

응축형가스보일러의 제어알고리즘

한도영[†], 김성학^{*}

국민대학교 기계·자동차공학부, 국민대학교 기계공학과 대학원^{*}

Control Algorithms of a Condensing Gas Boiler

Doyoung Han[†], Sunghak Kim^{*}

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 condensing gas boiler unit, the effective control of the system is necessary.

In this study, control algorithms of a condensing gas boiler were developed. Control algorithms are composed of the setpoint algorithm and the control algorithm. The setpoint algorithm consists of the supply water temperature setpoint algorithm and the pump setpoint algorithm. The control algorithm consists of the gas valve control algorithm and the blower control algorithm.

In order to analyse the performance of control algorithms, dynamic models of a condensing gas boiler system were used. Simulation results showed that control algorithms developed for this study may be practically applied to the condensing gas boiler.

Key words: Condensing gas boiler(응축형가스보일러), Dynamic models(동적모델), Setpoint algorithm(설정알고리즘), Control algorithm(제어알고리즘), Fuzzy logic(퍼지로직)

기 호 설 명

하첨자

C_p : 정압비열 [kJ/kg °C]

$Load$: 발열량 [kJ/sec]

\dot{m} : 유량 [kg/sec]

S : 신호(0 ~ 1)

T : 온도 [°C]

max : 최대값

min : 최소값

reset : 재설정

return : 환수

set : 설정

stack : 배기가스

supply : 공급수

[†] Corresponding author

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

E-mail address 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 고효율 저공해 응축형가스보일러의 설치를 의무화하고 있고 중국에서는 유럽공동체규격(EN)에 부합되는 제품을 개발하고 있지만 국내에서는 비응축형가스보일러에만 집중하고있어 국내제품이 글로벌 경쟁력을 가지기 위해서는 고효율 저공해 응축형가스보일러의 개발이 절실히 요구되는 상황이다.⁽¹⁾

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 있는 실정이다.⁽²⁾

따라서 본 연구에서는 응축형가스보일러의 시스템효율을 증가시킬수 있는 제어알고리즘을 개발하는 것을 목적으로 한다.

2. 응축형가스보일러 동적모델

Fig. 1에는 응축형가스보일러시스템의 블럭선도를 보여주고있다. 그림에서 보듯이 응축형가스보일러시스템에서는 연소기에서 발생된 열량이 현열열교환기와 잠열열교환기로 구성된 직교류형보일러열교환기를 통해 공급수에 전달되며 보일

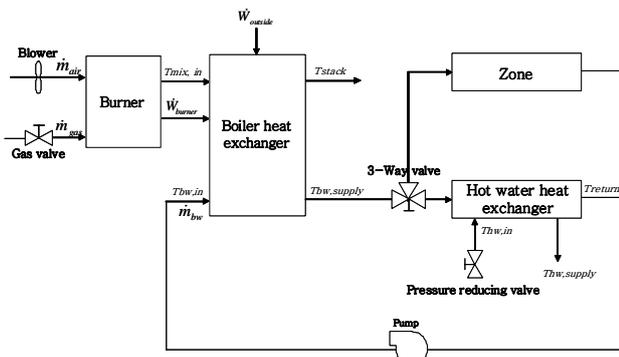


Fig. 1 A condensing gas boiler system.

러열교환기에서 배출되는 고온의 공급수는 온돌과 온수열교환기 등을 통해 작업공간으로 열을 제공한 후 저온의 환수로 환수된다.

응축형가스보일러시스템을 효과적으로 운용하기 위해서 공급수온도, 펌프신호의 설정알고리즘과 가스밸브, 송풍기의 제어알고리즘이 필요하며 이를 개발하기위해 송풍기, 가스밸브, 펌프, 파이프, 연소기, 보일러열교환기, 온수열교환기로 구성된 보일러시스템의 동적현상을 모사할 수 있는 동적모델을 사용하였다.^(3,4)

3. 응축형가스보일러 알고리즘

응축형가스보일러를 효율적으로 제어하기 위하여 Fig. 2와 같은 제어흐름도를 사용하였다. 그림에서 보듯이 공급수온도는 설정알고리즘에 의해 설정한 후 열교환기의 안전과 효율을 고려한 재설정알고리즘에 의해 재설정하고, 펌프신호는 재설정된 공급수온도를 사용하여 설정하며, 가스밸브와 송풍기의 위치는 제어알고리즘에 의해 제어한다. 가스밸브와 송풍기는 매 10초마다 제

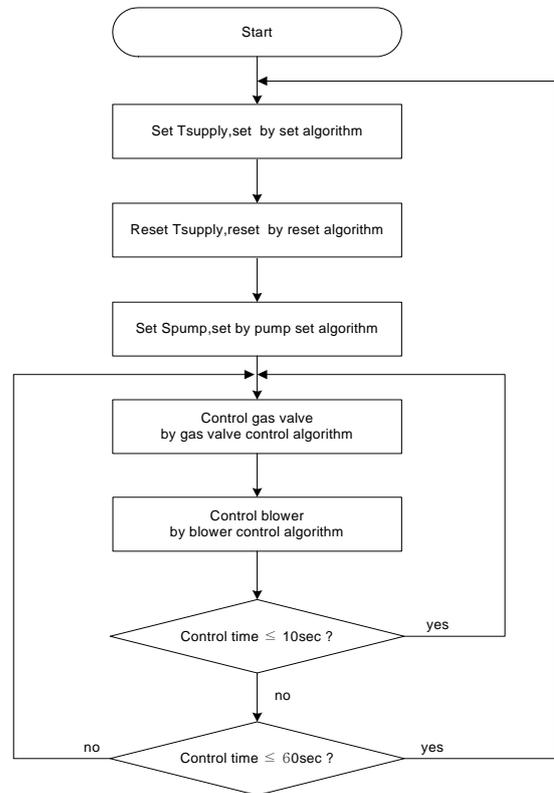


Fig. 2 Control flow diagram.

어하고 공급수온도재설정과 펌프신호설정은 매 60초마다 계산한다.

3.1 설정알고리즘

가스보일러를 통해 실내에서 요구되는 부하를 제공하기 위하여 공급수의 양과 온도를 제어한다. 먼저 펌프신호($S_{pump,set}$)를 펌프의 최소신호($S_{pump,min}$)로 가정한 후 공급수설정온도($T_{supply,set}$)를 계산한다. 공급수설정온도($T_{supply,set}$)는 실내부하($Load$)를 나타내는 식 (1)에 보일러 열손실이 고려된 $Load$ 의 5%⁽¹⁾를 가산한 후 식 (2)에 의해 계산하며

$$Load = (T_{supply,before} - T_{return}) \times S_{pump,before} \quad (1)$$

$$T_{supply,set} = \frac{1.05Load}{S_{pump,min}} + T_{return} \quad (2)$$

여기서 $T_{supply,before}$ 는 이전 공급수온도, T_{return} 은 현재 환수온도, $S_{pump,before}$ 는 이전 펌프신호를 의미한다.

$T_{supply,set}$ 은 필요에 따라 Fig. 3을 사용하여 공급수재설정온도($T_{supply,reset}$)로 재설정한다. 식 (2)로부터 계산된 $T_{supply,set}$ 이 공급수설정최저온도($T_{supply,min}$)보다 낮을 때에는 $T_{supply,set}$ 을 $T_{supply,min}$ 으로 재설정하고, 공급수설정최고온도($T_{supply,max}$)보다 높을 때에는 $T_{supply,max}$ 로 재설정한다. $T_{supply,min}$ 과 $T_{supply,max}$ 는 실내열교환기의 열교환특성과 내구성을 고려하여 40°C와 60

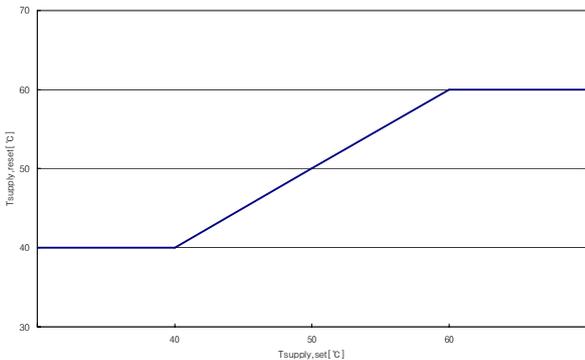


Fig. 3 Supply water temperature resetpoint algorithm.

°C로 각각 선정^(5,6)하였다.

$T_{supply,set}$ 이 $T_{supply,reset}$ 보다 작을 경우 $S_{pump,set}$ 를 $S_{pump,min}$ 으로 설정하지만 $T_{supply,set}$ 이 $T_{supply,reset}$ 보다 클 경우 제공되는 열용량부족을 보완하기 위하여 식 (3)을 사용하여 설정하며

$$S_{pump,set} = \frac{1.05Load}{(T_{supply,reset} - T_{return})} \quad (3)$$

여기서 $S_{pump,set}$ 은 $S_{pump,min}$ 과 1사이의 신호로써 $S_{pump,min}$ 을 0.33으로 선정하였다.

3.2 제어알고리즘

매 10초마다 공급수의 온도를 설정온도로 제어하기 위하여 퍼지로그직을 사용하였다. 식 (4)와 같이 공급수의 설정된 온도와 실제온도와의 오차를 나타내는 ΔTe 와, 식 (5)와 같이 이전의 ΔTe 값인 ΔTe_{-1} 과 현재의 ΔTe 의 차를 나타내는 $\Delta \dot{Te}$ 의 기울기 $\dot{\Delta Te}$ 를 입력으로 선정하였고 가스밸브상대위치($\Delta S_{gasvalve}$)를 출력으로 선정하였다. 입력과 출력에 사용한 멤버쉽은 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에 나타나 있으며 사용한 법칙은 Table 1에 나타나 있다. 추론방법으로는 MIN-MAX 방법을 사용하였고, 역퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다.⁽⁷⁾

$$\Delta Te = T_{supply,set} - T_{supply} \quad (4)$$

$$\dot{\Delta Te} = \Delta Te_{-1} - \Delta Te \quad (5)$$

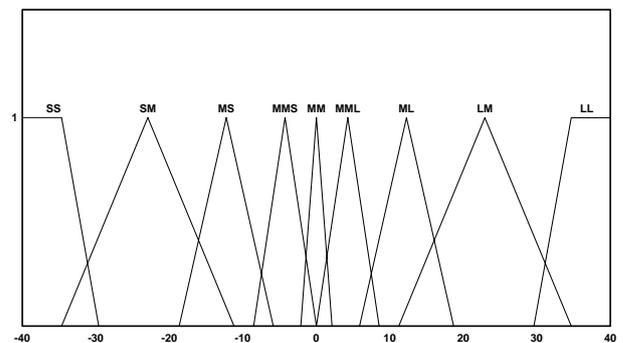


Fig. 4 Membership for ΔTe .

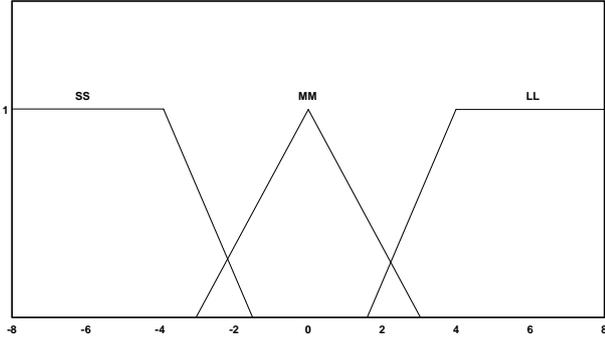


Fig. 5 Membership for ΔT_e .

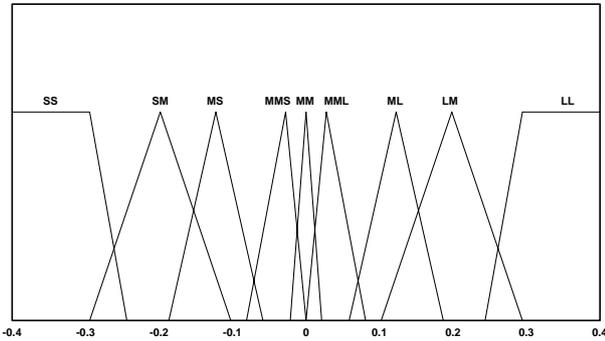


Fig. 6 Membership for $\Delta S_{gas\ valve}$.

Table 1 Rule base for the gas valve control algorithm

$\Delta S_{gas\ valve}$	ΔT_e								
	SS	SM	MS	MM _S	MM	MM _L	ML	LM	LL
SS	SS	SM	MS	MM _S	MM	MM _L	ML	ML	LL
MM	SS	SM	MS	MM _S	MM	MM _L	ML	LM	LL
LL	SS	MS	MS	MM	MM	MM _L	ML	LM	LL

송풍기제어를 위해 송풍기신호는 가스밸브와 당량비 0.8로 연동하여 구동하게 구성하였다.

4. 시뮬레이션 결과

제어알고리즘의 성능을 시뮬레이션하기 위하여 Table 2와 같은 정적데이터와 Table 3과 같은 동적데이터를 사용하였으며⁽⁸⁾ 운전시작 후 초기과도기 상태인 180초까지 $T_{supply,reset}$ 은 50℃, $S_{pump, set}$ 와 $S_{gas\ valve}$ 는 0.5로 가정하였다.

개발된 제어알고리즘의 제어성능을 분석하기

Table 2 Static data used for the simulation

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 used for the simulation (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

위하여 Fig. 7과 같이 시간에 따라 변화하는 T_{return} 을 사용하였으며 Fig. 8에서 Fig. 12까지는 제어결과를 보여준다.

Fig. 8에는 $T_{supply, set}$ 과 $T_{supply, reset}$ 을 보여주고 있다. $T_{supply, reset}$ 은 초기과도기 상태에서 초기 설정온도 50℃로 유지하다가 그 후 $T_{supply, set}$ 이 60℃보다 크게 되어 60℃로 재설정되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 9에는 $T_{supply, reset}$ 과 T_{supply} 를 보여주고 있다. 초기과도기를 거친 후 공급수는 변화하는 환수온도와 공급수유량에도 불구하고 주어진 설정온도로 적절히 제어되어 공급되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 10에는 가스밸브와 펌프의 제어위치를 보

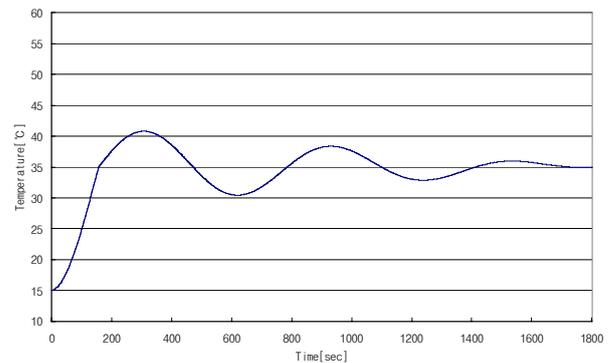


Fig. 7 Return water temperature.

여준다. 초기과도기를 거친 후 가스밸브와 펌프는 주어진 제어알고리즘에 따라 적절히 제어되었으며 특히 $S_{pump,set}$ 이 최소신호 0.33보다 크게 설정되어 요구되는 Load를 만족시키는 것을 알 수 있었다.

Fig. 11은 연소가스의 온도변화를 보여주고 있고, Fig 12는 보일러열교환기의 전체면적 중 현열과 잠열열교환에 사용된 면적을 나타내고 있다. 450초까지는 잠열열교환면적이 많았으나 그

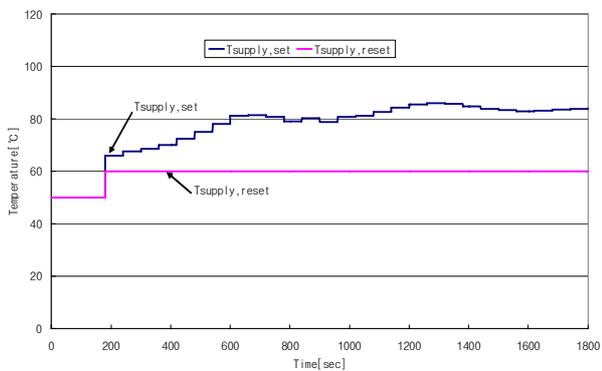


Fig. 8 Supply water reset temperature.

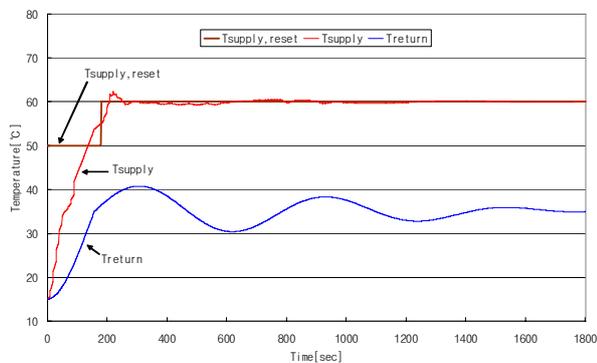


Fig. 9 Supply water temperature.

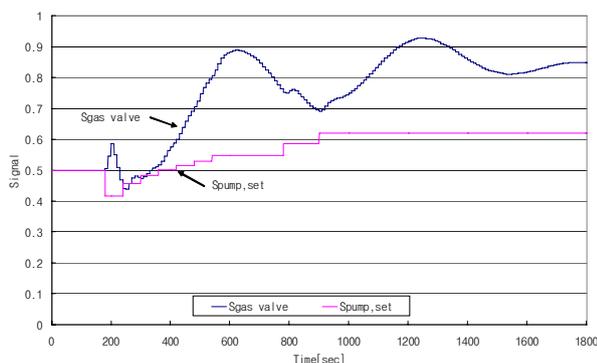


Fig. 10 Gas valve and pump position.

후 현열열교환면적이 상대적으로 많음을 확인하였다. 또한 시뮬레이션 기간 1800초 동안 연소가스가 공급수에 전달한 총열량은 45057.7 kJ이었고 사용한 총 가스량은 0.91kg이었으므로 가스의 저위 발열량 50113 kJ/kg을 기준으로 가스보일러의 효율이 99.3%로 운용되었음을 알 수 있었다.⁽⁹⁾

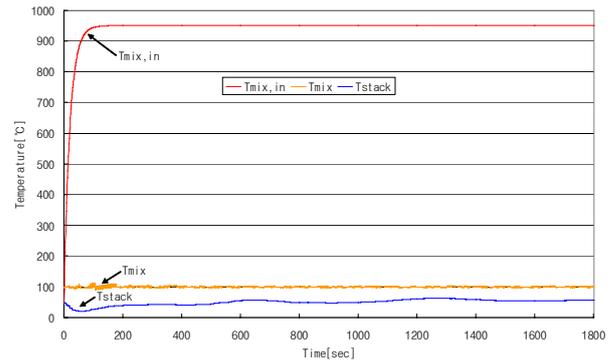


Fig. 11 Exhaust gas temperature.

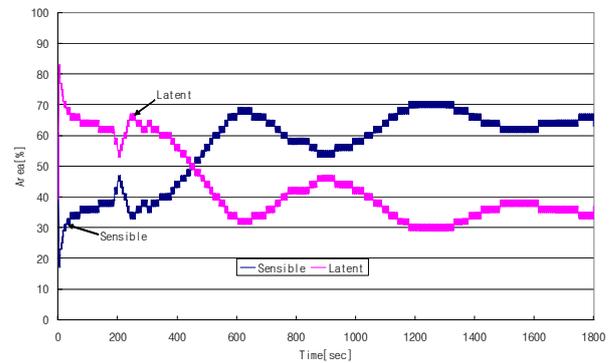


Fig. 12 Sensible and latent heat exchanger area.

5. 결론

응축형가스보일러시스템의 제어알고리즘을 효과적으로 개발하기 위하여 송풍기, 가스밸브, 펌프, 파이프, 연소기, 보일러열교환기, 온수열교환기로 구성된 보일러시스템의 동적현상을 모사할 수 있는 동적모델을 사용하였다.

응축형가스보일러의 효율적인 제어를 위해 설정알고리즘과 제어알고리즘을 개발하였다. 설정알고리즘은 실내에서 요구되는 부하에 따라 공급수온도를 설정하는 공급수온도설정알고리즘, 열교환기의 안전 및 효율을 고려하여 공급수온도를

재설정하는 공급수온도재설정알고리즘, 공급수온도를 낮게 재설정함으로써 오는 열용량 부족을 보상 할 수 있는 펌프설정알고리즘으로 구성하였다. 제어알고리즘은 공급수온도를 재설정된 온도로 유지하기 위해 공급수온도제어오차와 오차의 기울기를 입력변수로하고 가스밸브의 제어신호를 출력변수로한 퍼지회로를 이용한 가스밸브제어알고리즘과 가스밸브와 당량비 0.8로 연동되어 구동하는 송풍기제어알고리즘으로 구성하였다.

개발된 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여 시간에 따라 변화하는 환수온도를 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 실제 적용되고 있는 응축형가스보일러시스템의 성능과 매우 유사함을 확인하였으므로 개발한 제어알고리즘은 응축형가스보일러의 제어에 효과적으로 사용할 수 있을 것이라 판단된다.

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. Jang, K., 2004, A study on the development of low-NOx condensing gas boiler system, Ph.D. Thesis, Inha University.
3. Han, D., 2007, The development of control algorithms of a condensing gas boiler system, Report, Kookmin University.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
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.