

바닥난방시스템의 외기온도 변화특성을 고려한 운전방안에 관한 연구

A Study on the Operational Strategies for Outdoor Air Temperature Change Characteristics in a Radiant Floor Heating System

안병천(Byung-Cheon Ahn)^{1†}, 송재엽(Jae-Yeob Song)²

¹가천대학교 건축설비공학과, ²(주)나라콘트롤

¹Department of Building Equipment System Engineering, Gachon University, Seongnam 461-701, Republic of Korea

²Nara Controls Inc., Seoul 135-100, Republic of Korea

(Received August 27, 2013; revision received November 6, 2013)

Abstract In this study, the control characteristics and effects of heating control methods on the heating performance and energy consumption of a hot-water heating control system of a residential apartment were researched by simulation and experiment. The purpose of this study is to evaluate operational strategies for improving an indoor thermal environment and reducing f energy consumption in the radiant floor heating system of a residential apartment.

Key words Floor radiant heating system(바닥복사난방시스템), Operational strategies(운전방안), Outdoor reset control(외기보상제어), Energy consumption(에너지소비량)

† Corresponding author, E-mail: bcahn@gachon.ac.kr

1. 서 론

현재 국내 바닥난방시스템은 에너지 절감을 위하여 실내 공기온도에 따라 On-Off 방식의 자동 온도조절밸브를 사용하여 온수 공급을 조절하는 방식이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 이러한 방법은 고정된 공급온수 및 실내공기 설정온도에 따라 제어함으로 인하여 불필요한 에너지 소모를 야기시킬 수 있으며, 또한 기존의 On-Off 제어방식의 경우 실내공기 설정온도에 따라 온수공급이 중단되었음에도 불구하고 축열성능이 큰 바닥난방시스템의 특성으로 인하여 설정온도 이상의 과열현상이 나타나 쾌적하지 못한 실내 열환경이 발생하게 된다.

이러한 바닥난방시스템에 있어서는 외기온도 등의 환경변수와 공급 온수온도, 공급유량 및 실내 공기온도 등의 제어변수들을 고려할 수 있으며, 에너지 절감 및 실내 열환경 개선 등을 위해서는 환경 및 제어변수들의 상호 연관성을 고려한 최적운전방법의 적용이 필요하게 된다.

이에 관련된 기존의 연구들로서 Tae and Cho⁽¹⁾ 등은 중앙집중식 복사난방시스템의 연속난방에서 외기온도 보상제어를 적용함에 따라 실온제어를 하는 경우 비선

형적인 외기온도 보상제어를 적용하여 쾌적한 실내환경을 조성할 수 있으며 에너지 절약 가능성이 있다고 하였다.

또한 Kim et al.⁽²⁾ 등은 바닥복사 난방시스템의 기존 제어방식들을 제어인자에 따라 분류하고, 실온과 바닥온도의 안정성을 비교하는 제어성능실험을 실시하여 각 제어방식별 제어성능을 통합적으로 분석하였으며, Kim et al.⁽³⁾ 등은 기존 시스템의 문제점을 분석하고 공동주택의 실별 제어시스템의 제어성능 및 에너지성능에 대한 평가를 수행 및 복사난방 시스템의 적정유량 분배 방안에 대하여 제시하였다.

그리고 Song and Ahn⁽⁴⁾ 등은 바닥난방시스템의 외기온도 등의 환경변수 및 공급 온수온도, 공급유량 등의 제어변수 들을 고려하여 외기온도 변화에 따라서 실내 공기온도 및 공급 온수온도의 설정값을 변화시켜 주는 최적의 운전방안을 제시하였으며, MIMO(Multi-Input Multi-Output)시스템의 문제점을 해결하기 위해 확률밀도함수를 근거로 하는 GRNN(General Regression Neural Network) 제어방법을 적용한 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 그러나 이 연구의 경우 시뮬레이션 연구이며, 신경회로망 제어알고리즘의 현장 적용성 등을 고려해 볼 때 보다 현장 구현이 용이한 제어알고리즘 및

현장검증 등에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 바닥난방시스템의 외기온도 등의 환경변수 및 공급 온수온도, 공급유량 등의 제어 변수 들을 고려하여 실내 열환경 개선과 에너지 절감에 있어서 효과적인 외기온도 변화에 따라서 실내 공기온도 및 공급 온수온도의 설정값을 변화시켜 주는 외기온도보상 실내 공기온도 및 공급 온수온도 제어와 바닥난방시스템의 열적관성 특성을 고려한 실내공기 및 공급온수 설정온도를 외기온도, 공급 온수온도, 공급유량 등의 변화에 따라 재설정하는 현장 구현이 용이한 운전방안을 제시하였으며, 시뮬레이션 및 현장적용 실험 등을 수행하여 기존제어방식과의 제어특성에 대한 비교분석이 이루어졌다.

2. 바닥난방시스템의 최적 운전방법

바닥난방시스템의 전체 에너지 소모량(E)에 관한 관계함수는 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = f(E.V., C.V.) \quad (1)$$

여기서 E.V. = Environment Variables
C.V. = Control Variables

즉, 바닥난방시스템에 있어서 에너지 소모량은 외기온도 등의 환경변수(Environment variables)와 공급온수온도, 공급유량, 실내 공기온도 등과 같은 제어변수(Control variables)의 영향에 따라서 결정되어 진다. 따라서 바닥난방시스템의 에너지 소모량을 줄이기 위해서는 변화되는 환경변수에 따라서 제어변수의 설정값을 적절히 변화시켜주는 것이 매우 중요하게 된다.

이에 따라 본 연구에서는 바닥난방시스템에 있어서 개별난방방식을 적용한 경우 외기온도 변화특성을 고려하여 세대 내에서 공급 온수온도 및 실내 공기온도의 제어 설정값들을 변화시켜 줄 수 있다고 가정하여, 외기보상 실내 공기온도 및 공급 온수온도 제어를 수행하였으며, 또한 실내공기 설정온도와 공급 온수 설정온도를 외기온도, 공급 온수온도 및 공급유량 변화에 따라 보정하여 재설정하도록 하였다.

공기조화시스템 분야의 연구에서는 외기온도 변화에 따라 실내 쾌적온도 조건을 달리 설정하도록 하는 것이 바람직하다는 연구결과⁽⁵⁾가 있으며, 본 연구에서는 이를 고려하여 바닥난방시스템에 적용하고 기존 제어 방법과 평균 설정온도가 동일하도록 시뮬레이션 한 후 에너지 소모량을 분석하였으며, 실험적 연구도 추가 진행하였다. 먼저 Fig. 1은 본 연구에서 적용한 외기온도 변화에 따른 실내공기온도 및 공급 온수온도의 설정값의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 살펴보면

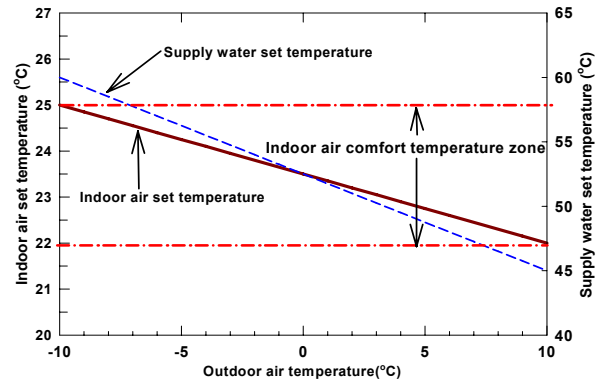


Fig. 1 The changes of Indoor air and supply water temperature for outdoor reset control.

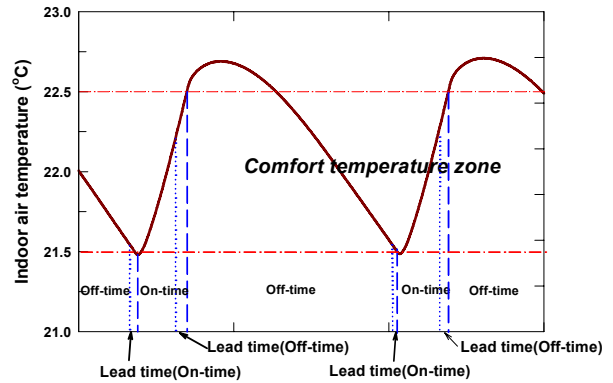


Fig. 2 Application of lead time for indoor air temperature change.

외기온도가 -10°C ~ 10°C로 변화할 때 반비례적인 관계로 실내공기 온도와 공급 온수온도가 실내 쾌적성을 해치지 않는 범위에서 변화하도록 값을 선정하였다.⁽⁴⁾

Fig. 2는 외기온도나 공급 온수온도 등의 변화에 따라 나타나는 실내 공기온도의 제어설정값을 초과하는 오버슈트를 없애주기 위하여 리드타임(Lead time) 적용을 설명하는 그림이다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 제어설정값 이상의 온도가 발생할 경우 제어설정값과 상승폭의 차이만큼의 설정온도 도달이전에 온수공급을 중단(리드타임 적용)하게 되면 오버슈트가 사라지게 되는 원리이다.

본 연구에서는 이러한 리드타임의 현장적용성을 고려하여 실내공기 설정온도의 상한값을 변경시켜 주는 방식을 활용하여 알고리즘에 적용하였으며, 언더슈트 경우는 실내 공기온도의 변화폭이 작게 나타남에 따라 소숫점 이하 둘째자리 까지 분해능하여 제어해야 하므로 실용성을 고려하여 이후 진행에 있어서는 배제하고 연구를 진행하였다.

또한 바닥난방시스템의 세대 운전의 경우 각 실별 제

어가 이루어지게 되면, 각 실의 자동 온도조절 밸브의 개폐시기가 각각 다르게 나타남에 따라 한 실에 공급되는 공급유량은 계속적으로 변화하게 된다. 예비실험 결과에 따르면 한 실에 공급되는 유량이 최소 2 LPM에서 최대 6.6 LPM까지 변화하였으며, 유량이 커졌음에도 불구하고 동일한 설정점 제어를 수행하게 되면 에너지 소모량이나 실내 열환경의 변화특성 또한 변화하게 됨에 따라 이에 관해서 적절한 제어방안이 필요하게 된다.

따라서 본 연구에서는 공급유량의 변화에 따라서 열량제어의 한 부분인 공급 온수온도를 변화시켜 줌으로써 에너지 절감 제어방안에 대하여 모색하였다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 앞서 제시한 바닥난방시스템의 최적 제어 알고리즘에 따른 실내 열환경 및 에너지 소모량 특성을 살펴보기 위한 시뮬레이션 연구를 위하여 세대 내의 열전달 해석 등에 필요한 입력자료의 선정방법 및 시뮬레이션 방법을 설명한다.

먼저 세대 내에서의 비정상 열전달 현상은 등가 R-C회로를 구성하여, 바닥, 천정 및 각 벽면의 전도 및 대류 열전달계수는 열저항을 고려한 등가 열전달계수를 구하여 사용하였다. 또한 세대 내에서의 복사 열전달량을 계산하여 바닥, 천정 및 각 벽면의 온도 변화를 고려하였는데, 복사열전달 해석을 위하여 실의 각 면적을 고려하여 구한 형상계수와 각 벽면에 대한 반사율, 방사율 등의 특성값을 구해내어 적용하였다.⁽⁶⁾

해석 프로그램은 Visual Fortran 6.5 프로그램을 사용하여 구성하였으며, 시뮬레이션 프로그램에 대한 실험적인 검증은 선행연구⁽⁶⁾를 통하여 외기온도, 공급 온수온도 및 공급유량의 변화에 대하여 환수온도, 실내 공기온도, 바닥표면온도 및 벽면온도의 해석을 실험값과 비교하여 이루어졌으며, 시뮬레이션과 실험값과의 차

이가 최대 9.5% 이내의 양호한 오차범위를 나타내었다.

시뮬레이션 대상건물은 K사 소재 건축환경 실험동으로서 3층을 시뮬레이션 대상세대로 선정하였다.⁽⁴⁾ Fig. 3은 시뮬레이션 대상세대의 바닥배관망을 나타낸 그림으로서 한 개 실의 수치해석을 위한 기준실은 실험 데이터의 확보가 용이하였던 침실 2로 선정하였다. 기준실의 면적은 총 14.8 m²로서 난방배관의 길이 70.3 m의 남향 실이다.

공급유량은 보일러 난방순환펌프의 순환유량이 10.4~16.7 LPM인 점을 감안하여 기준조건을 2 LPM(분배기 7구)으로 선정하였다.

시뮬레이션을 위한 환경 및 제어변수들의 조건(Fig. 1 참조)으로는 외기온도 -10℃~10℃, 공급 온수온도 45℃~65℃, 공급유량 1 LPM~6 LPM, 실내 공기온도 22℃~25℃ 등이며, 각 조건변화에 따른 수치해석을 수행하였다.

먼저 본 연구에서는 외기온도 변화에 따라 공급온수 및 실내공기 설정온도값을 변화시켜주는 외기온도 보상제어는 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 외기온도가 -10~10℃로 변화할 때 실내공기온도는 25~22℃, 공급온수온도는 60~45℃가 되도록 하였다. 외기온도의 변화폭을 더욱 크게 잡을 수 있겠으나 본 연구에서는 해석의 편의상 -10~10℃로 하였다.

Table 1은 실내 공기온도의 오버슈트를 제거하기 위하여 온수 공급 시간을 외기온도와 공급 온수온도에 맞추어 줄여주기 위해 선정된 리드타임을 나타낸 것이다. 그러나 일반적으로 바닥난방시스템용 자동 온도조절밸브를 시간에 따라 제어하기란 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 시간대비 실내 공기온도 변화가 비례한다고 가정하여 리드타임만큼 실내 공기온도의 설정값의 최대값을 줄여주는 방식으로 제어 알고리즘을 작성하였다.

Table 2는 공급유량 변화에 따라 변화되는 공급 온수온도의 설정값의 변화값을 나타낸 것이다. 표에서 표시한 K값은 유량변화에 따라 공급 온수온도를 변경시켜 주기 위한 보정계수(weighting factor)를 의미한다.

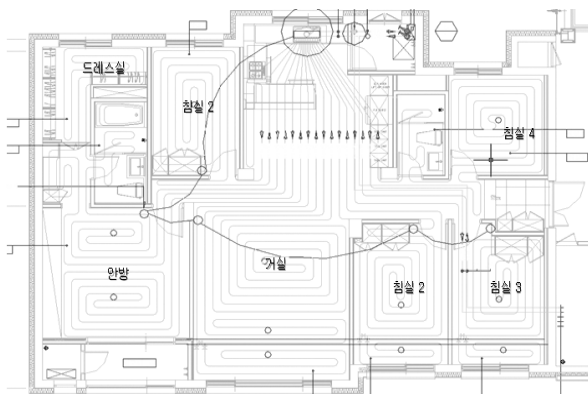


Fig. 3 Floor pipe networks in household.

Table 1 Lead time(min.) with outdoor air and supply water temperatures

Supply water temperature(℃)	Outdoor air temperature(℃)				
	-10	-5	0	5	10
65	32	40	56	61	66
60	22	30	38	50	60
55	12	18	27	38	52
50	7	13	21	31	45
45	4	9	16	25	38

Table 2 Supply water set-temperature with supply water flow-rate

Flow-rate	Supply water set-temperature
2 LPM	Reference condition(Fig. 1)
4 LPM	Reference condition $\times(1-K_1)$ K ₁ : weighting factor
6 LPM	Reference condition $\times(1-K_2)$ K ₂ : weighting factor

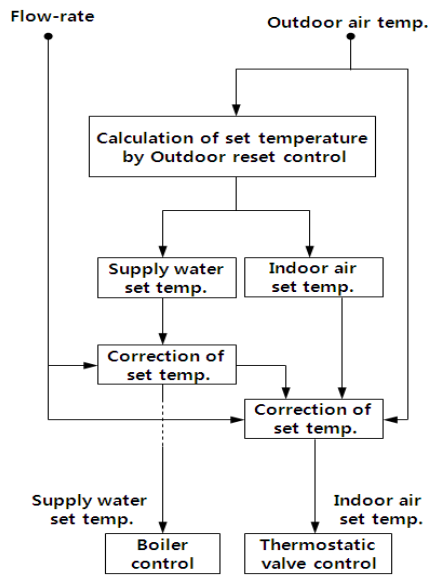


Fig. 4 Flow-diagram of control strategy for radiant floor heating system.

본 연구에서는 예비실험을 통해 각 실의 자동온도조절 밸브가 개폐함에 따라 실에 공급되는 유량변화 및 세대 전체 유량값을 측정하였으며, 예비 시뮬레이션을 통해 유량의 변화크기를 고려하여 공급 온수온도의 보정계수를 선정하였다.

Fig. 4는 바닥난방시스템의 운전방안에 대한 제어 흐름도를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 외기 온도 변화에 따라 외기온도 보상제어가 이루어져 공급 온수온도 및 실내 공기온도의 설정값이 정해지게 된다. 이후 공급유량이 변화할 경우 공급온수 설정온도에 온도 보정계수가 가해져 재설정되며, 또한 외기온도와 공급 온수온도에 따라서 실내공기 설정온도의 최대값의 보정이 이루어지게 된다.

4. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 제어 알고리즘의 현장 적용성을 검토하기 위하여 Fig. 3에 나타난 시뮬레이션 대상모델건

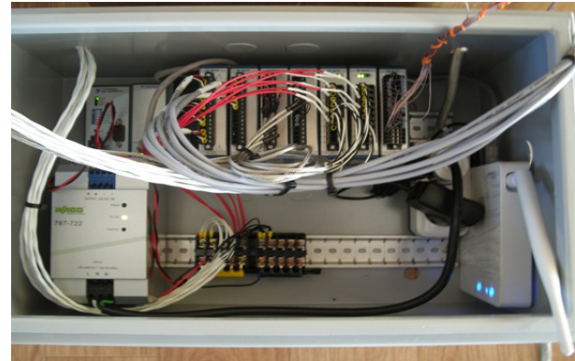


Fig. 5 Data acquisition and control system.

Table 3 Operating conditions for experiments

	Operating conditions		
	Supply water set temp.(°C)	Indoor air set temp.(°C)	Control Methods
1	60	23.5	Conventional method
2	70	25	Conventional method
3	Suggested control(Fig. 4)		

물에 바닥난방 모니터링 및 제어 시스템을 구축하고 제어변수의 변화에 따른 실험 및 최적제어 알고리즘 적용에 따른 실내 열환경 및 에너지 소모량 특성을 살펴보았다.

Fig. 5는 바닥복사난방시스템의 제어 및 모니터링용 데이터 처리장치의 모습을 나타낸 것이다. 세대 내 각 부분에 설치되어진 온도센서 및 유량센서 등을 통해 나타나는 측정값을 수집하고 데이터로 환산하여 웹을 통해 데이터를 직접적으로 모니터링 할 수 있도록 구성하였으며, 이를 통해 자동온도조절기와 보일러의 설정온도 값을 계산하여 제어를 수행할 수 있도록 구성하였다.

이에 대한 실험방법은 Table 3과 같으며, 실험의 안정성을 고려하여 각 입력값에 대하여 초기 고정값을 선정하였으며, 또한 실내공기 설정온도의 보정값에 있어서 센서의 분해능을 고려하여 최소 0.1°C 단위로 작성하였으며, 공급온수의 보정값은 1°C 단위로 하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 시뮬레이션

먼저 Fig. 6을 살펴보면 종래의 방법인 Case 1~Case 3(Table 4 참조)의 고정설정온도제어의 경우는 자동 온

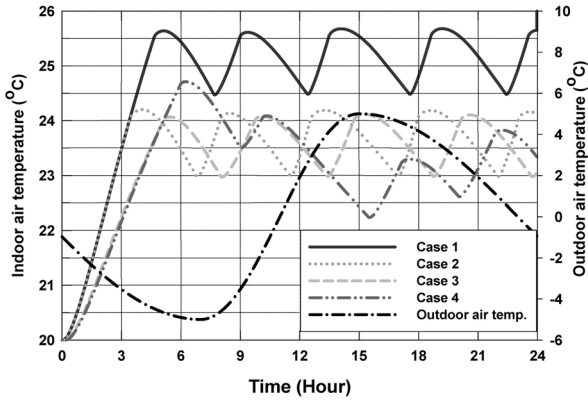


Fig. 6 Indoor air temperatures with control methods.

Table 4 Operating conditions and energy consumption with control methods

	Operating conditions	Energy consumption
Case 1	Indoor air set temp. : 25°C Supply water set temp. : 65°C	47,975(kJ/day)
Case 2	Indoor air set temp. : 23.5°C Supply water set temp. : 65°C	42,574(kJ/day)
Case 3	Indoor air set temp. : 23.5°C Supply water set temp. : 55°C	39,386(kJ/day)
Case 4	Suggested control	38,564(kJ/day)

도조절밸브의 On-Off적인 특성을 제외하고는 설정온도 값을 일정하게 유지하여 주었으나 본 연구에서 제안한 제어 알고리즘을 적용한 경우 외기온도 변화에 따라 실내 공기온도가 계속적으로 변화하는 특성을 나타내었다.

Table 4의 에너지 소모량은 각 Case의 에너지 소모량을 비교한 것으로써 외기온도 변화가 -5~5°C로 변화함에 따라 외기온도 평균 값이 0°C임을 감안하였을 때 제안된 제어 알고리즘을 적용하였을 경우가 실내공기 설정온도 23.5°C, 공급온수 설정온도 55°C인 Case 3보다 약 2%의 에너지 절감성능을 보였으며, Case 2의 경우 보다는 약 10%, 설정범위 내 최악의 조건인 Case 1 보다는 약 24%의 에너지 절감성능을 나타내었다.

5.2 현장적용실험

Fig. 7은 제안된 제어 알고리즘을 적용함에 따라 외기온도 변화에 따른 공급 온수온도 및 실내공기온도의 설정 값의 변화를 나타낸 그림이다.

그림에서 살펴보면 외기온도가 변화함에 따라 실내 공기 설정온도 및 공급온수 설정온도가 계속적으로 변

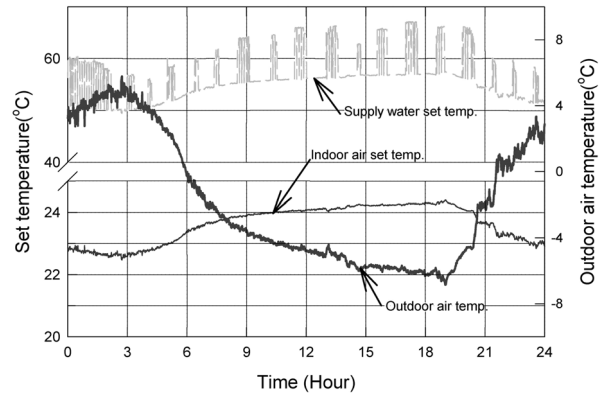


Fig. 7 Set temperature changes for indoor air and supply water with varying outdoor air temperature.

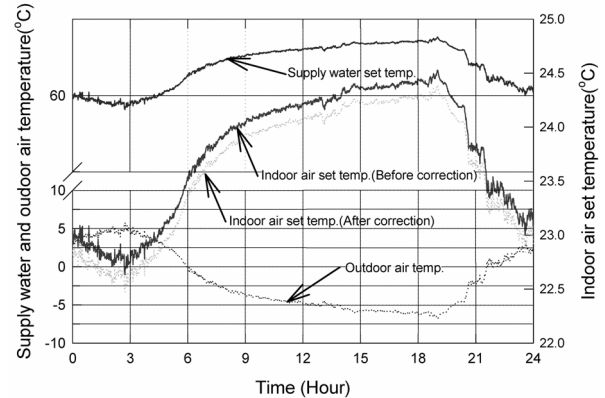


Fig. 8 Indoor air set temperature change with varying outdoor air and supply water temperatures.

화하고 있음을 알 수 있다. 먼저, 외기온도가 높을 경우 실내 공기온도 및 공급 온수온도의 설정값이 낮게 나타나며, 낮아질 경우는 높아지는 특성을 나타내었다. 실내공기온도의 설정값은 외기온도 약 -7°C~6°C 변화에 22.5°C~24.3°C의 변화가 나타났으며, 공급 온수온도는 높은 온도를 기준으로 하여 살펴보았을 때 약 55°C~67°C까지 변화하였다. 공급 온수온도의 경우 설정값이 On-Off적인 형태로 계속적으로 변화하는 이유는 공급유량의 변화에 따른 공급온수 설정온도의 보정이 이루어졌기 때문이다.

Fig. 8은 본 연구에서 제안된 제어 알고리즘을 적용하였을 때 외기온도 및 공급 온수온도 변화에 따른 실내 공기온도의 설정값 보정 전후를 비교한 그림이다.

먼저, 그림을 설명하기 앞서 실내 설정온도 변화에 대한 알고리즘에 대하여 간단히 설명하면 예측된 외기온도에 따라서 실내공기 설정온도와 공급 온수온도 설정온도가 정해지면 외기온도와 공급 온수온도에 따라

실내 공기온도의 설정점 이상의 오버슈트 현상 등의 실내공기 온도변화의 동특성이 다르게 나타나며, 이에 따라 실내 열적쾌적성 및 에너지 절감효과에 영향을 끼침에 따라 실내 공기온도의 설정 값을 다시 한번 변경시켜 주어 이러한 문제를 해소시켜 주는 것이다. 그림에서 살펴보면 실내 설정온도의 보정 전 값이 보정 후보다 최소 0.1℃~최대 0.3℃의 차이를 나타냄을 알 수 있다.

실내공기 설정온도의 보정값은 외기온도와 공급 온수온도에 따라서 변화하게 되며 외기온도나 공급 온수온도가 상대적으로 높으면 실내 설정온도를 낮춰주는 보정값이 커지게 된다. 그러나 그림에서 보여지는 바와 같이 보상을 수행하는 과정에서 외기온도에 따라서 공급 온수온도와 실내 공기온도의 설정값이 먼저 정해짐에 따라 두 값이 모두 큰 경우는 나타날 수 없으며, 이에 따라 거의 일정한 차이를 나타내며 보정한 실내 공기 설정온도가 변화하는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 밸브개도신호 변화에 따른 공급 온수온도의 설정값의 변화를 나타낸 그림이다. 일반적으로 공급유량이 변화하게 되면, 에너지 소모량이나 실내온도 변화특성에 있어서 큰 차이가 발생하게 된다. 이에 따라 공급유량이 변화할 때, 이에 알맞게 공급 온수온도의 설정값을 변화시켜 주면 에너지 절감에 효과적이다. 따라서 이를 세대 실험 알고리즘에 적용하여 공급온수 설정온도 변화에 대한 특성을 살펴본 그림이다.

먼저, 세대 배관망에 대한 유량 이동에 따른 부하를 고려해 볼 때 유량변화를 정확히 가능하기란 매우 어려움에 따라 예비실험을 통해 배관유량 변화특성을 고려해 밸브개도 신호에 따라 공급 온수설정온도를 변화시킬 수 있도록 하였다. 그림에서 나타낸 Valve open signal은 밸브가 열려있는 개수를 의미한다. 실험이 수행된 세대는 총 7구 분배기를 사용한 난방배관망이 이루어져 있으며, 그림에서 밸브개도 신호값이 “5”라는 것

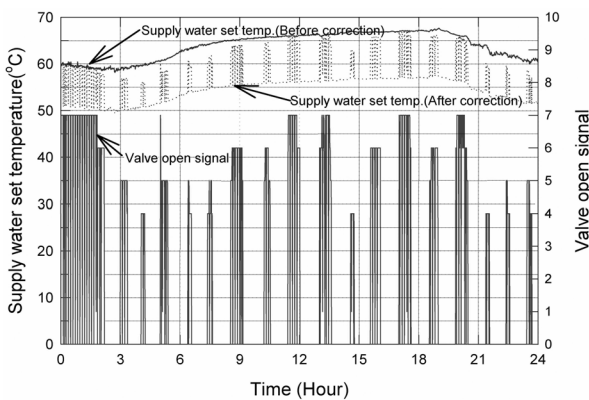


Fig. 9 Supply water set temperature change with valve open signal.

은 7개의 자동 온도조절밸브 중 총 5개가 열려있는 상태를 말한다.

그림을 살펴보면 공급 온수온도의 보정전의 설정값은 외기보상에 의하여 결정된 설정온도를 의미한다. 이 설정값이 세대 난방이 가동된 이후 실내온도제어를 통한 밸브의 개도가 변화하면서 설정값이 변화하게 되는데 밸브개도 신호에 따라 공급 온수온도의 설정값이 동일한 동특성으로 변화하게 된다. 밸브개도 신호가 클 경우 높은 공급 온수온도가 설정되며, 밸브신호가 작을 경우 상대적으로 낮은 공급 온수온도가 설정된다. 따라서 외기보상에 의하여 높은 공급 온수온도가 설정되어 있다하더라도 실내난방 제어에 따라 밸브가 많이 닫힐 경우 공급 온수온도의 설정값은 낮아지게 된다.

Fig. 10은 세대내 난방실험에서 제안된 제어 알고리즘을 적용하였을 때 외기보상 실내 설정온도 변화에 따른 실내 공기온도의 변화특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 살펴보면 초기동특성에 있어 설정온도가 외기온도 변화에 따라 높게 설정되어 있음에 따라 실내 공기온도가 지속적으로 증가하였으며, 설정온도에 도달하였을 때 유량공급이 중단되어 온도가 하강한 후, 11시가 지난 후에 설정값의 하한값에 도달하여 온도가 다시 상승하나 외기온도가 증가함에 따라 설정온도 값이 하강함에 따라 다시 온수공급이 중단되는 특성을 나타내었다. 이후 외기온도가 높아짐에 따라 설정온도가 지속적으로 낮아짐에 따라 실내 공기온도 또한 낮아짐을 알 수 있다.

이에 따라 초기에는 낮은 외기온도로 인하여 많은 열량이 공급되나 외기온도가 높아질 경우에는 난방시간이 극도로 짧아짐에 따라서 실내 쾌적온도 및 에너지 절감효과를 나타낼 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 11은 Table 3의 실험조건에서 각각의 실험결과에 대한 평균외기온도와 에너지 소모량을 비교한 것이다.

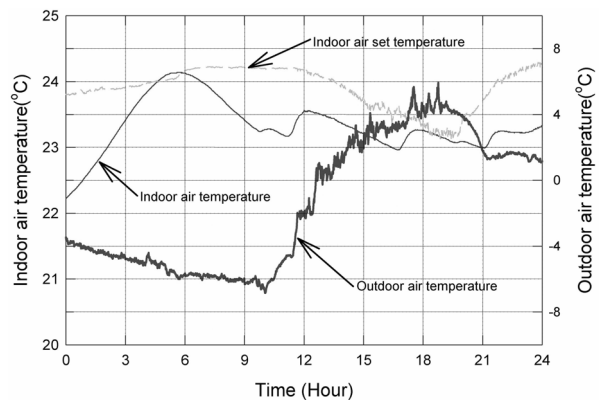


Fig. 10 Indoor air temperature change with indoor air set temperature.

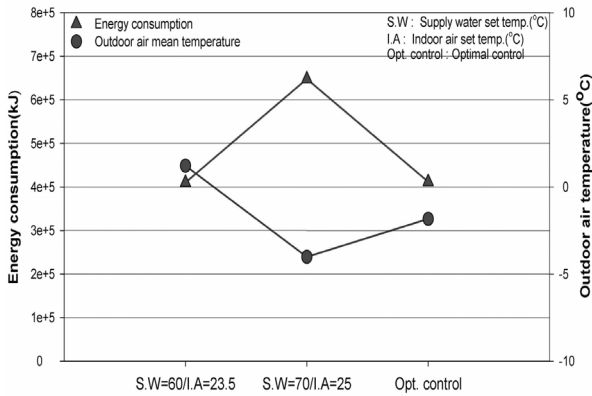


Fig. 11 Outdoor air mean temperature and energy consumption with control methods.

먼저 공급 온수온도 60℃, 실내 공기온도 23.5℃ 조건의 경우 평균 외기온도는 1.2℃, 총 공급열량은 410,268 kJ이었으며, 공급 온수온도 70℃, 실내 공기온도 25℃ 조건의 경우 평균 외기온도 -4.0℃, 총 공급열량 647,945 kJ이 소모되었다. 또한 본 연구에서 제안된 제어 알고리즘을 적용한 경우는 평균 외기온도는 -1.83℃였으며, 이 때 공급된 총 열량은 412,111 kJ로 나타났다.

이러한 결과를 바탕으로 분석해 볼 때 제안된 제어 알고리즘의 경우 공급 온수온도 60℃, 실내 공기온도 23.5℃ 조건과 비교해보면 공급열량은 약 0.4% 정도 더 소모되었으나, 외기온도 차이가 3℃ 이상 나타남을 알 수 있다. 이로써 미루어볼 때 동일한 외기온도 조건일 경우 제안된 제어 알고리즘을 적용했을 경우 더 많은 에너지 절감성능을 나타낼 수 있을 것으로 사료되며, 또한 외기온도변화에 따라 쾌적한 실내 공기 설정온도를 유지하여 줌으로써 실내 열적쾌적성까지 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 공급 온수온도 70℃, 실내 공기온도 25℃의 조건과 비교해 보았을 때 에너지 소모량에 있어서는 약 35%이상의 공급열량이 차이가 나타났으나, 상대적으로 본 연구에서 제안된 제어방법을 적용하였을 경우보다 평균 외기온도가 -2℃ 이상 낮게 나타난다. 이로써 미루어볼 때 외기보상제어 설정범위 내 최악의 조건보다 제안된 제어 알고리즘을 적용하였을 경우에는 약 20% 중후반의 에너지 절감성능을 나타낼 것으로 판단된다.

6. 결론

바닥복사 난방시스템에 있어서 개별난방방식을 적용한 경우 외기온도 변화특성을 고려하여 세대 내에서 공급온수온도 및 실내공기온도의 제어 설정값들을 변화시켜 줄 수 있도록 시뮬레이션 모델링 및 실험장치

를 구축한 상태에서 외기온도 변화에 따라 제어변수들의 설정치들을 변화시켜주는 운전 방법을 적용한 연구 수행을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 바닥난방시스템에 있어서 외기온도 등의 환경변수 변화에 따라 외기온도보상 실내 공기온도 및 공급 온수온도 제어와 공급 온수온도와 실내 공기온도 재설정 제어를 통합한 제어 알고리즘을 제안하였으며, 시뮬레이션을 수행한 결과 실내공기 평균온도가 유사한 기존방법의 고정설정점 제어와 비교하였을 때 약 10%, 과도한 난방이 이루어졌을 경우에 대비해 약 24%의 에너지 절감효과가 발생하였다.
- (2) 현장에 적용하여 실험한 결과에 있어서는 외기온도의 경우 제어할 수 없는 환경변수임에 따라 기존 제어방식과 본 연구에서 제안한 제어 방식을 적용한 경우의 환경 특성이 각각 다르게 나타났으며, 이에 따라 평균 외기온도를 고려하여 각 제어 방식 간의 상대적인 비교를 수행하였을 때 최적제어 알고리즘의 경우 공급 온수온도 60℃, 실내공기온도 23.5℃ 조건과 비교해보면 공급열량은 0.4% 정도 더 소모되었으나, 외기온도 차이가 3℃ 이상 나타났으며, 이로써 미루어볼 때 동일한 외기온도 조건일 경우 본 연구에서 제안한 제어 알고리즘을 적용했을 경우 더 많은 에너지 절감성능을 나타낼 수 있을 것으로 사료된다. 또한 공급 온수온도 70℃, 실내공기온도 25℃의 조건과 비교해 보았을 때 에너지 소모량에 있어서는 35% 이상의 공급열량이 차이가 나타났으나, 상대적으로 최적제어를 적용하였을 경우보다 평균 외기온도가 -2℃ 이상 낮게 나타난다. 이로써 미루어볼 때 외기보상제어 설정범위 내 최악의 조건보다 본 연구에서 제안한 제어 알고리즘을 적용하였을 경우에는 약 25~29%의 에너지 절감성능을 나타낼 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2013년도 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임(GCU-2013-R251).

Reference

1. Tae, C. S. and Cho, S. H., 1998, An experimental study on the outdoor temperature reset control of radiant heating floor heating systems, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 14, No. 8, pp. 227-234.
2. Kim, O. B., Lee, J. Y., Yeo, M. S., Seok, H. T., and Kim, K. W., 2001, 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.
3. Kim, O. B., Rhie, M. K., Yeo, M. S., and Kim, K. W., 2004, 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.
 4. Song, J. Y. and Ahn, B. C., 2012, A study on GRNN control strategies for floor radiant heating system in residential apartments, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 12, pp. 830-836.
 5. Cho, C. Y., Theory and Application of automatic control : technical education-9521-technology, LG-honeywell, The Korea, pp. 115-119.
 6. Ahn, B. C. and Song, J. Y., 2010, Control characteristics and heating performance analysis of automatic thermostatic valves for floor radiant heating system in residential apartments, Energy, Vol. 35, pp. 1615-1624.