

# 공동주택의 윗목/아랫목 온돌 제어시스템 개발 및 평가

조동우<sup>†</sup>, 유기형, 유정연, 정해권, 김연홍\*, 김상호\*, 은민\*, 양인호\*\*

한국건설기술연구원 건축·도시환경 연구실, \*한국지역난방공사 지역난방기술연구소, \*\*동국대학교 건축공학과

## Development and Evaluation of the Upper & Lower side Ondol System in Apartment Houses

DW Cho<sup>†</sup>, KH Yu, JY Yu, HK Jung, YH Kim\*, SH Kim\*, M U\*, IH Yang\*\*

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to develop the new korean district heating system for apartment houses. The upper & lower side ondol system with multi sensing control system was developed as a new korean district heating system and evaluated in 2 mock-up laboratories last winter. As a result of field measurement, when the load differences between perimeter zone and central zone are increased, the ondol system divided in the upper and lower side can be evaluated as the new ondol system with a capability for suppling proper heating energy for each zone. The user can have the freedom for changing an upper zone and a lower zone and controlling each temperature according to their needs.

**Key words:** apartment houses(공동주택), floor heating(바닥난방), the upper & lower side ondol control system(윗목/아랫목온돌 제어시스템), field measurement(현장측정)

### 1. 서론

한국의 전통 온돌은 전형적인 복사난방 방식으로 구들 아래로 더운 공기를 넣어 난방하는 재래식온돌을 뜻하며 “따뜻한 바닥과 시원한 실온”을 형성할 수 있는 쾌적한 난방방식으로 인식되어 왔으나, 주거양식 및 열원시스템의 변화에 따른 여러 단계의 시대적인 변천을 거쳐 근래에는 온돌의 열효율을 향상시키고 난방방식을 현대화한 것으로 온수배관을 바닥에 매설하는 온수식 바닥난방 방식이 일반적인 형태로 정착되었다. 최근의 공동주택은 건물의 단열강화와 기밀화에 따른 열성능의 변화로 바닥온도와 실온의 편차가 줄어들면서 따뜻한 바닥을 확보하기 위해선 실온이 과도하게 상승하고 시원한 실온을 확보하기 위해서는 바닥의 온도가 너무 낮아지는 현상이 발생하게 되었다. 이러한 문제는 바닥난방 방식 자체

의 문제라기보다는 건물의 열성능 변화에 대응 가능한 난방기법이나 적정 운전기법 등의 적용이 이루어지지 않기 때문인 것으로 판단되며, 방열배관방식의 개선을 통해 해결 가능할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 지역난방이 적용되는 공동주택에 대한 새로운 난방시스템으로써 윗목/아랫목 온돌 제어시스템을 제시하고, 실험주택에 실험시공하여 본 난방시스템의 성능 평가 및 최적 제어안을 도출하고자 한다.

### 2. 윗목/아랫목 온돌 제어 시스템

#### 2.1 기존 연구

기존에 에너지기술연구소, 백용규, 대한주택공사 등에서 윗목/아랫목 온돌에 대한 많은 연구가 진행되었으나 현실적인 문제로 실용화가 이루어지지 못하였다. 백용규<sup>(1)</sup>는 온돌바닥 전체를 일정한 온도로 가열하지 않고 부분적으로 높혀 우리의 관습에 적용한 “따뜻한 바닥”의 난방을 하는 부분난방(Partial Heating System)을 제안하였으며, 대한주택공사<sup>(2)</sup>에서는 윗목과 아랫목의 공급

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-31-910-0326; fax: +82-31-910-0361  
E-mail address: jyyu@kict.re.kr

배관을 이원화시키고 각각의 표면온도로 제어하는 시스템을 제안하였다. 1990년대에 이러한 관심이 높아지면서 일부 건설사에서 위와 같은 난방방식을 시도하였으나 제어기술의 미비 찬 바닥 부위에 대한 난방불량으로 인한 입주자들의 민원 가능성으로 인해 확대 보급되지 못 하였다. 또한, 지역난방이 공급되는 공동주택의 거주자를 대상으로 설문조사를 실시한 기존 연구<sup>(4,5)</sup> 결과 거주자들은 낮은 바닥온도에 대한 불만사항을 크게 나타내었으며 가장 선호하는 온열환경으로 “따뜻한 실온과 따뜻한 바닥”을 선택하였다. 이에 본 연구에서는 기존의 부분난방의 개념을 적용한 윗목/아랫목 배관구성과 실온과 바닥표면온도 센싱을 겸용한 제어 시스템을 결합하여 “따뜻한 실온과 따뜻한 바닥”을 구현할 수 있는 윗목/아랫목 온돌 제어시스템을 개발하고자 한다.

## 2.2 윗목/아랫목 시스템

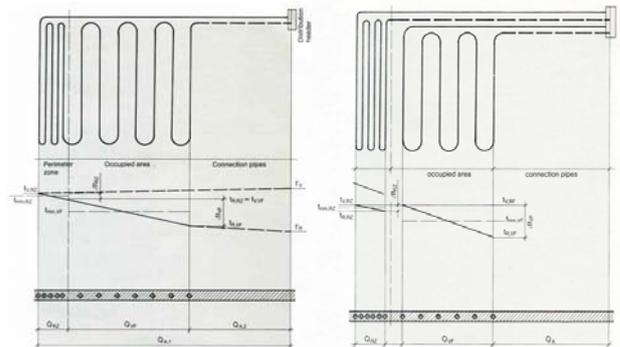
부분난방을 위한 윗목/아랫목 배관 구성 방법은 다양하게 구성이 가능하나 본 연구에서는 그림 1과 같이 1개의 배관에서 배관간격 조절을 통해 윗목/아랫목을 구성하는 단일 배관 시스템과 2개의 배관과 배관간격 조절을 동시에 적용한 개별배관 시스템으로 각각 구성하였다. 그리고 온돌난방 시스템을 제어하는 제어방식에는 실온을 통한 실온제어, 바닥표면온도를 통한 바닥표면온도 제어, 환수 온도를 통한 환수 온도 제어 등이 있으나 본 연구에서는 단일 배관 윗목/아랫목 온돌 시스템에는 실온을 통한 실온제어 방식을 적용하였고 개별배관 윗목/아랫목 온돌시스템에는 각각의 존별로 실온과 바닥표면온도를 동시에 센싱하여 제어할 수 있는 시스템을 적용하였다.

## 3. 실험 개요

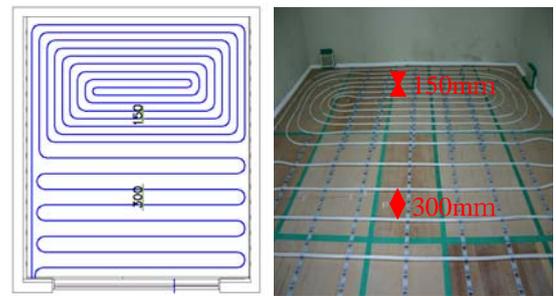
### 3.1 단일배관 윗목/아랫목 시스템

단일배관 윗목/아랫목 온돌시스템은 존의 규모가 작고 위치별 활용도가 다양하여 위치별 온도차를 크게 요구하지 않는 공동주택의 안방이나 작은방 등 중소규모의 공간에의 적용 가능성이 크다 판단되었다. 본 시스템은 공동주택의 안방의 형태로 실의 내측에 아랫목을 구성하였으며 K연구원내에 있는 3층 규모의 실물실험실 1층에 구성된 22㎡규모의 실에 실험시공 하였다. 그림2와 같이 실내측 공간에 위치한 아랫목에는 배관

간격을 150mm, 창측에 위치한 윗목공간에는 아랫목의 2배인 배관간격을 300mm로 구성하였다. 배관재는 외경 20mm의 플라스틱 배관재를 사용하여 아랫목은 방사형의 배관망을 구성 하였고 윗목은 병렬형의 배관망을 구성하였으며 40mm의 마감모르터 시공 후, 장판지로 마감하였다.



(a) 단일배관 (b) 개별배관  
 그림1. 단일배관(a)과 개별배관(b)에서 배관간격 조절을 통해 윗목/아랫목 구성시 바닥표면온도의 분포특성 (REHAU<sup>(3)</sup>)



(a) 평면도 (b) 배관구성도  
 그림2. 단일배관 윗목/아랫목 시스템이 설치된 실물 실험실의 평면도 및 배관구성도

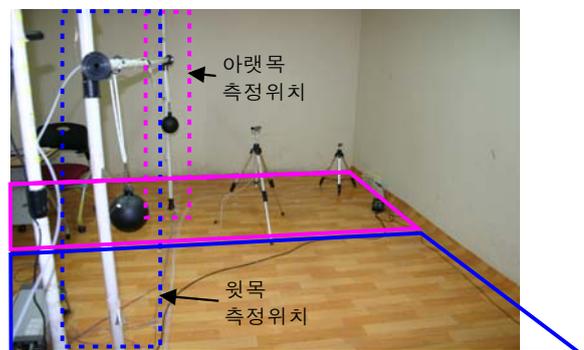


그림3. 단일배관 윗목/아랫목 시스템의 열성능 측정을 위한 실온 및 바닥표면온도 측정 위치 (실물 실험실)

본 실험실에서는 그림3과 같이 열성능 측정을 위해 윗목과 아랫목의 바닥표면에 60cm 간격으로 수직·수평방향으로 온도센서(thermocouple)가 부착되어 바닥표면온도가 측정되었으며 윗목과

아랫목의 중심부에 각각 수직높이 50cm, 100cm, 150cm에 온도센서가 설치되어 실내공기온도가 측정되었고 공간복사온도를 측정하기 위해 수직높이 80cm에 흑구온도계를 설치하였다. 또한, 시공시 배관재 주변 및 온수 분배기의 온수배관에 온도센서를 설치하였다. 실험실 여건상 난방을 위한 온수공급은 개별기름보일러를 설치하여 이용하였으며 온도조절기는 실의 가운데 벽면에 설치하여 실온제어를 통해 난방이 이루어지도록 하였고 실험시 실내온도는 24℃로 설정되었다.

### 3.2 개별배관 윗목/아랫목 온돌 제어시스템

개별배관으로 구성된 윗목/아랫목 온돌 제어시스템은 공동주택에서 발코니와 면하여 실의 외주부와 내주부의 온도차가 크게 발생하는 거실공간에의 적용 가능성을 고려하였다. 장소 및 면적의 형태가 단순한 사각형태의 거실 공간 뿐 아니라 실제 공동주택 주거생활이 이루어질 수 있는 공간에서의 상황을 살펴보기 위해 S건설사의 실험주택 2층에 실험시공 하였다. 본 시스템은 그림 4와 같이 윗목과 아랫목을 각각의 개별배관으로 구성하였으며 발코니측에 구성한 아랫목은 배관간격을 100mm와 150mm로 조성하고, 실내측에 구성한 윗목에는 배관간격을 200mm와 300mm로 조성하였다. 배관재는 외경 20mm의 플라스틱 배관재를 사용하여 아랫목은 방사형의 배관망을 구성하였으며, 윗목은 병렬형의 배관망을 구성하였으며 40mm의 마감모르터 시공 후, 최종마감은 온돌마루재로 마감 하였다.

본 실험실에서는 그림5와 같이 열성능 측정을 위해 윗목과 아랫목의 바닥표면에 60cm 간격으로 수직·수평방향으로 바닥표면온도가 측정되었으며 윗목과 아랫목의 중심부에 각각 수직높이 50cm, 100cm, 150cm의 실내공기온도가 측정되었다. 또한, 시공시 배관재 주변 및 온수 분배기의 온수배관에 온도센서를 설치하였다. 온수공급은 개별기름보일러를 설치하여 이용하였으며 아랫목 제어를 위한 실온조절기는 창측 공간에 설치하였고, 윗목 제어를 위한 실온조절기는 주방과 가까운 실내측 공간에 설치를 하였다. 본 윗목/아랫목 온돌 제어시스템은 벽면에 설치된 실내온도 센서 뿐 아니라 아랫목/윗목에 각각의 바닥표면온도센서와 온수분배기 환수측 위치한 아랫목 및 윗목 온수파이프에 각각 환수온도센서를 설치하여 실

온 및 바닥표면온도, 환수온도를 통해 각 존의 제어가 가능하도록 그림6과 같이 구성하였다. 본 시스템의 열성능을 평가하기 위하여 각각의 존별 실내온도와 바닥표면온도를 온돌한 다양한 제어 방법에 대한 실험을 하였으며 이때, 실내온도는 24℃로 설정되었다.

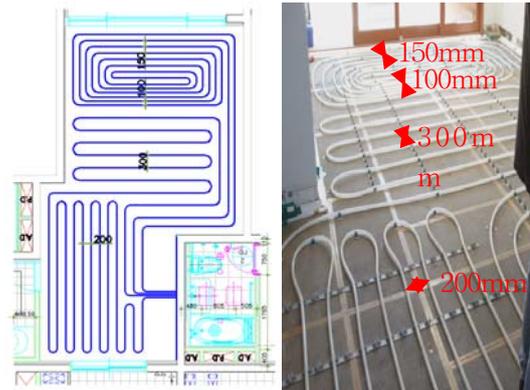


그림4. 개별배관 윗목/아랫목 시스템이 설치된 실험주택의 평면도 및 배관구성도

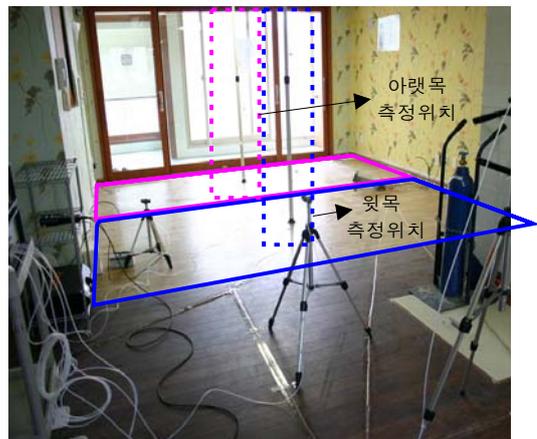


그림5. 개별배관 윗목/아랫목 시스템의 열성능 측정을 위한 실온 및 바닥표면온도 측정 위치 (실험주택)

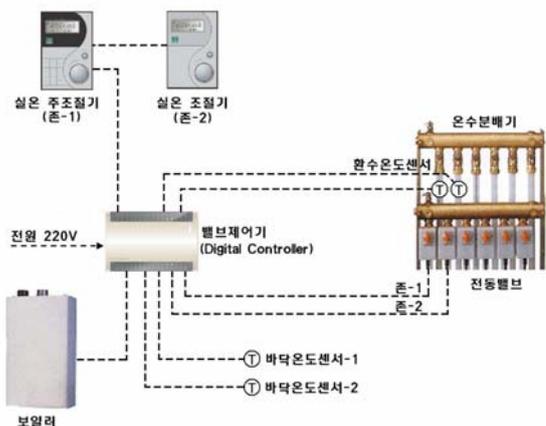


그림6. 개별배관 윗목/아랫목 온돌 제어시스템 계통도

### 3. 실험결과

#### 3.1 단일배관 윗목/아랫목 온돌시스템

단일배관에서 배관간격 조절을 통해 윗목/아랫목 온돌시스템을 구현한 실물 실험실에서의 윗목과 아랫목의 바닥표면온도 분포를 상세하게 분석하기 위하여 본 실험 시 적외선 카메라를 이용하여 바닥온도분포를 측정하였다. 실내온도를 24℃로 설정하고 실온 제어할 경우 그림7에서와 같이 윗목 배관직상부의 바닥표면온도는 28.4℃를 나타냈으며 배관과 배관 사이 중심부의 바닥표면온도는 24.4℃를 나타내었다. 이때, 아랫목 배관직상부 바닥표면온도는 32.2℃를 나타내었으며 배관과 배관 사이 중심부의 바닥표면온도는 29.1℃를 나타내어 배관간격이 2배 더 조밀한 아랫목의 바닥표면온도가 윗목의 바닥표면보다 약 4K 가량 높게 나타났으며 윗목의 경우 바닥표면온도의 편차가 5K 이상 큰 차이를 보이는 반면 아랫목의 경우 1K 내외로 균일한 바닥온도 분포를 나타내었다. 그림8은 단일배관 윗목/아랫목 시스템에 대하여 실내 설정온도를 24℃로 설정하고 24시간이상 측정 한 결과, 실내 온도 및 바닥표면 온도 분포를 나타내고 있다. 윗목/아랫목의 실내온도는 평균 23℃로 두 공간 모두 거의 유사한 실내온도 분포를 나타내었으며 윗목(배관간격 300cm)의 바닥표면온도는 평균 약 28℃이며 온도 편차는 약 ±2.5K를 나타내며, 아랫목(배관간격 150cm)의 바닥표면온도는 평균 약 34℃이며 온도 편차는 약 ±4K를 나타내었다. 배관간격의 차이로 인해 동일면적에서 방열량이 더 큰 아랫목은 윗목보다 바닥표면온도가 약 6K 정도 높게 나타났다. 그림9는 이때의 실내 수직온도 분포를 나타내고 있으며, 윗목/아랫목의 모든 수직온도분포는 모두 평균 24℃ 정도이며 온도편차는 약 ±2K 정도로 비교적 균일한 온도 분포를 형성하고 있었다.

#### 3.2 개별배관 윗목/아랫목 온돌 제어시스템

윗목과 아랫목에 각각 전용 배관으로 2개의 배관 구성과 배관간격 조절을 동시에 적용하여 윗목/아랫목 온돌시스템을 구성하고 각각의 존에 실온과 바닥표면온도를 동시에 센싱하여 제어한 개별 배관 윗목/아랫목 온돌 제어시스템이 설치된 실험주택에서 두 공간을 모두 실내온도 24℃로 설정한 경우의 열환경은 다음과 같다.

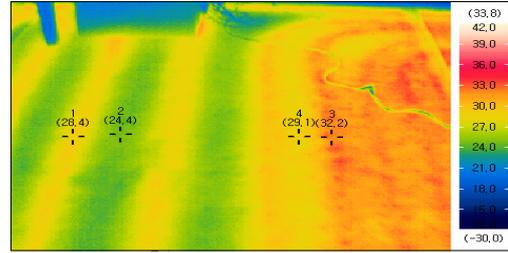


그림7. 적외선 카메라로 측정된 실물 실험실 모습

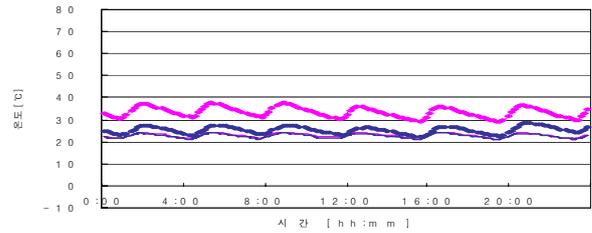


그림8. 실내온도 및 바닥표면온도 분포 (실물 실험실)

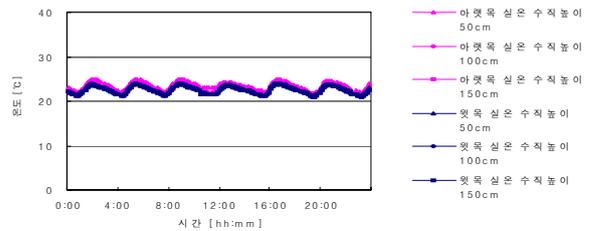


그림9. 수직실내온도 분포 (실물 실험실)

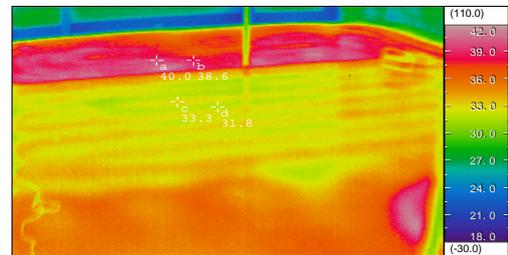


그림10. 적외선 카메라로 측정된 실험주택 모습

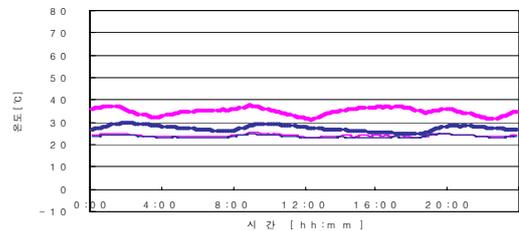


그림11. 실내온도 및 바닥표면온도 분포 (실험주택)

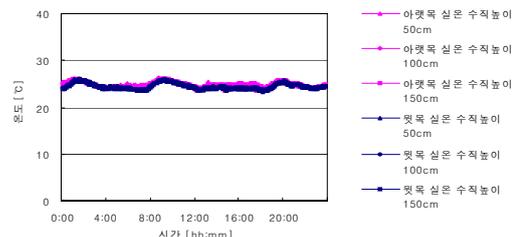


그림12. 수직실내온도 분포 (실험주택)

먼저, 그림 10은 적외선 카메라를 이용하여 바닥 온도분포를 촬영한 모습으로 배관간격 150mm로 구성된 아랫목의 배관직상부의 바닥표면온도는 40.0℃(그림10의 a지점), 배관과 배관 사이 중심부의 바닥표면온도는 38.6℃(그림10의 b지점), 배관간격 300mm로 구성된 윗목의 배관직상부의 바닥표면온도는 33.3℃(그림10의 c지점), 배관과 배관 사이 중심부의 바닥표면온도는 31.8℃(그림10의 d지점)로 배관간격이 2배 더 조밀한 아랫목의 바닥표면온도가 확연하게 높은 것을 알 수 있었다. 윗목과 아랫목 모두 바닥표면온도 편차가 1.5K 내외로 균일한 바닥온도 분포를 나타내었다.

윗목/아랫목의 실내온도는 그림 11과 같이 약 24.5℃로 두 공간 모드 거의 유사한 실내온도 분포를 나타내었다. 윗목(배관간격 300cm)의 바닥표면온도는 평균 약 29℃이며 온도편차는 약 ±1.5K를 나타내며, 아랫목(배관간격 150cm)의 바닥표면온도는 평균 약 35℃이며 온도편차는 약 ±3K를 나타내었다. 배관간격의 차이로 인해 동일면적에서 방열량이 더 크며 온수공급시간도 더 길어진 아랫목은 윗목보다 바닥표면온도가 약 6K 정도 높게 나타났다. 그림12는 수직 실내온도분포를 나타내며 윗목/아랫목의 모든 지점에서 평균 약 24.5℃ 정도를 나타내며 일중 온도편차는 약 ±1.5K정도로 거의 균일한 온도분포를 나타내었다.

실험주택에서는 개별배관 윗목/아랫목 온돌 제어 시스템에 다양한 실험이 이루어졌다. 실험은 크게는 온도설정방법과 제어방법에 대한 조건별 비교 실험으로 구성되었으며 총 6가지의 실험이 각각의 설정조건에 따라 수행되었다. 표1과 표2는 각각 비교 실험에 대한 개요와 각 실험별 설정조건을 나타낸다.

### 3.2.1 Case 1-A 와 Case 1-B 윗목/아랫목 차등온도 설정에 따른 온도분포 (실온제어시)

윗목/아랫목 실내온도 제어 시 차등온도 설정에 따른 온열환경을 평가하기 위하여 윗목/아랫목을 동일온도로 설정하는 경우(Case 1-A)와 차등온도로 설정하는 경우(Case 1-B)에 대한 실험 결과를 비교하였다.

그림 14와 15와 같이 윗목과 아랫목의 실내온

도가 동일온도(윗목/아랫목35℃)로 제어된 경우와 윗목/아랫목의 실온이 차등온도(윗목25℃/아랫목38℃)로 제어된 경우 둘 다 실내온도는 평균 대략 24℃ 의 온도 분포를 나타내었다.

표1. 개별배관 윗목/아랫목 온돌 제어시스템의 열성능 평가를 위한 조건별 실험 개요

구분	실험 내용
윗목/아랫목 온도설정방법에 따른 열성능 비교	실온제어시 등온조건(Case 1-A)과 차등온도 조건(Case 1-B) 비교 바닥표면온도 제어시 등온조건(Case 2-A)과 차등온도 조건(Case 2-B) 비교
윗목/아랫목 제어방법에 따른 열성능 비교	윗목/아랫목 동일 제어시 실온제어(Case 1-A)와 바닥표면온도 조건(Case 2-A) 비교 윗목/아랫목 복합 제어시 윗목 실온제어 /아랫목 바닥표면온도제어 (Case 3-A)조건과 윗목 바닥표면온도 제어/아랫목 실온제어 (Case 3-B) 조건 비교

표2. 각 실험별 설정조건

구분	실험 조건	설정조건		
		구분	제어 입력변수	설정 온도
Case 1-A	윗목/아랫목 등온조건 (실온제어)	윗목	실내공기온도	24℃
		아랫목	실내공기온도	24℃
Case 1-B	윗목/아랫목 차등온도조건 (실온제어)	윗목	실내공기온도	20℃
		아랫목	실내공기온도	28℃
Case 2-A	윗목/아랫목 등온조건 (바닥표면온도제어)	윗목	바닥표면온도	30℃
		아랫목	바닥표면온도	35℃
Case 2-B	윗목/아랫목 차등온도조건 (바닥표면온도제어)	윗목	바닥표면온도	22℃
		아랫목	바닥표면온도	38℃
Case 3-A	윗목 실온제어 /아랫목 바닥표면온도제어	윗목	실내공기온도	24℃
		아랫목	바닥표면온도	35℃
Case 3-B	윗목 바닥표면온도 제어 /아랫목 실온제어	윗목	바닥표면온도	30℃
		아랫목	실내공기온도	24℃

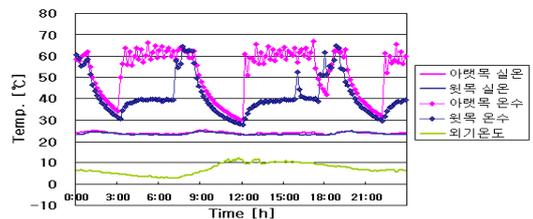


그림 14. 실온(윗목/아랫목24℃)제어의 경우 실내온도 및 온수온도 분포 (Case 1-A)

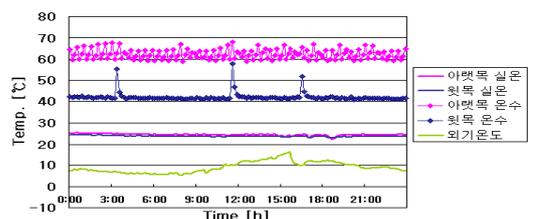


그림 15. 실온(윗목20℃/아랫목28℃)제어의 경우 실내온도 및 온수온도 분포 (Case 1-B)

그러나 윗목/아랫목이 동일온도로 제어된 경우에는 온수공급시간으로 산정해 볼 때, 윗목과 아랫목에서 전체 실에 대한 부하를 1 : 2.5(윗목:7시간, 아랫목:18시간)의 비율로 감당하고 있었고 차등온도로 제어된 경우에는 윗목과 아랫목에서 전체 실에 대한 부하를 1 : 24(윗목:1시간, 아랫목:24시간)의 비율로 감당하고 있어 차등온도로 제어할 경우 고온에 해당하는 아랫목에서 전체 실의 부하를 대부분 감당하게 되는 것을 알 수 있었다. 이때의 그림 16과 17과 같이 바닥표면온도는 동일온도 제어의 경우에는 윗목이 약 29℃, 아랫목의 약 35℃로 윗목의 바닥표면온도가 실온보다 5℃ 정도 높게 나타났으며 윗목과 아랫목의 온도차는 아랫목이 약 6K 정도 높은 것으로 나타났다. 윗목과 아랫목이 차등온도로 제어된 경우에는 윗목이 약 25℃, 아랫목이 약 38℃로 윗목은 바닥표면온도는 실온보다 약 1K 정도 높은 온도분포를 나타내었다.

### 3.2.2 Case 2-A 와 Case 2-B 윗목/아랫목 차등온도 설정에 따른 온도분포 (바닥표면온도 제어시)

윗목/아랫목 바닥표면온도 제어 시 차등온도 설정에 따른 온열환경을 평가하기 위하여 윗목/아랫목을 동일온도로 설정하는 경우(Case 2-A)와 차등한 온도로 설정하는 경우(Case 2-B)에 대한 실험 결과를 비교하였다.

윗목/아랫목이 동일온도인 경우에 윗목의 온도는 30℃이고 아랫목의 온도는 35℃로 다르게 설정된 이유는 윗목과 아랫목의 실온이 동일하게 24℃로 제어될 때 측정된 바닥표면온도가 윗목은 29~30℃이고 아랫목은 35℃로 나타나 이를 바닥표면온도로 설정온도를 정하였기 때문이다. 그림 18과 19와 같이 윗목과 아랫목의 바닥표면온도가 동일온도(윗목30℃/아랫목35℃)로 제어된 경우의 실내온도는 윗목/아랫목 모두 약 25℃의 온도분포를 나타내며, 윗목/아랫목의 바닥표면온도가 차등온도(윗목22℃/아랫목38℃)로 제어된 경우 윗목은 약 24℃, 아랫목은 약 25℃의 실내온도 분포를 나타내어 두 경우 모두 유사한 실내온도 분포를 나타내었다. 그러나 윗목/아랫목이 동일온도로 제어된 경우에는 온수공급시간으로 산정해 볼 때, 윗목과 아랫목에서 전체 실에 대한 부하를 1 : 3(윗목:5시간, 아랫목:15시간)의 비율로 감당하고 있었고 차등온도로 제어된 경우에는 윗목과

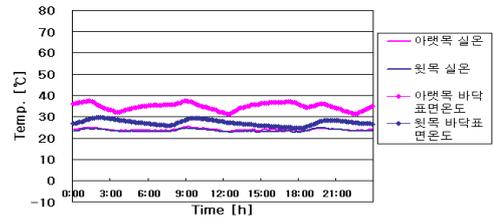


그림 16. 실온(윗목/아랫목24℃)제어의 경우 실내온도 및 바닥표면온도 분포 (Case 1-A)

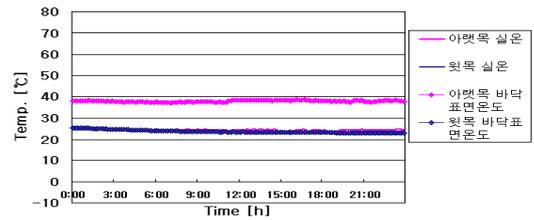


그림 17. 실온(윗목20℃/아랫목28℃)제어의 경우 실내온도 및 바닥표면온도 분포 (Case 1-B)

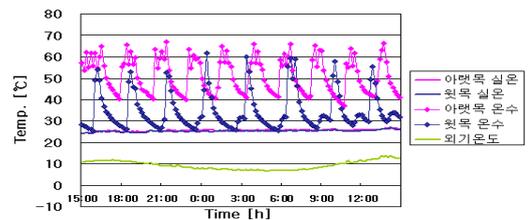


그림 18. 바닥표면온도(윗목30℃/아랫목35℃)제어의 경우 실내온도 및 온수온도 분포 (Case 2-A)

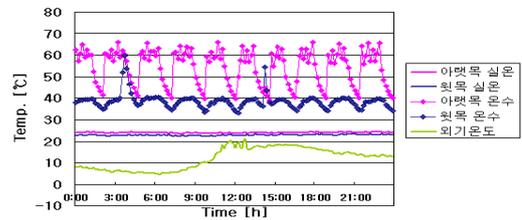


그림 19. 바닥표면온도(윗목22℃/아랫목38℃)제어의 경우 실내온도 및 온수온도 분포 (Case 2-B)

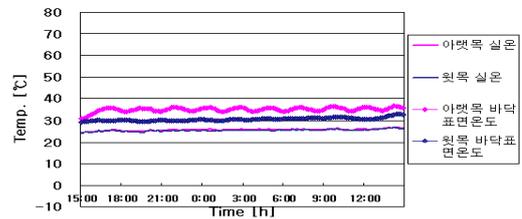


그림 20. 바닥표면온도 (윗목30℃/아랫목35℃)제어의 경우 실내온도 및 바닥표면온도 분포 (Case 2-A)

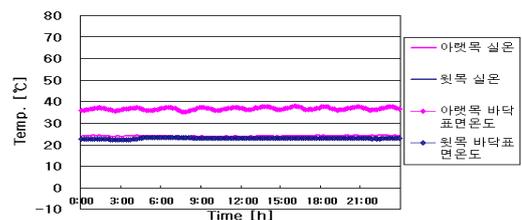


그림 21. 바닥표면온도 차등온도(윗목22℃/아랫목38℃)제어의 경우 실내온도 및 바닥표면온도 분포 (Case 2-B)

아랫목에서 전체 실에 대한 부하를 1 : 8.5(윗목:2시간, 아랫목:17시간)의 비율로 감당하고 있어 차등온도로 제어할 경우 고온에 해당하는 아랫목에서 전체 실의 부하를 감당하는 비율이 더 증가하게 되는 것을 알 수 있었다. 이때의 바닥표면온도는 그림 20과 21과 같이 동일온도 제어의 경우에는 윗목이 약 30℃, 아랫목의 약 34℃로 윗목의 바닥표면온도가 실온보다 약 6K 정도 높게 나타났으며 윗목과 아랫목의 온도차는 아랫목이 약 4K 정도 높은 것으로 나타났다. 윗목과 아랫목이 차등온도로 제어된 경우에는 윗목이 약 24℃, 아랫목이 약 38℃로 윗목은 바닥표면온도는 실온보다 동일한 온도분포를 나타내었다.

### 3.2.3 Case 1-A 와 Case 2-A 윗목/아랫목 제어방법에 따른 온도분포 (윗목/아랫목 동일 제어시)

윗목/아랫목의 제어방법에 따른 온열환경을 평가하기 위하여 윗목/아랫목을 동일하게 실온으로 제어하는 경우(Case 1-A)와 윗목/아랫목을 동일하게 바닥표면온도로 제어하는 경우(Case 2-A)에 대한 실험 결과를 비교하였다.

실내온도 제어시 설정온도는 윗목/아랫목 모두 24℃로 동일하며, 바닥표면온도 제어시 설정온도는 윗목/아랫목의 실온이 각각 24도로 동일한 경우에 측정된 바닥표면온도를 설정온도로 정한 것으로 윗목은 30℃, 아랫목은 35℃이다.

실험 결과 그림 23과 24와 같이 윗목/아랫목을 동일하게 실온으로 제어하는 경우 윗목/아랫목의 실내온도는 모두 약 24℃이고 윗목/아랫목 동일하게 바닥표면온도로 제어하는 경우 윗목/아랫목의 실내온도는 모두 약 25℃로 나타내었으며, 그림 24와 25와 같이 바닥표면온도는 동일 실온제어의 경우 윗목이 약 29℃, 아랫목이 약 35℃이며 동일 바닥표면온도 제어의 경우 윗목이 약 30℃, 아랫목이 약 34℃를 나타내 두 경우 모두 실내온도 및 바닥표면온도는 유사하게 나타났다. 그러나 윗목/아랫목을 동일하게 실온으로 제어하는 경우에는 온수 공급주기가 대략 8시간간격이며 아랫목의 표면온도의 편차는 평균값보다 약 ±3K 정도로 큰 차이를 나타내었고 윗목/아랫목 동일하게 바닥표면온도로 제어하는 경우에는 온수 공급주기가 대략 2.5시간간격이며 아랫목의 표면온도의 편차도 평균값보다 약 ±1K 이내로 작게 나타났다.

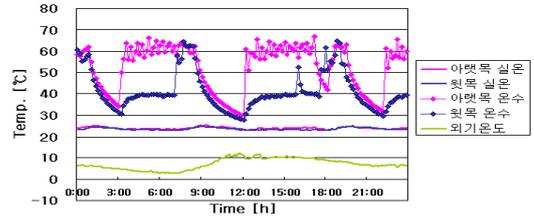


그림22. 윗목/아랫목 동일실온제어의 경우 실내온도 및 온수온도 분포 (Case 1-A)

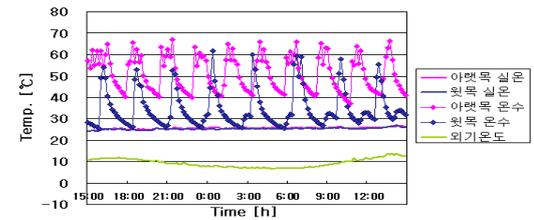


그림23. 윗목/아랫목 동일바닥표면온도제어의 경우 실내온도 및 온수온도 분포 (Case 2-A)

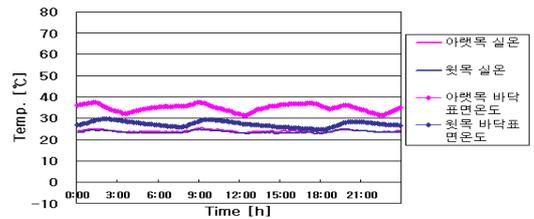


그림24. 윗목/아랫목 동일실온제어의 경우 실내온도 및 바닥표면온도 분포 (Case 1-A)

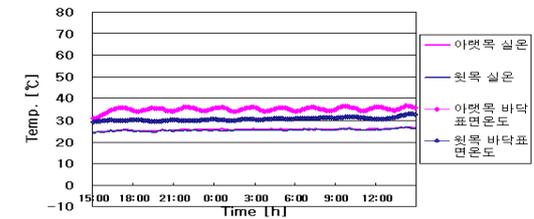


그림25. 윗목/아랫목 동일바닥표면온도제어의 경우 실내온도 및 바닥표면온도 분포 (Case 2-A)

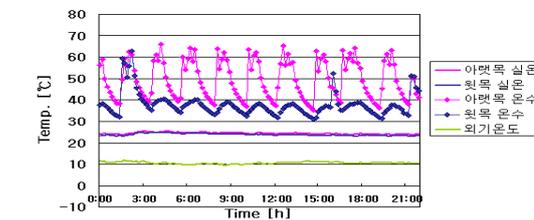


그림26. 윗목 실온제어/아랫목 바닥표면온도제어의 경우 실내온도 및 온수온도 분포 (Case 3-A)

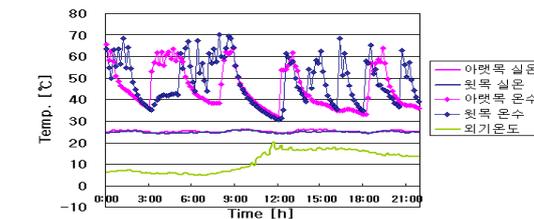


그림27. 윗목 바닥표면온도제어 /아랫목 실온제어의 경우 실내온도 및 온수온도 분포 (Case 3-B)

### 3.2.4 Case 3-A 와 Case 3-B 윗목/아랫목 제어방법에 따른 온도분포 (윗목/아랫목 복합제어시)

윗목/아랫목의 각각 복합제어하는 경우에 대한 온열환경을 평가하기 위하여 윗목은 실온으로 제어하고 아랫목은 바닥표면온도로 제어하는 경우 (Case 3-A)와 윗목은 바닥표면온도로 제어하고 아랫목은 실온으로 제어하는 경우(Case 3-B)에 대한 실험 결과를 비교하였다. 실내온도 제어시 설정온도는 윗목/아랫목 모두 24℃로 동일하며, 바닥표면온도 제어시 설정온도는 윗목/아랫목의 실온이 각각 24도로 동일한 경우에 측정된 바닥표면온도를 설정온도로 정한 것으로 윗목은 30℃, 아랫목은 35℃이다.

실험 결과 그림 26과 27과 같이 윗목은 실온으로 제어하고 아랫목은 바닥표면온도로 제어하는 경우와 윗목은 바닥표면온도로 제어하고 아랫목은 실온으로 제어하는 경우 윗목/아랫목의 실내온도는 두 경우 모두 약 25℃로 유사하게 나타났다. 그러나 그림 28과 29와 같이 바닥표면온도는 윗목은 실온으로 제어하고 아랫목은 바닥표면온도로 제어하는 경우 윗목이 약 25℃, 아랫목이 약 35℃이며 윗목은 바닥표면온도로 제어하고 아랫목은 실온으로 제어하는 경우 윗목이 약 30.5℃, 아랫목이 약 34.5℃를 나타내어 윗목의 표면온도에서 차이를 나타냈다. 온수 공급주기도 전자의 경우 바닥표면온도로 제어되는 아랫목은 대략 2.5시간 간격으로 온수가 공급되고 실내온도로 제어되는 윗목의 경우 1일 3회 간헐적으로 온수가 공급되었으며 후자의 경우 아랫목은 대략 5시간 간격으로 온수가 공급되고 윗목은 대략 3시간 간격으로 온수가 공급되는 것으로 나타났다.

## 4. 결과 분석 및 토의

### 4.1 단일배관 시스템과 개별배관 시스템의 열성능 비교

윗목/아랫목이 단일배관으로 구성된 경우와 개별배관으로 구성된 경우 실내온도 24℃로 실온 제어시 두 경우 모두 윗목과 아랫목이 유사한 실온분포를 나타내면서 윗목과 아랫목의 바닥표면온도차는 약 6K를 형성하며 아랫목의 온도가 모두 35℃ 이상을 나타내어 “따뜻한 실온과 따뜻한 바닥”이 효과적으로 구현되고 있는 것으로 평가되었다. 윗목/아랫목이 단일 배관으로 구성된 경우 윗목/아랫목에 요구되는 부하가 다르더라도

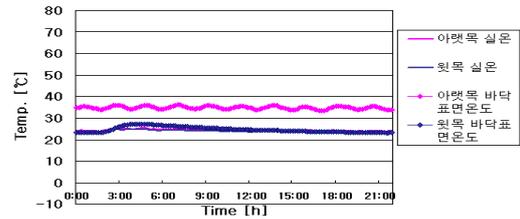


그림 28. 윗목 실온제어/아랫목 바닥표면온도제어의 경우 실내온도 및 바닥표면온도 분포 (Case 3-A)

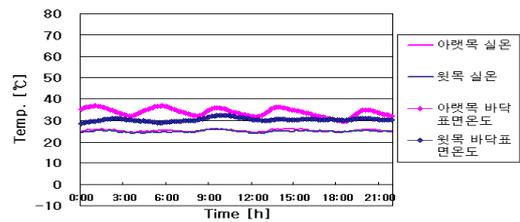


그림 29. 윗목 바닥표면온도제어/아랫목 실온제어의 경우 실내온도 및 바닥표면온도 분포 (Case 3-B)

동일한 시간동안 온수가 공급되게 되지만, 윗목과 아랫목이 2개의 개별배관으로 조닝되어 분할 제어되면 거실과 같이 외피와 면한 실에서 발코니 확장시 발코니 측에 아랫목을 적용하면 발코니 창 부근의 부하를 효율적으로 감당하게 되고 실 내측에 위치하여 부하가 적게 요구되는 윗목에서는 최소의 시간동안만 온수의 공급이 가능해진다. 따라서 윗목/아랫목 분할 제어시스템은 한 공간 내에서 부하요구의 편차가 크게 발생할 경우 각각의 부하 요구량에 따라 적절한 대응이 가능한 온돌 시스템인 것으로 평가되며, 거주자가 원하는 위치에 윗목/아랫목을 바꾸어 구성수도 있으므로 공간 온열환경의 자율성 및 온도 조절에 대한 유연성이 더욱 더 확보되는 시스템이라 사료된다.

### 4.2 개별배관시스템 조건별 비교 실험 결과

#### 4.2.1 윗목/아랫목 등온 제어의 경우와 차등온도 제어의 경우에 대한 열성능 비교

윗목과 아랫목이 동일온도 제어된 경우 윗목과 아랫목에서 전체 실에 대한 부하를 1 : 3 정도의 비율로 분담하여 감당하고 있으나 차등온도로 제어할 경우 고온에 해당하는 아랫목에서 전체 실의 난방부하를 대부분 감당하게 되고 윗목에는 난방이 거의 공급되지 않아도 실내 공기에 의해 열을 공급받기 때문에 윗목의 바닥표면온도는 최소 실온에 가깝게 유지되며 최소한의 난방온수가 공급된다. 또한 전체 바닥면적에서 난방이 되어

실의 부하를 감당하는 경우보다 아랫목으로 조닝된 좁은 공간에서 전체 실의 부하를 감당하게 되기 때문에 동일한 실내온도를 유지하게 되더라도 윗목/아랫목 온돌시스템의 아랫목의 바닥표면온도는 더 높아지게 된다. 따라서, 따뜻한 바닥온도를 요구하는 좌식 생활구역을 아랫목으로 설정하고 입식 생활구역을 윗목으로 설정할 수 있어 다양한 소비자의 요구를 충족시키는 실내온열환경 구현 가능하다 평가된다.

#### 4.2.2 윗목/아랫목 실온제어의 경우와 바닥표면온도 제어의 경우에 대한 열성능 비교

윗목/아랫목을 동일하게 실온으로 제어하는 경우와 윗목/아랫목 동일하게 바닥표면온도로 제어하는 경우에 대하여 두 경우 모두 실내온도 및 바닥표면온도는 유사하게 나타났다. 그러나 실온으로 제어하는 경우에는 온수 공급주기가 대략 8시간간격이며 아랫목의 표면온도의 편차는 평균값보다 약  $\pm 3K$  정도로 큰 차이를 나타내었고 바닥표면온도로 제어하는 경우에는 온수 공급주기가 대략 2.5시간간격이며 아랫목의 표면온도의 편차도 평균값보다 약  $\pm 1K$  이내로 작게 나타났다. 이것은 바닥표면온도로 제어하는 경우가 실내온도로 제어하는 경우보다 온수에서 전달되는 열에 대한 반응속도가 더 빠르기 때문이다. 온수에서 공급되는 열은 전도를 통해 1차적으로 바닥온돌에 전달되고 2차적으로 대류를 통해 실내공기로 전달되게 되기 때문에 1차 열전달 매체인 바닥온돌의 표면온도로 제어를 하는 것이 부하변동에 민감하게 반응할 수 있어 2차 열전달 매체인 실내공기 온도로 제어하는 것보다 더욱 안정적인 온열을 조성할 수 있는 제어 방식이 된다.

#### 4.2.3 윗목/아랫목 실온 및 바닥표면온도 복합제어 경우의 위치별 열성능 비교

윗목은 실온제어, 아랫목은 바닥표면온도제어시와 윗목은 바닥표면온도제어, 아랫목은 실온제어시 실내온도는 두 경우 모두 윗목/아랫목에서 약  $25^{\circ}C$ 로 유사하게 나타났다. 그러나 전자의 경우 윗목이 약  $25^{\circ}C$ , 아랫목이 약  $35^{\circ}C$ 이며 후자의 경우 윗목이 약  $30.5^{\circ}C$ , 아랫목이 약  $34.5^{\circ}C$ 를 나타내어 윗목의 표면온도에서 차이를 나타냈다. 이는 전자의 경우 반응속도가 빠른 바닥표면온도

로 제어되는 아랫목에서 전체 실의 부하가 대부분 감당되었고 실온에 의해 제어되는 윗목의 경우 실내 공기에서 열을 전달받기 때문에 실내온도와 같은 바닥표면온도를 유지하는 상태에서 최소한의 온수가 공급되는 것이며, 후자의 경우 윗목이 고온으로 설정되어 있고 반응속도가 빠른 바닥표면온도로 제어되어 전체 실에 대한 부하에 대하여 윗목이 차지하는 비율이 상대적으로 매우 커지게 된 반면 실내온도로 제어되는 아랫목은 상대적으로 전체 부하에 대하여 분담하는 비율이 줄어들게 되었다. 다른 실험의 경우 전체 부하에 대하여 윗목이 감당하는 부하의 비율은 온수공급시간으로 산정해 볼 때,  $1/24 \sim 2/5$  정도인 반면 해당 조건의 경우 고온의 바닥표면온도로 설정된 윗목이 감당하는 부하의 비율이 전체 실 부하의  $2/3$ 로 매우 크게 나타났다.

#### 4.2.3 전체 실험조건별 윗목/아랫목의 온도 분포 및 난방부하 감당 비율 비교

개별배관 윗목/아랫목 온돌 제어시스템에 대하여 수행된 총 6가지의 조건별 실험결과에 대하여 윗목/아랫목의 온도 분포 및 난방부하 감당 비율을 비교 분석해 보았다.

총 6가지의 조건별 실험 결과에 대하여 그림 30과 같이 평균 실내온도, 윗목/아랫목의 바닥표면온도를 비교 분석하였다. 또한, 각 실험별 윗목/아랫목의 온수공급시간 및 총 온수공급시간을 비교 분석하여 총 온수시간에 대한 각각의 온수공급시간의 비로 그림 31과 같이 난방부하 분담 비율을 산정하였다. 전 실험조건에서 모두 실온은 약  $24^{\circ}C$ , 아랫목의 바닥표면온도는  $34^{\circ}C$  이상으로 공동주택의 거주자가 요구하는 따뜻한 실온과 따뜻한 바닥온도를 만족시키는 것으로 나타났다. 공동주택에서 입식생활공간에 구성되는 윗목의 바닥표면온도는 불필요하게 높은 온도를 유지할 필요가 없는데, 실험 결과 제어방식에 상관없이 차등온도로 제어되는 경우(Case 1-B와 Case 2-B)와 아랫목은 바닥표면온도/윗목은 실온으로 제어되는 경우(Case 3-B)에 가장 낮은 온도분포를 나타내고 있었다.

윗목과 아랫목이 차등온도로 제어되는 경우(Case 1-B와 Case 2-B), 아랫목의 바닥표면온도는 가장 높은 온도를 나타내게 되고 윗목의 바닥표면온도는 가장 낮은 온도로 윗목과 아랫목간의

바닥표면온도차이가 가장 큰 것으로 나타나는데, 이는 그림 31과 같이 고온으로 설정된 아랫목에서 전체 실 부하의 대부분을 감당하여 실온이 설정온도에 도달하게 되고 그로 인해 윗목에서는 온수를 통한 난방공급이 불필요해졌기 때문이며 이때의 윗목 온돌구조체는 실내공기에서 열을 공급받아 실온과 유사한 바닥표면온도를 형성하게 되는 것이다.

윗목은 실온제어, 아랫목은 바닥표면온도제어 (Case 3-A)시 부하 변동시 응답속도가 빠른 바닥표면온도로 제어되는 아랫목에서 먼저 난방이 공급되어 실온이 설정온도에 근접하게 도달하게 되므로 실온으로 제어되는 윗목에서 부하 요구량이 거의 없으므로 난방공급이 불필요하게 되어 윗목의 바닥표면온도는 실온의 수준으로 유지되며 그로 인해 윗목과 아랫목간의 바닥표면온도 차이는 가장 크게 형성되는 것으로 분석되었다.

윗목을 바닥표면온도로 제어하는 경우 중 아랫목은 실온으로 제어하고 윗목은 고온의 바닥표면온도로 설정한 경우(Case 3-B)에 아랫목의 난방분담비율은 다른 경우에 비하여 매우 줄어들고 윗목의 난방분담비율은 매우 증가하였는데, 이는 고온으로 설정된 윗목이 바닥표면온도로 제어되기 때문에 전체 실 부하의 대부분을 윗목에서 감당하게 되기 때문이다. 그러므로 윗목을 바닥표면온도로 제어할 경우 실온보다 낮거나 실온과 유사한 온도로 설정하도록 제한할 필요가 있다.

## 5. 결론

본 연구에서 공동주택의 쾌적한 온열환경을 구현하기 위해 개발한 윗목/아랫목 온돌시스템은 각각의 난방구역을 설정하여 실온을 유지시키면서 상대적으로 높은 바닥표면온도를 형성시킬 수 있는 시스템이다. 현장실험결과 실내설정온도가 유지되면서 아랫목은 실온보다 6K 정도 높은 바닥표면온도를 확보하였으며 윗목은 최저 실온과 유사한 바닥온도 분포를 나타내었다. 본 실험결과 윗목/아랫목 온돌시스템을 2개의 개별 배관망으로 각각 구성하여 실내온도를 설정하고 아랫목을 바닥표면온도제어를 하는 경우가 가장 효과적인 시스템 구성인 것으로 평가되었다.

본 윗목/아랫목 온돌시스템은 난방문화의 질적 향상을 통한 지역난방의 확대보급에 기여하고,

차별화된 한국형 온돌난방시스템을 보급하고자 한다. 본 연구에서 제시한 윗목/아랫목 온돌시스템은 초기투자비용이 크게 발생하지 않으므로 공동주택 단지내 경로당, 어린이집과 같은 커뮤니티 시설이 우선 적용하고 단계적으로 이를 공동주택 단위세대로 확대 적용하는 방안이 모색될 필요가 있다.

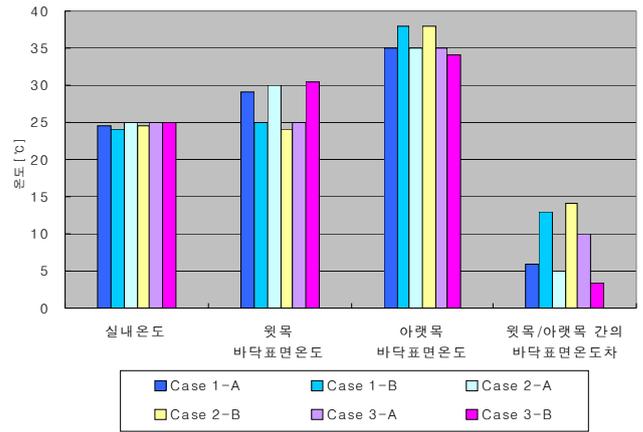


그림30. 실험별 실내온도 및 윗목 바닥표면온도, 아랫목 바닥표면온도 분포 및 윗목/아랫목 간의 바닥표면온도차

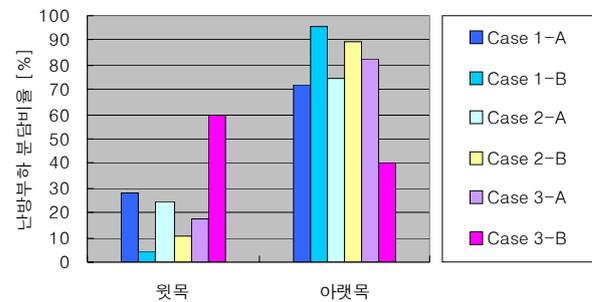


그림31. 실험별 윗목/아랫목의 난방분담비율

## 참고문헌

1. 백용규, 부분온돌난방공간의 열환경 특성 및 평가에 관한 연구(I), 대한건축학회 논문집, 1995. 4
2. 대한주택공사 외, 공동주택 바닥난방시스템 개발 및 실용화 연구, 1998. 12
3. REHAU, REHAU FLACHENHEIZUNG /-KÜHLUNG, 2007
4. 한국건설기술연구원, 공동주택의 한국형 지역 난방시스템 개발에 관한 연구, 2007. 6
5. 김동희, 조동우, 유기형, 아파트 난방방식에 따른 겨울철 실내온열환경 선호도 및 만족도 연구, 대한건축학회 논문집, 2008.01