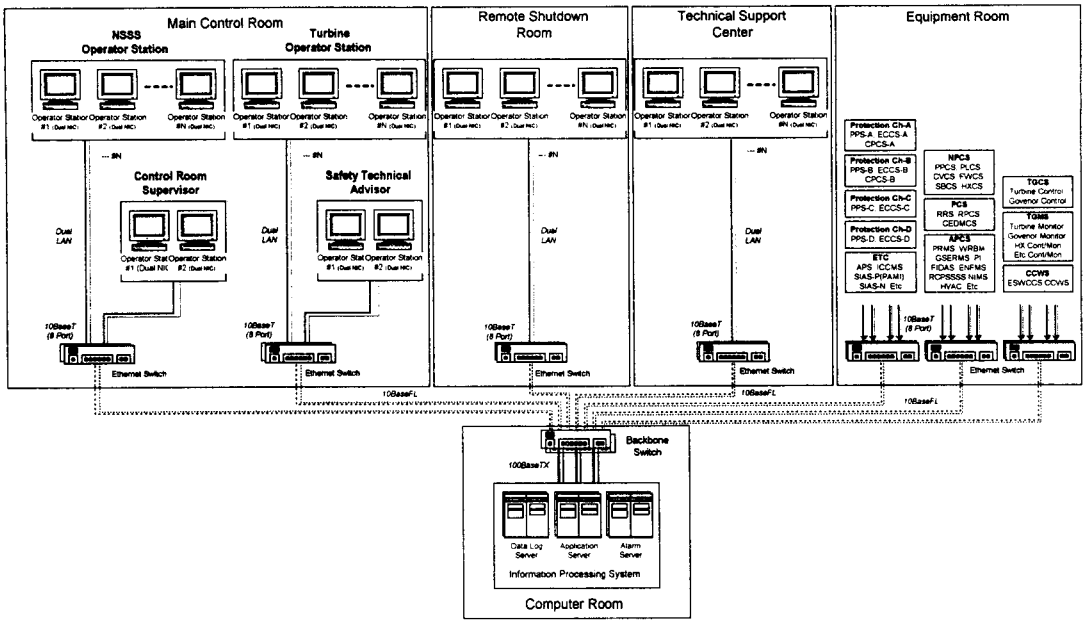
2.2 Information Network 성능 요건

원자력 발전소 비안전성 Information Network 설계 요건에는 운전 지원 요건인 MMI 성능 요건과 Network 자체의 성능 요건이 있다.

(1) MMI 성능 요건

- 운전원 워크스테이션상의 MMIC 선택시, CRT 상에서 0.25 초내에 Acknowledge되어야한다.
- 선택된 MMIC에 대한 정보 계통 응답 시간은 2.0초이내여야한다.
- CRT 는 2초 주기로 동적 데이터를 수정, 지시하여야한다.
- 응용 프로그램은 매 1 초마다 주기적으로 실행되어야한다.

그림 1. 차세대 원전 Information Network Architecture



(2) Information Network 성능 요건

- 발전소 모든 계통에 대하여 최소한 1.5 초의 주기적 데이타 전송이 가능하여야한다.
- 발전소 20,000 I/O Point 를 취급할수 있도록 Network 용량이 설계되어야한다.
- Network Traffic Load 는 최대 Traffic 조건에서 20%를 넘지않아야 한다.

(3) Information Network 신뢰도 요건

- Information Network은 단일 통신 경로 고장시에도 필수 기능을 수행할수 있도록 충분한 Redundancy 를 가져야한다.
- Information Network 은 모든 발전소 운전 조건에서도 이용율이 99% 이상이 되어야한다.
- 단일 통신 경로 고장시에는 타 경로로 Bumpless 전환이 이루어져야한다.
- 안전성 계통으로부터 데이터 전송은 신호 격리된 단방향 통신이어야한다.
- 통신 기기의 Mean Time Between Failure는 5 년이상이어야 한다.

2.3 Information Network Traffic 분석

(1) 발전소 운전 데이터에 의한 Traffic 계산

차세대원전의 비안전성 Information Traffic을 분석하기 위하여, Component Control System인 ESF-CCS와 NSSS-PCS로 부터 운전 Information을 취득하고 20% 여유를 가정하였을 때, Component Field Interface와 Data Acquisition Field Interface, Control Room Interface, Remote Shutdown Panel Switch Interface 의 신호 종류와 수량은 [표 1]과 같다. 데이터 변환을 Quantum PLC로 수행하고 각 Point의 상태값까지 포함되는 것으로 가정하면, [표 1]은 [표 2]와 같은 데이터 Bit 으로 변환된다. IEEE802.3 의 TCP/IP Ethernet의 Frame Structure 는 Preamble, Start Frame Delimiter, CRC 를 제외한 정보량이 64-1518 Byte이나, Network 부하가 가장 많은 경우는

표 1. 개략적인 차세대원전 Component Control System 신호

Type	Chan-A	Chan-B	Chan-C	Chan-D	Chan-X	Chan-Y	Total
Digital Out	862	862	136	136	1205	1205	4406
Digital In	1624	1620	390	380	3378	3328	10720
Analog Current Out	8	8	4	4	20	20	64
Analog Current In	109	119	36	36	966	960	2226
Total (개)	2603	2609	566	556	5569	5513	17416

표 2. Quantum PLC에 의한 데이터 변환시 Bit 량

Type	Chan-A	Chan-B	Chan-C	Chan-D	Chan-X	Chan-Y	Total
Digital Out	862	862	136	136	1205	1205	4406
Digital In	1827	1721	414	404	4589	3536	12491
Analog Current Out	128	128	65	65	325	325	1036
Analog Current In	1758	1919	581	581	15577	15480	38896
Total (Bit)	4575	4630	1196	1186	21696	20546	56829

64 Byte를 한 개의 Packet으로 보낼때이므로 IP Header, TCP Header 를 포함한 총 Header Byte 수를 100 Byte, Data 를 46 Byte로 가정할 때, Total Data Bit 및 Packet 수는 [표 3] 과 같다. 여기서는, Quantum PLC 의 TCP/IP Ethernet 모듈을 통하여 상위 정보 계통으로 운전 변수와 상태 값을 단방향으로 전송한다고 가정하였으며 송수신 통신 Port 사이의 Hand Shaking은 고려하지 않았다.

표 3. TCP/IP Protocol로 데이터 변환시 Bit 량

Chan-A	Chan-B	Chan-C	Chan-D	Chan-X	Chan-Y	Total
15,184	15,184	4,672	4,672	68,912	65,408	174,032 (Bit)
13	13	4	4	59	56	149 (Packet)

(2) Information Processing Server 와 운전원 워크스테이션 사이의 Traffic 계산

서버와 운전원 워크스테이션 사이의 최대 Traffic 부하는, 워크스테이션에서 운전 변수의 장기간 경향 분석을 위해 서버로부터 대량의 데이터를 요구할때이며, 최근에 설치된 웨스팅하우스 원전 Plant Computer인 Operator Aid Computer System(OACS)을 기준으로 다음과 같이 가정하였다. 서버의 Database에 Sampling Time이 10초, 16Bit Integer로 저장된 아나로그 신호 5개의 5일간 Operation History 데이터를 운전원 워크스테이션에서 요구시, 한 대의 운전원 워크스테이션과 서버 사이 통신 Traffic은 다음과 같다. (여기서, Ethernet Header는 100Byte, 1 Packet Data는 46Byte 로 가정함)

24시간 × 5일 × 3600초/10초 × 2Byte = 691,200 Bit

Ethernet Packet 수 = 1,878 Packet = 2,193,504 Bit

따라서, 한 대의 운전원 워크스테이션과 서버 사이에는 2.1 Mbit 의 Traffic 부하가 걸리고 10Base Ethernet 을 사용할 때의 Traffic 부하율은 약 20%로써 단일 Segment 에 2 개이상의 운전원 워크스테이션을 연결시, 데이터 충돌에 의한 전송 지연이 발생할 가능성이 높다. 또한, 주제어실 운전원 워크스테이션 수가 12 개이상이므로 Server Port에는 심각한 데이터 병목 현상이 일어날 가능성이 매우 높다.

2.4 Information Network Architecture 개발

(1) Traffic 분석 결과 및 Network 기술 분석

Information Traffic 분석 결과로부터, 발전소의 17,000개 I/O Point로부터의 Traffic은 174Kbit, 149 Packet으로써 단방향 전송 특성을 고려하면, 10Base Ethernet을 사용하더라도 Traffic 부하가 1.7%에 불과하여 데이터 충돌에 의한 전송 지연없이 성능 요건을 충분히 만족시킬수 있다. 정보계통에서 데이터 Traffic은 운전원 워크스테이션과 정보 처리 계통인 서버사이에 집중되며 분석결과에 의하면, 한대의 운전원 워크스테이션이 약 2Mbit 의 Traffic을 발생시키며, CSMA/CD방식의 기존 10Base Ethernet으로는 데이터 충돌에의한 전송 지연이 예상된다.

따라서, Network Performance 향상을 통한 전송 시간 확보와 신뢰도 증진, 원활한 운전 지원 정보 제공 측면에서 High Speed Network 사용이 고려되었다. High Speed Network에는 Fault Tolerant 특성을 가지는 FDDI와 상용망으로써 가장 널리 사용되는 Ethernet을 근간으로한 Fast Ethernet, 멀티미디어 서비스를 목적으로 개발된 ATM 이 있으며, 현재의 기술 흐름으로는 입증기술로써 개방적, 안정적, 경제적이며 고속화된 Fast Ethernet이 발전소 비안전성 Information System Network으로 적합한 것으로 검토되었다. Ethernet은 CSMS/CD 방식을 사용하므로 Non-Deterministic 통신 지연을 발생시킬수 있으나, 이를 해결하기 위한 다양한 기술들이 광범위로 사용되고 있다. 즉, 다중 Segment를 가진 Hub와 Virtual LAN 지원에 의하여 같은 Segment 내에서 충돌을 최소화하는 기술이 사용되고 있으며, 충돌을 근본적으로 방지하기 위하여 한 개의 Port를 단일 Segment로 처리하여 Port와 Port를 Dedicated 로 연결하는 Switched Ethernrt 기술이 일반화되어있다.

기존 Ethernet 에서는 최대의 Traffic 조건에서 Segment 내의 충돌을 피하기 위하여 한 개 Segment에 연결된 모든 Port Traffic Load가 10% 미만으로 설계를하고 있으나, Switched Network에서는 Port-to-Port 사이에 Dedicated Switch가 이루워 지므로 각 Port는 거의 100%에 가까운 Traffic Load를 Packet Loss없이 전송할수 있다.

(2) Network Topology 및 Architecture 개발

기존 Ethernet을 산업용으로 사용시에는 BNC T Connector와 Coaxial Cable을 사용한 BUS Topology가 많이 사용되었으나, T Connector 문제에 의한 Segment 전체의 기능 장애, 망 관리의 어려움등으로 현재는 사용되지않는다. 차세대 원전에 사용되는 Information Network Topology는 Fiber Optic Cable을 사용하는 Switch-to-Switch 구조로써 물리적으로는 Star 형, 전기적으로는

Bus 형으로써 신뢰도가 높고 관리가 쉬워 일반 상용망에서는 가장 널리 사용되는 Switched Ethernet 구조가 채택되었다. [그림 1]

정보 계통 Network 구조는 데이터 Traffic이 가장 많은 서버에 100Base Fast Ethernet Port, 운전원 워크스테이션과 발전소 정보 게이트의 워크그룹 스위치에 10Base Ethernet Port를 제공하는 Backbone 스위치와 하위 클라이언트들과 직접 Point-to-Point 연결되는 워크그룹 스위치로 구성된다. 각 클라이언트 및 서버는 거의 100% Traffic 부하에서도 10 혹은 100Mbps로 Packet Loss 없이 데이터 전송이 가능하다. Network 신뢰도를 위하여 Cable 및 Switch는 물리적, 전기적으로 독립된 이중화 구조로 구성되며, Switch의 Hot Swap 기능을 통한 운전중 모듈 교체, 자체 전원 이중화등 기기 신뢰도도 통신 기기 기술의 발달과 더불어 대폭 향상되었다.

3. 결론

본 논문에서는 차세대 원전의 비안전성 정보 계통에 대해 기술하고, Information Network 의 성능 요건을 설정하였다. 또한 Information Network 설계를 위한 Traffic Load 를 간략히 분석한 후, 이 결과로부터 적합한 Network 기술을 평가하였다. 또한, Network Performance 증가를 통한 전송 신뢰도 향상을 위한 *Information Network Topology* 와 *Architecture* 를 개발, 제안하였다. 개발된 Information Architecture는 Prototype을 통하여 성능과 신뢰도를 검증할 계획으로 있으며, 검증 결과는 차세대 원전 뿐만아니라 가동중인 원전의 정보 계통 Upgrade 시에도 참고 자료가 될 것으로 기대된다.

4. 참고 문헌

[1] Jean Walrand, "Communication Networks", IRWIN, pp. 207-219, 1991

[2] Tere Parnell, "Guide To Building High-Speed Networks", MaGraw-Hill, 1996

[3] Hewlett-Packard Co, "Network Design Guide", Hewlett-Packard Co, 1997

[4] 3Com Co, "100Base-T Migration Guide", 3Com Co, 1996

[5] EPRI, "Utility Requirement Document Ch. 10 Man-Machine Interface System"

[6] EPRI, "Plant Communications and Computing Architecture Plan Methodology Vol 1, Vol 2", EPRI, 1993