Journal of the Korean Nuclear Society
Volume 27, Number 3, June 1995

《기술보고》

AECL CANDU 중수로형 발전소에서의 컴퓨터 적용 기술

김석남 · 한재복
한국원자력연구소
(1995. 1. 9 접수)

요 약

캐나다 원자력공사(AECL)는 1960년초 중수로형 원자력발전소 계통에 컴퓨터를 도입하여 처음에는 국부적으로 발전소를 제어하는 방법을 채택하였으나 점차 발전소 주요계통인 발전소제어계통 및 원자로 안전계통으로 확장하여 현재는 진보된 컴퓨터 응용 계측제어 기술로 개선된 Fully Computerized Shutdown System 및 Distributed Plant Control System의 설계를 마무리하고 일부 기술을 신규 발전소의 계측제어분야에 적용하여 운용하고 있는 상황에 있다.

본 보고서는 중수로형 발전소를 설계한 캐나다 원자력공사의 발전소 제어 및 원자로 정지계통 분야에 컴퓨터 기술을 적용한 배경과 그 기술을 2장, 3장에서 각각 서술하고 제4장에서는 이들 설비가 월성 1호기에서와 2, 3, 4호기에서의 차이점, 즉 설계변경된 부분을 소개, 고찰하여 보고 아울러 이의 기술이 향후 건설될 개량형 중수로에 적용 가능성과 관련 기술에 대하여 살펴보고자 한다.

1. 서 론

중수로형 발전소는 설비가 비교적 경수로형 발전소보다 복잡하여 이에 따른 정교한 제어기술이 요구되므로 운전원이 수동으로 발전소를 제어하기란 그리 용이하지 않다. 특히 핵연료를 천연 우라늄을 사용하기 때문에 노심의 여유반응도가 매우 낮아 원자로의 불시 정지로 부터 30분이내에 재기동하지 않으면 핵분열 생성 독물질(Xe^{135})의 영향으로 원자로 재기동이 40시간 이상 지연되게 된다.

따라서 이 30분동안 발전소 전 계통을 수동으로 감시, 조작하여 원자로를 재기동하기란 거의 불가능한 일이다. 이처럼 CANDU발전소 제어에 컴퓨터을 도입한 것은 원자로 노심 특성상 불가피한 일이라 할 수 있다.

이에따라 컴퓨터의 빠른 계산 속도를 이용하여 실시간(Real Time)에서 발전소의 현장 상태를 읽어 드려 이를 계산하고 판단, 처리하여 그 출력을 충분히 빠른시간내에 소내 현장에 내 보내어 이를 목적한 방향으로 발전소를 제어하는 것으로서 중수로형 발전소 전산시스템은 이에 속한다 하겠다.

2. CANDU형 발전소 제어 시스템의 개발 배경 및 과정

1962년 상업 운전을 시작한 캐나다 소재 Douglas Point발전소에서 처음으로 발전소 제어 목적으로 Digital Computer System을 도입, Alarm Scanning, Channel Temperature Monitoring, Reactor Power Regulation등 한정적으로 이용되어 오다가 발전소 전반적인 제어 뿐만 아니라, 원자로 안전계통에도 광범위하게 사용되고 있다.

이 전산 시스템은 On-line Real Time 상태에서 DCC(Digital Computer Controller)라고 불리우는 2대의 전산기가 중앙 집중 제어방식으로 발전소 전반을 제어하고 감시하는 기능을 가지고 있다(그림1 참조).

또한 대용량 중수로라고 하는 Darlington발전소는 기존 600 MWe급 발전소 제어계통 출력부의 Relay

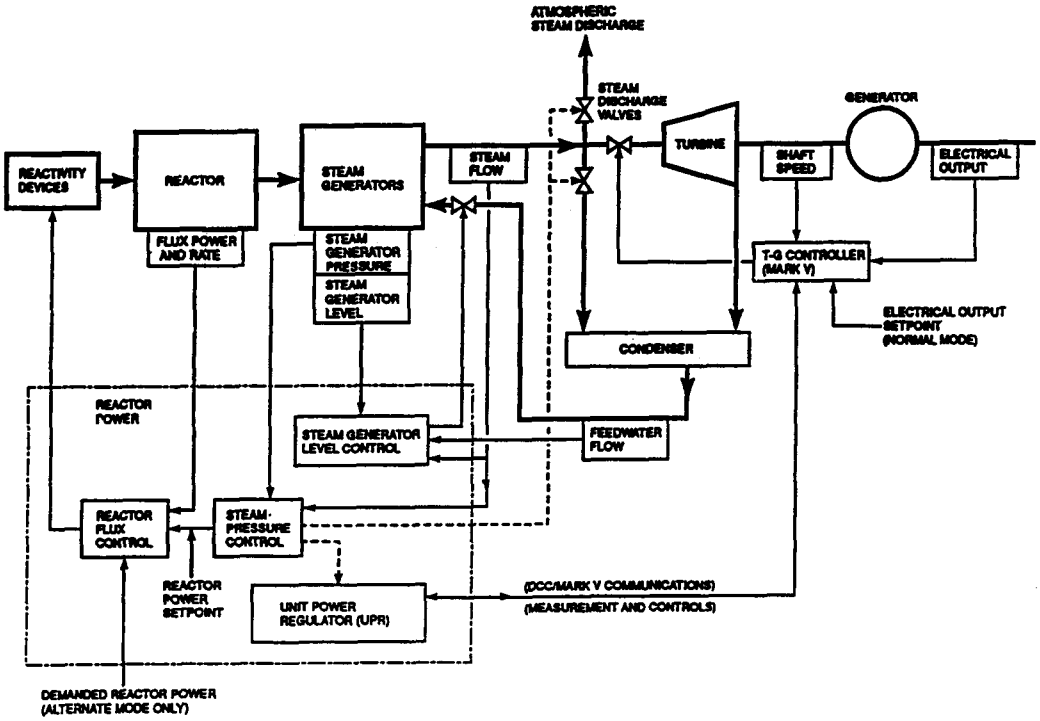

그림 1. Overall Plant Control-Block Diagram

Switching Logic부분을 마이크로 프로세서가 내장된 OH-180 라 는 PLC(Programmable Logic Controller)가 대신하고 있지만 제어방식은 기존 CANDU형 발전소와 동일하다.

한편, AECL은 첨단 계측제어 기술 분야를 중수로 발전소에 적용하기 위한 연구를 계속하여 아직까지 상용화는 되지 않았지만 CANDU 3라고 불리우는 발전소 제어 분야에 지금까지 사용되던 중앙 집중 제어방식과 감시계통을 다중 분산 제어 계통과 현대화된 발전 설비 디스플레이시스템으로 교체하여 현장(Local)에 개별적인 PLC 2대를 설치(예를들면 RRS용, S/G 수위 및 압력제어용 등), Fault Tolerant방식에 의해 Master용이 고장 나면 Fault를 감지하여 1대의 예비용 PLC가 동작되게 하는 분산 제어 방식(Distributed Control System)를 채택, 기존의 Point-to-Point Wiring, Control Cable등을 Multiplexier를 이용하여 신호 전달을 개선하고 또한 트렁크 케이블 대신에 찬넬화된 Data Highway로 교체함으로써 건설 공기 단축은 물론 인건비를 절감시키는 효과를 가져왔고 인간 공학적 주제어실 설계, 다중 컴퓨터를 사용한 발전소 운전 정보 표시 및 기록등의 기술적 특성을 가지고 있어서 기존의 Direct Computer Control기술과 고장 허용 기술을 분산형 제어계통에도 적용하여 신뢰성 확보에 노력할 것으로 보인다(그림2 참조).

CANDU형 발전소 제어용 전산기 시스템은 제어 기능과 알고니즘 및 신호 처리는 Dual Computer Control 구조로 On-line Real Time상태에서 발전소를 제어하고 감시하는 기능을 가지며 그 기능을 살펴보면

- 발전소 주요기기의 제어
- 발전소 주요변수의 감시 및 필요시 경보 발생
- CRT를 통한 발전소 상태의 Display
- Data Logging등이며,

발전소 주요 제어 기능으로는 원자로 조정및 출력제어, 증기발생기내의 압력 및 수위조절, 핵연료 교체운전

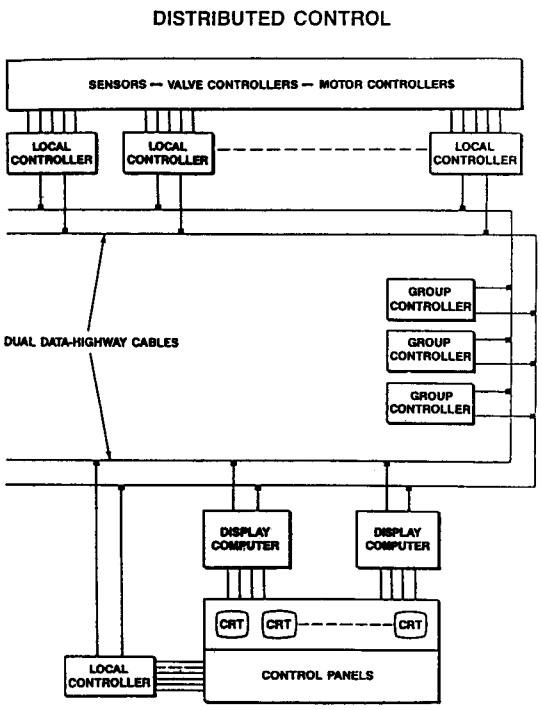

그림 2. Distributed Control

등이다(그림3 참조).

컴퓨터 시스템은 각각의 주변장치와 Process 입출력 장치를 갖춘 2대의 동일한 전자계산기(DCC X/Y)로 구성되어 있는 Dual Computer Control 시스템이며, On-line으로 운전되는 2대중 DCC X는 주 운전용(Master)이고 DCC Y는 예비용 (Stand-by)으로 DCC X에 이상이 있을때 그 임무를 전부 또는 일부를 맡아 수행한다(그림4 참조).

이 두 컴퓨터 시스템은 소내로 부터 오는 같은 신호를 제공받아 이를 계산, 판단하고 각기 출력을 내게되는데 정상적인 상태에서는 DCC X의 출력만이 발전소 제어에 사용되고 DCC Y의 출력은 외부(발전소 현장)에 전달되지 않아 Stand-by상태에 있게된다. 이러던 중 DCC X의 일부 프로그램이 고장나면 그 부분의 제어를 DCC Y가 담당하고 나머지는 DCC X가 계속하여 제어한다.

그러나 Watchdog Timer가 Time Out되는 DCC X 전체의 고장이 생기면 발전소 전 제어가 DCC Y에 의하여 이루어 지게된다.

두 컴퓨터가 동시에 고장이 나면 발전소는 정지되어 안전한상태(Safety Shutdown State)로 간다.

이러한 이중(Dual)컴퓨터 구성은 발전소 제어기능의 MTBF(Mean Time Between Failure)가 한개만의 시스템을 사용 할 때보다 현저히 늘어나서 컴퓨터 고장으로 인한 발전소 정지를 최소한 줄일 수 있다.

이와는 별도로 Off-line용으로 사용되는 DCC Z가 있어 Working Spare Parts로서 고장 부품의 보수 및 프로그램 개발용으로 사용되고 있다.

3. CANDU형 원자로 안전계통 전산설비의 개발 배경과 과정

발전소 제어 계통과 달리 원자로 안전(정지)계통에서의 전산기의 적용은 느리게 단계적으로 발전되어 왔다.(그림5 참조)

처음(1단계)에는 완전한 Conventional Relay Logic으로 원자로 안전계통, 예를들면 Sensor 신호처리부, 트립 Decision Logic, 비교기능, 상태 정보 표시판넬등이 모두 Analog방식으로 구성되었다.

2단계 개선방식은 1977년 상업운전되기 시작한 캐나다 Bruce발전소 부터 기존 Analog방식의 트립기능에 다 모니터링기능을 추가하기 위해 Display장치와 Printer 등을 설치 운용하여 기록 및 점검 기능을 개선하였다.

제3단계 원자로 안전 계통 개선방식은 1980년 초에 CANDU 6가 건설되기 시작하면서 AECL은 그 당시 Point Lepreau, Gentily 2, 월성 1호기등 600 MWe급 발전소에 트립기능을 최초로 컴퓨터에 맡긴 원자로 안전계통(Computer based Shutdown System)을 설계,채택하여 운용중에 있으며 이의 개선으로 기존 계통의 고장율에 비하여 고장빈도가 현저히 감소되었으며, 특히 Unsafe Failure를 Safe Failure로 바꿀 수 있도록 설계되어 신뢰성을 제고하였다.

중수로의 원자로 정지계통은 경수로와 달리 12대의 Microcomputer에 의해 구성되고 이들 컴퓨터는 6대씩 1개 그룹이 되어 SDS1과 SDS2를 구성하고 이들 각 채널(SDS1은 D,E,F/SDS2은 G,H,J)은 2대의 독립된 PDC(Programmable Digital Comparator)로 구성되

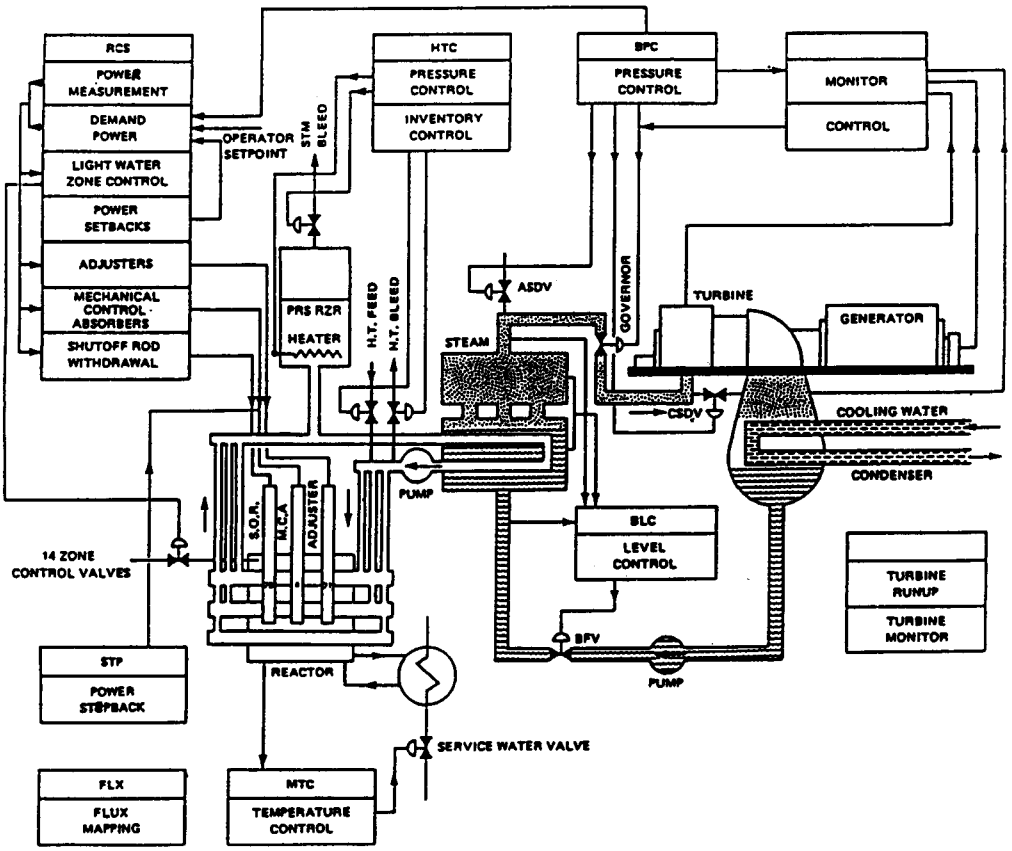

그림 3. Unit Control-Block Diagram

어 있다.

이처럼 원자로 정지계통의 트립 로직을 구성함에 있어 재래식 Hard-Wired Relay Type Logic(실배선 논리회로)에서 마이크로 컴퓨터를 도입한 것은 원자로 출력 전구간에서 비교적 균등한 안전 여유와 운전 여유를 확보하여 안전성과 경제성을 동시에 추구하기 위함이었고 각각의 마이크로 컴퓨터의 기능은 Process Trip Parameter(예, 일차 냉각재계통 저유량, 증기발생기 저수위, 가압기 저수위등)에 관련된 Process신호들을 감지하여 원자로 운전 조건 즉 원자로 출력이나 1차계통 펌프(PHT Pump)의 운전모드(즉 4 pump 혹은 2 pump)에 따른 트립 설정치(Trip Setpoint)를 PROM(Programmable Read Only Memory)속에 내장된 프로그램에 의해 자동으로 계산하고 감지된 Process신호들과 자동으로 계산된 트립 설정치와 비교하여 이를 벗어나는 경우, 해당 원자로 정지 메카니즘(정지봉/질산개돌니늄)을 구동하기 위한 동작 신호를 트립 로직에 보내 SDS1의 정지봉(Shut Off Rods) Clutch 전원을 차단, SDS2의 Actuation계통인 LISS(Liquid Injection Shutdown System)를 동작시켜 원자로에 다량의 부반응도를 제공하여 원자로를 긴급히 정지시키는 것이다.

따라서 이런 연유에서 이들 마이크로 컴퓨터를 PDC(Programmable Digital Comparator)라 부른 것이다(그림6 참조).

제 4단계 원자로 안전 계통의 개선은 대용량 중수로인 Darlington발전소에서 채택하여 운용중에 있는데 기존 CANDU 6 에서는 PDC 라고 불리우는 Microcomputer가 원자로 안전계통의 트립 로직을 담당하여 필요시에 원자로를 정지시키는 Micro-Computer bas-

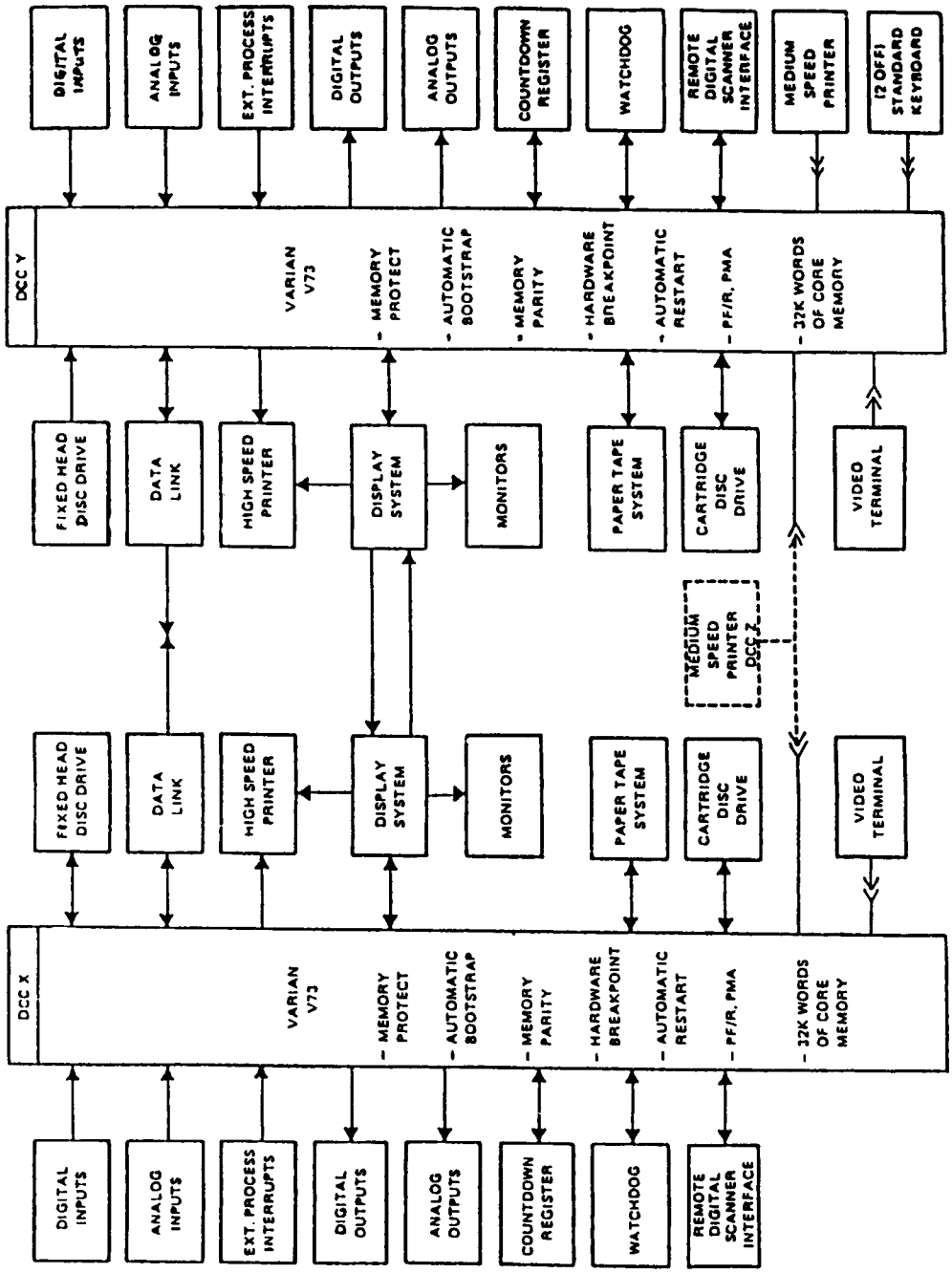

그림 4. Dual Computer System Block Diagram

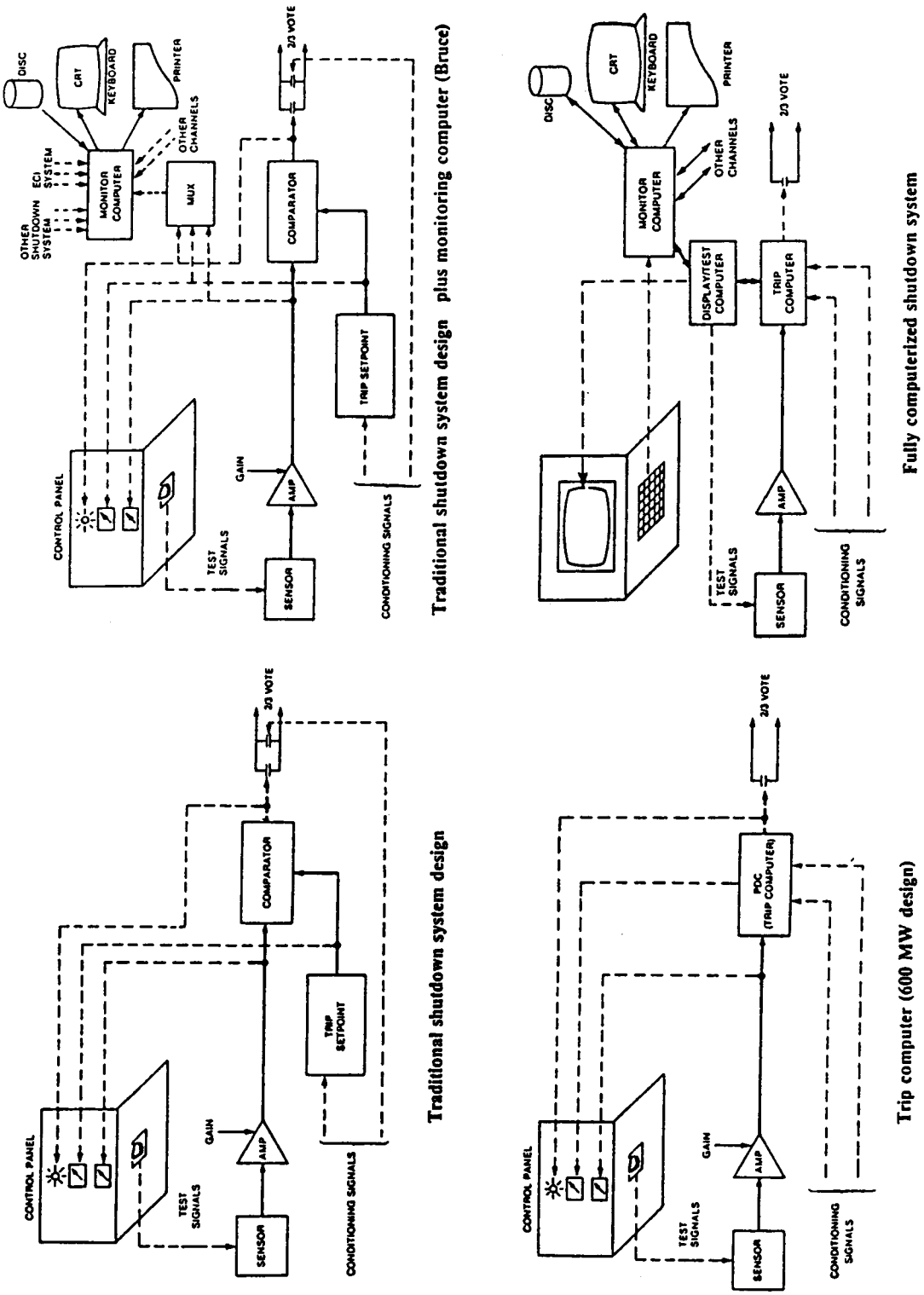

그림 5. The Evolution of Computer Application in Candu Shutdown Systems

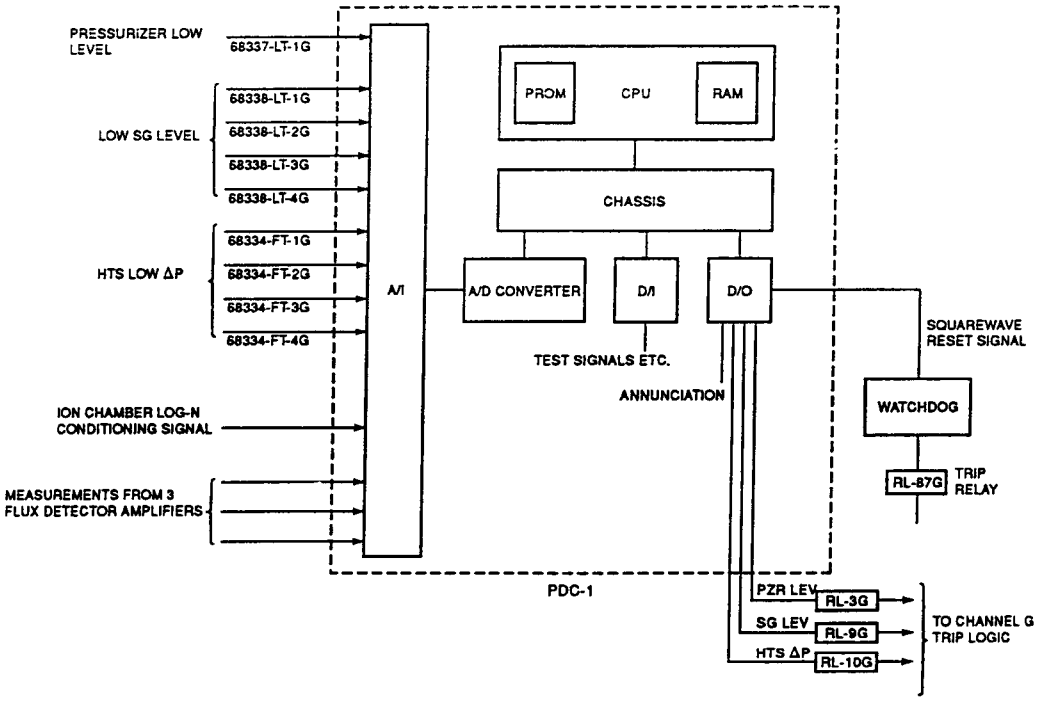

그림 6. Channel G Pdc-1 and Watchdog (Other Channels Are Identical)

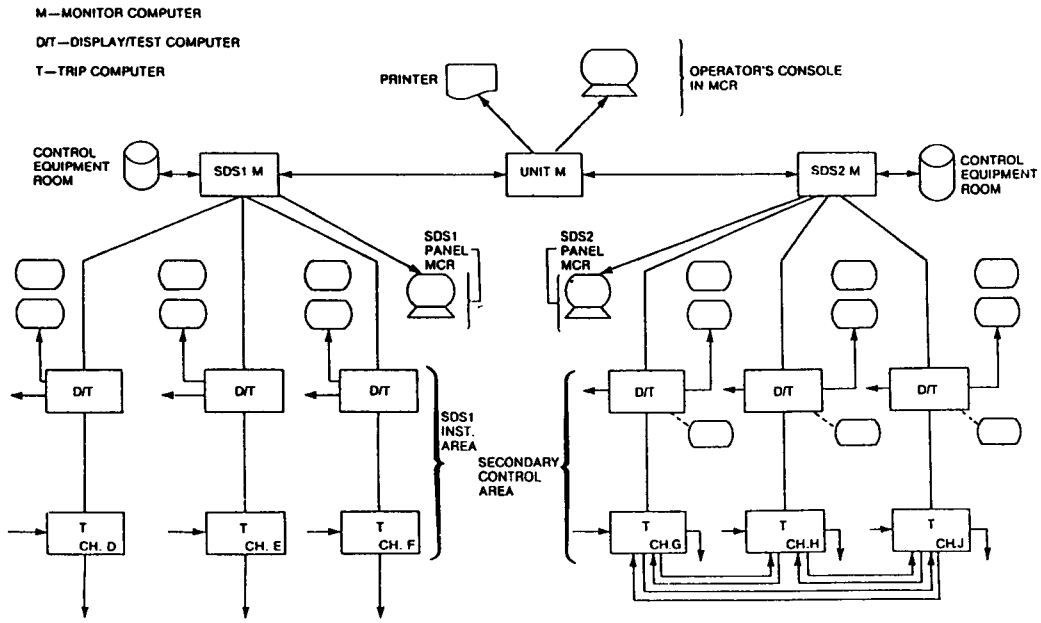

그림 7. Configuration of Fully Computerized Shutdown Systems

ed Trip 설비를 운용하고 있는 반면에 Display, 각 트립 변수 로직시험 기능까지 추가한 Fully Computerized Shutdown System을 채택하여 운전중에 있다(그림7 참조).

이들 기능을 담당하는 각 컴퓨터들은 3개의 채널별로 구성되었고 이들은 채널별로 할당된 Trip Computer, Display/Test Computer와 각 시스템 SDS1, SDS2에 한 개씩 연결된 Shutdown System Monitor Computer, 그리고 두 계통(SDS#1/SDS#2)과 같이 연결되어 정보를 받아 드리는 Unit Monitor Computer로 되어있다.

여기서 Shutdown System Monitor Computer는 운전원과 각 원자로 정지계통과 연결되어 관련 정보를 모니터링하며 Display Computer는 과거에 생성된 정보 저장이라든가 각 채널에 대한 해당 트립 변수의 값과 설정치, 트립 마진, 신호에 대한 Trends등을 표시한다. 그리고 최상위의 Unit Monitor Computer는 운전원 Console에서 원자로 정지 계통(SDS#1/SDS#2)의 어느 채널이라도 Access가 가능하도록 되어 있고 필요시 프린터로 관련 정보, Trends를 Hardcopy할 수있다.

특히 기존 CANDU 6에서 원자로 정지 계통의 각트립 변수 로직에 대한 보증, 주기 시험을 운전원에 의해 수동으로 정기적으로 수행하고 있는데, Test Program에 의해 자동으로 Safety System Test(SST)를 수행하므로 시험에 대한 운전원의 심리적 부담을 경감하여 운전원에 의한 Human Error 방지및 계통 신뢰도 향상에 기여할 것으로 판단된다.

또한 Display 기능까지 컴퓨터가 담당하므로 기존 제어판넬에 복잡하게 설치된 Analog 방식의 지시 계측장치의 수를 줄여 판넬을 단순화하게 하고 있다.

이렇게 하여 1980년 초부터 CANDU 6에 장착하기 시작한 Computer based Shutdown System을 CANDU형 발전소에 적용하므로, 기존 계통의 고장율에 비하여 고장빈도가 현격히 감소되어 계통의 신뢰성을 높혔고 아울러 운전여유도 향상, 허위신호에 의한 원자로 정지빈도 감소, 운전원 업무량감소등 효과를 가져오게 되었다.

4. 월성 1호기와 2, 3, 4호기와의 차이점

4.1. 발전소제어용 전산분야

월성 1호기에서 DCC X 및 DCC Y 모두는 32K Word용량 Core Memory(자기 기억장치)를 포함한 Varian-73 컴퓨터가 그 핵심 기능을 수행하며, 이에는 RTC (Real Time Clock)등의 Option기능을 수행할 수있는 Option Board와 Auto-Restart Board를함께 가지고 있다.

Bulk Memory장치로서는 F.H.D(Fixed Head Disc) System이 있는데 이는 Option중의 하나인 PMA(Priority Memory Access)와 BTC(Block Transfer Controller)를 이용하여 컴퓨터가 동작중에도 정보 전송을 빠른 속도로 가능하게 하며, MHD (Moving Head Disc)는 Program을 Core Memory에 싣는데 이용되기도 한다.

Ramtek Display System은 발전소 현장 상태를 읽거나 경보를 발하는데 사용되며 천연색으로 그림이나 글씨를 읽게된다.

Display System은 DCC X 와 DCC Y가 서로 공유함에 따라 DCC X나 DCC Y 모두 상대쪽에 있는 Display CRT상에 Display할 수 있다.

Status Printer는 컴퓨터가 나타내고자 하는 메세지를 적거나 CRT상에 나타난 그림을 Hard Copy한다.

Data Link System은 DCC X와 DCC Y간에 Data 및 Program을 서로 교환할 수 있게 한다.

Process I/O는 발전소의 각 부분으로 부터 Data를 읽어들이는 눈의 역할과 각 시 스템을 구동하는 손의 역할을 하며 그 종류를 보면 발전소 현장기기의 접점 상태를 읽는 Digital Input, 상사형(Analog)신호를 읽는 Analog Input, Relay나 Switch를 구동하는 Digital Output, 어떤 양을 조정, 구동하는 Analog Output등이 있다.

Contact Scanner는 발전소의 천여개에 달하는 발전소의 각 접점을 감시하다가 상태의 변화가 생기면 Interrupt를 통하여 컴퓨터에 Report함으로써 컴퓨터는 경보 상태가 새로 발생하였는지 아니면 정상상태로 회복되었는지를 알게되어 Display상의 메세지를 변경시키게 된다. Contact Scanner는 1개로 구성되어 있는데 필요에 따라 스위치를 통하여 DCC X나 DCC Y에 연결된다.

그리고 발전소 제어용전산기는 자기 진단(Self Check)기능과 Watchdog Timer에 의한 하드웨어적 방어 기능을 가지고 있다.

자기진단(Self Check)기능은 컴퓨터 수행 능력이나

입출력(디지탈/상사형)장치의 상태를 점검하기 위해 대표적인 회로에 Data를 보내, 그것을 읽어들여 고장 여부 를 알수있게 하여 계통 신뢰도를 향상시키고 있고 Watchdog Timer Module 는 정상적인 경우, 프로그램(EXTC)에 의해 매 0.5초 마다 Control Pulse를 받아 Update를 시키다가 정해진 시간(1-7초)내에 펄스가 들어오지 않으면 Watchdog Timer는 Time-out신호를 내 보내 Watchdog Timer와 연결되어진 Relay가 비여 자(De-energized)되어 컴퓨터에서 나가는 모든 D/O를 개방시키고 A/O는 4 mA의 전류를 내 보내게 된다.

2개의 Watchdog Timer Module중 어느 하나만의 time-out도 컴퓨터가 비정상(고장)상태라는 것을 의미하며, 그 신호가 Auto Restart회로에 전달되면 컴퓨터는 재기동 하게되며, 만약 5분 이내에 두번 이상의 Restart가 발생하면 컴퓨터는 재 기동되지 않고 그 기능을 상실하게 된다(그림8 참조).

월성 2, 3, 4호기와 주된 차이점은 Turbine/Generator관련 제어가 월성 1호기에서 는 발전소 주제어용 전산기인 DCC X에 의해서 이루어졌는데, 월성 2, 3, 4에서는 이를 DCC X에서 분리하여 전용 터빈/발전기 제어용 전산기(TBN/GEN Controller)인 'Mark-V'를 도입, T/G 자체 제어는 물론 Run-up, Loading/Unloading, 관련 Data Logging, 운전 변수 Data 지시 및 감시하는 기능을 가지며, 프로그램 Booting용으로 종이테이프 판독기(Paper Tape Reader/Puncher)을 이용하고 있는데, 월성 2, 3, 4에서는 3.5" Floppy Disk와 Disk Driver로 대체되었고 Off-line 프로그램 개발장치인 MHD(Moving Head Disc)가 PC(Personal Computer)로 대체되었다.

그외에도 Fixed Head Disc가 Drum형에서 반도체형인 RAM Disk로 CRT Terminal이 PC(Personal Computer)로 대체되었다.

또한 정보 기록 화면 Hard Copy를 한 Status Printer가 Message기록용 프린터와 화면 Hard Copy용 프린터로 각각 분리되어 운용하고 있다.

그리고 Software적으로 변경된 점은 Hardware 변경에 따른 영향으로 Off-Line 운영체제와 On-Line 운

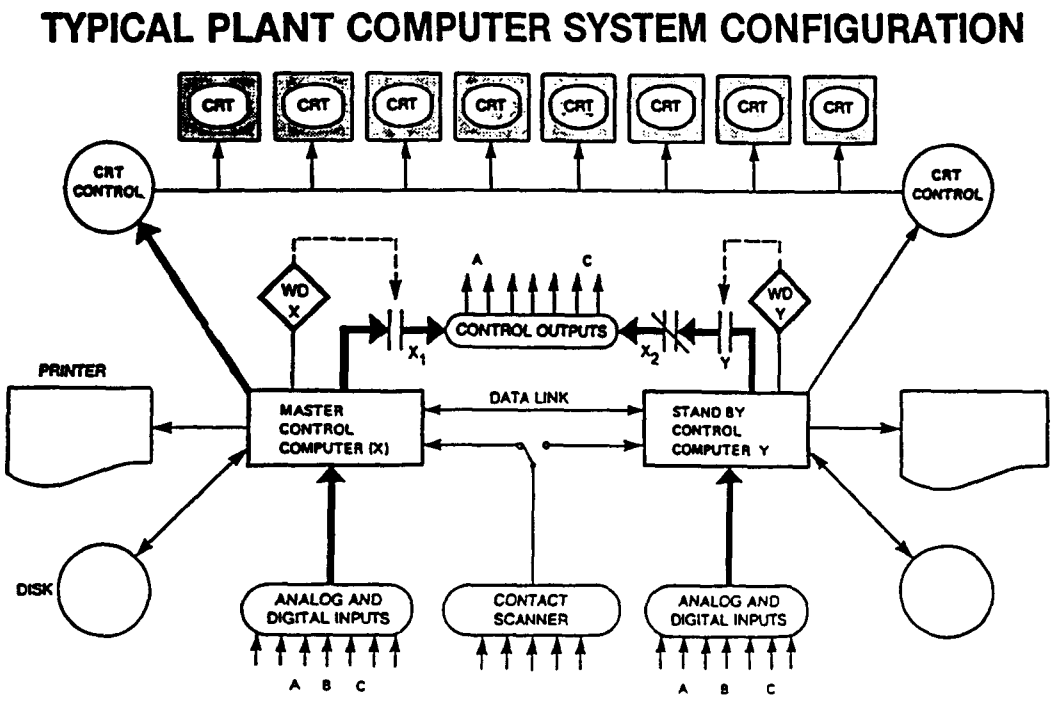

그림 8. Dual Control Computer System

영체제라 할 수 있다.

이는 Virtual Memory 및 Cache Memory의 도입으로 Slow나 Fast Program이 Memory의 일정 영역에 할당되어 수행되는 것으로서 월성 1호기에서 사용된 Overlay기법보다 신뢰성과 처리속도를 향상시켰다.

4.2. 원자로 정지계통 전산분야

월성 1호기 PDC Hardware 기종은 미국 Data General Corp. 의 MP100으로서 16 bit Microprocessor (mN 602)가 내장된 CPU Board와 2가지형의 Memory(4K RAM /8K PROM)Boards 및 Power supply장치로 구성되어 있다.

CPU는 필요에 따라 PROM속에 들어있는 프로그램을 RAM에 불러들여 계산, 처리하여 실행시키고 Power Supply Board는 MP100에서 필요한 전원을 공급한다.

그리고 입출력 계통으로 Digital Input /Output, Analog Input /Output Boards가 있는데 Digital Input은 냉각재 펌프 운전 상태를 나타내는 Handswitch로 부터 입력을 받고, 반도체형 Digital Output은 Watchdog Update 신호 제공 및 Local Error Message Display를 Relay형 D/O은 트립 로직을 각각 구동 시킨다.

그리고 상사형(Analog)Input은 현장의 계측장치로부터 상사형 신호(예, 이온전리함 출력,중성자출력 검출기 출력)를 읽어 들이고 상사형 Output은 주제어반 판넬 Display Meter를 구동시키는 역할을 하고 있다.

그리고 광범위한 자기 진단(Self Check)기능이 제공되어 있는 데, 이는 입출력 계통의 특별히 지정된 디지탈 및 상사형 출력을 통해 지정된 신호(디지탈은 ON/OFF, 상사형은 0.5−5.0 Volt)를 내 보내어 일정 시간 혹은 지정된 값을 해당 디지탈 및 상사형 입력에서 받아 들임으로써, 입 출력 계통에 대한 자기 진단 기능을 수행한다.

또 다른 하드웨어적 방어 개념으로 Watchdog Timer를 사용하고 있는 데, 프로 그램에 의해 관련 반도체형 D/O를 통해 10 Hz의 사각파형 펄스가 Watchdog Timer Module내의 정류기에 의해 직류 48 Volt로 변환하여 Relay를 여자시켜, 관련 트립 접점을 Close시키고 있다가 컴퓨터내의 고장(H /W 혹은 S /W)이 일어나면 사각파형 신호 발생이 중단, 해당 Relay가 비여자되어 해당 채넬을 Open된 트립 상태로 유지 한다(그림 9 참조).

Hardware적으로 다른 점은 월성 1호기는 Digital Output이 두가지 형으로 되어 있는데 반하여 월성 2, 3, 4는 Watchdog Update용으로 Type 2 Digital Output이 1개만 이용되고 나머지 Output은 Type 1 Digital Output Board에서 관장한 것 이 다른 점이라 할 수 있다.

월성 2, 3, 4에서는 월성 1호기 PDC제작자인 미국 Data General Corporation의 제작중단 및 Safety System Software QA 요구조건 강화로 SDS1및 SDS2의 Hardware, Software는 서로 다른 기종, 서로 다른 소프트웨어로 설계되어 체계 적이고 계획적인 Software Engineering지침에 의해서 개발되어 확인(Verification) 및 검증(Validation)절차를 거쳐 각종 시험(Test)단계를 거쳐 1995년 상반기에는 월성 현장에 설치될 예정이다.

월성 2, 3, 4에서는 SDS1용으로 ABB Power Generation Ltd. 의 PRO 3, SDS2용으로 PEP Modular Computer Inc. 의 VM-30으로 선정되었다.

여기서 사용되는 Language는 월성 1호기에서는 Data General Corporation의 Assembly Language가 SDS1 및 SDS2에 모두 사용하고 있는데, 월성 2, 3, 4에서는 SDS1용으로 P-10(Ladder Logic), SDS2용으로는 Modular 2(Advanced Pascal)를 각각 사용하였다.

그리고 운전원 및 보수원에게 각각 운전정보, 보수 관련 정보를 제공한 LEM (Local Error Message)Display가 월성 1호기에서는 모두 현장(SDS1은 CER, SDS2은 SCA)에 각각 설치되어 운용되고 있지만 월성 2, 3, 4에서는 현장에서 생성된 경보 내용을 현장뿐만 아니라 주제어실에서도 운전원 및 보수원에게 볼 수 있게 한 것으로 주제어용 전산기(DCC)의 Contact Scanner를 이용하여 25″ CRT에 경보 내용이 생성되게 하여 운전 및 보수 유지에 도움을 줄 것으로 판단 된다.

5. 결 론

본 보고서는 AECL CANDU에서의 중수로형 발전소의 발전소 제어 및 원자로 정지계통 분야에 컴퓨터 기술을 적용한 배경과 그 과정을 2장, 3장에서 각각 서술 하

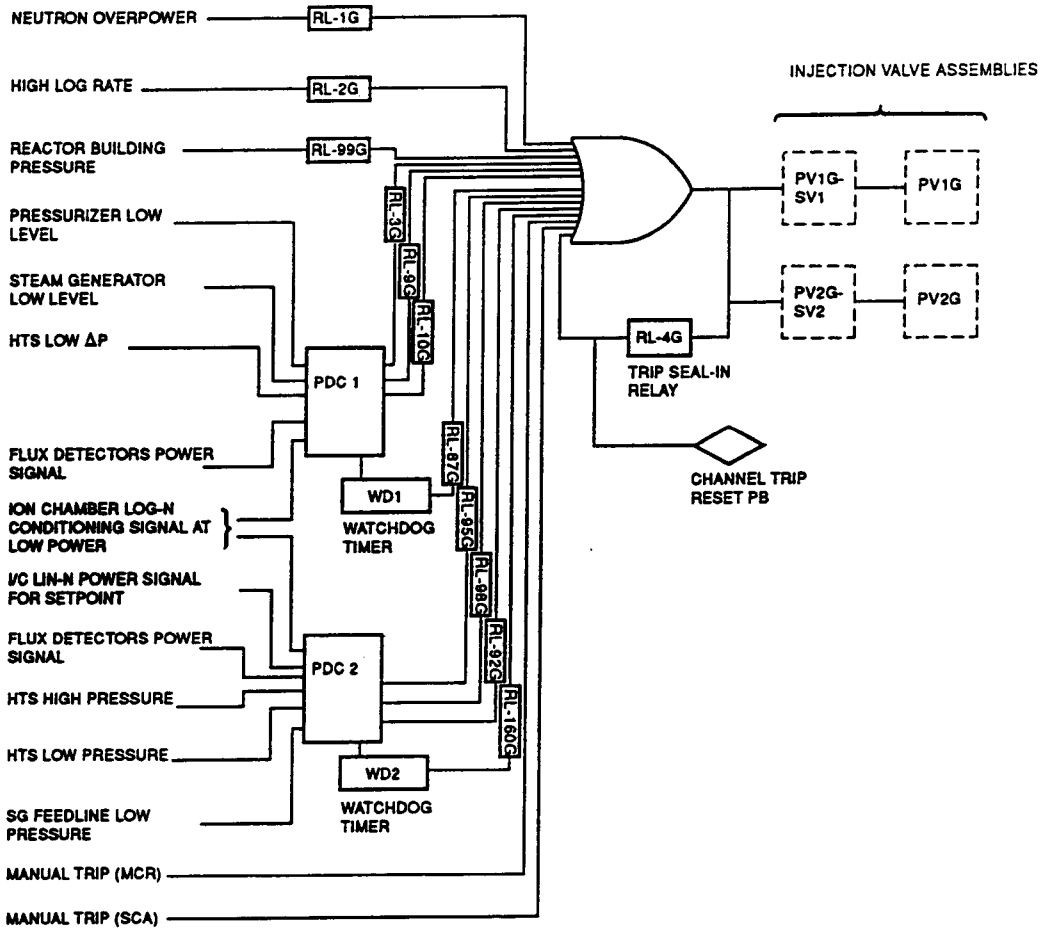

그림 9. Channel G Trip Chain Logic (Including Valve Actuation) (Channels H Are Identical)

고 4장에서는 이들 설비가 월성1호기에서와 2, 3, 4호기에서의 차이점, 즉 설계 변경된 부분을 그동안 필자의 월성현장 및 AECL과의 월성2, 3&4 공동설계 경험으로 고찰하여 보았다.

우리나라에서도 원전 계측제어분야의 설계개선의 필요성이 요구되는 시점에서 발전소 제어 및 보호(안전) 계통에 본 보고서에서 서술한 입증된 설계 기술과 개량 기술을 적극적으로 활용, 특히 향후 중수로 후속기 도입 시 적용성을 검토하여야 할 것이며 이를 위하여 컴퓨터의 발전소 제어 및 원자로 안전계통 적용에 대한 계통 설계, 그에 따른 하드웨어개발 및 국내 인허가 기준에 따른 소프트웨어 확인 및 검증 기법 개발등 관련 제반 기술에 대한 연구와 개발이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. Wolsong 1, 600 MWe Digital Computer Controller System Manual.
2. Wolsong 2, Design Manual, 86-68300-DM-003 Rev. 0 Trip Logic & Test Circuitry.
3. Wolsong 2, Design Manual, 86-68300-DM-007 Rev. 0 PDC Hardware.
4. J.R. Popovic & G.J. Hinton, CANDU Computerized Safety System, EPRI Conference Advanced Computer Technology for Power Industry, Dec. 4−6, 1989.

5. M.M. Ichiyen & N. Yanofsky, Computers' key role in CANDU Control, Nuclear Engineering International, Aug. 1980.

6. R.S. Gilbert, Control & Safety Computers in CANDU Power Stations Nuclear Power & Electronics.