

# 원자력발전소 제어계통(PCS) 국산화 개발

(최종보고서)

2002. 9. 19

주관기관    한국수력원자력주식회사  
위탁기관    (주)우리기술

산    업    자    원    부

## 제 출 문

산 업 자 원 부 장 관 귀 하

본 보고서를 ‘전력산업연구개발사업’

“원자력발전소 제어계통(PCS) 국산화 개발”(개발기간 : 1999. 10. ~ 2002. 9.)  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002. 9. 19.

주관기관명 : 한국수력원자력주식회사

위탁기관명 : (주)우리기술

총괄책임자 : 문병위

위탁책임자 : 노선봉

연구원 : 이용준

위탁연구원 : 이성구

“ : 홍기성

“ : 이재영

“ : 김찬중

“ : 구자철

“ : 하진관

“ : 김홍철

“ : 김진태

“ : 이정훈

“ : 공승주

“ : 한정호

“ : 박민재

“ : 홍정민

전력산업연구개발사업운영요령 제33조에 따라 보고서 내용을 관련기관에 널리 배포함에 동의합니다.

# 요 약 문

## I. 제 목

원자력발전소 제어계통(PCS) 국산화 개발

## II. 기술개발의 목적 및 필요성

본 과제에서는 원자력 발전소 제어계통에 적용할 수 있는 인·허가 획득 가능한 제어시스템 개발을 목표로 하여 선진국 PCS기술 보유사의 지적 소유권을 침해하지 않는 고유 설계기술을 확보하고 국제 경쟁력을 갖춘 한국형 PCS를 개발하고자 하였다. 이를 위하여 Optical Cable을 이용한 고속통신과 Real Time Network을 개발하고, PCS Control 모듈, Cabinet 등 Hardware를 국산화 하여 개발하였다. 또한 기기검증과 V&V 수행기술도 개발되었다.

## III. 기술개발의 내용 및 범위

본 과제의 수행 결과, Real Time Network을 기반으로 하는 고속 통신망과 각종 PCS를 위한 Hardware가 개발되어 이를 검증하기 위한 Demo 설비를 구축 하였다. 개발된 Demo 설비는 기존 발전소에 설치된 PCS의 주요 부분들을 모사하는 형식으로 제작되었다. 특히 개발 전 과정에 걸친 Software V&V, 별도의 시험품을 제작하여 실시한 기기검증 시험 등을 통하여 개발 과정의 성능이 검증되었고, PCS의 다양한 기능을 평가하는 최종 성능 시험을 통하여 그 유효성이 입증되었다.

## IV. 기술개발결과 및 활용에 대한 건의

본 과제의 결과물은 신뢰성을 바탕으로 한 고속 통신망 분야, 발전소의 제어기 기분야, 안전성 관련 설비의 소프트웨어 V&V 분야, 안전 기기의 기기검증 분야에 적용될 수 있다.

## V. 기대효과(기술적 및 경제적 효과)

선진국 PCS 기술을 효과적으로 국산화하였으며, 다른 제어계통에도 그 기술을 적용할 수 있게 되었다. 기존에 2개 호기 당 240억원 이상에 구입되던 설비를 170억원 가량에 공급할 수 있는 경제적 효과가 생겼으며, 다른 제어계통에 대한 기술확보를 통하여 파급효과를 기대할 수 있게 되었다.

# S U M M A R Y

## **I. Title**

Development of PCS(Plant Control System) for Nuclear Power Plant

## **II. Object and Necessity of the Study**

In this project a goal is to develop a international competitive Korean type PCS which obtain a qualification so that can be applied in the nuclear power plant and to secure a native design technique does not infringe the intellectual property of advanced countries which have PCS technique. For this goal it developed a high-speed communication and a Real Time Network which use optical cable and a PCS Control module, Cabinet etc. hardware it localized. Also the equipment qualification and V&V accomplishment technique were developed.

## **III. Contents and Scope of The Study**

In the result of this project, high speed network based on real time network and all kind of hardwares for PCS are developed and demo system is constructed to verify them. Demo system is designed to simulate main part of existing PCS in plants. Especially, the performance in developing terms is verified with software V&V in all developing phases and with equipment qualification executed with additional test system. And the effectiveness of the system is proved through final function and performance test.

## **IV. Results of the Study and Suggestion for Application**

The outcome goods of this project can be applied in nuclear power plant fields which must need reliability like high-speed network field, control system field, software V&V field of safety-related systems and equipment qualification of safety equipment.

## **V. Effect**

The PCS technique of developed country is localized and the technique can be applicable to other control system. The economic effect is realized that the system which was supplied with the price of over 24 billion won for 2 units, can be supplied with the price of around 17 billion won. And the technical influence to other control system can be expected.

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 과제 개요 .....	1
제 2 절 설비 구성 .....	4
제 3 절 주요 개발 결과물 .....	8
제 2 장 국내·외 기술개발 현황 .....	12
제 1 절 현존 원자력발전소 제어계통 현황 .....	12
제 2 절 국내 기술 현황 및 개발 경제성 .....	16
제 3 장 통신망 개발 .....	18
제 1 절 Train 간 고속 통신망 개발 .....	18
제 2 절 Field 통신망 개발 .....	23
제 3 절 정보 통신망 개발 .....	25
제 4 장 하드웨어 개발 .....	27
제 1 절 고속 통신용 하드웨어 개발 .....	27
제 2 절 제어 모듈 개발 .....	29
제 3 절 입·출력 모듈 개발 .....	31
제 4 절 캐비닛 개발 .....	36
제 5 절 기타 하드웨어 개발 .....	43
제 5 장 소프트웨어 개발 .....	46
제 1 절 통신 소프트웨어 개발 .....	46
제 2 절 제어 소프트웨어 개발 .....	49
제 3 절 구성용 소프트웨어 개발 .....	53
제 4 절 감시용 소프트웨어 개발 .....	58
제 6 장 기기검증 및 소프트웨어 V&V .....	64
제 1 절 하드웨어 기기검증 .....	64

제 2 절 소프트웨어 V&V 및 형상관리 .....	74
제 3 절 종합성능시험 .....	83
제 7 장 인·허가 관련 연구 .....	85
제 1 절 인·허가 계획 수립 .....	85
제 2 절 특정주제분석 보고서 작성 .....	85
제 8 장 결 론 .....	88
제 9 장 참고 문헌 .....	89

## 그림 목차

그림 1-1 PCS 전체 구성도 .....	7
그림 2-2 EATON PCS의 Train 내에서의 통신망 .....	14
그림 3-1 Mesh 형태의 고속 통신망 구조 .....	20
그림 3-2 Field 통신망과 Train 간 통신 Unit(PCU)와의 연결 .....	24
그림 6-1 소프트웨어 확인 및 검증 업무의 업무 연계도 .....	76

# 1제 장 서 론

## 1제 절 과제 개요

본 과제에는 원자력 발전소 제어계통에 적용할 수 있는 인·허가 획득 가능한 제어시스템 개발을 수행하였다. 개발품이 선진국 PCS 기술 보유사의 지적 소유권을 침해하지 않는 국내의 고유 설계기술에 의한 결과물이 되도록 하기 위하여 기존 설비에 대한 분석과 해당 설비에 대한 설계 기준, 규제 기준 등이 분석되고, 기술 사양이 분석되었다.

개발 목표에 따라서 본 과제의 결과물은 다음과 같은 특징을 가지고 있도록 설계 및 개발되었다.

### 1. 독립성

- Class 1E의 경우는 독립된 제어모듈 및 각 제어 Loop의 H/W, S/W 독립 구현
- 신뢰성 확보를 위한 전력계통(Power supplier, Power feeder)의 이중화 및 독립성 확보
- Cabinet은 Analog Modules용과 Digital Modules용으로 구분하여 구성
- Network의 Data를 Analog(Q, Non-Q) / Digital(Q, Non-Q)로 분리

### 2. 응답성

- 중요 Loop의 자체 지연 시간은 1E Class의 경우 100msec 이고, Non 1E Class의 경우 지연시간은 200msec 이하

### 3. 통신

- Optical 통신을 통한 각 제어 Train별 전기적인 Isolation
  - 전기적으로 Isolation된 Cabinet간에 Hard-wiring 구현
- 현장의 4000여 개의 Loops제어 및 정보를 포함한 PCS운영에 필요



- 한 모든 정보를 처리하기 위한 통신방식 구현
- 최대 총 약 4000/Unit 개의 독립적인 Loop의 구현

#### 4. 제어

- 아날로그, 디지털을 포함한 제어 가능
- 통신 및 제어 시스템의 이중화 및 독립성 확보로 신뢰성 구축
  - Q Class 1E의 경우 이중화 및 독립성 확보, 이중화된 각각의 제어 loop별 2개의 동일기능 제어 Sub-loop 확보
  - Non Class 1E의 경우 이중화 및 독립성 확보

#### 5. 유지보수 편의성

- 모든 모듈은 자기교정, On/Off-Line Self-Diagnostic 기능을 가지도록 설계
- 사용자가 모듈의 전면에서 프로그램의 시험/점검을 용이하도록 하는 기능 제공
- 프로그램의 교체는 Battery Backup SRAM(Static Random Access Memory)을 사용하지 않고, Flash Memory를 사용
- Diagnostic 기능
  - On-Line 진단수행 시 자동으로 제어루프를 Bypass 혹은 Disable
  - 주기적으로 자체적인 자기진단기능을 수행  
(입력전원, Power Supply 상태, 통신, 입출력, Memory, Out of Calibration)
  - Fail 감지 시 전면의 LED로 표시하고 EIS, OIS 등에서 확인 가능
  - Start시 자체진단시험을 수행해서 그 결과를 EIS, OIS에 기록
  - Out of Service 상태에서 가상입력에 의한 Simulation이 진행되고 그 과정과 그 결과를 EIS에서 확인 가능
- 모듈의 모든 Fail 상태(모듈의 존재유무포함) 및 중요입력신호의 표

- 시는 전면의 LED로 표시가 가능하고 OIS, EIS에서도 확인 가능
- 캐비닛 Heat Removal 고려

## 6. 품질관리

- 모든 H/W, S/W는 원자력 품질 기준에 맞게 설계, 제작, 시험 수행

## 7. 기타

- 기존의 PCS 모듈(9U크기)보다 Compact하게 6U 크기로 설계
- 모든 부품은 저전력의 신뢰성 있는 부품을 위주로 사용
- 모듈의 종류가 많지 않도록 RTD, TC, mA등의 입출력을 한 종류의 모듈로 설계(8채널에 대해서 각 신호들이 조합될 수 있는 Option 모듈방식을 채택)
- 각 모듈에는 RTC를 장착해서 시각 데이터를 처리할 수 있도록 하고 Event 및 Status 변화 등의 정보를 1msec 정밀도로 500이상 기록
- 시스템 차원에서 GPS수신 시각 처리 등의 시각동기장치 인터페이스를 제공
- Y2k 오류가 없어야 하며, 시스템전체의 연도 표시는 4자리를 사용

## 2제 절 설비 구성

본 과제에 의하여 개발된 설비는 크게 다음과 같은 구성을 가지고 있다.

### 1. FCS(Field Control System)

PCS에서 현장 신호를 입력받아 제어를 수행하고, 필요한 결과값을 사용자 인터페이스 설비에 전달하는 부분에 대한 통칭이다. 현장에 설치되어 있는 Train A, Train B, Train C, Train D, Train E, Division A, Division B 하드웨어를 통칭하여 FCS로 표시하며 각 Train과 Division은 하나의 FCS에 의하여 담당된다. 각 FCS는 다음과 같은 하위 구조를 가진다.

#### 가. PCU(Process Control Unit)

현장에서 수집되거나 제어를 위해서 가공된 Data 중에서 다른 Train으로 전송될 필요가 있거나 사용자에게 전달해야 하는 Data를 모아서 통신을 수행하는 Unit이다. 여러 개의 FCU(Field Control Unit)과 연결되어(최대 576개) 각 FCU 사이의 Data 통신을 연결하고, 다른 Train과 사용자에게 전달한 Data를 정리하여 전송한다. 통신 주기는 FCU 및 다른 Train과는 20msec, 사용자를 위한 컴퓨터 시스템인 OIS와는 500msec을 항상 유지한다.

고성능의 통신 사양을 유지하기 위하여 최신의 CPU를 탑재한 통신용 모듈로 구성되어 있고, 사용자를 위한 정보를 전달하는 정보 통신 모듈과 다른 Train에 Data를 전달하는 제어통신 모듈간의 격리를 통하여 제어 Data와 감시용 Data의 분리 및 통신의 안정성을 보장한다.

PCU는 HCM(Host Communication Module), TCM(Train Communication Module), ICM(Inter-Train Communication Module), MCM(MUX Communication Module) 등의 구성품으로 이루어진다. 자세한 사양은 제 2장과 제 3장을 참고하도록 한다.

## 나. FCU(Field Control Unit)

현장에서 수집된 Data를 이용하여 사용자가 작성한 Logic을 이용하여 필요한 제어를 수행하는 Unit이다. 제어를 위하여 다른 FCU에서 작성된 Data를 PCU를 통하여 제공받을 수 있고, 해당 Data를 자신의 제어 Loop의 제어를 위한 Data로 활용할 수 있다.

PCU와의 통신 주기는 항상 20msec 이내를 유지하고, 제어 주기는 10msec를 유지하도록 하여 전체적인 통신 지연 시간이 100msec 이내가 되도록 설정되어 있다. 또한 충분한 사양의 CPU를 탑재하여 향후 Multi-Loop의 제어에도 활용할 수 있도록 확장성을 보장하였다.

FCU는 FCM(Field Control Module)과 다양한 종류의 Input/Output Module로 구성되어 있고, 통신 및 전원이 이중화되어 단일고장에 대비되어 있다. 자세한 사양은 제 3장과 제 4장을 참고하도록 한다.

## 2. EIS(Engineer Interface System)

PCS에 포함되는 각 FCU가 정상적으로 Logic을 수행하여 현장 설비를 제어하기 위해서는 각 FCU에 제어에 필요한 정보를 작성해 주어야 한다. EIS는 FCU를 구성하는 Input/Output의 사양과 제어에 필요한 Logic을 작성하기 위하여 설계되었다.

EIS에서는 시스템 구성도구와 제어 Logic 구성도구를 사용자에게 제공하여 사용자가 원하는 Field의 필요에 따라 자유롭게 FCU를 구성할 수 있도록 하였으며, 해당 FCU에 필요한 제어 Logic을 작성할 수 있도록 하였다. 사용자가 작성한 Logic은 자동으로 이력관리가 되며, 필요시에 과거에 작성한 Logic을 복원하여 사용할 수 있도록 되어 있다. EIS에서는 그밖에도 사용자에게 필요한 감시 정보를 표시하는 방법을 Graphical 하게 구성하는 도구를 제공하여 사용자가 특정 제어로직의 수행을 감시하기 용이하도록 한다. 사용자는 필요에 따라 이해하기 쉬운 그림으로 화면을 구성하여 임의의 제어로직의 결과값, 중간값 등을

도식화된 방법으로 확인할 수 있다.

EIS에서 작성된 설정 정보들과 사용자 Graphic 화면 등은 Serial 및 통신을 통하여 각각 FCU와 OIS(Operator Interface System)으로 전달되고, 전달받은 부분에서 변경 프로그램에 의하여 자동으로 설정이 변경된다.

### **3. OIS(Operator Interface System)**

OIS는 FCS로부터 Field에서 발생한 Data 또는 제어로직 수행 중에 가공된 Data를 전달받아 사용자에게 감시 화면을 통하여 제공한다. 전달받은 Data는 이력 Data 관리 기능에 의하여 하드 디스크에 저장되었다가 사용자의 요청에 따라 화면에 표시될 수 있다.

OIS는 통신 연결과 이력 Data 관리 기능 수행 여부에 따라 Server와 Client로 구성되며, Server는 FCS의 HCM에 연결되어 전달받은 Data를 이력 Data로써 저장하고, 각 Client에 전달한다. Client는 Server에서 보내온 Data를 사용자가 원하는 형식으로 가공하여 도식화된 방법으로 사용자에게 제공한다.

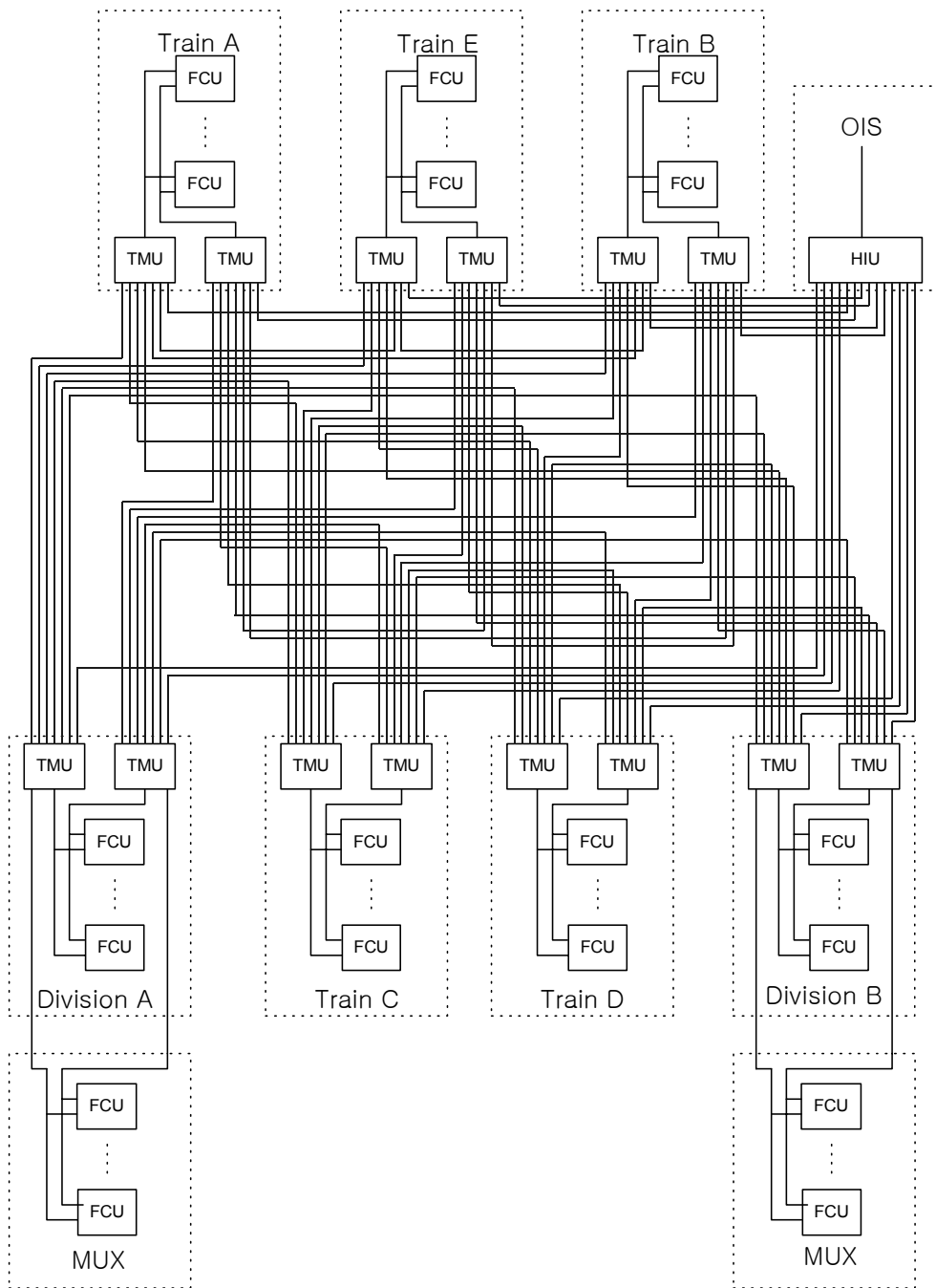


그림 1-1 PCS 전체 구성도

### 3제 절 주요 개발 결과물

#### 1. PCS System 1식

각 Cabinet의 모듈들은 한전과 협의하여 모델로 선정되는 대상 발전소의 대상 Cabinet의 현장 포인트에 맞게 설계되는 수량으로 설정한다. 그러므로 제어 및 IO 모듈의 숫자는 총 수량만 결정한다.

가. Q Class Logic Cabinet 2식 & 각 제어모듈

- Logic Cabinet 2 Set
- Termination Cabinet 1 Set

나. T Class Logic Cabinet 2식 & 각 제어모듈

- Q Class Cabinet과 같은 개념임

다. Multiplexing Cabinet 2식 & 각 제어모듈

- Q Class Cabinet과 같은 개념임 (Termination Cabinet 불포함 )

#### 2. 주변기기(OIS, EIS, PRINTER) 1 Set

#### 3. Software (OIS, EIS S/W, 제어 S/W)

#### 4. Simulator 1식 ( 디지털 512, 아날로그 128 포인트 기준 )

- 가. HOST PC : 1 Set
- 나. M/A Station : 2
- 다. Indicator : 2
- 라. Recorder : 2
- 마. Switch Module : 10
- 바. Light Module : 5

## 5. Prefabricated Cable, Optical Fiber Cable 1set

## 6. 문서 및 도면

### 가. 계획서

- 품질 보증 계획서 / 품질 보증 매뉴얼
- S/W V&V 계획서 및 형상관리 계획서
- 사업수행계획서 ( 일정, DDS, 조직, 역무 )
- 인허가 추진 계획서
- 시험 계획서
- 교육계획서 ( 기술전수 계획서 )

### 나. 각종 설계서

- PCS 기본 설계서
- PCS 상세 설계서 (H/W, S/W, Cabinet)
- 제어 및 통신 알고리즘 설계서(운영 체계 설명서 포함)
- Simulator 설계서
- Internal System Configuration Diagram
- General Arrangement Drawing
- Internal Wiring Drawing
- Power Supply System Arrangement
- Wiring Diagram
- 각 모듈의 회로도
- 대상 Loop의 Loop Diagram
- 주변기기 설계서(자재목록 포함)
- 데이터 통신 Network 설계서
- 각종 프로그램(Source Program 포함) 설계서 및 설명서  
(통신 Program, PCS 제어용 Program, 각종 응용 Program 등)



다. 각종 보고서 및 절차서

- S/W 및 H/W의 V&V 계획 및 절차서
- Code & Std. 분석 보고서
- 품질보증 계획서 및 절차서
- 규제기관 인·허가 계획 및 절차서
- 성능시험보고서[Board & System Level Test, Integration Test Performance (Simulation) 등]
- PCS 검·인증 시험보고서(Aging Analysis, MTBF, 환경시험, Seismic 시험, EMI/RFI)
- Software-Hardware Integrated V&V 수행결과서
- 각종 품질보증 관련 보고서 및 절차서
- 규제기관의 인허가 신청용 특정기술 주제보고서 등
- Source Code(CD-ROM)
- Source Code 설명서
- 사용자 매뉴얼(Instruction Manual)
- Set Point Margin Calculation 보고서
- 기존 PCS 사양 분석비교 보고서
- FMEA(Failure Mode/Effect Analysis) 보고서
- 신뢰성 및 가용성 분석 보고서 (MTBF, MTTR, 노화분석 등)
- ACEs (Analysis of Abnormal Condition and Events) 분석보고서
- 통신 프로토콜/성능 관련 보고서 (독립성, 각종 상황시의 성능 등 분석)
- S/W V&V의 단계별 보고서 및 최종 보고서
- Inspection & Test 절차서
- 기기 검인증 시험 절차서 ( EMC, 내환경, 지진 시험 등 ) / 보고서
- 응답시간 분석 / 시험 보고서
- 통합 시험 절차서 / 보고서

- 공장 시험 절차서 / 보고서
- 기타 인허가 관련된 분석 보고서 / 제출 서류 일체

## 2제 장 국내·외 기술개발 현황

### 1제 절 현존 원자력발전소 제어계통 현황

현재 국내에서 사용되고 있는 PCS는 미국의 EATON사와 FORNEY사가 제작한 설비가 각각 4개 호기와 2개 호기에 설치되어 있다. EATON사와 FORNEY사의 PCS는 그 형태와 구조에서 커다란 차이를 보이고 있어서 각기 독자적인 기술을 개발하였음을 알 수 있다. 각사의 PCS의 대표적인 특징상의 차이점은 크게 통신망 구조와 제어모듈의 구성에 있다. 자세한 특징은 다음과 같다.

#### 1. EATON사 PCS의 특징

기본적인 Eaton PCS의 통신망은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 캐비닛간의 통신이고 두 번째는 캐비닛내의 제어 모듈간의 통신이다. 현재 올진 3,4호기에 설치되어 있는 PCS는 캐비닛간의 통신으로 PERFORM net(Performance Enhanced Redundant Fiber Optic Replicated Memory Network)으로 명명된 통신망을 사용하고 제어 모듈간의 통신 RS-485 HDLC 통신을 사용한다. 본 설계서에서는 이 통신망 중 PCS의 성능과 기능적인 측면에서 중요한 역할을 하고 있는 PERFORM net에서 대해서 자세한 분석을 하였다. 실제로 현장 조사를 통해서도 Eaton PCS의 대부분의 문제점이 이 PERFORM net에 대한 것으로 판명되었다.

PERFORM net은 replicated memory 개념을 도입한 통신망 구조로 PCS의 모든 캐비닛과 Operator Workstations이 모두 Ring 형태로 연결되어 있어 모든 데이터들이 모든 통신 노드에 똑같이 위치한 common shared memory이다. 현재 올진 3,4호기의 PCS는 약 90개의 캐비닛이 모두 이중화된 fiber optic cable을 통해 연결되어 있고 Train(실제로는 train, division, OIS)간의 분리를 위해 Datalink Quad

Switch를 사용하고 있다.

Eaton PCS의 Train내에서도 위에서 설명하였듯이 캐비닛간에는 PERFORM net의 network replicated memory 개념의 통신이 이루어지고 캐비닛내에서는 RS-485 물리적 계층을 이용한 HDLC통신이 이루어지고 있다.

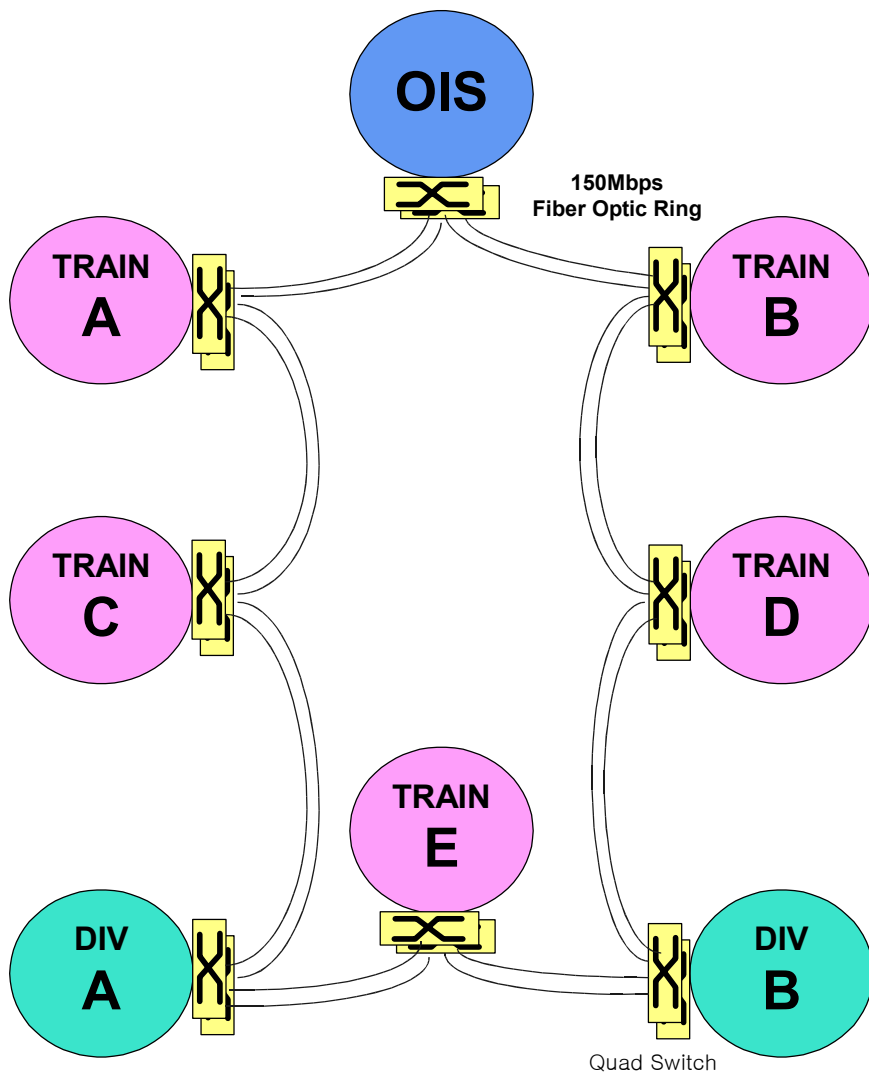


그림 2-1 EATON PCS의 Train간 통신망 구성

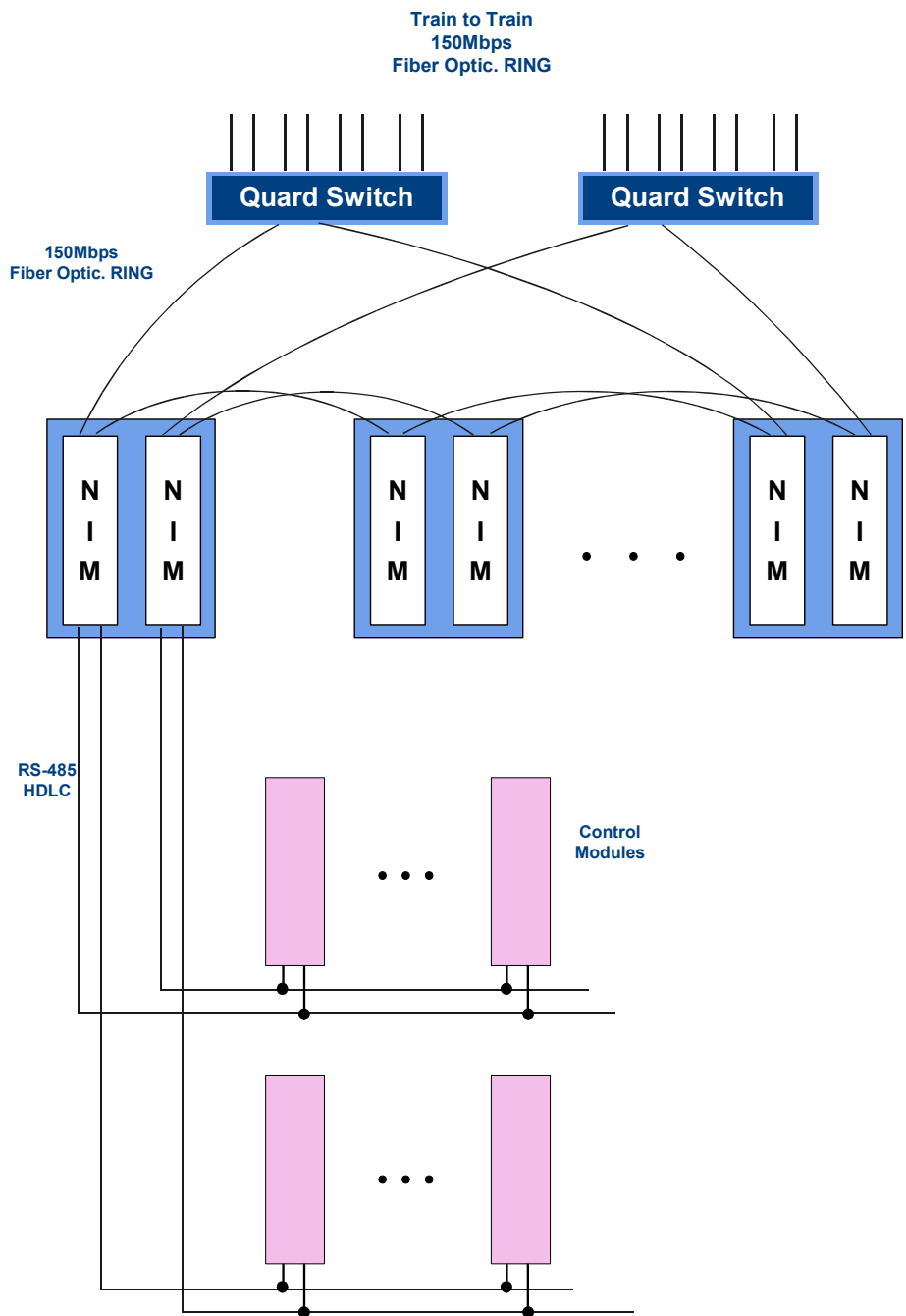


그림 2-2 EATON PCS의 Train 내에서의 통신망

## 2. FORNEY 사 PCS의 특징

Forney 사의 PCS도 전체적인 구성인 Eaton사와 마찬가지로 train과 division으로 나누어져 있는 통신망으로 구현되어 있다. Eaton PCS와는 다르게 train과 train사이의 통신망과 train내에서의 통신망이 계층적으로 분리되어 있다는 것이 가장 큰 차이점이다.

Forney PCS는 Class 1E train과 Non-Class 1E train과는 약간 다른 구조의 통신망을 가지고 있는데 train간의 연결은 이중화된 버스 구조의 fiber link로 되어 있다. Forney PCS의 단점은 이 통신망이 10 Mbps의 저속의 통신 속도로 구현되어 있다는 것으로 원전 PCS가 요구하는 고속의 응답 속도를 보장할 수 없는 것으로 판단된다. 또한 제어 모듈간의 통신이 ribbon cable로 연결되어 있어 기구적이나 전기적으로 불안정한 통신이 이루어질 가능성이 높은 구조로 구현되어 있다.

## 2제 절 국내 기술 현황 및 개발 경제성

### 1. 국내 기술 개발 현황

국내에서 PCS에 관한 연구는 주로 계통의 제어에 관한 연구가 수행되었고, 계통을 제어하기 위한 제어기에 대한 연구는 아직까지 진행되어 개발된 사례가 없다. 국내에서도 전자 분야와 컴퓨터 및 프로그래밍 분야에 많은 기술의 발전이 있었음에도 불구하고, 제어기 하드웨어 및 제어 소프트웨어 개발이 크게 진전되지 못한 이유는 다음과 같다.

- 하드웨어 검증의 어려움

일반적으로 원자력발전소 제어계통은 안전성 관련 설비를 포함하고 있어서 안전성 필수 설비에 준하는 하드웨어 검증(기기검증)을 수행하여야 한다. 국내에서 제작되는 하드웨어에 대해서는 기능 부분을 만족시키기 위한 여러 연구가 진행되어 있지만, 사고 상황에서의 내구성 및 안정성을 요구하는 성능 부분에서는 다양한 분석 및 연구가 진행되지 못하였다.

- 소프트웨어 V&V 기준 수립 미비

안전성 관련 소프트웨어의 경우 안전성 필수 소프트웨어에 비하여 규제 기준이 완화되어 있다. 안전성 필수 소프트웨어는 오류가 발생하였을 경우 발전소에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 여러 각도에서의 규제 기준이 마련되어 있고, 소프트웨어 V&V 분야에서도 적절한 절차와 기준이 마련되어 있는 상태이다. 그러나 안전성 관련 소프트웨어의 경우에는 안전성 필수 소프트웨어의 기준을 적용하기에 소프트웨어의 크기가 방대하고, 기능이 다양하며, 상당한 고비용이 소비되기 때문에 안전성 필수 소프트웨어와 같은 기준을 적용하는 것이 과분할 수 있고, 개발 일정이 상당히 늦어질 수 있다. 안전성 관련 소프트웨어를 위한 완화된 규제 기준 및 V&V 방법론의 개발 또한 국산 제어계통을 개발하기 위한 숙제로 남아있는 상태이다.

## 2. 개발 완료 후 경제성

현존하는 PCS 중에서 가장 최근에 도입된 설비는 2개 호기 당 240억 이상의 가격으로 도입이 되었다. 본 과제 수행 중 분석 결과 더 저가의 가격으로도 공급이 가능할 것으로 예상이 되지만, 앞서 언급한 바와 같이 고가인 이유는 국내 기술의 부재와 국제적으로도 상기 2개 업체 이외에는 기기 성능에 대한 경제성을 보장하기에 어려움이 있기 때문이다. 본 과제의 개발 완료 후 경제적인 측면에서 다음과 같은 측면을 예상할 수 있다.

### 가. 원천 기술 확보를 통한 기술료 부담 감소

2개 업체가 독점적으로 공급하던 설비에 대하여 국내 기술을 확보하게 됨에 따라 값비싼 기술료에 대한 부담이 감소될 수 있다. 또한 신규 설계를 통하여 비교적 널리 판매되고 있는 최신 부품을 사용하기 때문에 부품 단종에 대한 부담 및 원가 상승 부담을 줄일 수 있다.

### 나. 간접비용 감소

국내 발전 설비에 설치될 경우 기술 인력의 해외 출장비, 운송료 등 간접비용의 지출이 감소될 수 있다.

### 다. 해외 시장 진출

국제적으로 기존에 사용하던 아날로그 방식의 제어설비는 현재 부품 공급의 어려움과 기기의 노후화로 인하여 더 이상 유지가 힘든 상황이다. 그러므로 PCS와 같은 디지털 방식의 제어설비로 교체 작업을 수행하여야 하고, 이와 같은 설비가 국제적으로 다수 존재하고 있으므로 차후 신규 발전소뿐 아니라 기존 발전소의 설비 개선 작업에 활용될 수 있다.



### 3제 장 통신망 개발

#### 1제 절 Train 간 고속 통신망 개발

##### 1. 통신망의 기본 요건

PCS 시스템에서의 통신망은 PCS 시스템의 안정성과 가용성을 결정 짓는 가장 중요한 요소 중의 하나로 다음과 같은 기본 요건들을 만족 하도록 설계, 구현되어야 한다.

##### 가. 독립성 (Independence)

PCS 시스템 통신망은 각 train과 각 division이 서로 독립적으로 각각의 통신망을 유지하도록 구성되어야 한다. 통신 시스템은 하나의 결함에도 전체 통신 시스템은 지속적으로 동작하여야 한다. 특히 non-safety 시스템의 통신이 safety 시스템의 통신에 영향을 주지 않아야 한다.

##### 나. 고성능 (High Performance)

PCS 시스템 통신망에서의 데이터 전송은 시스템 응답 속도와 전체 시스템의 가용성을 향상시키기 위해 결정적인 고속이어야 한다. 시스템 응답 속도를 줄이기 위해 통신망은 현장에서 검증된 고속의 isolated fiber optic link로 설계되어야 한다.

##### 다. Redundancy

PCS 시스템 통신시스템은 이중화된(redundant) 통신 link로 구성되어 on-line diagnostics을 통해 연속적으로 이상 상태를 점검하는 시스템이어야 한다. 이중화된 통신 시스템중 한 개의 고장은 또 다른 시스템의 통신에 영향을 주지 말아야 하고, 전체 통신 시스템의 성능 저하나 데이터 유실 없이 보고되어야 한다.

## 라. 응답시간 (Response Time)

PCS 시스템의 단일 입력 변화에 대한 출력의 최대 응답 시간은 MUX가 없을 시 100msec 이내 이어야 한다. 또 같은 경우에 MUX가 있을 시에는 200msec 이내 이어야 한다. 이때 시스템 응답 시간은 입력 conditioning, 프로그램 처리, 출력 conditioning을 포함하고 analog loop인 경우에는 step 증가를 기본으로 하여 산정된 시간을 의미한다.

## 2. 통신망의 기본 구조

원자력 발전소 계통은 안정성과 가동성을 유지하기 위해 Train과 Division등의 개념을 가지고 분산화 된 다중화 계통으로 이루어져 있다. 따라서 계통을 제어하게 되는 PCS도 이를 따라 분산화 되고 다중화 된 시스템의 구조를 가지고 있어야 한다.

PCS 시스템에서의 MUX subsystem은 보통 division subsystem을 통해서 연결되고 OIS나 EIS는 간단한 통신 구조로 구현되므로 PCS 시스템은 크게 Train과 Division으로 나누어진 시스템으로 인식하여도 된다. 본 설계서 에서는 이러한 인식 하에서 Train과 Division을 구별하지 않고 모두 Train으로 명명하여 시스템을 설계한다.

그림 3-1은 이러한 개념을 가지고 설계된 Mesh 통신망 구조이다.

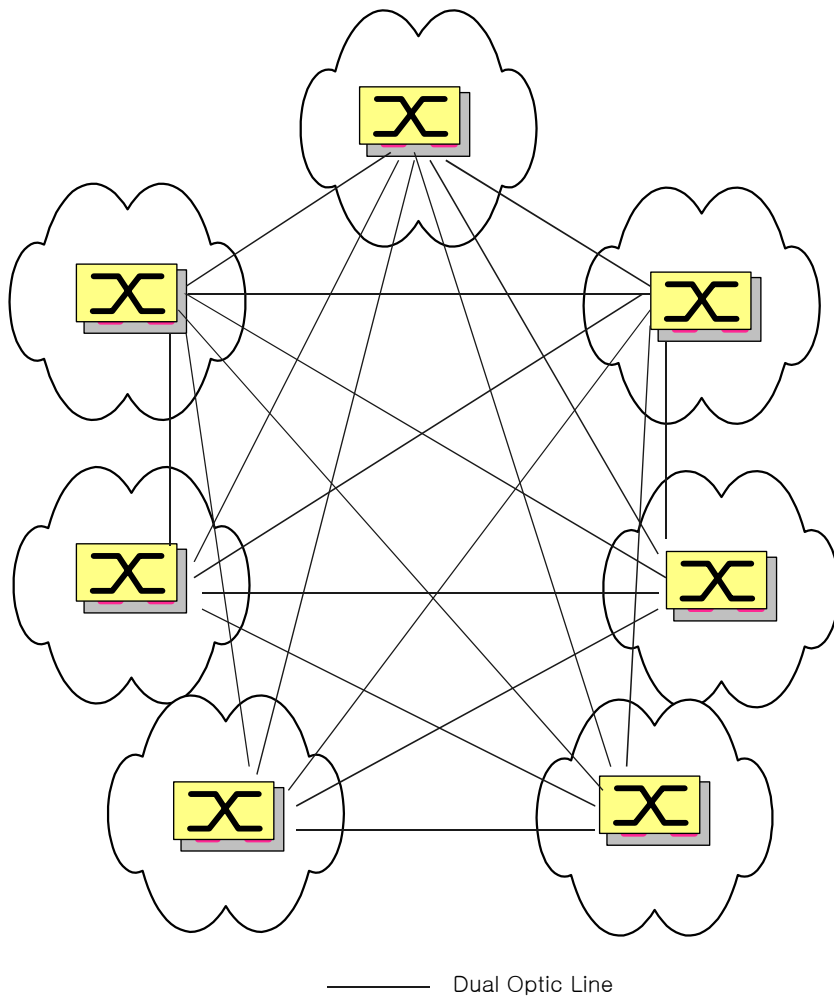


그림 3-1 Mesh 형태의 고속 통신망 구조

### 3. 통신 노드간의 통신 방법

Train-to-Train network에서 각 통신 노드간에는 star나 mesh 구조와 상관없이 일대일 통신이 이루어지기 때문에 현재 널리 사용되고 있는 여러 가지 통신 방식들이 적용될 수 있다. PCS는 고속의 deterministic한 응답 속도를 보장하여야 하기 때문에 고속의 신뢰성 있는 통신 방식들이 적용되어야 하는데 적용이 가능한 대표적인 통신

방식에는 Fast Ethernet, Fiber channel, ATM(Asynchronous transfer method) 등이 있다.

Fiber channel은 대용량의 데이터를 고속으로 전송하기 위한 하드웨어적인 프로토콜 처리기가 내장되어 있어 주로 storage area network(SAN)에 가장 적합한 통신 방법으로 널리 사용되고 있는 방법이다. ATM은 multi-media 통신을 위해 개발된 통신 방법으로 현재 음성, 영상과 같은 실시간성 정보 통신과 LAN (local area network)에서의 데이터 통신등의 모든 영역의 통신 수단으로 사용되고 있다. Fast Ethernet은 현재 가장 널리 사용되고 있는 방법으로 Internet의 급속한 발전으로 더욱 각광을 받고 있다. Star나 Mesh 구조의 Train-to-train 통신망에서는 통신 노드간의 통신 용량이 크지 않기 때문에 gigabit 급의 통신의 사용으로 인한 신뢰성의 저하 위험을 배제할 필요가 있고 신뢰성, 유지 보수성의 확보를 위해서는 시장 형성이 가장 크게 되어 있는 방식의 통신 방법을 사용하는 것이 유리하다. 따라서 개발되는 PCS에서는 100Mbps의 fast Ethernet 통신을 사용하여 통신망을 설계하였다.

#### 4. 통신 노드간의 통신 방법

Train-to-Train network에서 각 통신 노드간에는 star나 mesh 구조와 상관없이 일대일 통신이 이루어지기 때문에 현재 널리 사용되고 있는 여러 가지 통신 방식들이 적용될 수 있다. PCS는 고속의 deterministic한 응답 속도를 보장하여야 하기 때문에 고속의 신뢰성 있는 통신 방식들이 적용되어야 하는데 적용이 가능한 대표적인 통신 방식에는 Fast Ethernet, Fiber channel, ATM(Asynchronous transfer method) 등이 있다.

Fiber channel은 대용량의 데이터를 고속으로 전송하기 위한 하드웨어

적인 프로토콜 처리기가 내장되어 있어 주로 storage area network(SAN)에 가장 적합한 통신 방법으로 널리 사용되고 있는 방법이다. ATM은 multi-media 통신을 위해 개발된 통신 방법으로 현재 음성, 영상과 같은 실시간성 정보 통신과 LAN (local area network)에서의 데이터 통신등의 모든 영역의 통신 수단으로 사용되고 있다. Fast Ethernet은 현재 가장 널리 사용되고 있는 방법으로 Internet의 급속한 발전으로 더욱 각광을 받고 있다. Star나 Mesh 구조의 Train-to-train 통신망에서는 통신 노드간의 통신 용량이 크지 않기 때문에 gigabit 급의 통신의 사용으로 인한 신뢰성의 저하 위험을 배제할 필요가 있고 신뢰성, 유지 보수성의 확보를 위해서는 시장 형성이 가장 크게 되어 있는 방식의 통신 방법을 사용하는 것이 유리하다. 따라서 개발되는 PCS에서는 100Mbps의 fast Ethernet 통신을 사용하여 통신망을 설계하였다.

## 2제 절 Field 통신망 개발

### 1. 통신 방식의 구성

Inter-Train network에서는 다수개의 제어 모듈을 하나의 통신 노드로 연결하여 이 노드간의 데이터 교환이 주로 이루어지고 이들의 데이터를 다른 train과 교환하는 통신이 이루어진다. PCS의 기본 요건상, 제어 모듈은 고유의 주변산장치가 있어 독자적인 제어 기능을 수행하고 이들간의 데이터 교환은 통신망을 통해서 이루어져야 한다. 따라서 한 train내의 제어 모듈들의 수가 많게 되어 이들을 일정한 개수의 그룹으로 나누어 그 그룹내의 통신과 그룹간의 통신으로 분리하여 통신망을 설계하는 것이 효율적이다.

이러한 개념은 각 제어 모듈의 구성상 통신 부하의 계층적 분리가 가능한 통신 방법을 제시한 것으로 실제 상용의 PCS에서도 널리 사용되고 있는 개념이다. 그림에서 보는 바와 같이 일정 개수의 제어 모듈은 한 개의 통신망으로 연결되고 다른 그룹의 제어 모듈과는 통신 연결 보드를 통해 통신한다.

개발되는 PCS에서는 통신 연결 보드와 제어 모듈간의 통신은 실시간 시스템에서 널리 사용되는 bus 방식의 RS485 HDLC 통신을 사용한다. 한 개의 통신 연결 보드에서 3개의 독립적인 RS485 통신선이 연결되어 각 통신선에 최대 16대의 제어 모듈이 연결될 수 있도록 설계한다. 이때 최대 통신 속도는 2 Mbps이다.

통신 연결 보드 사이의 통신은 star 구조의 통신망을 통해서 이루어지도록 설계하여 각 통신 연결 보드사이의 독립성을 최대한 확보한다.

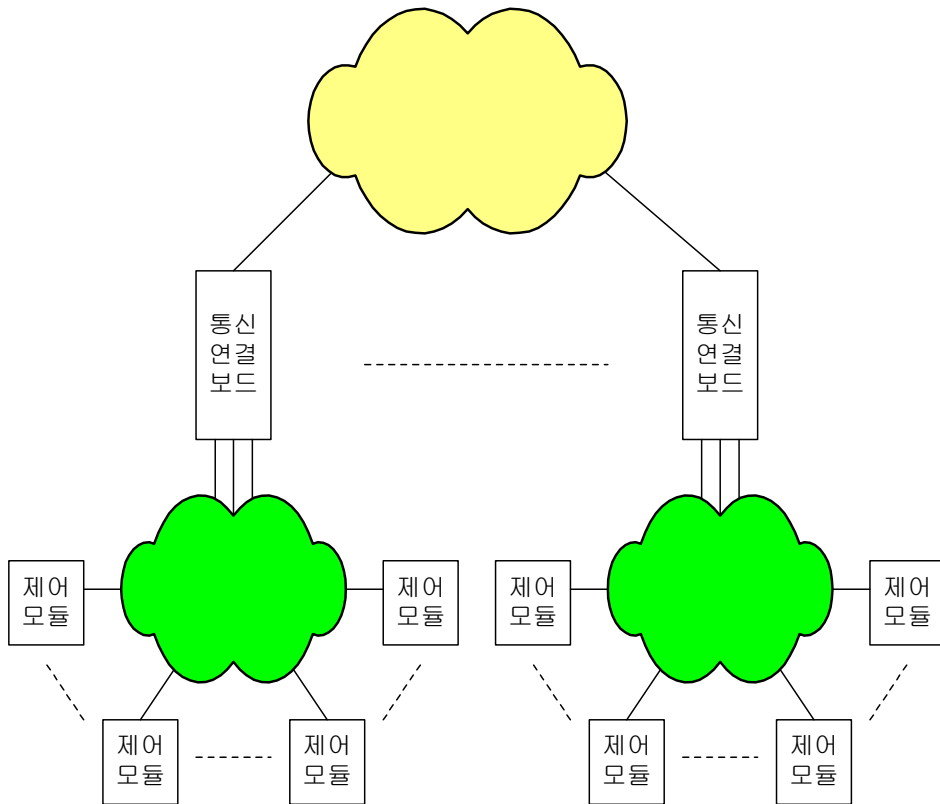


그림 3-2 Field 통신망과 Train 간 통신 Unit(PCU)와의 연결

## 2. 통신망의 이중화

PCS는 원자력 발전소의 주요 제어 기능을 담당하는 설비로 높은 신뢰성을 요하는 시스템이다. PCS와 같이 분산 구조의 제어 시스템에서 신뢰성을 좌우하는 가장 큰 요소는 통신망의 안정성, 가용성이다. 개발되는 PCS는 이러한 통신망의 신뢰성을 높이는 방법으로 모든 통신망을 이중화하여 구현한다.

Field 통신망에서 제어 모듈에 연결되는 통신 연결 보드를 이중화하고 이에 필요한 switch도 이중화한다. 평상시에 이중화된 통신망을 통하여 독립된 통신을 계속적으로 수행하여 제어 모듈에서 송수신되는 데

이터의 유효성을 판단하여 제어 기능을 하게 되는 것이다.

Field 통신망에서 이중화된 switch에 연결된 두 개의 Train-to-Train 통신 노드는 다시 각각의 독립된 switch에 연결되어 이중화된 Train-to-Train 통신망을 구현하게 된다. 이러한 개념은 mesh 구조의 통신망에서도 똑같이 적용되어 이중화된 mesh 통신망을 구성하게 된다.

이와 같이 이중화된 통신망은 서로 완전히 분리되어 독립적으로 동작하도록 설계되기 때문에 한 개의 고장이 다른 통신망에 영향을 주지 않고 성능 저하 없이 통신 기능을 발휘하게 된다.

### 3제 절 정보 통신망 개발

본 과제에서 개발되는 PCS에서는 제어에 사용되는 Data의 전송에 사용되는 제어 통신망 이외에 운전원의 감시 Data 전송을 위한 별도의 통신망을 운영하고 있다. 이 통신망은 제어 통신망과 완전히 분리되어 오류가 발생하더라도 제어 통신망에 영향을 주지 않고, 별도로 제어 통신망의 이상 현상을 감시할 수 있도록 설계되었다.

각 Train 별로 이중화된 두 개의 PCU에는 OIS 서버와의 통신을 담당하는 별도의 통신 모듈인 HCM(Host Communication Module)이 존재하여 동일한 정보를 이중화하여 OIS 서버로 전송한다. 여기서는 Train 간의 통신망과 마찬가지로 100Mbps의 fast Ethernet 통신을 사용한다.

한편, OIS 서버와 Client 간의 통신도 이중화 된 100Mbps의 fast Ethernet 통신을 사용하도록 설계하였다. 각 노드는 이중화 된 통신 라인 중에서 하나가 실패하더라도 정상적으로 Data 통신을 수행할 수 있도록 설계되었고, 단일 고장에 대한 성능 저하는 없도록 하였다.



PCS 정보통신망은 Server에서 감시용 데이터를 OIS로 전달할 경우 모든 OIS에 동시에 전달하여야 하므로 데이터를 Broadcasting 한다. 그러므로 Server에서 OIS로 데이터를 보낼 때는 UDP통신을 기본으로 하도록 설계하였다.

## 4제 장 하드웨어 개발

### 1제 절 고속 통신용 하드웨어 개발

#### 1. 목적

고속 통신용 하드웨어 모듈인 XS013A 모듈은 PCS를 구성하는 100Mbps 고속통신망의 구현과 필드제어 통신과의 연계를 위해 개발하였다.

#### 2. 기능정의

고속통신용 모듈은 TMU (Train Management Unit), CMU(Central Management Unit), HIU(Host Interface Unit)에 사용되는TCM(Train Communication Module), ICM(Inter-Train Communication Module), HCM(Host Communication Module), MCM(MUX Communication Module)이며 TCM, ICM, HCM과 MCM은 거의 동일한 구조를 가지는 보드로 통칭하여 통신연결모듈 (Network Interface Board)로 사용된다.

- Train내에서 FCM들 간의 데이터 교환 기능 (ICM)
- Train간의 데이터 교환 기능 (TCM)
- OIS에의 데이터 전송 기능 (HCM)
- MUX와의 데이터 교환 기능 (MCM)
- ICM, TCM, HCM, MCM간의 Replicated Memory Bus(RMB)를 통한 Data 교환기능

#### 3. 특징

고속통신용 모듈은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 32 비트 RISC CPU를 사용한다.

- RMB에 장착되어 모듈간의 데이터를 공유하게 된다.
- 1채널의 console용 RS232C 포트가 기본적으로 제공된다.
- 1채널의 10Mbps Ethernet 채널이 option으로 제공된다.
- ICM은 FCM과의 통신을 위해 최대 4채널의 RS-485 serial 채널이 제공된다.
- TCM은 3개의Ethernet 100 Mbps optical 채널이 제공된다.
- HCM은 1개의Ethernet 100 Mbps optical 채널이 제공된다.
- MCM은 1개의Ethernet 100 Mbps optical 채널이 제공된다.
- On board로 8 Mbytes SDRAM을 장착한다.
- RMB에 연결되어 공유되는 dual port memory는 32 비트 데이터 폭을 가지는 2개의 버스에 각각 최대 256 Kbyte 씩 제공된다.
- 최대 1Mbyte의EPROM을 제공하며 최대 2Mbytes의 비휘발성 메모리인 flash memory를 내장하고 있어서 프로그램 코드 등의 데이터를 저장할 수 있다.
- Real time clock과 2Kbyte 또는 8Kbyte의 비휘발성 메모리가 제공된다.
- 전원인가 상태에서도 보드의 삽입과 탈착이 가능한 hot-swapping 기능이 제공된다.

#### 4. 환경특성

고속통신모듈은 원자력 품질등급은 Class-1E 조건을 만족하는 사양으로 개발, 제작 되었으며 기기검증시험을 통해 제작사양이 Class-1E 조건을 만족하는 것으로 입증되었다.

## 2제 절 제어 모듈 개발

### 1. 목적

제어용 하드웨어 모듈인 XV019A 모듈은 PCS를 구성하는 필드제어 통신, 현장신호 수집과 신호출력 등을 위해 개발하였다.

### 2. 기능정의

제어모듈은 Field에 있는 I/O들을 직접 Control하는 모듈로서 필드통신망 구성 및 현장신호제어 기능을 수행한다. 또한 모듈 내부에 디지털 I/O 기능을 가지고 있어 MCB에 장착된 스위치 모듈, 수동절환 스위치 등의 입력을 별도의 I/O 모듈 없이 처리가 가능하여 다양한 시스템 구성이 가능하도록 지원한다.

- FCU에 속해 있는 I/O 보드를 제어한다.
- FCM에서 취득한 데이터와 상위에서 보낸 데이터를 통신을 거쳐 처리한다.
- FCM 자체의 Digital I/O 기능이 있다.

### 3. 특징

고속통신용 모듈은 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

- 32 비트 RISC CPU를 사용한다.
- VME를 통해 모듈간에 데이터를 주고받는다.
- 1채널의 Console용 RS-232C 포트가 기본적으로 제공된다. ESD Protection과 Isolation이 되어야 한다.
- FCM은 XS013A와의 통신을 위해 최대 3채널의 RS-485 채널이 제공된다.
- On board로 4Mbytes SDRAM을 장착한다.
- Battery Backup SRAM을 1M byte제공된다.

- 최대 1Mbyte의 EPROM을 제공하며 최대 2Mbytes의 비휘발성 메모리인 Flash Memory를 내장하고 있어서 프로그램 코드 등의 데이터를 저장할 수 있다.
- Real Time Clock과 2Kbyte 또는 8Kbyte의 비휘발성 메모리가 제공된다.
- Digital Input이 4 채널이 제공된다.
- Lamp Drive를 위해 500mA Sink가 가능한 Darlington TR 출력이 10 채널이 제공된다.
- User Define Relay 출력이 2 채널 제공된다.
- 보드 온도를 체크하기 위해 Thermometer를 내장한다.
- User Define 가능한 User LED를 제공한다.

#### 4. 환경특성

제어모듈은 원자력 품질등급은 Class-1E 조건을 만족하는 사양으로 개발, 제작되었으며 기기검증시험을 통해 제작사양이 Class-1E 조건을 만족하는 것으로 입증되었다.

### 3제 절 입·출력 모듈 개발

#### 1. 목적

PCS에 사용되는 입/출력 모듈은 현장신호 수집과 신호출력 등을 위해 개발하였다. 입/출력 모듈은 신호의 종류에 따라 서로 다른 모듈로 개발되었으며 Digital I/O Module, Analog I/O Module과 Relay Module 3종을 개발하였다.

#### 2. 모듈별 개발내용

##### 가. Digital I/O Module

##### (1) 목적

PCS에 사용되는 Digital I/O Module인 XV203A Module은 현장에서 입력되는 Digital Input 신호처리와 현장으로 출력하는 Digital Output 신호를 발생시키기 위하여 개발되었다.

##### (2) 기능정의

DIOM은 PCS의 Digital Input Signal과 Digital Output Signal을 처리하는 모듈로 주요기능은 아래와 같다.

- Digital Input Signal을 입력받아 FCM에 Digital Input 결과 값을 전달하는 기능을 가진다.
- FCM에서 Digital Output 제어 결과를 입력받아 제어하는 기능을 가진다.
- 16channel의 Digital Input 기능을 가진다. 이중 4 channel은 Digital Output Read-Back 신호로 사용된다.
- 4channel의 Digital Output 기능을 가진다.
- Self Test 기능을 가지고 있어 출력회로가 정상적으로 동작하는지의 여부를 확인할 수 있다.

- 4channel 단위의 Ground Detection 기능을 가지고 있어 현장에서 연결되는 신호입력용 전원이 Ground 되었을 때 이를 쉽게 감지할 수 있다.

### (3) 특징

Digital I/O Module은 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

- 모듈 전면의 Front panel을 통하여 각 Channel의 입출력 상태를 LED를 통하여 사용자가 식별 가능하도록 한다.
- Logic과 Signal간은 전기적으로 절연되어 외부의 전기적 충격으로부터 System을 보호한다.
- VME Bus상에서 Slave로 동작한다.
- 모듈의 Address는 모듈 내부의 Dip Switch를 사용하여 설정한다.
- 공급 전원 :  $+5.00\text{VDC} \pm 0.25\text{VDC}$ ,  $+48.00\text{VDC} \pm 0.5\text{VDC}$
- Digital Input trigger 전압 :  $+30\text{VDC}$  이상
- 출력 허용전력:  $400\text{VDC } 0.5\text{A}$ ,  $100\text{VDC } 2\text{A}$

## 나. Analog I/O Module

### (1) 목적

PCS에 사용되는 Analog I/O Module인 XV404A Module은 현장에서 입력되는 각종 Analog Input 신호처리와 현장으로 출력하는 Analog Output 신호를 발생시키기 위하여 개발되었다.

### (2) 기능정의

AIOM은 PCS의 Analog Input Signal과 Analog Output Signal을 처리하는 모듈로 주요기능은 아래와 같다.

- Field의 analog 입력과 analog 출력을 내장한다.

- Analog 입력은 16비트의 입력 4채널을 제공한다.
- Analog 입력은 독립된 A/D 변환기를 사용한다.
- Analog 입력은 Isolation된 기능을 제공한다.
- Analog 입력은 Self-Calibration 기능을 제공한다.
- Analog 출력은 16비트의 출력 4채널을 제공한다.
- Analog 출력의 각 채널은 독립된 D/A 변환기를 사용한다.
- Analog 출력의 각 채널은 Read back 기능을 제공한다.

### (3) 특징

Analog I/O Module은 TC 입력, RTD 입력 , 전류/전압 입력 회로가 있어 채널별로 아날로그 입력신호를 선택하여 사용할 수 있게 설계하였다. 각각의 입력 회로들 중 전압 신호가 아닌 신호(RTD 입력 , 전류 입력)들은 내부에서 전압 신호로 변환되어 A/D Converter에 입력된다.

Analog 출력을 위한 D/A Converter는 Analog Device사의 16 비트 AD5542를 사용한다. AD5542의 출력 신호의 종류는 전압으로 출력 범위는 보드내의 점퍼를 세팅하여 정한다. 점퍼 세팅으로 D/A Converter에서 출력할 수 있는 신호의 범위는 아래와 같다. 이 외에도 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

- Analog-to-Digital Converter

AD7707 16bit Analog-to-Digital Converter

- Digital-to-Analog Converter

AD5542 16bit Digital-to-Analog Converter

- Channel별 입출력 Isolation

HCPL0631, HCPL0531 Optical Isolator로 전기적으로 신호를 격리한다.

2,500Vrms Isolation

- Channel별 전원 Isolation



DCV010515DP Isolated DC/DC Converter로 채널별로 전원을 인가한다.

1,500Vrms Isolation

- Analog Input Self-Calibration 기능을 제공한다.
- 입력 채널의 Offset 및 Gain, Fail 여부를 확인 가능하다

#### 다. Relay Output Module

##### (1) 목적

PCS에 사용되는 Relay Output Module인 XV303A Module은 현장으로 출력하는 Relay Contact 신호를 발생시키기 위하여 개발되었다.

##### (2) 기능정의

ROM은 PCS의 Relay Contact을 출력하는 모듈로 주요기능은 아래와 같다.

- FCM으로부터 Relay Contact 정보를 입력받아 System 외부로 출력하는 기능을 가진다.
- 16channel의 Relay Contact Output 기능을 가진다.
- Watch-Dog 기능을 가지고 있어 제어모듈이 정상이 아닐 경우 출력을 차단하는 기능을 가지고 있다.

##### (3) 특징

Digital I/O Module은 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

- 모듈 전면의 Front panel을 통하여 각 Channel의 입출력 상태를 LED를 통하여 사용자가 식별 가능하도록 한다.
- Logic과 Signal간은 전기적으로 절연되어 외부의 전기적 충격으로부터 System을 보호한다.

- VME Bus상에서 Slave로 동작한다.
- 모듈의 Address는 모듈 내부의 Dip Switch를 사용하여 설정한다.
- 공급 전원 : +5.00VDC  $\pm$ 0.25VDC
- Isolation 전압 : 2500Vrms
- Relay Output 최대 허용 전력 : 400VDC 0.
- Photo MOS Relay를 사용한 접점 방식(Normal Open)이다.

### 3. 환경특성

제어모듈은 원자력 품질등급은 Class-1E 조건을 만족하는 사양으로 개발, 제작되었으며 기기검증시험을 통해 제작사양이 Class-1E 조건을 만족하는 것으로 입증되었다.

## 4제 절 캐비닛 개발

### 1. 목적

PCS에 사용되는 Cabinet은 개발품의 실장 및 보호를 위해 개발하였다.

### 2. 구성요건

본 항목의 내용은 PCS의 캐비닛 개발내용을 기술하며, 상세한 설계 및 제작 요건은 IEEE. Std 323, 344, 383, 420의 기술 요건에 준한다.

### 3. 기능정의

Cabinet이 가지고 있는 구성상의 기능은 아래의 내용과 같다.

- 캐비닛 외함은 직립 및 자립형의 구조로, 각 제어 유니트 별로 구분되고, 좌우측 양쪽이 밀폐된 구조이다.
- 캐비닛 외함은 Logic Cabinet, Termination Cabinet, Mux. Cabinet 이 동일한 구조이다.
- 캐비닛은 Q Class 와 T Class 구조로 구성되어 있다.
- 캐비닛은 Logic과 Mux. 그리고 Termination Cabinet 등으로 구성되어 있다.
- 각 캐비닛은 편리한 현장 배선과 유지 보수 및 현장 여건에 따른 변경이 편리하고, 쉬운 구조이다.
- 각 캐비닛은 견고하고 산뜻하며, 수려한 외관의 NEMA 12의 구조이다.
- 재질은 SCP-1종의 강철판을 사용한다.
- 몸체의 내진에 대한 강도를 높이기 위하여 사방을 50mm × 50mm × 6t의 "ㄱ" Angle Frame으로 지지하는 구조이다.

- 캐비닛에 사용하는 철판의 두께는 Door 및 각종 Brackets 2.3t를 제외한 일체는 3.2t 이상이다.
- 베이스는 100mm × 50mm × 5t의 "C" 형강을 사용한다.
- Logic Cabinet은 Termination Cabinet이 분리되어 열반되는 형태이며, Mux. Cabinet은 Termination Cabinet이 통합된 일체형의 구조이다.
- 열반되는 캐비닛간의 각종 Cable & Wire의 상호 연결을 위하여, 캐비닛 몸체의 좌우측 면에, 위에서 아래의 방향으로 각각 6개의, Size 100mm × 70mm 크기의 장방형 Hole을 가공하고, 이에 Cable & Wire의 고정을 위하여 직경 10mm의 Steel Bar를 용접하여 설치한다.
- 모든 Open 되는 부분은 전자기 장애(EMI)의 최소화를 위하여 EMI Gasket 및 EMI Filter를 포함한다.
- Door는 캐비닛의 전면과 후면에서 개폐할 수 있는 구조이며, Key로 잠금이 되도록 하고, 내진에 대한 강도를 높이기 위하여, Door Handle Bar의 견고한 고정을 위하여, 특수 제작된 고정구를 캐비닛 몸체에 고정, 설치한다.
- 캐비닛의 운반 및 운송을 손쉽게 하기 위하여 Top의 각 모서리 부근에 Lifting용 Eye Bolt 4개를 설치한다.
- Door의 고정용 Hinge는 균등한 간격을 두고 4개를 설치하며, 내진에 대한 효율을 높이기 위하여 서로 마주보는 역 방향으로 고정, 설치한다.
- 전후면 Door의 개폐를 알 수 있도록 Micro Switch를 설치한다.
- 내부의 냉각 및 환기를 위하여 환기창을 전후면 Door 하부에, 배기용 Fan을 상부에 설치하며, 전자기 장애(EMI)의 최소화를 위하여 EMI Gasket 및 EMI Filter를 포함한다. 단, Mux. Cabinet은 내부의 체적을 계산하여 42(W/K) 2Sets의 High Cooling Fan을 설치한다.
- 구조는 내진 및 EMS, 온도 및 습도 기준을 만족하기 위한 구조이

며, 내진을 위하여 모든 강재 및 철재는 용접하여 고정한다.

#### 4. 내부구성

##### 가. 전면 내부 기본 규격

- 캐비닛 전면 내부는 Logic Cabinet, Termination Cabinet, Mux. Cabinet이 동일한 구조이다.
- 제어 Module을 위한 Sub Rack 설치를 위하여, 몸체 전면의 좌우 측면에 Sub Rack Bracket를 위에서 아래의 방향으로 고정, 설치한다.

##### 나. 좌우측면 내부

- Logic Cabinet의 좌우측면 내부는 좌우측에 Sub Rack Bracket, 좌측 또는 우측에 Termination Cabinet의 내부에 장착되는 I/O용 TB Board와 연결되는 I/O Cable을 위하여 Cable Bar를 용접으로 고정, 설치한다.
- Termination Cabinet의 좌우측 및 전면 내부는 TB Board를 장착하기 위한 TB Board Bracket를 용접으로 고정 및 설치하고, 이 옆에 Logic Cabinet의 내부에 장착되는 I/O용 Module과 연결되는 I/O Cable의 고정을 위한 Cable Bar, 현장 인입용 Cable의 고정을 위한 Cable Bar를 용접으로 고정, 설치한다.
- Mux. Cabinet의 좌우측 및 전면 내부는 TB Board를 장착하기 위한 TB Board Bracket를 용접으로 고정 및 설치하고, 이 옆에 내부에 장착되는 I/O용 Module과 연결되는 I/O Cable의 고정을 위한 Cable Bar, 현장 인입용 Cable의 고정을 위한 Cable Bar를 용접으로 고정, 설치한다.
- Logic Cabinet과 Mux. Cabinet은 각 Sub Rack에 연결되는 5V Line 전력선 연결을 위한 Power Common Bus Bar를 좌측 또는 우측면에 절연애자에 의하여 고정 및 설치되며, 내화성 자재로 절연하여 사용한다.

#### 다. 바닥 내부

- 캐비닛 바닥 내부는 Logic Cabinet, Termination Cabinet, Mux. Cabinet이 동일한 구조이다.
- 캐비닛의 현장 설치 시, 기초 Base Channel를 현장에 구비된 Frame에 용접 또는, Anchor Blot에 의하여 고정, 설치할 수 있도록 설계 및 제작한다.
- 각종 케이블 및 전선은 하부의 Cable Entry Hole을 통하여 인입되며, 각종 케이블 및 전선의 고정 및 정리 정돈을 위하여 Cable Entry Hole 후면에 Cable Bar를 설치한다.
- Power Line 및 외함의 접지를 위하여 바닥에 Power Bus Bar를, 각종의 Signal Line의 접지를 위하여 Signal Bus Bar를 설치한다.
- 외함의 접지는 38SQ 나동선을 바닥에 용접한 후에 Power Bus Bar에 연결한다.
- Cable Entry Hole은 Cable 인입 시 Cable이 손상되지 않도록 모서리 부분을 마무리한다

### 5. 설계 및 제작

본 항에서는 PCS 캐비닛 설계 및 제작에 관련된 기본 요건을 기술하며, 상세한 설계 및 제작 요건은 IEEE. Std. 344 또는 420의 기술 요건을 따라야 한다.

#### 가. 크기

캐비닛의 크기는 전면 내부에 설치되는, 제어 Module이 장착되는 Sub Rack의 크기 및 사양에 따라 아래와 같이 제작한다.

- 높이(High) : 2300mm
- 넓이(Width) : 800mm

- 깊이(Depth) : 800mm

#### 나. 재질

캐비닛에 사용되는 재질은 최소한 아래의 재질 이상을 사용한다.

- Panel Body & Barrier : ASTM-A569-11GA Steel Plate
- Door & Bracket : ASTM-A569-14GA Steel Plate
- Angle Frame & Channel Base : ASTM-A36

#### 다. 용접

캐비닛 제작 시 용접 기준은 최소한 아래의 용접 절차 기준을 따른다.

- Steel Plate, Angle Frame, Channel Base는 AWS D1.1 & D1.3 절차 기준을 준수한다.
- 용접부는 견고하고 미려하게 마무리한다.
- 용접은 균등한 간격 및 균일한 폭으로 실시한다.
- 비드의 크기 및 폭이 일정하게 실시한다.
- 편심이 없도록 실시한다.
- 크랙 또는 균열이 없도록 시행한다.

#### 라. 도장

캐비닛의 도장은 최소한 아래의 조건을 따른다.

- 화염 지연성 재료, 팽창성 페인트 또는 코팅제를 사용한다.
- 캐비닛 내외부의 색상은 Munsell No. 5Y 7/1로 한다.
- 도장 두께는 80 $\mu$ m 이상이다.
- 도장 전에 도장의 영구적 수명을 위하여 캐비닛 전체를 도금하며, 도통이 필요한 부분은 Masking 처리를 한다.

- 도장은 각종의 금속 표면 처리 및 세척, 도금, 초벌 등의 과정을 거친 최종의 도장이다.

#### 마. 접지

캐비닛 내부에 설치하는 접지용 Bus Bar는 IEEE. Std. 1050의 제5항 및 제6항의 기술 기준에 따른다.

- 접지용 Bus Bar의 재질은Copper(600V)로 한다.
- Power Line 및 외함의 접지를 위하여, 바닥에 Power Bus Bar를, 각종의 Signal Line의 접지를 위하여, Signal Bus Bar를 설치한다.
- 접지용 Bus Bar는 도전율을 높이기 위하여 은도금 처리를 한다.
- 접지용 Bus Bar의 크기는500mm \* 30mm \* 8t로 한다.
- 접지용 Bus Bar는 Signal Bus Bar와Power Bus Bar를 개별적으로 설치한다.
- Signal Bus Bar는 절연 애자로 Bottom에 고정, 설치한다.
- Power Bus Bar는 Steel Bracket로 Bottom에 고정, 설치한다.
- Power Bus Bar에는 주 접지를 위하여 직경 14mm의 Hole 2개를 가공한다.
- 캐비닛 외함의 접지는 38SQ 나동선을 "ㄱ" Angle Frame에 용접한 후에 Power Bus Bar에 연결한다.

#### 바. 내부 및 외부 부속 자재

캐비닛 내부에 사용되는 기타 부속 자재의 조건은 IEEE. Std. 344, 420, 1050의 기술 기준에 따라서 구매 및 제작, 설치한다.

- 캐비닛 내부에 사용하는 Terminal Block, Cable Way, Wire, Cable, Wire Cleats, Cable Tie, Etc., 등은 화염 지연성 재료로 제조 및 제작된 정품을 사용한다.



- Signal Cable과 Power Cable은 Cable Way를 구분한다.
- 접지2구형의 콘센트를 설치한다.
- 캐비닛 내부에서 발산되는 열을 방출하기 위하여 Ventilation Cooling Fan을 설치한다. 단, Mux Cabinet은 High Cooling Fan을 설치한다

## 5제 절 기타 하드웨어 개발

### 1. 목적

PCS를 위해 개발된 기타 하드웨어들은 개발된 시스템 구성품들의 설치와 인터페이스를 위해 개발되었다.

### 2. 기타하드웨어

#### 가. J1 Back Plane

##### (1) 목적

PCS에 사용되는 J1 Back Plane은 시스템을 구성하는 Unit 단위의 구성품 들을 VME-bus 인터페이스를 위하여 개발되었다. 개발품은 모두 5종으로 각 Unit에서 허용하는 모듈설치 숫자를 기준으로 개발되었다.

##### (2) 기능정의

J1 Back Plane은 VME-bus 인터페이스를 위하여 개발되었으며 주요기능은 아래와 같다.

- Unit(Sub-Rack)에 설치된 각종 모듈에 전원을 공급한다.
- Unit(Sub-Rack)에 설치된 각종 모듈에 제어신호 및 Data 신호를 연결한다.
- Unit(Sub-Rack)에 설치된 각종 모듈에 Address 신호를 연결한다.

##### (3) 특징

Digital I/O Module은 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

- Unit(Sub-Rack)에 장착되는 방법은 Screw Mount type이다.

- Unit을 시스템에서 분리하지 않은 상태에서 교환이 가능하다.
- 용도에 따라 1Slot, 2Slot, 3Slot, 10Slot 및 18Slot의 용량을 가진다.

#### 나. J2 Back Plane

##### (1) 목적

PCS에 사용되는 J2 Back Plane은 시스템을 구성하는 Unit 단위의 구성품 들을 VME-bus 인터페이스를 위하여 개발되었다. 개발품은 모두 4종으로 각 Unit에서 허용하는 모듈설치 숫자를 기준으로 개발되었다.

##### (2) 기능정의

J2 Back Plane은 I/O 인터페이스를 위하여 개발되었으며 주요 기능은 아래와 같다.

- Unit(Sub-Rack)에 설치된 각종 모듈에 신호처리용 전원을 공급한다.
- Unit(Sub-Rack)에 설치된 제어모듈의 위치정보를 제공한다.

##### (3) 특징

Digital I/O Module은 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

- Unit(Sub-Rack)에 장착되는 방법은 Screw Mount type이다.
- Unit을 시스템에서 분리하지 않은 상태에서 교환이 가능하다.
- 용도에 따라 1Slot, 2Slot, 3Slot 및 10Slot의 용량을 가진다.

#### 다. I/O Terminal Block

##### (1) 목적

PCS에 사용되는 I/O Terminal Block은 현장에서 연결되는 신

호선들을 시스템에 설치된 I/O Module에 연결하기 위해 개발되었으며 모두 3종으로 각 I/O Module에서 허용하는 신호 숫자를 기준으로 개발되었다.

## (2) 기능정의

I/O Terminal Block은 현장과 I/O Module 간의 인터페이스를 위하여 개발되었으며 주요기능은 아래와 같다.

- 현장에서 입력되는 신호선을 연결할 수 있도록 Screw Terminal Block이 설치되어 있다.
- 각 I/O Module에 신호케이블을 연결할 수 있도록 커넥터가 설치되어 있다.
- 신호처리용 전원을 연결할 수 있도록 Screw Terminal Block 이 설치되어 있다.

## (3) 특징

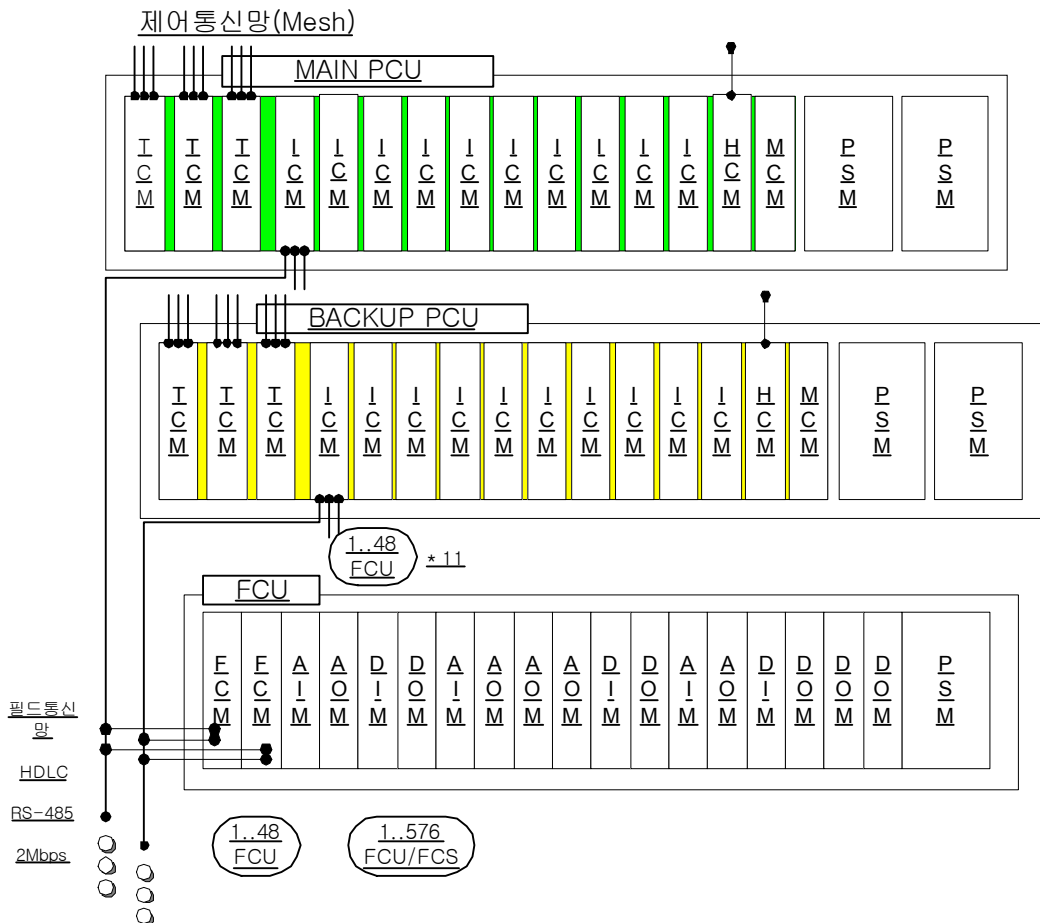
I/O Terminal Block은 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

- 유지보수가 용이하도록 부품들의 개별적인 분리가 가능하게 개발되었다.
- 시스템의 유지보수 효율을 높이기 위해 시스템 인터페이스 부분은 커넥터를 사용하였다.
- 용도에 따라 Digital I/O, Analog I/O(2종), Relay Output Terminal Block으로 구분하여 사용할 수 있도록 개발되었다.

## 5제 장 소프트웨어 개발

### 1제 절 통신 소프트웨어 개발

통신 소프트웨어는 정보통신망, 제어통신망, 필드통신망으로 구분되어진 통신망의 종류에 따라 하드웨어가 구분되듯이 소프트웨어도 구분하여 제작하였다. 통신망은 정보의 종류, 독립성에 입각하여 구분하여 구성하였고, 그에 따라 구분된 세 단계의 통신망에 해당되는 통신 모듈들은 다음과 같다.



정보통신망 : HCM( Communication Module),

Fast-Ethernet(100Mbps), UDP/IP

HCM --> OIS server. 간 통신

제어통신망 : TCM(Train Communication Module),

Fast-Ethernet(100Mbps), 1:1 통신

TCM <--> TCM 간 통신

필드통신망 : ICM(Inter-Train Communication Module)과 FCM(Field Control Module)

RS-422(2Mbps), HDLC, Token-driven 방식

ICM <--> FCM간 통신

## 1. 정보통신망

정보통신망의 HCM은 OIS 서버와 연결되어 오퍼레이터가 운전에서 필요한 데이터를 비교적 느린 주기(500ms)로 업데이트하고 있다. Fast Ethernet에 UDP/IP 프로토콜을 이용하여 대량의 모니터링 정보를 서버에게 전달하고 있다. 모니터링 정보들은 시스템의 상태정보와 제어 입출력값, 그리고 알람 등의 정보들로 이루어져 있다. 정보통신망은 이중 통신 모듈 및 통신라인으로 구성되어 있어서 통신 Port의 단일 고장에도 정상적인 운영이 가능토록 제작하였다.

## 2. 제어통신망

제어통신망의 TCM은 Train과 Train, 혹은 Train과 Division을 Mesh 통신망 구조로 구성하고 있어서 제어 데이터를 독립된 각각의 선로를 통해 고속 주기(20ms)로 주고받을 수 있도록 구성하였다. TCM 모듈 하나에 있는 세 개의 통신 port를 이용하여 세 개의 상대 TCM과 연결될 수 있게 하였고, 한 개의 통신 port에는 상대의 통신 port와 1:1

로 연결하여 통신함으로써 통신 성능 향상과 라인이나 통신 port고장 시 고장 발생 부분의 영향을 최소화하였다. 또, Fast Ethernet port를 직접 드라이브하여 단순 명료한 통신이 이루어지도록 제작하였다. TCM은 당 과제에서 핵심적인 기술로 여기고 있는 RMB(Replicated Memory Bus)운영에 있어서 없어서는 안 될 중요한 역할을 담당하고 있다. 제어통신망도 이중 통신 모듈 및 이중 통신라인으로 구성되어 있고 통신 Port의 단일 고장에도 정상적인 운영이 가능토록 제작하였다.

### 3. 필드통신망

필드통신망의 ICM과 FCM은 2Mbps의 HDLC 프로토콜을 이용하여 버스형태의 동기방식의 통신이 이루어지도록 제작하였다. ICM은 통신 Master로서 세 개의 HDLC 통신 port를 관리하며, 각 통신 Port마다 16 node의 FCM이 연결될 수 있어서 한 ICM이 모두 48개의 FCM과 통신으로 연결될 수 있게 하였다. 한 ICM과 FCM의 통신 주기는 20ms정도로 고속이며, ICM은 한 FCM과 약 1ms이내에 통신하고 있다. 토큰 패싱 방식의 통신 프로토콜을 사용하여 통신 중 데이터 충돌의 문제점을 해결하였다. 필드통신망도 이중 통신 모듈 및 이중라인으로 구성되어 있고 통신 Port의 단일 고장에도 정상적인 운영이 가능토록 제작하였다.

## 2제 절 제어 소프트웨어 개발

제어 소프트웨어는 FCM(Field Control Module)에 구현되었다. 이로써 FCM은 독립적인 제어 기능은 물론 필드통신망을 통한 데이터 전송까지 모두 해결하고 있다. 제어 소프트웨어는 다시 제어 알고리즘 수행기와 제어 라이브러리로 구분할 수 있다. 제어 라이브러리는 제어 알고리즘을 수행하는데 필요한 기본 블록들의 집합으로서, 제어를 수행하는데 필요한 파라미터들을 입력받아 출력을 만들어내는 역할을 담당한다. 제어 알고리즘 수행기는 다운로드 된 제어 알고리즘을 해독하여 제어 라이브러리와 연결시켜, 목적하는 궁극적인 출력을 얻을 수 있게 만든다. 이 두 기능의 조합으로 제어 기능을 수행해 낼 수 있는 것이다.

### 1. 제어 라이브러리

제어라이브러리는 일반적으로 Function Block으로 통용되고 있다. 구현된 Function Block들을 다음 표에 나타내었다.

#### • 엔지니어링 프로세싱 블록

번호	이름	설명	번호	이름	설명
1	AIN	Analog Input	2	AOUT	Analog Output
3	DIN	Digital Input	4	DOUT	Digital Output

#### • 베이직 블록

번호	이름	설명	번호	이름	설명
1	IND	Indicator	2	ACT	Actuator
3	LAMP	Lamp	4	SWT	Switch
5	ABUF	Analog Buffer	6	ABUF2	Analog Buffer-2
7	ABUF4	Analog Buffer-4	8	DBUF	Digital Buffer



• 베이직 블록(계속)

번호	이름	설명	번호	이름	설명
9	DBUF2	Digital Buffer-2	10	DBUF4	Digital Buffer-4
11	PB4	Push Button-4	12	PB7	Push Button-7
13	PID	PID	14	CST	Cascade Setter
15	PAS	Preset Analog SUM	16	PPS	Preset Pulse Sum
17	PFI	Power Factor Ind.	18	TIMER	Timer
19	CNT	Counter	20	MA	Manual/Auto station
21	AST	Analog Setter			

• Type Conversion 블록

번호	이름	설명	번호	이름	설명
1	ETP	Eng. to Percent	2	PTE	Percent to Eng.
3	ITF	Int. to Float	4	FTI	Float to Int.
5	BTC	Binary to Character	6	CTB	Character to Binary
7	CTW	Character to Word	8	WTC	Word to Character
9	BTG	Binary to G.			

• Boolean Operation 블록

번호	이름	설명	번호	이름	설명
1	AND	And	2	NOT	Not
3	OR	Or	4	XOR	Exclusive Or
5	QOR	Qualified Or			

• Comparison 블록

번호	이름	설명	번호	이름	설명
1	EQ	Equal(=)	2	LE	Lower than, or =
3	GE	Greater than, or =	4	LT	Lower than
5	GT	Greater than			

• Flip-Flop 블록

번호	이름	설명	번호	이름	설명
1	RFF	Reset F/F	2	SRTFF	Set Reset Tr. F/F
3	SFF	Set F/F	4	LATCH	Latch
5	SRFF	Set Reset F/F			

• Selection 블록

번호	이름	설명	번호	이름	설명
1	MIN	Min.	2	DDMX	Digital Demux.
3	MAX	Max.	4	AMUX	Analog Mux.
5	DMUX	Digital Mux.	6	ADMUX	Analog Demux.

• Limitation & Alarm 블록

번호	이름	설명	번호	이름	설명
1	LIM	Limit.	2	CLL	Cut Lower Limit
3	CUL	Cut Upper Limit	4	ROC	Rate Of Change Lim.

• Time 블록

번호	이름	설명	번호	이름	설명
1	ONTD	On Time Delay	2	TONM	On time delay - min.
3	OFTD	Off Time Delay	4	TOFM	Off time delay - min.
5	TONS	On time delay - sec.	6	PULSE	Pulse
7	TOFS	Off time delay - sec.	8	CLOCK	Hour, Min, sec
9	YMD	Year Month Date			

• Math 블록

번호	이름	설명	번호	이름	설명
1	SUM	Sum	2	ABS	Absolute
3	MUL	Multiply	4	SQT	Square root
5	DIV	Divide	6	MOD	Modular

## 2. 제어 알고리즘 수행기

제어 알고리즘 수행기는 엔지니어가 임의로 작성한 제어 알고리즘 데이터를 다운로드 받거나, 동작 중인 알고리즘에 여러 가지 명령들을 처리하는 부분과 지속적으로 제어 알고리즘을 수행하는 부분으로 나뉠 수 있다. 엔지니어가 임의로 작성한 제어 알고리즘은 플래쉬메모리에 다운로드 되어 파워가 꺼진 상태에서도 다운로드 된 로직을 그대로 보존할 수 있게 하였으며, 모니터링 및 여러 가지 명령 처리 기능으로 다양한 시험을 할 수 있게 하였다.

다운로드 된 알고리즘은 최고 10ms 주기로 수행될 수 있으며, 임의의 주기값으로 운전될 수 있게 하여, 여러 가지 경우에 대비하였다. 제어 알고리즘은 FCM의 장착된 위치가 정해진 곳이면서, 다운로드 된 정보에 담고 있는 위치 정보와도 일치해야 비로소 동작토록 구현하여 안정성 있고, 정확한 제어 알고리즘이 수행되도록 하였다.

### 3제 절 구성용 소프트웨어 개발

#### 1. 목적

구성용 소프트웨어는 PCS설비의 운영에 필요한 엔지니어링 데이터를 생성하기 위한 소프트웨어로 구성되며, 시스템/논리 로직/태그/그래픽 화면 구성에 필요한 기능을 수행하는 소프트웨어를 개발하는데 목적이 있다.

#### 2. 소프트웨어 개요 및 기능

##### 가. System Builder (SB)

구성용 소프트웨어가 담당하는 역할은 크게 설비의 가동 전 역할과 운전 중 역할로 구분할 수 있다.

시스템의 가동 전에 운전원은 구성용 소프트웨어를 통해 Station의 각종 캐비닛 하드웨어 구성, 공정변수를 설정, 제어 로직을 작성하여 이를 FCS(Field Control Station), OIS(Operator Interface Station) 등에 다운로드 할 수 있다. 또한, 운전 중에는 온라인으로 FCS 등의 공정변수를 변경하거나, 실시간 데이터 감시의 역할을 수행한다.

운영체제로는 Windows를 사용하며, 데스크탑 또는 노트북 컴퓨터에서 구동된다. 컴퓨터에 부착된 통신카드를 이용해 제어통신망에 연결되어, 이를 통하여 시스템 구성정보 및 공정변수를 하부 캐비닛에 다운로드 한다. 다운로드 PCU및 FCU의 통신모듈에 시리얼 통신을 통해 직접 연결하여 수행하는 방식도 지원한다.

구성용 소프트웨어 중에서 시스템 빌더(System Builder) 어플리케이션은 Station의 하드웨어 구성 및 특정 공정변수를 설정할 수 있는 툴이다. 또한 정상운전 시에는 FCS의 실시간 데이터를 감시할

수 있는 기능도 지원한다. 운전원은 최적화된 그래픽 사용자 환경에서 원하는 작업을 수행 할 수 있다. 컴퓨터에 부착된 키보드, 마우스를 통해 원하는 엔지니어링 작업을 수행한다.

#### 나. Tag Builder (TB)

Tag Builder란, PCS 시스템에서 사용되는 모든 태그들을 열람하고, 관리하기 위한 소프트웨어 툴이다. 사용자가 친숙하고 체계적으로 작업을 할 수 있도록 최적의 그래픽 사용자 인터페이스를 제공하도록 설계하였다.

Tag(태그)는 분산 제어 시스템의 운전에 필요한 기본 단위로서, Tag Builder에서는 Function Block Tag의 생성과 삭제, 수정과 열람이 가능하며, IO Tag의 수정과 열람이, 그리고 System Tag의 열람이 가능하다.

#### 다. Control Logic Builder (CLB)

로직 구조를 표현하는 제어 프로그램인 Control Logic Builder(이하 CLB)는 IEC 프로그래밍 언어인 Function Block Diagram(FBD), Ladder Diagram(LD), Sequential Function Chart(SFC)를 지원한다.

FBD 프로그래밍 언어의 기본 요소는 Function과 Function 블록이며 LD 프로그래밍 언어에서는 기본 요소로 접점(Contact)과 코일(Coil)을 사용한다. SFC는 기본 요소로 Step, Transition, 링크, 이중 브랜치(Alternative branch), 이중 조인트(Alternative Joint), 점프(Jump)를 둘 수 있다.

#### 라. Graphic Builder (GB)

그래픽 빌더는 원자력 발전소, 화력 발전소, 공장, 빌딩, 전력 등의 감시에 필요한 현장도면을 시각화하여 표현하는데 필요한 각종 그

래픽 도면을 쉽고 빠르게 그릴 수 있는 응용 프로그램으로서 모든 도형을 객체화하여 각각의 객체에 동적인 특성을 부여 할 수 있도록 하였다.

선, 원, 원호, 박스 등의 기본적인 그리기 기능 이외에 사진 등의 이미지를 합성하여 다양한 도면을 현장감 있게 구성, 실제 현장 근무자(감시자)가 전체 및 일부의 상황을 신속하게 파악할 수 있도록 설계하는 그래픽 도구이다..

특이하게 감시용 소프트웨어에 별도의 Graphic View 모듈 가지고 있지 않고 Graphic Builder와 View가 같은 모듈에서 수행 가능하게 설계되어 별도의 프로그램을 실행하지 않고 바로 상호 모듈로 전환이 가능하게 되어 있다.

#### 마. System Configuration Tool (SCT)

System Configuration Tool 은 EIS에서 설정한 태그 정보 파일(Tag Info), 그룹 정보 파일(Group Info), CLB로직 파일, 그래픽 빌더 파일(\*.kjpg)등을 OIS로 배포하는 툴이다. \*.TYP, \*.SRZ, \*.SYT, \*.FBT, \*.IOT, \*.KJG, \*.FHT, \*.LGD, \*.PRJ, \*.TDB, \*.CDB, \*.ADB, \*.BDB, \*.RDB등의 파일을 선택해서 업데이트 할 수 있다.

엔지니어가 이러한 설정 정보를 제공하고 운전자는 반드시 System Configuration Tool을 통해 SERVER, OIS로 업데이트(복사)를 해야 한다.

뿐만 아니라 System Configuration Tool은 복원 기능을 가지고 있다. 이는 매번 복사 과정의 착오가 발생하여 오류 파일 전송을 복구할 수 있다는 것을 의미하며 다른 한편으로는 모든 파일이 이력 관리 될 수 있는 뜻이다.

더욱이 System Configuration Tool은 이력 조회 기능을 가지고 있

다. 한 번이라도 복사되었던 파일들이 언제, 어느 OIS에 복사가 되었는지 이력을 관리하는 것이다.

위와 같이 복사(Update), 복원(Restore), 이력(History) 의 3가지 모드를 실행 할 수 있지만, System Configuration Tool의 주 기능은 복사(Update) 로 시스템의 모든 OIS에 실행 중인 System Tray를 통해서 OIS 전체 시스템 구성을 파악하고 모든 OIS와 연결하여 Tag Info, Group Info, Graphic 파일, CLB 로직 파일 등을 비교하여 그 차이를 화면에 나타낸다.

아울러 성공적인 업데이트가 이루어졌으면 OIS에 실행중인 어플리케이션에 이를 통보함으로써 어플리케이션이 새로 설정된 정보를 읽어와 화면 갱신을 할 수 있도록 한다. 이러한 이유로 운전자는 EIS 설정 정보 파일을 직접 복사하는 것을 지양하고 System Configuration Tool의 관리를 받아 업데이트를 수행하도록 한다.

#### 바. Group Builder (GrB)

사용자는 비슷한 성질의 태그(Tag), 또는 상태 변화 및 그 추이를 동시에 관찰하고자 하는 태그들을 하나의 그룹(Group)으로 묶어 보다 효율적으로 상태 변화를 보고자 한다. 그룹 빌더는 사용자가 그룹의 성격을 정의하고 태그들을 그 그룹에 등록시키는 역할을 한다. 또한 이미 정의되어 있는 그룹의 설정을 변경하는 데도 사용한다.

### 3. 개발 환경 및 도구

가. OS : Microsoft Windows 2000 (5.00.2195) - Service Pack 2

나. H/W Development Environment : P4-1.6GHz, RAM 512MB, HDD 40GB

다. S/W Development Tools : Microsoft Visual C++ 6.0, Service Pack5

라. Help Tool : JGsoft, Help Scribble 6.2.0

#### 4. 개발 결과물

가. 기본/상세 요건서

나. 기본/상세 설계서

다. 소스코드

라. 실행 파일

마. 사용자 매뉴얼



## 4제 절 감시용 소프트웨어 개발

### 1. 목적

PCS설비의 감시에 필요한 소프트웨어로 구성되며, 구성용 소프트웨어로 설정된 정보를 바탕으로 화면에 감시 데이터를 표시하는 데 목적이 있다.

### 2. 소프트웨어 개요 및 기능

#### 가. Kernel Task Module (KTM)

KTM은 서버에서 운영되는 커널 소프트웨어를 관리하며 정상적으로 커널 소프트웨어가 운영되도록 관리하는 기능을 수행한다.

다른 커널이 데이터를 저장하고 이벤트를 검사하기 위한 Tag정보를 공유 메모리에 적재하는 역할을 한다.

#### 나. Scanbuff Communication Module (SCM)

PCS 커널 프로그램중 하나인 SCM(Scanbuffer Communication Manager)은 Monitoring 데이터 수집 및 메모리 저장 역할을 담당한다.

하부 시스템에서 보내오는 데이터를 스테이션별로 구분하여 수신하고 수신된 데이터는 건전성을 판단하여 건전한 데이터는 공유메모리에 저장한다.

#### 다. Event Data Module (EDM)

PCS 의 커널 소프트웨어 구성원으로 SCM에서 기록한 공유메모리의 데이터를 검색하여 이벤트 변화를 확인하고 그 변화를 이벤트 이력 파일에 기록한다.

또한 현재의 이벤트 이력(일정 개수의 내부 버퍼에 저장되어 있는 이벤트)을 관련 어플리케이션으로 서비스하고, 이벤트 변화 사항과

사용자의 설정 내용을 어플리케이션으로 알리는 기능을 수행한다

#### 라. Event Historical Module (EHM)

PCS의 커널 소프트웨어 구성원으로 EDM이 생성한 이벤트 이력 파일을 검색하고 관련 어플리케이션으로의 서비스를 담당한다.

검색 서비스는 시간 영역, 이벤트 종류, 파일에서의 위치 3가지를 사용하며, 동시에 64개의 서비스가 가능하다.

#### 마. Value Data Module (VDM)

PCS 커널 프로그램중 하나인 VDM(Value Data Manager)은 공유 메모리에 저장되어 있는 모니터링 데이터를 분석하여 Historical Data 서비스를 위해 파일에 저장한다.

파일명은 Tag 정보와 날짜로 이루어지며 날짜가 바뀌면 새로운 파일을 생성한다

#### 바. Value Historical Module (VHM)

PCS의 커널 소프트웨어 구성원으로 VDM이 생성한 저장 데이터를 파일을 검색하고 관련 어플리케이션으로의 서비스를 담당한다.

#### 사. Engineering Data Server (EDS)

EXOS EDS는 Engineering된 데이터를 Server및 다수의 OIS에 간편하게 배포하기 위해서 사용하는 SCT의 데이터를 수신하거나 데이터를 전송하기 위한 기능을 처리한다

#### 아. Launcher

Launcher는 OIS에서 실행되어야 하는 모든 감시용 프로그램들의 동작을 관리하고, 현재의 시스템 상태 및 프로세스 상태를 감시하며, OIS Station의 사용자 정보를 관리하는 역할 등을 수행하는 프로그램 모듈이다.

모든 OIS 프로그램 모듈의 실행은 오직 Launcher(런처)를 통해서만 가능하며, 또한 OIS Station의 사용자는 Launcher에 로그인 해야만 OIS 프로그램 모듈의 사용 권한을 얻을 수 있다

#### 자. Control Group Display (CGD)

Control Group Display 화면은 한 Group에 포함된 Tag들의 정보를 표시한다. 한 화면에는 최대 16개까지의 Tag를 나열할 수 있으며 Tag는 Faceplate 형태로 표시된다. Group Builder에서 구성된 Tag들을 표시하는데 화면내의 Tag위치 장소는 정적으로 생성되어 있고 Group에 구성된 Tag순서대로 표시된다.

Group 내의 Tag들은 일련의 번호를 가지고 있고 만일 한 Control Group에 Tag가 5개 등록되어 있는데 등록되어 있는 순서가 1, 5, 6, 7, 10 이라고 하면 Control Group Overview의 정적으로 생성되어 있는 위치의 앞에서부터 5개의 Tag를 순차적으로 표시하지 않고 1, 5, 6, 7, 10 번째의 위치에 표시되게 된다.

사용자는 이 화면에서 Mode 전환, 설정치 변경, Remote Operation 등을 할 수 있으며 각 Tag의 상태를 한눈에 파악할 수 있으므로 문제가 발생시 신속하게 조치할 수 있다.

Tag의 종류에는 System Tag, I/O Tag, Function Block Tag의 세 종류가 있다.

Function Block Tag인 경우 모니터링 할 수 있는 Tag는 크게 Analog계와 Digital계로 나뉘어지며 12가지 Type으로 분류된다.

Tag를 검색 할 때나 현재 값을 요청할 때, 제어 Command를 발생시킬 때에는 I/O Tag, System Tag인 경우 TagID값으로 Function

Block Tag인 경우에는 Rkey값으로 Reference한다.

현재 Group의 Monitoring을 제외한 제어 Command를 발생시키고자 할 때에는 사용자의 등급에 따라 제어를 제한하므로 Password를 요구한다.

#### 차. Event Display (ED)

시스템 전체에서 발생한 태그 정보, 시스템 정보 등 OIS에서 발생한 각종 이벤트(운전 기록, 사용자 관련 기록, 시스템 설정 기록 등)를 화면에 보여준다. Event Display는 크게 2가지 모드를 제공하는데 첫째는 현재 정보 모드로 리얼타임 이벤트를 표시하며, 둘째는 이벤트 이력 모드로 히스토리컬 이벤트를 조회한다. 각각의 모드는 FB 정보, 시스템 정보, IO, SW를 조회하며, 아울러 기타 이벤트는 성격상 히스토리컬 모드에서 취급하기로 한다.

현재 정보 모드에서 미확인 경보는 확인되는 Check 표시를 할 수 있도록 하여 운전자의 확인이 이루어질 수 있도록 한다. 경보의 확인 및 복구 여부에 따라 글자나 바탕을 깜박이게 하거나 화면에서 사라지게 하는 등 사용자 설정이 가능하다.

이벤트 이력 모드에서는 화면에서는 현재 정보 모드에서 보았던 모든 정보 및 이벤트를 원하는 시간 범위로 조회하며, 그 내용을 다양한 조건으로 필터링 할 수 있다. 기타 이벤트 화면에서는 확인 및 복구 과정 없이 발생한 메시지를 시간 순으로 보여줄 뿐이다.

#### 카. Real /Historical Trend (RT, HT)

Trend는 연관된 태그들의 태그 값을 시간의 흐름에 따라 그래피컬하게 보여주는 프로그램이다. Trend는 그룹 당 최대 8개의 태그를 동시에 분석할 수 있으며, 다음과 같은 두 가지 모드로 사용된다.

첫째, Real-time mode는 실시간으로 전송되는 태그 값을 그래프로 나타내어 운전자가 직관적으로 현재 상태를 감시할 수 있도록 한다.

둘째, Historical mode는 운전자가 요청한 특정 시간에 해당하는 태그값을 그래프와 수치로 보여주고, 또한 평균값, 최소값, 최대값을 보여준다.

#### 타. System Tray (ST)

System Tray(이하 ST)는 상시 OIS상에서 동작하면서, OIS Application들이 올바르게 동작할 수 있도록 기능을 수행하는 프로그램 모듈이다.

System Tray는 System Configuration을 읽어, OIS의 공용 파일에 해당 내용을 상시 업데이트 하는 역할과, Server의 Kernel과 통신하면서 System Status(시스템 상태 정보)를 얻어와 OIS의 공유메모리에 업데이트 하는 역할, Server 혹은 다른 OIS와 엔지니어링 데이터의 Sync를 맞추기 위해 파일을 송수신하는 역할, 다른 Station에서 Parameter Change명령이 수행되었을 때, 해당 내용을 로컬 데이터에 적용하는 역할, 그리고 OIS에서 실행되어야 하는 커널을 실행하는 역할을 수행한다.

ST는 기본적으로 OIS에서 수행만 되면 된다. 사용자는 특별한 경우가 아니면, ST를 조작할 필요가 없다.

#### 파. Facility Historical Tool (FHT)

설비 이력 툴(Facility Historical Tool)은 각 현장과 시스템에서 운용중인 설비들에 대한 이력 관리를 하기 위한 프로그램이다. 설치되고 동작하고 있는 각 설비들에 대해서 설비에 대한 수명기간과

교체일 등을 등록, 검색할 수 있고 교체해야 될 설비를 모니터링할 수 있다. 등록되어 있는 전체 설비 항목, 또는 검색된 항목들에 대해서 보고서로 작성되어 출력할 수 있다

### 3. 개발 환경 및 도구

- 가. OS : Microsoft Windows 2000 (5.00.2195) - Service Pack 2
- 나. H/W Development Environment : P4-1.6GHz, RAM 512MB, HDD 40GB
- 다. S/W Development Tools : Microsoft Visual C++ 6.0, Service Pack5
- 라. Help Tool : JGsoft, Help Scribble 6.2.0

### 4. 개발 결과물

- 가. 기본/상세요건서
- 나. 기본/상세설계서
- 다. 소스코드
- 라. 실행 파일
- 마. 사용자 매뉴얼

## 6제 장 기기검증 및 소프트웨어 V&V

### 1제 절 하드웨어 기기검증

#### 1. 기기검증의 목적

기기검증이란 원전에 사용되는 제어설비 또는 모니터링 시스템 등에 관련한 제반설비의 중요한 부품 및 기기가 성능에 영향을 미칠 수 있는 환경조건(자연현상, 가상사고 등)에서 고유의 안전 기능을 수행할 수 있음을 입증하는 것이다.

#### 가. 기기검증의 종류

기기검증 시험에는 아래 나열한 시험들이 반드시 포함된다.

- (1) 내환경 기기검증
- (2) 내지진 기기검증
- (3) 내전자파 기기검증

#### 나. 원자력발전에서 I&C분야

원자력발전소에서 기기검증이 적용되는 설비의 종류는 아래 나열한 것과 같으며 (주)우리기술에서 개발한 PCS는 Digital 제어시스템에 속한다.

- (1) Analog 제어시스템
- (2) Large Scale Data Logging System
- (3) Digital 제어시스템
- (4) 발전기 제어시스템
- (5) 기타 모니터링시스템 등

## 2. 관련용어 및 규격

### 가. 관련용어

#### (1) 노화(Aging)

설계 기준 사건 또는 설계 기준 사건 모의 과정은 포함되지 않는, 설계 기준 사건 시점까지의 기간 동안 기기에 미치는 운전, 환경 및 계통 조건의 영향을 말한다.

(예)

- 열적열화(Thermal Aging),
- 방사능열화(Radiation Aging)

#### (2) 부품(Components)

저항, 커패시터, 전선, 커넥터, 트랜지스터, 튜브, 스위치, 스프링 등과 같이 기기 조립에 사용된 품목을 말한다.

#### (3) 설계수명(Design Life)

특정 사용 조건 하에서 만족할 만한 성능 수행이 예상되는 기간(수명)을 말한다.(수명을 결정하는 데에는 운전시간, 운전주기 또는 수행간격이 사용될 수 있다.)

#### (4) 기기(Equipment)

특정 기능 수행을 위해 설계 제작된 부품의 집합체를 말한다.  
(기기의 예로는 전동기, 변압기, 밸브 구동기(Valve Operators) 및 계측 제어 장치 등이 있다.)

#### (5) 가혹한 환경(Harsh Environment)

발전소의 설계기준 사고 및 설계 기준 사고 후에 적합한 가상되는 사용조건의 결과로서 예상되는 환경. 가혹한 환경으로는 냉각재 상실 사고(LOCA), 격납용기 내부의 고 에너지 배관 파



단 사고(HELB)의 결과 및 냉각재 상실 사고 후 또는 격납용기 외부의 고 에너지 배관 파단 사고의 결과이다.

(6) 설치수명(Installed Life)

기기 또는 부품이 설계사용 조건 및 계통 요건을 만족시키는 기간으로서 설치에서 제거까지의 시간 간격을 말한다.

(7) 여유도(Margin)

기기의 사용조건과 그 기기의 검증을 위해 사용된 조건 간의 차이를 말한다.

(8) 온화한 환경(Mild Environment)

정상 사용 조건과 지진만을 중대한 설계 기준 사건으로 보는 극한 상황(비정상)의 사용 조건 결과로서 예상되는 환경을 말한다.

(9) 검증(Qualification)

기기가 계통 성능 요건을 만족시키기 위해 필요에 따라 운전 가능함을 보증하기 위한 증거의 생성 및 유지를 말한다.

(10) 검증 수명(Qualified Life)

설계 기준 사건이 발생되기 전까지 기기가 명시된 사용 조건에서 설계 요건을 만족함이 입증된 기간을 말한다.(검증수명 말기에도 기기는 가상적 설계기준 사건 및 설계기준 사건 후에 요구되는 안전기능을 수행할 수 있어야 한다.)

(11) 사용조건(Service Conditions)

정상운전 요건, 운전 요건에 있어서 예상되는 극한 상황(비정상) 및 발전소의 설계기준 사건에 대해 적절한 가상적 조건의

결과로써 예상되는 환경, 부하, 동력 및 신호 조건을 말한다.

(12) 복합상승 효과(Synergistic Effects)

한 개 또는 그 이상의 응력을 구분하여 독립적으로 가했을 때의 영향과는 달리 동시에 가했을 때 나타나는 효과를 말한다.

(13) 전기 1급(Class 1E)

비상 원자로정지, 격납건물 차폐, 원자로노심냉각, 격납건물과 원자로의 잔열 제거 및 외부환경으로 방사능 물질의 누출을 막는데 반드시 필요한 전기기기와 계통의 안전 등급이다.

(14) 감사자료(Auditable Data)

제공된 자료로 독립적인 감사를 통해 추론과 결론을 쉽게 추적 및 이해할 수 있도록 구성 및 서류화된 기술정보이다.

(15) 설계기준 사건(Design Basis Events)

구조물과 계통의 허용 성능요건을 갖추기 위해 발전소 설계시에 적용되고 발전소 안전분석을 설명하는데 필요한 가상적인 사고를 말한다.

(16) 저장수명(Shelf Life)

기기나 부품을 Spare Parts 등으로 남겨 놓거나 저장하여 사용할 수 있는 기간을 말한다.

나. 관련규격

내환경 검증을 위해 NRC에서 제정한 10 CFR50.49(1983)에서 규정한 내환경 검증, 환경인자, 내환경 검증 방법 및 검증기록 유지보완에 대한 요건을 만족할 수 있도록 규제 지침서 R.G 1.89(Rev.1)이 있고, IEEE 323이 발전소 건설 및 상업운전시 기기검증 기술 기준

으로 적용되고 있다.

< 국내규격 >

- 국내 기기검증 기술기준은 원자력 전기 기술기준인 KEPIC-END(1995)에 따른다.
- END 1000 : 검증일반 사항
- END 1100 : 전기 1급 기기 검증
- END 1200 : 안전계통 검증 시험 수행조직
- END 2000 : 전기 1급 기기 내진 검증
- END 3000 : 설비 및 기기검증
- END 3100 : 안전계통 기기 설계 검증
- END 3200 : 스위치 기어 및 제어반 검증
- END 3300 : 연속사용 전기 1급 전동기 형식 시험
- END 3400 : 전기 1급 보호 계전기 및 보조기기 검증
- END 3500 : 전기 1급 납축전지 검증
- END 3600 : 전기 1급 정지형 축전지용 충전기 및 인버터검증
- END 3700 : 안전성관련 동력구동밸브 작동기 검증
- END 3800 : 전선 및 전로용품 검증
- END 3900 : 전기 1급 모듈 형식 시험

< 해외규격 >

- 10 CFR 50.49 - Environmental Qualification of Electric Equipment Important to Safety for Nuclear Power Plants
- Reg. Guide 1.89 (Rev. 1) - Environmental Qualification of Certain Electric Equipment Important to Safety for Nuclear Power Plants
- IEEE Std 323 - IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations(내환경 검증)

- IEEE Std 344 - Seismic Qualifying of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations(내지진 검증)
- EPRI NP-5652 ( Dedication Guideline )
- EPRI TR-102323 ( 전자기파 시험기준 )

### 3. 구매사양 조건

안전기기에 대한 기기검증 요건은 기기구매 사양서에 명시되며, 이 요건중 설치위치, 정상 및 사고 환경과 사고 환경 하에서 요구되는 운전 시간 등을 나타낸다.

#### 가. 설치위치

기기의 설치위치는 기기의 가혹 및 온화환경 조건을 결정한다.

격납고 내부에 위치한 기기는 정상조건 과 지진사고를 포함한 고온, 고압, 고준위 방사선, 고습도 및 화학물 분사환경에 노출되며, 격납고 외부에 위치한 대부분의 기기는 지진사고에만 노출되거나 또는 일시적으로 고온, 고습도 환경에 노출될 것이다.

만약 특정한 기기의 일부가 지정된 환경조건(예 HELB, 홍수, 재순환 유체에 의한 방사선)에 노출되는 지역에 설치된다고 판정될 경우 이들 조건을 포함시킨다.

#### 나. 환경조건

기기가 노출되는 환경을 사고형태에 의해서 결정된다. 예를 들면 냉각재 상실사고(LOCA)는 지진사고나 주증기 파단과는 다른 격납 건물 사고 환경에 기기를 노출시키게 된다.

검증요건은 각 기기에 대한 최악의 환경조건을 제시해야 한다.

#### 다. 설계기준 사고(Design Basis Accidents)

설계기준 사고는 안전해석 요건을 근거로 해서 각 기기에 대해 수

립한다.

기기가 설계기준 사고동안과 그 이후에도 정상적으로 작동되는지 검증되었음을 입증하기 위해 사고를 통해 발생할 수 있는 실제 환경조건에 적절한 여유도를 더한 조건보다 높은 모의시험 환경에서 검증된다.

#### 라. 운전조건

특정기기에 대한 운전요건은 각 사고의 안전 해석을 통해 수립된다.

일부 기기는 사고동안 및 그 이후에도 작동이 요구되며 그 이외의 기기들은 안전관련 기기의 운전에 영향을 미치지 않도록 단지 구조적인 건전성만을 요구한다.

### 4. 기기검증 절차

#### 가. 기기검증 방법

기기검증(EQ)의 절차로는 형식시험, 운전경험, 해석에 의한 방법 및 조합된 방법에 의해서 기기검증을 수행한다. PCS의 경우 실제로 모든 시험을 수행한 Type Test에 속한다.

##### (1) 형식시험(Type Test)

제작된 제품에 대해 명시된 사용조건 하에서 시험에 의해 안전 기능을 잘 수행할 수 있다는 것을 입증

##### (2) 운전경험(Operating Experience)

성공적으로 사용되고 있는 유사한 기기로서 동일하거나 덜 가혹한 조건에서 사용될 기기에 대한 근거로 사용

기기검증이 필요한 기기와 운전경험이 있는 기기간의 유사성을

확립하는 문서가 요구됨

운전경험은 외삽적용의 한계, 노화특성, 고장모드(Failure Modes) 및 고장률에 대한 정보 제공

(3) 해석적 방법(Analysis)

논리적 평가 또는 수학적 모델이 필요

정량적 해석이 요구됨(노화 영향 고려)

논리적 근거 및 데이터가 논법 및 계산을 쉽게 추적할 수 있는 단계적 방법으로 제시 필요

(4) 조합된 방법

형식시험, 운전경험 및 해석방법의 조합에 의해 검증

크기(Size), 적용(Application), 시간 등 제한사항으로 인해 형식 시험을 수행할 수 없을 경우 해석과 일부 부품의 형식시험으로 기기검증을 수행함

나. 기기검증 절차

본 항목의 내용은 기기검증을 수행하는 절차를 나열하고 간단히 설명한 것이다.

(1) 고장유형 및 영향분석(Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)

대상 기기를 구성하는 부품들에 대하여 대상기기의 안전기능에 유의한 영향을 미치는 부품을 분류한다

(2) 응력해석(Stress Analysis)

응력해석은 직류전원공급장치의 안전기능에 유의한 영향을 미치는 부품에 대해서만 실시한다. MIL-HDBK-217F에서 각 부품의 고장률에 영향을 미치는 것으로 분류한 응력(온도, 전압,

전류, 전력)의 정격 능력과 실제 사용 능력을 비교하여 구성부품들이 정격을 초과하여 사용되지 않았음을 확인한다.

(3) 노화해석(Aging Analysis)

직류전원공급장치의 안전기능에 유의한 영향을 미치는 부품에 대하여 노화메카니즘을 갖는 부품과 갖지 않는 부품을 분류하고, 노화메카니즘을 갖는 것으로 분류된 부품에 대하여 검증수명을 결정한다.

(4) 노화처리(Pre-conditioning)

노화의 영향을 시험에 반영하기 위하여 직류전원공급장치를 구성하는 부품들 중 노화 메카니즘을 갖는 부품은 검증수명에 해당하는 기간동안 노화시킨다.

(5) 시스템 조립(System Assembly)

실제 대상 발전소에서 사용될 시스템을 조립하는 공정과 같은 공정에서 노화시킨 부품을 포함한 구성부품을 조립하여 시험품을 제작한다.

(6) 육안검사(Visual Inspection)

시험품에 대하여 설계문서와 동일하게 제작되었는지 여부와 시험품의 성능에 영향을 미칠 정도의 외부 결함이 있는지 여부를 검사한다.

(7) 초기 성능점검(Initial Functional Test)

시험품이 정상적인 성능을 갖는지 확인하고, 이후 실시하는 시험에 대한 기준데이터로 활용하기 위하여 측정한 성능을 기록한다.

(8) 번인시험(Burn-in Test)

시험품이 조립되면서 발생할 수 있는 초기고장을 제거하기 위하여 시험품을 일정시간동안 정상조건에서 동작시키며 성능을 평가한다.

(9) 응력시험(Stress Test)

시방서에 명시된 사용환경 하에서 시험품이 안전기능을 정상적으로 수행함을 입증하기 위하여 기기구매시방서에 제시된 사용조건외 극한치에서 정상동작을 시키며 성능을 평가한다.

(10) 내지진시험(Seismic Test)

대상설비가 지진이 발생하여도 안전기능을 정상적으로 수행할 수 있음을 입증하기 위해 모의 지진시험을 수행한 후 성능을 측정

(11) EMC시험(Electromagnetic Compatibility Test)

주변 기기의 전자파에 영향을 받지 않고, 주변 기기에 전자파 영향을 주지 않음을 입증하기 위하여 EMC시험 후 성능을 평가한다.

(12) 검증보고서 작성

## 5. 기기검증 결과

PCS는 기기검증 수행 시 Type Test 방법을 선택하여 모든 기기검증 시험을 직접 수행하였고, 수행 결과는 자세한 기기검증 보고서로 정리되었다. 기기검증 수행결과 모든 관련규격에서 명시한 환경 내에서의 기능요건을 만족하여 시스템의 건전성을 확인할 수 있었다.



## 2제 절 소프트웨어 V&V 및 형상관리

### 1. 소프트웨어 V&V 절차의 수립

#### 가. V & V의 목적

해당 소프트웨어의 요구분석, 설계, 개발, 운영 등이 품질보증 요건에 따라 정확히 이루어지고 있는지를 확인 및 검증하고, 고신뢰도의 소프트웨어 생산 기법을 적용하는데 그 목적이 있다.

#### 나. 적용 및 참고 문서

- (1) IEEE 1012-1986 "SOFTWARE VERIFICATION & VALIDATION PLAN"
- (2) IEEE 7-4.3.2-1993 "CRITERIA FOR DIGITAL COMPUTERS IN SAFETY SYSTEMS OF NUCLEAR POWER GENERATING STATIONS"
- (3) IEEE 729-1983 "GLOSSARY OF SOFTWARE ENGINEERING TERMINOLOGY"
- (4) IEEE 730-1989 "SOFTWARE QUALITY ASSURANCE PLANS"
- (5) IEEE 829-1983 "SOFTWARE TEST DOCUMENTATION"

#### 다. V&V 개관(Overview)

##### (1) 자원 요약

자원(Resource)에는 V&V 활동에 필요한 인원, 시설, 도구, 재원 등과 보안, 접근 관리, 문서 관리 등의 절차상의 요구 사항도 포함한다.

##### (2) 책임과 권한

관리 책임자 H/W 팀장, S/W 팀장은 동일한 조직 내에서 1인이 겸임할 수 있으나, S/W 품질보증 및 V&V 팀장은 독립된 조직으로 겸임할 수 없다.

(가) 관리 책임자

- H/W와 S/W 요구 사양을 명확히 하여 각 팀장에게 전달.
- H/W와 S/W 중첩 사양을 검토, 결정.

(나) H/W 팀(또는, 개발 담당자)

- S/W 팀과 H/W와 S/W의 중첩 사양을 협의.
- H/W와 S/W의 통합 단계를 지원.

(다) S/W 팀(또는, 개발 담당자)

- 시스템에 포함되는 S/W를 설계 및 개발.
- S/W 설계 요구조건 명세서(SRS)와 설계서(SDD)를 작성.
- S/W에 관한 기록의 유지를 위한 정보를 제공.
- S/W 설계업무가 규정된 절차와 사양에 따름을 보장.
- S/W 시험지침서를 작성하여 검토, 승인을 받음.
- S/W 품질보증 책임자에게 관련정보를 제공.

(라) 품질보증팀

- 설계 업무 전반에 대해 검토 및 감사할 권한이 있음.
- S/W 관련 모든 시험의 승인
- 본 계획서의 해석상 이견에 대하여 결정권한이 있음.
- 본 계획서의 이행 상태를 확인하고, 주기적으로 그 유효성을 평가.

(마) 소프트웨어 V&V 팀

- V&V 활동의 계획을 수립한다.
- 각 생명 주기별 출력물에 대한 V&V를 이행하고, 결과를 해당 팀장에게 Feedback.
- 각 생명 주기별 V&V 보고서를 작성.

(3) 도구, 기술, 방법론

효율적인 V&V 활동을 위해 Case Tool을 사용한다. 해당 Tool은 문서 관리, 일정 관리뿐 아니라, 소프트웨어 개발 지원 기능도 제공한다. 다양한 Tool의 검토를 통하여 가장 적합한 Case Tool을 사용함으로써 정기적인 점검이 가능한 투명한 프로젝트 관리가 이루어질 것으로 기대됨. 본 과제에서 사용할 Case Tool은 UML을 기반으로 하여 제작되어야 함. UML은 그래픽 언어로서 시스템을 모델링하고, 비즈니스 프로세스와 시스템 기능과 같은 개념적인 것을 다룰 수 있는 여러 가지 표준 방법을 제시한다.

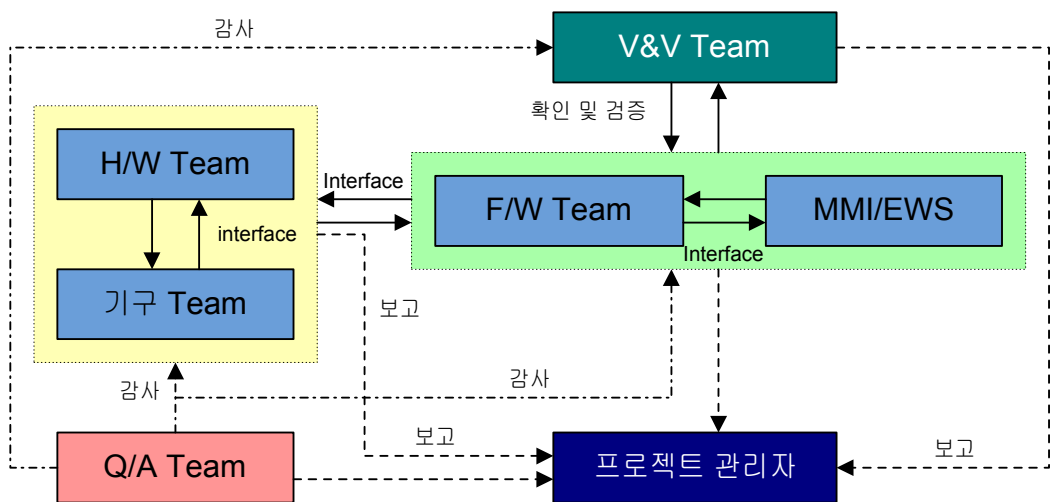


그림 6-1 소프트웨어 확인 및 검증 업무의 업무 연계도

#### 라. 생명 주기별 V&V 업무 계획

V&V 업무를 7개의 생명 주기로 나누어 각 생명 주기에 진행되어야 할 V&V 업무를 구체적으로 명시한다. V&V 업무는 각 단계별

로 아래의 7가지 내용을 근간으로 진행한다.

(1) V&V 관리(Management of V&V)

- 소프트웨어 V&V 제정(Software V&V Plan Generation)
- 관리 검토(Management Review of V&V)
- 검토 지원(Review Support)

(2) 구상 단계 V&V(Concept Phase V&V)

- 구상 문서 평가

(3) 요구 단계 V&V(Requirements Phase V&V)

- 소프트웨어 요구 사항 추적성 분석  
(Software Requirement Traceability Analysis)
- 소프트웨어 요구 사항 평가  
(Software Requirement Evaluation)
- 소프트웨어 요구 사항 중첩 분석  
(Software Requirement Interface Analysis)
- 시험 계획 제정(Test Plan Generation)
  - 통합 시험(System Test)
  - 승인 시험(Acceptance Test)

(4) 설계 단계 V&V(Design Phase V&V)

- 소프트웨어 설계 추적성 분석
- 소프트웨어 설계 분석
- 소프트웨어 설계 중첩 분석
- 시험 계획 제정
  - 단위 시험(Component Test)
  - 종합 시험(Integration Test)
- 설계 제정 : 다음의 4가지 시험을 설계한다.
  - 단위 시험(Component Test)

- 종합 시험(Integration Test)
- 통합 시험(System Test)
- 승인 시험(Acceptance Test)

(5) 구현 단계 V&V(Implementation V&V)

- 소스코드 추적성 분석(Source Code Traceability Analysis)
- 소스코드 평가(Source Code Evaluation)
- 소스코드 중첩 분석(Source Code Interface Analysis)
- 소스코드 문서화 평가(Source Code Documentation Evaluation)
- 시험 절차 제정(Test Procedure Generation)
  - 단위 시험(Component Test)
  - 종합 시험(Integration Test)
  - 통합 시험(System Test)
- 단위 시험 실행(Component Test Execution)

(6) 시험 단계 V&V(Test Phase V&V)

- 승인 시험 절차 제정(Acceptance Test Procedure Generation)
- 시험 실행(Test Execution)
  - 종합 시험(Integration Test)
  - 통합 시험(System Test)
  - 승인 시험(Acceptance Test)

(7) 설치 및 시운전 단계 V&V(Installation and Checkout Phase V&V)

- 설치 구성 감사(Installation Configuration Audit)
- 최종 V&V 보고서 제정(Final V&V Report Generation)

마. S/W V&V 문서화

소프트웨어 본 계획서의 이행준비 및 이행결과와 관련된 모든 문서와 기록은 (주)우리기술 "문서/자료 및 품질기록 관리 절차서 (WRP-기획-005)"에 따라 관리본으로써 유지, 관리되어야 한다.

#### 바. V&V 관리 절차

##### (1) 불일치 항목의 문서화와 해결(Anomaly Reporting and Resolution)

불일치 항목이 발견되면, 해당 소프트웨어가 Critical 소프트웨어인 경우 발견되는 시점에서 바로 불일치 보고서를 작성하고, Non-Critical 소프트웨어인 경우 고객의 요구 조건에 큰 영향을 미치지 않거나, 개발자의 사소한 실수 등으로 발생한 바로 해결 가능한 항목은 개발팀과 V&V팀의 협의아래 문서화시키지 않는다.

##### (2) 업무 반복 정책(Task Iteration Policy)

V&V업무가 변경된 후에도 입력이 변경되어 업무를 재수행 해야 할 때가 있다. 업무를 재수행 함에 있어, 수행될 범위는 변경 사항에 의해 영향받는 부분으로 한정해야 한다. 예를 들어 고객의 요청으로 SDD의 일부분이 변경되었다면, 변경된 SDD와 관련된 부분만 확인, 검증하면 된다. 모든 SDD를 다시 확인, 검증할 필요는 없다.

##### (3) 이탈 정책(Deviation policy)

계획에 착오가 생겼을 때, 다음 아래에 소프트웨어 개발에 관련된 인원이 모여 문제의 원인, 해당 원인이 소프트웨어 품질에 미치는 잠정적 파급 효과 등을 밝혀내고 문서화 해야한다. 또한, 회의를 할 때는 해당 내용을 고객에게 알려주기 위해 통보해야 한다.

## 2. S/W 형상 관리 절차의 수립

### 가. 서론

#### (1) 목적

소프트웨어 형상 관리(Configuration Management)는 원자력 발전소 제어 시스템의 개발 과정 및 운영 유지보수 과정에서 변화되어 가는 소프트웨어의 모습을 가시화시켜 짜임새 있고 질서있게 통제함으로써 그 변경 내용을 체계적이고 일관성있게 수용하도록 하여 시스템의 품질을 보증하고 생산성을 향상시키며 프로젝트를 통제할 수 있는 수단을 제공하기 위한 활동이다.

#### (2) 적용 범위

- 문서(소프트웨어 설계문서, 시험 절차서 및 성적서, V&V 산출물)
- Source Code, Database, Library
- Executable File

#### (3) 적용 문서

- IEEE Standard for Software Configuration Management Plans ANSI/IEEE Std 828-1990
- IEEE Guide to Software Configuration Management (ANSI) Std 1042-1987

### 나. 소프트웨어 형상 관리 조직 구성

- (1) 프로젝트 관리자
- (2) S/W V&V 팀
- (3) S/W 개발자(Programmer)
- (4) 품질보증팀

### 다. 소프트웨어 형상관리 활동

### (1) 형상 식별(Configuration Identification)

- 형상 항목

본 프로젝트에서 형상 관리의 대상이 되는 항목은 다음과 같다.

- 요구 조건 명세서
  - 소프트웨어 설계 문서 :  
문서명, 문서 번호, 개정 번호, 각 기능 또는 모듈별 항목 번호
  - Compiler & Linker : Compiler & Linker Name, Version
  - Source Code : Source Code List, Issue date, Version.
  - Executable Files : Executable List, Compile date, Version
  - Applied Database & Library : Database or Library List, Issue date, Version
  - 시험 절차서 및 성적서: 문서명, 문서 번호, 개정 번호, 각 기능 또는 모듈별 항목 번호
  - 시험 프로그램 : 시험 프로그램 List, Version
  - 소프트웨어 V&V 수행 결과로 나오는 산출물
- 기준선(Base Line) 설정
    - 요구조건 단계, 설계 단계, 구현 단계, 시험 단계, 개발 완료 단계

### (2) 소프트웨어 형상 통제(Configuration Control)

다음과 같은 형상 통제 수단을 사용하여 형상을 통제한다.

- 소프트웨어 변경 요청서(WRN-SM-004-001)
- 소프트웨어 형상이력 목록(WRN-SM-004-002)
- 소프트웨어 형상항목 대장(WRN-SM-004-003)

### (3) 형상 상태보고(Configuration Status Accounting)



투명한 형상 관리와 업무의 원활한 진행을 위해 개발팀은 각 기준선 별로 프로젝트 형상 항목들의 상태를 V&V팀에게 보고함. 해당 보고자료는 형상 감사와 검토를 위한 근간 자료가 된다.

#### (4) 형상 감사와 검토(Configuration Audits and Reviews)

#### (5) 중첩 관리(Interface Control)

### 라. 소프트웨어 형상관리 자원

자원(Resource)에는 소프트웨어 형상 관리 활동에 필요한 인원, 시설, 도구 등과 보안, 접근 관리, 문서관리 등의 절차상의 요구 사항도 포함된다.

#### (1) 소프트웨어 형상 관리 계획 유지보수

형상관리 계획은 각 단계 시작 시 검토되고, 필요시 개정될 수 있다. 형상관리 계획은 프로젝트 관리자, 개발팀장, V&V팀장의 협의 아래 개정될 수 있다. 또한, Case Tool등의 형상 관리 Tool을 도입할 경우 형상관리 계획은 해당 Tool에 맞게 개정될 수 있다.

### 3. 소프트웨어 V&V Audit

본 과제 수행 중에 실시된 소프트웨어 V&V 결과에 대하여 외부 기관을 통한 Audit을 수행하였다. 고려대와 이화여대의 소프트웨어 공학 연구실에서 구성된 감사팀은 수행된 V&V에 대하여 필수 절차의 수행 여부, 수행 결과물의 완성도 등을 평가하여 본 과제에서 수행된 V&V 업무의 유효성을 확인하였다.

Audit 결과 일부 업무에 누락된 사항이 발견되었으나, 과제 수행 종료

전에 해당 사항들이 해결되었고, 그 결과 본 과제에서 수행한 V&V가 소프트웨어의 신뢰성 향상에 도움이 되었음을 확인하였다. 또한 안전성 관련 설비에 대한 V&V 절차를 확립하고 수행하였음이 입증되었다.

### 3제 절 종합성능시험

#### 1. 개관

Demo 설비의 제작 후에 모든 PCS의 기능을 수행할 수 있는지 여부를 확인하기 위하여 종합성능시험이 실시되었다. 종합성능시험의 결과는 본 설비를 추후 발전소 현장에 적용할 수 있는지 여부를 결정할 수 있는 중요한 기능 시험으로서, 개발 기관 이외에도 한수원 관계자의 입회 하에 수행되었다.

#### 2. 수행 일정

가. 1차 시험 : 2002년 8월 22일, (주)우리기술

나. 2차 시험 : 2002년 9월 16일, (주)우리기술

#### 3. 수행 결과

가. 1차 시험 결과

1차 성능시험 결과 도출된 주요 지적 사항에 대하여 6건의 주요 사항에 대한 보완을 수행하여 재시험을 수행하기로 합의되었다. 그 이외의 요구 사항에 대해서는 문서 또는 현장 설치 시에 현장의 요구에 맞추어 반영하기로 합의되었다. 주요 보완 사항은 다음과 같다.

- (1) 자가진단 기능 중 A/D, D/A Converter Fail 확인 기능 추가
- (2) 단일 캐비닛 고장 시험 중 화면 표시 상태를 좀더 확실히 알 수 있도록 반영할 것과, 시스템 Booting 시간 단축
- (3) 제어 로직의 형상이력 관리 기능 보강
- (4) 제어 모듈의 ID 또는 장착 위치 확인 기능 보강
- (5) Network 오류 진단 기능 보강
- (6) 캐비닛에서 전원 공급 부위에 대한 보완 요구

#### 나. 2차 시험 결과

2차 시험에서는 상기 보완 사항이 모두 보완되어 모든 성능시험 항목이 통과되었다. 한편, 다음과 같은 기능이 제안되었고, 차후 개발 될 제품에서는 기능을 추가하도록 권고되었다.

- (1) Analog 신호에 대해서도 Ground Detection 기능 추가
- (2) OIS에서도 EIS 수준의 진단 정보 확인 가능하도록 기능 보완

## 7제 장 인·허가 관련 연구

### 1제 절 인·허가 계획 수립

본 과제를 통해 개발된 PCS 데모 설비는 실제 원전의 PCS를 축약해 놓은 것으로, 데모 설비의 캐비닛을 수적으로 확장시키면 실제 원전용 PCS로 사용될 수 있도록 설계되었다. 따라서, 데모 설비 개발에 사용된 하드웨어, 소프트웨어 등의 요소 기술에 대한 관련 규제 기관의 인·허가를 얻는 것은, 이후 이 시스템이 실제 원전에 적용될 경우 인·허가를 얻기 위해 인적, 시간적으로 도움이 될 뿐만 아니라, 해당 요소 기술에 대한 인·허가를 대신할 수 있다.

이에 우리기술에서는 개발되는 PCS 데모 설비에 대해 실제 원전의 PCS와 동일한 품질 규정을 적용하였다. 즉, 해당 분야의 국제 법규 및 표준을 준수하여 개발이 진행되었다. 또한, PCS 데모 설비의 관련 규제기관의 인·허가를 위한 계획으로 『원전 공정제어 계통 인증 계획서(WRN-RDV-PCST-001)』를 작성하였다. 이 문서에서는 인·허가를 위한 수행 조직, 업무 연계, 계획 등을 명시하였다.

PCS 데모 설비의 인·허가 업무는 크게 하드웨어 기기검증과 소프트웨어 품질 관리로 구분된다. 하드웨어 기기 검증은 ① 내진 해석 및 시험, ② EMC시험, ③ 내환경 해석 및 시험으로 구성되어 성능이 검증되었다. 하드웨어 성능 시험은 한국 산업 기술 시험원에서 수행되었다.

소프트웨어 품질 관리는 소프트웨어 확인 및 검증(SW V&V) 과정을 통해 수행되었다. 소프트웨어 개발팀과 독립된 SW V&V팀에서는 소프트웨어의 개발 요건과의 추적성 분석 및 개발 산출물을 확인하였다. 또한 SW V&V팀의 계획 하에 통신망 및 소프트웨어 시험이 수행되어 시험 보고서가 작성되었다.

### 2제 절 특정주제분석 보고서 작성

본 과제를 통해 다음의 특정주제분석 보고서가 작성되었다.

- 원자력발전소 제어계통 소프트웨어의 확인 및 검증 절차  
(WRR-RDH-PCST-005)
- 원자력발전소 제어계통 소프트웨어의 설계 및 시험  
(WRR-RDH-PCST-006)

## 1. 소프트웨어 확인 및 검증 절차 보고서

『원자력발전소 제어계통 소프트웨어의 확인 및 검증 절차  
(WRR-RDH-PCST-005)』 보고서는 PCS 데모 설비의 소프트웨어  
개발에 적용된 소프트웨어 확인 및 검증 절차를 명시하였다.

이 절차는 다음의 국제 법규 및 표준을 기반으로 PCS 개발에 적합하  
도록 자체 개발되었다.

- IEEE 1012-1986, "SOFTWARE VERIFICATION & VALIDATION  
PLAN"
- IEEE 7-4.3.2-1993, "CRITERIA FOR DIGITAL COMPUTERS IN  
SAFETY SYSTEMS OF NUCLEAR POWER GENERATING  
STATIONS"
- IEEE 730-1989, "SOFTWARE QUALITY ASSURANCE PLANS",
- ASME NQA-1-1989, "QUALITY ASSURANCE PROGRAM  
REQUIREMENT FOR NUCLEAR FACILITIES"

이 보고서에는 소프트웨어의 생명 주기를 개념, 요건, 설계, 구현, 시  
험, 설치, 운전·유지보수의 7개 단계로 나누어 각 단계별 상세 절차  
를 명시하였다. 또한, 소프트웨어 확인 및 검증을 위한 조직 및 관리,  
소프트웨어 형상 관리 절차를 명시하였다.

이 보고서에 명시된 소프트웨어 확인 및 검증 절차는 원자력발전소의 안전 계통 및 비안전 계통의 소프트웨어에 대한 확인 및 검증 절차로 광범위하게 적용될 수 있다.

## 2. 소프트웨어 설계 및 시험 보고서

『원자력발전소 제어계통 소프트웨어의 설계 및 시험 (WRR-RDH-PCST-006)』 보고서에서는 PCS를 위해 자체 개발된 고속통신망의 구성, 제어 소프트웨어의 설계, 성능 평가 등이 명시되었다.

보고서의 구성은 다음과 같다.

- 통신망 요건 및 설계
- 제어 소프트웨어 요건 및 설계
- 필드 및 제어 통신망 성능 평가 결과
- 제어 소프트웨어 시험 결과

제어 소프트웨어는 공정제어기 모듈을 HCM, TCM, ICM, FCM로 나누어 각각에 대해 설계 및 성능 평가 결과를 명시하였다. 특히, 각 모듈의 단위 시험 확인서가 첨부되었다.

## 8제 장 결 론

본 과제의 수행 결과물로 제작된 Demo 설비는 그 성능 시험 결과 실제 현장에서 사용되고 있는 제어계통에 비하여 기능과 성능이 비슷하거나 우수한 것으로 나타났다. 안정성 측면은 더 오랜 기간동안 내구성 시험을 수행하여야 보다 정확한 결과를 얻을 수 있겠지만, 과제 수행 기간 중에 수행한 시험에서 발생하였던 문제들은 모두 해결되어 기존 제어계통이 수행하던 제어 기능을 충분히 수행할 수 있음이 입증되었다.

한편, 사용자 감시 기능 및 시스템 설정 기능을 위하여 제공되는 OIS와 EIS는 기능적인 구별을 통하여 보안 기능이 향상되었고, 다양한 정보 제공을 위한 그래픽 도구와 이력 데이터 저장기능이 추가되어 제어계통의 동작에 대한 정확한 감시와 데이터 관리가 가능해지고, 운전원의 직관적인 판단에 도움을 주는 인터페이스 개발도 간편화되었다.

원자력발전소 제어계통의 안전등급에 적합한 기기검증과 소프트웨어 V&V를 통하여 하드웨어와 소프트웨어의 신뢰도가 향상되었으며, 각 부문의 연구 결과는 인·허가를 위한 자료로써 정리되어 특정주제분석보고서 작성에 활용되었다.

이상의 결과들로 본 연구 과제를 통하여 개발한 원자력발전소 제어계통의 유효성이 입증되었으며, 국산화 개발된 설비는 차후 신규 발전소 현장에서 외국 제품을 대체하거나 노후화 된 설비를 대신하여 그 기능을 수행할 수 있음이 확인되었다. 또한 본 과제 수행 결과로 개발된 제어설비 설계 및 제작 기술을 활용하여 원자력발전소 제어계통 이외의 제어설비에도 활용되어 사용할 수 있게 되었다.

## 9제 장 참고 문헌

1. MPC8260 PowerQUICC II User's Manual (Motorola)
2. NIM Board User's Manual
3. Programming Environments For 32-bit Microprocessors : PowerPC Microprocessor Family (Motorola)
4. 올진 5,6 PCS 구매규격서 Tech. Spec.(9-771-J212)
5. Ian Sommerville, "Software Engineering" 5th edition, ADDISON-WESLEY
6. E. Kit, Software Testing in the Real World, Addison-Wesley
7. R. Gunther, "Management Methodology for Software Product Engineering", John Wiley and Sons
8. E. Miller and W.E. Howden, "Software Testing and Validation Techniques", IEEE Computer Society
9. R. Glass, "Software Reliability Guidebook", Prentice-Hall



## 주 의

1. 이 보고서는 산업자원부에서 시행한 전력산업연구개발사업의 기술개발 보고서이다.
2. 이 기술개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 산업자원부에서 시행한 전력산업연구개발사업의 기술개발결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가 산업기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개 하여서는 아니 됩니다.