

국산개발 DCS의 발전소 적용

김 은 기*

(*한국전력공사 기술연구원 선임연구원)

분산제어 시스템(DCS)의 국내 개발을 돌이켜 보면 80년대 중반으로 거슬러 올라간다.

선진국에서는 이미 개발을 완료하여 발전소에 적용하고 있었던 DCS 기술을 접해보니 이 기술이야말로 우리도 꼭 개발해야 되겠다는 각오를 굳게 했던 때였다.

자료를 수집하고 기술 사양을 접해보니 수준 높은 컴퓨터 하드웨어(H/W) 소프트웨어(S/W)임을 발견하고는 고민도 많이 했던 기억이 새롭다.

외국 시스템을 사다가 설치 운용하면, 신뢰성이 있어서, 발전소 안정 운전에 도움이 되는데, 왜 성공하기도 어려운 DCS를 개발하여 발전소에 적용하려고 하느냐? 하는 비판의 소리도 들렸다.

그러나 이러한 고도 기술에 도전하여 이를 극복해야 선진국에 접어들 수 있다는 사명감과, 발전소 한 호기의 DCS의 가격이 20여 억원이라는 거액의 외자가 소요 되므로, 기초적인 발전소 컴퓨터 주변 장치부터 연구에 착수했다. 또한 국내 자동제어 분야 석학들을 모으고, 의견 청취와 연구 참여를 유도하여 '86년도부터 본격적인 DCS개발 연구를 착수 했다.

3년여의 연구 결과는 우리도 DCS를 개발하여 국내 발전소에 적용 할 수 있다는 확신을 가졌다.

그러나 과연 어느 발전소에 적용 할 것인가?

이는 불가능한 일이었다.

어느 한 발전소도 국내 순수 기술로 발전소 보일러 제어 설비를 설계, 제작, 설치, 시운전 경험이 없고, 발전소 제어 설비는 사람의 신경과 같은것으

로서 절대적으로 마비를 일으키지 않아야 되기 때문이다.

그러나 여기서 물러 설 수는 없었다.

우선 한 호기의 발전소를 우리 손으로 설계, 제작 설치 시운전을 완료하기 위해서 부산화력 4호기 발전소 보일러 제어 설비를 아날로그 시스템으로 개선 완료 하니 우리들에게 자신감과 발전소에는 신뢰성을 안겨주어 DCS의 발전소 적용을 위한 발판을 마련했다.

또한 그 동안에 "보일러 디지털 계장제어 시스템 개발" "발전소 컴퓨터 주변 장치 개발", "인천화력 데이터 로가 시스템(DATA LOGGER SYSTEM) 개발" 등으로 컴퓨터 H/W, S/W의 개발을 완료하였다.

발전소의 환경공해 규제에 의해 서울화력 4호기를 LNG연료로 전환하는 공사가 시행되기 때문에 국산 DCS를 서울화력 4호기 보일러 제어 시스템에 적용하기로 결정하고, '90년 7월부터 연구를 착수하여 지금은 모든 시스템을 개발 완료하고 시제품을 제작하여 발전소 적용을 위해서 DCS H/W, S/W를 시험하고 있으며 올 연말이면 국산 DCS에 의하여 서울 화력 발전소 4호기가 자동으로 운전 되리라 확신한다.

1. 개요

양질의 전기를 생산하기 위하여, 발전기 출력은 수용가의 요구에 응해야 하며, 터빈은 발전기 요구

에 응동해야 하고, 보일러는 터빈을 3600 RPM으로 일정하게 유지하기 위하여 증기를 생산 공급해야 한다. 요구되는 증기량 생산을 위해서 보일러 자동 제어 시스템이 복잡하게 구성되는데, 다음과 같은 보일러 제어 시스템으로 구성되어 있다.

- 가. 연소 제어
- 나. 급수 제어
- 다. 온도 제어
- 라. 기타 제어

137.5 MW용량의 서울화력 발전기 4호기의 자동 제어 시스템은 각종 외국 생산 업체의 공기식 계기들로 구성되어 있으나 보일러 자동제어 시스템과 중요계기들은 미국 BAILEY CONTROLS社의 것이 주종을 이루고 있었다.

2. 연소제어 시스템

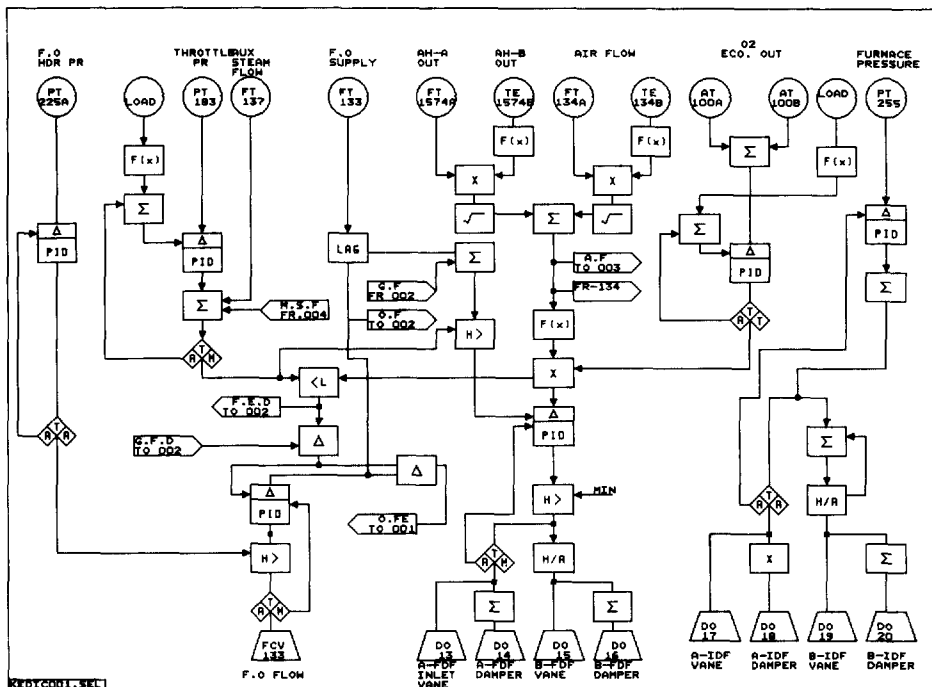
보일러 제어 상태의 良否는 연소제어가 좌우 할 만큼 중요한 제어 시스템이고, 발전소 제어 시스템 중에서 가장 복잡하고 조정하기 어려운 시스템이 연소 제어 시스템이다.

가. 보일러 마스터 (BOILER MASTER)의 구성 이 시스템은 터빈으로 공급되는 주증기의 압력을 일정하게 유지하기 위하여 구성된 시스템으로써, 운전원의 실정 조작 신호와 변압 운전을 위한 발전기 출력 變化에 따른 신호를 합하여 설정치를 구성하였고, 선행 제어를 위해서 보일러 전체 증기 유량을 도입하였다.

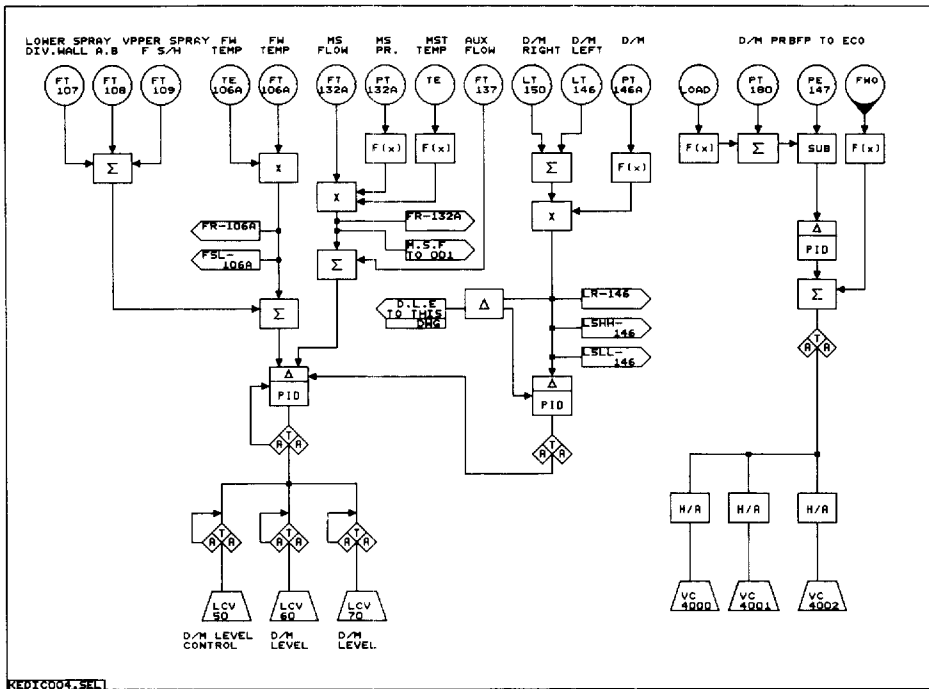
즉 발전기 출력의 증감은 주증기 유량의 증감을 가져오고, 이에 따라 보일러 마스터 신호가 증감하며, 압력 측정치(PT 183)와 설정치의 차이는 PID 제어기에 의해 보정되어 보일러 마스터 신호를 만들어, 연료 량과 공기 량을 제어한다. 드럼 형식의 보일러에서는 압력 복구 시간이 느리기 때문에 I값 설정을 60초 이상으로 하고 P값은 적절히 조정한다. <도면 KEDIC001 참조>

나. 공기량 제어

보일러 마스터 신호의 요구에 대하여 강제 통풍팬 (F.D.FAN)의 VANE과 DAMPER를 조절하는 시스템으로써 고신호 선택기 (H>)를 써서 보일러 마스터 신호와 연료 유량 신호중 큰 값을 선택하여 공기량의 설정치가 되고, 측정치 공기유량(FT 157 A B)



도면 KEDIC 001



도면 KEDIC 004

위한 시스템으로써 노내 압력은 (PT 255)에 의해 측정 전송되고, 운전원의 조작에 의해 설정값이 설정되면 측정 값과 비교하여 오차에 대한 비례 적분 제어기에 의해 출력신호를 계산하는데 강제 통풍팬 (F.D.FAN)의 VANE개도를 선행제어기로 사용하여 유인 통풍팬 (I.D.FAN)의 VANE (DO 17 19)과 DAMPER (DO 18 20)를 조절한다. <도면 KEDIC001 참조>

3. 급수 제어

가. 3요소 급수 제어

급수제어 시스템은, 주증기량, 급수량, 드럼수위의 3요소를 측정하여 보일러 드럼 수위를 일정하게 유지하기 위한 시스템으로써 주증기량 증감에 따라 급수 량을 증가 시켜야 하고 드럼 수위의 설정치와 측정값을 비교하여 비례 적분 제어를 행함으로써 오차를 0으로 유지한다.

드럼 수위 전송기(LT 150 146)는 좌,우 양측에 설치되어 하나는 지시용 하나는 제어용으로 사용되었으나, DCS에서의 S/W 처리로 두 전송기의 측정값을 평균할 수 있고 또한 드럼 압력 보정에 의하여

0 kg/cm²에서 200 kg/cm²압력 변화에 항상 정확히 드럼 수위를 측정 제어할 수 있다.

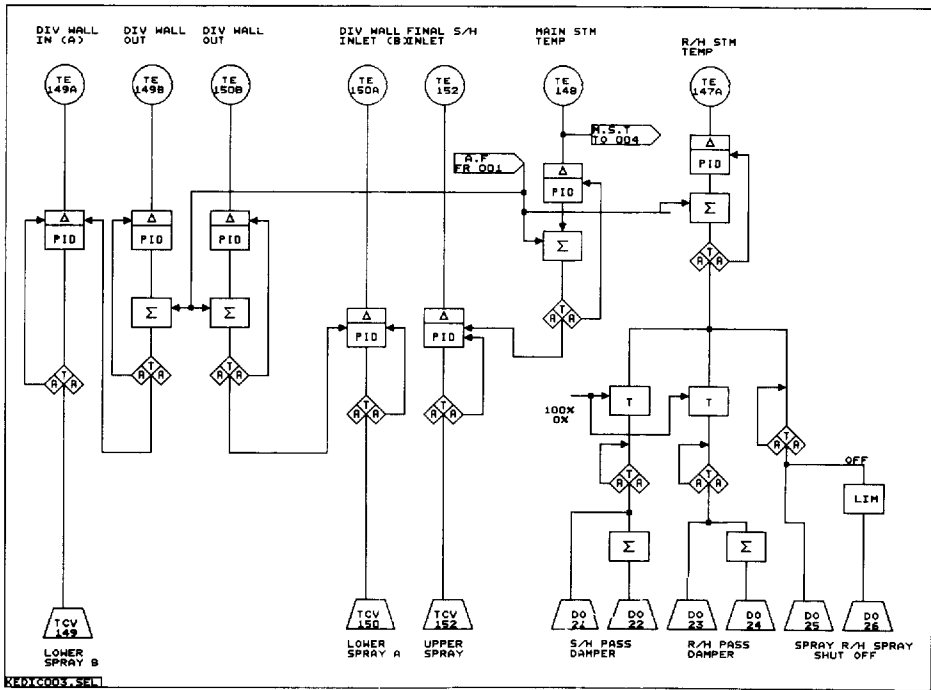
주증기 유량(FT 132 A)은 온도 압력 보정되어 보조 증기 유량 (FT 137)과 더해져서 드럼 수위의 선행제어 신호로써 급수 량의 설정치가 된다. 급수 량은 온도 보정되어 분사수(SPRAY WATER)량과 합해져 측정값으로써 설정치와 비교 비례 적분 제어에 의해 제어 밸브(LCV 50 60 70)를 열고 닫는다. <도면 KEDIC004 참조>

나. 압력 편차 제어

드럼에 급수 량을 공급하기 위해서는 급수 펌프의 출력측 압력이 드럼 압력 보다는 항상 높아야 하는데 급수 펌프의 속도를 조정, 차압을 유지하여 비례 적분 제어값을 계산하면 이 신호가 급수 펌프의 속도(VC 4001 2 3)를 조절하여 차압을 유지 한다. <도면 KEDIC004 참조>

4. 증기 온도 제어

증기 온도 제어 시스템은 최종 과열 증기(FINAL



도면 KEDIC 003

SUPERHEATER STEAM) 온도 제어, RADIANT 과열증기(SUPERHEATER STEAM) 온도 제어, 재열증기(REHEATER STEAM) 온도 제어로 구성 되어 있다.

RADIANT 및 FINAL S/H는 보일러의 주 통로에 있는 반면, PRIMARY S/H는 S/H통로에, R/H는 R/H 통로에 놓여 있다. S/H와 R/H 통로에는 재열 증기 온도를 제어하기 위해서 Damper가 설치되어 있고 Radiant S/H의 온도는 primary S/H 출구에 설치된 하부 분사수(lower spray water)에 의하여 제어되고 final S/H 증기온도는 final S/H 입구에 설치된 상부 분사수(upper spray water)에 의하여 제어된다. <도면 KEDIC003 참조>

가. 하부 분사수(Lower Spray water) 유량 제어

이 제어 시스템의 목적은 division wall 출구의 온도를 최대 허용치 이하로 머물게 함과 동시에 division wall 입구의 온도를 과열도보다 20°F만큼 낮아지지 않도록 제한 하는 것이다. division wall 출구 온도를 좀더 신속히 제어하기 위해 공기량 (air flow) 신호와 division wall 입구 온도를 선행신호로 사용함으로써 division wall 출구 온도 제어를 어떤

변화에 좀더 신속히 제어 될 수 있다.

Division wall 출력 측 온도 (TE 149 B)와 입력측 온도(TE 149 A)는 T/C에 의해 측정되고 운전원의 설정 조작 신호와 주증기량 값에 따른 신호를 더해 서 설정치로 설정되면 출력측 온도와 비교 비례 적 분 동작에 의해 계산되고 선행 신호인 공기 량과 더 해져 입력 측 온도의 설정값이 되는 cascade제어가 되어 분사수(spray water)를 가감하는 제어 밸브 (TCV 149)를 열고 닫는다. <도면 KEDIC003 참조>

나. 상부 분사수(Upper spray water) 유량 제어

Final S/H의 증기 온도를 설정 값으로 유지하기 위한 Upper spray water control은 cascade control system으로써 1차 변동 요소로는 Final S/H 출구온도 (TE 148)를 사용하고 2차 변동 요소로는 Final S/H입력측 온도 (TE 1523)를 사용하고 있다. Final S/H증기 온도 제어 시스템도 역시 온도 변화에 신속한 제어를 위해서 공기 유량 신호와 Final S/H 입구측 온도를 선행 신호로 사용하고 있다.

운전원이 H/A Station에서 Final S/H 출구측 온도를 설정하면 측정값과 비교하여 비례 적분 미분 동작에 의해 신호를 계산하고 이 출력 값은 공기 유

1. DCS 전체 CONFIGURATION

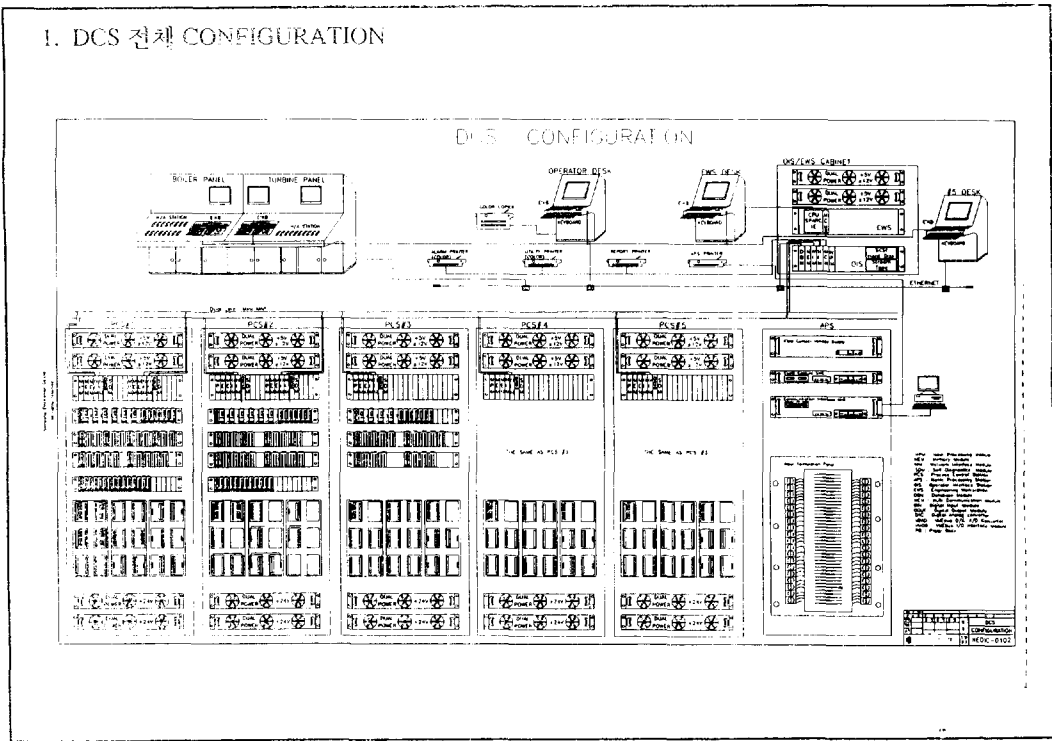


그림 1. DCS 전체 CONFIGURATION

량신호와 합하여서 Final S/H 입구측 온도를 설정하게 되고, 입구측 온도 신호와 비교하여 비례 적분 미분 동작에 의해서 분사수 제어 밸브(TCV 152)를 열고 닫는다. <도면 KEDIC003 참조>

다. 재열기 온도제어

Final 재열 증기 온도 (TE 147 A)를 일정히 유지하기 위한 제어 시스템으로써 S/H pass damper, R/H pass Damper, R/H spray water에 의해서 조절되고 있다.

운전원이 H/A station에서의 Final 재열 증기 온도를 설정하고, 측정값과 비교하여 비례 적분 미분 동작에 의하여 출력 신호를 만들고, 공기 유량 신호와 합쳐져 각 Damper를 구동시키는데 S/H pass Damper(DO 21 22)는 부하의 증가에 따라서 열리고 R/H pass Damper(DO 23 24)는 S/H pass Damper가 열리기 시작하면 재열증기 온도를 감소시키기 위해서 닫히기 시작한다. 만일 Damper 제어 만으로 재열증기 온도를 설정치 이하로 유지하지 못할 경우에는 재열증기 저감수 제어밸브(R/H Spray water

Control Valve)에 의해서 온도를 제어한다. <도면 KEDIC003 참조>

5. 결론

그림1은 서울 화력 발전소 보일러 전체 제어 시스템을 보였다.

제어용 캐비닛이 2개 (PCS #1, #2), 데이터 취득용 캐비닛이 2개 (PCS #3 #4), SOE용 캐비닛이 1개 (APS), OIS 및 EWS 용 캐비닛이 1개 (OIS/EWS), 그리고 19" X-TERMINAL 5개, 프린터 4대로 이루어져 있다. (그림 1. DCS 전체 Configuration 참조)

첫 국산개발 DCS의 신뢰성 확보를 위하여 ONE LOOP CONTROLLER (H/A STATION)를 운전원 조작반에 설치하여 DCS의 고장에 대비하였다.

그림 2를 살펴보면

1) 설정치는 스위치가 (H/A) 전면에 있어서, 운전원 조작에 의해 증가 감소 시키면 DCS에 신호가 전달되고 (H/A) 전면 표시창(DISPLAY)에 BAR

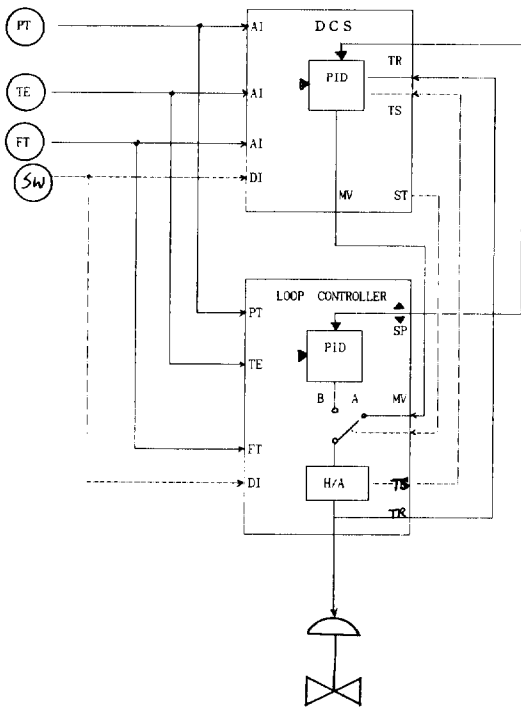


그림 2. DCS와 H/A STATION의 연결

그래프로 표시된다.

2) 측정값은 현장 전송기 (PT TE FT)에 의해 DCS와 (H/A) STATION에 병렬로 신호가 연결된다.

3) 제어기 PID 출력값은 DCS에서 (H/A) 내부에 있는 선택 스위치 A에 연결되고, (H/A) 내부에서의 PID출력은 선택 스위치 B에 연결된다.

4) DCS에서는 자기진단 CPU SDM이 I/O와 모든 제어 MODULE을 고장 진단하여, 정상일 경우에는 ST에 GOOD 신호 (PULSE)를 보내고, 비정상 일 경우에는 BAD 신호(0)을 보내 선택 SW를 A 또는 B에 연결하여 제어 밸브에 신호를 보낸다.

5) BUMPLESS TRACKING을 위해서 DCS는 항상 (H/A)에서 제어 밸브로 보내는 (H/A)의 출력값을 항상 TR 신호로 감시하고, (H/A)의 운전 상태 AUTO 또는 MANUAL를 나타내는 TS신호를 DCS PID BLOCK TRACKING에 연결한다.

DCS가 정상이면 운전원의 설정값 조작치와 현장 전송기의 측정값이 비교되어 오차가 비례 적분제어로

MV신호를 H/A에 보내고, ST 신호의 GOOD (PULSE)에 의해서 A에 연결되어 제어 밸브를 열고 닫는다.

만일 DCS가 고장이면 ST 신호의 BAD에 의해서 B에 연결되고, (H/A)가 A 운전이면 PID 제어값이, M 운전이면 운전원 조작 신호에 의해서 제어 밸브가 열리고 닫힌다.

상기와 같은 시스템 구성으로 DCS의 다양한 S/W를 적용하면 정밀 제어, 안정된 제어가 이루어져 발전소 안정 운전에 기여 할 것이며, 기타 화학공장, 제철공장 등에 적용할 경우 기술의 파급효과가 큼은 물론 국내 자동제어 기술 혁신의 디딤돌이 되리라 확신한다.

참고문헌

- (1) "서울화력 4호기 운전조작 설명서" 서울화력 발전소, PP 385-411
- (2) J.McKinley, A.Lorello, and J.R.Penland, "TECHNOLOGY ASSESSMENT AND RESEARCH AND DEVELOPMENT PLAN FOR INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEMS IN FOSSIL FIRED POWER PLANT", EPRI REPORT, PP 56-83(1985)
- (3) "발전소 제어 설비 국산화", 한전 기술 연구원 전력 기술 WORKSHOP, PP 37-65 (1988)
- (4) "HARDWARE INSTRUCTION MANUAL", BAILEY CONTROLS COMPANY
- (5) "SOFTWARE INSTRUCTION MAUNUAL", BAILEY CONTROLS COMPANY



김은기(金恩基)

1953년 9월 29일 생
 1977년 한국전력공사 입사
 1985년 인하대학교 전기공학과 졸업
 1990년 서울대학교 제어계측공학과 석사
 1992년 현재 한국전력공사 기술연구원 근무