

제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템의 적용 가능성에 관한 실험적 연구

이 상 엽, 황 석 호, 김 가 현, 이 승 복*

성균관대학교 대학원 건축공학과, *성균관대학교 건축공학과

An Experimental Study for Evaluating Performance of Radiant Floor Cooling System Integrated with Dehumidification

Sang-Youp Lee, Suck-Ho Hwang, Ka-Hyun Kim, Seung-Bok Leigh**

Graduate School of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

*Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

(Received November 7, 2001; revision received January 17, 2002)

ABSTRACT: It is critical for radiant floor cooling system using Ondol to cause condensation on a floor surface. To solve this problem, a radiant floor cooling system integrated with dehumidification was proposed and evaluated in terms of its applicability and prevention of condensation. Therresults show that the proposed system of radiant floor cooling integrated with dehumidification properly maintained the indoor setpoint temperatures and prevented the condensation on a floor surface. To achieve more stable indoor temperatures and humidity control, a further study for the operation of dehumidification panel will be needed.

Key words: Ondol(온돌), Radiant floor cooling system(바닥복사 냉방시스템), Dehumidification panel(제습패널), Dehumidification(제습)

1. 서 론

최근 주택에서 냉방시스템으로 룸에어컨의 사용이 매년 증가하고 있다. 룸에어컨 사용의 증가는 여름철 냉방에 의한 전력사용량을 증가시키는 주요 원인이 되며, 국가적 차원의 전력수급문제를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 온돌구조체를 이용한 바닥복사 냉방시스템이 제시⁽¹⁾되고 있으며, 적용 가능성과 에너지 성능에 관한 연구가 진행⁽²⁾되고 있다. 그러나, 바닥복사 냉방시스템의 경우 바닥 표면에서 결로발생의 위험이 존재하므로,⁽²⁾ 제습기능이 고려된 냉

방시스템의 구성이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 제습패널과 바닥복사 냉방을 병용한 시스템을 구성하여 실험을 수행함으로써 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템의 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템

바닥복사 냉방시스템은 복사열교환에 의한 냉방방식으로, Fig. 1와 같이 열평형상태가 되도록 외부에서 유입되는 열량만큼을 제거하여 실내 설정온도를 유지한다. 따라서, 바닥복사 냉방시스템은 온돌 난방시스템과 유사한 특성을 가진다.^(2,3) 그러나, 냉방운전 중 바닥 표면에 결로발생의 위험이 존재하므로, 이를 해결하기 위해 제습패널을 사용함으로써 결로발생을 방지할 수 있을 것

† Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7559; fax: +82-31-290-7570

E-mail address: sbleigh@yurim.skku.ac.kr

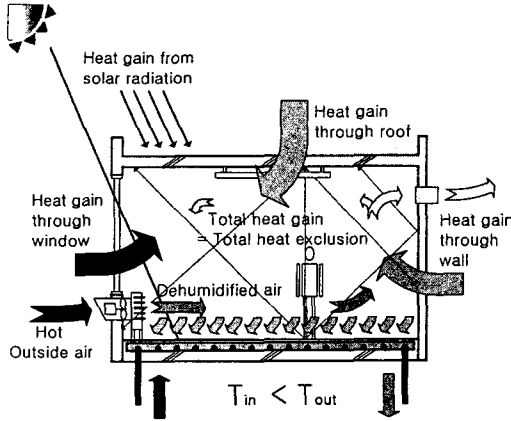


Fig. 1 Concept of radiant floor cooling system integrated with Dehumidification.

이다. 또한, 제습패널을 사용함으로써 바닥복사 냉방시스템의 특성인 부하변동에 대한 즉각적인 반응이 어렵고 예열시간이 길다는 단점을 보완해 줄 수 있을 것으로 판단된다.

3. 실험모델 및 실험장치 구성

3.1 실험모델

실험모델은 2.4 m(W)×2.4 m(D)×2.4 m(H) 크기의 4개의 셀로 이루어졌으며, 각 단위 실험공간에는 1.8 m(W)×1.2 m(H)의 창문과 0.8 m(W)×1.6 m(H)의 출입문을 각각 하나씩 설치하였다. 단위공간의 평면과 온돌구조체의 단면은 Fig. 2와 같다.

3.2 시스템 구성

테스트 셀은 Fig. 3과 같이 열원의 종류에 따라 1 HP의 압축식 냉동기를 사용하는 A존과, 지중열을 사용하는 B존으로 구분하였다. 지중 파이프는 길이 20 m로, 5 m 간격으로 5개를 매설하였다.

제어방식에 따라 A1과 B2는 3방 밸브를 사용하여 온도제어를 수행할 수 있도록 하였고, A2와 B1은 전자변을 사용하여 유량제어를 수행할 수 있도록 하였다.

냉동기는 부하에 따라 1대 혹은 2대를 동시에 운전할 수 있도록 구성하였으며, 각 테스트셀에 설치된 제습패널은 전자변을 사용하여 유량제어

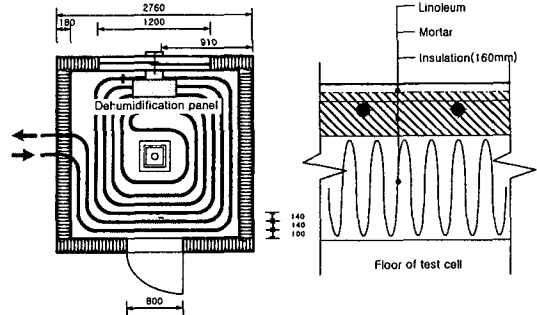


Fig. 2 Plan of test cell and section of floor.

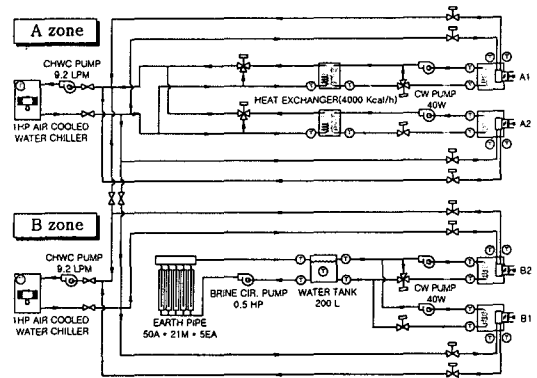


Fig. 3 Experimental set-up of radiant floor cooling system integrated with dehumidification.

를 수행하도록 하였다. 또한, 외기가 제습패널을 통과하도록 외기도입팬과 댐퍼를 구성하여 실내로 유입되는 풍량을 조절할 수 있도록 하였다.

A존의 바닥구조체로 공급되는 냉수온도는 냉동기에서 판형 열교환기를 거쳐 각각의 밸브에 의해 최종적으로 제어되며, B존의 바닥구조체로 공급되는 냉수온도는 수조의 설정온도에 따라 지중순환펌프를 작동시켜 제어하였다.

3.3 측정 및 제어장치

테스트셀 내부의 실내환경조건을 측정하기 위하여 Fig. 4와 같이 각 벽체 표면과 남측창 표면, 바닥 표면에 열전대(thermocouple)를 설치하였다. 그리고, 실내기온의 측정을 위해서 벽체 표면 사이에서 일어나는 복사열교환의 영향을 차단할 수 있도록 열전대를 설치하였다. 또한, Fig. 3과 같이 열교환기 입·출수온도, 온돌 및 제습패널의

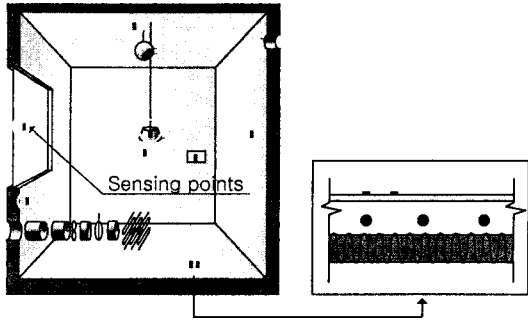


Fig. 4 Sensing point of test cell.

공급 냉수온도 및 환수온도, 수조 입·출수온도, 수조온도 등을 측정하였다. 측정된 데이터는 데이터 입·출력 보드를 통해 컴퓨터로 전송되도록 구성하였으며, 냉동기와 열교환기, 제습패널, 밸브류 등은 데이터 입·출력 보드, 시그널컨디셔닝모듈, 퍼스널컴퓨터를 사용하여 자체 작성한 알고리즘으로 LabVIEW 6.0 프로그램을 통해 제어하였다.

4. 1차 실험 : 적용 가능성 평가

4.1 실험목적

각 실험조건에 따른 냉방성과 실내 열환경 조절기능을 살펴보고, 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템의 적용 가능성을 검토하기 위한 목적으로 실험을 수행하였다.

4.2 실험개요

Fig. 5에서 보는 바와 같이, 실험은 자연상태에서 환기를 수행하는 B1, 바닥복사 냉방과 환기를 실시하는 A2, 제습패널을 사용하여 제습과 냉방을 하는 B2, 바닥복사 냉방과 제습패널을 사용하여 냉방과 동시에 제습이 가능한 A1으로 구성하였다. A2는 외기보상을 통해 공급냉수온도를 결정한 후 전자변을 이용하여 유량제어를 하였으며, B2의 제습패널은 전자변을 이용하여 유량제어를 실시하였다. A1의 경우에는 외기보상 실온 피드백을 통해 공급냉수온도를 결정한 후 3방 밸브를 사용하여 온돌로 공급되는 냉수의 온도를 제어하였으며, 제습패널은 전자변을 이용하여 유량제어를 수행하였다.

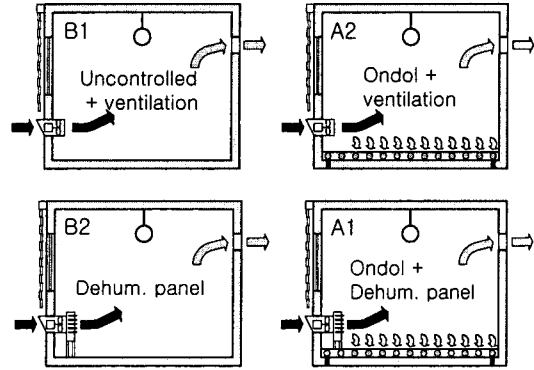


Fig. 5 Cases for 1st experiment.

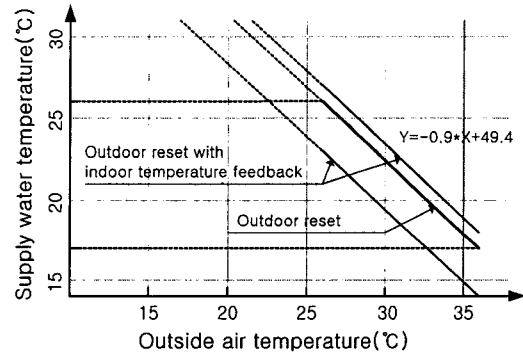


Fig. 6 Relation between outside air temperature and supply water temperature.

외기온-공급냉수온도의 관계(외기보상률)를 결정하기 위해 예비실험을 하였으며, 이를 통해 산정한 외기보상 곡선은 Fig. 6과 같다. 외기보상 후 실온 피드백은 Y절편을 변화시키는 방법을 사용하였으며, 외기보상 곡선에서 음의 방향으로 3, 양의 방향으로 1만큼 변화하도록 설정하였다.

4.3 실험결과 및 분석

4.3.1 B1 : 자연상태 + 환기

Fig. 7의 B1은 이를 동안 자연상태에서 1 ACH의 환기율을 가지도록 외기팬과 댐퍼를 제어하여 얻은 결과를 보여준다. 주간의 외기온도 최고점이 12시 35분에 34°C이며, 실내기온의 최고점은 17시 36분에 30.39°C로, 약 5시간의 시간지연을 갖는 것으로 판단된다.

Table 1에서는 실험기간 중 외기조건을 나타내고 있다.

Table 1 Outside air conditions

	Outside air temperature (°C)	Outside air RH (%)	Outside air humidity (g/kg')
Avg.	26.59	58.54	12.20
STDEV	4.46	18.27	1.46
Max	34.23	89.59	17.38
Min	19.99	27.93	8.30

4.3.2 A2 : 복사냉방+환기

A2는 실험기간 동안 바닥복사 냉방을 실시하면서 1 ACH의 환기율을 가지도록 외기팬과 덤퍼를 제어하였다. 실험기간 동안 실내열환경조건을 살펴보면, Fig. 7과 같이 실내기온과 설정온도의 차이가 0.7°C 이상을 보이는 기간은 12시간이며, 실내기온의 최고점이 27.96°C에 이르고 있고, 실내기온과 설정온도의 편차가 3.7°C로, 환기가 고려된 바닥복사 냉방시스템으로 실내냉방부하를 감당하기에는 부족한 것으로 판단된다. 실험기간 동안 실내에서 제거된 현열은 408.06 kcal로 계산되었다.

운전 초기에 A1의 제습패널에 비하여 냉방시간이 길어지는 것은, 외기온도가 26°C 이하로 유지되었으므로 외기보상된 냉수는 25°C로 공급되었고, 상대적으로 높은 공급냉수온도로 인한 바닥구조체의 축냉시간이 길어졌기 때문으로 보인다. 한편, 제습패널을 사용하였을 경우에 비해 냉방시간이 4시간 30분 가량 줄어드는 것을 살펴볼 수 있으며, 이는 축냉된 바닥구조체에 의한 영향 때문인 것으로 판단된다. 한편, 야간에도 환기를 하였고, 실험기간 동안 야간 외기온도가 20°C까지 하강하였으므로, 야간 환기와 축냉된 온돌구조체에 의하여 야간 실내온도가 25°C 이하로 하강한 것을 알 수 있다.

Fig. 7에서 보듯이, 15시 05분부터 17시 49분까지 약 2시간 45분 동안 바닥 표면에 결로가 발생하였다. 이때, 바닥 표면의 온도는 20.2°C에서 21°C 사이였으며, 실내온도 27.7°C, 실내상대습도 66%, 실내노점온도 20.8°C, 외기온도 31°C, 외기상대습도 40% 정도로 나타났다. 결로발생시 바닥 표면온도가 노점온도에 비해 크게 낮지 않았으나, 상대적으로 외기습도가 낮은 상태에서 결로가 발생하였으므로, 외기습도가 70%에서 80% 정도인 우리 나라 여름철 기후를 고려해 볼 때 바닥복사 냉방만으로는 결로발생을 피할 수 없을

것이라 판단되며, 환기를 고려한 바닥복사 냉방시 바닥 표면온도가 21°C 이하로 내려가면 결로 발생 확률이 매우 높아질 것으로 판단된다.

4.3.3 B2 : 제습패널+환기

B2는 실험기간 동안 제습패널을 이용하여 냉방하였으며, 환기율은 1 ACH로 설정하였다.

제습패널은 현열과 잠열을 동시에 제거하며, 이를 통해 실내로 유입된 공기는 실내공기와 혼합되면서 실내공기환경에 직접적으로 영향을 준다. 또한, A2와 같이 온돌을 이용한 복사냉방방식이 가지는 축열성능은 거의 없다고 볼 수 있다. 따라서, Fig. 7에서 보이는 바와 같이, 냉방운전 초기에 설정 실내온도조건에 이르는 기간이 바닥복사 냉방과 환기를 수행한 A2에 비해 약 2시간 20분 정도 빠른 것으로 보이며, 축열성능이 없는 관계로 A2에 비해 냉방시간이 4시간 30분 가량 늘어남을 알 수 있다. 제습을 수행함으로써 바닥 표면온도와 노점온도의 차이가 7~8°C 이상으로 유지되었으므로 결로의 위험은 없을 것으로 판단된다.

실험기간 동안 실내열환경조건을 보면, Fig. 7과 같이 실내기온과 설정온도의 차이가 0.7°C 이상을 보이는 기간은 14시간이며, 실내기온의 최고점이 27.9°C에 이르고 있으며, 실내기온과 설정온도의 편차가 2.7°C로 바닥복사 냉방과 환기를 수행한 A2에 비해 실내기온의 편차는 적었으나, 제습패널에 15°C의 냉수공급으로는 냉방부하를 감당하기에 부족한 것으로 보인다.

실험기간 동안 실내에서 제거된 현열은 369.94 kcal이며, 잠열은 451.17 kcal, 제습량은 0.76 kg으로 계산되었다.

4.3.4 A1 : 복사냉방+제습패널+환기

A1은 실험기간 동안 온돌을 이용하여 바닥복사 냉방을 실시하고, 제습을 위하여 제습패널을 설치하여 실험을 수행하였다. 실험기간 동안 실내열환경조건을 살펴보면, Fig. 7과 같이 실내기온과 설정온도의 차이가 0.7°C 이상을 보이는 기간은 없었으며, 실내기온의 최고점이 26.67°C로 앞의 A2, B2에 비해 약 1.3°C 정도 낮았고, 실내기온과 설정온도의 편차가 2.8°C로, 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템은 실내열환경조건을 안정적으로 유지하고 있다고 판단할 수 있다.

실험기간 동안 실내에서 제거된 현열은 1144.04

Table 1 Outside air conditions

	Outside air temperature (°C)	Outside air RH (%)	Outside air humidity (g/kg')
Avg.	26.59	58.54	12.20
STDEV	4.46	18.27	1.46
Max	34.23	89.59	17.38
Min	19.99	27.93	8.30

4.3.2 A2 : 복사냉방+환기

A2는 실험기간 동안 바닥복사 냉방을 실시하면서 1 ACH의 환기율을 가지도록 외기팬과 댐퍼를 제어하였다. 실험기간 동안 실내열환경조건을 살펴보면, Fig. 7과 같이 실내기온과 설정온도의 차이가 0.7°C 이상을 보이는 기간은 12시간이며, 실내기온의 최고점이 27.96°C에 이르고 있고, 실내기온과 설정온도의 편차가 3.7°C로, 환기가 고려된 바닥복사 냉방시스템으로 실내냉방부하를 감당하기에는 부족한 것으로 판단된다. 실험기간 동안 실내에서 제거된 현열은 408.06 kcal로 계산되었다.

운전 초기에 A1의 제습패널에 비하여 냉방시간이 길어지는 것은, 외기온도가 26°C 이하로 유지되었으므로 외기보상된 냉수는 25°C로 공급되었고, 상대적으로 높은 공급냉수온도로 인한 바닥구조체의 축냉시간이 길어졌기 때문으로 보인다. 한편, 제습패널을 사용하였을 경우에 비해 냉방시간이 4시간 30분 가량 줄어드는 것을 살펴볼 수 있으며, 이는 축냉된 바닥구조체에 의한 영향 때문인 것으로 판단된다. 한편, 야간에도 환기를 하였고, 실험기간 동안 야간 외기온도가 20°C까지 하강하였으므로, 야간 환기와 축냉된 온돌구조체에 의하여 야간 실내온도가 25°C 이하로 하강한 것을 알 수 있다.

Fig. 7에서 보듯이, 15시 05분부터 17시 49분까지 약 2시간 45분 동안 바닥 표면에 결로가 발생하였다. 이때, 바닥 표면의 온도는 20.2°C에서 21°C 사이였으며, 실내온도 27.7°C, 실내상대습도 66%, 실내노점온도 20.8°C, 외기온도 31°C, 외기상대습도 40% 정도로 나타났다. 결로발생시 바닥 표면온도가 노점온도에 비해 크게 낮지 않았으나, 상대적으로 외기습도가 낮은 상태에서 결로가 발생하였으므로, 외기습도가 70%에서 80% 정도인 우리 나라 여름철 기후를 고려해 볼 때 바닥복사 냉방만으로는 결로발생을 피할 수 없을

것이라 판단되며, 환기를 고려한 바닥복사 냉방시 바닥 표면온도가 21°C 이하로 내려가면 결로 발생 확률이 매우 높아질 것으로 판단된다.

4.3.3 B2 : 제습패널+환기

B2는 실험기간 동안 제습패널을 이용하여 냉방하였으며, 환기율은 1 ACH로 설정하였다.

제습패널은 현열과 잠열을 동시에 제거하며, 이를 통해 실내로 유입된 공기는 실내공기와 혼합되면서 실내공기환경에 직접적으로 영향을 준다. 또한, A2와 같이 온돌을 이용한 복사냉방방식이 가지는 축열성능은 거의 없다고 볼 수 있다. 따라서, Fig. 7에서 보이는 바와 같이, 냉방운전 초기에 설정 실내온도조건에 이르는 기간이 바닥복사 냉방과 환기를 수행한 A2에 비해 약 2시간 20분 정도 빠른 것으로 보이며, 축열성능이 없는 관계로 A2에 비해 냉방시간이 4시간 30분 가량 늘어남을 알 수 있다. 제습을 수행함으로써 바닥 표면온도와 노점온도의 차이가 7~8°C 이상으로 유지되었으므로 결로의 위험은 없을 것으로 판단된다.

실험기간 동안 실내열환경조건을 보면, Fig. 7과 같이 실내기온과 설정온도의 차이가 0.7°C 이상을 보이는 기간은 14시간이며, 실내기온의 최고점이 27.9°C에 이르고 있으며, 실내기온과 설정온도의 편차가 2.7°C로 바닥복사 냉방과 환기를 수행한 A2에 비해 실내기온의 편차는 적었으나, 제습패널에 15°C의 냉수공급으로는 냉방부하를 감당하기에 부족한 것으로 보인다.

실험기간 동안 실내에서 제거된 현열은 369.94 kcal이며, 잠열은 451.17 kcal, 제습량은 0.76 kg으로 계산되었다.

4.3.4 A1 : 복사냉방+제습패널+환기

A1은 실험기간 동안 온돌을 이용하여 바닥복사 냉방을 실시하고, 제습을 위하여 제습패널을 설치하여 실험을 수행하였다. 실험기간 동안 실내열환경조건을 살펴보면, Fig. 7과 같이 실내기온과 설정온도의 차이가 0.7°C 이상을 보이는 기간은 없었으며, 실내기온의 최고점이 26.67°C로 앞의 A2, B2에 비해 약 1.3°C 정도 낮았고, 실내기온과 설정온도의 편차가 2.8°C로, 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템은 실내열환경조건을 안정적으로 유지하고 있다고 판단할 수 있다.

실험기간 동안 실내에서 제거된 현열은 1144.04

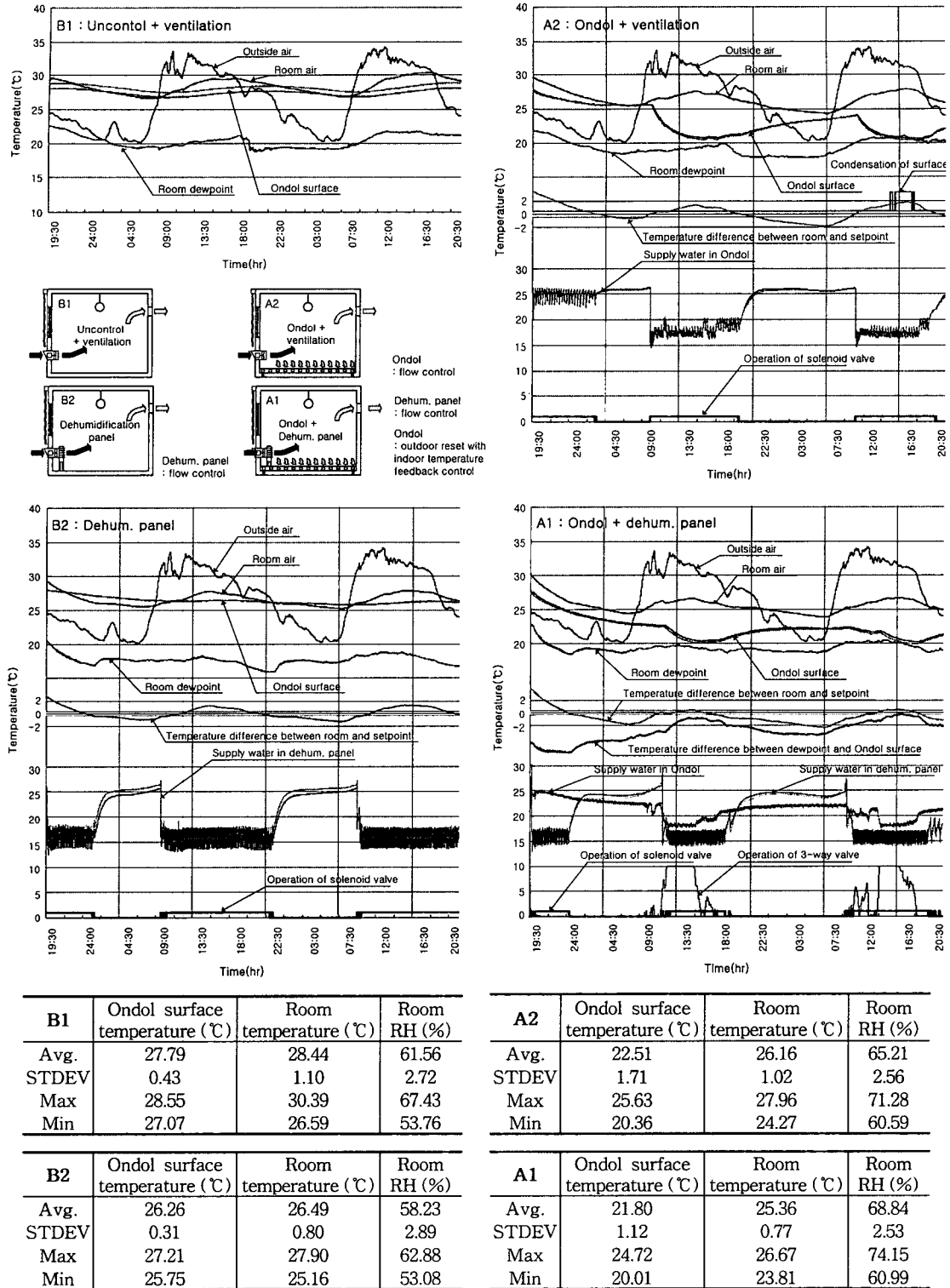


Fig. 7 Test results of 1st experiment.

kcal이며, 잠열은 315.56 kcal, 제습량은 0.53 kg으로 계산되었다.

냉방운전 초기에 실내설정온도에 이르는 기간은 4시간 30분으로 제습패널을 사용한 B2의 경우에 비해 1시간 가량 빨라진 것으로 보인다. 이는 제습패널과 바닥복사 냉방이 동시에 시행된 결과로 판단된다.

실험을 개시하여 하루가 지난 후 주간제습패널의 작동을 살펴보면, Fig. 7과 같이 12시 30분부터 19시 10분까지 운전되었음을 알 수 있으며, 이 기간 동안 실내기온이 26.2℃를 초과하지 않았음에도 제습패널이 작동한 구간이 있음을 볼 수 있다. 이는 실내 노점온도와 바닥 표면온도의 편차가 2℃ 이하가 되면, 제습을 위해 제습패널을 운전하도록 알고리즘을 작성하였기 때문이다.

이 경우, 바닥 표면온도가 최저점에 다다른 시간이 14시 30분이었고, 이후 조금씩 상승하는 추세에 있었으며, 실내기온은 축냉된 바닥구조체와 제습패널의 운전에 의해 하강하고 있는 추세에 있었다. 따라서, 15시 40분부터 제습패널의 운전이 끝나는 19시 10분까지 3시간 30분 동안 제습패널을 운전하지 않았더라도 바닥 표면의 결로를 방지하고 실내온도조건을 유지하는 데 문제가 없었을 것으로 판단된다.

한편, 제습패널이 초과하여 운전됨으로써 축냉 성능을 가지는 온돌구조체의 특성에 의해 야간 실내온도의 최저점이 바닥복사 냉방과 환기를 수행한 A2에 비해 0.5℃ 정도 더 떨어진 것을 확인할 수 있었다. 축냉된 바닥구조체의 표면온도는, 야간에 냉방부하요인이 발생하지 않았으므로 다음날 12시까지도 22℃를 유지하고 있음을 알 수 있다.

5. 2차 실험 : 제어성능 평가

5.1 실험목적

1차 실험을 통해 바닥복사 냉방시스템과 제습패널을 병용하여 운전하였을 경우, 가장 안정적으로 실내열환경조건을 유지한다고 판단되었다.

그러나, 바닥복사 냉방시스템과 제습패널을 병용하여 운전할 경우, 바닥복사 냉방시스템에 비해 반응이 빠른 제습패널이 불필요하게 운전된 기간이 발생하였으며, 이러한 현상은 바닥복사 냉방시스템의 제어방식으로 유량제어를 사용하였을

때 더욱 증가할 것으로 예상된다.

따라서, 2차 실험에서는 바닥복사 냉방시스템의 제어방식을 온도제어와 유량제어로 구분하고, 바닥복사 냉방시스템과 제습패널을 병용하여 운전하였을 때, 각 제어방식에 따른 제어성능을 살펴보고, 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템에서 열원으로 지중열의 이용 가능성을 검토하기 위한 목적으로 실험을 수행하였다.

5.2 실험개요

실험은 Fig. 8과 같이, 자연상태에서 환기를 수행하는 B1과 바닥복사 냉방과 제습패널을 사용하여 냉방과 동시에 제습이 가능한 A1, A2, B2로 구성하였다.

A1은 외기보상 실온 피드백을 통해 공급냉수 온도를 결정한 후 3방 밸브를 이용하여 바닥구조체로 공급되는 냉수온도를 제어하였으며, 제습패널은 전자변을 이용하여 유량제어를 실시하였다. A2는 외기보상을 통해 공급냉수온도를 결정한 후 전자변을 이용하여 바닥구조체로 공급되는 유량을 제어하였으며, 제습패널은 전자변을 이용하여 유량제어를 실시하였다. B2의 경우에는 지중에 매설한 지중파이프를 연속적으로 운전하여 냉수를 만들고, 외기보상 실온 피드백을 통해 공급냉수온도를 결정한 후 3방 밸브를 사용하여 바닥구조체로 공급되는 냉수의 온도를 제어하였으며, 제습패널은 전자변을 이용하여 유량제어를 수행하였다.

외기보상률은 1차 실험과 동일하게 설정하였다.

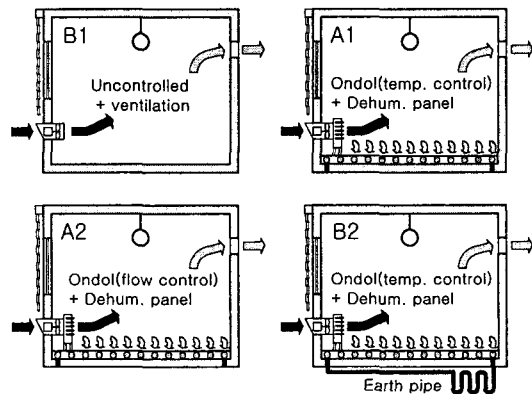


Fig. 8 Cases for 2nd experiment.

5.3 실험결과 및 분석

5.3.1 B1 : 자연상태 + 환기

Fig. 9의 B1은 3일 동안 자연상태에서 1ACH의 환기율을 가지도록 외기팬과 댐퍼를 제어하여 얻은 결과를 보여준다. Table 1과 Table 2에서 보는 바와 같이, 2차 실험의 외기조건은 1차 실험기간 동안의 외기조건과 비교하여, 온도조건은 상대적으로 낮았으며, 습도조건은 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

5.3.2 A1 : 복사냉방(온도제어) + 제습패널 + 환기

A1은 실험기간 동안 외기보상 실온 피드백을 통하여 바닥구조체로 공급되는 냉수의 온도를 제어함으로써 바닥복사 냉방을 실시하고, 1ACH의 환기율을 가지도록 외기팬과 댐퍼를 제어하였으며, 제습을 위하여 제습패널을 설치하여 실험을 수행하였다. 실험기간 동안 실내열환경조건을 살펴보면, Fig. 9와 같이 실내기온과 설정온도의 차이가 0.5℃ 이상을 보이는 기간은 없었으며, 실내기온의 최고점이 26.44℃이고, 평균 실내기온은 25.84℃이며, 실내기온과 설정온도의 편차가 1.3℃로 나타나므로 실내열환경조건을 안정적으로 유지하고 있다고 판단할 수 있다.

한편, 실험을 개시한 후 첫번째 날 11시 18분의 외기온도는 30.45℃이고, 바닥구조체로 공급되는 냉수온도는 23.7℃로 나타났다. 바닥구조체로 공급되는 냉수의 온도는 Fig. 6과 같이 외기보상률에 따라 실내기온을 피드백하여 제어하므로, 11시 18분에 공급되는 냉수의 온도는 19℃에서 23℃ 사이에 있을 것으로 판단할 수 있다. 제습패널은 설정온도조건에 따라 9시 30분부터 운전되고 있었고, 11시 18분에 실내기온은 25.9℃에 이르고 있다. 이때, 바닥구조체로 공급된 냉수의 온도는 23.7℃로, 공급될 수 있는 냉수의 온도범위에서 최고점을 보이고 있다. 이러한 현상이 발생하는 것은 실내온도가 26.2℃를 초과하면 제습패널이 운전되고, 이

에 따라 실내온도가 26℃ 이하로 내려가게 되면 제습패널이 작동을 중지하는 과정을 반복하면서 실내온도는 25.8℃ 정도를 유지하고 있었고, 바닥구조체로 공급되는 냉수의 온도는 실온 피드백에 따라 공급될 수 있는 최고점으로 점차 증가하였기 때문으로 판단된다. 또한, 1차 실험에서 바닥복사 냉방과 제습패널을 사용한 A1과 같이, 실내 노점온도와 바닥 표면온도의 편차가 2℃ 이하가 되면 제습패널을 작동하도록 알고리즘을 작성하였으므로, 이로 인하여 제습패널이 초과하여 작동되는 기간이 발생하였다. 이러한 문제점이 발생한 근본적인 원인은 바닥복사 냉방시스템과 제습패널의 제어를 독립적으로 구성하였기 때문으로 판단되며, 이를 해결하기 위해서 실내기온, 바닥 표면온도, 그리고 노점온도를 변수로 하여 바닥복사 냉방시스템과 제습패널을 제어할 수 있는 알고리즘이 추가로 구성되어야 할 것으로 판단된다.

5.3.3 A2 : 복사냉방(유량제어) + 제습패널 + 환기

A2는 실험기간 동안 외기보상을 통하여 공급냉수온도를 결정된 후 전자변을 이용하여 온돌로 공급되는 냉수의 유량을 제어함으로써 바닥복사 냉방을 실시하고, 1ACH의 환기율을 가지도록 외기팬과 댐퍼를 제어하였으며, 제습을 위하여 제습패널을 설치하여 실험을 수행하였다. 실험기간 동안 실내열환경조건을 살펴보면, Fig. 9와 같이 실내기온과 설정온도의 차이가 0.5℃ 이상을 보이는 기간은 없었으며, 실내기온의 최고점이 26.35℃이고, 평균 실내기온은 25.74℃이며, 실내기온과 설정온도의 편차가 1.8℃로 나타나므로 실내열환경조건을 안정적으로 유지하고 있다고 판단할 수 있다.

그러나, 이 경우에도 온도제어를 수행한 A1과 유사한 현상이 발생하였으며, 유량제어의 특성상 바닥구조체로 공급되는 냉수의 유량을 제어하는 전자변의 작동시간에 비해 제습패널의 작동시간이 A1에 비해 더욱 증가하였음을 살펴볼 수 있다.

유량제어의 경우에 있어서 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 온돌로 공급되는 냉수의 유량을 제어하는 전자변의 운전조건과 제습패널의 운전조건을 다르게 설정하는 것을 고려해 볼 수 있다.

5.3.4 B2 : 복사냉방(지중열) + 제습패널 + 환기

B2는 온돌로 공급되는 냉수의 열원으로 지중열을 사용하였으며, 제습패널은 열원으로 냉동기를 사용하였다. 실험기간 동안 지중파이프를 연

Table 2 Outside air conditions

	Outside air temperature (°C)	Outside air RH (%)	Outside air humidity (g/kg')
Avg.	25.57	70.29	14.15
STDEV	3.59	16.33	1.48
Max	32.67	96.43	19.64
Min	19.42	40.54	10.69

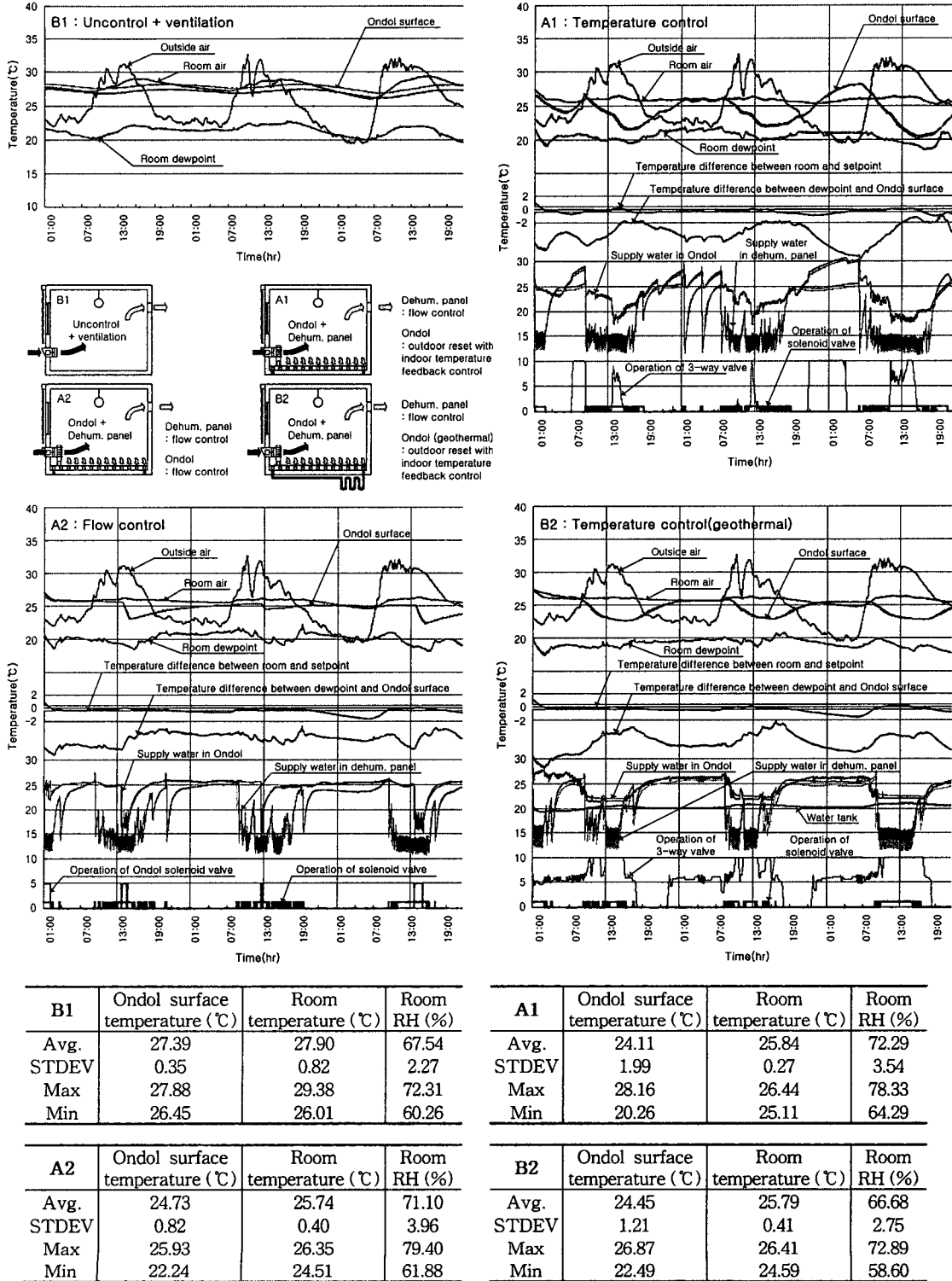


Fig. 9 Test results of 2nd experiment.

속적으로 순환시켜 냉수를 만들고, 외기보상 실온 피드백을 통하여 온돌로 공급되는 냉수의 온도를 제어함으로써 바닥복사 냉방을 실시하고, 1 ACH의 환기율을 가지도록 외기팬과 댐퍼를 제어하였으며, 제습을 위하여 제습패널을 설치하여 실험을 수행하였다. 실험기간 동안 실내열환경조건을 살펴보면, Fig. 9와 같이 실내온도와 설정온도의 차이가 0.5℃ 이상을 보이는 기간은 없었으며, 실내온도의 최고점이 26.41℃이고, 평균 실내온도는 25.79℃이며, 실내온도와 설정온도의 편차가 1.8℃로 나타나, 실내열환경조건을 안정적으로 유지하고 있다고 판단할 수 있다.

Fig. 9의 결과에서와 같이, 온돌로 공급되는 냉수의 온도는 냉동기를 열원으로 온도제어를 수행한 A1에 비해 상대적으로 높았지만, 온돌 3방 밸브가 냉방시에 지속적으로 열려 있었기 때문에 바닥 표면온도가 최저점에 이르는 시간이 A1에 비해 1시간 30분 정도 빨랐으며, 따라서 제습패널의 운전시간이 대폭 감소하였음을 알 수 있다. 그리고, 지중파이프는 펌프의 동력만으로 순환시킬 수 있으므로, A1과 같이 냉동기를 열원으로 사용하는 것에 비해 냉방에 사용되는 에너지를 대폭 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.⁽²⁾ 또한, 냉동기를 열원으로 하는 A1에 비해 온돌로 공급되는 냉수온도가 상대적으로 높았으므로, 실내 노점온도와 바닥 표면온도의 편차가 증가하여 바닥 표면의 결로 발생 위험이 감소하였음을 살펴볼 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 제습패널과 바닥복사 냉방시스템을 통합하여 구성하고 실험을 수행하여 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템의 적용 가능성을 검토하고자 하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 1차 실험설정조건에 따라 실험한 결과, 바닥복사 냉방시스템이나 제습패널만으로는 실내설정 온도조건을 유지하는데 부족한 것으로 판단되었다.

(2) 1차 실험의 결과 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템은 실험기간 동안 현열제거량 1144.04 kcal, 잠열제거량 315.56 kcal, 제습량 0.53 kg으로 계산되었고, 실내설정온도조건을 양호하게 유지하고 있으며, 제습을 통해 결로발생을 억제하는 것으로 나타났다. 따라서, 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템은 여름철 냉방시스템으로 적

용 가능할 것으로 판단되며, 특히 열대야 현상이 빈번한 우리나라의 여름철 냉방에 효과적이다.

(3) 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템의 바닥 표면온도는 21℃ 이상을 유지하여야 할 것으로 판단되며, 바닥 표면온도가 20℃ 이하로 내려갈 경우 결로발생 위험이 증가할 것으로 판단된다.

(4) 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템에서 바닥복사 냉방시스템의 열원으로 지중열을 이용할 경우, 바닥 표면의 결로를 효과적으로 방지할 수 있으며, 여름철 냉방시 에너지절약에 매우 효과적일 것으로 판단된다.

(5) 제습패널과 바닥복사 냉방시스템을 통합하여 운전할 경우, 제습패널이 불필요하게 운전된 시간이 발생하였고, 이러한 문제는 실내기온, 바닥 표면온도, 그리고 노점온도를 변수로 하여 바닥복사 냉방시스템과 제습패널을 제어할 수 있는 알고리즘을 추가로 구성함으로써 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2001년도 두뇌한국 21사업 및 에너지 관리공단의 연구지원으로 진행되었다.

참고문헌

1. Kim, Y. Y. and Kim, K. W., 2001, A Study on the Thermal Environmental Analysis and the Application of Radiant Floor Cooling in Apartment Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, pp. 541-548.
2. Whang, S. H., Lee, S. Y., Kim, S. H. and Leigh, S. B., 2001, A Study on the Energy Performance of Radiant Floor Cooling System, Proceedings of the SAREK, pp. 960-965.
3. Korea Institute of Construction Technology, 1992, A Study on the Development of Prefab On-dol system, pp. 7-9.
4. Haines, R. W., 1987, Control System for Heating, Ventilating and Air Conditioning, Van Nostrand Reinhold Company Inc., pp. 102-105.
5. Haines, R. W., 1991, Roger Haines on HVAC Controls, McGraw-Hill Inc., pp. 166-178.