

# 분산제어방식을 적용한 CANDU형 발전소의 계측제어계통

김영백, 홍형표, 한재복

한국원자력연구소

캐나다 원자력공사(AECL)에 의하여 1960년대 초에 개발되어 상업운전중이거나 건설중인 CANDU 6 발전소는 중앙집중제어방식을 채택하여 계통의 성능 및 신뢰성이 입증되었으나 경제성 및 유지보수의 어려움으로 인하여 현재 개발이 진행중인 CANDU 3과 CANDU 9 발전소에서는 프로그래머블 콘트롤러를 이용한 분산제어방식을 기반으로 하여 계측제어계통이 설계되고 있다. 분산제어계통은 우수한 확장성과 신뢰성으로 인하여 이미 일반 산업 분야에서 널리 활용되고 있으며 최근에는 원자력발전소에도 적용범위가 계속해서 확대되고 있다. 본 보고서는 최신의 계측제어기술을 적용하여 차세대 대용량 원자력발전소로 개발중인 CANDU 9 발전소의 발전소 전체어계통과 핵연료취급제어계통 등 계측제어계통에 대한 주요 계통설계 방안과 분산제어계통의 설계개념을 소개하고 CANDU 발전소에 분산제어방식을 적용한 장점을 고찰하고자 한다.

## 1. 서론

CANDU 발전소는 우리 나라에서 운용중인 월성 1 호기 발전소와 건설중인 월성 2, 3, 4 호기를 비롯하여 전세계적으로 30여기 이상이 상업운전중이거나 건설중에 있다. 지난 20년 이상의 상업운전을 통하여 CANDU 발전소의 가동률, 안전성 및 신뢰성 뿐만 아니라 설계의 우수성이 입증되고 있다.

현재의 CANDU 발전소에 대한 기본 제어기능은 릴레이 논리회로, 타이머, 비교기 및 아날로그 제어기 등 다양한 기기들에 의하여 수행되고 지능적이고 복잡한 기능은 발전소 제어용전산기에 의하여 중앙 집중제어방식으로 수행된다 [1]. 제어기기 들은 주로 기기 선반 내에 설치되며 케이블이나 중앙 배전반 내의 연결배선으로 서로 연결된다. 발전

소제어용전산기는 1966년에 상업운전을 개시한 캐나다의 Douglas Point 발전소에 처음 도입되어 일부 계통에 대한 경보의 감시와 제공, 운전정보의 표시 및 기록 등의 제어기능을 수행하기 시작한 이후 점차 적용 범위가 확대되어 왔으며 현재는 발전소의 전반적인 감시 및 제어 뿐만 아니라 원자로의 안전계통에 까지도 사용되고 있다[2]. 발전소제어용전산기 계통은 중앙제어실에 위치한 동일 규격의 디지털 컴퓨터 DCC-X 및 DCC-Y의 2 대로 이루어져 있으며 DCC-X는 주운전용(Master)이고 DCC-Y는 예비용(Stand-by)으로 DCC-X에 이상이 있을 때 그 임무의 전부 또는 일부를 맡아 수행한다. 이처럼 이중(Dual) 컴퓨터 제어구조로 인하여 발전소 제어기능의 MTBF(Mean Time Between Failure)가, 한 대만의 컴퓨터를 사용할 때 보다, 훨씬 연장되어 컴퓨터 고장으로 인한 발전소 정지의 발생을 줄이게 되었다.

근래 전자기술의 눈부신 발달과 새로운 자동화 관련 기기의 개발과 출현은 발전소 계측제어계통에 대한 획기적인 성능 향상을 가능하게 하였다. 이것은 최근 건설된 캐나다의 Darlington 발전소에 반영된 설계개선 내역과 개발중인 발전소의 성능 향상 목표를 통하여 입증되고 있다. Darlington 발전소 계측제어계통은 CANDU 6 발전소와 동일한 제어방식을 가지고 있으나 계통 출력부의 릴레이 논리회로를 마이크로프로세서가 내장된 OH-180이라는 프로그래머블콘트롤러를 사용하여 대체하였으며 개발중인 400 MWe급의 CANDU 3 발전소는 제어방식을 변경하고 운전원 실수를 감소시키기 위하여 Man-Machine Interface를 대폭적으로 개선하는데 중점을 두고 있다.

CANDU 3 발전소뿐만 아니라 CANDU 9 발전소의 개발에서 검토하고 있는 주요 성능개선항목중 특히 괄목할 만한 것은 분산제어방식의 적용이라고 할 수 있다. 중앙집중제어

방식으로 설계된 CANDU 6 발전소의 계측제어계통은 기기의 상호 연결을 위하여 막대한 배선연결을 필요로 하고, 기기 및 부품의 생산중단시 설계변경 등의 대책수립이 요구될 뿐만 아니라 설계의 유연성 부족 등 여러 가지 단점과 문제점이 있는 반면 분산제어방식을 적용하여 계통을 설계하면 이러한 문제점을 해결할 수 있다[3, 4]. 또한, 분산제어개념은 이미 여러 산업분야에서 응용되고 있으며 최근에는 원자력발전소의 설계에도 적용되기 시작하여 우수한 성능과 장점을 보여주고 있다. 원자력발전소에 분산제어방식이 채택된 대표적인 사례를 든다면, 미국 웨스팅하우스사가 설계한 분산제어계통이 1995년부터 상업운전을 개시한 영국 싸이즈웰 B 발전소에 적용된 것을 비롯하여 현재 건설중인 프랑스 N4 발전소에서는 수십 개의 프로그래머블콘트롤러를 사용하여 발전소 분산제어계통을 구성하고 있다. 국내 원자력 발전소에서는 처음으로 미국 ABB사의 P13/42 제품을 사용하여 구성된 분산제어계통이 월성 2, 3, 4 호기 발전소 제 1 정지계통의 제어를 위하여 사용된다.

캐나다 AECL사는 최신의 계측제어 기술을 적용하여 차세대 대용량 원자력발전소로 활용하기 위한 900 MWe급의 CANDU 9 발전소의 개발을 착수하였으며[5, 6] 우리나라도 이 발전소의 국내건설 타당성에 대한 검토와 개발 과정에 참여를 고려하고 있다. 따라서 이 보고서는 CANDU 9 발전소 계측제어계통에 대한 주요 설계방안을 기술함으로써 분산제어방식을 적용한 CANDU 발전소의 설계개념의 예로써 소개하고자 한다.

## 2. 계통구성 및 설계개념

CANDU 9 발전소는 발전소 전제어계통과 핵연료취급제어계통으로 대별되는 발전소 계측제어계통에 의하여 운전된다. 즉, 원자로 및 발전소 공정계통에 대한 아날로그 및 논리 제어기능은 발전소 전제어계통에 의하여 병렬처리 방식으로 수행되며, 핵연료교환 공정에 대한 순차제어와 기타 관련 공정에 대한 아날로그 및 논리 제어기능은 핵연료취급제어계통에 의하여 수행된다.

CANDU 9의 발전소 전제어계통은 CANDU 6 발전소와 Darlington 발전소의 설계를 통하여 축적된 고도의 자동화된 CANDU 발전소 계측제어계통 개념을 근간으로 하여 최신의 디지털 기술과 정보통신 기술을 적용함으로써 성능 향상을 도모하고 있다. CANDU 9의 핵연료취급계통은 CANDU 6의 핵연료취급계통의 모든 제어기능을 포함하면서 가동률, 신뢰성 및 정비성을 향상시키기 위한 개선항목 등 추가된 특징을 지니고 있다.

CANDU 9의 분산제어계통은 계통의 신뢰성을 향상시키기 위해서 여러 방안을 채택하고 있다. 계통이 이중중첩 구조를 가지며 정상운전중인 계통에 고장이 발생하면 자동적

으로 예비계통으로 연결되도록 설계한다. 모든 고속정보전송로와 관련 소자들도 이중중첩 구조를 가지도록 하며 고장 발생률이 매우 적은 통신방식을 채택한다. 모듈화 설계를 통하여 하나의 모듈에 고장이 발생하더라도 고장을 모듈로 제한하여 전체 계통에 영향을 주지 않도록 하였으며 전체 계통의 운전이 지장을 주지 않고 모듈을 교체할 수 있도록 하였다. 설계과정을 통하여 분산제어계통에서 발생할 수 있는 문제점을 지속적으로 도출하고 그 위험성을 분석하여 필요시 분석 결과를 설계에 반영할 수 있도록 하고 있다.

## 3. 발전소 전제어계통

### 가. 설계 개요

CANDU 9의 발전소 전제어계통은 기존 CANDU 형 원전에 비하여 발전소 제어능력을 크게 향상시키도록 설계됨으로써 발전소의 운전, 정비 및 관리에 소요되는 총비용을 절감하는데 기여하도록 하였다. 이를 위하여 설계과정에서 고려된 주요한 사항으로는,

첫째, 계측제어 구성품의 소요수량과 종류를 대폭 감소시키고, 발전소의 배선 작업량을 줄이는 방안,

둘째, 이상상태 발생시 발생위치를 신속 정확하게 알리는 진단기능의 강화방안,

셋째, 기능기술 언어(FBL, Functional Block Language)를 이용한 제어프로그램 작성,

넷째, 제어계통에서 발생하는 고장을 조기에 감지하고 영향을 국부 제한하는 자동화 시스템을 도입하는 것 등이다.

CANDU 9의 발전소 출력제어는 기존의 CANDU 발전소에 사용된 개념과 유사하며 정상운전모드와 대체운전모드 하에서 운전된다. 정상운전모드에서는 원자로가 터빈의 출력 요구에 따라 제어된다. 즉, 전력계통에서 요구하는 전기 출력 및 열출력을 발생시킬 수 있도록 터빈에 공급되는 증기량을 조절하고 증기공급계통 내의 증기압을 일정하게 유지하도록 원자로출력을 증감한다. 정상운전모드에서는 급격한 계통주파수의 변화를 보상할 수 있도록 발전소가 운전된다. 따라서 주파수가 낮아지면 조속기 밸브가 열려 증기압이 낮아지게 되지만 곧바로 원자로의 출력상승이 유발되어 증기압을 일정하게 유지하게 됨으로 주파수강하가 보상된다. 대체운전모드에서는 터빈이 원자로출력변화에 따라 제어된다. 대체운전모드에서는 원자로출력의 설정치가 운전원에 의해 결정되며 터빈으로 공급되는 증기량은 원자로출력과 일치하도록 자동적으로 조절된다. 이 모드는 발전소가 전력계통 내에서 기저부하를 담당하도록 운전될 때 적합하다.

### 나. 계통구성

CANDU 9 발전소 전제어계통은 컴퓨터를 중심으로 한 소

소프트웨어제어계통(소프트계통)과 전자이산소자로 구성된 하드웨어계통(하드계통)으로 이루어져 있으며, 센서와 구동기 및 관련 연결배선과 전원공급기 등의 하드웨어 구성품을 포함한다.

하드계통은, 소프트계통의 고장 발생시, 고온가압상태(Hot Pressurized State)에서 상온감압상태(Cold De-pressurized State)로 발전소를 유지시키기 위하여 필요한 제어기능, 표시기능 및 경보기능을 수행할 수 있도록 주제어실 판넬상의 아날로그 구성품 및 릴레이 등 전자이산제어 소자와 연결배선으로 구성된다.

소프트계통은 발전소 분산제어계통(DCS, Distributed Control System)을 의미하며 대부분의 비안전계통에 대한 제어기능을 담당할 뿐만 아니라 발전소지시계통(Plant Display System)이 감시, 경보, 정보표시 및 기록 등의 기능을 수행할 수 있도록 필요한 정보인식 기능을 제공한다. 또한 발전소지시계통을 통하여 입력되는 운전원 명령을 수행한다.

센서와 구동기는 기존의 CANDU 발전소에서 사용되고 있는 것과 유사하다. 구성 기기 상호간의 신호 및 정보교환은 각 구성 기기와 고속정보전송로(Data Highway) 사이의 연결배선과 고속정보전송로를 통하여 이루어진다.

#### 다. 제어기능의 할당

발전소 전제어계통은 자동모드와 수동모드로 운전이 가능하다. 자동모드 운전은 발전소 분산제어계통과 하드계통에 의하여 수행될 수 있으며 발전소 안전요건에 따라 두 계통 중 하나를 선택하여 기능을 할당하게 된다. 정상운전 시에는 발전소 분산제어계통이 제어기능을 담당하지만 발전소 분산제어계통에 고장이 발생하면 하드계통이 제어기능을 담당한다.

#### 라. 발전소 분산제어계통

CANDU 9 발전소 전제어계통은 Darlington 발전소의 분산제어계통과 같은 개념의 분산제어방식을 채택하고 있으며 발전소 전체 공정의 감시 및 제어기능과 경보기능을 효율적으로 수행하기 위하여 그룹제어(Group Control) 및 기기제어(Device Control) 등 두 가지 등급의 제어기능 체계를 갖도록 설계되었다. 그룹제어기들은 주요한 제어기능을 담당하던 기존 CANDU 발전소의 중앙 컴퓨터인 DCC-X와 DCC-Y의 기능을 대신하고, 기기 제어기들은 기존 CANDU 발전소에서 PLC 또는 전용 아날로그 제어기들과 릴레이 논리회로 등으로 수행되던 하드웨어의 기능을 담당한다. 이중 중첩 구조는 계속 유지된다.

##### 1) 설계요건

발전소 분산제어계통의 요건은 기존의 CANDU 제어계통

설계를 통하여 입증된 개념을 기반으로 하고 있다.

발전소 분산제어계통의 입력모듈은 4-20 mA 전류형 아날로그 입력, 0-5 Vdc 전압형 아날로그 입력, 열전대 아날로그 입력, 0-3  $\mu$ A 중성자속분포 감지기 입력, 48 Vdc 디지털 접점 입력과 직렬정보 입력 등의 신호형태를 처리할 수 있어야 한다. 모든 아날로그 입력은 단선, 단락 또는 신호원의 이상으로 인한 신호상실을 감지할 수 있어야 하며, 상실된 입력신호는 제어처리 프로그램에서 확인될 수 있도록 비정상 신호로 표시되어야 한다. 아날로그 입력단은 잡음을 감소시키기 위하여 저역통과필터를 내장하여야 하며, 디지털 입력단은 접점의 되튀김 현상을 방지하기 위한 장치를 갖춰야 한다. 발전소 분산제어계통은 제어모드 및 설정치 변경 등의 발전소지시계통으로부터의 제어명령을 수신할 수 있어야 한다.

발전소 분산제어계통의 출력모듈이 공급할 수 있는 신호형태는 4-20 mA 전류형 아날로그 출력, 24 Vdc/100 mA-max.의 저전력 디지털 출력, 48 Vdc/500 mAmax.의 고전력 디지털 출력과 직렬정보 출력 등이어야 한다. 발전소 분산제어계통으로 입력된 모든 정보와 발전소 분산제어계통 내에서 처리된 아날로그 및 디지털 계산치는 발전소지시계통으로 전송되어야 한다.

응용 소프트웨어는 제어용 입력신호에 대하여 합리성 확인 및 일치성 확인을 실시하여야 한다.

각 기능분리블록은 발전소 분산제어계통/발전소지시계통 간 정보송수신기와 그룹제어기 및 기기제어기 사이의 상호 정보 송수신, 그룹제어기와 기기제어기 사이의 상호 정보 송수신 및 기기제어기로부터 출력모듈로 정보 송신 등의 내부 통신기능을 가져야 한다.

발전소 분산제어계통은 건물 냉각계통의 고장, 수증기 누출, 누수 및 살수, 침수, 원자로 건물 내의 급격한 방사선 변화, 미사일 공격 또는 충격 등 비정상 환경 조건하에서도 기능 저하가 유발되지 않도록 설계 및 설치되어야 한다.

발전소 분산제어계통은 정해진 조건의 전자파 내력을 가져야 하며, 입,출력 회로 및 외부 전원공급기 회로의 과도전기 현상에도 견딜 수 있도록 설계되어야 한다.

##### 2) 계통구성

발전소 분산제어계통의 구성은 그림 1 과 같이 발전소 전체의 공정계통을 크게 5 개의 독립적인 기능분리블럭(Functional Partition)으로 구분하고 정보경로선택기(Transfer Station)와 고속정보전송로를 이용하여 기능분리블럭 상호간을 연결하며 PDS 정보송수신기(Gateway)를 통하여 발전소지시계통과도 연결된다. 소프트웨어 유지관리기(Software Maintenance Station)는 소프트웨어의 수정 및 유지관리 기능을 담당한다.

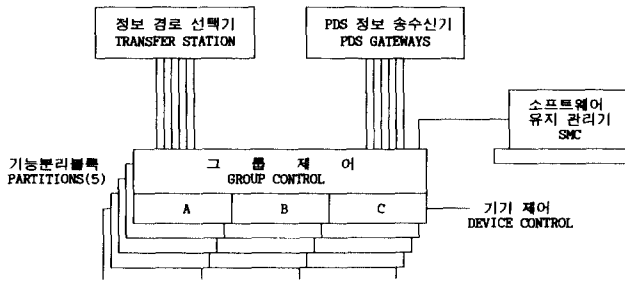


그림 1. 발전소 분산제어계통 구성.

### 3) 하드웨어

발전소 분산제어계통은 ABB사의 상용 모델인 P13/42 Procontrol 제품을 사용하여 설계되었으며, P13/42 분산제어계통은 지역버스(Local Bus)와 고속정보전송로(Data Highway)를 사용하여 통신기능을 수행한다.

지역버스는 각종 카드가 삽입되는 후면기판의 신호선으로서 연장선과 증폭기를 사용할 경우 최대 30 미터까지 연장할 수 있으며, 단일 지역버스 내에 여러 대의 카드프레임을 설치할 수 있다. 단일 지역버스 상에 설치된 모든 장비를 집합하여 P13 Station 이라고 한다.

고속정보전송로는 동축케이블을 사용하며, P13 Station들을 상호 연결하여 완전한 시스템을 구축하기 위한 통신망으로서, 최대 길이는 1,400 미터이다. 두 버스간의 정보교환은 주소와 단일 16비트 데이터로 구성된 정보 형태로 이루어진다. 따라서 각 데이터는 한 개의 아날로그 신호나 16개의 상태 신호를 표현할 수 있다.

P13/42는 버스 제어기, 프로세스 입력모듈, 프로세스 출력모듈, 지역버스와의 데이터 송수신 프로세서, 버스 결합기 및 주변장치 연결 카드(PIF Card)로 구성된다.

### 4) 계통의 정보 통신

발전소 분산제어계통은 그림 2의 전체 계통도와 같이 5개의 기능분리블록을 갖는다.

1. 원자로 조절계통(Reactor Regulating System) 및 감속재 계통(Moderator System)
2. 냉각재계통(Heat Transport System)
3. 주증기 및 급수계통(Main Steam and Feedwater System)
4. 기타 핵증기 설비계통(Other Nuclear Steam Plant System)
5. 기타 보조설비계통(Other Balance of Plant System)

각각의 기능분리블록은 이중고속정보전송로(DH<sub>Xn</sub>과 DH<sub>Yn</sub>, 여기서 n은 해당 기능분리블록에 부여된 번호 임)를 포함하고 있다. 고속정보전송로는 기능분리블록 내의 정보통신뿐만 아니라 다른 기능분리블록 및 발전소지시계통과의 정보송수신을 담당한다. 발전소지시계통과의 통신을 위하여 각

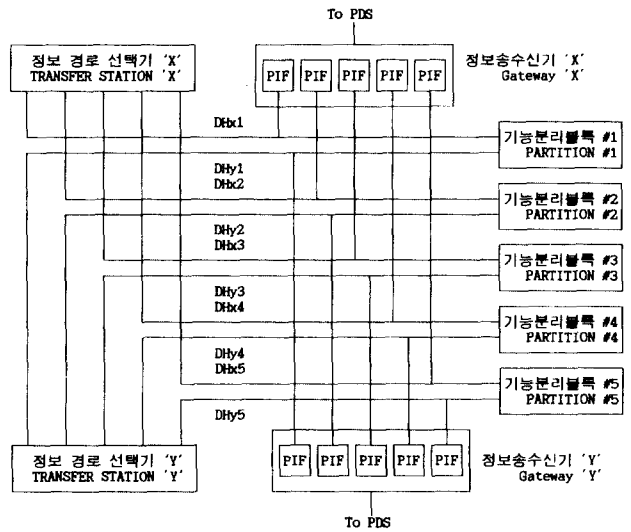


그림 2. 발전소 분산제어계통 계통도.

기능분리블록은 한 쌍의 PIF 카드를 가지고 있으며 각 PIF 카드는 해당 PDS 정보송수신기 내에 한 개씩 설치된다. 기능분리블록 상호간의 통신은 정보경로선택기를 통하여 이루어진다. 두 개의 정보경로선택기는 이중 고속정보전송로의 각각을 조종한다.

### 5) 기능분리블록

각 기능분리블록은 입출력 신호 및 응용 프로그램의 설계요건에 따라 약간의 차이는 있으나 근본적으로 비슷한 내부구조를 가지고 있다. 그림 3과 같이 기능분리블록은 1개의 그룹제어기와 3개의 기기 제어기(DLS<sub>A</sub>, DLS<sub>B</sub> 및 DLS<sub>C</sub>, 여기서 n은 해당 기능분리블록에 부여된 번호 임) 등 4개의 제어기 및 지역버스로 구성된다. 그룹제어기는 채널화되지 않은 반면 기기 제어기는 채널화되어 있다. 지역버스

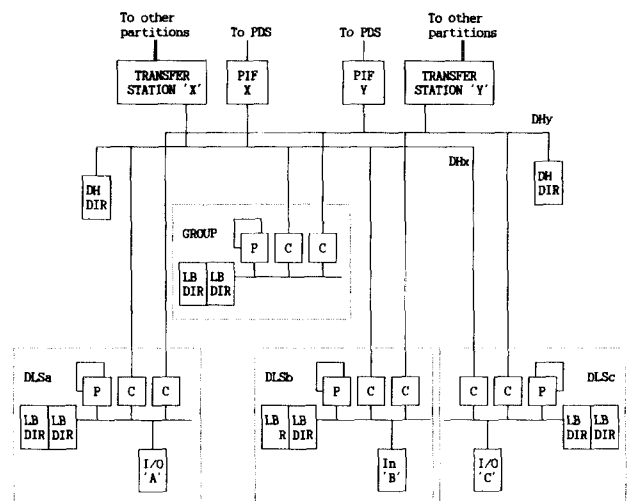


그림 3. 발전소 분산제어계통 기능분리블록 구성도.

는 이중구조로써 모션지시기(LB DIR) 및 고속정보전송로와의 결합장치(C)를 포함하고 있으며, 그룹제어기와 A, C 채널의 기기제어기인  $DLS_{An}$ ,  $DLS_{Cn}$ 는 각각 한 쌍씩의 중첩 처리기(P)를 갖고 있다. 그룹제어를 위한 입력력 신호는 기능분리블록의 고속정보전송로를 통하여 전송된다.

공정계통 입력은 기기 제어기  $DLS_{An}$ ,  $DLS_{Bn}$  및  $DLS_{Cn}$ 에 의하여 주기적으로 주사되며 기기제어기능과 공정계통 출력은  $DLS_{An}$ 와  $DLS_{Cn}$ 에서만 담당한다.  $DLS_{Bn}$ 는 공정계통 출력이나 처리 기능을 갖지 않지만 B 채널 공정신호 입력을 인식하거나 상황 보고를 위한 디지털 입력을 주사하는데 사용된다. 모든 채널은 해당 공정센서로부터의 정보를 인식하는 기능을 수행하며, 이 정보들은 지역버스를 통하여 곧바로 제어처리기로 입력되거나 지역버스와 고속정보전송로를 거쳐 제어처리기로 입력된다.

A, B, C 채널의 각 기기제어를 위한 설비들은 제어기기실 내의 별도 캐비닛에 설치된다. A 채널 전원공급기는 X 계통의 설비와 A 채널의 기기제어기에 전력을 공급하고, C 채널 전원공급기는 Y 계통의 설비와 C 채널의 기기제어기에, B 채널 전원공급기는 B 채널의 기기에 전력을 공급한다. 전원공급기는 이중중첩 구조이며 이중전원공급기 쌍의 출력단이 서로 연결되어 있다.

#### 6) 소프트웨어

소프트웨어는 계통의 제어논리를 그래픽 방식으로 표시하는 기능기술 언어(P10 FBL)를 사용하여 작성된다. 이처럼 고급언어를 사용하기 때문에 별도의 프로그래밍 전문가가 필요 없이 제어설계 담당자가 직접 프로그래밍을 할 수 있으며 작성된 프로그램을 다른 설계자 및 운전요원이 쉽게 이해 또는 확인할 수 있어 계통의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

### 4. 핵연료취급제어계통

CANDU 9의 핵연료 교환 및 이송 작업은 CANDU 6의 경우와 유사한 동작과 절차에 의하여 수행되므로 CANDU 6과 동일한 형태의 작업(Job), 시퀀스 및 순차제어논리에 의하여 제어된다. 핵연료취급제어계통은 4 개의 주요 계통으로 이루어져 있다.

1. 계측 및 전기계통(Instrumentation and Electrical System)
2. 보호제어계통(Protective Control System)
3. 분산제어계통(Distributed Control System)
4. 핵연료취급 운전원 연결계통(F/H Operator Interface System)

핵연료취급제어계통의 전체 구조는 그림 4와 같다.

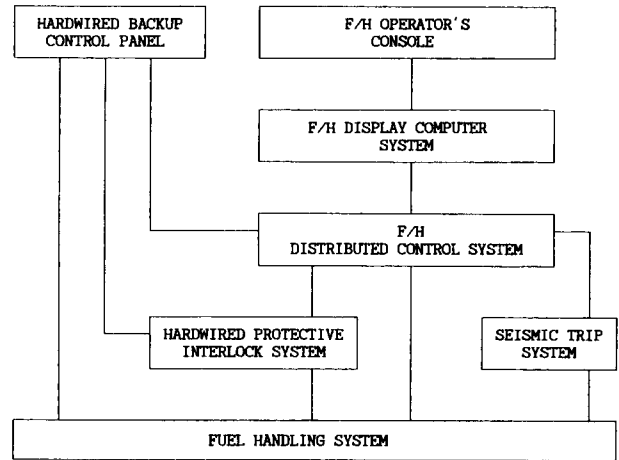


그림 4. 핵연료취급제어계통 구조.

#### 가. 핵연료취급 계측 및 전기계통

핵연료취급계통 중에서 가장 중요한 부계통인 핵연료교환기(F/M, Fuelling Machine)의 CANDU 9 설계는 CANDU 6의 설계와 비교하여 램들의 길이가 길어진 것을 제외하고 동일하다. 따라서, CANDU 9 핵연료교환기에는 CANDU 6과 같은 유압 구동기들과 구동위치 측정 센서가 사용된다.

핵연료취급계통 내에서 다른 부계통들의 CANDU 9 설계는 CANDU 6 설계와 유사하게 기능 임무가 부여되어 있으나 기계적, 전기적 및 계측적 측면에서 보면 구현하는데 있어 많은 차이점이 존재한다. 몇 가지의 예를 들면, CANDU 6에 사용된 교류모터 또는 유압모터들이 무브러쉬 직류모터로 교체되고 CANDU 6의 위치센서들은 레졸버로 모두 바뀌었다. 새로 교체된 구성품들은 소형 경량으로 계통의 내진능력이 향상되고 고신뢰성 제품의 사용으로 계통의 신뢰도 향상 및 유지 보수 필요성의 감소에 기여하는 등 여러 장점을 갖고 있다.

중요한 기계 결합체에 대해서는 이중모터, 이중위치센서 또는 이중제어기 등을 설치함으로써 적절하게 제어의 중첩성을 확보하고 있다. 따라서 구동부의 고장으로 인한 비상수동조작의 필요성이 감소되어, 궁극적으로 보수원의 방사능 노출 사태를 방지하며 원자로 정지의 발생을 억제하는 효과를 가지게 된다.

CANDU 9의 핵연료취급 공정계통은 CANDU 6과 동일한 기능을 수행하고 있지만 성능과 유지보수성을 향상시키기 위하여 단순화 설계를 추진하였다. 반면, 대부분의 공정 관련 계측부분은 CANDU 6과 동일하다.

CANDU 9 핵연료취급계통에 공급되는 전력은 계통의 가용성을 향상시키기 위하여 2등급 무정전 전원을 사용하였다.

#### 나. 핵연료취급계통 보호장치

CANDU 6과 같이 CANDU 9에서도 배선연결의 보호연

동장치가 사용된다. 사용후핵연료 이송시스템의 고장시 사용후핵연료가 공기 중에 고착되는 것을 방지하기 위한 하드웨어계통이 핵연료취급 분산제어계통과 별도로 설치되어 있다.

CANDU 9에서만 독특하게 채택된 지진트리플계통(Seismic Trip System)은 지진 발생을 초기에 감지하여 모든 전기모터에 인가되는 전력을 차단하고 모든 전기구동장치에 브레이크를 걸어 줌으로써 지진 중 핵연료취급장치가 불필요하게 움직이는 것을 방지한다.

#### 다. 핵연료취급 분산제어계통

CANDU 9 핵연료취급제어계통은 전체적으로 CANDU 6과 같은 제어기능을 가지면서 분산제어 개념을 채택하고 있다. 즉, CANDU 6의 비교기, 전류식 경보기, 릴레이 및 아날로그 제어기 등의 하드웨어 소자가 컴퓨터로 대체되고 연결배선의 양이 대폭 감소됨으로 계통의 신뢰도가 향상되었다.

핵연료취급 분산제어계통의 하드웨어 플랫폼은 유지보수 비용 절감과 예비부품 재고량 감소를 위하여 발전소 전체 분산제어계통에 사용된 플랫폼과 동일하게 설계되었다. 그러나 핵연료취급 분산제어계통과 발전소 전체 분산제어계통은 각각 독립적으로 기능을 수행하기 때문에 상호 정보교환은 이루어지지 않는다.

핵연료취급 분산제어계통은 계층적 구조를 가진다. 따라서 감시용 제어기가 순차제어기능을 수행하고 부계통 제어기들은 그룹제어, PID제어 및 논리 제어기능 등을 수행하며 기기 제어기들은 개별 기기의 운동 제어를 담당한다.

CANDU 9 핵연료취급 분산제어계통은 정상운전 시 CANDU 6과 같이 자동모드로 제어기능을 수행한다. 또한 비주기적/비정상운전, 불완전 또는 비상운전을 위하여 여러 핵연료취급 기기 들을 반자동 또는 수동모드에서 제어할 수 있다.

### 5. 결 론

이상과 같이 분산제어방식을 적용하여 계통의 성능 향상을 모색하고 있는 CANDU 9 발전소 계측제어계통에 대한 주요 설계방안을 소개하였다.

CANDU 9 발전소 계측제어계통은 상용화된 프로그래머블콘트롤러 모듈과 고속정보전송로를 기본으로 하여 구성되며 아날로그 및 디지털 기기에 대한 단순 제어뿐만 아니라 원자로출력 조절, 냉각제계통 및 증기발생계통의 압력과 수위제어 등의 고수준의 제어기능을 수행한다.

CANDU 발전소 계측제어계통에 분산제어방식을 도입함으로써 얻을 수 있는 주요한 장점은 아래와 같다.

첫째, 가장 큰 장점으로 케이블과 연결배선의 소요량이

대폭 감소되는 것을 들 수 있다. CANDU 6 발전소는 제어 기기 들의 상호 연결을 위하여 중앙배전반을 경유하는 80,000 여점의 연결배선이 필요하였으나 CANDU 9 발전소는 고속정보전송로가 대부분의 연결배선의 기능을 대신하게 되어 중앙배전반이 제거될 수 있다. 이로 말미암아 발전소 케이블과 연결배선의 설치와 검사에 소요되는 시간이 현저하게 감소되며 궁극적으로 발전소 전체 건설공사 기간이 수개월 이상 단축될 수 있다.

둘째, 분산제어계통의 프로그래머블콘트롤러는 릴레이 논리회로, 타이머, 아날로그 비교기와 제어기, 컴퓨터의 공정입출력 모듈 및 접촉형 주사기 등의 역할을 대신할 수 있으므로 다양한 종류의 제어기기가 필요 없게 된다. 따라서 제어기기의 선정, 제작업체 선정 및 설계문서 작성 등에 필요한 기술적인 업무량을 감소시킬 뿐만 아니라 기기의 생산중단으로 인한 예비부품 확보의 어려움이 감소된다.

셋째, 계통의 제어논리를 그래픽 방식으로 표시하는 기능 기술 언어를 사용하여 소프트웨어 프로그래밍을 작성함으로써 별도의 컴퓨터 프로그래밍 전문가가 필요 없이 제어계통설계자가 직접 프로그래밍을 작성 또는 변경할 수 있으며 프로그래밍 내용을 쉽게 이해할 수 있다.

넷째, 분산제어계통의 프로그래머블콘트롤러는 자기점검 및 고장진단 특성을 가지고 있어서 계통에 이상이 발생시 고장의 위치와 원인에 대한 정보를 제공하여 줌으로써 정비 및 수리에 소요되는 시간을 단축시킨다.

이처럼 CANDU 발전소의 감시 및 제어를 위하여 분산제어방식을 적용함으로써 계통의 신뢰성과 가용성을 향상시킬 수 있고 발전소 건설공기를 단축시킬 수 있으며 발전소의 건설, 운용 및 보수유지를 위한 총 경비를 절감하게 된다.

### 참 고 문 헌

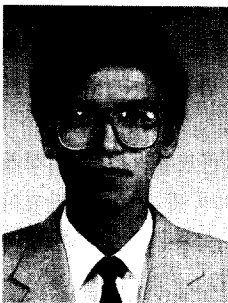
- [1] 김석남, 한재복, "AECL CANDU 중수로형 발전소에서 의 컴퓨터 적용 기술", 한국원자력학회지, Vol. 27, No. 3, June, 1995.
- [2] N. M. Ichiyen & N. Yanofsky, "Computer's role in CANDU control", Nuclear Engineering International, Aug., 1980.
- [3] W. R. Whittall, "The CANDU 300 Distributed Control System", The 9th Annual Conference of Canadian Nuclear Society, June, 1988.
- [4] D. Chan, G. J. Hinton, J. Pauksens, L. Vrancea & W. Whittall, "CANDU 3 : The next generation of I & C design", Topical Meeting of American Nuclear Society, Nov., 1992.
- [5] "CANDU 9 480/SEU Technical Description, 69-01371-TED-003", AECL, 1993.

저 자 소 개



**김 영 백**

1957년 11월 10일생  
1980년 2월 전북대학교 공과대학 전기공학과 공학사  
1982년 2월 전북대학교 공과대학 전기공학과 석사  
1982년 1월~1983년 4월 국방과학연구소 관성항법연구실 연구원  
1983년 4월~1990년 7월 삼성항공산업(주) 시스템기술부 과장  
1990년 7월~현재 한국원자력연구소 계측계통분야 선임 연구원  
주관심분야: 신호처리.  
(305-353) 대전광역시 유성구 덕진동 150.



**홍 형 표**

1963년 8월 16일생  
1987년 2월 전남대학교 공과대학 전기공학과 공학사  
1992년 2월 전남대학교 공과대학 전기공학과 석사  
1987년 5월~1991년 8월 한국원자력연구소 계장기술연구실 연구원  
1991년 9월~현재 한국원자력연구소 계측계통분야 선임연구원  
주관심 분야: 신호처리, 퍼지 및 신경망 응용, 컴퓨터 프로그램.  
(305-353) 대전광역시 유성구 덕진동 150.



**한 재 복**

1952년 5월 26일생  
1980년 2월 연세대학교 공과대학 전자공학과 공학사  
1996년 2월 충남대학교 공과대학 전자공학과 석사  
1980년 8월~현재 한국원자력연구소 계측계통분야 책임연구원  
주관심분야: 제어 및 신호처리.  
(305-353) 대전광역시 유성구 덕진동 150.  
TEL. 042) 868-8190 / FAX. 042) 861-1388.