Journal of the Korean Housing Association
Vol. 14, No. 5, 2003

# 바닥복사난방의 실별제어시스템에 관한 열성능 평가

# An Evaluation on the Thermal Performance of the Room Control System for Radiant Floor Heating

석호태* 김오봉** 조영흠***
김광우**** 여명석*****
Seok, Ho-Tae* Jin, Wu-Feng** Cho, Young-Hum***
Kim, Kwang-Woo**** Yeo, Myoung-Souk*****

## Abstract

In this study, the thermal performance of the room control system is analyzed in terms of control performance, potential for coil expansion and energy consumption through experiments comparing the individual room control system and an existing system. The results of this study show that the existing system is not able to supply design water flow rate and does not accurately maintain the set point temperature in each room. However, the individual room control system can set a room air temperature for each room, for it is able to supply design water flow and accurately control the set point temperature in each room and can reduce the energy consumption compared to the existing system. Moreover, the individual room control system can reduce the number of coil division zone and facilitates the construction process, because it can extend the length of the coil division.

Keywords : Radiant Floor Heating, Room Control System, Thermal Performance, Coil Division, Energy Consumption
주 요 어 : 바닥복사난방, 실별제어시스템, 열성능, 코일구획, 에너지 소비량

## I. 서 론

공동주택에서 거주자의 실내 환경 수준에 대한 요구가 점차 높아짐에 따라 최근 주택시장에서는 난방시스템의 성능에 대한 관심이 증가하고 있다. 바닥복사난방은 일반적인 주거건물에서 사용되는 난방방식으로서 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔으며, 이러한 경향과 더불어 난방시스템의 성능을 향상시키기 위한 노력이 학계와 업계에서 활발히 이루어지고 있다. 이에 따라 기존의 바닥복사난방 시스템의 문제점을 해결하기 위한 대안으로 실별 제어 시스템의 개발이 점차 활성화되고 있다. 이러한 실별 제어 시스템을 실제 주거에 적용하기 위해서는 우선 시스템의 성능평가가 이루어져야 하며, 성능평가 방법으로 테스트 셀을 이용한 비교실험을 이용할 수 있으나, 거주자가 실제 생활하고 있는 공동주택에서 시스템의 열성능을 검토해야 할 것으로 판단된다.

그러므로 본 연구에서는 현실 조건에 가장 근접한 결과를 확보할 수 있는 현장 실험에 초점을 맞추어 공동주택 단위세대에 기존 시스템과 실별 제어 시스템을 각각 설치한 뒤 이에 대한 제어성능 평가실험을 수행하였다. 또한 실험결과 분석을 통하여 기존 시스템의 문제점과 실별 공급유량이 제어성능에 미치는 영향을 분석하고, 문제점 해결을 위한 대안으로서 실별로 공급유량 밸런싱과 실온제어가 모두 가능한 새로운 개념의 실별 제어 시스템을 제시하였으며, 이에 대한 실험결과 분석을 통하여 실별 제어 시

*정회원, 영남대 건축학부 조교수, 공학박사
**정회원, 서울대 대학원 박사과정
***정회원, 서울대 대학원 석사과정
****정회원, 서울대 건축학과 교수, 건축학박사
*****정회원, 서울대 건축학과 조교수, 공학박사

스템의 제어성능을 평가하였다. 그리고 최근 난방설계의 관심사인 코일구획회로 길이의 연장 가능성에 대한 검토도 병행하여 수행하였으며 테스트 셀 비교실험을 통해 기존 시스템과 실별 제어 시스템의 에너지 소비 특성을 분석하였다.

## II. 제어성능 평가 현장 실험

### 1. 실험 개요

1) 실험 모델

<그림 1>, <그림 2>와 같이 4인의 거주자가 실제 생활하고 있는 공동주택 45평형 세대 중에서 서측 중간층 세대를 본 실험의 모델로 선정하였으며, 공간구성은 <그림 1>과 같이 남향실인 안방, 거실, 침실 2와 북향실인 침실 1, 침실 3으로 구성되어 있다.

2) 온수 순환 시스템 구성 및 측정

난방시스템의 열원은 지역난방에서 공급하고 설계공급온수온도는 60°C, 환수온도는 45°C이며 세대 내 온수순환 시스템의 흐름은 <그림 1>과 같이 10개의 코일구획회로로 구성되었다.

기존 시스템의 온수분배기는 남북향의 중간에 위치하고 있으며 세대입구 주관에 전동식 유량제어밸브와 정유량 밸브가 설치되어 있다.

실험 대상 공간의 온도는 실별로 T-type 센서를 설치하여 데이터 로거를 통해 연속 측정하였고, 유량은 로터미터(rotameter)와 초음파 유량계를 이용하여 각 실별로 측정하였으며, 실측 장치는 <그림 3>, <표 1>과 같다.

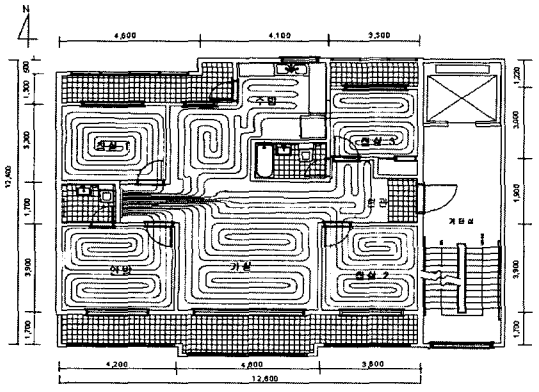



그림 1. 실험 대상 공동 주택의 평면 및 온수배관분배도

3) 실험 내용 및 방법

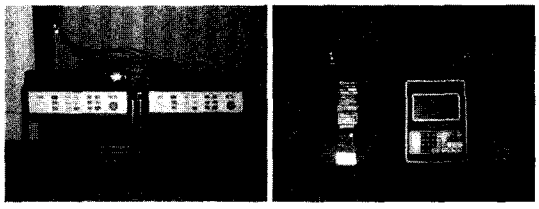
기존 시스템과 실별 제어 시스템을 번갈아 현장에 설치한 후, 두 시스템의 실온 제어성능을 검토하기 위하여 <표 2>와 같이 3가지 실험을 위한 내용을 구성하였다. 기존 시스템의 문제점을 분석하고 공급유량에 따른 실온 제어 성능을 검토한 후, 그에 대한 대안으로 실별 제어 시스템을 설치하여 실온 제어 성능을 검토하였다.

### 2. 실온 제어 성능 검토 실험

실온 제어 성능을 검토하기 위해서 실험 결과 데

(a) 외부 전경 (b) 내부 전경

그림 2. 현장 실험 아파트 모델



(a) 데이터 로거 (b) 초음파 유량계

그림 3. 현장 실험 실측 장치 실측종류

표 1. 현장 실험용 측정 장치의 제원

| 실측 종류 | 제어기기 | 유형 | 장치 제원 |
|---|---|---|---|
| 온도 측정 | 온도센서 | T-type | 오차범위 : ±0.3°C |
| | 데이터 로거 (Data logger) | HP 34970A | 오차 범위 : ±1°C 측정<br>Point수 : 60채널<br>Memory : 50,000시간<br>용도 : 데이터 로깅 수집/전환 |
| 유량 측정 | 로터미터 | PT 11/4B | 측정범위 : 0.5~5.0<br>오차범위 : ±2% |
| | 초음파 유량계 | 1010 WDP1 | 오차범위 : 1~2%<br>측정범위 : -40~120°C |

표 2. 현장 실험 내용 및 방법

| 구 분 | 실험 | 제어시스템 | 실험 목적 | 실험 내용 |
|---|---|---|---|---|
| 실온 제어성능 검토 | 실험 1 | 기존 시스템 | 기존 시스템의 문제점을 분석 | 실별 공급유량 미조정 상태에서 기존 시스템(대표실 제어)을 가동하여 실험을 수행 |
| | 실험 2 | 기존 시스템 | 기존 시스템에서 실별 공급유량이 실온제어에 미치는 영향을 검토 | 기존 시스템(대표실 제어)에서 각 실별로 유량 밸런싱 밸브를 설치하고 실별 유량을 설계유량으로 초기 조정한 상태에서 실험을 수행 |
| | 실험 3 | 실별제어 시스템 | 실별 제어시스템의 실온 제어성능을 검토하고 평가 | 밸런싱 밸브로 실별 공급유량 초기조정(밸런싱) 상태에서 실별 제어시스템을 가동하여 실험을 수행 |
| 코일구획회로 길이 연장가능성 검토 | 실험 4 | 실별제어 시스템 | 부분적으로 코일구획회로 길이의 연장가능성을 검토 | 안방만 코일구획회로 길이를 연장한 상태에서 실별 제어시스템을 가동하여 실험을 수행 |

이터를 설정편차에 의한 실온 위주로 분석하였으며 유량은 세대내 회로별 공급 유량을 측정하여 분석하였다.

1) 기존 시스템의 제어 성능 실험 (실험 1)

(1) 기존 시스템

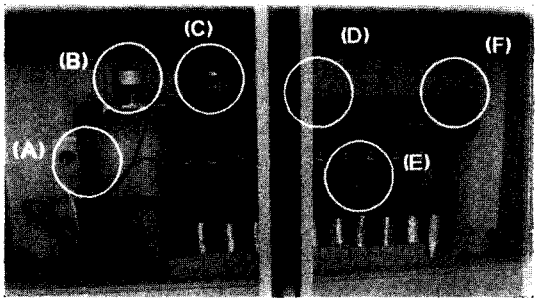
본 연구에서 서술되고 있는 기존 시스템은 <그림 4>와 같이 현재 국내 공동주택에서 보편적으로 적용되고 있는 세대별 제어시스템을 말하며 그 특징은 다음과 같다.

① 코일구획회로별로 유량 밸런싱 밸브가 설치되어 있지 않아 실별 부하에 따른 설계유량으로 회로별 밸런싱이 어렵다.

② <그림 4>와 같이 세대 입구 주관에만 유량제어밸브가 설치되어 있고 실온조절기도 대표실에만 설치되어 있기 때문에 실별로 실온 제어가 불가능하다.

(2) 실험 결과 분석

기존 시스템의 실온 제어성능을 검토하기 위하여




(A) 정류량 밸브 (B) 세대별 유량 제어 밸브
(C) 적산열량계 (D) 스트레이너
(E) 수동 볼 밸브 (F) 수동 에어 벤트

그림 4. 기존 시스템
(코일구획회로별 밸런싱 없는 대표실 제어)

거실에 실온조절기를 설치하고 시스템을 가동하여 실험을 수행하였다. 실험결과는 <표 3>, <그림 6>, <그림 8>, <그림 9>와 같이 설정실온 편차는 거실이 기타 실에 비해 작게 나타났으며, 난방부하 변화 패턴이 남향실과 다른 북향실은 편차가 크게 나타나 침실 1의 경우 평균 실온이 거실보다 낮게 나타났다.

이는 단위 세대에 공급되는 열량이 부하가 상대적으로 작은 거실(실온조절기가 설치되어 있는 대표실)을 기준으로 제어되어 부하가 상대적으로 큰 북측실은 공급되는 열량이 손실되는 부하를 만족하지 못하여 실온이 설정실온보다 낮게 유지되었기 때문이다.

또한 실별 공급유량도 초기조정이 불가능하여 <표 4>와 같이 거실의 경우는 설계유량과 비슷하게 공급되나 부하가 상대적으로 큰 침실 1은 코일구획회로

표 3. 현장 실험의 측정실온 및 편차

| 구 분 | | 남향 실 | | | 북향 실 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 안방 | 거실 | 침실 2 | 침실 3 | 침실 1 |
| 실험 1 | 설정실온(℃) | - | 22.5±1 | - | - | - |
| | 설정편차(℃) | 0.6 | 0.5 | 1.0 | 1.2 | 1.5 |
| | 평균실온(℃) | 21.4 | 22.4 | 21.2 | 20.8 | 20.5 |
| 실험 2 | 설정실온(℃) | - | 23.0±1 | - | - | - |
| | 설정편차(℃) | 0.8 | 0.6 | 1.2 | 0.8 | 0.6 |
| | 평균실온(℃) | 21.9 | 22.9 | 22.1 | 22.1 | 22.3 |
| 실험 3 | 설정실온(℃) | 24.5±1 | 24.5±1 | 24.5±1 | 24.5±1 | 24.5±1 |
| | 설정편차(℃) | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 0.4 | 0.5 |
| | 평균실온(℃) | 24.5 | 24.5 | 24.4 | 24.7 | 24.3 |
| 실험 4 | 설정실온(℃) | 24.5±1 | 24.5±1 | 24.5±1 | 24.5±1 | 24.5±1 |
| | 설정편차(℃) | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| | 평균실온(℃) | 24.1 | 25.0 | 24.5 | 24.1 | 24.2 |

표 4. 현장 실험 회로별 공급 유량 (단위: *lpm*)

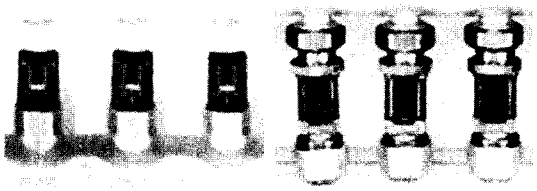
| 공급 유량 | 남향 실 | | | | | | 북향 실 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 안 방 | | 거 실 | | 침실 2 | | 침실 3 | | 침실 1 |
| | 회로 1 | 회로 2 | 회로 1 | 회로 2 | 회로 1 | 회로 2 | 회로 1 | 회로 2 | 회로 1 |
| 설계유량 (A) | 0.58 | 0.58 | 0.75 | 0.75 | 0.53 | 0.53 | 0.40 | 0.40 | 1.02 |
| 공급유량 (B) | 0.73 | 0.73 | 0.68 | 0.73 | 0.68 | 0.63 | 0.65 | 0.71 | 0.61 |
| 실제 공급 비율 (B/A) | 1.25 | 1.25 | 0.90 | 0.97 | 1.11 | 1.11 | 1.62 | 1.77 | 0.59 |

압력손실이 기타 실에 비하여 상대적으로 커서 설계유량의 59% 정도로 작게 공급되어 공급열량과 손실부하간의 차이가 더 커졌으며, 이로 인하여 실온 불균형이 더 심각하게 나타난 것으로 보인다. 그러므로 이를 해결하기 위한 방안으로 코일구획회로별로 공급유량 조정이 가능한 시스템이나 실별로 실온 조절기 설치가 가능한 시스템이 필요함을 알 수 있다.

2) 공급유량 조절을 통한 기존 시스템의 제어 성능 실험 (실험 2)

실별 공급유량이 기존 시스템(대표실 제어)의 제어성능에 미치는 영향을 검토하기 위하여 <그림 5>와 같이 기존 시스템에 코일구획회로별로 유량 밸런싱 밸브를 설치하고 설계유량으로 초기 조정한 상태에서 실험을 수행하였다. 실험결과는 <표 3>, <그림 6>, <그림 8>, <그림 10>과 같이 외기온이 실험 1에 비하여 더 낮은 상태에서 변화하였으나 실별 실온 설정편차는 실험 1의 유량미조정시에 비하여 일정하게 완화되었음을 알 수 있다. 이는 본 실험대상의 경우 <표 4>와 같이 공급유량을 설계유량으로 조정하는 과정에서 대표실인 거실 공급유량의 변동으로 인한 온수공급시간의 단축과 공급 유량의 변동으로 인한 실별 공급 열량의 변화가 유량 미조정시에 비해 과냉 혹은 과열 현상을 완화시키는데 유리하게 작용하였기 때문이다.

그러나 단위세대 건축면적, 공간배치계획과 온수분배기의 설치 위치에 따라 실별 코일구획회로의 길이와 회로별로 소모되는 압력손실이 서로 다를 수 있기 때문에 실별 공급유량 미조정상태에서 설계유량으로 조정하였을 경우, 본 실험의 결과와는 달리 실



(a) 유량 밸런싱 밸브 (b) 유량계

그림 5. 코일 구획별 유량 밸런싱 밸브

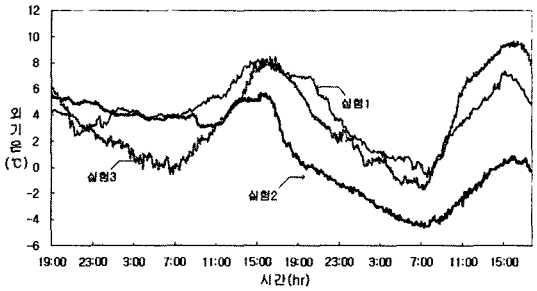



그림 6. 현장 실험 기간의 외기온 변화 그래프

온 불균형이 더 심해질 가능성도 있을 것으로 판단되며, 공급유량만 조정(유량 밸런싱)하여서는 실별로 실온을 정확하게 유지하기 어려울 것으로 판단된다. 그러므로 실별로 실온을 정확하게 제어하기 위해서는 코일구획회로별로 공급유량 초기조정(밸런싱)과 실별 실온제어가 가능한 실별 제어 시스템을 사용하는 것이 바람직할 것으로 예상된다.

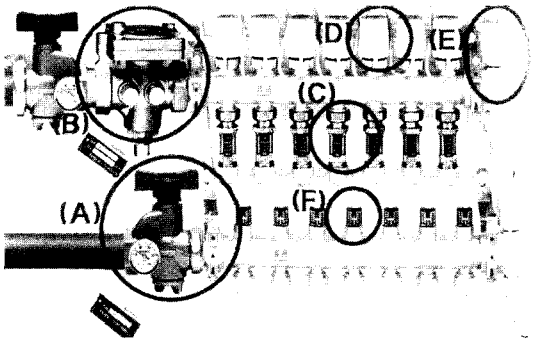
3) 유량 초기조정을 통한 실별 제어 시스템의 제어 성능 실험 (실험 3)

(1) 실별 제어 시스템

실별 제어 시스템은 <그림 7>과 같이 실별 제어의 개념을 도입하여 새롭게 개발한 바닥복사난방의 제어시스템을 말하며 그 특징은 다음과 같다.

① <그림 7>과 같이 기존 시스템에서는 불가능한 코일구획회로별 유량 밸런싱이 실별 제어 시스템에서는 유량 밸런싱 밸브 설치로 인하여 가능하며, 설계유량을 각 실별로 정확히 조정하여 커미셔닝할 수 있다.

② 기존 시스템은 실온조절기가 설치되어 있는 대표실만 실온제어가 가능하며 기타 실은 과열 혹은 과냉 현상이 발생하나 실별 제어 시스템은 실별로 실온조절기가 설치되고 <그림 7>과 같이 각각의 실




(A) 스트레이너+수동 볼 밸브 (B) 정유량 밸브
(C) 유량계 (D) 실별 제어 밸브
(E) 자동 에어 벤트 (F) 유량 밸런싱 밸브

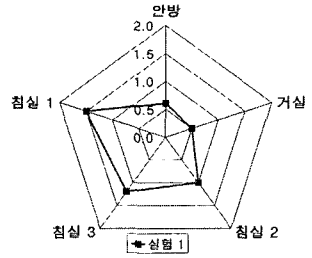
그림 7. 실별 제어 시스템(코일구획별 밸런싱)

별 제어 밸브가 있어서 사용 용도 혹은 거주자의 연령, 성별 특성에 따라 서로 다른 설정실온으로 실온 제어가 가능하다. 즉, 실별 제어 시스템은 실별 혹은 시간대별로 설정 실온을 서로 다르게 설정할 수 있어 거주자의 쾌적성 향상과 더불어 에너지 소비량도 절감할 수 있다.

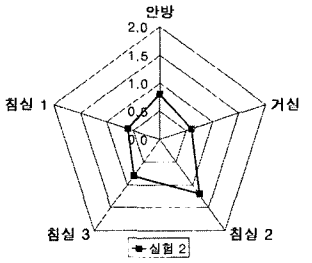
(2) 실험 결과 분석

기존의 대표실 제어의 문제점을 해결하기 위한 대안으로 실험모델 단위세대에 실별 제어 시스템을 설치하고 실별로 공급유량을 설계유량으로 초기 조정한 상태에서 시스템을 가동하여 실험을 수행하였다. 실험결과는 <표 3>, <그림 6>, <그림 8>, <그림 11>과 같이 외기온이 대부분의 시간대에서 실험 1에 비하여 낮은 온도로 변화하였음에도 불구하고 실별 실온 설정편차가 기존 시스템에 비하여 현저하게 줄어들었으며, 기존 시스템에서 설정편차가 가장 크게 나타났던 침실 1의 경우에도 설정편차가 크게 줄어드는 것을 알 수 있다. 외기온이 실험 1과 동일할 경우 실별 설정편차는 더 줄어들 것으로 판단된다.

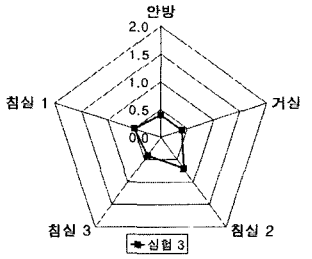
이는 기존 시스템과 달리 실별 제어 시스템에서는 유량 밸런싱 밸브로 실별로 공급유량을 설계유량으로 초기 조정하여 회로별 유량 불균형을 방지하였으며, 실별로 설치된 실온조절기와 유량제어 밸브를 이용하여 실별 부하 크기와 부하 변동에 따라 공급열량을 제어할 수 있었기 때문이다. 그러므로 실별 제어 시스템은 실별로 설정실온을 정확하고 자유롭게 제어할 수 있기 때문에 거주자의 쾌적성 향상을 도




(a) 실험 1




(b) 실험 2




(c) 실험 3

그림 8. 설정 실온과 평균 실온과의 편차

모할 수 있을 것으로 기대되며, 공급 유량 조정 기능을 이용하여 일정 범위 내에서의 유량을 초기 조정할 수 있으며 따라서 코일구획회로 길이의 변경도 가능할 것으로 판단된다.

### 3. 코일구획회로 연장 가능성 분석 (실험 4)

난방 설계상의 편의를 위해 기존에는 코일구획회로 길이를 50 m 내외로 구획하여 왔으나, 최근에 이러한 지침이 폐지됨에 따라 코일구획회로 길이 기준에 대한 검토가 필요하게 되었다. 따라서 실험대상 공간에서 안방의 코일구획회로길이 연장 가능성에 대한 실험을 수행하였다.

지역난방에서 실내 설정실온을 21°C로 설정하였을

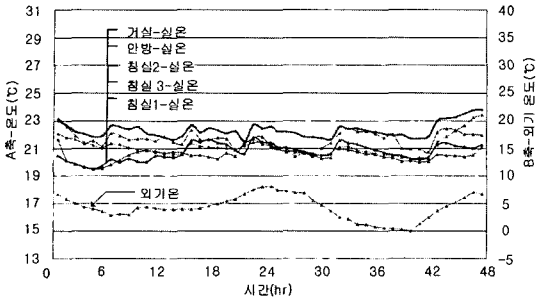



그림 9. 실험 1의 결과 그래프

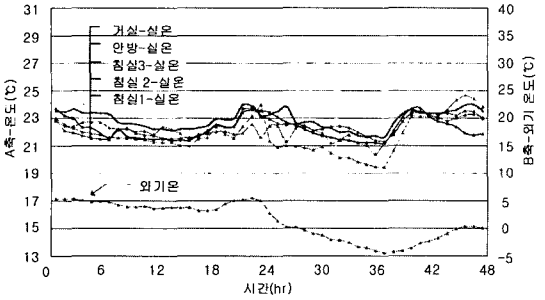



그림 10. 실험 2의 결과 그래프

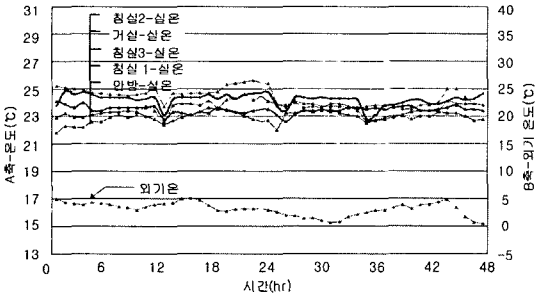



그림 11. 실험 3의 결과 그래프

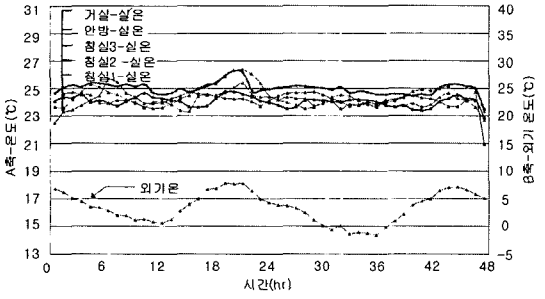



그림 12. 실험 4의 결과 그래프

경우 공급 및 환수 온도차의 설계 기준은 15°C이며, 설정 실온을 24.5°C로 변화하였을 경우 이에 상응한 공급 및 환수 온도차는 18°C로 환산할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이를 코일구획회로 길이 연장 가능성의 검토기준으로 사용하였다.

본 실험에서는 실별 설정실온을 24.5°C로 설정하고 10개 코일 회로 중 안방의 코일길이가 36 m(회로 1), 48 m(회로 2)인 2개의 병렬 회로를 1개의 84 m인 직렬회로로 연장한 후 실별 유량을 설계유량에 따라 밸런싱 밸브로 조정한 상태에서 실험을 수행하였다.

실험결과 <표 3> 및 <그림 12>에서 알 수 있듯이 실별로 설정편차가 0.6°C 이내로 나타나 설정실온을 안정적으로 유지하고 있음을 알 수 있다. 외기온이 -1.8°C~8.1°C(평균 외기온: 3.3°C)사이에서 변화할 경우 <그림 13>과 같이 코일길이가 연장된 안방의 공급 및 환수 온도차는 18°C보다 작게 나타났다. 이와 같은 결과는 실별 제어 시스템에서 실별로 설치되어 있는 실온조절기와 실별 제어 밸브에 의해 실별 부하 크기에 적절한 열량이 공급되고, 안방과 같이 코일길이가 연장된 회로는 공급유량이 유량 밸런싱 밸브의 조정에 의해 연장된 길이에 상응한 설계유량으로 초기 조정됨으로써 온도차가 커지는 것을 막을 수 있었기 때문이다. 그러므로 실별 제어 시스템은 외기온이 -1.8°C~8.1°C(평균 외기온: 3.3°C) 사이에서 변화할 경우 부분적으로 코일길이를 84 m까지 연장할 수 있을 것으로 판단된다.

이 경우 코일구획회로 길이와 온수분배기 수량도 줄일 수 있어 시공상의 편의, 시공비용의 절감과 온

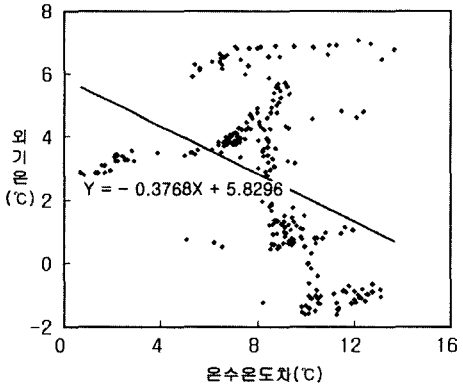



그림 13. 코일 길이 연장시 온수온도차

수분배기 설치 공간 면적의 절감도 기대할 수 있을 것이다. 향후 외기온이 설계 최저 외기온대에서 변화할 경우를 고려한 코일구획회로 길이의 연장 가능성에 대한 검토가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## III. 에너지 성능 평가 테스트 셀 실험

실별 제어 시스템의 에너지 성능을 평가하기 위하여 기존 시스템과 실별 제어 시스템을 공동주택을 모사한 단위실험공간에 설치하여 실별 제어 시스템과 기존 시스템간의 비교실험을 수행하였다.

### 1. 실험 모델의 구성

<그림 14>, <그림 15>와 같이 국내 중간규모(32평형)의 공동주택 기준층 중간세대 안방을 기준으로 열 손실량이 단위면적당 동일한 값을 가지도록 4개의 테스트 셀을 제작하였고, 바닥구조체도 기존의 공동주택에 적용된 것과 동일하게 구성하였다.

### 2. 실험 내용 및 방법

실별 제어 시스템의 성능을 효과적으로 평가하기 위하여 실험항목은 기존 시스템과 실별 제어 시스템의 특징에 따라 <표 5>와 같이 구성하였다. 동일한 부하조건에서 비교실험을 수행하기 위해 실험을 시작하기 전에 테스트 셀을 충분히 냉각시켰으며, 실험기간은 항목별로 동일하게 48시간으로 정하였다. 테스트 셀 1과 셀 3은 인위적으로 내부 발열을 발생시켜 남향으로 모사하였다.

### 3. 실험 결과 및 분석

기존 시스템에서 실온조절기를 난방부하가 큰 북향(셀 4)에 설치하였을 경우 셀별로 실온제어가 어느 정도 이루어지며 이때의 에너지 소비량을 파악하기 위하여 수행되었다.

셀 3은 <표 6>과 같이 과열현상이 발생하여 기타 셀보다 평균 실온이 약 1.3℃ 높게 나타났다. 이러한 현상은 셀 3에 공급되는 열량이 난방부하가 상대적으로 큰 셀 4의 부하크기와 변화패턴에 따라 공급되어 셀 3에서는 실제 손실된 열량보다 큰 열량이 공급되었기 때문이다. 외기온이 내려갈 경우 이러한

(a) 셀 외부 전경 (b) 셀 내부 전경

그림 14. 에너지 성능 평가 테스트 셀 전경

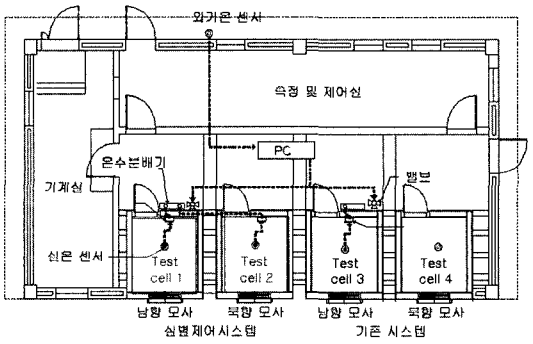



그림 15. 에너지 성능 평가 테스트 셀 평면도

표 5. 테스트 셀 실험 조건 및 방법

| 항 목 | 실별 제어 시스템 | | 기존 시스템 | |
|---|---|---|---|---|
| | Cell 1 | Cell 2 | Cell 3 | Cell 4 |
| | 남향모사 | 북향모사 | 남향모사 | 북향모사 |
| 설계 유량 | 0.6 *lpm* | 0.6 *lpm* | 0.6 *lpm* | 0.6 *lpm* |
| 공급 유량 | 0.6 *lpm* | 0.6 *lpm* | 0.7 *lpm* | 0.5 *lpm* |
| 내부 발열 | 30 W | – | 30 W | – |
| 설정 온도 | 25 ℃ | 25 ℃ | – | 25 ℃ |
| 실온 조절기 | 설치 | 설치 | 미설치 | 설치 |

과열현상은 더 심해질 것으로 판단된다.

실별 제어 시스템은 셀별로 실온조절기와 실별 제어밸브가 설치되어 있어 셀별 부하가 서로 다르지만 부하 크기와 변화 패턴에 따라 공급열량을 제어하여 공급함으로써 <그림 16>, <표 6>과 같이 외기온이 4.6℃~18.7℃ 범위에서 변화하는 2일간의 실험 결과에서 설정실온을 안정적으로 유지시켜 주며 에너

표 6. 실온 및 에너지 소비량

| 구 분 | | | 실 온 (℃) | | | | 에너지 소비량(kcal/㎡, 2 days) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 설정 온도 | 설정 편차 | 평균 실온 | 평균 편차 | | |
| 실별 제어 시스템 | Cell 1 | 남향 모사 | 25 | 0.7 | 24.9 | 0.6 | 1,380 | 3,069 |
| | Cell 2 | 북향 모사 | 25 | 0.6 | 24.8 | 0.6 | 1,688 | |
| 기존 시스템 | Cell 3 | 남향 모사 | 25 | 1.3 | 26.3 | 0.7 | 1,611 | 3,381 |
| | Cell 4 | 북향 모사 | 25 | 0.4 | 24.9 | 0.4 | 1,770 | |

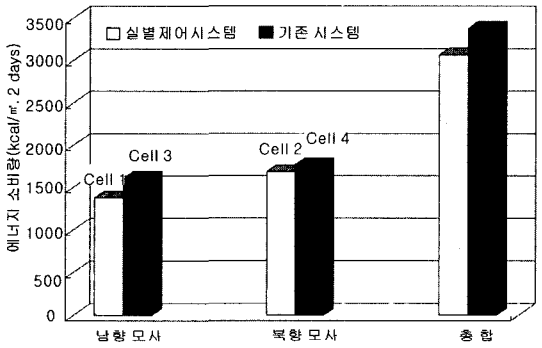



그림 16. 테스트 셀의 에너지 소비량 비교

지 소비량도 기존 시스템에 비하여 약 10% 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 기존 시스템은 거주환경의 쾌적성 저하와 더불어 실별 제어 시스템에 비하여 에너지 소비량도 큰 것으로 나타났다.

## IV. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 현실 조건에 가장 근접한 결과를 확보할 수 있는 공동주택 단위세대에 기존 시스템과 실별 제어 시스템을 각각 설치한 뒤 이에 대한 제어 성능 평가 실험을 수행하였다. 그리고 기존시스템과 실별 제어 시스템을 테스트 셀에 설치하여 비교 실험을 수행한 후 에너지 소비량을 분석하였다.

(1) 기존 시스템은 실별로 초기 유량 조정이 불가능하고 대표실을 기준으로 실온제어가 이루어지기 때문에 난방부하가 상대적으로 큰 북측실의 경우, 대표실에 비해 평균 실온이 낮게 나타나며 남측실의 경우에는 과열현상이 발생하여 실별 실온 불균형이 심각하며, 아울러 쾌적성 저하를 초래하였다.

(2) 기존 시스템에서 실별 유량만 밸런싱 밸브를 통해 설계유량으로 조정하였을 경우, 실별로 실온제어가 정확하게 이루어지기 어려울 것으로 판단된다.

(3) 실별 제어 시스템은 실별로 유량의 공급 및 열량제어가 가능하기 때문에 설정실온을 정확하게 유지하며, 거주자의 사용 용도나 연령별, 성별 특성에 따라 실별로 서로 다른 설정온도를 설정할 수 있어 쾌적성 향상도 도모할 수 있을 것이다.

(4) 실별 제어 시스템에서 코일구획회로의 길이를 연장하였을 경우, 실별 설정온도의 안정적인 유지가 가능하며, 공급온수온도와 환수온도차도 설계 값 이내로 나타나 코일구획회로 길이의 연장이 가능할 것으로 판단된다.

(5) 기존 시스템과 실별 제어 시스템의 에너지 성능 평가 실험을 수행해 본 결과 실별 제어 시스템은 기존 시스템에 비해 거주 환경의 쾌적성향상과 더불어 에너지 소비량도 약 10% 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구를 바탕으로 향후에는 재실자의 생활 스케줄과 다양한 열원의 설치에 관한 분석을 통해 실별 제어 시스템의 제어 성능 및 경제성 평가에 관한 연구가 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 김광우(1999), 온돌의 열적 특성을 이용한 온수분할공 급난방방식의 타당성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 15(10).
2. 김오봉(2002), 바닥복사난방시스템의 존별제어에 관한 실험적 연구, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집.
3. 석호태(1998), 공동주택 온수온돌 바닥복사 난방시스템 의 온수 온도 제어 방법에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 14(12).
4. 이승복(1994), 바닥복사난방시스템의 제어기술, 대한건축학회 논문집, 38(3).
5. 산업자원부(1998), 에너지 절약형 온돌난방 시스템 개발에 관한 최종보고서.
6. ASHRAE(1975), Subroutine Algorithms for Heating and Cooling Loads to Determine Building Energy Requirements.
7. ASHRAE(1996), Fundamentals of Water System Design, ASHRAE.