

## 콘덴싱가스보일러 제어를 위한 공급수알고리즘

한 도 영<sup>†</sup>, 유 병 강\*

국민대학교 기계시스템공학부, \*국민대학교 기계공학과 대학원

### The Supply Water Algorithm for a Condensing Gas Boiler Control

Doyoung Han<sup>†</sup>, Byeongkang Yoo\*

School of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

\*Graduate School of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received May 24, 2011; revision received May 18, 2011)

**ABSTRACT:** The energy consumption of a condensing gas boiler may be greatly reduced by the effective operation of the unit. In this study, the supply water algorithm for a condensing gas boiler control was developed by using the fuzzy logic. This includes the supply water set temperature algorithm, and the control algorithms of a gas valve, a blower and a pump. For the set temperature algorithm, the outside air temperature and the return water temperature were used as input variables. The supply water temperature difference and its slope were used as input variables of the gas valve and blower control algorithm. And the supply water temperature and the return water temperature were used as input variables of the pump control algorithm. In order to analyse performances of these algorithms, the dynamic model of a condensing gas boiler was used. The initial start-up test, the supply water set temperature change test, the outside air temperature change test, and the return water temperature change test were performed. Simulation results showed that algorithms developed in this study may be practically applied for the effective control of a condensing gas boiler.

**Key words:** Condensing gas boiler(콘덴싱가스보일러), Supply water algorithm(공급수알고리즘), Set algorithm(설정알고리즘), Control algorithm(제어알고리즘), Fuzzy logic(퍼지로직), Dynamic model(동적모델)

#### 기호설명

capacity	: 열용량 [kJ/h]
H	: 높음
L	: 낮음
M	: 중간, 보통
$\dot{m}$	: 유량 [kg/h]
$N_{tu}$	: 전달단위수

*S*

*T*

*V*

$\Delta$

: 신호(0~1), 약간

: 온도 [°C]

: 매우

#### 그리스 문자

$\triangle$

: 변화

† Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4675; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: dyhan@kookmin.ac.kr

#### 하침자

*air*

: 공기

<i>d</i>	: 차이
<i>gas</i>	: 가스
<i>in</i>	: 입구
<i>max</i>	: 최대
<i>mix</i>	: 연소가스
<i>old</i>	: 이전
<i>outside</i>	: 실외
<i>return</i>	: 귀환
<i>set</i>	: 설정
<i>stack</i>	: 배기ガス
<i>supply</i>	: 공급
<i>water</i>	: 공급수

## 1. 서 론

최근 지구온난화에 대한 환경규제가 강화되고 지하자원 고갈현상이 급격히 진행됨에 따라 보일러의 저공해와 고효율화에 대한 관심이 높아지고 있다. 이를 보여주듯이 유럽에서는 고효율 저공해 콘덴싱가스보일러의 설치를 의무화하고 있고 중국에서는 유럽공동체규격(EN)에 부합되는 콘덴싱가스보일러 제품을 개발하고 있다. 그러나 국내에서는 비콘덴싱가스보일러의 판매에만 집중하고 있어 국내제품이 글로벌 경쟁력을 갖기 위해서는 고효율 저공해 콘덴싱가스보일러의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.<sup>(1)</sup>

현재 국내에서 개발되어 사용되고 있는 가스보일러의 평균효율은 90% 정도로써 100%에 가까운 유럽보일러의 효율에 비해 매우 낮으며 인체에 유해한 일산화탄소, 대기 중 오존을 발생시키는 NOx, 그리고 지구온난화의 주범인 이산화탄소등의 배기가스가 다량으로 배출되고 있어 이를 개선하기 위해 보일러의 각 부품은 물론 시스템 전체를 고려한 최적설계 및 최적제어 기술개발이 절실히 요구되고 있다.<sup>(2)</sup>

따라서 본 연구에서는 보일러 공급수의 온도와 유량을 적절하게 제어할 수 있는 공급수알고리즘을 개발한 후 다양한 조건에서 개발된 알고리즘의 성능을 확인하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 콘덴싱가스보일러 동적모델

Fig. 1과 같이 콘덴싱가스보일러의 연소기에서 생산한 열은 현열열교환기와 잠열열교환기로 구성된

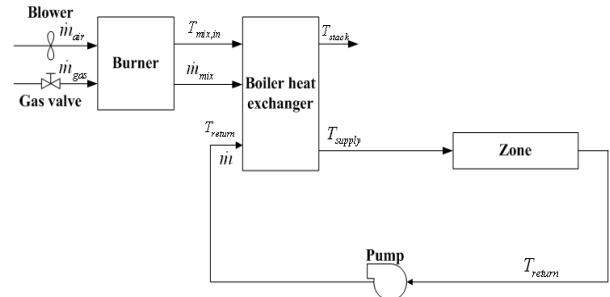


Fig. 1 A condensing gas boiler system.

직교류형 보일러열교환기를 통해 공급수에 전달되며, 보일러열교환기에서 배출되는 고온의 공급수는 온수열교환기를 통해 작업공간에 열을 제공한 후 저온의 환수가 되어 보일러로 순환된다.

콘덴싱가스보일러의 효과적인 운용을 위해 가스밸브, 송풍기, 펌프 등을 적절하게 제어할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하며, 이를 위해 송풍기, 가스밸브, 펌프, 베너, 보일러열교환기로 구성된 보일러의 동적현상을 모사할 수 있는 동적모델을 사용하였다.<sup>(3)</sup> 송풍기, 가스밸브, 펌프, 베너의 모델은 각 부품의 특성을 고려한 정적모델과 시간지연이 있는 1차 모델로 가정한 동적모델로 구성되어 있으며, 열교환기의 모델은 열교환기를 현열구간과 잠열구간으로 구분하여  $\varepsilon - N_{tu}$  (Effectiveness number of transfer units)법<sup>(4)</sup>을 이용한 정적모델과 시간지연이 있는 1차 모델로 가정한 동적모델로 구성되어 있다.

## 3. 공급수알고리즘

콘덴싱가스보일러를 효율적으로 운용하기 위하여 보일러 공급수온도를 설정하는 설정알고리즘과, 가스밸브와 송풍기를 사용하여 공급수온도를 제어하고 펌프를 사용하여 공급수유량을 제어하는 제어알고리즘을 개발하였다. 가스밸브와 송풍기의 제어주기는 10초, 펌프의 제어주기는 30초, 공급수온도의 설정주기는 60초로 가정하였다.

### 3.1 설정알고리즘

실내에 적절한 온도의 보일러 공급수를 제공하기 위하여 공급수온도를 설정하는 퍼지로직을 이용한 설정알고리즘을 개발하였다. 퍼지로직의 입력으로 환수온도  $T_{return}$ 과 외기온도  $T_{outside}$ 를 선택하였고 출력으로 공급수설정온도차  $\Delta T_{supply, set}$ 을 설정

하였다. Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4에는 사용된 입력과 출력의 멤버쉽을, Table 1에는 사용된 법칙을, Fig 5에는 사용된 퍼지 멤버쉽 평면을 보여준다. 추론방

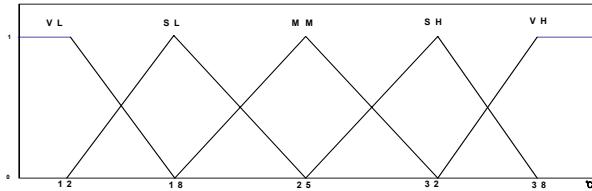


Fig. 2 Membership for  $T_{return}$ .

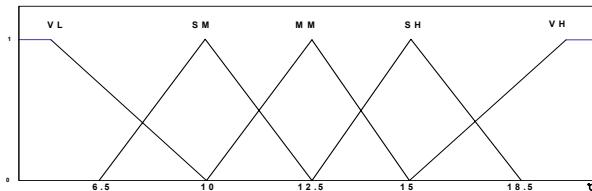


Fig. 3 Membership for  $T_{outside}$ .

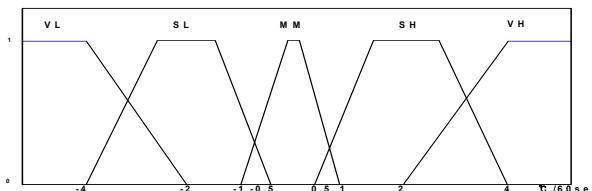


Fig. 4 Membership for  $\Delta T_{supply, set}$ .

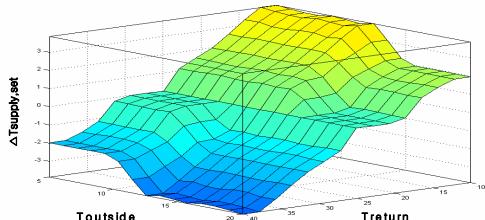


Fig. 5 Fuzzy membership surface for the setpoint algorithm.

Table 1 Rule base for the supply water set temperature algorithm

$\Delta T_{supply, set}$		$T_{return}$				
		VL	SL	MM	SH	VH
$T_{outside}$	VL	VH	SH	MM	MM	SL
	SL	VH	SH	MM	MM	SL
	MM	VH	SH	MM	SL	VL
	SH	SH	MM	MM	SL	VL
	VH	SH	MM	MM	SL	VL

법으로 Min-Max 방법을 사용하였고 역퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다.<sup>(5)</sup> 퍼지로직에서 출력된  $\Delta T_{supply, set}$  으로부터 식(1)을 사용하여 공급수설정온도  $T_{supply, set}$  을 계산하였으며

$$T_{supply, set} = T_{supply, set, old} + \Delta T_{supply, set} \quad (1)$$

여기서  $T_{supply, set, old}$ 는 이전공급수설정온도를 의미한다. 설정된  $T_{supply, set}$ 은 실내열교환기의 열교환효율과 보일러의 응축효율을 고려하여 40°C와 60°C 사이로 제한하였다.<sup>(6, 7)</sup>

### 3.2 제어알고리즘

설정알고리즘에서 설정된 온도로 공급수온도를 제어하기 위하여 퍼지로직을 사용한 가스밸브 및 송풍기 제어알고리즘을 개발하였다. 퍼지로직의 입력으로 식(2)의 현재공급수온도차  $T_{supply, d}$ 와 식(3)의 현재공급수온도차변화  $\Delta T_{supply, d}$ 를 사용하였고, 출력으로 현재가스밸브위치차  $\Delta S_{gas valve}$ 를 사용하였으며

$$T_{supply, d} = T_{supply, set} - T_{supply} \quad (2)$$

$$\Delta T_{supply, d} = T_{supply, d, old} - T_{supply, d} \quad (3)$$

여기서  $T_{supply}$ 는 현재공급수온도를  $T_{supply, d, old}$ 는 이전공급수온도차를 의미한다. Fig. 6~Fig. 8에는 사용된 입력과 출력의 멤버쉽을, Table 2에는 사용된 법칙을, Fig 9에는 사용된 퍼지 멤버쉽 평면을 보여준다. 추론방법으로 Min-Max 방법을 사용하였고 역퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다. 퍼지로직에서 출력된  $\Delta S_{gas valve}$ 로부터 식(4)를 사용하여 가스밸브위치  $S_{gas valve}$ 를 설정하였으며

$$S_{gas valve} = S_{gas valve, old} + \Delta S_{gas valve} \quad (4)$$

여기서  $S_{gas valve, old}$ 는 이전가스밸브위치를 의미한다.  $S_{gas valve}$ 는 0과 1사이로 제한하였고 송풍기 제어는 가스밸브와 공기비 1.3으로 연동하여 제어하였다.

보일러의 응축효과와 온돌의 열교환 효과를 고려하여 실내에 적절한 양의 보일러 공급수를 공급하기 위하여 퍼지로직을 이용한 펌프 제어 알고리즘을 개발하였다. 퍼지로직의 입력으로  $T_{supply, set}$ 과  $T_{return}$

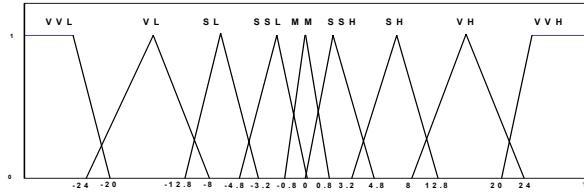
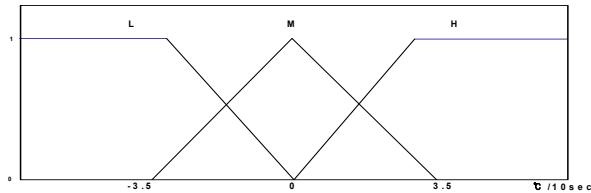
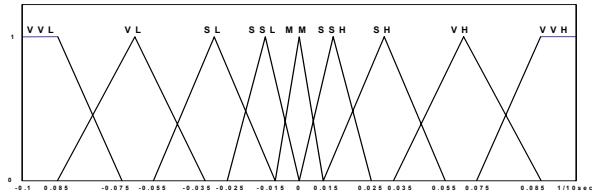
Fig. 6 Membership for  $T_{supply,d}$ .Fig. 7 Membership for  $\Delta T_{supply,d}$ .Fig. 8 Membership for  $\Delta S_{gas\ valve}$ .

Table 2 Rule base for the gas valve control algorithm

$\Delta S_{gas\ value}$	$T_{supply,d}$								
	VVL	VL	SL	SSL	MM	SSH	SH	VH	VVH
$T_{supply,d}$	L	VVL	VL	SL	SSL	MM	SSH	SH	VVH
	M	VVL	VL	SL	SSL	MM	SSH	SSH	VVH
	H	VL	SL	SL	SSL	MM	SSH	SH	VH

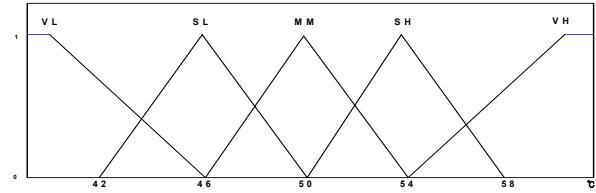
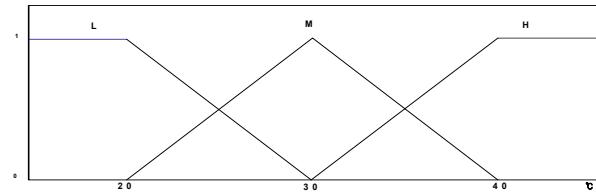
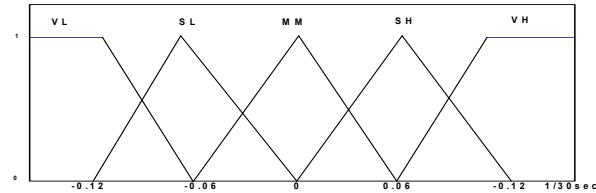
Fig. 10 Membership for  $T_{supply,set}$ .Fig. 11 Membership for  $T_{return}$ .Fig. 12 Membership for  $\Delta S_{pump}$ .

Table 3 Rule base for the pump control algorithm

$\Delta S_{pump}$	$T_{supply,set}$					
	VL	SL	MM	SH	VH	
$T_{return}$	H	VL	SL	MM	MM	SH
	M	VL	SL	MM	SH	VH
	L	SL	MM	MM	SH	VH

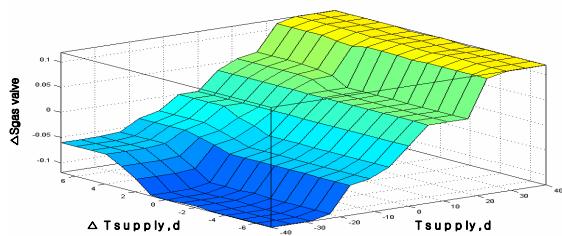


Fig. 9 Fuzzy membership surface for the gas valve control algorithm.

을 사용하였고, 출력으로 현재펌프위치차  $\Delta S_{pump}$ 를 사용하였다. Fig. 10~Fig. 12에는 사용된 입력과 출력의 멤버쉽을, Table 3에는 사용된 법칙을, Fig. 13에는 사용된 퍼지 멤버쉽 평면을 보여준다. 추론방법

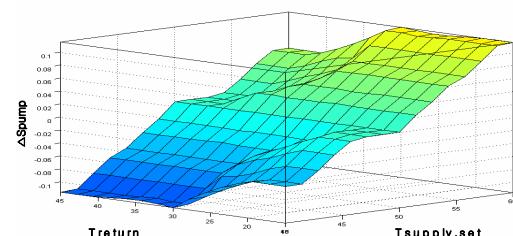


Fig. 13 Fuzzy membership surface for the pump control algorithm.

으로 Min-Max 방법을 사용하였고 역퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다. 퍼지로직에서 출력된  $\Delta S_{pump}$ 로부터 식(5)을 사용하여 펌프위치  $S_{pump}$ 를 설정하였으며

Table 4 Static data

Variable	Value
$m_{air,max}$	41.76 kg/h
$m_{gas,max}$	2.43 kg/h
$m_{water,max}$	1,587 kg/h
capacity <sub>max</sub>	121,775 kJ/h

Table 5 Dynamic data

Component	Time constant(s)	Time delay(s)
Blower	2	1
Gas valve	2	1
Pump	5	1
Burner	5	1
Heat exchanger	60	20

$$S_{pump} = S_{pump,old} + \Delta S_{pump} \quad (5)$$

여기서  $S_{pump,old}$ 는 이전 펌프위치를 의미하고  $S_{pump}$ 는 0.3과 1사이로 제한하였다.

#### 4. 공급수알고리즘 성능

개발된 공급수알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 37 kW급 콘덴싱보일러로 가정한 후 초기운전성능시험, 공급수설정온도변화시험, 외기온도변화시험, 환수온도변화시험으로 구분하여 성능시험을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용한 정적데이터는 Table 4에, 동적데이터는 Table 5에 제시하였다.<sup>(8)</sup>

##### 4.1 초기운전 성능시험

보일러가 초기 가동할 때의 공급수알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 초기운전성능시험을 수행하였다.

Fig. 14와 Fig. 15는 보일러 온수의 초기온도가 15°C로 설정온도와 45°C 차이가 있을 때의 45°C 초기운전성능시험 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 시험시작 초기 공급수온도는 설정온도와 45°C의 차이가 있음에도 불구하고 가스밸브, 송풍기, 펌프의 안정된 제어를 통해 초기 과도기를 거친 후 설정된 온도로 적절하게 제어되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 16과 Fig. 17은 초기온도가 30°C로 설정온도와 30°C 차이가 있을 때의 30°C 초기운전성

능시험의 결과로써 공급수온도가 초기 과도기를 거친 후 설정된 온도로 안정된 제어를 통해 적절하게 제어되는 것을 확인할 수 있었다.

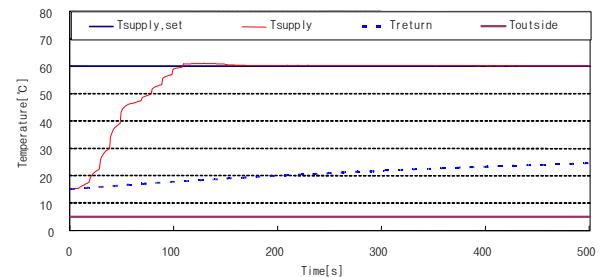


Fig. 14 Water and air temperature(45°C initial start-up test).

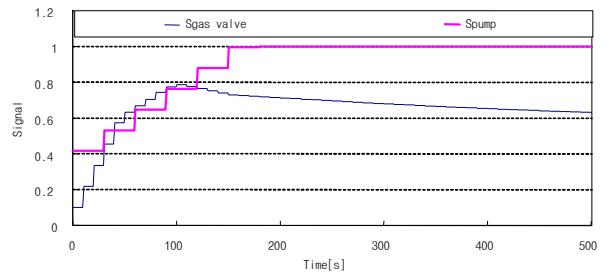


Fig. 15 Gas valve position and pump signal (45°C initial start-up test).

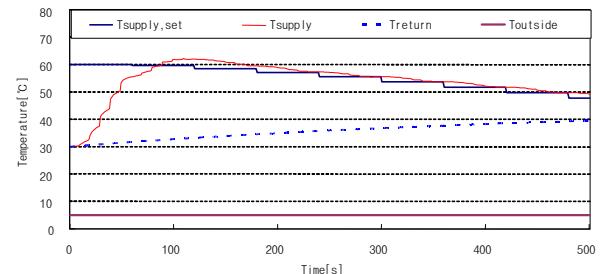


Fig. 16 Water and air temperature(30°C initial start-up test).

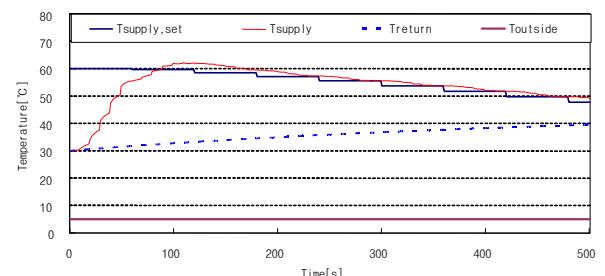


Fig. 17 Gas valve position and pump signal (30°C initial start-up test).

## 4.2 공급수설정온도변화시험

환수온도를 20°C에서 25°C로, 외기온도를 5°C에서 15°C로 유지하면서 공급수알고리즘의 성능을 확

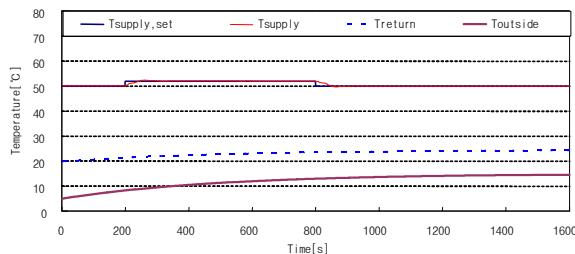


Fig. 18 Water and air temperature(Supply water setpoint 2°C step change test).

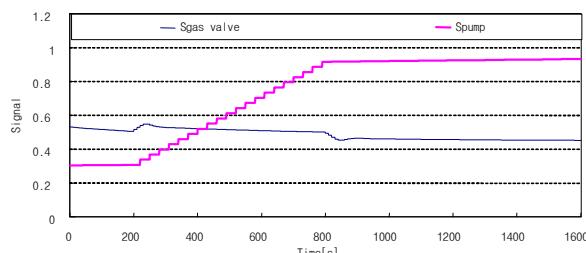


Fig. 19 Gas valve position and pump signal (Supply water setpoint 2°C step change test).

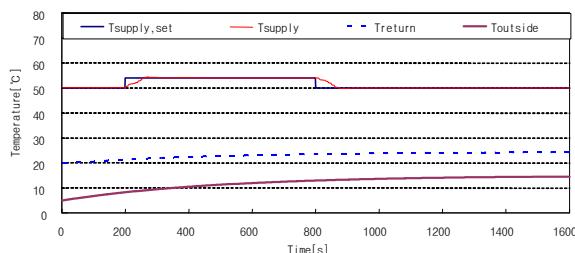


Fig. 20 Water and air temperature(Supply water setpoint 4°C step change test).

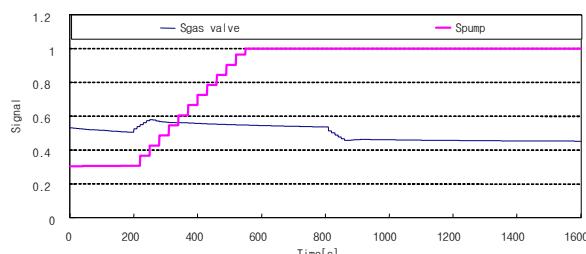


Fig. 21 Gas valve position and pump signal (Supply water setpoint 4°C step change test).

인하기 위하여 공급수의 설정온도를 계단변화시키면서 설정온도의 계단변화에 따른 제어성능을 확인하였다.

Fig. 18과 Fig. 19에는 공급수설정온도가 50°C와 52°C 사이에 2°C 계단변화 하였을 때의 제어결과를 보여주고 있고, Fig. 20과 Fig. 21에는 설정온도가 50°C와 54°C사이에 4°C 계단변화 하였을 때의 제어 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 공급수설정온도가 갑자기 계단변화 하였음에도 불구하고 가스밸브, 송풍기, 펌프의 안정된 제어를 통해 설정된 온도로 적절하게 제어되는 것을 알 수 있었다.

## 4.3 외기온도변화시험

외기온도 변화에 대한 개발된 알고리즘의 제어 성능을 확인하기 위하여 환수온도를 20°C에서 30°C 사이로 가정하였고, 외기온도를 Fig. 22에 보여준

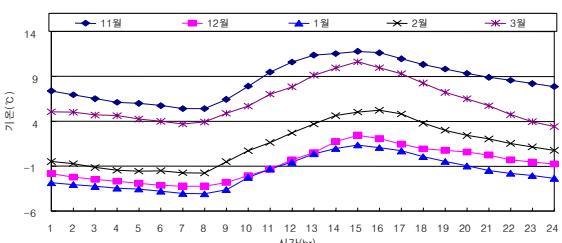


Fig. 22 Winter average temperature in Seoul.

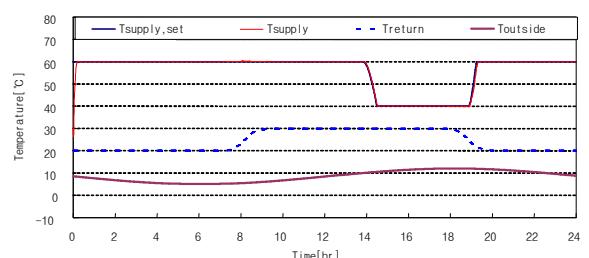


Fig. 23 Water and air temperature(November).

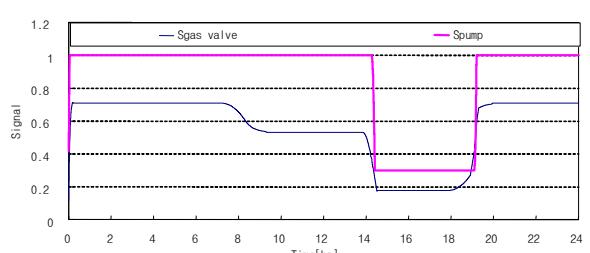


Fig. 24 Gas valve position and pump signal (November).

2008년 11월부터 2009년 3월까지 서울지역의 각 월별 일일시간대의 외기온도를 참고하여 11월, 1월, 3월을 선택하여 정현파로 가정한 후 외기온도변화시험을 수행하였다.

Fig. 23과 Fig. 24는 11월 기온변화에 따른 제어결과를, Fig. 25와 Fig. 26은 1월의 기온변화에 따른 제어결과를, Fig. 27과 Fig. 28은 3월의 기온변화에

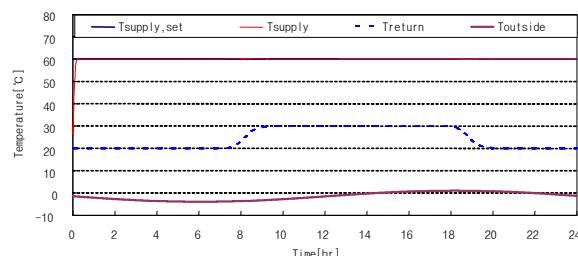


Fig. 25 Water and air temperature(January).

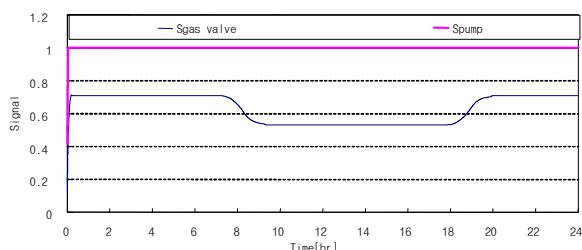


Fig. 26 Gas valve position and pump signal (January).

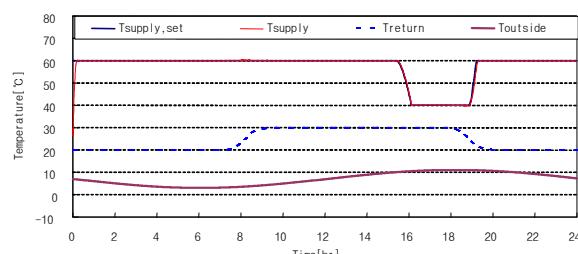


Fig. 27 Water and air temperature(March).

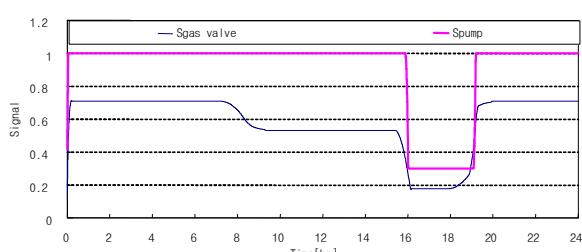


Fig. 28 Gas valve position and pump signal (March).

따른 제어결과를 보여준다. 환수온도와외기온도의 변화에 따라 공급수온도가 적정하게 설정되었고 가스밸브, 송풍기, 펌프의 안정된 제어에 의해 설정된 온도로 적절하게 제어되는 것을 알 수 있었다.

#### 4.4 환수온도변화시험

환수온도의 변화에 따른 제어알고리즘의 제어성능을 확인하기 위하여 11월 기온을 외기온도로 가정한 후 환수온도를 변화시켜 알고리즘의 성능을 분석하였다. Fig. 29와 Fig. 30은 환수온도를 15°C에서 25°C로 변화시켰을 때, Fig. 31과 Fig. 32는 환수온도를 25°C에서 35°C로 변화시켰을 때의 제어결과를 보여준다. 환수온도의 변화에 따라 공급수온도가 적정히 설정되었고 가스밸브, 송풍기, 펌프의 안

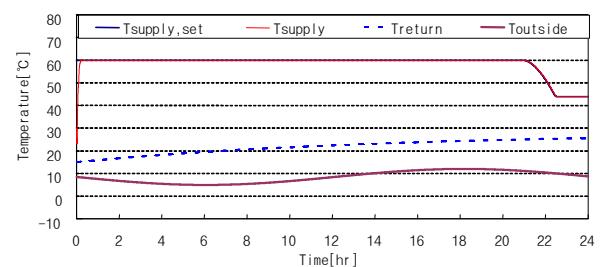


Fig. 29 Water and air temperature(Return water 15~25°C change test).

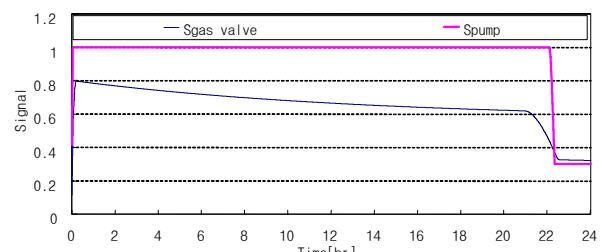


Fig. 30 Gas valve position and pump signal (Return water 15~25°C change test).

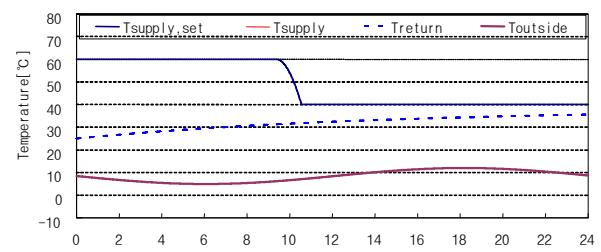


Fig. 31 Water and air temperature(Return water 25~35°C change test).

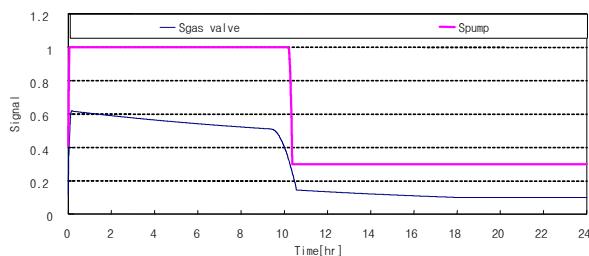


Fig. 32 Gas valve position and pump signal  
(Return water 25~35°C change test).

정된 제어를 통해 설정온도로 적절히 제어되는 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결 론

콘덴싱가스보일러의 제어알고리즘을 효과적으로 개발하기 위하여 송풍기, 가스밸브, 펌프, 연소기, 보일러열교환기, 온수열교환기 등으로 구성된 보일러의 동적현상을 모사할 수 있는 동적모델을 사용하였다.

콘덴싱가스보일러의 효율적인 운용을 위해 공급수온도를 설정하는 설정알고리즘과 가스밸브, 송풍기, 펌프를 제어하는 제어알고리즘을 개발하였다. 실내에서 요구되는 부하에 따라 공급수온도를 적절하게 설정하기 위한 설정알고리즘으로 환수온도와 외기온도를 입력으로 하고 공급수설정온도차를 출력으로 하는 퍼지로직을 사용하였다. 공급수온도를 설정된 온도로 유지하기 위한 가스밸브 제어알고리즘으로 공급수온도차와 공급수온도변화를 입력변수로 하고 가스밸브의 위치차를 출력변수로 하는 퍼지로직을 사용하였으며, 송풍기는 가스밸브와 당량비 1.3으로 연동하여 제어하였다. 실내에 적정한 유량을 공급하기 위해 공급수설정온도와 환수온도를 입력변수로 하고 펌프의 위치차를 출력변수로 하는 퍼지로직을 이용한 펌프 제어알고리즘을 사용하였다. 각 퍼지로직의 추론방법은 Min-Max 방법을 사용하였고 역퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다.

개발된 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여 초기운전성능시험, 공급수설정온도변화시험, 외기온도변화시험, 환수온도변화시험으로 구분하여 성능시험을 수행하였다. 초기운전성능시험에서는 공급수의 설정온도와 초기온도의 차이가 45°C와 30°C인 초기운전조건에서의 제어성능을 확인하였고, 공급수설정온도변화시험에서는 공급수설정온도가 2°C와

4°C로 계단변화 했을 때의 제어성능을 확인하였으며, 외기온도변화시험에서는 서울지역 동절기 외기온도 변화에 대한 제어성능을 확인하였고, 환수온도변화시험에서는 환수온도가 15°C에서 25°C사이와 25°C에서 35°C사이로 변화하였을 때의 제어성능을 확인하였다. 성능시험 결과 개발된 설정알고리즘과 제어알고리즘은 콘덴싱가스보일러의 운용을 위해 효과적으로 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 2011년도 국민대학교 교내 연구비지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- Cho, H. W., Park, I. S. and Yang, K. Y., 2004, Development status and effect of condensing boiler, Proceedings of the KOSCO, pp. 269-275.
- Han, D. and Kim, S., 2008, Control algorithms of a condensing gas boiler, Proceedings of the SAREK, pp. 339-344.
- Han, D. and Kim, S., 2008, Effective dynamic models for the development of control algorithms of a condensing gas boiler system, SAREK, Vol. 20, No. 6, pp. 365-371.
- Mills, A. F., 1999, Basic heat and mass transfer, Prentice Hall, pp. 615-711.
- Han, D. and Park, K., 2006, Fuzzy control algorithms for the compressor and the electronic expansion valve of a multi type air conditioning system using multiple input variables, SAREK, Vol. 18, No. 2, pp. 163-171.
- Yeo, M. and Ryu, S., 2005, Control method of hot water floor heating system, SAREK, Vol. 34, No. 8, pp. 33-42.
- Kim, K. and Lee, K., 2005, Construction and component technology of floor heating system, SAREK, Vol. 34, No. 8, pp. 16-27.
- Han, D., Kim, S. and Jung, K., 2008, Mathematical models of a condensing gas boiler control system, Proceedings of the KOSCO, pp. 277-283.