

# 바닥난방용 자동온도조절기의 난방방식에 따른 에너지성능 해석용 프로그램에 관한 연구

안 병 천 , 송 재 엽<sup>†</sup>, 이 태 원\* , 김 용 기\*

경원대학교 건축설비공학과, <sup>†</sup> 경원대학교 건축설비공학과 대학원, \*한국건설기술연구원 화재 및 설비연구부

## Energy Performance Analysis Program with Heating methods of Automatic Thermostatic Valves in Floor Radiant Heating System

Byung-Cheon Ahn, Jae-Yeob Song<sup>†</sup>, Tae-Won Lee\*, Yong-Ki Kim\*

**ABSTRACT:** In this study, the energy characteristic of automatic thermostatic valves according to each heating method in floor radiant heating system were researched by computer simulation. For the analysis of unsteady heat transfer phenomena in household, the method of using electrical equivalent R-C circuit is applied, and radiation heat transfer between panel, ceiling and walls in household is calculated by enclosure analysis method.

The parametric study on heating method, valve's control method, outdoor air condition, supply heating water temperature, supply flow rate are performed to compare energy characteristic, respectively.

**Key words:** Floor radiant heating system(바닥난방시스템), Automatic thermostatic Valves (자동온도조절기), Continuous heating(연속난방), Intermittent heating(간헐난방)

### 1. 서 론

국내 공동주택의 대부분은 온수에 의한 바닥 복사 난방시스템을 채택하고 있으며, 열원의 생산방식에 따라 분류하면 세대별로 설치된 보일러에 의해 난방운전을 하는 개별난방방식과 각 단지별 중앙기계실에서 생산된 열원을 열교환기를 거쳐 각 세대에 공급하는 중앙난방방식, 그리고 열병합 발전이나 산업폐열을 이용하여 온수를 공급하는 지역난방방식 등으로 구분할 수 있다.

이러한 열원의 생산방식에 따른 난방방식 중 지역난방방식의 경우는 24시간 연속적으로 공급

하는 연속난방방식이며, 중앙난방방식은 계획된 시간동안 하루 2~4차례 간헐적으로 난방온수를 공급하는 간헐난방방식이다.

이러한 난방방식들은 일반적으로 실내온도를 쾌적한 범위로 유지하기 위하여 자동온도조절기를 설치하여 연동제어를 하고 있으나, 간헐난방과 연속난방의 경우 각 밸브의 특성에 따라 실내 온도 변화의 동적특성과 에너지 소모특성이 각각 다르게 나타나게 되는 것은 당연한 일이다.

따라서 각 난방방식에 따라 자동온도조절기의 적용에 있어서 세심한 주의가 요구되며, 수많은 실험과 연구를 통하여 이를 해결해 나가야 할 것이다.

일반적으로 수행되는 실험실 및 현장 실측에 기반을 둔 연구는 시간과 비용이 상당히 소요되며, 특히 공동주택 건물 등에 대해서는 바닥복사의 열 유동 특성 실험을 위한 투자는 더욱 커질 수밖에

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-31-750-5314; fax: +82-31-750-5314  
E-mail address: finalfortres@naver.com

없다. 이에 비해 시뮬레이션을 이용한 연구는 여러 인자들의 관계를 고려한 해석이 가능하여 최근 까지 많은 해석적 방법론 및 범용 시뮬레이션 프로그램을 활용한 연구들이 수행되어 왔다.

그러나 이러한 연구들은 바닥복사 난방시스템에 대하여 여러 제어방법에 따른 연구가 대부분이거나 부분적 열전달특성에 관한 연구 같은 어느 한 부분에 국한된 연구로써 이루어져 왔으며, 혹은 TRNSYS나 ESP-r 등의 범용 시뮬레이션 프로그램을 사용함으로 인하여 수많은 변화가 일어나는 바닥복사 난방시스템에 대하여 단순히 몇 가지의 온도변화만을 살펴봄으로써 사용의 한계성을 나타내고 있다.

따라서, 본 연구에서는 공동주택의 세대모델링을 비롯해 온수공급특성 및 외기온도, 자동온도조절기 특성을 적용할 수 있는 바닥난방용 자동온도조절기의 시뮬레이션 해석프로그램을 개발하고 이를 활용하여 간헐난방 및 연속난방의 난방방식에 대해 자동온도조절기를 적용함으로써 나타나는 에너지성능을 분석하였다.

## 2. 시뮬레이션 해석방법

시뮬레이션을 위한 에너지 해석 프로그램은 공급온수온도 및 공급유량 등의 여러 운전조건을 통하여 실내 공기 및 벽면 바닥 등의 온도를 해석할 수 있도록 하였으며, 환경조건인 외기온도변화에 대해 해석이 가능하도록 구성되어 있다.

이와 같은 시뮬레이션 프로그램을 통해 자동온도조절기의 제어방식을 기온감지 비례제어, 기온감지 On-Off제어, 수온감지 비례제어로 구분하고 이를 적용하였으며, 이를 연속난방과 간헐난방 방식에 대해 각각 적용함으로써 에너지 특성을 살펴 보았다.

표 1은 본 연구에서 수행한 시뮬레이션 해석 조건을 표시한 것으로써, 난방방식은 연속난방과 간헐난방, 자동온도조절기의 제어방식은 제어를 수행하지 않는 경우와 기온감지 비례제어 및 On-Off 제어, 수온감지 비례제어의 경우로 구분하였으며, 외기온도 조건은 24시간동안 sin그래프 형태로 변화하는  $-10\sim 0^{\circ}\text{C}$ ,  $-5\sim 5^{\circ}\text{C}$ ,  $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 의 3가지 조건을 적용하였다. 또한 온수공급조건은 공급온수온도는  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$ 의 4가지이며, 공급유량은 2LPM, 3LPM, 4LPM의 총 3가지

Table 1 Operating conditions.

Condition	Classification			
	Continuous heating		Intermittent heating	
Heating methods	No control method	Air Temp. proportional valve	Air Temp. On-Off valve	Water Temp. proportional valve
Outdoor air Temp.	$-10\sim 0^{\circ}\text{C}$	$-5\sim 5^{\circ}\text{C}$	$0\sim 10^{\circ}\text{C}$	
Supply water Temp.	$40^{\circ}\text{C}$	$50^{\circ}\text{C}$	$60^{\circ}\text{C}$	$70^{\circ}\text{C}$
Supply flow rate	2LPM	3LPM	4LPM	

의 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다.

다음과 같은 운전조건으로 하여 시뮬레이션 해석을 수행한 후 각 조건별로 1일간 에너지 소비량 및 소비유량을 계산하고 이를 분석하여 난방방식에 따라 자동온도조절기가 적용되었을 경우에 대한 에너지 특성을 비교하였으며, 각 경우에 대한 차이를 살펴보기 위하여 실내공기평균온도가 다르게 나타날 경우 모든 경우에 대하여 실내공기평균 온도  $20^{\circ}\text{C}$ 로 온도보정을 한 후에 차이점을 비교분석 하였다.

난방방식 중 연속난방의 온수공급시간은 하루 24시간동안이며, 간헐운전을 위한 온수의 공급시간은 선행 연구결과를 참조하여 하루 11시간 30분(4시간/3.5시간/4시간 3회운전)으로 설정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1과 그림 2는 우선적으로 자동온도조절기의 각 제어방법에 따라 나타나는 동적특성을 살펴 보기 위하여 연속난방에서 72시간동안의 유량 및 열량변화를 나타낸 그림으로써 제어를 수행할 경우 실내공기온도를  $23^{\circ}\text{C}$ 로 유지하는 제어설정치를 적용하였을 때의 변화특성을 살펴본 것이다.

그림 1은 각 제어방법별 유량변화 특성을 나타낸 그림으로써 그림에서 살펴볼 때 밸브제어를 수행하지 않았을 경우는 최고유량인 3LPM이 계속적으로 공급되었으며, 기온감지 비례제어방식의 경우는 초기에 실내공기온도가 설정온도에 다다를 때까지 최고유량을 유지하다가 도달한 후에는 0.6~0.8LPM의 유량변화특성을 보였다. 수온감지 비례제어방식의 경우는 초기에 환수온도 설정치에

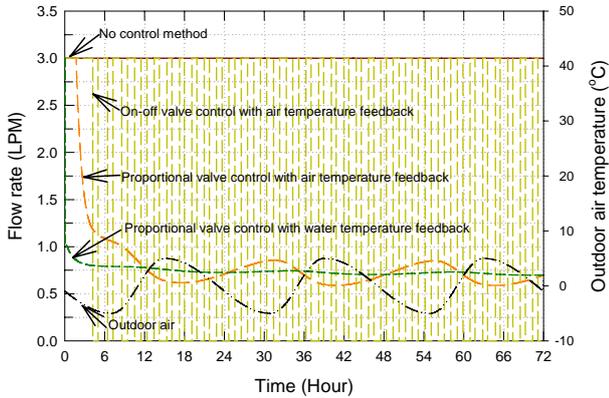


Fig. 1 The flow rate dynamic characteristics of each control method.

도달할 때까지 빠른 속도로 유량이 줄어든 이후 환수온도 설정치에 도달했을 때부터 점차적으로 느린 유량 변화 감소특성을 나타내었으며, 약 0.7LPM까지 감소하였으며, 기온감지 On-Off제어의 경우는 유량의 공급과 중단이 계속적으로 반복되었다. 각 제어방법별 유량변화에 특성에서 살펴볼 때 기온감지 비례제어 및 수온감지 비례제어의 경우 실내공기온도나 환수온도를 일정하게 유지시킬 때 유량이 최고유량보다 적은 유량으로 충분히 제어가 가능한 측면을 보였다.

그림 2는 각 제어방법별 공급열량 변화 특성을 나타낸 것으로써 밸브제어를 적용하지 않은 경우보다 기온감지 비례제어방식과 수온감지 비례제어방식이 공급열량이 적게 나타났다. 또한 그림에서는 나타나지는 잘 나타나지는 않으나 총 공급열량을 살펴보았을 때 기온감지 On-Off방식 또한 다른 제어방식과 마찬가지로 제어를 하지 않은 경우보다 열량이 적게 나타났다. 이로써 살펴볼 때 바닥사 난방시스템에서 밸브를 통하여 공급유량을 제어할 경우 실내의 과도난방을 줄여줄 수 있으

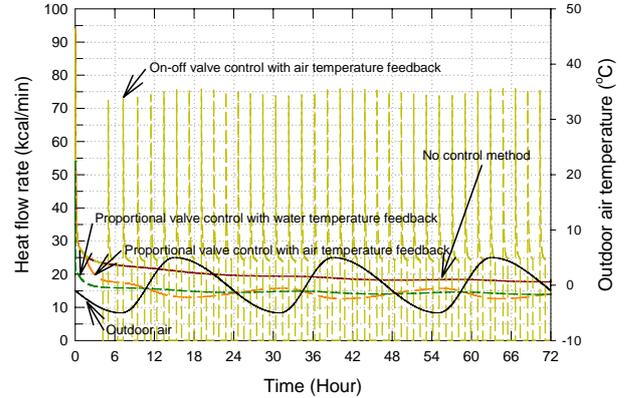


Fig. 2 The heat flow rate dynamic characteristics of each control method.

며, 또한 에너지 절감에 있어서 충분한 효과를 나타낼 것으로 보인다.

표 2와 표 3은 연속난방방식의 경우 외기온도, 공급온수온도와 공급유량 등의 각 설계 및 운전변수, 그리고 각 제어방법을 변화 시키면서 계산한 결과 중 하루 동안에 소비되는 난방용 에너지의 소비량 및 단위에너지 당 소비유량을 나타낸 표이다. 여기서 No control의 경우 열량 보정을 하지 않은 값이며, 밸브를 적용했을 경우는 실내공기온도를 20°C로 유지하기 위한 제어설정치를 설정한 경우이다.

우선 표 2에서 살펴볼 때 외기온도에 따른 변화를 보면 제어의 수행여부나 제어방법에 관계없이 온수의 공급온도 및 공급유량 등 모든 운전변수의 변화 범위에서 외기온도가 증가함에 따라 난방부하가 감소하므로 1일간의 난방용 에너지의 소비량이 감소하는 경향을 나타내었으며, 일반적으로 잘 알려져 있는 바와 같이 외기온도가 증가함에 따라 너지 절감율도 증가하는 경향이 나타났다.

한편 각각의 외기온도 하에서 제어를 하지 않는

Table 2 Energy consumption(continuous heating). <kcal/day>

Operating conditions (OAT : Outdoor Air Temperature) (SWT : Supply Water Temperature) (FR : Flow Rate)	No control (MIT : The Mean Indoor Temperature)	Air temperature sensing		Water temperature sensing
		proportional control	On-Off control	Proportional control
OAT:-5~5°C, SWT:50°C, FR:3LPM	32210(MIT:25.1°C)	17039	17079	17042
OAT:-5~5°C, SWT:50°C, FR:2LPM	30148(MIT:24.4°C)	17021	17138	16998
OAT:-5~5°C, SWT:50°C, FR:4LPM	33177(MIT:25.4°C)	17051	17152	17093
OAT:-10~0°C, SWT:50°C, FR:3LPM	32819(MIT:24.4°C)	19748	19802	19704
OAT:0~10°C, SWT:50°C, FR:3LPM	31400(MIT:25.7°C)	14340	14215	14379
OAT:-5~5°C, SWT:40°C, FR:3LPM	22857(MIT:22.0°C)	17028	17204	16992
OAT:-5~5°C, SWT:60°C, FR:3LPM	41449(MIT:28.0°C)	17046	17291	17124

Table 3 Flow rate per energy consumption(continuous heating). <l/kcal>

Operating conditions (OAT : Outdoor Air Temperature) (SWT : Supply Water Temperature) (FR : Flow Rate)	No control	Air temperature sensing		Water temperature sensing
		proportional control	On-Off control	Proportional control
OAT:-5~5℃, SWT:50℃, FR:3LPM	0.134	0.039	0.090	0.039
OAT:-5~5℃, SWT:50℃, FR:2LPM	0.095	0.039	0.071	0.039
OAT:-5~5℃, SWT:50℃, FR:4LPM	0.173	0.039	0.101	0.039
OAT:-10~0℃, SWT:50℃, FR:3LPM	0.132	0.041	0.093	0.039
OAT:0~10℃, SWT:50℃, FR:3LPM	0.137	0.037	0.085	0.039
OAT:-5~5℃, SWT:40℃, FR:3LPM	0.189	0.073	0.160	0.063
OAT:-5~5℃, SWT:60℃, FR:3LPM	0.104	0.027	0.059	0.028

경우에는 온수의 공급온도 및 공급유량이 증가할수록 에너지소비량이 증가하는 반면, 제어를 수행하는 경우에는 온수의 공급온도와 공급유량 등 운전조건은 물론 제어방법에도 관계없이 그다지 큰 차이를 보이지 않고 거의 비슷한 에너지소비량을 보여주고 있음을 알 수 있다. 이로써 미루어 볼 때 연속난방의 경우 에너지소비량은 외기온도에는 큰 영향을 받으나 난방시스템의 운전조건 및 자동온도조절기의 제어방법에는 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

표 3에서 단위에너지 소비량 당 소비유량을 살펴볼 때 먼저 제어를 수행하지 않는 경우 외기온도 변화에 대해서는 증가하는 경향은 보이나 큰 차이는 나타나지 않았으며, 공급온수온도와 공급유량의 차이로 인하여 단위에너지 소비량 당 소비유량의 차이가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

또한 제어방법별로 살펴봤을 때 비례제어방식의 경우가 On-Off제어의 경우보다 전체적으로 단위에너지 소비량 당 소비유량이 적게 나타나는 것을 알 수 있는데 이로써 미루어볼 때 연속난방방식에서 자동온도조절기의 비례제어방식을 채택할 경우

On-Off방식보다 난방시스템에 열량을 공급하기 위한 반송동력을 크게 줄여줄 수 있어 효과적인 난방을 할 수 있음을 알 수 있었다.

표 4와 표 5는 간헐난방방식의 경우 외기온도, 공급온수온도와 공급유량 등의 각 설계 및 운전변수, 그리고 각 제어방법을 변화 시키면서 계산한 결과 중 하루 동안에 소비되는 난방용 에너지의 소비량 및 단위에너지 당 소비유량을 나타낸 표이다. 여기서 제어를 수행하는 경우 제어설정치는 실내온도 20℃를 유지하는 설정치이며, “-”표시는 밸브를 적용했을 경우 밸브의 제어가 이루어지지 않는 경우를 의미한다.

먼저 표 4에서 살펴보면 앞서 연속난방방식의 경우와는 다르게 간헐난방방식의 경우 기후조건을 포함하여 운전조건과 제어방법에 따라서도 상당한 에너지 소모량의 차이를 나타내고 있으며, 이는 간헐난방방식의 경우 중앙기계실에서 난방순환수의 공급을 단속적으로 제어하는 방법에 따라 달라지는 것이다.

특히 각 제어방법에 따라서 에너지 소모량이 큰 차이를 보이고 있는데 이는 앞서 연속난방에서 사

Table 4 Energy consumption(intermittent heating). <kcal/day>

Operating conditions (OAT : Outdoor Air Temperature) (SWT : Supply Water Temperature) (FR : Flow Rate)	No control (MIT : The Mean Indoor Temperature)	Air temperature sensing		Water temperature sensing
		Proportional control	On-Off control	Proportional control
OAT:-5~5℃, SWT:50℃, FR:3LPM	13679(MIT:18.81)	12393	13287	7515
OAT:-5~5℃, SWT:50℃, FR:2LPM	11638(MIT:18.15)	11475	11638	7229
OAT:-5~5℃, SWT:50℃, FR:4LPM	15000(MIT:19.24)	12724	12942	7670
OAT:-10~0℃, SWT:50℃, FR:3LPM	13995(MIT:18.03)	13729	13995	7962
OAT:0~10℃, SWT:50℃, FR:3LPM	13364(MIT:19.58)	10725	10846	7063
OAT:-5~5℃, SWT:40℃, FR:3LPM	9995(MIT:17.62)	-	-	6424
OAT:-5~5℃, SWT:60℃, FR:3LPM	17157(MIT:20.05)	12979	12556	8422
OAT:-5~5℃, SWT:70℃, FR:3LPM	20412(MIT:20.84)	13261	13102	9206

Table 5 Flow rate per energy consumption(intermittent heating). <1/kcal>

Operating conditions (OAT : Outdoor Air Temperature) (SWT : Supply Water Temperature) (FR : Flow Rate)	No control	Air temperature sensing		Water temperature sensing
		Proportional control	On-Off control	Proportional control
OAT:-5~5℃, SWT:50℃, FR:3LPM	0.152	0.15	0.153	0.126
OAT:-5~5℃, SWT:50℃, FR:2LPM	0.119	0.119	0.119	0.11
OAT:-5~5℃, SWT:50℃, FR:4LPM	0.185	0.178	0.19	0.14
OAT:-10~0℃, SWT:50℃, FR:3LPM	0.148	0.147	0.148	0.124
OAT:0~10℃, SWT:50℃, FR:3LPM	0.155	0.154	0.164	0.129
OAT:-5~5℃, SWT:40℃, FR:3LPM	0.208	-	-	0.177
OAT:-5~5℃, SWT:60℃, FR:3LPM	0.121	0.120	0.132	0.099
OAT:-5~5℃, SWT:70℃, FR:3LPM	0.102	0.101	0.116	0.081

용한 제어설정치를 그대로 적용함에 따라 열량공급에 있어 차이가 크게 나타나기 때문이다. 따라서 간헐난방에서는 운전조건 등에 맞추어 적당한 자동온도조절기의 선택이 무엇보다 중요할 것으로 판단된다.

표 5에서 간헐난방의 단위에너지 소비량 당 소비유량을 살펴보면 연속난방에 비하여 전체적으로 큰 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 간헐난방이 단속적으로 온수공급이 이루어짐에 따라 최대유량 공급시간이 길어짐으로 나타나는 현상이며, 또한 제어를 수행한 경우 제어를 수행하지 않은 경우보다 연속난방방식에 비해 단위에너지 소비량 당 소비유량이 큰 차이가 나타나지 않음을 알 수 있는데, 간헐난방의 단속적인 운전으로 인하여 밸브에 의한 유량제어시간이 연속난방에 비해 훨씬 작기 때문이다. 이로써 미루어볼 때 앞서 설명한 바와 같이 간헐난방에서 자동온도조절기를 적용할 경우 적당한 제어설정치의 선정이 쾌적한 실내 열환경 유지에 있어서 무엇보다 중요할 것으로 사료된다.

#### 4. 자동온도조절기의 성능분석용 프로그램

위 장에서 자동온도조절밸브의 에너지 특성을 해석하기 위하여 사용한 소스프로그램을 활용하여 다음과 같은 패키지프로그램의 형태로 개발하였다. 본 프로그램은 난방용 자동온도 조절기에 대한 성능 분석용 프로그램으로써 바닥복사 난방시스템에 대해 난방용 자동온도 조절기를 적용함에 따른 세대 내실 별 공기 및 바닥 등의 온도 변화 특성을 포함하여 실별 에너지 유동 특성을 해석할 수 있으며 실별 운전기간 중 최고, 최저 온도 및

그에 따른 난방용 자동온도 조절기의 성능 예측 분석용으로 활용할 수 있다.

그림 3은 이에 대한 프로그램의 예시화면을 나타낸 것으로 세대의 평면 및 구조에 관한 정보는 물론, 난방운전조건, 기후조건, 밸브의 제어특성 등에 관한 자료를 입력하고 실행 후 계산결과 확인이 가능하도록 구성되었다. 따라서 앞서 설명한 자동온도조절밸브의 제어설정치 재설정 등의 어려움 해소 및 자동온도조절밸브업체의 적용설계를 위한 시간 및 비용절감 등의 측면에서 많은 효과를 가져 올 수 있을 것으로 사료된다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 바닥난방용 자동온도조절기에 대해 간헐난방 및 연속난방방식에서 다양한 운전조건 및 환경조건에 대해 에너지특성 수치 시뮬레이션 해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연속난방의 경우 에너지 소비량은 외기온도에는 큰 영향을 받으나 난방시스템의 운전조건 및 자동온도조절기의 제어방법에는 큰 영향을 받지 않으며, 비례제어방식이 On-Off방식보다 열량공급을 위한 반송동력을 크게 줄여주어 효과적인 난방을 수행할 수 있다.

2) 간헐난방의 경우 온수공급을 단속적으로 운전하는 특성상 쾌적한 실내열환경을 위하여 자동온도조절기의 적당한 제어설정치의 적용이 무엇보다 중요하다.

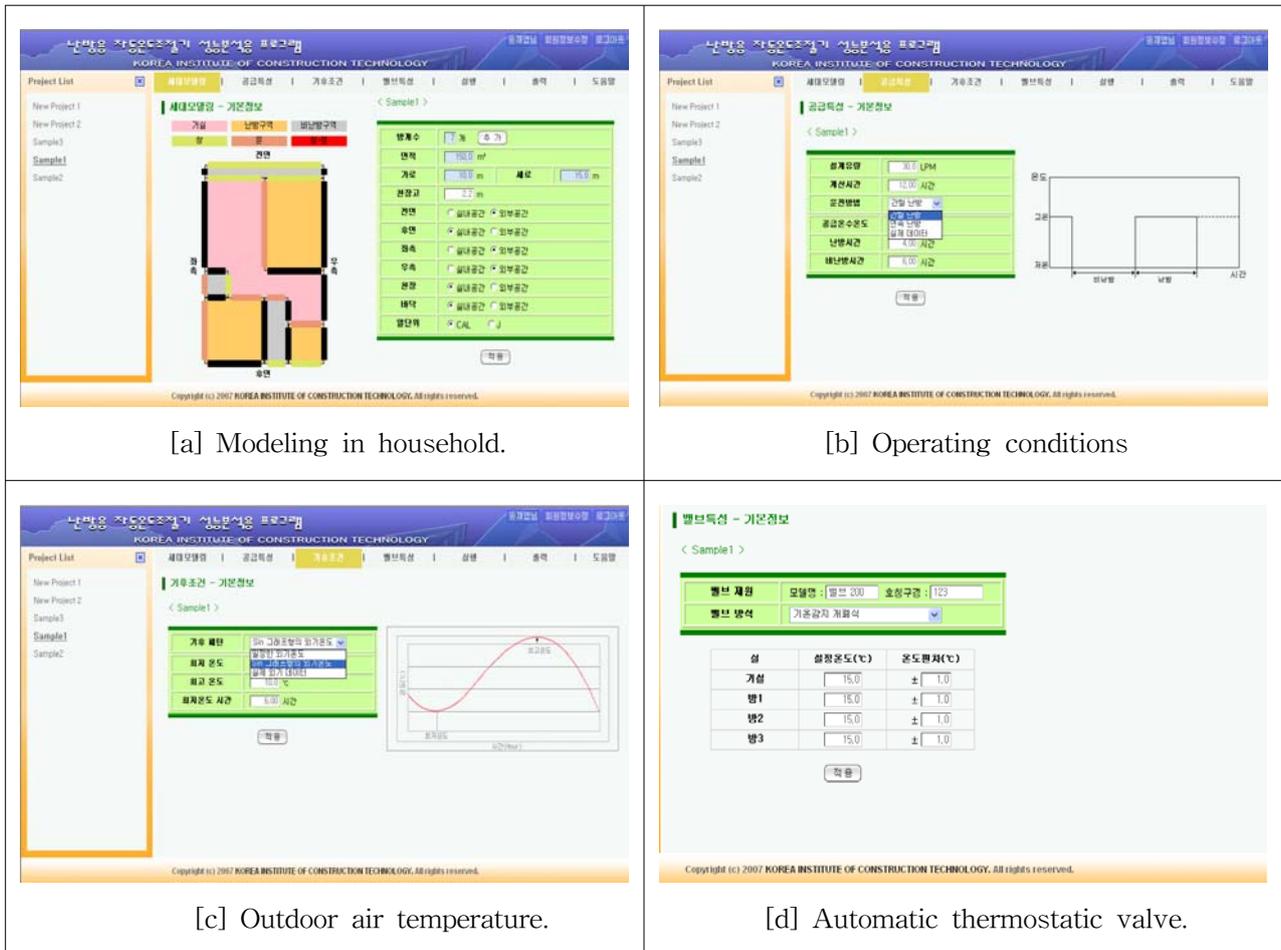


Fig. 3 Performance evaluation program of automatic thermostatic valves.

3) 본 연구에서 개발된 자동온도조절기의 성능 해석용 프로그램을 활용할 경우 자동온도조절기의 제어설정치의 선정이나 적용설계를 위한 시간 및 비용절감 등에 있어서 많은 도움이 될 것이라 사료된다.

### 참고문헌

1. Kim, K. W. et al, 2001.12, "An Experimental Study on the Control Methods of Radiant Heating Floor Heating Systems", Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering vol 13, no 12, pp.1297-1305
2. Yeo, M. S. et al, 2004.5, "A Study on the Individual Room Control of Radiant Floor Heating System in Apartment Buildings", Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, vol 16, no 5, pp.421-429
3. Song, J. Y, Ahn, B. C. et al, 2006.6 "Simulation and Experimental Study for Energy Flow Dynamics of Floor Radiant Heating System", Proceedings of the SAREK 2006, Summer Annual Conference, pp.927-932
4. Choi, W, K, Kim, J, M. 2007, "A Study on the Thermal Modeling Method of the Under Floor Heating System in Apartment", Journal of Architectural institute of Korea, vol. 23, no. 4, pp. 175-184
5. Song, J. Y, Ahn, B. C. et al, 2005, "A study on the Performance of Automatic Thermostatic Valves for Hot Water Heating System in Residential Buildings", Proceedings of the SAREK 2005 Winter Annual Conference, pp.457-462