

발전소 제어시스템의 기술자립 전략

박익수

전력연구원 기술센터 자동제어 그룹

1. 머릿말

산업구조의 변화에 수반하여 전력수요의 다양화와 원자력 발전 비율의 증대에 의한 전력공급 구성의 변화등, 사회정세의 커다란 변화로 발전 플랜트는 그 역할, 운용성능, 운전신뢰성 등의 여러면에서 기술적인 압박을 받고 있다.

이러한 요구는 최근의 제어용계산기, CRT, 마이크로 컴퓨터, Network 등의 요소기술이 눈부시게 진보함에 따라 종합자동화시스템으로 실용화되어 그 성능, 신뢰성을 크게 향

상시켰다.

종래의 시스템설계에서는 자동화기능의 실현을 위하여 계산기 능력을 최대한으로 이용하는데 주력하였으나 현재와 같이 자동화가 쉽게 구현되고, 시스템의 신뢰성도 향상하여 몇 사람의 운전원으로 플랜트의 운전이 가능하도록 자동화범위가 확대되었기때문에 운전원이 수동운전에 의하여 플랜트에 직접 접촉하는 기회가 적어짐으로서 신속하고 정확한 이상 대응조치가 가능한 숙련된 운전원의 육성이 어려운 환경에서 Human error의 문제가 대두되고 있다.

표 1. POWER PLANT의 제어기술 발달 과정.

연 도	1970	1975	1980	1985	1990	1995
운 전 방 식	집중감시 제어방식	집중조작제어방식(H/A STATION)		자동조작제어방식(CRT OPERATION)		
운 전	기동정지빈도 소, 소폭부하변화		기동정지빈도 증가, 큰 폭부하변화	F C B		
자동화범위와 운전방식	터빈, 발전기자동기동 보조기기의 중앙조작화		보조기기의 일괄 SYSTEM 제어 집중감시조작반	보일러 자동기동	자동운전범위의 확대 전자동기동 ONE MAN CONTROL 자동화반(소형 DESK형)	
원자로, 터빈제어	ANALOG 전자제어		Computerized Core Protection Calculators	Microprocessor Rod Drive 제어	Large Screen Displays	전자유압식 터빈 제어 계층형 기능분산 제어
발전기 자동전압제어 (AVR)	직류여자기 AMPLIDINE 자기증폭기 AVR	교류여자기 싸이리스타 정류기 AMPLIDIN 자기증폭기 AVR	여자전원변압기 싸이리스타 직점여자 전자식 아나로그 AVR	여자전원변압기 싸이리스타 직점여자 전자식 아나로그 AVR	여자전원변압기 싸이리스타 직점여자 디지털 AVR	여자전원변압기 싸이리스타 직점여자 디지털 AVR
계산기 SYSTEM	아나로그 성능계산 경보감시모니터	자기 CORE(4-64 KWORD) 자기 DRUM(32-100 KWORD)	반도체(64 KWORD) DISK(1000 KWORD) PLANT TABLE 방식		반도체(64 MDRAM) DISK(OPTICAL, 6.5G) 발전소총괄관리	
MAN-MACHINE COMMUNICATION	지시, 기록계, LAMP 표시			CHARACTER DISPLAY COLOR CRT HARDCOPY GRAPHIC DISPLAY	음성통보 DISPLAY	운전지원 SYSTEM CRT OPERATION 총합적인 MAN-MACHINE COMMUNICATION SYSTEM
	TURBINE RUB CHECK (주파수분석)					

* 눈부신 전자기술의 발전을 배경으로 고기능, 고신뢰성 제어시스템이 경쟁적으로 개발되고 있음.

이와 같은 상황에서 발전플랜트의 운전제어에는 고도의 자동화는 물론이고 운전의 신뢰성, 운용성, 효율의 향상 및 Human Error의 방지를 위한 새로운 개념의 고도화가 요구되고 있다.

한편 발전소의 출력증대와 더불어 발전소내 기기의 정보량과 운전지령을 내야할 기기수가 증가하여 가는 추세에 대응하여 Man-Machine Interface측에서는 계산기와 CRT를 사용하여 중앙조작반에 의한 감시능력향상과 정보의 집중화를 진행시킴과 동시에 개별제어 LOOP의 자동제어시스템을 도입하여 운전원에 대한 운전부하의 경감노력이 진행되고 있다.

최근의 신형발전소의 중앙제어실을 예로 들면 집중화 중앙감시반상의 Color graphic CRT를 중심으로하여 소수의 운전원으로 운전감시가 가능하도록 되어 통상시의 감시부하를 상당히 경감하고 있고 운전제어면에서는 터빈, 발전기, 급수계, 순환계, 등의 주요계통마다 제어시스템이 도입되어 운전원은 제어시스템에 대하여 목표치설정을 하는것만으로 제어동작이 이루어지도록 함으로서 집중감시·제어분산을 강하게 지향하고 있다.

물론 감시의 집중화에 대하여는 감시용계산기 시스템이 Down될 때 감시기능 상실을 피하기 위하여 감시용 계산기 시스템을 다중분산 시스템으로 설계하여 감시능력을 높임과 동시에 만일의 시스템 이상시에는 정상측 계산기 시스템에서 감시기능을 계속하도록 하고 있다.

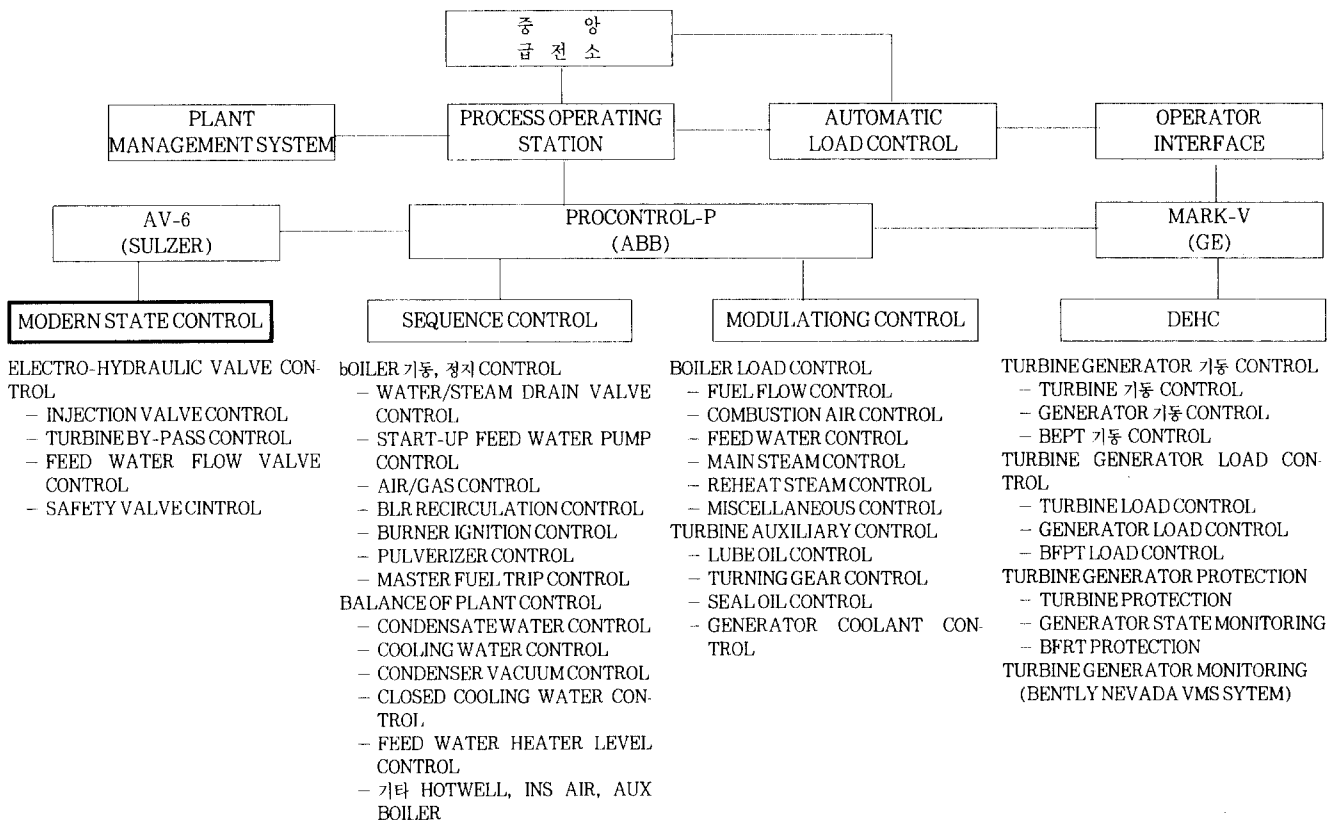
또 분산화 제어 시스템에 대하여는 각 제어시스템의 자기 독립성 및 자기완결성을 높이기 위하여 제어시스템 자체의 다중화가 행하여지고 있다.

특히 원자력 발전소에서는 그 시스템의 규모가 클뿐 아니라 사회적사명의 점에서도 완전 무인화는 실현될 수 없고 최종적인 점검, 확인은 인간이 행하고 있는 것이 현실일 뿐 아니라 아직은 가까운 미래에도 이 점은 변하지 않을 것으로 예상된다.

이상에서 제어시스템의 발전경향을 간략하게 살펴보았으나 아직 대용량의 신규화력, 원자력에 사용할만한 신뢰성이 입증된 국산 제어시스템을 갖지 못하고 있는 우리로서는 이제 시장개방을 눈앞에두고 국산화를 성공시켜야 하는 마지막 기로에 섰다고 볼 때 발전플랜트 제어시스템의 기술자립을 어떻게 추진할것인가에 대하여 고찰한다.

2. 신규 발전소의 최신 제어 기술

2.1 한국형 500MW급 표준 석탄화력 제어 시스템(태안 1,2)



*H/W 뿐만 아니라, 제어 이론도 CONVENTIONAL CONTROL(PID 제어)에서 MODERN CONTROL로 실용화 단계에 있음.

2.2. 불란서 N4 제어 시스템

불란서에서의 원전 I&C 기술 자립 과정이 우리가 가장 참조할만하다고 판단되어 그 과정을 살펴보면 다음과 같다.

- 900 MW PLANTS : HARD WIRED I&C (1975 -)
34 UNIS (불란서 국내) 8 UNITS (해외)
 - ★ CONVENTIONAL CONTROL ROOM
 - ▷ TPL switches, Setpoints & Control Stations, Status lights, indicators, Paper recorders, Alarm windows
 - ▷ Plant computer (data logging)
 - ★ LEVEL 1 I&C
 - ▷ Analog processing (control & protection) : Bailey 9020
 - ▷ Logic processing : electromagnetic relays
- 1300 MW PLANTS : Digital I&C
(1st GENERATION) (1984 -1993)
8 UNITS (P4) 12 UNITS (P'4 + P''4)
 - ★ CONVENTIONAL CONTROL ROOM
 - ▷ TPL switches, Setpoints & Control Stations, Status lights, Indicators, Paper recorders, Alarm windows (Alarm screens)
 - ▷ Plant computer : 2 levels (data logging / status recorder)
 - ★ LEVEL 1 I&C
 - ▷ Protection system : DIPS(Digital)
 - ▷ Digital Rod Control : Mode G
 - ▷ Analog processing : P4 (Bailey 9020) P'4/P''4 (Bailey Z)
 - ▷ Logic processing : Controblock
- 1450 MW PLANTS : Digital I&C
(2nd GENERATION) (1994 -)
4 UNITS (N4)
 - ★ COMPUTERIZED CONTROL ROOM
 - ▷ 4 operator workstations
 - ▷ 1 mimic panel (directly connected to level 1)
 - ▷ 1 auxiliary panel (hard-wired to level 1)
 - ★ LEVEL 2 I&C
 - ▷ Distributed computer system
 - ▷ Communication by networks
 - ★ LEVEL 1 I&C
 - ▷ Protection system : DIPS(New version)
 - ▷ Rod control & Core monitoring : DIPS와 같은 Type
 - ▷ Logic & Analog processing : Hartman & Brown
 - ▷ Data exchange via local area networks

여기서 MMI와 관련된 LEVEL 2 PROCESSING 장비를 보면 고 기능의 WORKSTATION을 통한 CRT-Based OPERATION 으로 Control room이 설계되고 있다.

- MMI 관련 주요 장비
- ★ COMPUTERIZED CONTROL ROOM
 - ▷ 2 operator workstations
 - ▷ 1 shift supervisor workstation
 - ▷ 1 safety engineer workstation
 - ▷ printers
- ★ TECHNICAL SUPPORT CENTER
 - ▷ Technical support team을 위한 1 workstation
 - ▷ printers
- ★ COMPUTER ROOM
 - ▷ 2 processing computers(redundant)
 - ▷ 1 recording computer(datalogging)
 - ▷ level 1 정보 수집용 computer
 - ▷ 특수 기능의 computer(printer management, loading, communication)
- 신호 처리
- ★ CONTROL ROOM에서 처리 가능한 POINT 수
 - 65,000 logic signal
 - 2,500 analog signal
 - 8,400 on/off actuators
 - 300 set-point and auto/manual stations
 - 600 pictures (actuator control)
 - 200 pictures (monitoring 용)
 - 10,000 technical description sheets
 - 3,300 alarm sheets
 - 3,00 operating procedure pages
- ★ 신호처리와 관련된 response time
 - actuator control : 1 sec max(500ms 이내로 될 확률이 0.9)
 - imaze updating : 800 ms
 - imaze display : 2sec(최악의 경우)

3. 국산화 경제성 분석

보수 비용을 뺀 개개의 부속품의 개량이나 교환을 행하여 설비를 거의 무기한으로 운전하는 것이 가능하다는 의미로 보면 설비의 수명은 무한 이라고 볼 수 있기 때문에 설비의 수명은 경제적인 면으로 결정되어야 하는 것이고 그 설비에 의해 얻어지는 수입보다 드는 비용이 많을 때를 수명이라고 해석한다.

- 먼저 신규 화력발전소의 I&C 가격구성을 보면,
- 삼천포 3,4호기(Drum Type) 기준
BOILER PART (주기기 가격) : 1,674억

BOILER I&C : 120억(주기기대비 7.2%)

T/G PART : 787억

T/G I&C : 85억(주기기대비 10.8%)

* 상기 금액은 순수 I&C금액으로 시운전 등 감리 비
는 포함되지 않음.

- 하동 3,4호기 (One - Through Type) 기준

주기기 : 2,429억 I&C : 166억

I&C 관련 : 118억

- 태안 1, 2호기 기준

보일러 제어설비 H/W : 약 40억 S/W : 약 40억

용역 : 25억

▶ 원자력 I&C 비용

* 영광 3,4 : 83,245,743 \$

* 울진 3,4 : 111,236,697 \$

* 영광 5,6 제의 : 133,778,006 \$

* 영광 5,6을 Nuplex 80+로 제의 : 163,697,446 \$

* Sizewell B 원전 I&C 의 Software V/V 소요 경비
만 1500만 파운드(약195억)로 Advanced Digital I
&C technology 로 갈수록 COST가 많 아지고 기술
의 예측화는 심화되어 감을 알 수 있음.

▶ 노후 제어설비 교체 소요 비용(단위 : 백만원)

- 울산 1호기 : 1,947 - 울산 2호기 : 1,868

- 울산 3호기 : 1,877 - 여수 1호기 : 1,769

- 여수 2호기 : 1,838

- 영남 1호기 : 3,024(공기식을 교체)

* 외국인 감리비는 평균 호기당 153 백만원 추가됨.

이러한 자료를 근거로 신규화력 (500MW기준) 100억,
수명기간 최소 1회 노후 제어설비를 교체한다고 할때 2010
년 까지의 장기 전력 수급 계획(46조 5천억 투자)에 의하
여 계산할 경우 I&C 분야로 약 5조에 해당 되는 외화가 지
출됨을 예측 할 수 있다.

4. 국산 제어시스템 적용 실적

가. ANALOG 제어 시스템(KEACS)

- 설치 발전소 : 부산화력 3,4 호기(105)(2)

- 기간 : 4호기(1990.1 - 1991.4)

3호기(1993.3 - 1994.1)

- 내용 : • 보일러 제어시스템 설계

• 설치공사, 감리, 시운전, TUNING

• 제어 module 설계 , 제작 , 시험

(13종 176 매)

주요 MODULE LIST

* \sum +P+I 15매

* ANALOG MEMORY 14매

* FUNCTION GENERATOR 26매

* PWM PULSER 10매

* DERIVATIVE 3매

* MULTIPLIER 5매

- 운전 실적 : POWER SUPPLY 소손 1회

나. DATA LOGGING SYSTEM (KEDAS)

- 설치 발전소 : 인천 3,4 호기(325)(2)

평택화력 1,2,3,4호기 (350)(4)

삼랑진 양수 1,2 호기(300)(2)

울산 4,6 호기(400)(3)

- 내용 : • 시스템 설계

• HARDWARE, SOFTWARE 설계 , 제작

• 설치공사,감리,시운전

- 운전 실적 : 운전 기간중 NETWORK TROUBLE 로
5회 SYSTEM DOWN

다. DIGITAL 제어 시스템(KEDIC)

- 설치 발전소 : 서울화력4 호기(137.5)

- 기간 : 1991.2 - 1993.9

- 내용 : • 보일러 DIGITAL 제어시스템 설계

• HARDWARE, SOFTWARE 설계 , 제작

• 공기식제어장치 철거 및 Cable 포설

• CONTROL ROOM 전면 개조및 철거

• 감리, 시운전, TUNING

- 운전 실적 :

• INVERTER TROUBLE로 1회 UNIT TRIP

• SRAMCARD 교체작업중 UNIT TRIP

• DATA BASE 불안정하여 1995년 OVER-

- HAUL시 DB 전면 재설계하여 현재 정상운전

라. 발전기 제어 시스템(AVR)

- 설치 발전소 : 여수화력 2호기 (300)

영월화력 2호기 (50)

인천화력 1호기 (250)

5. 기술자립 기본 방향

▶ 목표 지향 전략

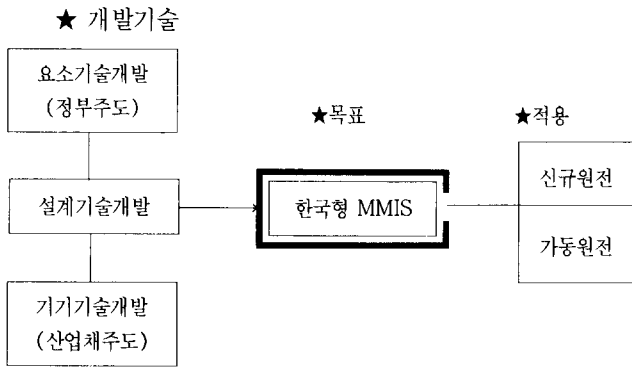
○ 설계기술은 신형원전 개발사업을 통하여 확보

○ 원전 I&C 기기 국산화 개발과 요소기술 개발 은 가
동원전 I&C Upgrade 를 위한 현안문제 에 주력하
고 확보한 기술은 신규설계에 반영

○ 일부 핵심 부족기술은 해외 협력 추진

○ 기관별, 분야별 중복투자를 최소화하고 참 조 보완
하는 방향으로 추진

○ I&C Upgrade Evaluation은 국제 공동연구로 추진



- Computer Based Digital화 극대화
- 인간공학을 감안한 설계기술 개발
- 비 안전계통부터 시작하여 안전,보호 계통 으로 단계적 개발
- 원전 안전성,경제성 제고에 기여
- I&C Life Cycle Management 능력 제고
- Open Architecture 채택
- H/W 및 S/W의 V/V개발 병행 추진

6. 단계별 개발 전략

▶ 시스템개발 전략

- 세계적 추세에 맞춰 개발

단계별(4 단계) 주요 추진 내용은 다음과 같다.

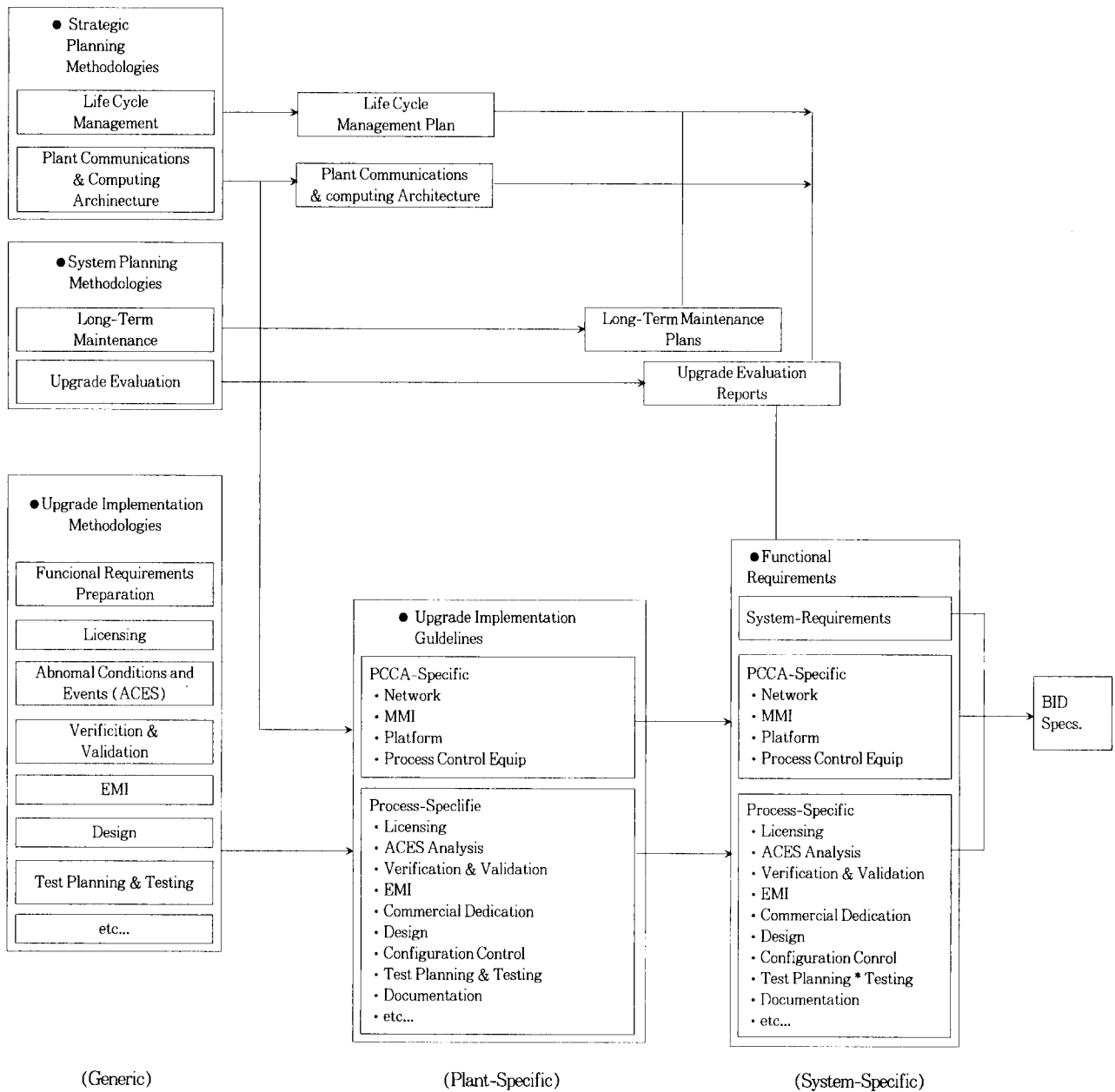


그림 1. I &C System Upgrade 흐름도.

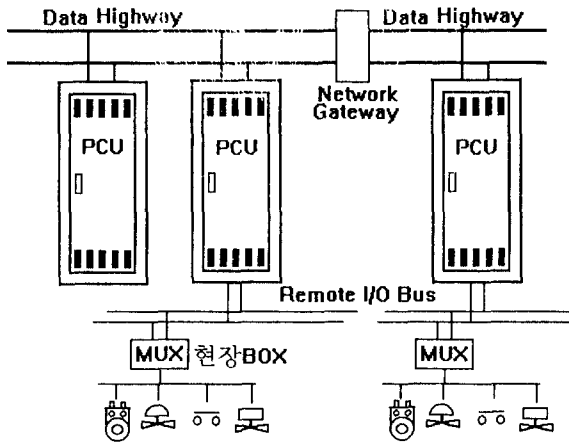
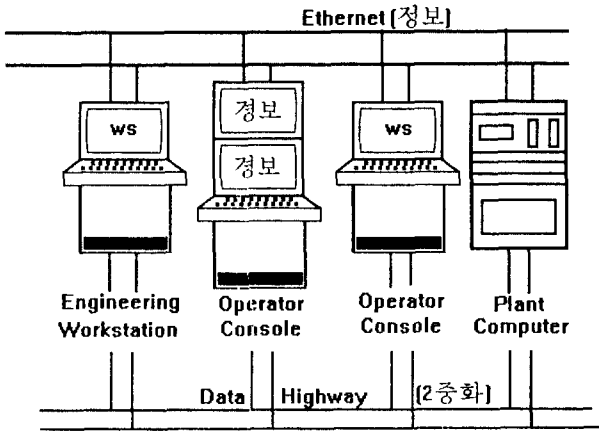


그림 2. Prototype 구성도.

- 1 단계(1993. 11 - 1995. 12) :
- 원전 I&C 기술개발 기본계획 수립
- 2 단계(1996. 1 - 1998. 12) :
- 고리 #2 I&C Upgrade Evaluation
 - 원전용 DCS 개발 기준서 작성
 - 고 신뢰성 2중화 Network 개발
 - Engineering Simulator 개발

- 원전 DCS Prototype 개발
 - H/W, S/W 검증기술 개발
- 3 단계(1998. 1 - 1999. 12) :
- 원전 DCS 상용화 단계 제작
 - Simulator를 통한 기능시험
 - H/W, S/W 검증기술 개발
- 4 단계(2000. 1 - 2001. 12) :
- 인허가(V/V 및 Liscensing)

▶ 국제 공동연구 참여

(1996. 5.28일 KEPRI-EPRI 협정 체결)

○ 주관기관 : EPRI

○ 프로그램 :

I&C DEMONSTRATION PLANT PROGRAM 0.

○ 대상 : 고리 2호기 I&C

○ 연구내용(Task)

- 장기 계획 수립 (Life Cycle Management)
- Upgrade 수행을 위한 시스템 평가
- Upgrade에 필요한 인허가

발전소	호기	NSSS 형
ANO	1 & 2	#1: B&W/ #2: ABB CE
Browns Ferry	2	GE
Calvert Cliff	1 & 2	ABB CE
Fort Calhoun		ABB CE
Prairie Island	1 & 2	Westinghouse
Chinshan	1 & 2	ABB CE
Kori	2	Westinghouse

- Verification & Validation

- 설계, 시험, 도면

○ 프로그램 추진현황

- Northern States Power : Phase 1 수행 완료('91-'92)

- 5개 전력사, 8개 UNIT : Phase 2 수행중

7. 맺음말

다음 표는 원전 DCS 요소기술 분야에 대한 국내기술수준을 개인적으로 평가해본 추정치이다.

이러한 수준에서도 대부분의 기술이 이미 산,학,연 별로 많은 지식과 경험을 통하여 축적되어 왔고 전전자교환기를 개발한 저력을 갖고있기 때문에 급속히 개발이 이루어 지리라고 본다.

아무튼 어마어마한 공작기계나 제조설비를 필요로 하지 않으면서도 고 부가가치를 갖는 제어시스템을 국산화 하지 않으면 Boiler, Turbine, Generator의 쇠퇴어리 만으로는 세계시장의 경쟁에서 이길 수 없다는 사실이 더욱 더 개발을 촉진시키는 원동력인 것이다.

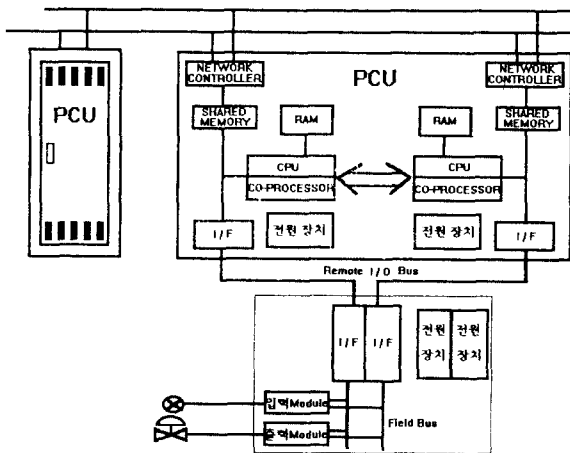


그림 3. Redundancy 구조 (PCU).

참 고 문 헌

- [1] 태안화력 자동제어 PP. 10 1996
- [2] 화력, 원자력발전 Vol 39 No 23-31
- [3] EVOLUTION OF THE I&C OF THE FRENCH NUCLEAR POWER PLANTS
- [4] 태안화력 자동제어 PP. 10 1996
- [5] EPRI, Nuclear I&C Initiative
- [6] “첨단계측제어기술개발” (Master plan 수립) 한국원자력 연구소
- [7] “원전 계측제어 기술개발 기본계획” 전력 연구원

단위 기술	요소기술	기술수준	차립도
디지털 제어	제어소프트웨어 개발기술	준자립	80%
	알고리즘 성능평가기술	기본개념	10%
	자동시험기술	기본개념	10%
	자가고장 진단기술	기본기술	50%
	고장허용기술	기본기술	60%
디지털보호	보호알고리즘 개발기술	기본개념	10%
	자동시험기술	기본개념	10%
	자가고장진단기술	기본개념	10%
	고장허용기술	기본개념	10%
	내진 및 내환경기술	기본개념	30%
	신호격리기술	기본개념	30%
소프트웨어 V/V	소프트웨어개발환경 구축	기본개념	10%
	소프트웨어 확인 및 검증 기술	기본개념	10%
정보 처리	데이터베이스 구축기술	준자립	80%
	실시간처리기술	준자립	80%
	사용자 인터페이스 기술	준자립	80%
	자료처리기술	준자립	80%
경 보	경보축약기술	준자립	70%
	경보표시기술	준자립	80%
계 장	신호다중화기술	기본기술	10%
	Auto Test 기술	기본개념	5%
기기 견전성	이상감지 및 진단기술	기본개념	20%
	고장위치 및 판별기술	기본개념	10%
	시스템상태 표시기술	기본기술	50%
NETWORK	통신망 구조설정기술	기본기술	50%
	프로토콜 기술	기본기술	60%

저 자 소 개



박 익 수

1947년생, 1973년 전남대학교 전기공학과 졸업

1973년 1.15 한국전력입사

1973~1976 울산화력 3호기 시운전 및 운전원

1977~1978 한전본사 기획관리처

1979~1980 호남화력 제어과장

1981~1982 평택화력 전산과장

1982~1983 본사 전문원실

1984~현재 전력연구원, 현재는 자동제어 그룹장

1988 한국과학기술원 전기전자과 졸업(공학석사)

1989 계측제어 기술사.

관심분야는 Power Plant Control, Sensor, Signal Processing.

TEL. 042) 865-5604 / FAX. 042) 865-5104.