

공동주택 난방용 자동온도조절기의 성능해석 연구

안 병 천 , 송 재 엽[†] , 이 태 원^{*} , 김 용 기^{*}

경원대학교 건축설비공학과, [†] 경원대학교 건축설비공학과 대학원, ^{*} 한국건설기술연구원 화재 및 설비연구부

A Study on the Performance of Automatic Thermostatic Valves for Hot Water Heating System in Residential Buildings

Byung-cheon Ahn, Jae-Yeob Song[†], Tae-Won Lee^{*}, Yong-Ki Kim^{*}

ABSTRACT: In this study, the performance of automatic thermostatic valves according to each heating method of a large scale residential building were researched by simulation. The flow characteristics of the entire pipe networks of the hot water radiant heating system is analyzed by using linear analysis method. For the analysis of unsteady heat transfer phenomena in each household, the method of using electric equivalent R-C circuit is applied.

Key words: Automatic thermostatic valve(자동온도조절밸브), Residential buildings(공동주택), Hot water radiant heating system(복사난방시스템), Energy consumption(에너지 소모)

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 대단위 공동주택에 24시간 연속적으로 공급하는 지역난방 방식등으로 구분할 수 있다.

바닥 복사 난방시스템에 관련된 연구로서 Friedlander⁽¹⁾와 Adelman⁽²⁾은 온수가 순환하고 있는 상태에서 외기 온도의 변화에 따라 공급온수온도를 반비례적으로 조절하는 outdoor reset control방

식을 제안하였으며, 특히 Adelman의 경우 바닥 복사 난방시스템에서 실내로 유입되는 열량의 제어에 있어서는 서모스탯(thermostat)이 효과적이지 못하다고 하였다.

MacCluer⁽³⁾는 공급온수로부터의 열전달량을 조절하고자 proportional flux modulation의 개념을 제안하였으며, Leigh⁽⁴⁾는 이 방식이 outdoor reset control방식에 비해 과도상태에서의 응답특성이 양호함을 실험적으로 연구하였다.

이에 비해 국내에서는 안^(5, 6)등이 공동주택 바닥난방시스템에 대해 순환펌프의 회전수제어에 의한 공급온수 유량제어방식을 도입하여 기존의 간헐난방 및 서모스탯을 이용한 단속난방방식들과의 실내열환경 및 에너지 소모량 측면을 비교 연구하였다. 그리고, 조⁽⁷⁾등은 실내공기온도와 바닥 표면온도를 동시에 제어대상으로 한 다인자 제어 방법을 제안하였다.

이러한 난방방식들은 일반적으로 실내온도를 쾌적한 범위로 유지하기 위하여 자동온수 조절밸브를 설치하여 연동제어를 하고 있다. 그러나 난

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-750-5314; fax: +82-31-750-5314

E-mail address: finalfortres@naver.com

방방식과 각 밸브의 특성에 따라 실내온도 변화의 동적특성과 열량변화가 각각 다르게 나타나고 있으며 최근 국내 건축물이 공급자 중심으로부터 수요자 중심으로 변화함으로써 수요자의 다양한 요구에 부응하고, 생활수준의 향상에 따른 쾌적 주거공간 수요 증대에 따라 난방용 자동온도조절기에 대한 수요 및 기술향상의 필요성이 증가하게 되었다.

1980년대 말 동력자원부에서는 건물부문의 에너지사용을 절감하고자 각 공동주택에 자동온도조절기를 의무적으로 설치 하도록 법규를 정하였으나 국내의 여건상 자동온도조절기를 생산할 수 있는 기술이나 시설 등이 없어 외국에서 수입하게 되었다. 그러나 외국에서 사용하고 있는 자동온도조절기는 바닥복사난방을 하고 있는 국내의 실정에는 맞지 않았다. 이에 따라 국내에서는 최근에 기온감지식 자동온도조절기 및 수온감지식 자동온도조절기 등이 생산되어 유통되고 있으나 자동온도조절기의 제어특성 및 난방열량 제어효과, 에너지절약 성능에 대한 자료 및 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 공동주택 중앙난방시스템에 대하여 각각의 난방방식에 따라 기온감지식 및 수온감지식 자동온도조절기의 각종 설계변수에 따른 수치 시뮬레이션을 수행함으로써 외기온도 및 실내온도의 변동들을 고려하여 자동온도조절기의 성능해석을 수행하였다.

2. 시스템 모델링

본 연구에서는 중앙난방방식을 채택한 공동주택 바닥복사난방 시스템에 대한 고효율 운전방안에 대한 연구를 위하여 대상 모델을 선정하였는데 Fig. 1은 선정된 모델의 중앙기계실, 중간기계실 및 동의 실내의 개략도를 나타낸 그림이다. Fig. 2는 본 연구에서 선정한 대단위 공동주택의 단위 세대내 온수관의 배치도를 나타낸 것이다. 세대는 방이 3개, 거실과 주방으로 구성되어 있으며, 온수는 공급헤더(header)에서 8개의 분기관으로 나뉘어 공급되어지고 있다.

도면을 토대로 원활한 에너지 해석을 위해 Fig.3과 같이 세대내의 구조를 간략화 하였으며, 드레스실 및 주방은 각각 안방과 거실면적에 포함하고, 각 방으로 통하는 출입구는 열교환이 없다고

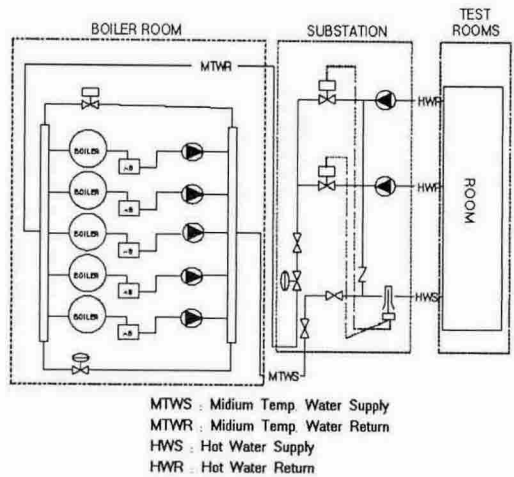


Fig. 1 Schematic diagram of heating system in residential buildings.

가정하고 생략하였다.

또한 침실 원편은 측 세대와 접하고 나머지 세 방면은 외기와 접하는 것으로 하며 각 실과 실 사이는 내벽으로 막혀있다고 가정하고 프로그램을 구성하였다.

세대 총 공급유량은 총 유량이 변할 시에 실내 유량은 전체적인 비에 의해서 결정되는 것으로 가정하여 시뮬레이션하였으며, 유량비는 열 유동 해석프로그램인 Flowmaster 6.5 를 사용하여 구해내었다.

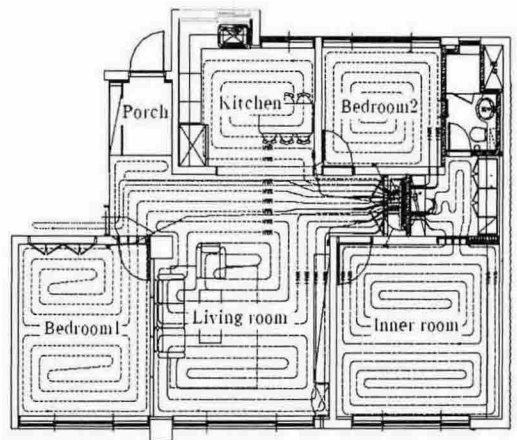


Fig. 2 Floor pipe networks in household.

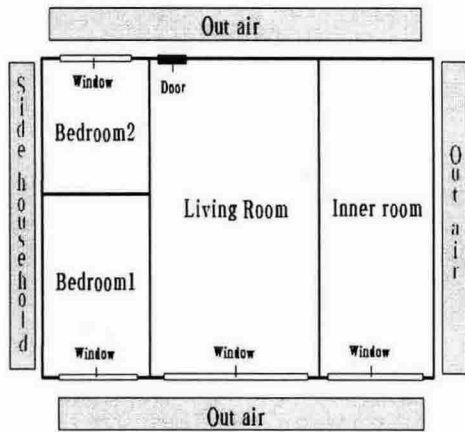


Fig. 3 Schematic diagram for heat analysis in household.

실의 공간에서의 해석은 Fig. 4의 거실의 예와 같이 수행하였다. 안방과 침실1 및 침실2는 위의 그림에서 현관문이 없는 상태이며, 침실2의 유리창은 뒤쪽에 위치한다. 그리고 안방은 오른쪽벽은 측벽으로 설계되어 있으며 침실1 및 침실2는 왼쪽벽이 외벽으로 설계되어 있다. 그리고 기준층을 대상으로 하였기 때문에 천정과 바닥은 각각 그 윗세대 및 아랫세대에 접하도록 구성되었다.

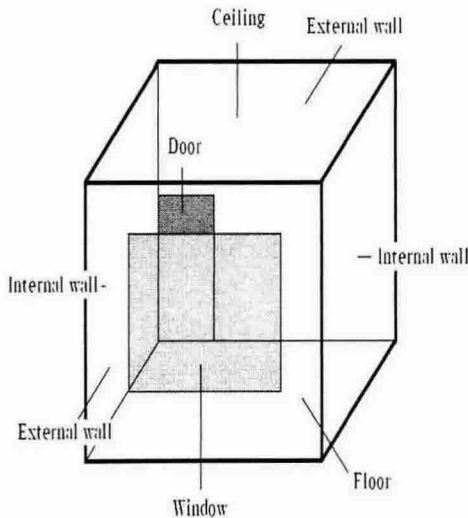


Fig. 4 Schematic diagram for heat analysis in room.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

본 연구를 위해 해석 프로그램은 간헐난방과 연속난방 및 단속난방운전방식특성을 고려할 수 있도록 하였으며 기온감지식 및 수온감지식 등 몇 가지 형식의 밸브특성(유량특성곡선)을 반영하고 시간에 따른 기후변화특성을 적용하였다.

또한 세대 내 각 실별로 자동온도조절기가 설치되는 경우에 대하여 프로그램을 구성하여 해석을 수행하였으며 밸브의 특성을 반영하기 위하여 제어방법에 따라 여섯 가지의 경우로 분류 해석하였으며 그 구분은 다음의 Table 1과 같다.

이번 해석을 위한 운전시간은 총 7일간이며 외기온도는 2005년 1월 8일부터 2005년 1월 14일까지의 서울의 건구온도를 선정하여 구성하였다.

시뮬레이션에서 사용한 적분방법은 Runge Kutta 4차 방법이며 $\Delta t=0.01$ sec로 선정하였고 프로그램의 실행을 위해 윈도우 XP환경에서 작업이 가능한 마이크로소프트사의 Fortran Powerstation version 4.0을 사용하였다. 컴퓨터는 펜티엄 2.8GHz(2.8GHz)로서 1GB RAM, 120GB HDD, 512KB 캐쉬메모리를 가지고 있다.

Table 1 Classification of control methods.

Description	Explanation
Case1	Conventional method
Case2	Water temperature sensing PID control
Case3	Air temperature sensing PID control
Case4	Water temperature sensing proportion valve
Case5	Air temperature sensing proportion valve
Case6	Air temperature sensing On-Off control

4. 결과 및 고찰

4.1 간헐난방 운전방식의 제어방법별 응답특성

간헐난방의 해석을 위해 보일러의 운전시간은 하루 동안 2시간 30분, 3시간, 3시간 3회에 걸쳐 총 8시간 30분간씩 7일 동안 운전하도록 프로그램을 수행하였다. 제어방법별 비교해석을 위해 목표

값을 23℃로 설정한 실내공기온도 PID 제어 (Case3)의 해석 후 얻어낸 실내평균온도(22.6℃)를 각 제어방법별로 적용시켜 제어기준치를 선정 해석을 수행하였다.

Fig. 5(a)는 간헐난방 제어방법별 안방온도와 바닥온도의 변화를 나타낸 그림이다. 그림을 살펴보면 실내온도가 점점 증가하고 있는데 이는 외기 온도의 영향으로 인한 것으로 보인다. 또한 아무런 제어를 하지 않은 종래의 방법(Case1)의 경우 다른 제어방법보다 실내온도가 약 1.5℃이상 높게 나타났다.

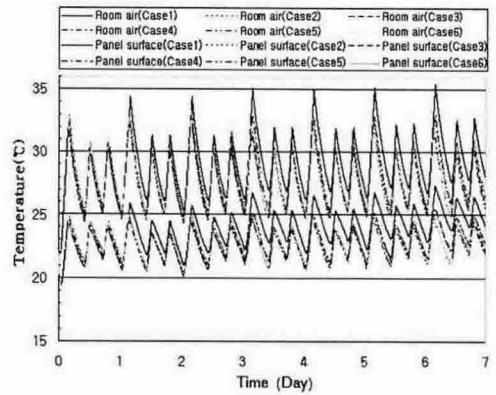
Fig. 5(b)는 간헐난방 제어방법별 안방열량의 변화를 나타낸 그림이다. 종래의 방법(Case1)과는 달리 다른 제어방법들은 운전이 끝나기 직전마다 제어가 이루어져 열량의 변화가 있으나 제어가 되고 난 후 얼마 되지 않아 열량의 공급이 중단되어 더 이상의 제어가 일어나지 않고 있으며 이와 같은 상황이 계속해서 반복되고 있다.

Fig. 5(c)는 간헐난방 제어방법별 총열량을 비교한 그래프이다. 그림14에서 살펴본 것처럼 열량의 변화로 인해 종래의 방법(Case1)과 다른 제어 방법들의 총열량 차이는 약 7%정도의 차이를 보였으며 제어방법 들 간의 차이는 최소 0.5%~최대 1%의 차이를 나타내었다.

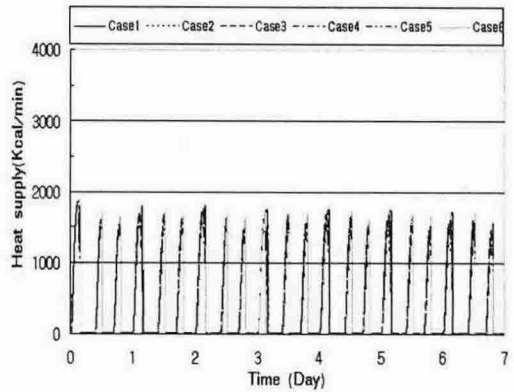
간헐난방 시 종래의 방법(Case1)에 비해 다른 제어방법들은 실의 온도차이가 적게 나타나고 열량 소비도 적으나 계획된 시간 동안의 난방온수의 공급으로 인해 유량제어가 되는 시간이 짧아 일시적인 과다난방으로 실내온도의 큰 변화폭을 크게 줄이기는 어려우며 또한 제어방법별 특성을 살펴보는 것 또한 어렵다.

4.2 연속난방 운전방식의 제어방법별 응답특성

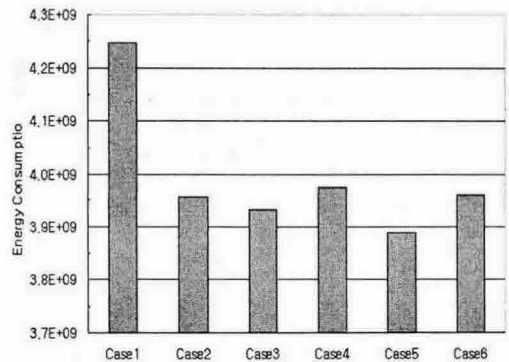
이번 연구에서 중점을 둔 연속난방에서는 실내 평균온도를 22℃, 23℃, 24℃로 유지하는 제어 설정치를 선정하여 비교해석을 수행하였다. 각각의 제어 방법에 대한 기준조건으로서 수온감지 비례 제어 방식(Case4)에서는 제어 설정치의 차이를 5℃, 기온감지 비례제어 방식(Case5)에서는 제어 설정치의 차이를 2℃, 기온감지 On-Off제어 (Case6)에서는 제어 설정치의 차이를 2℃로 선정 하였으며 온도 차이를 변화 시 각각 그에 따른 특성을 살펴보았다.



(a) Room air temperature and panel surface temperature changes



(b) Heat supply changes



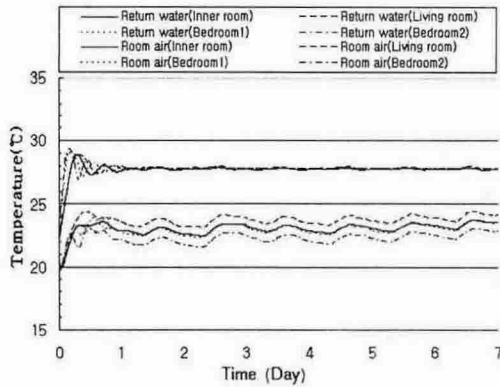
(c) Energy consumption

Fig. 5 The responses with each control method in intermittent heating system.

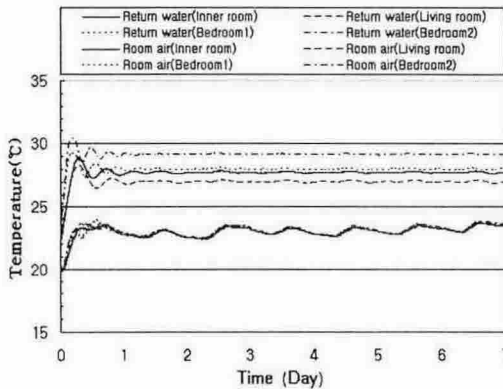
4.2.1 제어설정치의 선정

Fig. 6(a)는 수온감지 PID제어(Case2)에서 각방의 환수온도 제어 값을 하나의 값으로 제어하여 각 실의 환수온도와 실내온도를 살펴본 것이다.

이 경우에 수온은 거의 일정하게 유지되나 실내공기온도는 실별로 크게 1.5℃까지 차이가 나타났다. 이와 같은 각방의 온도 불균형을 해소하기 위해서 각방의 제어 설정치를 각각 다르게 설정하였으며 이는 기온감지 PID제어(Case3)를 통해 얻은 환수온도 평균값을 이용해 수온감지 PID제어(Case2)에 적용하였으며 실험한 결과 Fig. 6(b)과 같이 환수온도는 약 2.2℃차이를 보이거나 실내온도



(a) With constant return water temperature



(b) With different return water temperature

Fig. 6 Return water and room air temperature changes with a set point different temperatures.

는 각 실이 거의 유사하게 나타났다. 이와 같은 방법으로 각 제어 방법에 따라 각 실에 적합한 설정기준치를 적용하여 프로그램 해석을 수행하였다.

4.2.2 각 제어방법별 온도변화

Fig. 7은 수온PID제어와 기온PID제어의 환수온도 및 실내온도의 변화를 나타낸 것이다. 수온PID제어(Case2)의 경우 환수온도는 27.7~27.8℃로 거의 일정하게 유지되나 외기온도의 영향으로 인해 실내온도는 22.4~23.6℃까지 약 1.2℃차이를 나타내며 완만하게 진동한다. 그와는 달리 기온PID제어(Case3)의 경우 실내온도는 초반 진동을 제외하고는 약 0.4℃차로 근소한 차이를 보였으며 수온은 26.7~28.8℃까지 2.1℃의 차이를 나타내었다. 두 경우의 총열량을 살펴본 결과 거의 차이가 나타나지 않았다.

Fig. 8은 수온감지 비례제어밸브와 기온감지 비례제어밸브의 환수온도 및 실내온도의 변화를 나타낸 것이다. 비례제어의 특성에 따라 진동은 완만하고 PID 방식의 비교와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 수온감지비례제어(Case4)의 경우 환수온도는 약 0.1℃의 차이를 보이고 기온은 1.5℃의 차이가 나타난다. 기온감지비례제어(Case5)는 반대로 환수온도는 1℃가량 차이가 나나 기온은 0.3℃이하의 차이를 보이고 있으며 거의 23℃에 수렴하고 있음을 보인다.

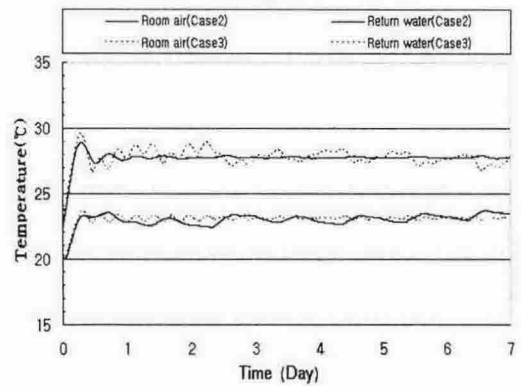


Fig. 7 The temperature responses with water temperature sensing PID control (Case2) and air temperature sensing PID control (Case3).

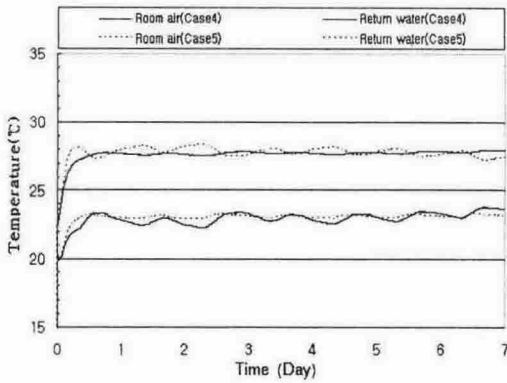


Fig. 8 The temperature responses with water temperature sensing proportion valve (Case4) and air temperature sensing proportion valve (Case5).

Fig. 9는 기온감지 On-Off 방식(Case6)에서 실내온도를 22°C, 23°C, 24°C로 유지하기 위해 제어 설정치인 환수온도를 각각 21~23°C, 22~24°C, 23~25°C로 설정한 안방의 제어 설정치 별 환수온도와 실내온도의 변화를 나타낸 그래프이다.

On-Off 방식의 특성상 실내온도의 변화에 따라 제어에 의한 진동이 나타나고 있으며 각 제어 설정치에 따라 1°C가량의 온도차이가 나타나고 있다.

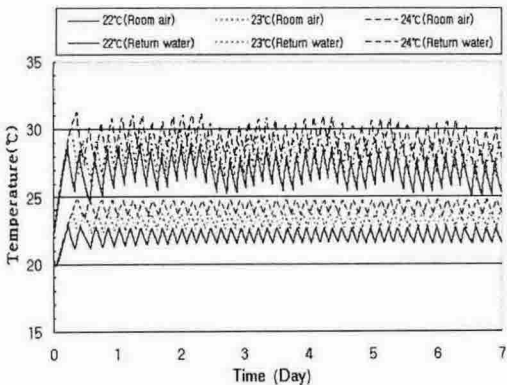


Fig. 9 The temperature changes with response for each set point in air temperature sensing on-off control (Case6).

5. 결론

공동주택 자동온도조절기에 대해 난방방식에 따라 실내 열환경 성능해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 간헐난방방식에서 제어를 하였을 경우 종래방법의 과다난방의 문제점을 줄여줄 수 있었으며 최고온도와 최저온도차 또한 줄었으나 간헐난방의 특성상 정해진 운전시간이 짧아 자동온도조절기의 특성 등을 뚜렷하게 살펴보기 어렵다.

(2) 자동온도조절기의 성능을 살펴본 결과 수온감지방식의 경우 제어설정치를 동일하게 할 경우 각실의 특징에 따라 온도의 불균형이 이루어지는 문제점이 발생하였고 환수온도를 일정하게 유지시켰으나 외기온도의 변화에 따라 실내온도의 최고온도와 최저온도차가 기온감지 방식에 비해 크게 나타났다. 이와는 달리 기온감지방식의 경우는 외기온도변화에 대해서 실내공기온도를 일정하게 유지시켰다.

(3) PID제어방식은 제어설정치까지 온도를 빠르게 도달시킬 수 있으나, 오버슈트가 발생하며 PID 제어 이득 선정이 어렵다. 이와는 달리 비례제어방식은 온도상승은 PID제어보다 느리나 오버슈트가 없어 실내의 과다난방을 초래하지 않는다.

참고문헌

1. Friedlander, M., 1986, "Premium heating with radiant slabs" Solar Age Magazine, April, pp. 66-71.
2. Adelman, D., 1988, "Some control strategies for radiant floor heating", Radiant times, pp. 4-5
3. MacCluer, C.R., 1989, "The control of radiant -slabs", ASHRAE J., September, pp.28-33.
4. Leigh, S.B., 1991, "An experimental study of the control of radiant floor heating system", ASHRAE Transactions, pp. 800-808.
5. Ahn, B. C. and Park, D. J. 1997, "Energy Dynamic Analysis of Control Methods on Floor Radiant Heating by Hot water Circulating Pump System for Apartment Houses", Journal of Japan Institute for Condominium Living, pp. 81-94.