

論文93-30B-2-10

# 퍼지 논리를 이용한 드럼형 보일러의 자동기동에 관한 연구

## (A Study on the Automatic Start-up of a Drum-type Boiler Using Fuzzy Logic)

柳炯根\*, 李在嬾\*\*, 黃東煥\*\*, 卞增男\*\*

(Hyung Keun Ryu, Jae Hyeok Lee, Dong Hwan Hwang and Zeungnam Bien)

### 要約

화력발전소와 같은 대단위 시스템의 기동 운전에는 발전소의 복잡성, 비선형성, 그리고 긴 시간 지연등으로 인하여 기존의 해석적인 제어기에 근거한 기동 운전의 자동화는 일반적으로 매우 어렵다. 그러나 이러한 어려움에도 불구하고, 기동 운전은 미리 정해진 계획과 절차에 따라 사전 지식과 과거의 경험을 이용하는 숙련된 운전원들에 의하여 성공적으로 이루어지고 있다. 본 논문에서는 퍼지 논리를 도입하여 기동 운전을 위한 퍼지 제어를 설계하고 퍼지 제어기에서는 운전원의 경험을 연구대상 화력발전소로부터 자료를 수집한 후 퍼지 집합과 변수들을 이용하여 모델링하였다. 설계된 제어기를 검증하기 위하여 신호흐름도로 드럼형 보일러 모델을 구성한 후 기동 운전을 시뮬레이션하였다.

### Abstract

Because of the complexity, nonlinearity and long-time delay of power plant, the start-up operation of a fossil power plant is very difficult to automate. So the start-up operation is always carried out by the skilled human operators, who utilize their knowledges and experiences for the predesigned start-up schedules and procedures. In this paper, a fuzzy logic controller is designed for the start-up operation of the power plant. And the operators' experiences are modeled in terms of fuzzy sets and variables. To validate the controller, a drum-type boiler of the Seoul Power Plant is constructed via the signal flow diagram. Using the model, the suggested automatic start-up operation is verified, and the results are also presented.

### 1. 서론

컴퓨터에 의한 화력 발전소의 자동화는 1960년대 이후로 많은 연구가 진행되어 왔다. 초기에는 컴퓨터

의 능력 부족과 플랜트의 운전 순서, 동특성의 파악 부족, 자동화를 위한 소프트웨어 계통의 기술 부족등으로 인하여 큰 성과를 보지 못했지만 일본에서는 1968년도에 터빈 발전기의 자동 기동에 성공한 이후로 급속하게 기능의 확장이 이루어졌으며 현재에 계속 연구되고 있는 실정이다. 화력발전소의 컴퓨터에 의한 자동화의 단계는 다음과 같이 분류할 수 있다.

o 1 단계 - 데이터 기록, 성능 계산등의 기본적인 기능

\*正會員, 韓國通信  
(Korea Telecom)

\*\*正會員, 韓國科學技術院 電氣및電子工學科  
(Dept. of Electronical, KAIST)

接受日字: 1992年 7月 3日

o 2 단계 - 플랜트의 운전 순서를 디스플레이 장치를 통해 운전원이 알도록 조작의 확실성 증가

o 3 단계 - 터빈, 보일러의 기동, 정지 자동화

o 4 단계 - 총합적인 자동화

o 5 단계 - 사고시, 긴급시의 운전 조작 및 운전원이 필요없는 완전 자동화의 단계

현재 4단계에 접어 들었지만 해결되지 않은 여러가지 문제점들이 있으며 이러한 컴퓨터 제어에 의한 자동화가 경제성, 안전성등에 있어서 과연 장점이 있는지 확실한 결론을 내리지는 못하고 시행착오적으로 그 효과를 실증하고 있는 정도이다. 또한 실제로 발전소에서 보일러의 자동 기동을 구현하기 위해서는 오랜 시간과 노력이 필요하며 자동화된 발전소들도 아직은 운전원의 도움을 필요로 한다.<sup>[1,2]</sup> 발전소의 자동화는 터빈과 보일러의 자동 기동 및 정지, 통상 운전시의 제 조작, 긴급 사고시의 정지 및 재기동 등 여러가지 기능의 측면에서 이루어지며 하나의 발전소를 자동화 하기 위해서는 여러가지 기능이 점진적으로 자동화가 이루어지는 것이 바람직 하다. 이러한 발전소의 자동화는 기동만을 고려해 볼 때 운전원의 조작 실수, 기동 절차에 따른 운전의 복잡성을 해결하고, 운전원의 의무(duty) 감소 등에 그 효과를 발휘할 수 있다.

최근에 들어와서 전체 전력 공급량 중 원자력에 의한 발전 비중이 높아짐에 따라 중,소규모 화력 발전소는 그 변동 부하만을 담당하게 되어 급전 정지 및 급전 요구에 의한 기동 운전을 자주 하게 되므로 보일러에 있어서 기동의 자동화는 점점 더 그 필요성이 더해가고 있다. 기동의 자동화는 근본적으로 보일러의 동특성을 파악하기 어렵고 그 운전 과정이 복잡하고 불확실하여 기존의 해석적인 제어 이론을 적용하는데 어려움이 있으며, 더우기 설치된지 오래된 발전소의 경우 특성이 달라진 센서나 구동기(actuator) 및 보수나 정비를 인한 최초 보일러 설계와의 차이 때문에 자동화는 경제적, 시간적, 및 방법적으로 많은 어려움이 따른다. 이에 반해 대부분의 화력 발전소에서는 보일러의 기동 운전이 보일러로부터의 불완전한 정보에도 불구하고 운전원들에 의하여 경험적으로 수동 운전이 이루어지고 있다. 이러한 운전원의 경험에 의한 보일러 운전 법칙(strategy)을 다루는 방법으로 퍼지 논리는 좋은 도구를 제공하므로 먼저 퍼지 논리에 대해서 간단히 살펴보고 본 논문에서 하고자 하는 바를 서술하고자 한다.

퍼지 논리와 규칙에 기반을 둔(rule-based) 기법은 Zadeh<sup>[3]</sup>, Mamdani와 Assilian<sup>[4]</sup>에 의해 인간의 전문 지식을 획득하거나 불확실성을 다루는 방법으로 주창되었다. 이러한 개념은 곧 분명치 않은

(ill-defined)산업 공정에 적용되었다. 그와같은 시스템들은 시스템의 시간 지연, 시스템 동특성에서의 비선형, 또는 성능이 떨어진 센서등으로 인한 부정확한 정보의 획득에도 불구하고 시스템을 운전해 숙련된 사람들에 의해서는 정상적으로 운전되고 있으며 좋은 결과를 얻고있다. 퍼지 규칙에 근거한 접근법을 사용하여 얻어진 제어정도는 완전히 수동적인 방법을 사용하여 얻어진 것보다 더 나은 결과를 얻음을 많은 산업공정에 적용 예들에서 보여준다.<sup>[5-7]</sup>

대부분의 화력 발전소의 경우 특히 기동시에는 숙련된 운전원에 의하여 제어실(control room) 또는 현장(field)에서 수동으로 밸브 조작이나 스위칭 조작이 이루어지며 이러한 조작을 위해 제어반에 디스플레이되는 많은 공정치들이 이용되어지고 또한 기동 운전 경험이 필요로 된다. 운전원들의 경험에 의한 제어 법칙에 근거하여 구어적인 용어(linguistic term)로 표현된 조건(condition)과 동작(action)을 포함하는 규칙을 만듦으로써 보일러와 같은 복잡하고 불분명하며 특성파악이 어려운 시스템에 대하여 효과적으로 제어할 수 있는 제어를 만들 수 있다.

본 논문에서 기술된 제어 방법론의 목적은 적절한 시간 단위로 운전원에 의해 행해지는 이산 제어 동작(discrete control action)을 자동화하여 화력 발전소의 기동을 자동화할 수 있는 방법을 제시하는 것이다. 이러한 목적을 위한 퍼지 논리의 적용 가능성을 확인하기 위해 적절한 연구 대상 시스템으로 서울 화력 발전소의 드림형 보일러를 선정하고 구체적으로 대상 시스템의 기동에 숙련된 운전원의 경험과 지식을 바탕으로 퍼지 제어기를 구성하였다. 이를 실제 플랜트에 적용하여 실험하기에는 여러가지 현실적인 문제점들이 있기때문에 보일러를 간단히 연구 목적에 맞게 신호 흐름도로 구성하여 제어기와 보일러의 모델에 대해 기동의 시뮬레이션을 실시하여 퍼지 논리의 적용 가능성을 확인하였다. 먼저 II장에서 연구 대상 발전소에 대하여 간단히 소개하고 III장에서 제어 목적인 기동 운전에 대하여 설명하였다. IV장에서는 퍼지 제어기의 구성에 대하여, 그리고 보일러 모델과 시뮬레이션을 통한 기동 운전의 실험 결과를 V장에서 기술하였다.

## II. 대상 발전소 개요

본 연구 대상 발전소는 서울 화력 4호기이며 드림형 보일러를 가지는 중유 전소식 발전소로서 사양은 다음과 같다.

o Maximum Power : 137.5 MW

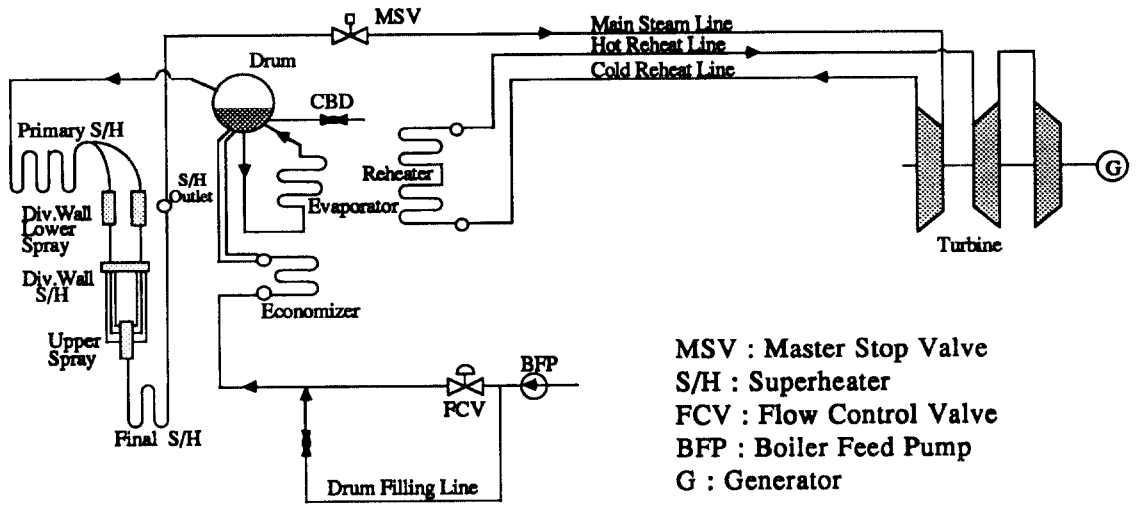


그림 1. 보일러의 전체 구조도  
Fig. 1. Overall structure of drum-type boiler.

- o Maximum Steam Evaporation : 450 Ton/Hr.
- o Steam Pressure : 126.6 Kg/cm<sup>2</sup>
- o Steam Temperature : 540 °C

서울 화력 4호기 보일러는 평형 통풍(balance draft), 자연 순환식 설비를 갖춘 반 옥외형이며 운전과정을 살펴보면 급수펌프(BFP)에 의해 가압된 물은 절탄기(Economizer)에서 일차 가열된 후 드럼으로 들어가서 하강 급수관을 통해 내려가 증발기(Evaporator)에서 물과 증기의 혼합체가 되어 드럼으로 들어간다. 수증기는 드럼내부에서 분리되어 제 1과열기(Primary S/H)를 지나 2개의 관으로 나뉘어 제 2과열기(Division Wall S/H)로 들어간다. 2개의 관 각각에는 냉각기가 있어서 온도를 조절한다. 다시 제 3과열기(Final S/H)를 거쳐 과열기 출구(S/H Outlet)를 빠져나온 주증기는 고압 터빈으로 들어갔다가 재열기(Reheater)로 들어와 가열되어 중압과 저압 터빈을 거친 후 순환을 되풀이 하게 된다. 공기는 두대의 강압 통풍기(Forced Draft Fan)에 의해 보일러 연소실로 불어 넣어져 고온의 연소가스가 되어 보일러를 통과하며 보일러의 각 부분에 열을 전달한 후 두대의 유인 통풍기(Induced Draft Fan)에 의해 외부로 빠져 나오게 된다. 보일러의 도식적인 전체 구조는 그림 1과 같다.

### Ⅲ. 기동운전

#### 1. 개요

화력 발전소에서 보일러의 운전은 기동과 정지 및 정상 운전으로 구분된다. 기동과 정지는 과도기 운전으로서 정상 운전을 시작하거나 끝내기 위하여 거쳐야 되는 운전이다. 여기서 기동이란 급전요구에 따라 발전을 시작하기 위하여 보일러의 증기 생산 기능이 자동 제어가 가능하고 정상적인 보일러 출력을 낼 수 있도록 하는 과정으로 각종 밸브와 댐퍼(damper) 및 팬(fan)과 펌프의 상태를 점검하는 예비 점검, 보일러의 상태를 고려한 기동 계획, 정해진 계획과 순서에 따른 보일러 설비의 조작등으로 이루어진다. 이때 운전원은 배전반에 설치된 디지틀과 아날로그 디스플레이 장치들로부터 공정치(process value)를 관측하고 주로 계획된 온도와 압력의 상승율을 따르기 위해 자신의 경험에 비추어 밸브를 조작한다. 보일러의 기동 운전이 끝날 무렵 터빈을 롤링(rolling)하고 발전기와 터빈을 동기(synchronize, 병입)시켜 출력을 내게 되며 최대 발전기 출력의 25%정도에서 보일러 추종 방식에 의한 자동 제어로 완전히 전환된다.

이후의 기동에 관한 내용은 화력 발전소 운전자료<sup>[8-10]</sup> 및 서울 화력 발전소의 직접 견학등으로부터 정리한 내용이다.

#### 2. 기동의 구분

보일러의 기동은 보통 터빈의 정지 시간에 따라 cold(72시간 이상), warm(12-72시간), 그리고 hot(12시간 이하) 기동으로 구분된다. 기동의 구분에 따라 보일러에서의 온도와 압력 상승율이 다르고 기동 시간이 다르다. 기동 시간은 보일러의 점화에서부터 병입까지 걸리는 시간이며 cold 기동은 7시간, warm 기동은 2시간 10분으로 정해진다.

3. 기동의 계획

보일러와 터빈의 기동은 상호 관계를 가지고 있으며 증기조건과 터빈 제1단 셸 금속온도(TBN 1st shell metal temperature)등으로부터 결정된 터빈 기동 계획에 따라 보일러의 기동 계획이 결정되어지고 그 자세한 내용은 표 1과 같다.

표 1. 기동 계획  
Table 1. Schedule of start-up.

기동 계획	항 목	
기동 구분	Cold, Warm, Hot	
보일러 점화, 터빈 기동 및 병입조건	D/M Pressure D/M Water Sio <sub>2</sub> D/M Metal Temperature	Main Steam Temperature(S/H outlet) Main Steam Temperature(TBN inlet) Turbine 1st Shell Metal Temperature
시간 계획	Boiler 점화 Boiler 2kg/cm <sup>2</sup> 조작 Condenser Vacuum-up TBN Rolling 계통병입	5MW 운전 개시 시간 25MW 운전 개시 시간 소내 전원 정체 시간 최저 부하 운전 개시 시간 최대 부하 운전 가능 시간

위와 같은 계획이 세워지면 보일러에서 드럼의 온도, 압력 및 증기 온도등의 시간에 따른 계획치와 상승율이 결정되어 진다. 이 계획치는 기동 구분에 따른 기동 계획 곡선의 참고와 드럼의 금속(D/M metal) 온도를 기준으로 보일러의 현재 상태등을 고려하여 결정되어 진다. 기동시 드럼 금속의 온도는 일반적으로 100℃ 이하에서는 28℃/Hr, 100℃ 이상에서는 55℃/Hr로 온도를 상승시킨다. 기동 계획 곡선은 기동의 구분에 따라 표준 계획 곡선이 있지만 이전에 운전했던 자료를 정리하여 만들어진 기동 곡선도 있으며 이를 모두 참고한다.

4. 기동의 절차

기동의 절차는 화력 발전소마다 보일러의 형태 또는 보일러의 설비, 운전방식에 따라 조금씩 차이가 있으나 드럼형의 보일러에 적용되는 기동 운전의 개략적인 절차는 그림 2와 같다. 보일러가 점화되면 고온의 가스로 인하여 드럼에서 증기가 발생하고 이때 보일러를 구성하는 각부분의 상태, 특히 드럼의 상태를 미리 세워진 계획에 따르도록 일정 시간간격으로 점검하고 필요시 스위치 또는 밸브등을 조작한다.

Steam Air Heater는 연소를 돕기위해 노(Furnace)내로 들어가는 공기의 온도를 증가시키기 위해 증기를 이용한다. 드럼이 정상적인 증기생산량을 만족할때 MSV(Main Stop Valve)를 열어 터빈으로 증기를 공급한다(그림 1. 참조). 공급된 증기로서 터빈을 회전시키고 터빈을 발전기에 연결(병입)시킴으로써 출력을 내게되며, 증유버너를 점화시켜 점차로 출력을 증가시키면서 정상적인 운전상태로 전환된다. 여기서 BFP(Boiler Feed Pump)는 정상운전시 드럼에 물을 공급하는 펌프이고, GIF(Gas Injection Fan)은 과열기에 열을 전달한 후 빠져나온 고온가스의 일부분을 연소를 돕기위해 노의 내부로 불어넣는 팬이다.

ID Fan : Induced Draft Fan F.O : Fuel Oil  
FD Fan : Forced Draft Fan G.I.F : Gas Injection Fan  
L.O : Light Oil

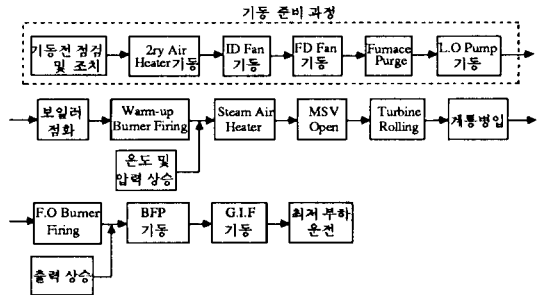


그림 2. 기동의 절차  
Fig. 2. Procedure of start-up.

IV. 퍼지 제어기 구성

1. 개요

퍼지 제어기는 수동으로 미리 제어되는 다양한 공정 제어 시스템에 많이 응용되어지고 있다. 그 제어 알고리즘을 구성하기 위한 주요한 지식의 원천은 운전원의 제어 경험으로부터 얻어지며 그 경험은 'IF-THEN'문장의 집합으로 이루어지고 IF부분은 조건(condition)을, THEN부분은 동작(action)을 포함한다. 그러므로 이러한 문장들의 집합은 제어되는 공정의 어떠한 상태가 관측되었을 때 제어가 어떻게 이루어지는가를 표현한다. 예를들면, 드럼내의 물의 온도와 압력이 높을 때 운전원은 연료의 양을 줄이고 압력을 감소시킨다. 이를 규칙(rule)으로 만들면 다음과 같다.

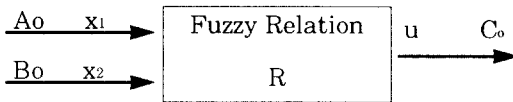
규칙 : 드럼의 온도가 높고 압력이 높으면, 연료 제어밸브를 많이 잠그고(연료량을 많이 줄인다) 드레인 밸브를 많이 연다(압력을 크게 감소 시킴).

이와같은 방법으로 제어 규칙들을 이끌어낼 수 있고 또한 제어 시스템의 입출력 데이터를 사용하여 동

특성을 추정함으로써 얻을 수도 있다. 위의 규칙에서 '높다', '많이', '크게' 등의 제어 정보를 퍼지 집합으로 표현하고 퍼지 추론의 결과로써 제어 목적을 실현할 수 있다.

본 연구에서는 퍼지 추론방법으로 직접 추론법(direct reasoning method)를 사용하였으며, 이방법을 간단히 설명하기위해 다음과 같은 퍼지 rule을 가정한다.

Ri : IF x1 is Ai AND x2 is Bi,  
 THEN u is Ci, i = 1, ..., n  
 여기서  $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, u \in U$   
 $R_i = (A_i \times B_i) \times C_i, i = 1, \dots, n$  이므로  
 입력이 퍼지 singleton 즉,  $A' = u^o, B' = v^o$  이면



$C_o = R \times (A_o \times B_o)$ 로 부터

$$C^o(u) = \bigvee_{i=1}^n [w_i \wedge C_i(u)]$$

여기서  $w_i = A_i(u^o) \wedge B_i(v^o) \wedge C_i(u)$ 이다.

위의 추론의 결과로써 얻어진 퍼지 집합으로부터 crisp 제어 입력을 얻기위해 여러가지 비퍼지화(defuzzification)방법들중에서 널리 사용되는 Center of Gravity Method를 사용하였다. [11]

$$u = \frac{\int C^o(u) u du}{\int C^o(u) du}$$

퍼지 제어 알고리즘은 대상 발전소의 견학을 통하여 운전원들의 경험적인 운전과정의 관찰, 직접 얻은 보일러의 기동 운전자료로부터 보일러 동특성의 추정 및 다른 공정에서 퍼지 적용예들의 참조 [12] 등의 방법을 통하여 이끌어 내었다. 그러한 과정에서 운전원의 경험적인 운전과정으로부터 관찰과 인터뷰를 통하여 규칙을 끄집어 내는 작업은 매우 중요한 과정이며 동시에 가장 어려운 작업이었다. 소속함수는 간단히 선형화된 모양으로 정하고 universe of discourse는 주로 공정변수의 허용 한계값으로 그 범위를 정하였다.

보일러의 기동 운전에서 드럼의 상태제어는 중요하며 대부분의 과정을 차지하고 그 후반에서는 생산된

증기에 대해 과열기에서의 온도제어가 이루어진다. 따라서 퍼지 제어기는 보일러에서 드럼과 과열기에서 그러한 제어를 위하여 설계되었다.

2. 제어기 구성

1) 드럼의 수위제어

드럼의 수위는 드럼내의 온도가 상승하면서 처음에는 느리게 증가하다가 시간이 지나면서 급격히 증가하게 된다. 이는 증발기로부터 드럼으로 들어온 증기에 의해 수위가 더 높게 나타나기 때문이다. 또한 물이 끓으면서 수위는 심한 변동을 나타내게 된다. 이러한 이유로 드럼의 수위를 안전한 범위내에서 일정하게 유지하기 위해서는 운전원의 경험에 의존할 수밖에 없다. 운전원은 지시계로부터 현재의 수위와 시간에 따른 변동정도를 관측함으로써 적절히 C.B.D 밸브를 조절하며 이 밸브는 최대 5바퀴를 열 수 있다. 드럼 수위제어를 위한 알고리즘은 그림 3의 (a)에서 보였다.

2) 드럼의 급속 온도와 압력제어

기동시 드럼의 급속 온도와 압력을 계획에 따라 상승시키는 일은 어려우면서도 중요한 문제이다. 따라서 운전원도 기동시에 드럼의 압력과 온도 상승을 일정 시간 간격으로 점검하면서 온도를 제어하는 Warm-up L.O 제어 밸브와 압력을 조절하기위해 사용하는 Final S/H Outlet drain 밸브를 조심스럽게 조작한다. 그로부터 얻어진 제어 알고리즘은 그림 3의 (b)와 같다.

3) 과열기의 온도제어

과열기에서는 Div. Wall S/H의 입구 온도를 일정하게 유지하도록 제어되고 Final S/H의 출구 온도는 병입시기의 주증기 온도를 나타내므로 병입조건에 맞도록 조절되어진다. 이때 온도의 조절은 각각 Lower Spray 와 Upper Spray에 의해 수동으로 이루어진다.

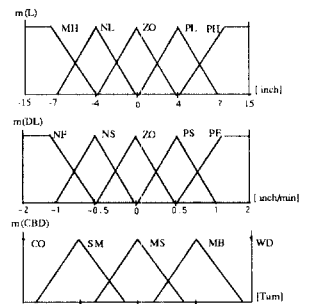
CONDITION		ACTION
L	DL	CRD
PH	PI/PS/ZO	WD
PL/ZO	PF	MR
PL	PS/ZO	MS
ZO	PS	SM
NL	PF	SM
ZO/NL/NL	NS/NF	CO

(Input Variable)  
 L : drum level  
 DL : change in drum level

(Output Variable)  
 CRD : C/B/D valve opening  
 WD : wide open

(Linguistic Label)  
 NH : negative high  
 NL : negative low  
 ZO : zero  
 PL : positive low  
 PH : positive high  
 NF : negative fast  
 NS : negative slow

PS : positive slow  
 PF : positive fast  
 WD : wide open  
 MH : medium big  
 MS : medium small  
 SM : small  
 CO : close



(a)



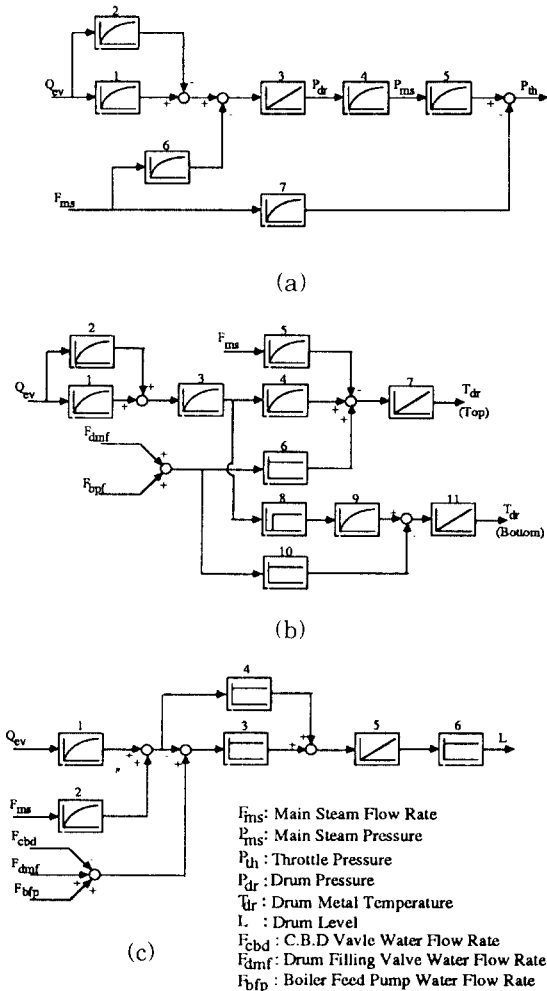


그림 5. 드럼 동특성 신호 흐름도  
 Fig. 5. Signal flow diagram of drum dynamics.

2. 실험 및 결과 검토

기동 운전의 시뮬레이션은 서울 화력 발전소의 기동 운전 데이터(1990. 11. 5 cold start-up)로부터 모델의 초기값을 정하고 기동 계획에 따라 모델과 퍼지 제어기를 결합하여 행하였다. 모델의 동특성은 1 초마다 계산되며 퍼지 제어기의 샘플링 시간은 1분으로 정하였다. 샘플링 시간을 다르게 한 이유는 보일러의 동특성이 기동시 매우 느리게 나타나므로 많은 제어입력을 만들어 낼 필요가 없기 때문이다. 실험으로부터 얻어진 결과는 드럼에 대해 그림 7에서, 과열기에 대해서는 그림 8에서 보여주며 실제 기동 운전의 계획치와 비교하여 나타내었다. 드럼의 수위는 -1 ~ 1 [inch] 정도가 적절한 수위이며 그림 7의 (a)와 (b)에서 보면 대체로 그 범위를 유지하고 있으나 제어규칙의 추가가 필요함을 볼 수 있다. 압력과 온도

제어에 있어서는 그림 7의 (c)와 (e)에서 보듯이 계획된 상승율을 잘 따라가고 있으며 압력은 그림 7의 (f)와 비교해 볼 때 운전원에 의한 것보다 더 좋은 결과를 보여 주는데 실제 운전원은 거의 30분이상의 간격으로 밸브를 조작하기 때문이다. 과열기에 있어서 Div. Wall S/H의 입구 온도는 450℃에서 유지되도록 조절되어야 하며 과열기의 제어는 기동 후반에 이루어진다. Final S/H의 출구 온도는 그곳을 통과한 과열 증기가 터빈으로 들어가기 때문에 중요하며 계획된 상승율에 따라 조절되어야 한다. 그림 8에서 보일러의 동특성 및 온도제어가 제어 규칙에 의해 잘 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

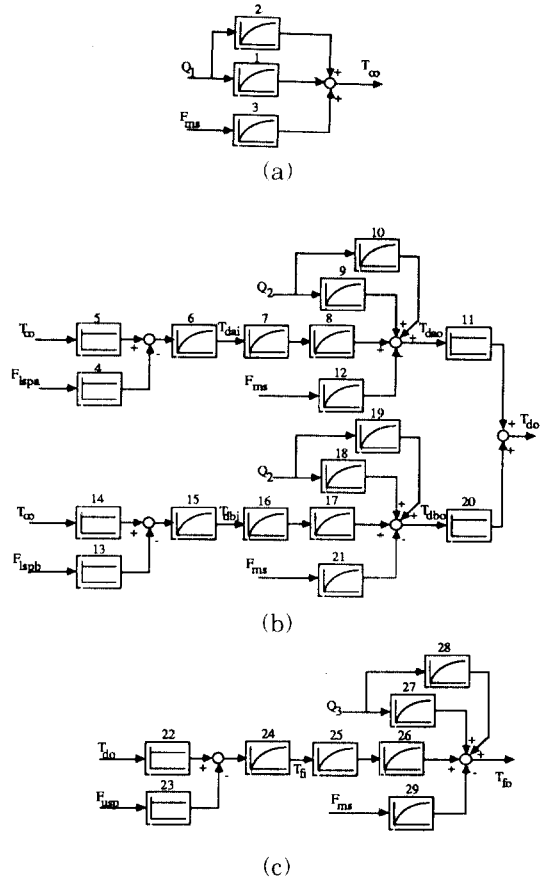
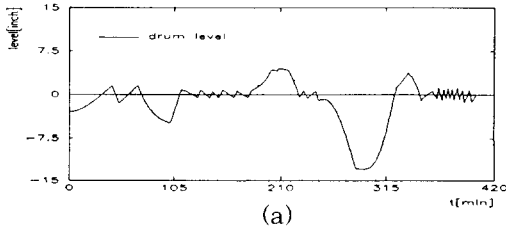


그림 6. 과열기 온도 동특성 신호 흐름도  
 Fig. 6. Signal flow diagram of superheater temperature dynamics.

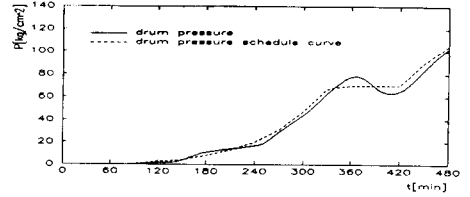
지금까지의 결과 곡선들은 기동운전이 계획에 따라 운전되어지고 있음을 보여주며 또한 그 동특성으로부터 만들어진 모델의 정당성을 간접 검증하였다. 이

플 배당으로 퍼지제어기에 의한 기동 운전이 충분히 허용되는 범위안에서 실제 보일러에 적용될 수 있을

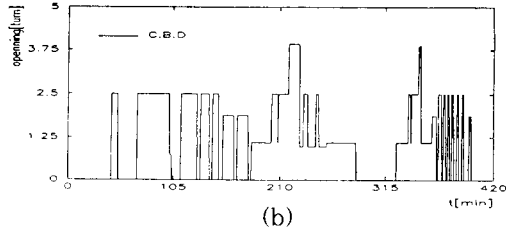
을 보여준다.



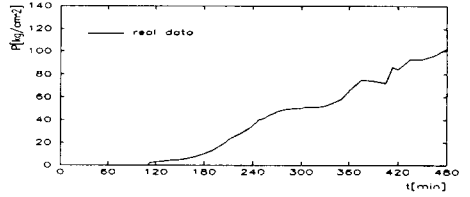
(a)



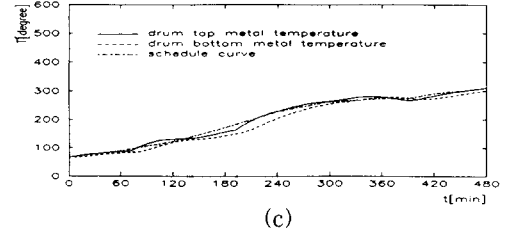
(e)



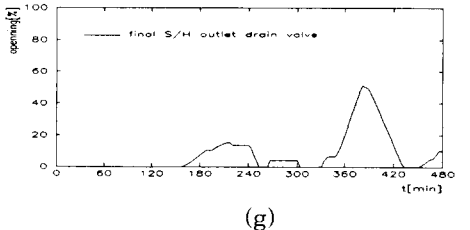
(b)



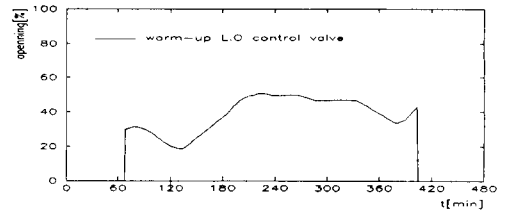
(f)



(c)



(g)



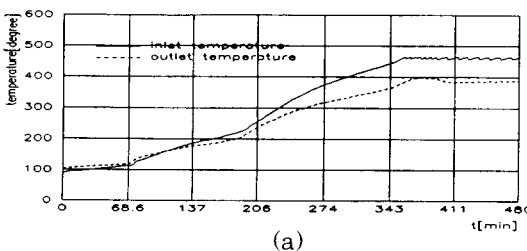
(d)

그림 7. 드럼의 수위, 온도 및 압력에 대한 퍼지제어

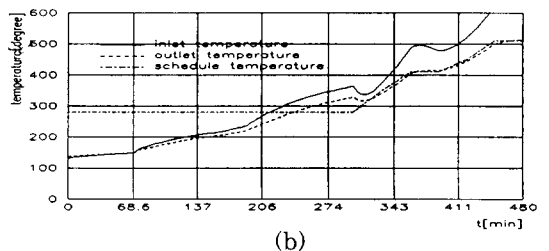
- (a) 드럼 수위 (b) C.B.D 밸브 (c) 드럼 금속 온도 (d) 경유 제어 밸브 드레인 밸브 (e) 드럼 압력 (f) 실제 운전 데이터 (g) 제3과열기 출구

Fig. 7. Fuzzy control for level, temperature, and pressure of drum .

- (a) Drum level, (b) C.B.D valve, (c) Drum metal, (d) Warm-up L.O control valve, (e) Drum pressure, (f) Real operation data, (g) Final S/H outlet temperature drain valve.

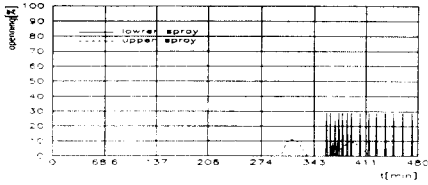


(a)



(b)





(c)

그림 8. 과열기의 온도에 대한 퍼지제어  
 (a) 제2과열기 온도 (b) 제3과열기 온도  
 (c) 온도 조절 스프레이밸브

Fig. 8. Fuzzy control for temperature of superheater.

- (a) Div. wall S/H temperature.
- (b) Final S/H temperature.
- (c) lower/upper spray valve.

V. 결론 및 추후 연구과제

1960년대 이후로 선진 외국에서는 화력발전소의 자동화 연구를 꾸준히 진행해 왔다. 그 결과 발전소 자동화에 많은 진척을 이루었다. 그러나 국내에서는 지금까지 자동화 연구가 미미하므로 발전소의 자동화가 전적으로 외국에 의존해 왔다. 이러한 시점에서 보일러의 자동 기동에 관한 연구는 큰 의의를 가지고 있다.

본 논문에서는 화력 발전소의 자동화의 한 부분으로 중요한 기능이나 아직까지 세계적으로 구현되지 못하고 있는 발전소 보일러의 자동 기동을 퍼지 논리를 도입하여 구현할 수 있음을 운전원의 경험에 근거한 퍼지 제어기를 설계하여 보일러 모델을 통한 시뮬레이션으로부터 확인하였다. 앞으로 발전소 자동화의 남은 부분인 발전소 자동정지에 대한 연구가 필요하며 본 연구 결과는 정지 및 재 기동등에도 쉽게 확장되어 적용 가능하다고 여겨진다.

参考文献

- [1] M. Uchida and N. Kato, "Totally Computer Automated Control System in Thermal Power Unit," IFAC Control Science and Technology(8th Triennial World Congress), Kyoto, Japan, 1981.
- [2] E.F. Thomas, J.G. Holmes, Jr. and C. C. Schonhoff, "Operating Experience

- with Large Supercritical Unit," American Power Conference, Chicago, Illinois, April pp. 21-23, 1970.
- [3] L.A. Zadeh, "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-3, no. 1, pp. 28-44, 1973.
- [4] E.H. Mamdani and S. Assilian, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller," *Int. J. Man-Machine Studies*, vol. 7, pp. 1-13, 1975.
- [5] Robert E. King and Fotis C. Karonis, "Multi-Level Expert Control of a Large-Scale Industrial Process," *Fuzzy Computing*, 1988.
- [6] P.J. King and E.H. Mamdani, "The Application of Fuzzy Control Systems to Industrial Processes," *Automatica*, vol. 13, pp. 235-242, 1977.
- [7] P.M. Larsen, "Process Applications of Fuzzy Logic Control," *Int. J. Man-Machine Studies*, vol. 12, 1980.
- [8] 한국 전력 공사, 서울 화력 4호기 운전 조작 설명서, 서울 화력 발전소, 1983.
- [9] 한국 전력 공사, 삼천포 화력 발전소 운전 조작 설명서, 삼천포 화력 발전소, 1988.
- [10] "울산 화력 4호기 운전 조작 설명서," 한국 전력 공사, 울산 화력 발전소, 1980.
- [11] Chuen Chien Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part II," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. 20, no. 2, 1990.
- [12] K.S. Ikeda and E. Tulunay, "The Automatic Start-up of the Fluidized Bed Combustor," *IEEE International Workshop on Intelligent Motion Control*, pp. 20-22, August, 1990.
- [13] 김 재 선, 신호 흐름도 모델을 이용한 화력 발전소 드럼형 보일러 시뮬레이터의 개발에 관한 연구, 한국과학기술원, 1989.
- [14] M. Yamada, H. Fukui, Z. Hokasono and O. Adica, "Automatic Start-up of Distillation Column by Computer," IFAC Control Science and Technology (8th Triennial World Congress), Kyoto,

Japan, 1981.

[15] Gunter Klefenz, Automatic Control of Steam Power Plants, Hartmann &

Braun AG, Minden, Bibliographisches Institut, Zurich, 1986.

著者紹介



柳 柄 根(正會員)

1966年 5月 4日生. 1988年 경북대학교 공과대학 전자공학과(공학사). 1991年 2月 한국과학기술원 전기및 전자공학과(공학석사). 1991年 3月 ~ 한국통신 통신망연구소 연구원. 주관심분야는 퍼지시스템 및 제어.

퍼지제어 응용등임.

黃 東 煥(正會員) 第28卷 B編 第11號 參照

현재 한국과학기술원 전기및전자공학과 연수연구원 근무중.

李 在 燦(正會員) 第28卷 B編 第11號 參照

현재 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사과정.

卞 增 男(正會員) 第28卷 B編 第11號 參照

현재 한국과학기술원 전기및전자공학과 교수