

## 바닥난방 시스템의 열환경 개선을 위한 제어방안 연구

송재엽<sup>†</sup>, 안병천, 김경철\*, 장사윤\*\*

<sup>†</sup> 경원대학교 건축설비공학과 대학원, 경원대학교 건축설비공학과, \*대한주택공사, \*\*(주)한에너지시스템

### A Study on Thermal Heating Control Performance of Automatic Thermostatic Valves in Floor Radiant Heating System

Jae-Yeob Song<sup>†</sup>, Byung-Cheon Ahn, Kyung-Chul Kim\*, Sa-Yun Jang\*\*

**ABSTRACT:** In this study, the thermal environment characteristics of On-Off control and thermal difference proportional control 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 two control methods, conventional on-off control and temperature error based time control(T.E.B.T.C.) method, are performed to compare thermal heating control performances, respectively.

**Key words:** Floor radiant heating system(바닥난방시스템), Automatic thermostatic valves (자동온도조절기), On-Off control(개폐식제어), Temperature error based time control(온도차시간제어)

#### 1. 서론

국내 주거용 건물에 있어서 난방시스템은 건축 및 설비기술의 발달에 의해 다양하게 변천하여 왔으며, 지역별 기후특성, 건물 구조체의 열적특성, 생활방식, 난방설비 등이 난방시스템의 선택 및 운용에 중요한 영향을 미치는 인자로 작용하고 있다.

이러한 난방시스템 중 현재 가장 많이 사용되고 있는 시스템은 온수를 바닥배관을 통해 흘러 보내 난방하는 방식인 바닥복사 난방시스템으로써 이 시스템은 단순하고, 가격이 저렴하며, 쾌적감이 좋고, 초기투자비용 및 유지비용이 적고, 정숙하며, 반송동력이 적다. 그리고 방열면적이 넓기

때문에 복사바닥의 온도는 설정온도보다 단지 몇도가 높을 뿐이므로 저온의 온수를 이용할 수 있고 다른 열원을 사용하는 난방시스템과 연결할 수도 있는 장점이 있다.

이러한 바닥난방시스템은 일반적으로 실내온도를 쾌적한 범위로 유지하기 위하여 자동온도조절기를 설치하여 제어를 수행하고 있으며, 이 중에서 가장 많이 사용하고 있는 방식은 실내공기온도차에 따라 밸브를 개폐하는 On/Off방식이다.

이 방식은 제어방식이 단순하고 실내공기온도에 따라 밸브제어를 수행하기 때문에 실온을 일정하게 유지시킬 수 있는 장점이 있으나 밸브의 수명문제를 고려한 차동값의 설정에 따라 실내공기온도의 최고최저온도차나 바닥표면온도의 온도차가 크게 나타나 쾌적성을 해칠 우려가 있다.

이에 따라 본 연구에서는 기존에 가장 많이 사용되는 자동온도조절기 제어시스템인 On/Off 제

<sup>†</sup> Corresponding author

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

E-mail address: finalfortres@naver.com

어방식과 일정한 시간 단위로 실내공기설정온도와 실내온도차에 따라 온수공급시간을 결정하여 온수를 공급하는 방식인 온도차 시간제어방식에 대해 실내공기온도, 바닥표면온도 및 에너지소모량을 서로 비교함으로써 바닥난방시스템의 실내열환경 개선을 위한 제어방식에 관한 연구를 수행하였다.

## 2. 제어시스템의 개요

본 연구에서는 기존제어시스템인 On/Off 제어방식과 온도차 시간제어방식에 대하여 비교연구를 수행하였으며, 두 방식에 관한 제어시스템의 개요는 다음과 같다.

우선 그림 1은 기존의 온도제어방식인 On/Off 방식의 제어개념도를 나타낸 것으로써 실내공기온도를 일정한 상태로 유지하기 위하여 배관으로 공급되는 공급유량을 밸브를 개폐하여 제어하는 방식이다. 덧붙여 설명하자면 설정온도에 따른 실내공기온도의 상한온도와 하한온도를 선정하여 상한온도에 다다를 경우 밸브가 닫혀 유량공급을 중단하고 하한온도에 다다를 경우 밸브를 전개하여 온수를 공급하는 시스템이다.

그림 2는 비교대상인 온도차 시간제어시스템의 제어개념도를 나타낸 것이다. 온도차에 의한 시간제어방식은 실내공기온도와 설정온도의 차에 따라 특정 시간대에 반복제어하는 방식으로 예를 들어 온도차 0.5℃마다 1시간당 10분씩 반복제어라면 현재 실내공기온도가 22℃이고 설정온도가 23℃일

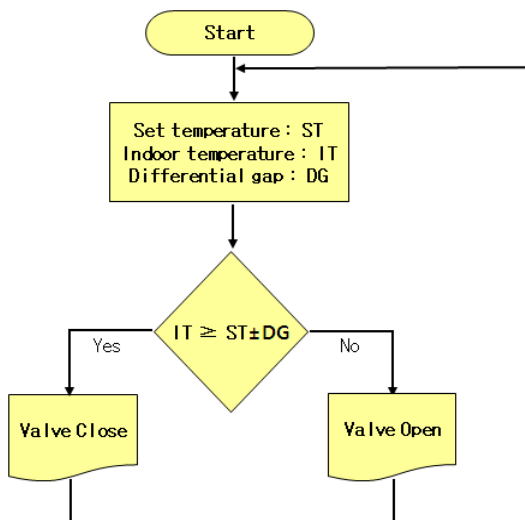


Fig. 1 Flow chart for conventional On/Off control system.

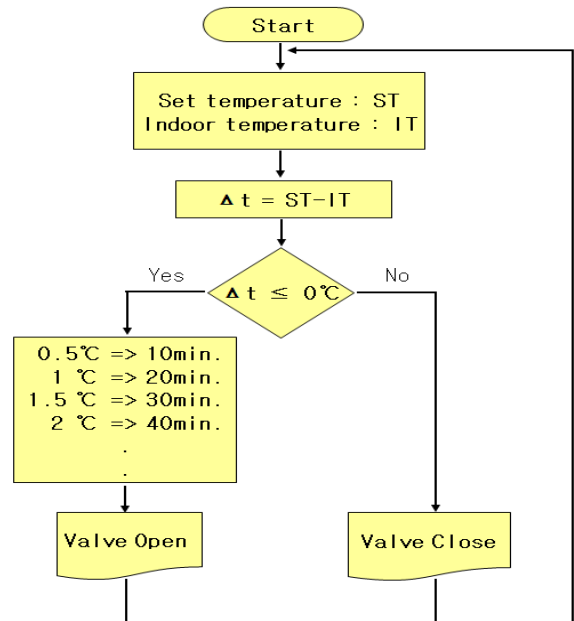


Fig. 2 Flow chart for temperature error based time control system.

때, 1시간에서 20분은 밸브를 열어 난방하고, 40분은 밸브를 닫아 유량공급을 중단하는 제어방식이다.

## 3. 시뮬레이션 방법

본 연구에서는 공급온수온도, 공급유량, 외기온도 등의 변수의 변화가 가능한 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 기존 제어방식인 기온감지 On-Off 방식과 온도차 반복시간 제어방식의 비교연구를 수행하였다.

온도차 시간제어방식에 있어서 제어운전시간 간격과 설정온도와 실내공기온도의 온도차 0.5℃당 온수공급시간에 대한 제어조건은 다음과 같다. 온도차에 의한 시간제어방식에서 온수공급에 의한 제어가 이루어지는 제어간격을 각각 30분, 60분, 90분으로 하였을 때와 온도차 0.5℃당 온수공급시간을 5분, 10분, 15분으로 각각 하였을 때를 시뮬레이션 하여 온도차 시간제어방식에 있어서 최적의 제어조건을 살펴보기 위해 다음과 같은 조건으로 수행하였다.

또한 본 연구에서 두 제어방식간의 실내 열환경을 비교하기 위한 시뮬레이션 운전조건은 다음과 같다. 외기온도 조건의 경우 1일간 sin그래프 형태로 변화하는 외기온도를 적용하였고, 그에 따른

1일 최고온도와 최저온도를 5°C와 -5°C로 하였으며, 겨울철 서울의 표준외기온도가 12월에 0.2°C임을 감안하여 선정하였다.

공급유량의 경우 보통 하나의 방에 일반적으로 0.6~1.2LPM의 유량이 공급되는 점을 감안하여 선정하였으며, 또한 운전시간은 총 하루 24시간이며 공급온수온도의 기준조건인 50°C는 일반적으로 바닥으로 공급되는 온수온도를 고려하여 선정하였다.

시뮬레이션을 위한 운전시간은 24시간으로 하였으며, 열환경 해석을 위한 시뮬레이션 프로그램은 Compaq Visual Fortran 6을 사용하여 작성하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

그림 3~그림 5는 온도차 시간제어의 반복시간 및 설정온도와 현재온도의 온도차에 따른 가동시간을 변화했을 경우에 대한 바닥온도 및 실내공기 온도 변화 동특성을 나타낸 것이다.

그림 3은 반복시간을 1시간으로 설정하였을 경우 설정온도와 현재온도의 온도차가 0.5°C마다 5분, 10분, 15분 동안 유량을 공급하였을 경우에 대한 온도변화를 나타낸 것이며, 제어간격을 1시간으로 하였을 경우 0.5°C마다 5분동안 유량공급을 하였을 경우 설정온도에 크게 못 미치는 온도변화 특성을 나타내었다.

이에 따라 그림 4에서 보여지는 바와 같이 제어간격을 30분으로 줄여주었을 경우 온도변화의 진동은 심해지나 설정온도에 도달하는 것을 알 수 있으며, 그림 5에서 제어간격을 1시간 30분으로 늘렸을 경우 온도차 0.5°C마다 15분운전을 하였을 경우가 기준조건인 제어간격 1시간에 0.5°C마다 10분동안 유량을 공급했을 경우와 비슷한 동특성을 나타내었다.

따라서 그림 6 과 표 1은 제어간격 30분에 온도차 0.5°C당 온수공급시간을 5분으로 하였을 경우와 제어간격 60분에 온도차 0.5°C당 10분으로 하였을 때, 제어간격 90분에 온도차 0.5°C당 15분으로 한 세 가지 조건에 대해서 나타낸 온도변화 그래프와 실내공기온도와 바닥온도, 온수공급시간, 공급열량을 나타낸 표이다. 그림 6과 표 1에서 살펴보면 제어간격을 길게 함과 동시에 가동시간을 늘려주면 에너지 절약에 조금 더 좋은 영향을 끼

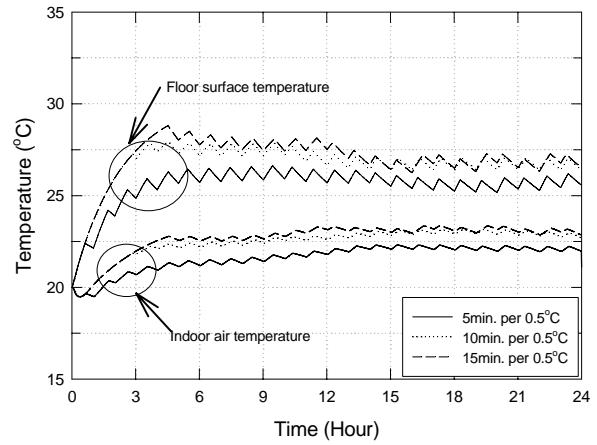


Fig. 3 The control responses of various valve opening times for control time interval 60 minutes.

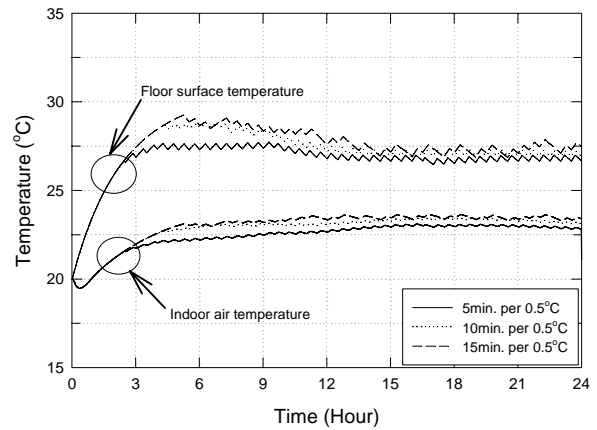


Fig. 4 The control responses of various valve opening times for control time interval 30 minutes.

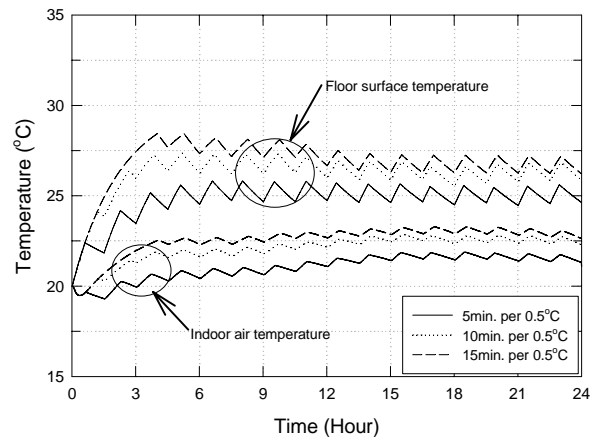


Fig. 5 The control responses of various valve opening times for control time interval 90 minutes.

Table 1 The responses for valve opening time and control time interval.

Parameters	Classification		5min. per 0.5°C (30min.)		10min. per 0.5°C (60min.)		15min. per 0.5°C (90min.)	
Mean temperature of indoor air			22.95°C		22.94°C		23.00°C	
Maximum temperature of indoor air	23.10°C	difference 0.46°C	23.16°C	difference 0.56°C	23.28°C	difference 0.64°C		
Minimum temperature of indoor air	22.64°C		22.60°C		22.64°C			
Mean temperature of floor surface			26.79°C		26.74°C		26.78°C	
Maximum temperature of floor surface	27.10°C	difference 0.65°C	27.23°C	difference 0.85°C	27.51°C	difference 1.29°C		
Minimum temperature of floor surface	26.45°C		26.38°C		26.22°C			
Hot water supply time			258min.		252min.		247min.	
Energy consumption			3244MJ/day(2.2%▲)		3167MJ/day(-)		3097MJ/day(2.2%▼)	

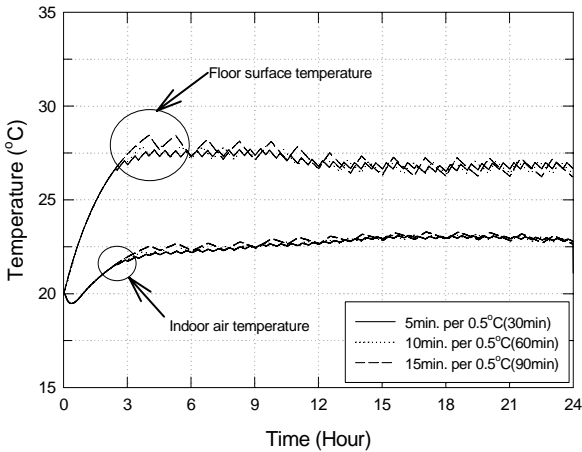


Fig. 6 The comparison of control responses for valve opening time and control time interval.

칠 수는 있으나 큰 차이는 나타나지 않으며 실내 온도 및 바닥온도의 온도차를 살펴보면 점차적으로 온도차가 커지므로 실내의 불쾌감을 가져올 수 있는 단점이 나타날 요인이 있다. 따라서 온도차 시간제어 방식의 경우 제어간격은 1시간, 가동시간은 0.5°C마다 10분이 적당할 것으로 사료된다.

그림 7은 기존제어방식과 온도차 시간제어의 바닥온도 및 실내공기온도의 변화를 비교한 그래프이며, 표 2는 두 방식간의 실내공기온도 및 바닥온도에 대한 평균온도와 최고최저온도차, 그리고 에너지 소모량을 나타낸 것이다.

기존제어방식은 실내공기설정온도를 23°C, 차동값을 ±0.5°C로 하였을 경우이며, 온도차 반복시간 제어방식은 실내공기설정온도 23.5°C, 운전시간 간격을 60분, 설정온도와 현재온도차 0.5°C당 10분간

유량을 공급하였을 경우에 대한 비교이며 두 제어 방식의 원활한 차이점 비교를 위하여 이와 같은 변수선정을 기준조건으로 하여 비교 고찰하였다.

그림 7에서 보여지는 바와 같이 온도차 시간제어의 경우가 기존제어방식보다 실내공기온도와 바닥표면온도의 변화에 있어서 변화폭이 작게 나타났으며, 표 2에서 살펴보면 개폐식제어와 온도차 시간제어를 비교할 경우 12시간 이후 온도가 안정된 후에 실내공기온도의 일중 최고온도와 최저온도와의 온도차가 개폐식제어보다 0.5°C 정도 차이가 적게 나타나며 바닥온도의 경우는 2°C 정도 차이가 적게 나타나며, 기존제어방식의 차동값이 더 커질 경우에는 바닥표면온도와 실내공기온도의 최고최저온도차가 더욱 크게 나타남을 알 수 있었다.

또한 실내공기평균온도의 차이가 거의 나타나지 않음에도 불구하고 온도차 반복시간 제어가 기존 제어방식보다 약 3.7%의 에너지가 적게 소모됨을 데이터 분석을 통해 알 수 있었다.

그림 8과 표 3은 실내공기온도를 측정하여 제어를 수행하는 기온감지 형태의 제어방식에서 일반적으로 온도를 측정하는 센서가 벽체에 설치되어 있는 것을 감안하여 온도센서가 실내공기온도를 정확히 측정하지 못하고 실내공기온도가 벽체의 온도에 영향을 받게 되어 제어를 수행할 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 온도센서의 측정온도 값이 실내공기온도와 벽체표면온도의 평균값으로 표현될 경우 기존제어방식과 온도차 반복시간제어방식 간의 차이점을 연구하였다.

그림 8은 이에 대한 제어방식별 실내공기온도 및

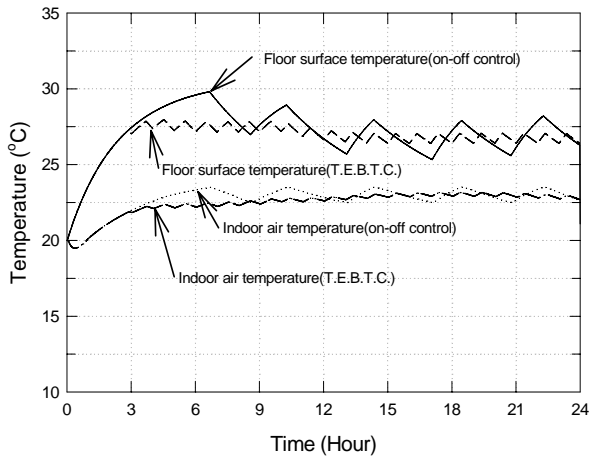


Fig. 7 The control responses for conventional On/Off control and temperature error based time control method.

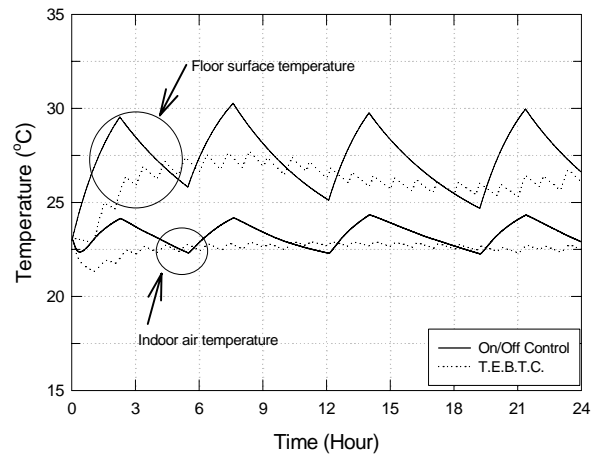


Fig. 8 The control responses on sensing position change (conventional On/Off control and T.E.B.T.C.).

Table 2 The responses for conventional On/Off control and temperature error based time control.

Control methods Parameters	T.E.B.T.C. (23.5°C)		Conventional On/Off control (23°C±0.5°C)		Conventional On/Off control (23°C±1°C)	
	Value	difference	Value	difference	Value	difference
Mean temperature of indoor air	22.94°C		22.99°C		22.88°C	
Maximum temperature of indoor air	23.16°C		23.52°C		24.01°C	
Minimum temperature of indoor air	22.60°C	0.56°C	22.49°C	1.03°C	21.99°C	2.02°C
Mean temperature of floor surface	26.74°C		26.74°C		26.51°C	
Maximum temperature of floor surface	27.23°C		28.21°C		29.43°C	
Minimum temperature of floor surface	26.38°C	0.85°C	25.32°C	2.89°C	24.29°C	5.14°C
Hot water supply time	251min.		264min.		273min.	
Energy consumption	3167MJ/day(3.7%▼)		3287MJ/day(-)		3325MJ/day(1.1%▲)	

Table 3 The control responses on sensing position change of conventional On/Off control and temperature error based time control method.

Control methods Parameters	Conventional On/Off control		T.E.B.T.C.	
	Value	difference	Value	difference
Mean temperature of indoor air	23.28°C		22.56°C	
Maximum temperature of indoor air	24.33°C		22.91°C	
Minimum temperature of indoor air	22.26°C	2.07°C	22.3°C	0.61°C
Mean temperature of floor surface	27.44°C		26.15°C	
Maximum temperature of floor surface	30.27°C		27.73°C	
Minimum temperature of floor surface	24.18°C	6.09°C	25.30°C	2.43°C
Hot water supply time	506min.		384min.	
Energy consumption	6400MJ/day(-)		5844MJ/day(8.6%▼)	

바닥표면온도의 변화를 나타낸 그림으로써 그림에서 살펴보면 설정온도를 23℃로 설정을 함에 따라 기존제어방식은 벽면온도가 설정온도에 도달할 때까지 온수가 공급됨에 따라 실내공기온도의 최대최소온도차가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

그러나 온도차 반복시간제어방식은 온도차에 따라서 공급시간을 조절해 주는 방식으로 인하여 기존제어방식과는 다르게 실내공기의 최대최소 온도차가 큰 폭으로 나타나지 않고 실내공기온도와 벽체표면온도의 평균값으로 제어함에도 불구하고 과도난방을 줄여줄 수 있음을 알 수 있었다.

표 3에서 살펴볼 경우 실내공기온도와 벽체표면온도의 평균값으로 제어할 경우 기존 제어방식은 설정온도가 23℃임에 따라 22.5~23.℃사이를 유지하여야 함에도 불구하고 실내공기 최고온도가 24.33℃로 나타나 과도난방상태가 되었으나, 온도차 반복시간 제어는 정상상태 이후에 22.7℃ 정도의 실내공기온도 분포를 나타내어 과도난방상태를 초래하지 않았으며, 바닥표면온도에서도 최고 최저 온도차가 기존제어 방식보다 온도차 반복시간 제어방식이 약 3.6℃가량 적게 나타나는 특성을 보여 바닥표면온도의 실내 불쾌감을 줄여줄 수 있을 것으로 판단된다.

또한 에너지소모량을 살펴보았을 때 온도차 제어방식이 기존제어방식의 과도난방상태를 방지함에 따라 약 8.6%정도의 에너지 절감 성능을 나타내었다.

이로써 미루어볼 때 온도차 반복시간제어 방식은 온도센서가 벽면온도에 영향을 많이 받는 위치에 설치되는 경우에 기존제어방식보다 과도난방 및 실내불쾌감을 줄여줄 수 있을 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 바닥난방시스템의 자동온도조절기의 한 종류인 실내공기 온도차에 의한 시간제어 방식의 제어특성, 온도변화 및 에너지 소모 특성 등에 대해 살펴보고, 기존제어방식인 On/Off제어 방식과 비교고찰해본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기존제어방식과 온도차 시간제어방식의 경우 실내공기평균온도를 일정하게 유지시킨다면

에너지소모에 있어서는 큰 차이를 보이지 않으나 실내쾌적성 면에서 온도차가 크게 벌어지지 않는 온도차 반복시간 제어방식이 효율적일 것으로 사료된다.

- 2) 온도차 시간제어의 경우 제어간격시간과 온도차에 따른 온수공급시간을 변화시켜 시뮬레이션 해본 결과 반복시간 1시간, 설정온도와 실내공기온도 온도차 0.5℃당 10분간의 유량공급을 하였을 경우가 온도변화특성과 제어특성 밸브의 가동시간을 고려할 때 가장 적당할 것으로 판단된다.
- 3) 실제 자동온도조절기의 온도센서가 벽체에 설치됨에 따라 실내공기온도를 정확히 측정하지 못할 경우를 예상하여 시뮬레이션 해본 결과 기존제어방식의 경우 최고최저온도차가 더욱 크게 벌어져(2.07℃) 실내쾌적성에 저해되거나 온도차 시간제어의 경우는 과도난방을 줄여주었으며(0.61℃), 이로 인해 약 8.6%정도의 에너지절감 성능을 나타내었다.

## 참고문헌

1. 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
2. Yeo, M. S, Kim, K. W, Rhie, M, K, Wu, F. J, 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. Ahn, B. C. 2004, "Optimal Operation Methods for Hot water Radiant Panel Heating System in Residential Buildings", Proceedings of the SAREK 2004 Summer Annual Conference, pp. 800-806