

# 외기온도와 환수온도를 이용한 보일러의 공급수온도설정

한 도 영<sup>†</sup>, 유 병 강<sup>\*</sup>

국민대학교 기계·자동차공학부, 국민대학교 기계공학과 대학원<sup>\*</sup>

## Boiler Supply Water Temperature Setting by Outside Air Temperature and Return Water Temperature

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

**ABSTRACT:** Condensing gas boiler units may make a big role for the reduction of energy consumption in heating industries. In order to decrease the energy consumption of a boiler unit, the effective operation is necessary.

In this study, the supply water temperature algorithm of a condensing gas boiler was developed. This includes the setpoint algorithm and the control algorithm of the supply water temperature. The setpoint algorithm was developed by the fuzzy logic and the control algorithm was developed by the proportional integral algorithm.

In order to analyse the performance of the supply water temperature algorithm, the dynamic model of a condensing gas boiler system was used. Simulation results showed that the supply water temperature algorithm developed for this study may be practically applied for the control of the condensing gas boiler.

**Key words:** Condensing gas boiler(콘덴싱가스보일러), Dynamic model(동적모델), Supply water temperature(공급수온도), Setpoint algorithm(설정알고리즘), Control algorithm(제어알고리즘), Fuzzy logic(퍼지로지)

기 호 설 명	하첨자
$\dot{m}$ : 유량 [kg/sec]	max : 최대값
$S$ : 신호(0 ~ 1)	min : 최소값
$T$ : 온도 [°C]	old : 이전값
$K_p$ : 비례상수	set : 설정
$K_i$ : 적분상수	return : 환수
	outside : 외기
	supply : 공급수

<sup>†</sup> Corresponding author  
 Tel.: +82-2-910-4675; fax: +82-2-910-4839  
 E-mail address [dyhan@kookmin.ac.kr](mailto:dyhan@kookmin.ac.kr)

## 1. 서론

최근 지구 온난화에 대한 환경규제가 강화되고 지하자원 고갈현상이 급격히 진행됨에 따라 보일러의 저공해와 고효율화에 대한 관심이 높아지고 있다. 이를 보여주듯이 유럽에서는 저공해 고효율 콘덴싱가스보일러의 설치를 의무화하고 있고 중국에서는 유럽공동체규격(EN)에 부합되는 제품을 개발하고 있지만 국내에서는 비콘덴싱가스보일러에만 집중하고 있어 국내제품이 글로벌 경쟁력을 가지기 위해서는 저공해 고효율 콘덴싱가스보일러의 개발이 절실히 요구되는 상황이다.<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 이산화탄소 등의 배기가스가 다량으로 배출되고 있어 이를 개선하기 위해 보일러의 각 부품은 물론 시스템 전체를 고려한 최적설계 및 최적제어 기술개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.<sup>(2)</sup>

따라서 본 연구에서는 콘덴싱가스보일러의 시스템을 안정적으로 제어할 수 있는 공급수온도알고리즘을 개발하고, 개발된 알고리즘이 건물부하에 따라 적절히 제어되는지를 확인하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 보일러의 동적모델

콘덴싱가스보일러 시스템에서는 연소기에서 발생된 열량이 현열열교환기와 잠열열교환기로 구성된 직교류형 보일러열교환기를 통해 공급수에 전달되며 보일러열교환기에서 배출되는 고온의 공급수는 온돌과 온수열교환기 등을 통해 작업공간으로 열을 제공한 후 저온의 환수로 환수된다.

콘덴싱가스보일러 시스템을 효과적으로 운용하기 위해서 건물부하를 고려하여 공급수온도를 설정하는 설정알고리즘과 가스밸브와 송풍기를 제어하여 설정된 공급수온도로 유지하는 제어알고리즘이 필요하며, 이를 개발하기 위해 송풍기, 가스밸브, 펌프, 버너, 보일러열교환기로 구성된 보일러의 동적현상을 모사할 수 있는 동적모델을 사용하였다.<sup>(3)</sup>

송풍기, 가스밸브, 펌프, 버너의 모델은 각 부품의 특성을 고려하여 정적모델을 개발한 후 시간지연이 있는 1차 모델로 가정하여 동적모델로 사용하였고, 열교환기 모델은 열교환기를 현열구간과 잠열구간으로 구분하여  $\epsilon-N_{tu}$ (effectiveness number of transfer units)법<sup>(4)</sup>을 사용하여 정적모델을 개발한 후 시간지연이 있는 1차 모델로 가정하여 동적모델로 사용하였다.

## 3. 공급수온도알고리즘

콘덴싱가스보일러의 공급수온도를 효율적으로 제어하기 위하여 설정알고리즘을 사용하여 공급수온도를 설정하였고 제어알고리즘을 사용하여 가스밸브와 송풍기의 위치를 제어하였다. 가스밸브와 송풍기는 매 10초마다 제어하였고 공급수온도는 매 60초마다 설정하였다.

### 3.1 공급수온도설정알고리즘

실내에서 요구되는 열량을 보일러를 통해 공급하기 위하여 퍼지로지을 사용한 공급수온도설정 알고리즘을 사용하였다. 퍼지로지학의 입력으로 외기온도  $T_{outside}$ 와 환수온도  $T_{return}$ 을 선택하였고, 출력으로 공급수설정온도차  $\Delta T_{bw, supply, set}$ 을 선정하였다.

입력과 출력의 멤버십으로 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3을 사용하였고 사용한 법칙은 Table 1에 나타내었다. 추론방법으로 Max-Min 방법을 사용하였고 역퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다.<sup>(5)</sup>

퍼지로지학의 출력으로부터 식 (1)을 사용하여 공급수의 설정온도  $T_{bw, supply, set}$ 을 계산하였으며

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

계산된  $T_{bw, supply, set}$ 은 실내열교환기의 열교환효율과 보일러의 응축효율을 고려하여 40℃와 60℃ 사이로 제한하였다.<sup>(6,7)</sup>

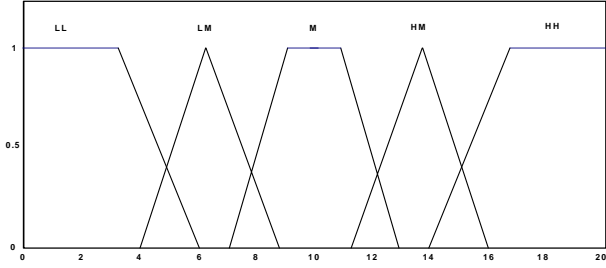


Fig. 1 Membership for  $T_{outside}$ .

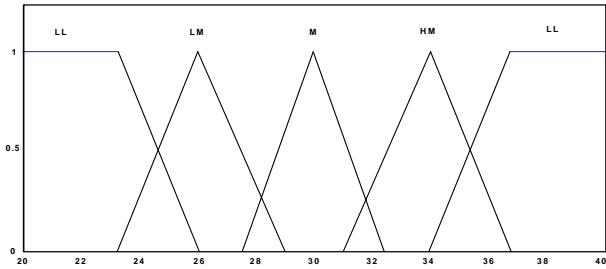


Fig. 2 Membership for  $T_{return}$ .

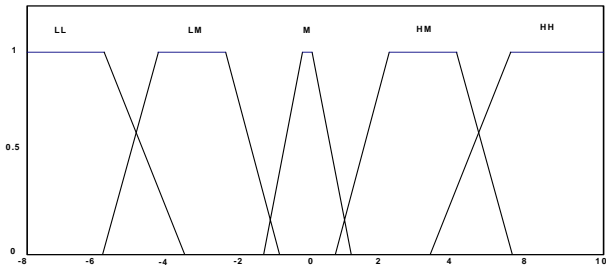


Fig 3 Membership for  $\Delta T_{bw, supply, set}$ .

Table 1 Rule base for the setpoint algorithm.

$\Delta T_{bw, supply, set}$		$T_{outside}$				
		LL	LM	M	HM	HH
$T_{return}$	LL	HH	MH	MM	MM	ML
	LM	HH	MH	MM	MM	ML
	M	HH	MH	MM	ML	LL
	HM	MH	MM	MM	ML	LL
	HH	MH	MM	MM	ML	LL

### 3.2 공급수온도제어알고리즘

공급수온도를 설정온도로 유지하기 위하여 가스밸브와 송풍기 제어알고리즘으로 구성된 공급수온도제어알고리즘을 사용하였다.

가스밸브를 제어하기 위하여 식 (2)와 같은 비례적분 알고리즘을 사용하였으며

$$S_{gasvalve} = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (2)$$

여기서  $S_{gasvalve}$ 는 가스밸브 제어신호,  $e(t)$ 는 공급수의 설정값과의 온도차를 의미하고, 비례상수  $K_p$ 와 적분상수  $K_i$ 는 0.8과 0.05로, 온도차 데드밴드는  $\pm 1^\circ\text{C}$ 로 선정하였다.  $S_{gasvalve}$ 는 0과 1사이로 제한하였고 송풍기 제어는 가스밸브와 공기비 1.3으로 연동되어 제어된다고 가정하였다.

### 4. 시뮬레이션 결과

개발된 공급수설정온도알고리즘의 제어성능을 확인하기 위하여 외기온도변화시험, 환수온도변화시험, 종합성능평가시험으로 구분하여 시뮬레이션을 수행하였으며 이때 사용된 정적데이터는 Table 2에, 동적데이터는 Table 3에 제시되어 있다.<sup>(8)</sup>

Table 2 Static data.

Variable	Value
$\dot{m}_{air, max}$	41.76 kg/h
$\dot{m}_{gas, max}$	2.43 kg/h
$\dot{m}_{water, max}$	1587 kg/h
$capacity_{max}$	121775 kJ/h

Table 3 Dynamic data. (unit : sec)

Component	Time constant	Time delay
Blower	2	1
Gas valve	2	1
Pump	5	1
Pipe	0	1
Burner	5	1
Heat exchanger	60	20

#### 4.1 외기온도변화시험

외기온도변화에 대한 공급수온도알고리즘의 제어성능을 확인하기 위하여 환수온도를  $25^\circ\text{C}$ 에서  $30^\circ\text{C}$ 사이로 유지하면서 외기온도를 변화시키면서 외기온도변화시험을 수행하였다.

Fig. 4과 Fig. 5에는 외기온도가  $0^\circ\text{C}$ 에서  $10^\circ\text{C}$ 로 변화하였을 때의 성능시험 결과를 보여주고 있고 Fig. 6과 Fig. 7에는 외기온도가  $10^\circ\text{C}$ 에서

20℃로 변화하였을 때의 시험결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 외기온도변화에 따라 공급수온도가 적절하게 설정되었고 설정된 온도로 적절하게 제어되는 것을 확인할 수 있었으며, 그때의 가스밸브도 안정되게 제어되는 것을 알 수 있다.

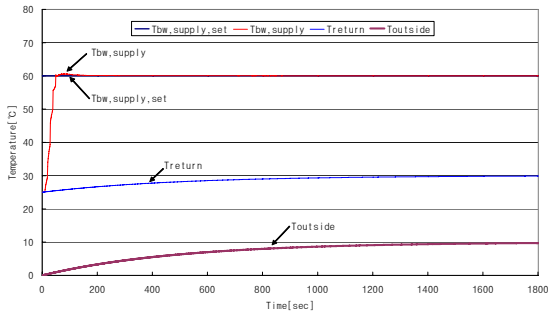


Fig. 4 Supply and return water temperature (Outside air temperature 0℃ ~ 10℃).

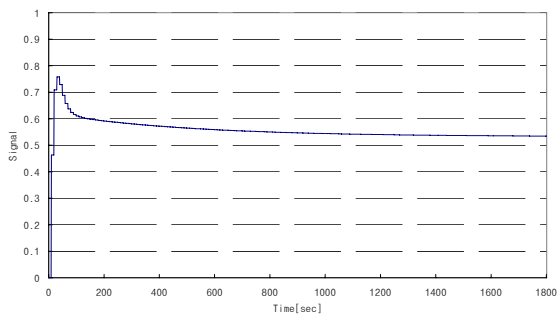


Fig. 5 Gas valve position (Outside air temperature 0℃ ~ 10℃).

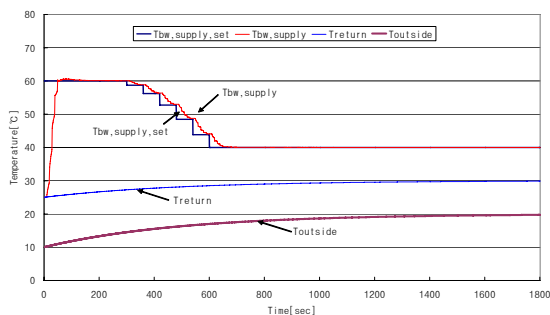


Fig. 6 Supply and return water temperature (Outside air temperature 10℃ ~ 20℃).

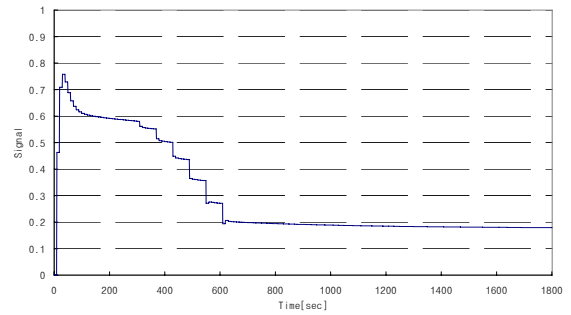


Fig. 7 Gas valve position (Outside air temperature 10℃ ~ 20℃).

#### 4.2 환수온도변화시험

환수온도 변화에 대한 공급수온도알고리즘의 제어성능을 확인하기 위하여 외기온도를 5℃에서 15℃ 사이로 유지하면서 환수온도를 변화시키면서 환수온도변화 시험을 수행하였다.

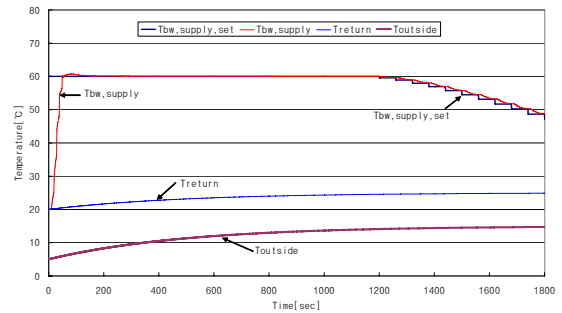


Fig. 8 Supply water and outside air temperature (Return water temperature 20℃ ~ 25℃).

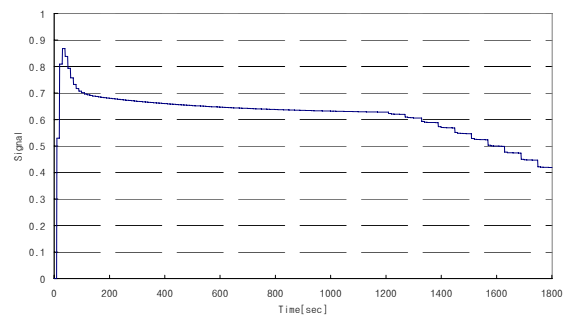


Fig. 9 Gas valve position (Return water temperature 20℃ ~ 25℃).

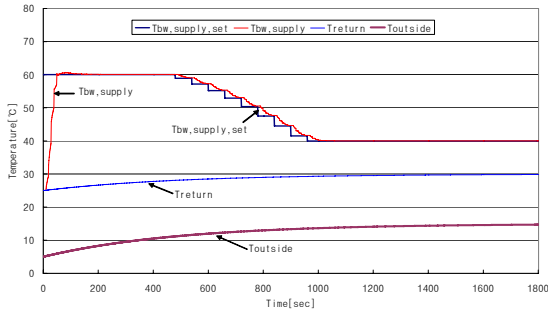


Fig. 10 Supply water and outside air temperature (Return water temperature 25°C ~ 30°C).

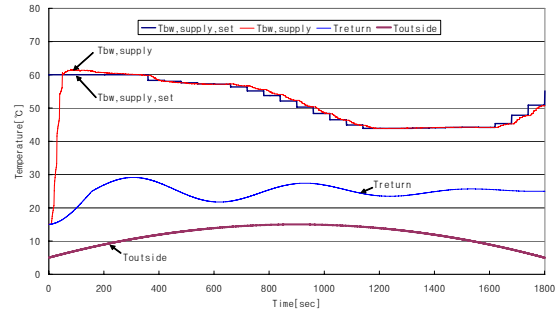


Fig. 12 Supply water, return water and outside air temperature.

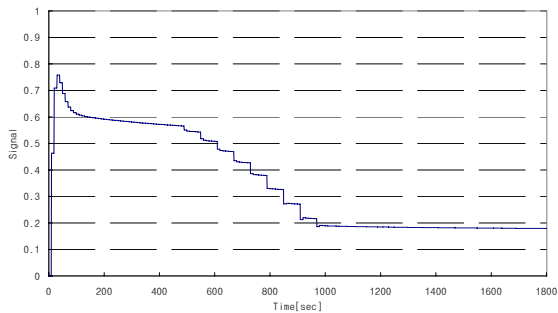


Fig. 11 Gas valve position (Return water temperature 25°C ~ 30°C).

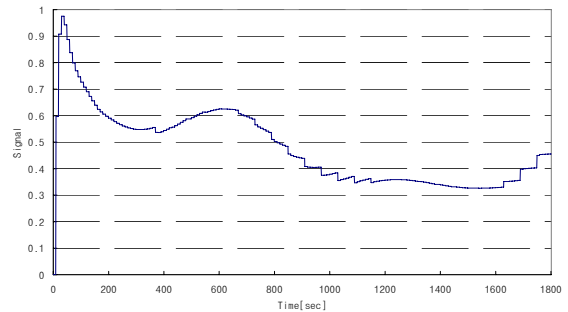


Fig. 13 Gas valve position.

Fig. 8과 Fig. 9에는 환수온도가 20°C에서 25°C로 변화하였을 때의 제어결과를 보여주고 있고 Fig. 10과 Fig. 11에는 환수온도가 25°C에서 30°C로 변화하였을 때의 제어결과를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 환수온도 변화에 따라 공급수온도가 적정히 설정되었고 안정된 가스밸브 제어를 통해 설정된 온도로 적절하게 제어되는 것을 확인할 수 있었다.

### 4.3 종합성능평가시험

공급수온도알고리즘의 종합성능을 확인하기 위하여 환수온도와 외기온도를 Fig. 12와 같이 가정하였다. Fig.12에서 보듯이 환수온도와 외기온도의 변화에 따라 공급수온도가 적절히 설정되었고 설정된 온도로 공급수온도가 적절하게 제어되는 것을 알 수 있었다. 또한 Fig. 13에서 보듯이 가스밸브 위치도 안정되게 제어됨을 알 수 있었다.

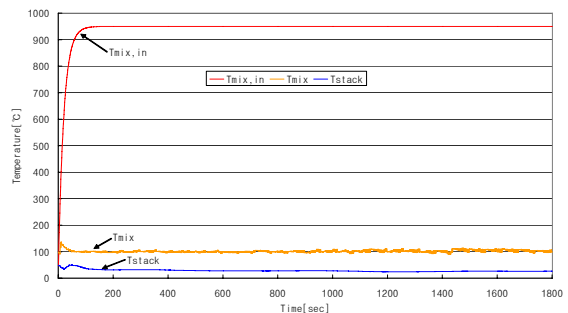


Fig. 14 Exhaust gas temperature.

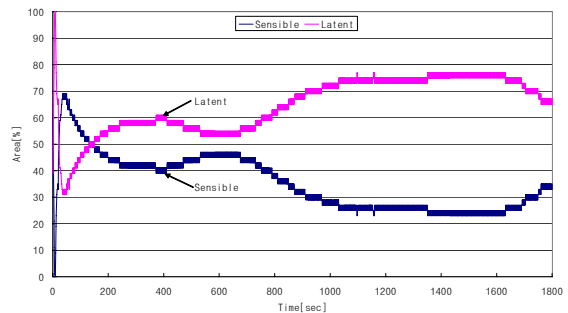


Fig. 15 Sensible and latent heat.

Fig. 14에는 연소가스의 온도변화를 보여 주고 있다. Fig. 15에는 보일러 열교환기의 전체면적 중 현열과 잠열열교환에 사용된 면적을 보여주고 있으며 잠열열교환이 현열열교환보다 활발히 이루어진 것을 알 수 있었다.

시뮬레이션 기간 1800초 동안 연소가스가 공급수에 전달한 총열량은 28798 kJ이었고 사용한 총가스량은 0.581 kg이었고 가스의 저위발열량 50113 kJ/kg을 기준으로 가스 보일러의 효율이 98.83%로 운용되었음을 알 수 있었다.<sup>(9)</sup>

## 5. 결론

콘덴싱가스보일러시스템의 공급수온도알고리즘을 효과적으로 개발하기 위하여 송풍기, 가스밸브, 펌프, 연소기, 보일러열교환기, 온수열교환기로 구성된 보일러시스템의 동적현상을 모사할 수 있는 동적모델을 사용하였다.

콘덴싱가스보일러의 효율적인 운용을 위해 공급수온도설정알고리즘과 공급수온도제어알고리즘으로 구성된 공급수온도알고리즘을 개발하였다. 실내에서 요구되는 부하에 따라 공급수온도를 적절하게 설정하는 공급수온도설정알고리즘으로 외기온도와 환수온도를 입력으로 하고 공급수설정온도차를 출력으로하는 퍼지로지식을 사용하였고, 설정된 공급수온도로 제어하기 위한 공급수온도 제어알고리즘으로 비례적분알고리즘을 이용한 가스밸브제어알고리즘과 가스밸브와 당량비 1.3으로 연동된 송풍기제어알고리즘을 사용하였다.

개발된 공급수온도알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여 외기온도변화시험, 환수온도변화시험, 종합성능평가지험으로 구성된 제어성능시험을 수행하였으며, 그 결과 개발된 알고리즘은 콘덴싱가스보일러의 공급수온도제어에 효과적으로 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 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.
2. Han, D., and Kim, S., 2008, Control algorithms of a condensing gas boiler, proceedings of SAREK, pp. 339-344.
3. Han, D., and Kim, S., 2008, Effective dynamic models for the development of control algorithms of a condensing gas boiler system, Korean Journal of SAREK, Vol. 20, No. 6, pp. 365-371.
4. Mills, A, F., 1999, Basic heat and mass transfer, Prentice hall, pp. 615-711.
5. 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, Korean Journal of SAREK, Vol. 18, No. 2, pp. 163-171.
6. Yeo, M., and Ryu, S., 2005, Control method of hot water floor heating system, Korean Journal of SAREK, Vol. 34, No. 8, pp. 33-42.
7. Kim, K., and Lee, K., 2005, Construction and component technology of floor heating system, Korean Journal of SAREK, Vol. 34, No. 8, pp. 16-27.
8. Han, D., Kim, S., and Jung, K., 2008, Mathematical models of a condensing gas boiler control system, Proceedings of KOSCO, pp. 277-283.
9. Cho, Y., and Min, M., 1993, Heating performance of small gas boiler on steady state and cyclic operations, Proceedings of SAREK, pp. 51-55.