

원자력 발전소 원격감시 시스템 설계방안 도출

· 박종범*, 안용호*, 채대근*, 박정우**, 이송학***
 *한국전력공사 전력연구원 ** (주)우리기업 ***대덕대학

The Study of Design Method for Remote Monitoring System in Nuclear Power Plant

· Jong Beom Park*, Yong Ho An*, Dae Keun Chae*, Jung Woo Park**, Seung Hak Lee***
 *Korea Electric Power Research Institute **Woorigisool Co.,Ltd ***Taedok College

Abstract - Since the access to Station Control Computers(DCCs) is restricted to the main control room(MCR), the operating data of power plants can't be easily analyzed and effectively managed. It is possible to reduce waste of time and human energy by means of building the Remote Monitoring Network of DCCs connected to Local Area Network, automatizing collection and analysis of DCC data, gathering the operating state of power plants, and managing systematically. Furthermore, this system help preventing trip by means of analyzing the data promptly and watching main system continuously.

또한 H/W는 어떤 방식으로 설계되었으며, 이를 근거로 하여 월성 원자력의 원격감시 시스템을 어떤 방식으로 설계할 것인지 제시하였다.

2. 포인트레프로 실시간 데이터 감시시스템

포인트레프로(Point Lepreau)의 LAN을 통한 발전소 제어 컴퓨터(DCCs)와 GMS(Generic Monitoring System) 및 자료 추출 시스템에 관해 조사한 내용이 다.

발전 제어 컴퓨터(Station Control Computers : DCCs), Safety System, Chemistry System과 D2O CleanUp and Vapour Recovery System Monitoring Computer 등의 많은 소스로부터 현재의 운전상태와 과거 운전현황 자료의 동시 모니터링이 가능한 시스템이 포인트레프로에서 개발되고 설치되었다. 이 시스템은 시스템 엔지니어(System Engineer)와 분석가들에게 현재와 과거 데이터를 모니터링할 수 있게 한다. 시스템은 Banyan Vines Local Area Network(LAN) /File Server System과 게이트웨이 컴퓨터 시스템(Gateway Computer System), 몇 개의 Generic Monitoring System Computer, 전용 tape archive system으로 되어 있다. 이 시스템으로 모니터링된 모든 data point의 100ms내지 6초간격의 분석(resolution)이 플랜트 전역에 존재하는 MS-DOS나 OS/2 기반의 PC에서 발생자료검색을 위해 LAN을 통해 전달되고 LAN file 서버에 저장된다. 다음과 같은 H/W 시스템이 사용되었다.

1. 서 론

현재 우리나라 원자력 발전소의 발전제어컴퓨터(DCCs)는 대부분이 외국의 기술로 설계 제작된 것이 도입되어 운용되고 있으며 월성의 중수로도 예외는 아니며 캐나다의 AECL에서 제공된 DCCs를 사용중이다. 월성에 설치된 DCCs는 사용지역의 한정성으로 주 제어실에서만 발전소 현재의 운전상태와 과거 운전현황에 관한 데이터의 취득이 가능하여 타지역에서 운전데이터 수집 및 분석시 취득한 데이터를 사용자가 직접 개인 PC에 입력하여 사용하고 있어 많은 인력과 시간이 소요되고 있다. 현재 월성1호기는 발전소 Station Log를 8시간마다 40개 변수씩 인쇄되어 일일 인쇄량을 취합한 다음날 해당부서에서 자료분석에 활용하고 있다. 또한, 발전소 운전상태 점검을 위한 추가 자료 취합시 DCCs 저장 가능 개수의 제한으로 주제어실에서만 엄청난 양의 인쇄를 하여야 하므로 저장공간 손실도 상당하다. 이외에도 발전소 Station Log와 필요에 의해 인쇄한 정보를 개인 PC에 입력하는데 많은 시간과 인력이 필요하고, 과거의 자료를 찾아 분석하거나 확인하는데 많은 시간이 소요되어 효율적인 운전에 커다란 지장을 받고 있다. 그럼에도 불구하고 DCCs에 별도의 기능 추가는 매우 어려운 일이고 노후화되어 외산 발전제어컴퓨터의 유지 및 보수가 매우 취약한 상태로, 발전소의 안전 운전과 효율적 운전이 이루어지기 힘들어 이를 보완할 수 있는 방안이 시급히 요구되고 있는 실정이다. 이미 드러나 있는 것처럼 현행체계는 많은 노동력과 시간이 낭비되고 있으며 이를 개선하지 않는다면 궁극적으로는 발전소의 운영에 커다란 지장을 초래할 것으로 판단된다. 더구나 중수로의 관리에 따른 문제점이 제기되는 현시점에서 발전소의 이상상태와 운전자료를 효율적으로 관리 분석할 수 있는 시스템의 도입은 반드시 필요하다고 판단된다. 이미 캐나다의 포인트레프로를 비롯한 몇몇 발전소에서 이를 설치하여 효과를 보고 있으므로 이를 참고하여 월성 원자력에 적합한 원격감시망을 개발 설치한다면 상당한 효과를 기대할 수 있다. 본 논문에서는 포인트레프로에 설치한 방법을 조사하고,

- DCCX 및 DCCY, DCCW, DCCZ, DCCS 등과 관련된 몇 개의 게이트웨이 컴퓨터
- 몇 개의 Generic Monitoring System Computer
- 광케이블과 얇은 동축케이블(wire coax)을 모두 수용하는 Ethernet hub
- 2 gigabytes이상의 hard disk 저장 용량을 갖는 여러 개의 파일 서버
- 본관빌딩(Administration building)내의 전 station 에 걸쳐 기존 PC에 Ethernet connections

2.1 개발 배경

포인트레프로가 1983년 운전을 시작한 후, 발전소 관리분야는 발전 제어 컴퓨터 그룹(Station Control Computer Group)이 본관빌딩(Administration building)내의 다양한 플랜트 공정으로부터 발전 제어 컴퓨터 데이터를 취할 수 있도록 준비하게 했다. 발전 제어 컴퓨터에 중앙제어실에서 사용하는 키보드/CRT와 같은 감시시스템 설비를 추가하는 것은 사실상 불가능하기 때문에 그런 요청은 어려운 작업이었다. 그렇지만 발전 제어 컴퓨터로부터 이 데이터를 발전소내 원격터미널들로 차례로 전송할 원격컴퓨터까지 현재의 운전상태 플랜트 데이터들 덩어리는 시스템을 설치하는 것은 가능했다. 처음에는 다른 유저들이 활용할 수 있게 되어 있는 발전소의 VAX 컴퓨터 시스템으로 이 정보가 전송

되도록 계획됐다. 그러나, 기존의 다른 기능들의 우선 순위(priority)때문에 이 시스템 실행에 시간지연이 발생하는 것을 알게 되었다. 시간이 흐름에 따라, 그리고 컴퓨터 기술이 향상됨에 따라 저장되어질 데이터량은 전용 LAN 기반 파일 서버 시스템이 처리할 수 있는 것으로 판단되었다. 원래는 선택된 데이터에 대한 요구만이 시스템에 의해 처리되도록 생각되었다. 이 또한 기술이 진보됨으로써 발전 제어 컴퓨터에 의해 얻어진 모든 데이터를 실제적으로 저장할 수 있게 됐다. 더욱이 Generic Monitoring System(GMS) 컴퓨터들에 덧붙여, 발전 제어 컴퓨터에 의해서 모니터 되지 않는 플랜트 공정으로부터 모인 자료를 저장할 수 있게 됐다. 기존의 PC는 이미 발전소 전역에 존재하였으며, 파일 서버에서 활용할 수 있는 데이터에 접근하는데 있어서 특수하고 비싼 전용 WorkStation보다 이들 PC들을 이용하도록 결정됐다. 일반적인 MS-DOS나 OS/2 파일 포맷은 전 시스템에 걸쳐 사용되고 스프레드쉬트 프로그램과 같은 값싼 강력한 S/W를 사용할 수 있게 한다.

2.2 The Station's Banyan Vines Local Area Network

아래 그림 1에서의 게이트웨이 컴퓨터 시스템(Gateway Computer System)은 각각의 발전 제어 컴퓨터들을 발전소 이더넷 네트워크(Station Ethernet network)에 인터페이스로 연결한다. 게이트웨이 컴퓨터 GWX, GWY, GWW, GWZ, GWS 등은 발전 제어 컴퓨터 DCCX, DCCY, DCCW, DCCZ, DCCS 등과 Parallel Data Link Controller Cards(PDLCs)를 통해 직접 인터페이스한다. 하나의 backup serial interface가 또한 제공된다. DCCX와 DCCY는 발전 제어 컴퓨터이고 DCCW와 DCCZ는 관리/개발 컴퓨터이며 DCCS는 DCC의 시뮬레이터(simulator)이다. 파일서버는 SvrDCC, SvrXY, SvrZ, SvrS가 Banyan Vines LAN를 이용해서 게이트웨이 컴퓨터에 연결되도록 설계되었다. 모든 파일서버 컴퓨터들은 발전소 이더넷 백본(Plant Ethernet Backbone)을 통해서도 통신한다.

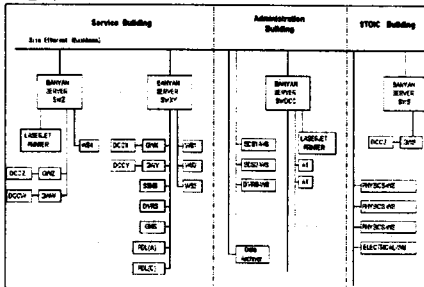


그림 1. 게이트웨이 컴퓨터 시스템

2.3 컴퓨터와 네트워크

게이트웨이 컴퓨터와 파일 서버는 80x86 Transduction Rack-Mount Industrial Grade IBM AT-compatible computer이다. 모든 기계는 적어도 8MBytes의 램(RAM)을 가지고, 각각의 파일서버는 최소한 2 gigabytes의 하드 드라이브 용량을 갖는다. 게이트웨이 컴퓨터는 OS/2에서 실행되고 Modula-2로 프로그램되었으며, Point Lepreau의 이더넷 백본 시스템(Ethernet backbone system)은 발전소 VAX 컴퓨터들과 그것들의 다양한 주변장치들과 함께 연결되어 사용된다. 그것은 플랜트내 주제어실(Main Control Room)에서 본관빌딩(Administration building)까지 연결되어 있다. Banyan Vines 파일 서버(File Server)인 SvrDCC, SvrXY, SvrZ, SvrS는 백본(backbone)에 연결된다. 각 서버는 local segment를

작동시킨다. 많은 경우 이들 local segment위의 데이터 패킷은 백본(backbone)에 연결되지 않는다. 이것은 백본의 부하를 최소화하는데 도움을 준다. SvrDCC와 그 유저들은 본관빌딩(Administration Building)에 위치한다. 그 하드드라이브는 DCC 게이트웨이와 다른 S/W파일과 SvrDCCs 파일들을 포함한다. S/W개발과 유지보수, H/W유지보수, 문서화 등의 목적을 위해 사용되는 이 서버에 여러 대의 PC가 연결되어 있다. SvrDCC는 그것에 연결된 여러 대의 프린터를 갖는다. SvrXY는 발전소내(중앙제어실에 접한) DCCX/DCCY Room에 위치한다. 이 장비는 GWX와 GWY에 광섬유 케이블로 연결된다. SvrXY는 Safety System Monitoring System, Chemistry System Monitoring System과 같은 다양한 감시 시스템(Monitoring System)과 발전 제어 컴퓨터로부터 온라인 데이터 수집을 위해 사용되는 장비다. SvrXY는 또한 S/W 유지보수 목적을 위한 SvrDCC에 라우터로 사용된다. SvrZ는 (중앙제어실에 접한)DCCZ Room에 위치한다. 그것은 SvrXY와 기능적으로 동일한 점을 갖지만 유지보수와 개발목적을 위해 사용된다. 히스토리 데이터 추출을 위한 집적자료로부터 재 저장되었던 데이터를 저장하게 하는데 사용된다. SvrS는 STOIC(Simulator, Training, Office, and Information Complex) 빌딩내의 DCCS room에 위치한다. 이 장비는 GWS에 연결되어 있고 SvrXY와 비슷한 SETUP이다.

2.4 GENERIC MONITORING SYSTEM(GMS)

GMS 컴퓨터 시스템은 다양한 시스템으로부터 발전소 현재 운전상태 자료를 모아 보여주는 Module-2로 프로그램된 rack-mount 80x86 기반의 기계다. 그것들은 IEEE 488 버스 혹은 RS-232 라인과 인터페이스된다. IEEE 488 버스는 모터롤라 680x0 기반 HP 3852A Data Acquisition/Control Units를 포함하는 다양한 IEEE 488 device에 인터페이스하는데 사용된다. 어떤 플랜트 데이터 포인트는 GMS를 통해 수치적으로 추세를 보이거나 막대그래프를 그리거나 그림을 넣어 보여질 수 있다. 이 플랜트 데이터는 또한 발전소 전역에 위치한 많은 PC에서 더 많은 모니터링과 분석을 위해 SvrXY에 로그되며, GMS system은 Safety Systems(SSMS), Chemistry System (CMS)과 D2O Vapour Recovery System(DVRS)을 포함한다. 또한 Plant Data Logger A(PDL(A))와 Plant Data Logger C(PDL(C))로 명명된 두 개의 범용 GMS 시스템은 Reactor Building과 Airlock pressure test와 같은 다양한 테스트로부터 데이터를 모으고 전송하기 위해 사용되어진다.

2.5 발전 제어 컴퓨터 자료 수집

발전 제어 컴퓨터의 현재의 운전상태와 과거 운전현황에 관한 데이터 수집과 배포는 발전소의 게이트웨이 컴퓨터 시스템과 SvrXY 파일 서버를 사용하여 행해져 왔다. 다양한 S/W 시스템은 DCCs에서 게이트웨이 컴퓨터까지 데이터를 추출하기 위해 개발되거나 수정되어왔다. 관심 데이터를 처리하는 DCCs내의 프로그램은 GWO(GateWay Output)으로 명명된 프로그램을 작성하여 게이트웨이 컴퓨터에서 데이터를 모은 다음 출력하기 위해 수정되어왔다. 그 데이터는 처리되어서 SvrXY에 저장하는 S/W에 의해 게이트웨이 컴퓨터에 주어진다. 그런 다음 이 데이터는 SEMS(System Engineer's Monitoring System)과 SEDE(System Engineer Data Extractor)처럼 PC 프로그램을 이용하여 추출되고 보여진다. 현재 개발된 데이터 수집 프로그램은 다음과 같다.

FHDD - Fast Historical Data Dump

IODD - Input Output Data Dump

DCDD - Dictionary and Coefficients Data Dump

2.6 시스템의 계층 구조(ARCHITECTURE)

데이터 수집과 배포 시스템의 계층 구조는 그림 2에서 보여진다. 세계의 S/W 계층을 이루며, Producer/Consumer, Dispatcher 그리고 Device Driver는 DCC와 게이트웨이 컴퓨터를 가로질러 대칭적이다. 물리계층인 Parallel Data Link Controller(PDLC)는 두 컴퓨터 모두에 공용으로 사용된다.

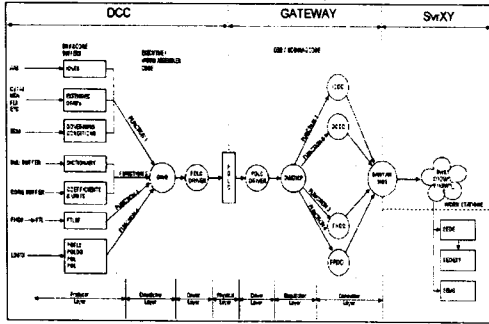


그림 2. 시스템 계층 구조

가. Producer/Consumer Layer

DCC Producer/Consumer layer는 게이트웨이에 쌓여지는 자료의 코어 버퍼(core buffer)와 BMU(Bulk Memory Unit)를 만드는 periodic composer, demand 프로그램으로 구성된다. 예를 들어 AAS(Analog Alarm Summary)와 CTM(Channel Temperature Monitor)는 Input/Output Data Dump(IODD)에서 데이터의 일부인 IOVTB(Input Output Variable Table) BMU buffer를 생성한다.

나. Dispatcher LAYER

DCC producer와 Gateway Consumer사이의 모든 통신은 인터럽트로 구동되는 메시지 전달 프로토콜을 이용하여 Dispatcher 계층을 통한다. 패킷 헤더(packet header)는 패킷 내용(packet contents)과 게이트웨이 컴퓨터에서 목적지를 정의하는데 사용된다. DCC Dispatcher는 GWO(Gateway Output)에 의해 실행된다. 반면 게이트웨이에서는 GWDISP에 의해 실행된다. OS/2의 멀티테스킹, 가상 메모리, 우선 순위 레벨(priority level)과 같은 특징은 게이트웨이 컴퓨터에서 작업처리량을 최대로 하는데 사용되어진다.

다. Driver Layer

DCC device driver layer는 PDLC라고 불리는 DCC 실행드라이버로 구성되는데 이 드라이버는 PDLC write buffer에 데이터를 쓰는 함수를 GWO에 제공하고 게이트웨이 컴퓨터에 메시지를 보낸다. 비슷하게 PDLC로 불리는 OS/2 드라이버는 PDLC write buffer를 읽는 함수를 GWDISP에 제공하고 DCC에 메시지를 보낸다.

3. 발전 제어 컴퓨터(DCCs) 기본 설계

앞장에서 포인트레프로 발전소의 발전 제어 컴퓨터(DCCs)의 컴퓨터와 네트워크, 자료 수집, 시스템 계층 구조 등 전반적인 시스템을 분석하였다. 이 자료들을 참조하여 월성 원자력의 원격 감시시스템 설계 기초자료로 삼아 DCCs의 설계 요건과 주요기능의 개념설계를 아래와 같이 설계하였다.

3.1 발전 제어 컴퓨터의 주요기능

DCCs의 주요기능은 감시기능과 제어기능으로 나누어 볼 수 있다. 감시기능은 발전소의 운영중에 발생하는 현상신호를 취득하고 이를 처리하는 기능이다. 취득되는 아날로그신호와 디지털신호는 일정한 저장공간을 통

해 운전원들에게 정보로서 제공된다. 제어기능으로서는 원자로 출력, 증기발생기와 터빈의 부하를 조절하는 기능 등이 있다. DCCs가 보유하고 있는 제어알고리즘에 의해 자동적으로 제어되는 신호들과 운전원들에 의해 수동으로 제어되는 신호들이 있으며 제어의 결과는 감시기능에 의해 다시 운전원과 DCCs 자체에 보고된다.

3.2 설계 요건

가. 하드웨어적인 운영 요건

DCCs는 Master와 Slave가 상시 가동되는 구조로서 이중화된 시스템이다. Slave는 Hot-standby 기능을 구현하고 있어서 문제 발생시 마스터에서 슬레이브로 정체가 일어나도 제어와 감시기능의 정지가 발생하지 않는다. 이러한 이중화 구조에서 부컴퓨터는 평상시 핵연료 교환기를 구동하는 역할을 맡고 있으나 주 컴퓨터의 고장시 제어와 경보기능을 동시에 담당하게 된다. 제어와 감시의 공백이 발생하지 않은 이중화 구조를 위해서 정상적인 가동상태를 계속해서 감시한다. 점검되는 가동상태로는 통신신호에 이상이 발생하지 않았는지, 신호처리기가 계속적으로 이루어지는지, 그리고 전달 기기들의 상태 등이 있다.

나. 소프트웨어적인 운영 및 설계 요건

DCCs는 실시간으로 자료를 처리하는 기능을 가지고 있다. 이를 위하여 DCCs는 오버헤드가 적은 운영체제를 구현하고 있다. 단순하고 신뢰성있는 운영체제를 바탕으로 밀리초 단위의 정밀도를 가지는 감시와 제어기능을 수행한다. 운영체제는 DCCs상의 작업을 수행계획에 의거하여 계산하고 실시간성을 유지한다. 데이터의 실시간 처리를 위해 작업수행계획에 대한 확인과 점검을 행한다. 시스템에서 발생하는 인터럽트는 실시간 처리를 위해 반드시 처리해 주어야 한다. 각각의 태스크는 할당된 메모리의 범위내에서 실행되며 동적인 메모리의 할당을 위해서는 반드시 운영체제의 관리를 받아야 한다. DCCs는 시스템의 주메모리와 이차 기억장치로서의 보조메모리에 대한 성능을 고려하여 유연성있는 입출력 방식으로 설계되어 있다.

5. 결 론

국내 중수로 원자력 발전소인 월성 원자력에서는 앞에서 기술하였듯이 원격감시 설비의 부재로 운전원들이 매일 같이 오전에 하루전의 자료들을 수집하여 자료실에 철(묶음)로 모아두고 사고시나, 통계 산출시 이 자료들을 운전원이 수작업으로 분석하는 원시적인 방법으로 운용해 왔다. 이번 원격감시 시스템을 설계하여 개발하게 되면 주제어실(MCR) 말고도 원하는 현장에서 바로바로 자료를 받아 볼 수 있고, 과거 이력관리도 가능하여 통계나 사고 분석이 매우 빠르게 진행 될 것이다. 이미 캐나다에서는 이와 비슷한 시스템을 개발하여 사용하고 있으므로 국산화 개발 차원에서 이 설계를 기초로 빨리 개발되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 박종범 등, "중수로 원격감시 시스템 개발 중간보고서, 전력연구원, 1999.3.
- [2] "Point Lepreau's Local Area Network Based Station Control Computer and Generic Monitoring System Live and Historical Plant Data Collection and Distribution System", Harry Storey., Technical Supervisor, NB Power, Point Lepreau Generating Station, Technical Report, Pp48-52.
- [3] V72 System Handbook, Sperry Rand Corporation, 1978.