

폴리프로필렌 모세유관 냉방시스템의 적용에 관한 실험적 연구

이 영 주, 김 오 봉, 김 광 우*, 여 명 석*

서울대학교 건축학과 대학원, *서울대학교 건축학과

An Experimental Study on the Application of Polypropylene Capillary Tube Cooling System

Young-Ju Lee, Wu-feng Jin, Myoung-Souk Yeo*, Kwang-Woo Kim**

Graduate School, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

*Department of Architecture, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

(Received April 26, 2005; revision received August 10, 2005)

ABSTRACT: In this study, we made RFC, RCC and NCC according to the method by which polypropylene capillary tube was adopted, and evaluated cooling performance of each system through model experiments. We also investigated an applicability of the combined use of radiant cooling and dehumidification system. The results are as follows: In case of normal cooling load, RFC and RCC maintained set temperature without a condensation. But, in case of peak cooling load, RFC and RCC resulted in the lack of cooling performance and caused a condensation at the radiation surface. Consequently, the only use of polypropylene capillary tube is considered not to be enough for cooling in real application. Using the combination of a dehumidification and radiant cooling system maintained the set temperature without a condensation. NCC kept the set temperature at anytime without a condensation. It is more economic than packaged air-conditioner system due to the cooling effect of the floor surface.

Key words: Polypropylene capillary tube(폴리프로필렌 모세유관), RFC(바닥복사냉방), RCC(천장복사냉방), NCC(자연대류냉방), Dehumidification(제습), Condensation(결로)

1. 서 론

현재 국내 공동주택에 사용되는 개별냉방방식은 입주 후 사용자의 의지에 따라 설치되는 패키지 에어컨이 일반적이며, 특히 주상복합건물을 비롯한 다수의 건물들은 설계시에 멀티 에어컨을 냉방방식으로 설치하고 있다.⁽¹⁾ 하지만 패키지 에어컨의 사용시 드래프트에 의한 불쾌적과 토출지점의 일원화로 인한 실내 지점별 온도차가 발생하

게 된다. 국외의 경우, 복사냉방에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며,⁽²⁾ 그 중 소음과 드래프트, 먼지 비산의 발생이 없는 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 냉방방식의 연구가 활성화되어 다양한 방식으로 적용되고 있다. 그러나 국내에 폴리프로필렌 모세유관을 기존 냉방에 대한 대안적인 냉방방식으로 활용하기 위해서는 적용 가능성에 대한 검토가 필요할 것이다.

그러므로 본 연구에서는 폴리프로필렌 모세유관 시스템을 유럽 등에서 실제 적용된 사례를 바탕으로 열전달방식에 따라 적용방식을 분류한 뒤, 국내 공동주택을 모사한 테스트 셀에서 냉방성능 평가를 실시하였으며, 일반적인 공동주택에서 냉

† Corresponding author

Tel.: +82-2-880-7353; fax: +82-2-871-5518

E-mail address: msyeo@snu.ac.kr

방을 위해 설치되어 있는 패키지 에어컨을 결로 발생 방지를 위한 제습장치⁽³⁾로 이용함으로써 폴리프로필렌 모세유관 시스템의 실질적인 적용 가능성을 검토하였다.

본 논문은 추후 폴리프로필렌 모세유관 시스템의 적용시 자료제공 및 축적을 위한 선행연구로써 폴리프로필렌 모세유관 냉방시스템의 열적특성분석(냉방성능)과 적용시 문제점 분석을 본 연구의 범위로 선정하였다.

2. 폴리프로필렌 모세유관 냉방시스템

2.1 폴리프로필렌 모세유관의 특징

폴리프로필렌 모세유관은 90년대 중반 독일에서 처음 개발된 것으로 외경이 3.4~4.3mm 되는 매우 얇은 관을 말한다. Fig. 1과 같이 주로 복사패널의 형태로 냉·난방 모두 적용이 가능한 모세유관은 관 사이의 간격을 10~30mm로 유지하며 냉방을 실시하므로 전체 방열면적에 균일한

온도분포를 나타낸다. 또한, 보통 16℃의 비교적 높은 온도의 냉수로 냉방이 가능하여 표면 결로의 발생이 적다.

폴리프로필렌 모세유관 시스템은 기존 공기식 냉방에 비해 소음과 드래프트를 일으키지 않고 환경이 작아 매설두께가 줄어들 수 있다. 또한, 유연성이 매우 높기 때문에 돔 형태의 표면이나 특수한 디자인의 경우에도 편리하게 적용될 수 있다.

2.2 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 냉방방식

폴리프로필렌 모세유관을 이용한 냉방방식은 열전달방식에 따라 복사냉방과 대류냉방으로 나눌 수 있다.

복사냉방방식은 유럽 등에서 연구된 관련 논문을 고찰한 결과, 튜브를 매설한 복사패널의 위치에 따라 바닥복사냉방, 천장복사냉방과 벽체의 복사냉방으로 나눌 수 있다. 그러나 국내 공동주택 외벽의 경우 대부분 유리로 구성되어 있고 내벽은 가구설치로 인하여 열전달이 차단되는 것을 고려할 때 벽체의 복사냉방방식은 적용 가능성이 없다고 판단하여 바닥복사냉방과 천장복사냉방 방식 위주로 평가하였다.

대류냉방방식은 모세유관을 Fig. 2의 (c)와 같이 상하부 개구부가 있는 케이스 내부에 샤프트(폴리프로필렌 모세유관 튜브)를 설치하여 냉각코일로서 활용하는 방식으로 공기운동방식에 따라 자연대류냉방방식과 강제대류냉방방식으로 나눌 수 있으나 본 연구에서는 폴리프로필렌 모세유관의 자체적인 냉방성능을 평가하고자 샤프트형식의 자연대류냉방방식만을 실시하였다. 패키지 에어컨에 대한 실험은 대조군으로서 진행하였다.

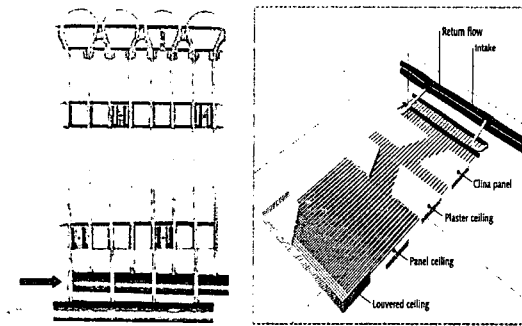


Fig. 1 Polypropylene capillary tube.

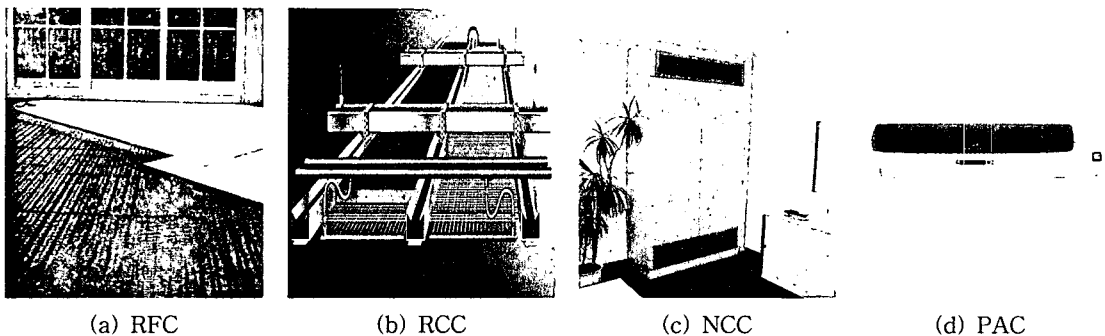


Fig. 2 Cooling methods used in the experiment.

3. 실험모델의 구성

3.1 Test cell

본 실험에서는 Fig. 2와 같이 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 바닥복사냉방방식(radiant floor cooling, RFC)과 천장복사냉방방식(radiant chilled ceiling, RCC), 그리고 자연대류냉방방식(natural convection cooling, NCC)과 공동주택의 일반적인 냉방방식인 패키지 에어컨(Packaged air-condition, PAC)의 냉방성능평가를 수행하기 위하여 국내 공동주택 규모에서 가장 일반적인 32평형 증간세대 안방을 기준으로 열획득량(부하)이 단위면적당 동일한 값을 가지도록 외피의 열관류율, 창문의 크기, 침기, 일사 유입 등을 산정하여 4개의 test cell을 Fig. 3과 같은 형태로 구성하고 실험을 수행하였다. 각 test cell마다 설치된 thermocouple(천장, 바닥, 수직실내온도, 창문, 문, 외벽)과 습도센서를 통하여 온·습도값을 측정하였으며, 범용 소프트웨어인 LabVIEW 프로그램과 하드웨어인 SCXI-1001(I/O board)을 사용하여 1분 단위로 데이터를 측정하고 저장하도록 시스템을 구성하였다.

3.2 폴리프로필렌 모세유관 냉방시스템 구성

폴리프로필렌 모세유관 냉방시스템은 Fig. 4와 같이 크게 열원시스템, 분배시스템, 터미널유닛으로 나뉜다. 열원설비로 일정한 온도의 냉수를 연속적으로 공급할 수 있도록 공냉식 냉동기를 사용하였으며, 각각의 냉방에 필요한 공급냉수온도를 공급하기 위하여 판형 열교환기를 설치하여 각 냉방방식에 적합한 냉수온도로 냉수공급이 가

능하도록 하였다. 냉방방식에 따라 필요로 하는 냉수의 온도가 다르기 때문에 복사냉방을 실시하는 2개의 test cell(RFC, RCC)에는 독일에서 제시한 공급수 온도인 16℃의 냉수를 공급할 수 있는 1개의 순환펌프를 설치하고 대류냉방을 실시하는 test cell(NCC)에는 7℃의 냉수를 공급할 수 있도록 1개의 순환펌프를 추가로 설치하였다.

각 실험 유량조절이 가능하고 냉수공급의 확인이 가능한 냉수분배장치를 이용하여 3.5 lpm의 유량으로 조절하였고 터미널유닛은 제어공간에 설치된 3가지 형태(RFC, RCC, NCC)의 폴리프로필렌 모세유관으로 구성하였다.

4. 실험내용 및 방법

복사 및 대류냉방실험은 냉방능력과 쾌적측면에서의 수직온도분포, 바닥표면온도, 초기냉각시간, 결로발생 여부 등을 비교하기 위해 수행되었다.

본 실험은 7~9월까지를 전체 냉방기간으로 가정하여 이 기간 동안 실험을 수행하였고, 실험완료 후 데이터 분석과정을 거쳐 여름철 최고 외기온대(26~36℃)와 일반적인 외기온대(21~32℃)를 선정하여 최고 외기온 조건과 일반적인 외기온 조건에서 냉방성능과 쾌적측면을 평가하였다.

최대냉방능력을 평가하기 위해 최대부하가 발생하는 날(외기온 : 26~36℃)에 결로제어를 하지 않고 24시간 동안 냉방을 가동하여 비교실험(실험 1)을 수행하였으며, 설정실온을 24±0.5℃로 낮추어 설정하여 최대부하에 대한 냉방능력을 평가하였다.

최대 외기온 조건에서 실시한 대류냉방실험(실험 1)은 기존 공동주택에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 패키지 에어컨(강제대류냉방)과 폴

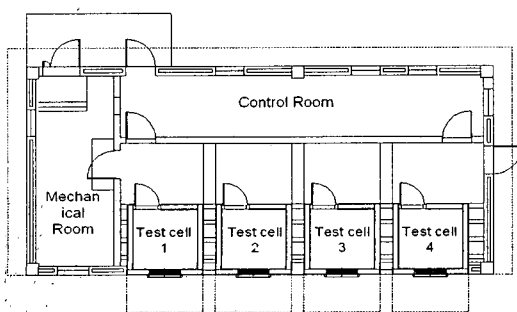


Fig. 3 Plan of the laboratory.

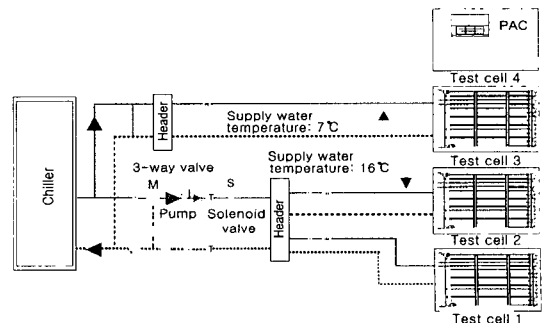


Fig. 4 Polypropylene capillary system.

Table 1 Experiment condition

Item	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Application system	▪ RFC ▪ RCC ▪ NCC ▪ PAC		▪ RFC ▪ RCC
Set temperature	24±0.5°C	26±0.5°C	26±0.5°C
A period of experiment	3 days	3 days	2 days
Range of outdoor air temperature	26~36°C	21~32°C	18~30°C
Control	ON/OFF control	ON/OFF control + Condensation prevention control	ON/OFF control + Dehumidifying control
Supply water temperature	▪ RFC : 16°C ▪ RCC : 16°C ▪ NCC : 7°C		
Cooling source	Air-cooled chiller		
Control system	▪ SCXI-1001 (I/O board) ▪ LabVIEW 7.0 (S/W)		

리프로필렌 모세유관을 이용한 자연대류냉방방식 간의 냉방성능, 쾌적성능과 운전성능을 비교하였고, 실험 1에서는 이루어진 모든 실험은 설정실온을 기준으로 on/off 제어만을 실시하였다.

쾌적 성능을 평가하기 위해 최대부하가 발생하지 않는 일반적인 날(외기온 : 21~32°C)에 결로 제어(각 test cell의 노점온도를 계산한 뒤 노점온

도에 1°C의 안전율을 두어 결로 발생위험시 밸브를 off하여 결로발생을 사전에 방지할 수 있도록 프로그램 알고리즘을 구성)를 적용하여 비교실험(실험 2)을 수행하였다. 실험 2에서는 설정실온을 기준으로 on/off 제어를 실시하지만 결로발생의 위험시 우선적으로 냉방을 중지하여 결로를 방지하는 제어를 적용하여 실험을 실시하였다.

결로발생 문제로 냉방을 중지해야 하는 문제점을 해결하기 위한 대안으로 패키지 에어컨을 결로발생 방지를 위한 제습장치로 이용함으로써 폴리프로필렌 모세유관 시스템의 실질적인 적용 가능성을 검토(실험 3)하였다. 실험 3에서는 설정실온을 기준으로 on/off 제어를 실시하였으며, 결로발생 위험시 제습장치를 가동하여 실내의 노점온도를 낮추어 결로발생의 위험을 사전에 방지할 수 있도록 알고리즘을 구성하였다.

세부적인 실험조건은 Table 1과 같으며, 냉방 실험 알고리즘은 Fig.5와 같다. Fig.5에서 보여주는 알고리즘은 실험 3에 대한 것으로 실험 1과 실험 2 모두 이 알고리즘을 기본으로 하였다.

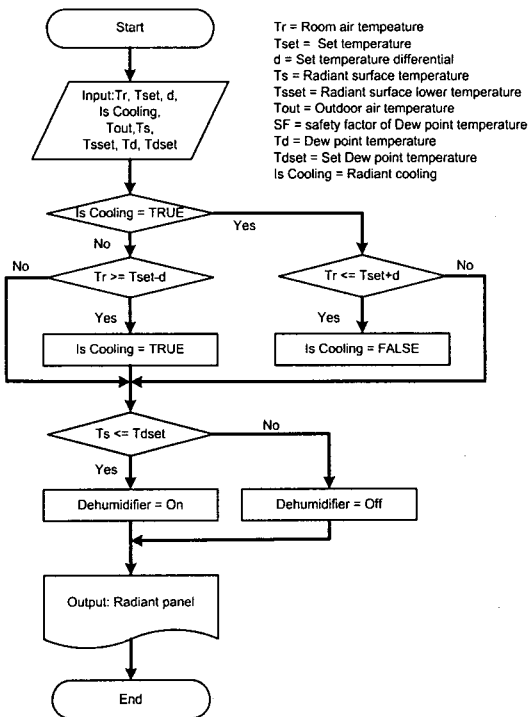
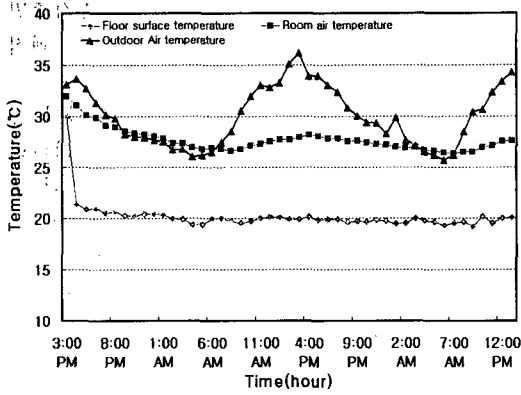


Fig. 5 Control algorithm of the radiant cooling.

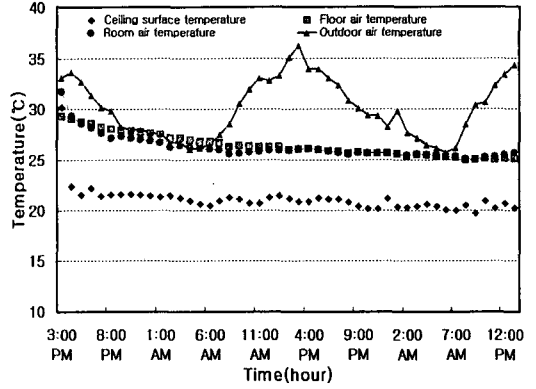
5. 실험결과 및 분석

5.1 복사냉방시스템의 냉방능력 비교

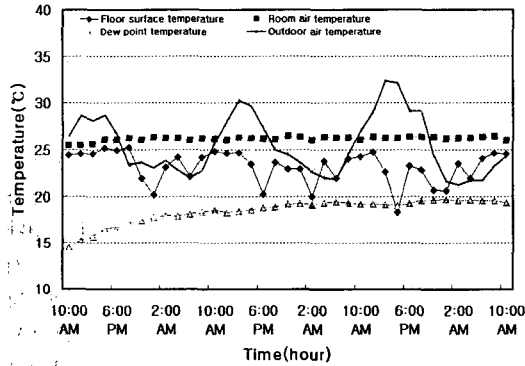
최대부하가 발생하는 조건(실험 1)에서 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 복사냉방의 냉방능력을 평가하였고 냉방성능평가에서 최대부하발생시 설정실온을 만족시킨 자연대류냉방방식(NCC)의 기간부하(순간부하의 총합)를 전체 냉방부하로 가



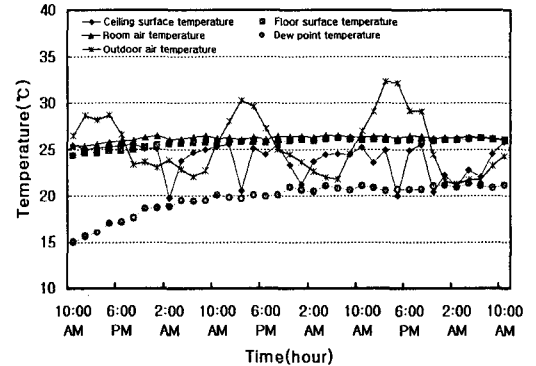
(a) Experiment 1



(a) Experiment 1



(b) Experiment 2



(b) Experiment 2

Fig. 6 Result of radiant floor cooling.

Fig. 7 Result of radiant chilled ceiling.

정하고 RFC와 RCC의 기간부하를 상대적으로 비교·평가하였다. 각각의 냉방방식이 동일하지 않고, 공급수의 온도가 다르다는 것, 그리고 작동시간이 다르다는 점을 고려하여 각 냉방방식별 작동시간을 계산하고 공급 냉수온도와 환수 냉수온도의 차를 물의 비열을 곱하여 단위시간당 순간부하능력으로 평가하였다.

바닥복사냉방을 실시한 경우,⁽⁴⁾ Fig. 6의 (a)에서처럼 실내온도는 평균 27.6°C로 전체 냉방부하의 36%(98.75 kcal/hm², 참고 : 한국생산기술연구원에서 제공하는 일반 공동주택(30 m²)의 기준냉방부하는 123 W/m²(106 kcal/hm²)만이 처리되어 냉방능력이 부족한 것으로 나타났다. 같은 조건에서 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 천장복사냉방을 실시한 경우에도, Fig. 7의 (a)에서처럼 설정실온을 유지할 수 없는 것으로 나타났다. 이때 전체 냉방부하의 58%(140 kcal/hm²)만이 처리되었으며, 따라서 복사냉방의 경우 최대부하조건에

서는 천장복사냉방방식이 바닥복사냉방방식에 비하여 냉방능력이 좋은 것으로 나타났다.

최대부하가 발생하는 조건에서 바닥복사냉방과 천장복사냉방 모두 설정실온을 유지할 수 없었던 것은 발생한 부하에 비하여 설계된 냉방량이 부족했던 것이라고 판단되며, 쾌적범위를 유지하고 결로발생을 방지할 수 있는 범위에서 더 낮은 공급수의 공급도 고려해야 할 것으로 사료된다.

바닥복사냉방이 천장복사냉방에 비하여 냉방능력 부족했던 이유는 바닥복사냉방의 경우 냉방과정 중 바닥슬라브의 하부로 열손실이 많았던 것으로 판단되며, 바닥부분에 의한 냉방효과가 실온상부로부터는 열전달이 부족했던 것으로 판단된다. 천장복사냉방의 경우 열전달(계수)의 영향이 비교적 바닥복사냉방보다는 좋았던 것으로 열전달과정에서 실온 전체의 냉방효과로 작용된 것으로 판단된다. 하지만 냉방기간 중 천장복사냉방과 바닥복사냉방 모두 결로가 발생하여 실

질적인 적용에 있어서 폴리프로필렌 모세유관 자체만으로는 냉방이 불가능할 것으로 판단된다.

최대부하가 발생하지 않는 조건(실험 2)에서 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 바닥복사냉방과 천장복사냉방을 실시한 결과, 결로제어를 통하여 결로발생을 방지할 수 있었으며, 설정실온을 모두 유지할 수 있는 것으로 나타나 일반적인 외기온 범위(21~32℃)에서는 폴리프로필렌 모세유관에 의한 냉방만으로 충분할 것으로 판단된다.

5.2 복사냉방시스템의 쾌적성능 비교

폴리프로필렌 모세유관을 이용한 바닥복사냉방과 천장복사냉방을 실시한 경우, 실내 수직온도차는 Fig. 8의 (a)와 (b)에서처럼 각각 평균 1.6℃와 0.3℃로 나타나 앉은 사람의 발목(0.1m)과 머리(1.1 m) 높이 온도차를 3℃ 이하로 추천하는 (ASHRAE(1992), ISO(1994)) 쾌적범위를 만족하였다. 바닥복사냉방의 바닥표면온도의 경우 설정실온을 유지하기 위한 냉방과정에서 바닥표면온도가 일부구간에서 19℃ 이하로 내려가 최저 바닥온도 기준 19℃(ASHRAE(1992), ISO(1994))에

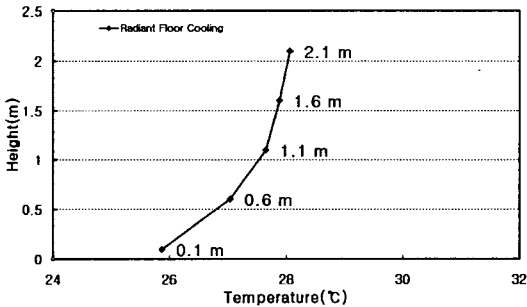
벗어나는 것으로 나타났으나 전체적인 쾌적측면에서는 바닥복사냉방과 천장복사냉방 모두 쾌적한 것으로 판단된다.

또한, 입식 생활자세에서는 인체의 온열감이 공기의 상태에 따라 주로 영향을 받는데, 우리나라는 바닥에 앉거나 누운 자세로 생활하는 좌식 문화를 갖고 있으므로 바닥의 열특성이 인체의 온열감에 영향을 미치는 중요한 요소 중의 하나가 된다는 국내 논문을 고찰한 결과,⁽⁵⁾ 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 냉방을 실시할 경우 그 쾌적범위에 만족하는 것으로 나타나 좌식 생활을 고려할 경우에도 쾌적한 상태에서 냉방이 가능할 것이라고 판단된다.

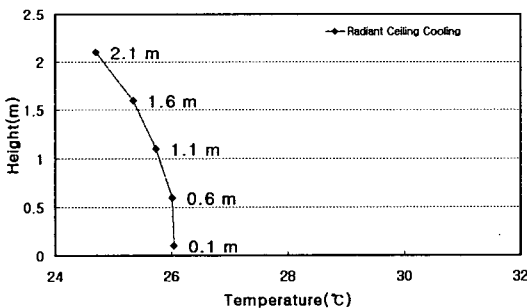
5.3 제습을 고려한 복사냉방시스템의 성능

폴리프로필렌 모세유관 냉방시스템의 실제 적용 가능성을 검토하기 위하여 제습장치를 병용한 냉방실험(실험 3)을 실시하였다. 바닥복사냉방과 제습장치를 병용한 냉방을 실시한 결과, Fig. 9와 같이 결로발생의 위험성이 존재하는 구간에서 제습장치가 작동함으로써 결로발생을 안전하게 방지할 수 있었으며, 이와 동시에 보조냉방으로써도 작용하게 되어 바닥복사냉방만을 사용하였을 경우보다 더 빠르고 안전하게 실온을 쾌적범위로 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

천장복사냉방과 제습장치를 병용한 냉방을 실시한 결과, Fig. 10과 같이 결로 발생 위험구간에서 제습장치가 작동함에 따라 설정실온을 결로 발생 없이 쾌적하게 유지할 수 있는 것으로 나타났다.



(a) Radiant floor cooling



(b) Radiant chilled ceiling

Fig. 8 Vertical distribution of air temperature.

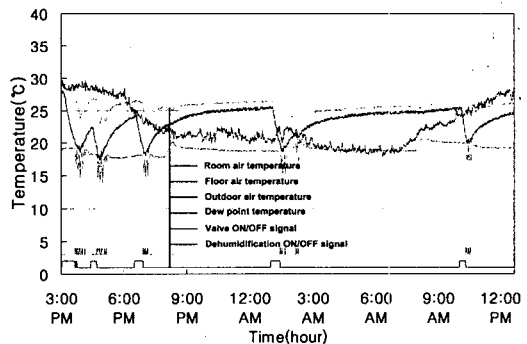


Fig. 9 Result of radiant floor cooling and dehumidification system (PAC).

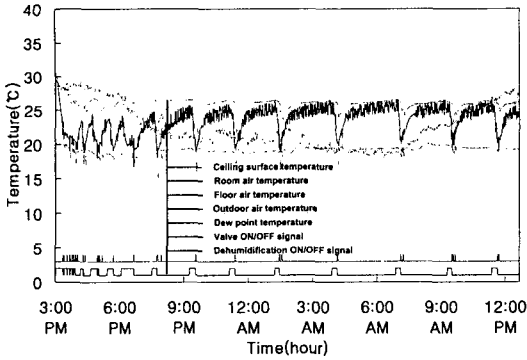


Fig. 10 Result of Radiant chilled ceiling and dehumidification system (PAC).

천장복사냉방과 제습장치를 병용한 경우에도 제습장치가 보조냉방으로 작용한 것으로 판단되며 on/off 횟수가 바닥복사냉방과 제습장치를 병용한 방식보다 더 잦은 것으로 보아 결로의 위험성이 더 큰 것으로 판단된다. 이는 공급냉수온도가 필요 이상으로 낮았기 때문에 발생한 것으로 향후 천장복사냉방에 필요한 적정 공급냉수온도에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

전체 냉방 실험기간 동안 복사냉방(바다, 천장)과 제습장치를 병용한 방식 모두 결로발생은 나타나지 않았다. 바닥복사냉방(평균 바닥온도는 23.4°C, 평균 노점온도는 18.8°C)과 천장복사냉방(평균 바닥온도는 23.6°C, 평균 노점온도는 19.1°C)의 경우, 바닥온도와 노점온도차를 안전범위로 유지함으로써 결로발생의 문제없이 냉방을 실시할 수 있던 것으로 판단된다.

제습장치와 병용하여 폴리프로필렌 모세유관 복사냉방을 실시할 경우 제습장치(패키지에어컨)에 의한 실내현열부하처리 비율이 커지게 되면 폴리프로필렌 모세유관의 실질적인 현열부하담당 비율이 상대적으로 작아지게 되므로 적정한 용량산정 등 제습장치의 설계조건에 대한 고려와 최적의 통합제어 알고리즘 개발을 통하여 제습장치의 현열부하처리 비율을 최적화하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

5.4 대류냉방시스템의 비교

최대부하가 발생하는 외기조건 속에서 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 자연대류냉방과 기존의 패키지에어컨을 이용한 냉방을 실시한 결과,

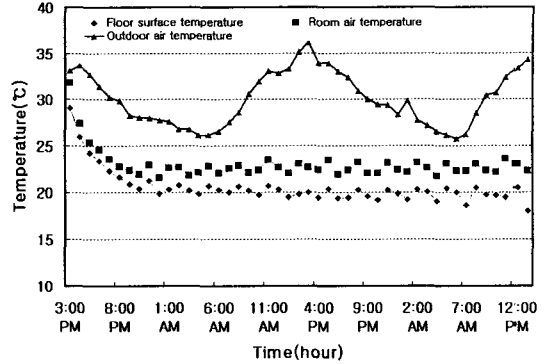


Fig. 11 Result of natural convection cooling.

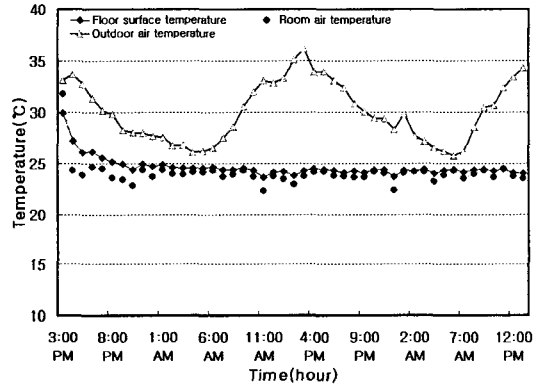


Fig. 12 Result of package air-condition cooling.

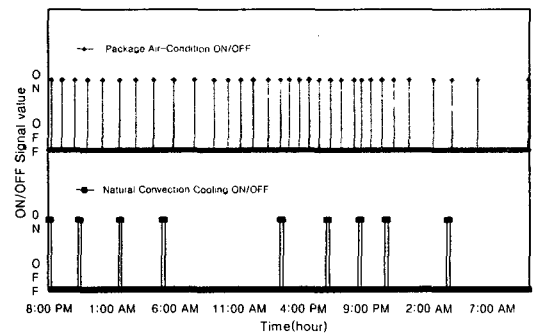


Fig. 13 Number of on/off cycle.

각각 Fig. 11과 Fig. 12에서처럼 설정실온을 쾌적하게 유지할 수 있는 것으로 나타났다.

기존의 냉방방식과는 달리 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 자연대류냉방의 경우 냉방과정에서 하부 토출구측의 찬 공기로 인한 바닥구조체의 축냉이 이루어져 바닥복사냉방을 실시한 경우

Table 2 Energy consumption (For 3 days)

Cooling methods	Cooling source	Cooling load ($\Sigma C \cdot M \cdot \Delta T$)	Operation time	Energy consumption	
PAC	Fan : 5 W Compressor : 450 W	3302kcal	2.5 hr	1.13 kWh (electricity)	
NCC	Air-cooled chiller (1.53 kW-20 W, Including two engines)	2968kcal	0.62 hr	1.03 kWh (electricity)	
NCC	Direct fired absorption chiller-heater (4.6RT-1.5 m ³ /h, 1 kW)	2968kcal	0.22 hr	0.32 m ³ (gas)	0.22 kWh (electricity)

(Fig. 6의 (a))의 바닥온도와 비슷한 것으로 나타났으며, 이것은 대류냉방임에도 불구하고 바닥복사에 의한 냉방효과도 기대할 수 있는 것으로 판단되며, 설정실온에 도달한 뒤 냉수의 공급이 중단되어도 냉방효과가 일정시간 지속되므로 자연대류냉방의 경우 Fig. 13과 같이 패키지에어컨의 on/off 횟수보다 냉수순환펌프 및 밸브의 on/off 횟수를 평균 60% 이상 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

자연대류냉방방식과 기존 냉방방식인 패키지에어컨의 에너지 소비분석을 실시하였다.

2차 실험결과를 이용하여 에너지 소비를 분석하기 위하여 일반적인 외기조건(21~32°C)과 실내설정온도를 26°C로 설정한 일반주택의 안방을 기준으로 하였으며, 3일간의 사용량을 통하여 300 kW 이하의 누진세를 적용한 상태에서 상대적인 경제성 평가를 실시하였다.

기존의 냉방방식인 패키지에어컨을 이용하였을 경우와 폴리프로필렌 모세유관을 시스템의 열원으로 공냉식 냉동기와 직화식 흡수식 냉동기를 각각 사용했을 경우로 나누어 Table 2와 같이 상대적인 에너지 소비 특성을 분석하였다.

다음과 같은 분석과정에서 COP 일정, 최소 규모의 실제기기 적용, 상당운전시간에 의한 산출 등의 산정조건을 고려하여 에너지 소비 특성의 분석을 실시하였다.

Table 2에서와 같이 3일간의 소비된 전력량을 비교한 결과, 자연대류냉방의 경우 1.03 kWh, 패키지에어컨의 경우 1.13 kWh로 나타나 전체 여름철 기간 동안 냉방을 실시할 경우 자연대류냉방이 보다 경제적인 것으로 판단된다.

패키지에어컨을 이용한 기존 냉방방식의 기류속도가 평균 0.32 m/s로 소음 및 드래프트를 발생하

는 것에 비하여 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 자연대류냉방의 경우 평균 0.05 m/s로 ASHRAE (1992) 및 ISO(1994) 기준에서 정하는 쾌적범위 (0.25 m/s 이내)를 만족하는 것으로 나타났다. 최대 부하조건에서 결로발생의 위험이 가장 큰 토출구 측의 바닥온도는 냉방기간 동안 실내의 노점온도보다 높게 유지되어 결로발생의 위험성이 없는 것으로 나타났다. 그러므로 전체 냉방기간 동안 별도의 제습장치 없이 실제 적용이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 기존의 냉방방식(PAC)의 경우 설정온도에 도달하는 시간이 15분밖에 걸리지 않는 반면, 자연대류냉방의 경우 1시간 이상이 걸려 초기냉방부하를 처리하는 데 있어서는 다소 시간이 소요되는 것으로 나타났다. 또한, 자연대류냉방의 도달거리의 한계로 실제 냉방면적이 커지게 될 경우 수평 및 수직 실온분포 불균형 현상이 발생할 수 있는 점을 고려하여 팬부착 등의 대안이 필요할 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 폴리프로필렌 모세유관의 적용 방식에 따라 바닥복사냉방방식, 천장복사냉방방식, 자연대류냉방방식으로 구성하고 모델실험을 통하여 각 냉방방식의 냉방성능을 비교·평가하였으며, 복사냉방방식과 제습장치의 병용을 통한 실제 적용 가능성에 대하여 검토하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 폴리프로필렌 모세유관을 이용하여 복사냉방을 실시한 경우, 일반적인 여름철 외기온 범위에서는 결로발생 없이 설정실온을 유지할 수 있는 것으로 나타났으며, 쾌적 측면에서도 우수한 것으로 나타났다. 하지만 최대부하가 발생하는 외

기온에서는 바닥복사냉방과 천장복사냉방 모두 복사 표면에 결로가 발생하였으며, 설정실온을 유지하지 못하여 냉방능력이 부족한 것으로 나타났다.

따라서 결로발생 문제와 최대부하를 고려할 때 폴리프로필렌 모세유관 자체만의 냉방으로는 실질적인 적용에 있어 냉방능력이 부족할 것으로 판단된다.

(2) 제습장치를 병용하여 냉방을 실시한 경우, 바닥복사냉방방식과 제습장치에 의한 냉방, 천장복사냉방방식과 제습장치에 의한 냉방 모두 결로발생의 문제 없이 실온을 쾌적하게 유지할 수 있는 것으로 나타나 실질적으로 적용 가능성이 있는 것으로 판단된다. 하지만 결로발생 위험구간에서 제습장치가 작동될 경우 실온이 급격하게 내려가는 것으로 보아 보조냉방으로서도 작용된 것으로 판단되므로 제습의 기능으로서만 작동될 수 있도록 제습시 제습장치(패키지에어컨)의 적정한 용량산정 등 제습장치의 설계조건에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

(3) 폴리프로필렌 모세유관을 이용한 자연대류냉방의 경우, 결로발생 없이 최대부하에 대해서 냉방능력이 충분한 것으로 나타났다. 또한, 구조체의 축냉효과로 바닥복사에 의한 냉방효과도 기대할 수 있는 것으로 판단되며, 3일간의 소비된 전력량을 비교한 결과, 자연대류냉방의 경우 1.03 kWh, 패키지 에어컨의 경우 1.13 kWh로 나타나 전체 여름철 기간 동안 냉방을 실시할 경우 자연대류냉방이 보다 경제적인 것으로 판단된다.

쾌적 측면에서는 평균 기류속도가 0.05 m/s로 나타나 기존 패키지에어컨의 소음 및 드래프트 현상을 효과적으로 해소할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 초기부하를 처리하는 데 소요되는 시간이 긴 점과 자연대류냉방의 도달거리의 한계로 실제 냉방면적이 커질 경우 실온분포의 불균형이 발생할 수 있는 것들에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

(4) 냉방능력면만을 고려할 경우 자연대류냉방, 천장복사냉방, 바닥복사냉방의 순으로 우수한 것으로 나타났으나 냉방능력뿐만 아니라 결로발생 및 드래프트 등의 쾌적성, 초기 부하처리능력의 모든 면을 고려할 경우 자연대류냉방방식을 기본으로 신속한 초기부하처리를 위한 패키지에어컨을 병용(=자연대류냉방+패키지에어컨)하여 적

용하는 것이 가장 효과적일 것이라고 판단된다.

후 기

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C04-01)에 의한 것임.

참고문헌

1. Koo, S. Y., Kim, Y. Y., Seok, H. T., Lee, H. W. and Kim, K. W., 2000, A study on the applicability of radiant cooling using Ondol, Korea Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.12, No.2, pp. 200-208.
2. Kim, Y. Y., Yoon, H. L. and Yeo, M. S., 2001, A study on the control of water flow and temperature in the radiant cooling system through simulations, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 532-540.
3. Lee, S. Y., Hwang, S. H., Kim, K. H. and Leigh, S. B., 2002, An experimental study for evaluation performance of radiant floor cooling system integrated with dehumidification, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 142-152.
4. Kim, Y. Y., Lim, J. H., Yeo, M. S. and Kim, K. W., 2001, An experimental study on control performance of radiant floor cooling using Ondol, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1165-1173.
5. Song, G. S., Jeon, B. K., Kim, K. H. and Jeon, S. W., 2001, A study on the comfort comparison based on thermal characteristics of the floor materials-steel, urethane rubber, pine tree, clay at the seating life style, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 17, No. 2, pp. 207-216.