

RTE(Real Time Executive)를 이용한

수관식 관류 보일러 제어 시스템의 설계

김 정호, 한 동원, 이 직연, 조 삼현

한국 전자통신연구소

Design of a Microprocessor Control System
for an One-through tube Boiler using RTEJung Ho Kim, Dong Won Han, Chick Youl Lee, Sam Hyun Cho
Electronics and Telecommunications Research Institute

(Abstract)

A design of an industrial microcomputer control system for an one-through tube boiler using oil is presented. The microcomputer system is based on standard iSBC 88/40 board. The software consist of a RTE(real time executive) and application tasks. The designed control system saves fuel and gives a more reliable over-all operation.

1. 서론

오늘날 공장에서 가장 큰 문제중의 하나는 에너지 자원에 관한 것이라 할수 있다. 에너지 자원에 대한 가격 상승은 실질적으로 생산 원가에 상당한 영향을 끼쳐 왔으며, 그로 인하여 에너지 자원의 열효율 향상에 대한 연구가 계속되어 왔다. 본 논문에서는 산업 분야의 에너지 원인 보일러를 모델로 선정하여 컴퓨터를 이용한 제어 시스템을 구현하였다. 이는 보일러 제어의 자동화로 에너지 절감 효과와 안전 운전에 효과가 클것으로 기대된다. 이러한 보일러 시스템의 자동화를 위한 제어 특성을 기능 별로 나누면 다음과 같다.

- 자동 기동 정지 제어
- 연료 및 공기 제어에 의한 연소 제어
- 과열기와 제열기의 증기 온도 제어
- 급수 흐름 제어
- 로내압 제어

이에 따라 각 영역에서의 수직적 모델링, 제어 알고리즘 선정과 그 결과에 대해서 검토가 요구된다.

보일러의 분석에 따라 제어 대상인 압력, 온도, 유량 및 유위등의 변화량을 센서 및 트랜스듀서에 의하여 전류 혹은 전압 신호로 바꾸어 제어기에서 출력, 목표값등과 비교 판단하여 최종적인 제어 요소가 조작된다.

본 논문에서는 수관식 관류 보일러를 대상으로 입출력 제어 가능한 영역을 조사하고 동작 시퀀스에 대하여 급수 제어, 연소 제어의 자동화를 실현하였다. 수관식 관류 보일러중에서 소형에서는 ON-OFF, 중형에서는 Tri-Level, PI제어를 도입하였으며, 보일러의 열수지 개선에 따른 열효율을 개선 시킬수 있다. 구현된 시스템은 Intel의 iSBC 88/40을 사용하였으며 보일러 입출력 신호 처리를 위한 signal conditioning부를 설계하였다. 또한 실시간 처리에 요구되는 기능을 위하여 RTE에서 제공되는 system call을 이용할수 있도록 보일러 응용 프로그램을 여러개의 task로 구분하여 실시간 환경하에서 서로의 관련성을 갖도록하였다. 이로써 개발 기간과 자금을 최소화 할수 있으며 single board level의 제어 시스템이 구현되었다.

2. 본론

2.1 수관식 관류 보일러

관류 보일러의 정의 라고 하면 "관으로만 구성되어 있을 것, 기수 분리가 있을 것, 분리후의 생긴 연수는 다시 가열관으로 돌려 보낼수 있어야 하며 최대 공급량에 따른 순환 수량의 비가 2 이하인 것"을 의미한다. 이 정의에 따른 관체 구조의 이상형으로 원형 header, 일관관(one through tube)구조로 설계되고 있다. 이 관류 보일러는 긴관의 한 관에서 급수를 펌프로 공급하여 관을 가열하면, 붉은 관도중에서 순차 가열, 증발,

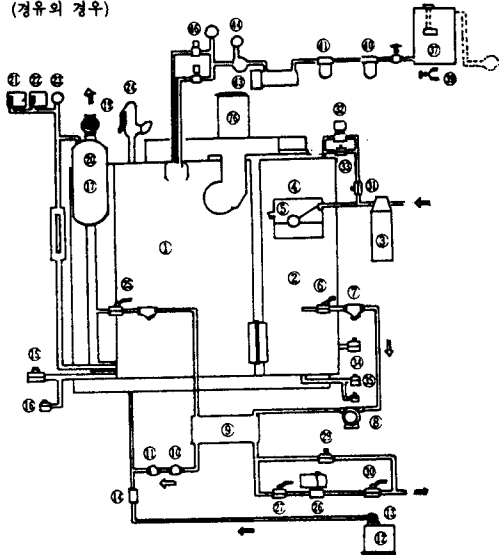
과열되어 다른 관으로 과열 증기가 되어 나오는 보일러로서 관관의 구성으로 순환비가 1이되고 소형, 중형의 크기로 협소한 장소도 설치 가능하다.

본 제어 시스템의 대상으로 수관식 관류 보일러는 열연 보일러(주)에서 제공한 규격과 자료에 의하여 설계되었다.

- 용량 : 0.1~1.5 Ton/Hr
- 최고 사용 압력 : 4~10 kg/cm
- 열효율(배기 온도) : 85%(150 C)
- 사용 연료 : 벙커C유, B, A유, 경유
- 예열 부하 손실 : 착화 3~4분내 증기 발생
- 연료 가열 손실 : 증발량의 약 0.5%

이 수관식 관류 보일러는 증발량이 200~300kg/h에서 수 t/h에 90%정도의 열효율을 위하여 자동화가 요구된다. 열전면의 코일상으로 같은 1개의 관으로 급수 펌프에서 압송된 물은 안쪽으로 진행하면서 증발하는 데 증발관 출구의 증기는 건조도가 80~90%의 습윤 공기가 될수 있게 급수량과 연소량을 자동 조절이 요구되며, 또한 압력 스위치로 버너의 운전운 감시하여 보일러 상단에 설치된 점화 장치와 연관하여 연소 제어의 자동화가 요구된다. 이 수관식 관류 보일러의 flow상황은 그림 1과 같다.

(경유의 경우)



(B중유의 경우)

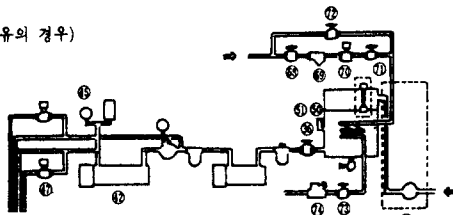


그림1. 수관식 관류 보일러의 flow 상황

2.2 보일러 모델링

본 보일러의 수학적 모델은 보일러의 동특성을 표현하기 위하여 여러 대수 방정식, 차분 방정식의 집합으로 이루어진다. 모델링 방법에는 보일러 공정에 주어지는 입력과 출력의 관계를 이용하여 프로세서의 변수들을 관련시켜 주는 파라미터를 추정하여 볼 수 있다. 대개 이러한 모델은 고차 비선형 방정식이 되지만, 저차 모델로 차수를 줄여서 보일러를 하나의 black box로 보고 차수를 줄일수 있다.

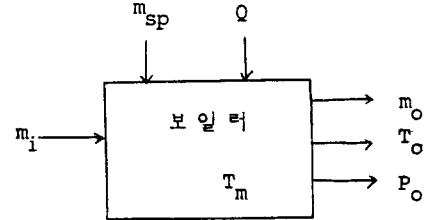


그림2. 보일러 모델링의 입출력

그림2에서 m 은 질량, T 는 온도, P 는 압력을 의미하며 i 는 입력, o 는 출력, sp 는 spray water를 의미한다. 이에 따른 보일러의 질량, 에너지, 운동량의 보존 방정식을 구하여 이에따라 입력, 출력에 따른 상태 변수에 파라미터를 구할수 있다. 이러한 비선형 방정식에서 파라미터를 추적하기 위하여 상태 변수에 첨가시켜 파라미터 추정 문제로 전환하여 시뮬레이션용 수행한 경우 선형화가 가능함을 알수 있다. (칼만 이득의 상수값 유지) 또한 본 보일러는 실제 운전 데이터가 자료로 제공되어

- 연소실에서의 일정량의 열량 발생 자료
- 이 열량으로 수관을 덥혀 증기 발생때까지의 열 전달 상수
- 이 증기를 압력으로 표시할수 있는 식

등으로 연료연소율, 압력 밸브, 수위 조절 밸브등을 변수로 저차 모델링이 가능하다. 이에 따라 보일러의 여러 파라미터를 추적하여 볼수 있으며 이는 이론과 일치함을 나타내준다. 물론 구체적으로 미세한 측정의 변화를 위하여 몇개의 서브 시스템으로 나누어 각각의 전달 함수로 고차 모델링이 요구되지만 본 보일러는 소형이고, 구조가 간단하여 고급 알고리즘의 도입이 요구되지 않는점을 고려하여 선형 저차 모델로 보아도 무관하다.

2.3 제어 방식

본 보일러 제어의 목적은 관류의 입출력 온도의 일정한 유지에 따른 열효율 향상과 안전 운전에 있다. 열연 보일러(주)에서 제공한 수관식 관류 보일러에서 자동

시동 정지, 수위 조절, 압력 조절의 제어를 위하여 입출력 제어 가능한 영역을 조사 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 보일러의 입력적

온도: TH, HT, AK (Heater)

수위: E1, E2, E3(저위, 중위, 고위)

압력: PH, PL(고/저압력)

착화 감지: LD1, LD2(Flame Eye)

스위치: 기동/정지, 연료 선택, 제어 방식 선택

- 보일러의 출력적

급수 펌프, 오일 펌프, 저/고 연소 전자변,

IG(Ignition Trans),

BM(Burner Motor), Ruzzer

이 에 따른 제어 부우프는 그림3과 같으며 이들 부우프별로 보면 급수 제어, 연소 제어, 압력 제어가 된다.

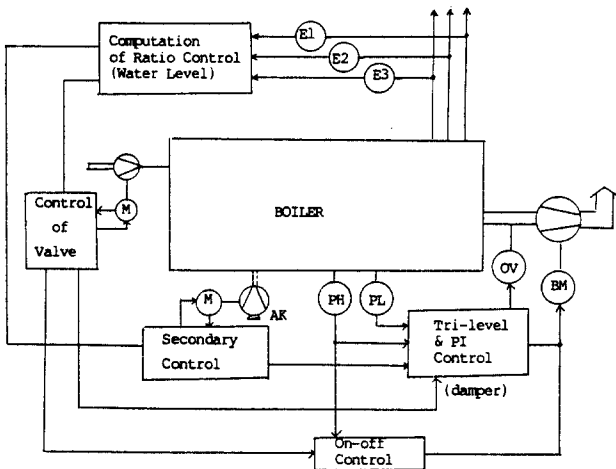


그림3. 수관식 관류 보일러 시스템의 제어 부우프

(제어 대상)수위 감지: 저위, 중위, 고위

급수 펌프

급수 제어에서는 입출수량, 현재 수량, 최대 입출수량, 최저 제한 수위등의 변수들을 필요로 한다. 최저 제한 수위의 단위는 %이고 나머지의 단위는 %/단위 시간이다. 여기서 %단위는 급수 탱크에 채워진 물의 양에 대한 비율로서 밸브가 열리면 1, 닫히면 0가 된다. 단위 시간마다 수위 조절이 수행되며 현재 수량이 제한값을 넘으면 그값으로 제한시킨다. 따라서 급수 밸브의 위치로 출수량을 (급수 밸브의 위치X최대 출수량)으로 계산되며 이 밸브의 개폐는: 0~100%가 된다. 또한 급수 탱크에 이상(구멍에 의한 손실등)이

생겼을 경우 이때의 현재수량을 (현재 수량+입수량-출수량-HOLE)가 된다. 이러한 현재 수량은 최저 제한 수위보다 낮으면 저위가 ON 된다. 본 관류 보일러에서 입수량과 출수량에 따른 비율 제어를 도입하여 실재 전극봉을 설치하여 저수위 30%, 중수위 65%, 고수위 85%로 간주하여 제어하였다. 중형의 경우 현재의 수위와 설정된 기준값을 비교하여 제어기의 출력이 급수 밸브에로의 제어 신호를 발생시키기로 한다. 이는 빠른 load 변환에 대한 적응력은 떨어지지만 급수 흐름이 10~20%이하로 측정하기 어려운 경우 유리하다.

- 연소 제어부

(제어 대상)압력:고압 압력PH,저압 압력PL

착화 감지, Arquar Start(AK)

연료 선택, BM, IG, Oil Pump,

고/저 연소 전자변

본 연소 제어부에서는 연소 상태라는 변수가 필요하며 이는 압력 스위치에 따른 버너 모터(BM)의 운전 및 정지를 반복시켜 설정된 증기 압력을 유지하며 착화 미스나 실화되었을 경우에 flame eye가 감지하여 연소 회로를 차단할 수 있어야 한다. 이는 높은 건도의 증기를 연속 공급할수 있음을 의미한다. Burner Motor, Ignition을 ON시킬때 오일 유출량이 0보다 많으면 Cds를 ON시키고 그렇지 않으면 OFF시키게 된다. 또한 압력 제어를 위하여 압력 제어의 고저 선택기(PH/PL)를 설치하여 연소 제어의 설정치는 압력 조절기의 출력이나 큰값의 연료 흐름값을 갖도록 할수 있다. 즉 고압/저압 압력 스위치, 고/저연소 전자변의 ON.오프 고압/저압압력에 따른 3 위치를 제어를 수행하며 버너 모터의 ON에 따른 연소 제어를 담당할수 있게 된다.

본 보일러의 제어 방식의 경우

소형 보일러의 경우--- PH 조절 및 수위 조절

(ON/OFF 제어)

중형 보일러의 경우(I)--- PH,PI 및 수위 조절

(Tri Level 및 비율 제어)

중형 보일러의 경우(II)--- 압력 및 수위 조절

(PI 제어)

로서 제어되며 이중에서 PI제어의 도입은 계산 부분을 줄이고 globally stable한 direct방법을 도입하였다.

3. 제어 시스템의 구성

본 수관식 관류 보일러의 제어를 위하여 제어 시스템의 2가지 state는

- 측정 state
- 제어 state

로 분류하여 보일러의 동작 입출력점의 규격을 측정한 결과와 이에따른 제어를 위하여 기능을 나열하였다.

(측정 값)

착화 감지 회로(flame eye) - 착화/실화:36

수위 감지 회로 - 전원 ON후 수증 수위:13

무 전압 접점 회로 - 온도:TH, AK

압력:고/저압 압력 스위치(PH, PL)

Buzzer(Alarm)

연료 선택 스위치(경유, 증유)

제어 선택 스위치(ON-OFF, Tri-Level, PI)

(기능)

Performance measurement

State of the switches

Updating display

Sounding buzzer

본 제어 시스템은 H/W로서 Intel의 iSBC 88/40board, 입출력의 신호 처리부, S/W로서는 RTEX, 각 보일러 제어를 위한 task등으로 구성된다.

3.1 H/W 구성

본 제어 시스템의 구성은 그림 4와 같다.

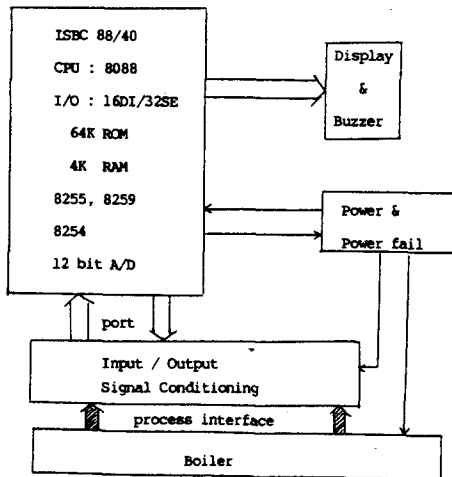


그림4. 설계된 제어 시스템의 구성

여기서 Intel사의 88/40은 Measurement and Control Computer의 single board로서 CPU는 8088을, 16개의 DI/32개의 SE의 아날로그 입력을 처리할수 있으며 64K ROM, 4K RAM을 갖추고 있다.

주변 chip으로 8255, 8259, 8254등을 갖추고 있으며 아날로그 입력을 위하여 12비트 A/D가 있다. 이 보드는 공정 제어용 보드로서 최대 16개의 제어 부우프를 처리할수 있는 PID 기능을 수행 할 수 있다.

입출력부로 8255를 사용하였으며 이에 portA, B, C에 비트 마스크를 하였다. 각 port는 memory mapped I/O를 사용하여 보일러의 입출력 상태를 메모리에서 읽게 된다. 입출력 점수로 고려하여 보면 아날로그 입력 4점과 디지털 입출력14점으로 총 18점으로 구성되어 있다. 본 제어 시스템의 입출력중에는 저항 성분과 on/off로서의 입출력으로 나누어 진다. 여기서 저항 성분의 입력은 LD1, LD2(Flame Eye) E1, E2, E3(수위)이며, 연소 연료의 온도 감지를 위하여 HT, AK를 일정 온도로 set시켜 on-off로 동작하게 된다. 착화 감지는 Cds를 사용하여 수 K~수M의 저항 변화로 감지하고 수위 감지는 감지 회로의 입력 저항을 높이기 위하여 darlington 연결로 구성하였다.

출력은 AC220V의 모터 벨트를 동작시키기 위한 DC12V로 동작하는 릴레이를 제어하는 신호이다. PPI의 5V 레벨의 신호를 12V 레벨의 신호로 변화시키고 EMI의 영향을 막기 위하여 photo coupler를 사용하였다. 릴레이의 접점을 보호하기 위하여 릴레이 구동부에 커패시터와 다이오드를 부착하였다. 전원부는 3단자 테글레이터를 사용하여 DC5V로 프로세서와 TTL을 구동하고 DC12V로는 입출력부를 구동한다. 무 전압의 그라운드선 분리시킴으로서 gridded ground 및 parallel connection으로 구성하였다.

3.2 S/W 구성

시스템의 S/W 구현을 위하여 RTEX를 이용하였다. 이용된 RTEX는 실시간 운영체제의 kernel이 갖는 기능 중 실시간 응용환경에 필요한 기능을 SBC(single board computer)에 의한 구현을 목표로 축소시킨 시스템 S/W이다. 이를 이용함으로써 제어시스템 설계자는 응용프로그램을 손쉽게 구현할 수 있음은 물론 시스템이 갖는 H/W 자원을 효율적으로 이용함으로써 시스템의 기능 및 신뢰도를 크게 높일 수 있다.

구현한 시스템의 전체 프로그램은 RTEX, board 관련 초기화 루틴, 응용프로그램으로 구분할 수 있다. RTEX는 H/W 자원의 관리, multi-task로 구현한

응용프로그램의 관리, task간의 데이터 교환 등 실시간 응용환경을 위한 기능을 사용자에게 제공하며, board 관련 초기화 루틴은 iSBC 88/40의 초기화를 수행하며, 제어 및 display 등은 응용프로그램에서 담당하였다.

RTEX는 Intel의 고급언어인 PL/M 및 ASM 86 어셈블리어언어로 구현되었으며, 초기화루틴 및 응용프로그램은 ASM 86으로 구현하였다. 구현한 전체 S/W의 크기는 code가 14K bytes, stack 및 working memory는 2K bytes이었다.

RTEX 개요

RTEX는 초기화루틴, intertask communication manager, timer interrupt manager, H/W interrupt manager, free memory manager, task manager와 여러 list들로 구성되며 그림 5에 이들과의 관계를 나타냈다.

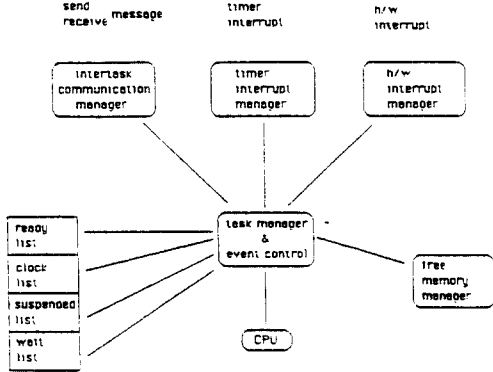


그림 5. RTE 구성

RTEX가 갖는 기능 중 기본적인 사항은 아래와 같다. 상세한 내용은 참고문헌을 참조하기 바란다.

- multitasking 과 concurrent processing

실제공정의 데이터 입력, 제어, 감시등을 실시간으로 수행시키기 위해서는 이들 독립된 기능들을 여러개의 task들로 구분하여 이들 task들을 concurrent하게 동작시킴으로서 CPU를 효율적으로 이용함은 물론 사용자의 응용프로그램을 효율적으로 개발할 수 있다.

- 우선순위의 scheduling

이용된 RTEX의 scheduler는 priority based preemptive scheduling 방식으로 구현되어, 현재 수행중인 task는 우선순위가 높은 task 또는 interrupt handler에 의하여 깨워진 높은 순위의 task에 의하여 수행이 중지되며, 높은 순위를 갖는 task의 수행이 완료된 후, 중지된 시점부터 다시

수행되기 시작한다.

- task 상태와 수행

task의 상태는 inactive, ready, running, suspended, clock 상태로 구분된다. task 생성시 ready 상태에 들어가며, scheduler에 의하여 생성된 task 중 우선순위가 가장 높은 task 하나만이 running 상태로 전환되며 수행중인 task는 요청하는 system call에 의하여 suspended, condition, clock 상태로 전환되며 수행이 완료되어 필요없는 task는 inactive 상태로 전환된다.

intertask communication과 동기화

task들 사이의 데이터 교환은 mailbox에 의하여 이루어지며, 송신시 전달할 데이터의 포인터만을 넘겨줌으로서 처리시간을 단축하며, 동기화 또한 mailbox에 의하여 쉽게 구현된다. 만일 데이터 송신에 앞서 수신이 발생하는 경우 수신을 요청한 task는 condition 상태에 들어가 송신될 때 까지 기다리며, 데이터가 도착하면 다시 schedule 되어진 후 우선순위에 따라 수행된다.

task 구현

본 수관식 관류 보일러 제어기의 동작 개체에 따라서 task를 5가지로 나누어 구현하였다. 각각의 task는 다음과 같다.

Task1: BOSTART

Task2: SMALL BO, ON-OFF

Task3: MIDDLE BO, TRI-CON

Task4: MIDDLE BO, PI-CON

Task5: ERROR ROUTINE

각각의 buffer와 flag선점은 다음과 같다.

- SEG1, SEG2(5000H, 6000H):

보일러의 오동작시에 7segment display를 위한 값을 보관한다.

- SEL81, SEL81A, 81B, 81C

(2000H): 보일러 입출력 요소들로 신호의 입출력을 처리하기 위해 설정된 port

- STK: Stack Pointer(1800H)

- I/O Image Hit Mask

- ADDE FILTER: 보일러 입출력 신호들의 비 선형 잡음 제거를 위한 제어 연산을 위한 변지 및

결과 저장

보일러 응용 프로그램으로 task1은 HOSTART로서 보일러의 운전 상황에 관계없이 스타트 루틴을 나타낸다. 각각의 초기화 프로그램과 수위 레벨의 검지, 급수 펌프에 신호를 발생한다. 제어 루틴의 수행중 수위 조절의 보안을 위한 증발량에 따른 수위 점검차별 비운 제어를 적용한 루틴등의 준비 작업과 연료 선택에 따라 task2, task3, task4를 준비하게 된다. Task2는 소형 보일러의 제어로서 고압 압력 상태의 점적으로서 이 압력에 따른 on/off를 수행하며 수위 조절을 위하여 계속 수위 상황을 점검하여 이에 대한 보완 작업을 수행한다. Task3은 중형 보일러의 제어로서 고압/저압 압력 스위치, 고연소/저연소 전사변의 on으로 고압 압력, 저압 압력에 따른 3위치를 수행하며 버너 보터 on에 따른 연료 선정과 수위 조절을 위하여 수위 상황을 점검함과 동시에 이에 대한 보완 작업을 수행한다. Task4는 중형 보일러의 제어로서 압력 및 수위 조절의 PI알고리즘을 도입하여서 투우프 수행을 하게 된다. Task5는 각 보일러의 이상에 대해 입출력부의 오동작 점검 루틴과 error 상황에 대한 서브루틴이 있다.

그림6은 본 보일러 제어 시스템의 응용 프로그램인 각 task를 나타내었다.

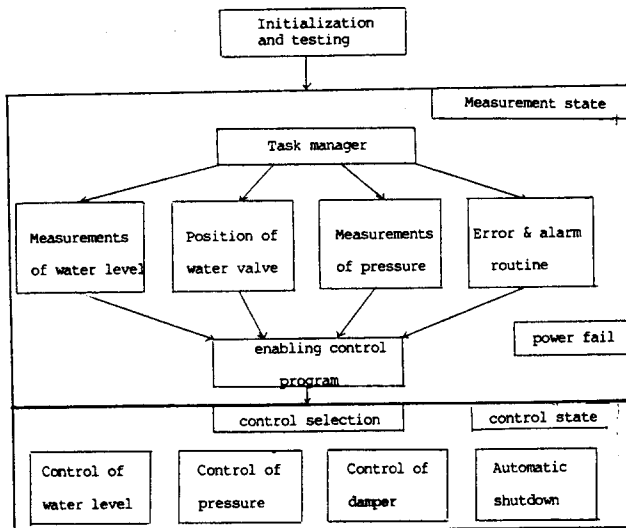


그림6. 본 보일러 제어 시스템의 task 구조

4. 결론

수관식 관류 보일러의 열효율 개선과 안전 운전을 위하여 (주)열연 보일러에서 제공한 자료와 자동 시동 제어, 수위 조절, 압력 조절의 제어를 위하여 입출력 제어 가능한 영역을 조사하고, 범용 목적으로 개발되어

single board computer에 의한 공정 제어는 여러 실시간 시스템에 이용되는 RTE를 이용하여 보일러의 동작을 각 task로 나누어 현장 실험 결과 다음의 결과를 얻었다.

1) 급수 제어의 자동화

관 수위를 flow trans 스위치로 전기적으로 검출하여 급수 펌프의 운전 정지를 반복시켜 규정 범위내의 수위를 유지하며, 또한 단수 급수 펌프의 고장등으로 관수가 부족한 경우 연소 회로를 차단 시킬수 있다.

2) 연소 제어의 자동화

압력 스위치로 버너의 운전, 정지를 반복시켜 설정된 증기 압력을 유지하며 착화 미스나 소화되었을 경우 flame eye가 감지하여 연소 회로를 차단 시킬수 있다.

3) 높은 건도의 증기를 연속 공급

증기중에서 함유된 수분과 증기의 비를 높여 보유 열량이 많고 유속의 안정되고 열효율을 높임(90% 이상)

본 보일러 제어기의 구현으로 보일러의 안전 운전과 열효율의 개선(8%이상)을 가져왔으며 특히 에너지 관리 시스템의 하나의 예가 되어 차후 고급 제어 이분이 도입되면 산업용, 전력용 보일러의 제어시스템이 가능할 것이다. 또한 기 개발된 RTE는 single board computer에 의하여 처리될수 있는 실시간 처리 공정 제어등에 유효하게 이용될것이다.

본 제어기의 구현으로 (주)열연 보일러는 년 4억의 수입 대체 효과를 가져 왔으며, 역 수출도 전망되어 40%이상의 기업 신장율이 기대된다.

(본 원고는 1985년 과기처 특장 연구로 수행한 공정 정보 처리 시스템의 개발 사업중 보일러 제어 영역의 일부분이며, (주)열연 보일러의 자료 제공 및 보일러 제공으로 이루어진 결과입니다.)

참고 문헌

[1] P. Eykhoff, System Identification, John Wiley&Sons, 1974
 [2] A. Tyssso, "Modelling, Parameter Estimation and Control of a Ship Boiler , Report 8013-W, The Norwegian Institute of Technonology, Division of Engineering

Cybernetics, Trondheim, Norway, 1980

[3] Energy Technology Handbook, McGraw-Hill, 1980

[4] Boiler Control System Concepts, Foxboro Company, 1982

[5] Booster Boiler, Samaan Boiler, 1985

[6] L. Johnson, H.N.Koivo, "Design of a Microprocessor Control System for a Solid-Fuel Water Boiler", IEEE IE Aug., 1984. pp263-268

[7] K.H.Sears, A.E.Middleditch, "Software Concurrency in Real Time Control Systems: A Software Nucleus," Software-practice and Experience, VOL. 15, Aug., 1985, pp739-759.

[8] D.A. Crowl, "A Real-Time Fortran Executive," IEEE MICRO, Aug., 1985, pp48-66.

[9] W.S.Heath, "A System Executive for Real-Time Microcomputer Programs," IEEE MICRO, June, 1984, pp20-32.

[10] Y.P.Chien, "Multi-tasking Executive Simplifies Realtime Microprocessor System Design," COMPUTER DESIGN, Jan., 1980, pp109-117