

# 발전용 보일러 분산 제어기의 성능 평가를 위한 실시간 시뮬레이터의 개발

박영문\*, 서진현\*\*, 김 욱\*\*\*, 조철형\*\*\*, 노대중\*\*\*, 윤지호\*\*\*, 이진호§

(\* 서울대학교 공과대학 전기공학과 교수

\*\* 서울대학교 공과대학 전기공학과 부교수

\*\*\* 서울대학교 대학원 전기공학과 박사과정

§ 서울대학교 대학원 전기공학과 석사과정

## 1. 서 론

1980년대에 들어서면서 마이크로 프로세서의 발달로 말미암아 외국 선진 국가들은 기존의 발전소에 설치된 아날로그 제어기들을 마이크로 프로세서를 이용한 새로운 디지털 제어기로 교체하기 시작하였다. 점차 이러한 기류가 확산되어 이제는 거의 모든 발전소에 디지털 분산 제어기가 설치되어 있는 실정이다. 국내에서도 1980년대 중반 이후 외국의 제품들이 턴키(Turn-Key) 방식으로 도입, 설치되기 시작하였으며, 그 효율성과 신뢰성에 대한 인식이 점차 넓게 퍼져 가고 있다.

그러나, 턴키 방식으로 도입된 이러한 외국의 디지털 분산 제어기들은 설치 뿐만 아니라 유지, 보수 시에도 외국의 기술력을 이용해야 하므로 이로 인한 외화 지출 또한 엄청날 뿐만 아니라, 각 발전소마다 서로 다른 회사의 제품이 도입되어 전체 발전시스템의 운용에 많은 혼란이 야기되고 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 1980년대 말부터 국내에서도 자체 기술력을 이용하여 우리나라 발전소의 실정에 맞는 디지털 분산 제어기를 개발하고자 하는 시도가 있었으며[1], 이는 1992년 한국전력 공사의 주관으로 시작된 “발전용 보일러 제어 시스템의 설계 및 제조 기술 개발[2]”에 관한 연구에서 본격화되었다. 이 과제는 이미 수년간 디지털 분산 제어기의 개발을 진행하여 온 국내 기업

및 학계의 기술력들을 응집하여 새로운 한국형 디지털 분산 제어기를 개발, 실용화함으로써 아날로그 제어기가 설치되어 있는 기존의 발전소 설비는 물론이고 향후 새로이 건설될 발전소의 제어 설비로 사용하고자 하는 것이 목표이다.

그러나, 아직은 디지털 분산 제어기에 대한 국내의 기술력이 선진 외국에 비하여 뒤져 있는 것이 어쩔 수 없는 현실이므로 실제 발전소에 설치되어 운용되기 전까지 많은 모의 실험을 거쳐 신뢰성과 안정성을 향상 시켜야 하는 과제를 안고 있다.

본 고에서는 1995년 말 상기 연구 과제에서 개발될 새로운 디지털 분산 제어기를 실제 발전소와 가장 비슷한 환경에서 모의 실험을 할 수 있도록 해주는 실시간에 동작하는 화력발전소 시뮬레이터를 개발한 예에 대하여 설명하고자 한다. 먼저 2절에서는 본 시뮬레이터의 전체 구조를 간략하게 도시하고, 3절에서는 본 시뮬레이터가 모사하고자 하는 화력발전소의 수학적 모델에 대하여 간략하게 서술하며, 4절에서는 본 시뮬레이터의 상세한 구조를, 5절에서는 PC로 구성된 간이 디지털 제어기와 결합된 모의 실험 결과를 각각 설명한다.

## 2. 시뮬레이터 시스템의 일반적인 구조

일반적인 디지털 제어기와 결합된 시뮬레이터 시스템의 구조를 그림 2-1에 나타낸다.

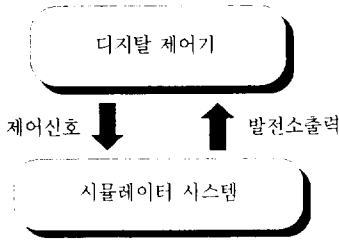


그림 2-1 시뮬레이터 시스템의 개념

그림 2-1에서 나타난 바와 같이 시뮬레이터 시스템이란 디지털 제어기로부터 제어 신호를 입력받아 이것으로부터 플랜트 모델의 미분방정식을 계산하여 상태 변수를 갱신하고, 갱신된 상태 변수를 출력 신호로 변환하여 다시 디지털 제어기 쪽으로 보내 주는 역할을 하여 주는 시스템이다. 즉, 제어기가 발생하는 제어 신호를 입력받아 실제의 플랜트를 대신하여 플랜트의 출력 신호를 발생시킴으로써 제어기의 하드웨어 또는 제어 알고리즘의 성능을 평가할 수 있게 해주는 장치를 말한다. 일반적으로 시뮬레이터 시스템은 제어 신호를 받아들이고 출력 신호를 보내 주기 위한 입출력장치, 또 제어 신호와 출력 신호 사이의 관계를 나타내는 미분방정식 혹은 대수방정식으로 구성된 수학적 모델, 그리고 이 수식들을 계산하기 위한 연산장치들로 구성되어 있다. 또한, 제어기와 시뮬레이터 간의 입출력이 제대로 되고 있는지를 검사하기 위하여 제어기와 주고 받는 입출력 값들을 화면에 표시하여 주는 별도의 모니터링 시스템도 추가적으로 필요하며, 미분방정식을 계산하는데 필요한 초기값들을 지정하여 주는 장치 또한 포함되어야 한다. 이러한 시뮬레이터 시스템의 구성을 그림 2-2에 나타낸다.

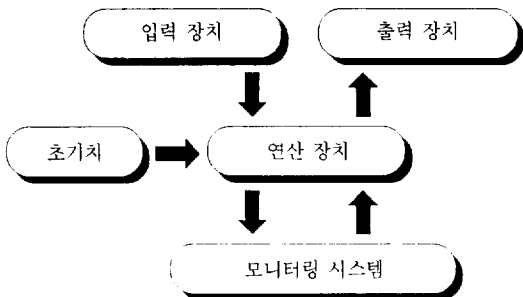


그림 2-2 시뮬레이터 시스템의 블록 다이어그램

디지털 제어기와 마찬가지로 시뮬레이터 역시 플랜트의 입출력 관계식을 계산하는데 적지 않은 시간이 소요되므로 출력 값을 연속적으로 변화시킬 수가 없고 일정시간마다 한번씩 주기적으로 계산하여 그 값을 변화시킨다. 따라서, 실시간에 동작을 하기 위하여서는 매우 빠른 연산 장치를 사용하거나 병렬처리 기법을 사용하여 계산 시간을 충분히 작게하여 시뮬레이터의 계산 주기와 디지털 제어기의 샘플링 주기가 동기 되도록 하여야 한다.

### 3. 시뮬레이터 시스템의 설계

본 고에서 서술하고자 하는 시뮬레이터의 가장 큰 특징은 2절에서 설명된 바와 같은 일반적인 시뮬레이터의 구조를 기본으로 하되 실시간의 특성을 강화하기 위하여 발전소 전체의 모델을 드럼 부분, 과열기 부분, 그리고 재열기 및 그 이외의 부분, 이렇게 세 부분으로 나누어 세 개의 CPU가 각각 나누어 그 계산을 담당하도록 하여 각 CPU의 시간적 부담을 줄이는 방법으로 실시간 처리를 가능하게 한 것이다. 만약 발전소 모델 자체가 간단화 된 것이라면 단 한 개의 CPU만으로도 실시간 처리가 가능하지만, 보다 정확히 디지털 분산 제어기의 동작을 실험하기 위하여서는 보다 정확하고 복잡한 발전소 모델을 사용할 필요가 있고, 이러한 복잡한 발전소 모델을 실시간에 처리하기 위하여서는 여러 개의 CPU를 사용하여 분산처리를 하는 것이 필수적이다. 또한, 본 시뮬레이터에서는 입출력과 각종 통신을 처리하는 CPU 보드를 별도로 두어서 담당하도록 하고, 모든 CPU보드는 실시간 오퍼레이팅 시스템을 사용하여 보다 정확하고 간단하게 실시간 처리를 가능하도록 하였다.

아울러 GUI(Graphic User Interface)의 기능을 모니터링 시스템에 부여함으로써 보다 편리하고 유용한 모니터링 시스템을 구성하였고, 마찬가지로 초기치의 부여 방식도 사용자의 편의에 따라 임의로 지정할 수 있도록 다양한 기능을 부여하였다.

그림 3-1에 현재 연구 개발되고 있는 시뮬레이터의 개략적인 구성도를 나타내고, 그리고 그림 3-1에 나타난 시뮬레이터의 각 모듈에 대한 사양을 표 3-1에 나타낸다.

다음에 각 모듈의 구체적인 역할과 구조에 대해

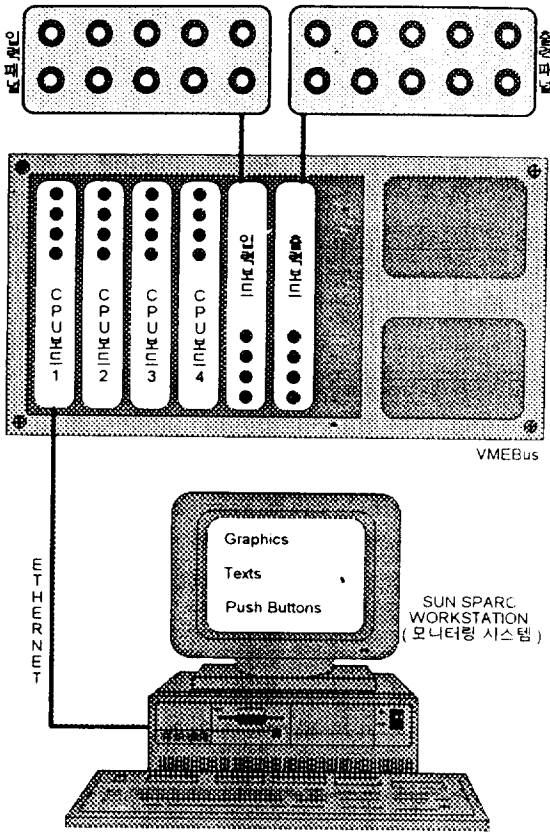


그림 3-1 시뮬레이터 시스템의 구성도

번째 CPU 보드는 입출력 보드들의 기능을 관리하고, 아울러 다른 CPU 보드들과 모니터링 시스템과의 각종 통신을 원활히 하기 위해 존재한다. 표 3-1에 나타난 바와 같이 이 CPU 보드에는 Ethernet 통신 모듈이 부착되어 있어 모니터링 시스템과 Ethernet을 통하여 통신을 할 수 있으며, 또한 VME Bus를 통해 다른 CPU 보드 및 입출력 장치들과 정보를 교환한다. 첫 번째 CPU 보드의 역할을 정리하면 다음과 같다.

가) 모니터링 시스템으로부터 입력되는 각종 상태 변수의 초기값을 받아들여 다른 CPU 보드들이 가지고 있는 상태 변수들을 초기화시키고, 시작 또는 끝, 임시 멈춤 명령어들을 받아들여 다른 CPU 보드들과 입출력 장치의 동작을 관리한다.

나) 디지털 분산 제어가 발생하는 제어 신호를 입력장치를 통해 받아들여 다른 CPU 보드로 전달한다.

다) 입력장치를 통해서 들어오는 제어 신호를 Ethernet을 통하여 모니터링 시스템에 보내 준다.

라) 다른 CPU 보드들이 계산한 출력 변수 값을 출력장치로 보내 준다.

마) 출력 변수 및 중요한 상태변수들의 값을 Ethernet을 통하여 모니터링 시스템으로 출력시켜 준다.

표 3-1 각 모듈의 사양

모듈명	품명	비고
모니터링 시스템	SUN SPARC STATION	
CPU 보드 #1	MC68040 CPU 보드	Ethernet 통신 모듈 부착
CPU 보드 #2~#4	MC68040 CPU 보드	VME Bus 용
입력 보드	12비트 아날로그 입력 보드	VME Bus 용
출력 보드	16채널 아날로그 출력 보드	VME Bus 용
Ethernet	Ethernet Cable	

여 서술한다.

### 3.1 CPU 보드 #1

VME Bus 상에 위치하는 CPU 보드들 중에 첫

### 3.2 CPU 보드 #2 ~ #4

첫 번째 CPU 보드를 제외한 나머지 CPU 보드들은 모니터링 시스템으로부터 지정되는 초기값과 입력장치를 통하여 들어오는 제어 신호를 이용하여 발전소의 모델을 계산을 한다. 각 보드들은 전체 발전소 모델 중 일부분을 담당하여 계산을 수행하게 된다.

이때 나누어진 발전소의 각 모델들은 상호 매우 밀접한 관계를 가지고 있어 독립적으로 계산을 수행할 수 없으므로 일반적인 병렬처리 기법의 적용에 많은 어려움이 따른다. 발전소는 이미 잘 알려진 바와 같이 드럼, 과열기, 터빈, 재열기, 응축기와 같은 시스템들이 순차적으로 연결이 되는 시스템이므로, 모델 계산의 분산 처리 역시 이러한 순차적인 구조를 가져야 한다. 따라서, 각각의 CPU 보드들은 한 스텝의 계산이 끝나면 다른 모드 CPU 보드들의 계산이 모두 끝날 때까지 기다린 후, 자신들이

계산한 결과를 공유 메모리를 통하여 그 값을 교환하도록 설계하였다.

본 시뮬레이터에서는 전체 발전소 모델을 세 장의 CPU보드가 나누어 담당하는 구조로 구성되어 있지만, 만약 보다 발전소 모델이 복잡해지거나 디지털 제어기의 샘플링 주기가 더 빨라질 경우에는 더 많은 CPU 보드를 사용하여야만 실시간 처리가 가능해진다. 본 시뮬레이터는 이러한 점을 고려하여 충분한 확장성을 가지도록 설계하였다.

### 3.3 입출력 장치

본 시뮬레이터 시스템에서 사용한 입출력장치는 단순히 VME Bus상에서 동작하는 A/D 컨버터와 D/A 컨버터 보드이다.

다만, 디지털 분산 제어기에서 일반적으로 사용되는 입출력 신호의 형태 중 본 시뮬레이터는 0~10볼트의 전압 방식만을 고려해서 제작되었으며, 0~20mA의 전류 방식으로 전송되는 입출력 신호를 사용하기를 원할 때는 별도의 신호처리기(Signal Conditioner)가 필요하다.

### 3.4 모니터링 시스템

모니터링 시스템은 앞에서도 설명한 바와 같이 실제로 디지털 분산 제어기로부터 입력되는 값과 출력하는 값을 화면에 표시하여 줌으로써 디지털 분산 제어기의 오퍼레이터 패널에 표시되는 값들과 비교할 수 있도록 하여 준다. 본 시뮬레이터는 사용자의 편의를 위하여 GUI(Graphic User Interface) 기법을 이용하여 제작되었다.

특히, 본 시뮬레이터의 모니터링 시스템은 단순히 입출력 신호를 화면에 표시해 주는 기능 이외에도 초기값 지정, 시작, 끝, 일시 멈춤 등의 여러 가지 명령어를 지정하여 줄 수 있는 기능을 가지도록 함으로써 사용자가 다양한 시험을 할 수 있도록 하였다.

### 3.5 각 모듈간의 통신 방법

#### 3.5.1 CPU보드 간의 데이터 교환

앞에서도 설명한 바와 같이 전체 모델을 여러개의 CPU를 사용하여 병렬처리를 하게 되는데 이들

간의 정보교환은 공유메모리(Shared Memory)를 사용하게 된다. 공유메모리를 사용하기 위해서는 첫번째 CPU보드에서 공유메모리를 할당한 다음 그 주소를 다른 CPU보드에 전달해 주어야 한다. 먼저 첫번째 CPU보드에서 주소를 보내주고 상대 CPU보드에서 받았다는 확인 신호를 기다린다. 이 신호가 없으면 신호가 올 때까지 계속 주소를 보내고 다시 확인하는 일을 반복한다. 다른 CPU보드에서는 주소를 받을 준비를 하고 있다가 첫번째 보드에서 주소를 보내주면 확인 신호를 상대방에게 보내주고 다음일을 계속한다. 이 작업은 초기화 시에 한번만 수행되고, 발전소의 시뮬레이션을 하는 중에는 공유메모리에 데이터들을 서로 쓰고 읽는 것으로 정보 교환을 하게 된다.

#### 3.5.2 CPU보드에서 모니터링 시스템으로의 정보 전달

시뮬레이터의 동작을 모니터 시스템에 나타내기 위하여 첫번째 CPU보드와 SUN SPARC 워크스테이션 사이에도 정보 전달이 이루어지는데, 이는 모니터링 시스템에서 CPU보드들로 보내지는 각종 명령들과, 화면에 표시되어야 하는 데이터들을 CPU보드에서 워크스테이션으로 전달되는 두가지 종류의 정보가 있다. 우선 CPU보드에서 워크스테이션으로의 정보 전달은 앞절의 주소전달과 동일한 방법으로 진행된다. 즉, CPU보드에서 데이터를 보내고 상대방에서 받았다는 확인 신호를 기다린다. 이 신호가 없으면 이 확인신호가 올 때까지 계속 데이터를 보내고 다시 확인한다. 워크스테이션에서는 데이터를 받을 준비를 하고 있다가 상대방이 주소를 보내주면 확인신호를 상대방에게 보내주고 다음 일을 계속한다.

#### 3.5.3 모니터링시스템에서 CPU보드로의 통신

여기에서의 명령 전달도 앞절과 동일한 방법으로 수행된다. 차이점이 있다면 CPU보드에서 이상이 생겨서 명령을 전달받지 못하는 경우, 워크스테이션의 모니터링 프로그램이 HALT되는 상황의 발생을 방지하기 위한 보호장치가 되어 있다는 것이다.

## 4. 발전소 모델

#### 4.1 드럼 화력발전소의 수학적 모델

본 시뮬레이터에서 대상으로 하는 발전소는 드럼형 화력발전소로서 모델링 시 각종 파라미터를 구하기 위하여 실제로 사용한 발전소는 500MW급의 보령 화력 1호기이며, 질량 평형식, 운동량 평형식, 에너지 평형식과 열 전달식, 그리고 로깅데이터에 의한 보간 자료들을 이용하여 모델링 하였다. 자세한 식과 유도 과정은 참고문헌 [3]을 참조하도록 하고, 여기서는 그 결과식과 각각의 부분들을 시뮬레이터에서 구성한 방법에 대해 간략히 기술해 보도록 한다.

일반적으로 보일러 시스템은 다음과 같은 비선형 방정식들로 표현된다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= f_i(x_i, x_j, u_i) \\ u_i &= g_i(x_i, x_j, u_o) \\ y_i &= h_i(x_i, x_j) \text{ for all } i, j \\ y_o &= [y_1^T, y_2^T, \dots]^T \end{aligned}$$

여기서,  $x_i$ 는  $i$ -번째 시스템에 관련된 상태 변수를 뜻하며,  $x_j$ 는  $j$ -번째 시스템의 상태 변수이다. 시스템들은 서로의 상태 변수로 엮어져 있으며 이들의 관계는  $i$ -번째 시스템의 동 특성 방정식에 영향을 준다.  $u_i$ 는  $i$ -번째 시스템으로의 입력을 뜻하며 보일러 입력  $x_o$  중의 요소와 그 입력과 상태에 의해 발생되어진 다른 입력일 수도 있다. 따라서, 대수 방정식  $g_i(\cdot, \cdot, \cdot)$ 을 통해 만들어진다고 표현하였다. 출력식은 제어를 동작시키기 위한 관측 변수이므로 위와 같이 표현하였다.  $u_o$ 는 제어기의 출력을 통해 얻어지는 보일러의 입력을 의미하며, 제어기는 다음과 같은 형태를 갖게 된다.

$$\begin{aligned} \dot{\zeta} &= K_f(\zeta, y_o, u_{ref}(t)) \\ u_o &= K_g(y_o, \zeta, u_{ref}(t)) \end{aligned}$$

여기에서  $\zeta$ 는 제어기의 상태 변수이고  $u_{ref}(t)$ 는 참조 입력을 의미한다.

보일러 시뮬레이터는 다른 제어기들이 하드웨어적으로 연결되어 있을 때, 그 제어기의 성능을 평가하는 것을 목적으로 한다. 따라서 외부 제어기에서 제어 입력을 읽어 들이는 센서(Sensor)와 구동기(Actuator)의 모델까지도 시뮬레이터 모델에 포함시킬 필요가 있다. 본 시뮬레이터에서는 이러한 부분과 하드웨어와 연관된 스케일링 요소들이 모두

모델에 포함되도록 위의 식들을 구성하였다.

다음에는 보일러의 각 부분들이 어떠한 상태 변수와 입력 변수들을 가지고 있는지에 대한 설명이다.

##### 4.1.1 드럼(Drum) ( $i=1$ 인 경우)

상태 변수는  $x_1 = [P_{dr}, V_w, X_n, T_n]^T$ 이며 여기서  $P_{dr}$ 은 드럼의 압력,  $V_w$ 는 드럼내 물의 부피,  $X_n$ 은 증기질,  $T_n$ 은 드럼수벽의 금속의 온도를 의미한다. 출력 변수는  $y_1 = [P_{dr}, V_w]^T$ 이며 이를 제어기에서 사용하게 된다. 드럼의 입력은  $u_1 = [Q_{mf}, q_{fw}]^T$ 이며, 이는 각각 드럼 내로 유입되는 열량과 드럼 내로 들어오는 급수기에서의 물의 질량흐름률이다. 이는 제어기의 입력  $u_o$  및 다른 상태 변수들과 대수 방정식  $g_1(\cdot, \cdot, \cdot)$ 으로 관계되어 있다.

##### 4.1.2 1차 과열기(Primary Superheater) ( $i=2$ )

상태 변수는  $x_2 = [T_{ps0}, P_{ps0}, q_{ps1}, T_{psm1}]^T$ 이며 각각 출력 단의 온도와 압력, 1차 과열기에서의 증기의 질량흐름률, 그리고 금속의 온도를 의미한다. 이 경우 입력은  $u_2 = [Q_{mf}]^T$ 이 되며 이는 제어기의 입력  $u_o$  및 다른 상태 변수들과 대수방정식  $g_2(\cdot, \cdot, \cdot)$ 로 관계되어 있다.

##### 4.1.3 플래튼 2차 과열기

(Platen Secondary Superheater) ( $i=3$ )

상태 변수는  $x_3 = [T_{ps0}, P_{ps0}, q_{ps1}, T_{psm1}]^T$ 이며 이에 대한 설명은 위와 같다. 이 경우 입력은  $u_3 = [Q_{mf}, q_{ps,sp}]^T$ 이며, 이때 스프레이 입력  $q_{ps,sp}$ 는 출력 단의 온도를 제어해서 2차 과열기 끝 단의 온도를 일정하게 하는데 사용된다.

##### 4.1.4 2차 과열기(Secondary Superheater)( $i=4$ )

상태 변수는  $x_4 = [T_{so}, P_{so}, q_{so}, T_{sm}]^T$ 이며 이에 대한 설명은 위와 같다. 이 경우 입력은  $u_4 = [Q_{mf}, q_{so,sp}, P_{so}]^T$ 이며 스프레이 입력  $q_{so,sp}$ 는 출력 단의 온도를 540도로 항상 일정하게 하는 온도 제어에 사용되며  $P_{so}$ 는 MW 제어에 사용되는 터빈 제어 밸브의 열림률이다. 실제로는 MW제어를 위해 연료의 양과 밸브의 열림률등이 상호 협조하에 동작하도록 설정되어 있다.

##### 4.1.5 재열기 1(Reheater Inlet Bank)( $i=5$ )

상태 변수는  $x_5 = [T_{rh1o}, P_{rh1o}, q_{rh1i}, T_{rh1m}]^T$  이고 터어빈 식으로부터 입력 단의 온도와 압력, 질량 흐름을 등이 얻어진다. 이 경우 입력은  $u_5 = [Q_{rh}, q_{rh.sp}]^T$  이며 스프레이 입력  $q_{rh.sp}$ 는 재열기 끝 단의 온도 제어에 사용된다.  $u_5$ 는 제어기의 입력  $u_0$  및 다른 상태 변수들과 대수방정식  $g_5(\dots)$ 로 관계되어 있다.

4.1.6 재열기 2(Reheater Outlet Bank)(i=6)

상태 변수는  $x_6 = [T_{rh2o}, P_{rh2o}, q_{rh2i}, T_{rh2m}]^T$  이며 이에 대한 설명은 위와 같다. 중압 터어빈을 밸브로 보고 밸브식으로 부터 출력단의 질량 흐름률  $q_{rh2o}$ 가 구해진다.

그 이외에도 여러 가지 열 교환기가 있으나 이번의 시뮬레이터 모델에서는 포함시키지 않았다.

4.2 입출력 변수

다음은 보일러의 제어기의 동작을 위한 위의 시스템들의 입출력 변수들을 기술한다.

4.2.1 입력 변수

$$u_0 = [q_{coal}, q_{air}, q_{fw}, P_{cs}, q_{pss.sp}, q_{ss.sp}, q_{rh.sp}]^T$$

4.2.2 출력 변수

$$y_0 = [P_{drv}, V_{dr}, P_{sso}, MW, T_{pss0}, T_{sso}, T_{rh2o}]^T$$

여기서 발전소 출력은 다음과 같이 얻어지며 이때 계수는 발전소 운전 데이터로부터 얻을 수 있다.

$$MW = \alpha_1 P_{sso} q_{sso} + \alpha_2 P_{sso} + \alpha_3 q_{sso} + \alpha_4$$

4.3 모델 계산의 병렬 처리

시스템 보드의 각각은 그림 4-1과 같이 드럼, 과열기, 그리고 재열기 부분의 세 부분으로 나누어 연산한다. 각각 실시간에 4차 Runge-Kutta 방법으로 한 스텝을 계산한 후, 데이터 교환을 하고 다음 스텝으로 넘어가게 된다. Runge-Kutta의 계산 주기는 30msec로 하였으며, 제어기는 100msec 간격으로 데이터를 갱신하도록 되어 있다.

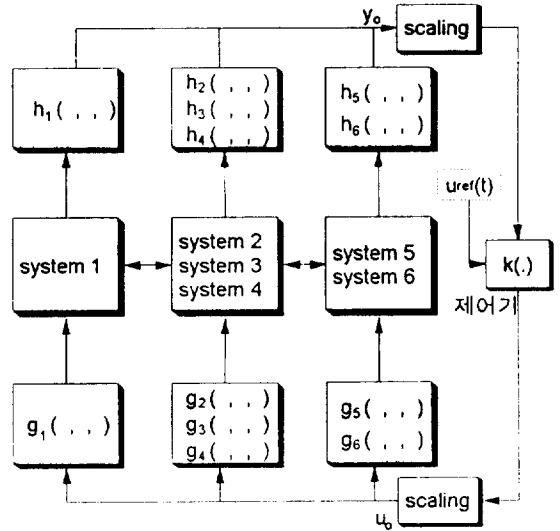


그림 4-1 병렬 계산의 개념도

개발된 시뮬레이터의 성능을 평가하기 위하여 PC로 동작하는 간이 디지털 제어기를 제작하여 모의 실험을 행하였다.

5.1 실험 내용

미리 튜닝이 된 PID제어기를 시뮬레이터에 부착한 후, 450MW에서 정상상태로 동작하고 있는 발전소의 출력 용량을 380MW로 변화시킨 후, 발전소의 출력 용량, 2차 과열기의 출력단에서의 증기압, 드럼 내의 물의 체적의 변화를 관찰하는 것이었다. PC로 제작된 간이 디지털 제어기에서 시뮬레이터 쪽으로 보내지는 제어 신호는 유입 연료량, 터어빈 제어 밸브의 열림률, 그리고 드럼으로 유입되는 물의 양이었다.

5.2 실험 결과

그림 5-1에 5분간 실험을 한 후, 모니터링 시스템에 나타난 화면을 나타내며, 그림 5-2에 디지털 제어기인 PC의 화면에 나타난 것을 나타낸다. 전체적으로 두 그림을 비교하면 아무런 문제가 없이 정확히 시뮬레이터와 제어기간에 입출력 신호가 전달되고 있음이 확인된다.

그림 5-1의 우측 상단에 나타난 드럼 내의 수위의 변화를 살펴보면, 발전소 보일러의 가장 대표적인 특성인 Swell-and-Shrink 현상이 잘 나타나

5. 실험

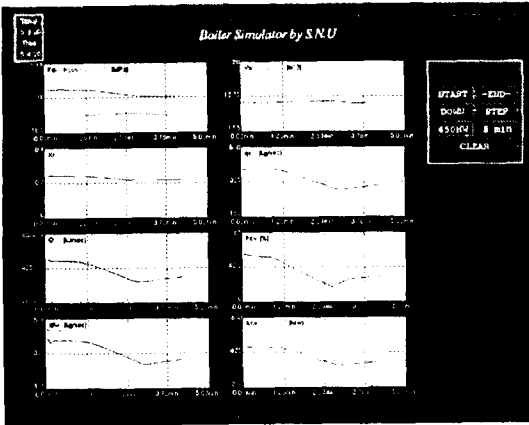


그림 5-1 시뮬레이터 모니터링 시스템의 출력 화면

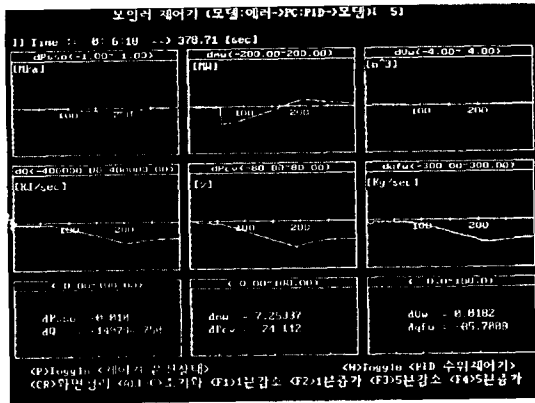


그림 5-2 PC 디지털 제어기의 화면

고 있음을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 고에서는 발전소 제어를 위한 디지털 분산 제어기의 성능 평가를 위한 실시간 시뮬레이터를 개발한 결과를 제시하였다.

시뮬레이터의 개발은 우선 500MW급의 보일러 화력 1호기를 대상으로 하여, 질량 평형식, 운동량 평형식, 에너지 평형식과 열 전달식, 그리고 실제 운전 데이터에 의한 보간 자료들을 이용하여 모델링을 한 후, 이를 드럼 부분, 과열기 부분, 재열기 부분으로 나눈 후, 이들을 각각 다른 CPU 보드에 탑재한 후 실시간 계산을 가능하게 하고, 입출력 보드를 통하여 디지털 분산 제어기와 입출력 신호를 주

고 받을 수 있는 구조를 가지도록 하였다. 특히, 디지털 분산 제어기와 주고 받는 신호들과 내부 변수들 중 중요한 변수들을 그래픽 및 문자로 화면에 나타내도록 하였다.

개발된 시뮬레이터의 의의는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 순수 국내 기술로 개발된 발전소 제어용 디지털 분산 제어기를 실제 발전소에 설치하여 동작시키기 이전에 본 시뮬레이터에 연결하여 모든 사전 실험을 행함으로써 보다 안정되고, 좋은 성능의 디지털 분산 제어기를 개발할 수 있도록 해 준다.

둘째, 본 시뮬레이터는 가능한 실제의 화력발전소와 가깝도록 모델링 되어 있으므로, 단순히 디지털 분산 제어기의 하드웨어의 성능 평가 뿐만 아니라, 제어 알고리즘의 성능 평가나 각종 제어기의 튜닝과 같은 소프트웨어적인 성능을 아울러 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다.

셋째, 별도의 모니터링 시스템을 추가로 제작하여 사용자에게 각종 내부 변수와 입출력 변수들의 값을 실제의 숫자 및 그래픽으로 보여 주는 동시에 시뮬레이터의 동작을 다양한 모드로 동작을 할 수 있게 해 줌으로써 사용자에게 편의를 제공하여, 보다 쉽고, 정확하게 디지털 분산 제어기의 성능을 평가할 수 있도록 하였다.

향후 본 시뮬레이터의 성능을 향상시키기 위하여 개발된 수학적 모델을 보다 더 정확하게 개선하여야 하며, 실시간 처리 기능을 개선하기 위하여 디지털 신호 처리기 등을 이용한 좀더 완벽한 병렬 처리를 하도록 개선할 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 변중남, 김병국, 황동환, 이재혁, 문봉채, 박익수, "발전소 제어용 디지털 계장제어 시스템 개발", 전기학회지, 제40권 7호, pp. 68~75, 1991.7
- [2] 한국전력공사 기술연구원, "발전용 보일러 제어시스템 설계 및 제조 기술개발", 중간보고서, 1992, 1993
- [3] 한국전력공사 기술연구원, "보일러 계수 추정 에 의한 최적 보일러 제어기 개발(1)", 최종보고서, 1993



**박영문(朴永文)**

1933년 1월 20일생. 1956년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1971년 동대학원 졸업(공학). 1983년 미국 휴스턴 대학교 교환교수. 현재 서울대 공대 전기공학과 교수. 1989~90년 당 학회 회장 역임.



**서진헌(徐鎭憲)**

1952년 11월 30일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동대학원 졸업(공학). 1985년 미국 U.C.L.A 전기공학과 졸업(공학). 1985~88년 미국 Texas Tech Univ. 조교수. 현재 서울대 공대 전기공학과 부교수. 당 학회 편집위원.



**김 옥(金煜)**

1968년 2월 11일생. 1990년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동대학원 졸업(석사). 현재 서울대 대학원 박사과정.



**노대종(魯大宗)**

1966년 5월 10일생. 1988년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 동대학원 졸업(석사). 현재 서울대 대학원 박사 과정



**조철형(趙哲衡)**

1968년 12월 27일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동대학원 졸업(석사). 현재 서울대 대학원 박사과정.



**윤지호(尹智浩)**

1966년 2월 25일생. 1990년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동대학원 졸업(석사). 현재 서울대 대학원 박사과정.



**이진호(李濼鎭)**

1969년 3월 18일생. 1993년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 현재 서울대 대학원 석사과정.