

난방용 자동온도조절기 성능분석용 프로그램 및 패키지 개발

김 용 기, 우 남 섭, 이 태 원*, 안 병 천*

한국건설기술연구원 설비플랜트연구실, *경원대학교 건축설비공학과

A Development of the Performance Analysis Program Package of the Automatic Temperature Control System for Heating

Yong-Ki Kim, Nam-Sub Woo, Tae-Won Lee[†] and Byung-Cheon Ahn^{*}

Plant Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

^{*}Dept. of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, Gyeonggi 461-701, Korea

ABSTRACT: Various automatic temperature control systems have been used widely in Korea for the conservation of heating energy and the enhancement of thermal comfort in residential buildings. But the heating control performance for automatic temperature control systems extensively vary with the design and operational conditions of the heating system, the climate condition and others. It was introduced in this study a numerical calculation program package to analyze heating control characteristics of the automatic temperature control system. This package is able to analyze the room air temperature, return water temperature, supplied heating flux and flow rate, and so on. One the other hand, the simulation results were verified by comparing with the field test results.

Key words: Heating control(난방제어), Automatic temperature control system(자동온도조절기), Performance analysis(성능분석), Program package(프로그램 패키지)

1. 서 론

최근 들어 국민의 생활수준이 향상되면서 쾌적한 주거공간의 요구가 증가하게 되었고 난방용 자동온도조절기에 대한 수요 및 기술향상의 필요성도 증대되었다. 이에 따라 근래에 들어 전동모터를 이용한 기온감지식 제품과 형상기억합금을 이용한 수온감지식 제품 등이 생산되어 유통되고 있으나, 이들 난방용 자동온도조절기의 제어특성 및 난방열량 제어효과, 에너지절약 성능에 관한 자료 및 연구는 아직까지 부족한 실정이다.

이에 따라 안 및 송 등^{(1),(2)}은 난방용 자동온도조절기의 성능해석에 대한 연구를 통해 실내 열환경 및 난방열량에 대한 해석이 가능한 시뮬레이션 프로그램을 구성하여 자동온도조절기의 적용에 따른 난방제어특성을 연구하였으며, 바닥사 난방시스템의 에너지 유통특성에 관한 시뮬레이션 및 실험적인 연구를 통해 프로그램에 대한 검증은 수행하였다.

이에 본 연구에서는 선행연구^{(1),(2)}의 해석에 사용된 프로그램을 이용하여 세대 모델링, 난방수 공급특성, 기후조건, 밸브특성 등을 입력조건으로 하여 각 실의 실내공기온도, 환수온도, 공급열량 등을 출력 결과물로 산출할 수 있는 난방용 자동온도조절기 성능분석용 패키지를 개발하였고, 패키지의 구성 및 사용방법 등을 소개하고자 한다.

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-910-0587 ; fax: +82-31-910-0491

E-mail address: twlee@kict.re.kr

2. 프로그램 모델링 방법

먼저 Fig. 1은 단위 난방공간에서의 열흐름의 개념도를 도시한 것으로, 실내에서의 열전달 현상은 방바닥 및 천정 그리고 각 벽면 자체 내에서의 전도 열전달, 실내공기와의 대류 열전달, 온수공급에 의한 가열표면인 방바닥과 천정표면 및 비가열 표면인 각 벽면 사이의 복사열전달 등으로 구성된다.

또한 본 연구에서는 난방공간 내에서 각 표면 사이의 복사열전달량을 계산하기 위하여 Gebhart의 밀폐된 공간의 해석방법(enclosure analysis method)을 사용하였다. 먼저 복사에너지 해석을 위한 단순화된 공간모델에서 난방공간의 각 면($k=1, 2, \dots, n$: n 개의 면)에서의 복사열전달량, q_{rk} 은 식 (1)로 표시할 수 있다.

$$q_{rk} = A_k \cdot \varepsilon_k \cdot \sigma \cdot T_k^4 - \sum_{j=1}^n A_j \cdot \varepsilon_j \cdot \sigma \cdot T_j^4 \cdot G_{jk}$$

$$G_{jk} = F_{j-k} \cdot \varepsilon_k + F_{j-k} \cdot \rho_1 \cdot G_{1k} + \dots + F_{j-n} \cdot \rho_n \cdot G_{nk}$$

$$(j=1, 2, \dots, n)$$

식 (1)

여기서 σ , ε_k , ρ_k 및 F_{j-k} 는 각각 볼츠만 상수, 방사율(emissivity), 반사율(reflectivity) 및 형상계수(shape factor)이다. 또한 A_k 와 T_k 는 각 면의 면적과 온도를 나타낸다.

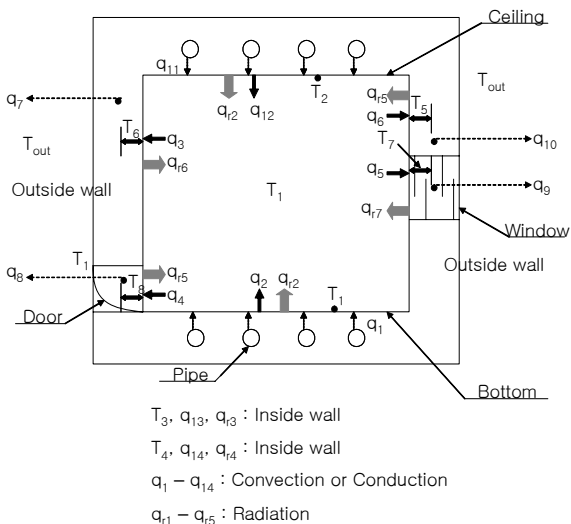


Fig. 1 A schematic diagram of heat flow for the unit heating space.

한편 일반적인 건물 구조체에 대한 비정상 열전달해석을 위해서는 유한차분해석법(FDM: Finite Difference Method)이나 응답계수법(response factor method)을 사용해 왔다. 그러나 이러한 방법들을 대단위 공동주택 온수난방시스템의 에너지해석에 적용할 경우 많은 전산시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 전산시간이 적게 소요되고, 수치해석이 간편한 등가 열저항-열용량(equivalent resistance-capacitance) 회로를 이용한 해석방법을 적용하여 세대 내의 열전달 특성을 해석하였다. Fig. 2는 각 부분의 온도와 열량과의 관계를 전기적인 등가열저항-열용량(R-C) 회로 중 실내 공기온도와 천정에 대한 회로를 표현한 것이다.

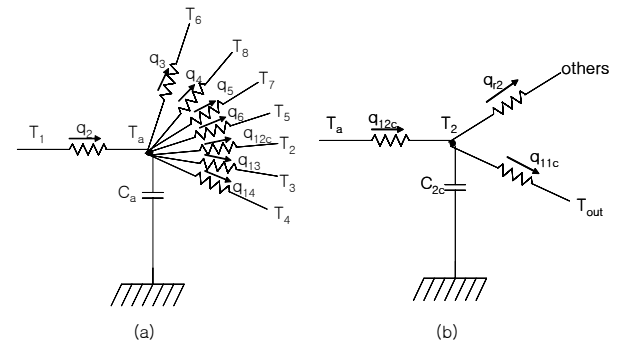


Fig. 2 A equivalent R-C circuit for the unsteady energy analysis.

본 연구에서는 등가 R-C방법을 적용함에 있어 각 벽체에 대한 열용량이 벽체의 한 점에 집중되어 있다고 가정하였고, 이 집중점(central node)에서 벽면안쪽 표면까지의 온도는 일정하다고 가정하였다. 여기서 벽체 내에서의 집중점 양쪽의 등가 열저항 값이 같도록 집중점의 위치를 선정하였다. 따라서 외기로의 열손실은 열용량 집중점과 내벽면 사이와의 양쪽 등가 열저항값이 같은 새로운 집중점을 선정하여, 이 점으로부터의 외기로의 열량손실을 고려하였다. 또한 방바닥 표면과 천정표면의 온도를 계산함에 있어서 온수관과 방바닥 표면, 온수관과 밀층천정표면 등의 구조체에 대해서는 열용량이 표면에 집중되어 있다고 가정하여 각각의 표면온도를 계산하였다. 각 부분의 온도를 계산하기 위한 관계식은 식 (2)와 같다. 여기서 C_a 는 공기의 열용량이며, C_i 는 순서대로 바닥, 천정, 네 개의 벽면, 유리창, 문의 부분의 열용량을 의미한다.

$$C_a \frac{dT_a}{dt} = q_2 + q_{12} - q_3 - q_4 - q_5 - q_6 - q_{13} - q_{14}$$

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = q_1 - q_2 - q_{r1}, \dots, C_8 \frac{dT_8}{dt} = q_4 - q_8 - q_{r8} \quad \text{식 (2)}$$

세부적인 모델링 방법은 참고문헌 (3)에 자세히 설명되어 있다.

3. 성능분석용 패키지 개발

3.1 패키지 개요

본 연구에서 개발된 패키지는 난방용 자동온도조절기의 성능분석용 도구로서 바닥복사 난방시스템에 대해 난방용 자동온도조절기를 적용함에 따른 세대 내 난방구획별 공기온도 및 바닥 등 주요 구조체의 온도변화 특성을 포함하여 난방구획별 에너지 유동특성을 해석할 수 있으며, 세대 전체는 물론 난방구획별로 운전기간 중 최고, 최저온도 및 공급유량의 변화 등을 통해 난방용 자동온도조절기의 제어특성과 에너지소비율 등 성능을 예측하기 위해 활용할 수 있을 것이다.

이를 위해 본 패키지는 먼저 기본적인 난방공간의 크기와 벽체의 구조 등의 입력을 통한 세대 모델링이 가능하고, 또한 세대의 난방 순환수의 공급방법과 공급온도 및 유량 등 서로 다른 난방 특성의 반영이 가능하며, 기후조건으로서 다양한 방법으로 외기온도를 선정할 수 있도록 하였다. 또한 제어를 수행하지 않는 경우를 포함하여 기온감지식, 수온감지식, 개폐식, 비례제어식 등 어떠한 제어방법에 대한 모델링도 가능하도록 하였다. 이와 같은 난방공간, 난방운전조건, 기후조건 및 제어특성에 대한 모델링 및 해석을 통해 각각의 난방용 자동온도조절기를 적용하는 경우의 실내 공기온도, 바닥온도, 환수온도, 공급유량, 실내 평균온도 등 다양한 정보의 예측과 동시에 제어기의 성능해석을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 패키지 구성 및 사용방법

3.2.1 세대 모델링

세대 모델링 단계에서는 검토대상의 세대에 대한 평면 및 구조에 관한 정보를 입력한다. 사용

자가 해석하고자 하는 세대의 전체 크기를 지정하고 방의 개수와 각각에 대한 바닥, 천장, 벽체의 구조들을 지정 혹은 입력한다. 먼저 Fig. 3(a)에 보인 바와 같이 우선 세대의 전체 크기와 천장의 높이를 입력한 후 세대의 전후좌우 측면이 실내와 접하는지 외부와 접하는지 선택하고 해석을 수행하게 될 열량 단위를 선택한다. 방을 추가하고자 하는 경우에는 방의 크기와 세대에서의 위치 및 방의 난방여부를 선택하고, 천장과 바닥에 대한 구조체 정보를 설정 또는 입력한다. 천장과 바닥 구조체의 설정시에는 오른쪽의 변경버튼을 클릭하여 Fig. 3(b)의 왼쪽에 나타나는 창에서 각종 구조체에 대해 미리 저장되어 있는 데이터베이스의 자료 중에서 선택할 수도 있고, 구조체를 설계하거나 해당 구조체에 대한 열용량 및 열관류율 값을 직접 계산하여 입력할 수도 있다. 각각의 방에 대한 입력을 모두 마친 후에는 Fig. 3(b)에 보인 바와 같이 도면에서 방의 벽체들을 각각 클릭하여 벽체에 관한 정보를 입력한다. 벽의 위치와 길이는 모두 이전의 방에 대한 입력을 통해서 자동적으로 입력되며, 벽에 창 또는 문이 있을 경우 그에 대한 면적을 추가적으로 입력한다. 또한 벽 구조체에 관한 정보를 변경하고자 하는 경우에는 변경 버튼을 클릭하여 바닥과 천장 입력시와 마찬가지로 벽체들의 정보를 선택 또는 입력한다. 이때 주의할 사항은 모든 정보의 입력 후에는 '적용' 버튼을 클릭하여야 새롭게 입력된 값이 적용된다.

3.2.2 난방공급특성 모델링

검토대상 세대에 채택된 난방시스템 및 운전조건에 관한 내용을 입력하는 단계이다. Fig. 3(c)에 보인 것처럼 설계유량을 lpm 단위로 입력하고 프로그램의 계산시간을 설정한다. 난방시스템 운전방법으로는 먼저 일정한 온도의 난방수를 간헐적으로 공급하는 간헐난방방식과, 역시 일정 온도의 난방수를 지속적으로 공급하는 연속난방방식, 시간에 따라 변화하는 공급온수온도 실제 데이터를 파일 형태로 입력하는 실제 데이터 입력방식의 3가지 중의 하나를 선택할 수 있다. 간헐난방방식의 경우에는 난방수의 공급온도를 입력한 후 가열기간 및 방열기간을 입력한다. 연속난방방식의 경우에는 전체 계산기간 동안 고정되어 사용될 난방수 공급온도 값을 입력한다. 실제 데

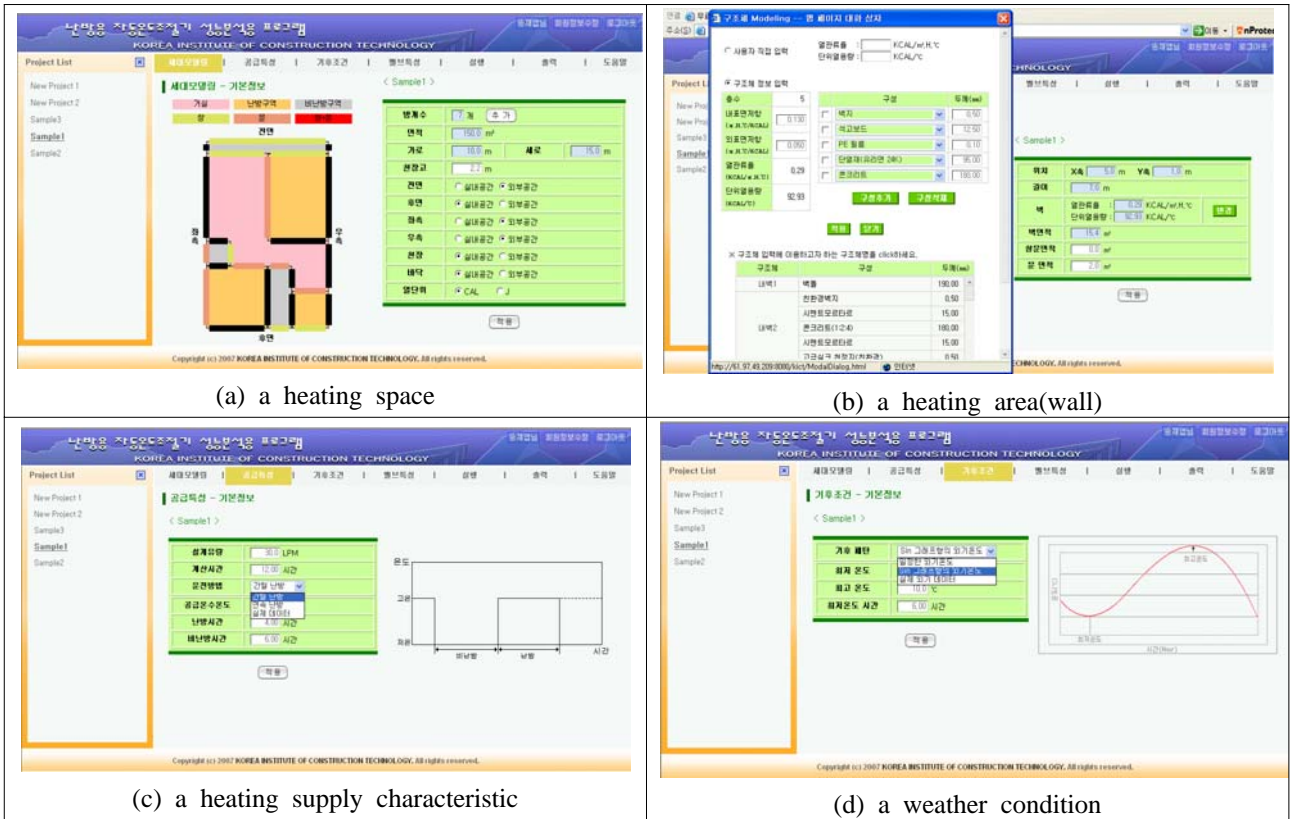


Fig. 3 Input windows for the modeling information of a performance analysis package.

이터 입력방식은 공급온수에 관한 실제 온도자료가 기록되어 있는 데이터파일과 그 데이터의 주기를 분단위로 입력하면 실시간으로 변화시켜 가며 공급온수온도를 설정하게 된다.

3.2.3 기후조건 모델링

검토대상 세대에 주어지는 외기조건을 설정하는 단계이다. 외기조건 입력방법으로 Fig. 3(d)에 보인 바와 같이 일정한 외기온도를 입력하는 방법과, 삼각함수 그래프형의 외기온도를 입력하는 방법의 3가지 중 하나를 선택할 수 있다. 일정한 외기온도를 입력하는 방법은 계산시간 동안 외기온도를 변함없이 주어진 일정한 값으로 유지하게 된다. 삼각함수 그래프형의 외기온도 입력방법은 최저온도와 최고온도 및 최저온도 시간을 입력하면 그에 따라 시간에 따른 사인(sine) 함수 형태로 변화하는 외기온도를 계산하여 적용하게 된다. 실제 외기데이터를 입력하는 방법은 앞서 설명한 난방공급특성의 경우와 마찬가지로 외기데이터가 저장되어 있는 데이터파일과 데이터 주기

를 설정해주면 그에 맞춰서 실시간으로 변화하는 외기온도를 계산 시 적용하게 된다.

3.2.4 밸브특성 모델링

세대에 적용할 난방용 자동온도조절기를 선택하는 단계이다. 밸브특성에 대한 자료 입력방법은 총 8가지 방법이 있다. 먼저 ‘밸브없음’을 선택하게 되면 밸브로 인한 유량제어 없이 설계유량을 계속적으로 공급하게 된다. 기온감지 개폐식을 선택하는 경우 Fig. 4(a)에 보인 바와 같이 각 방의 실내공기 설정값과 온도편차를 입력한다. 수온감지 선형 비례제어방식을 선택하는 경우 최대유량과 각 방의 환수온도 값 T_1 과 T_2 를 입력하면 1차 비례식으로 계산하여 환수온도 변화에 따라 유량을 제어할 수 있다. 기온감지 선형 비례제어방식을 선택하는 경우에는 최대유량과 각 방의 실내온도 값 T_1 과 T_2 를 입력하면 1차 비례식으로 계산하여 실내온도 변화에 따라 유량을 제어할 수 있다. 유량-환수온도 관계식 입력방법을 선택하면 Fig. 4(c)에 보인 것처럼 유량과 환수온도 사이의 관계식에 대해 4개의 상수

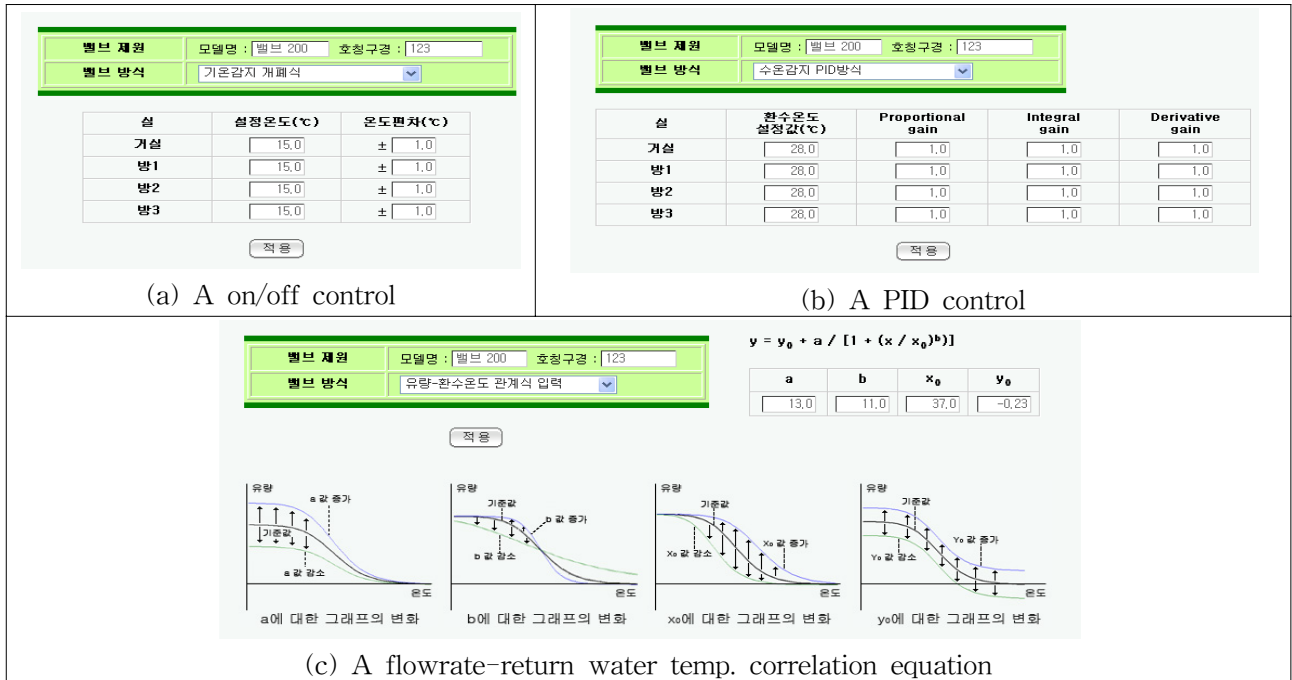


Fig. 4 Input windows for the control characteristic information of a performance analysis package.

를 입력해야 한다. 이 값은 실험을 통해 얻어지는 밸브의 유량-환수온도 특성곡선을 제시한 수식에 따라 회귀분석을 통해 입력한다. 유량-환수온도 실제데이터 입력방법을 선택하는 경우에는 환수온도에 대한 유량데이터를 직접 입력하며, 이때 데이터는 온도가 큰 값부터 순차적으로 입력한다. 수온감지 PID방식을 선택하는 경우에는 Fig. 4(b)에 보인 것과 같이 각 공간에 대하여 환수온도 설정값 및 Pgain, Igain, Dgain을 각각 입력함으로써 환수온도에 의해 유량을 PID제어하는 것이 가능하다. 여기서 각 gain값은 프로그램의 반복수행을 통해 구할 수 있다. 기온감지 PID방식을 선택하는 경우에는 그림 A.13에 보인 바와 같이 각 공간에 대하여 실내공기온도 설정값 및 Pgain, Igain, Dgain을 각각 입력함으로써 실내공기온도에 의해 유량을 PID제어할 수 있다. 여기서 각 gain값도 역시 프로그램의 반복수행을 통해 구할 수 있다.

3.2.5 실행, 출력, 도움말

이상과 같은 기본정보를 입력한 후 실행을 클릭하면 계산이 수행되며, 실행이 완료되면 실행 완료 메시지가 화면에 나타난다. 기본정보 중 제대로 입력되지 않은 부분이 있으면 실행이 되지 않으므로 입력단계에서 빠진 부분이 없도록 주의

하여야 한다. 실행이 종료된 후에는 출력버튼을 클릭함으로써 계산결과를 검토할 수 있다. 계산 결과로는 실내공기온도, 바닥온도, 공급유량, 환수온도, 공급열량의 총 5가지를 얻을 수 있다. 데이터의 화면출력 방법으로는 직접 수치데이터를 볼 수도 있고 그래프의 형태로 출력할 수도 있으며, 그래프 형태로 출력하는 경우에는 최소값과 최대값을 입력하여 그래프의 출력범위를 변경할 수도 있다(Fig. 5 참조). 또한, 데이터 내려 받기를 통해 엑셀(Excel) 파일로 저장하여 편집하는 것도 가능하다. 한편, 도움말 항목을 통해 본 프로그램을 사용하는데 있어서 자료입력시의 주의 사항 등 세부적인 사용방법이 설명되어 있다.



Fig. 5 A output window of return water temperature.

3.3 신뢰성 검증

해석결과의 검증을 위해 인공기후실에 설치된 1개의 난방실험공간과 단일세대에 대한 열적 동특성을 살펴보고자, 3시간 동안 온수를 공급한 후에 5시간 동안 온수공급을 중단하는 실험을 수행하였다. 유량 및 공급온도, 외기온도 등 제어변수들의 다양한 운전조건의 변화를 주었음에도 불구하고 계산결과는 실험결과와 유사한 동특성을 나타내며 양호한 응답특성을 보여주었다. 수치적으로 검토해 본 결과 정상상태에서의 실험결과와 계산 값의 최대오차는 0.1°C 정도로서 계산결과의 값이 실험결과에 잘 추종함을 알 수 있다.

또한, 하나의 세대에 대하여 각 실에 대한 열적 동특성을 살펴보고자 운전조건에 따라 1일간의 실험을 실시하고 실험을 통해 얻어낸 데이터를 시뮬레이션에 적용하여 실험값과 시뮬레이션에 따른 결과 값을 비교한 결과, 시뮬레이션 에너지해석을 용이하게 하기 위해 단순화 해석 모델을 적용했음에도 불구하고 실험값과 유사한 동특성을 나타내었다(Fig. 6).

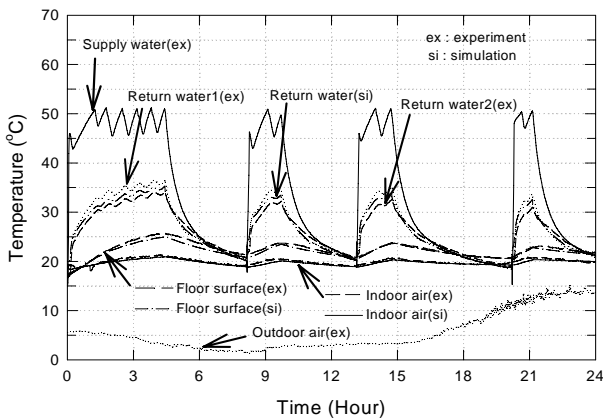


Fig. 6 Heating control characteristics for a household(a living room).

4. 결론

세대 모델링, 난방수 공급특성, 기후조건, 밸브 특성 등을 입력조건으로 하여 각 실의 실내공기 온도, 환수온도, 공급열량, 공급유량 등을 출력할 수 있게 해주는 난방용 자동온도조절기 성능분석용 상용 패키지를 개발하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 난방공간에 난방용 자동온도조절기를 적용할 때 제어특성에 따른 난방공간의 열적 거동과 에너지절약 성능을 분석하기 위해 질량집중 모델인 등가 열저항-열용량 회로를 적용한 난방공간의 해석모델을 통한 수치해석용 프로그램을 개발하였고, 현장실험을 통해 해석결과의 검증을 수행하였다.

(2) 개발된 프로그램 및 패키지는 난방용 자동온도조절기에 대한 성능분석 또는 해석용 프로그램으로서, 바닥복사 난방시스템에 대해 난방용 자동온도조절기를 적용할 때 세대 내 실별 공기, 벽체 및 바닥 등의 온도변화 특성을 포함하여 실별 에너지 유동특성의 해석과 더불어 난방용 자동온도조절기의 성능예측 및 분석용으로 활용할 수 있다.

후 기

본 연구는 지식경제부에서 시행한 2004 에너지·자원기술개발사업(과제번호: 2004-E-BD02-P-03)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 또한, 본 원고는 지식경제부 연구보고서⁽³⁾ 내용 중 일부를 발췌하여 수정 및 편집한 것입니다.

참고문헌

- Ahn, B. C. et al., 2008, Energy performance analysis program with heating methods of automatic thermostatic valves in floor radiant heating system, Proceedings of the SAREK 2008 winter annual conference, pp. 381-386.
- Song, J. Y. et al., 2007, A study on energy characteristics of automatic thermostatic valves in floor radiant heating system, Proceedings of the SAREK 2007 summer annual conference, pp. 1004-1009.
- Lee, T. W. et al., 2008, A development of the thermostatic valve combined with heat meter and the evaluation of its energy saving performance, Report of the MOCIE (2004-E-BD02-P-03), pp. 143-173, pp. 241-251.