

공동주택에서 바닥복사냉방의 적정 운영방안에 관한 연구

조 영 흠, 석 호 태*, 여 명 석**, 김 광 우**
서울대학교 공학연구소, *영남대학교 건축학부, **서울대학교 건축학과

A Study on the Operation Strategy of Radiant Floor Cooling in Apartment Buildings

Young-Hum Cho, Ho-Tae Seok*, Myoung-Souk Yeo**, Kwang-Woo Kim**

Research Institute of Engineering Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

*School of Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

**Department of Architecture, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Received March 16, 2004; revision received April 26, 2004)

ABSTRACT: In this study, the operation strategy of the radiant floor cooling is evaluated in terms of indoor environmental conditions and energy consumption through simulations using the TRNSYS comparing the existing cooling operation. The operation strategy during continuously operated for cooling is proposed that a representative room had additional equipments and other rooms were operated with only a radiant floor cooling system and that system and control method for cooling are varied with period while intermittently operated for cooling. Specifically, when there are no people in the room, rooms were operated by only radiant floor cooling system using cooling storage and when people are occupied, rooms were operated by dehumidification and supplementary cooling device with radiant floor cooling system. The results of this study show that proposed operation strategy can stably maintain the set room air temperature and can reduce the energy consumption compared to the existing cooling method during continuously operated for cooling. While intermittently operated for cooling, the difference of set room air temperature by proposed operation strategy does not happen, satisfying comfort standards and the radiant floor cooling can expect to supply stable electric power because of decreasing demand for peak electric power of energy consumption.

Key words: Radiant floor cooling(바닥복사냉방), Apartment buildings(공동주택), Operation strategy(운영방안), TRNSYS, Energy consumption(에너지 소비)

1. 서 론

국내의 주택난방은 건축물의 계획 및 설계단계에서 계획되는 것이 대부분이고 그 방식으로 온

돌이라는 바닥복사난방 시스템을 이용하고 있다. 그러나 냉방시스템은 기술적 문제, 경제성, 생활 수준 등의 이유로 설계시 완전히 배제된 상태에서 단지 사용자의 의지에 따라 패키지 에어컨을 구입, 설치하여 냉방을 하는 것이 유일한 방법으로 여겨지고 있다. 이렇게 건축계획단계에서 냉방기기 사용에 대한 고려가 미비하여 전력을 에너지원으로 하는 패키지 에어컨 사용이 증가하여

† Corresponding author

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

E-mail address: msy eo@snu.ac.kr

여름철 냉방부하에 의한 순간 전력부하를 큰 폭으로 증가시켰고, 그 결과 국내의 시간대별, 계절별 전력수요패턴을 변화시키면서 전력예비율을 크게 떨어뜨렸다. 이는 국가의 에너지 수급에도 영향을 주는 요인이 되고 있다. 또한 패키지 에어컨은 설치 특성상 공간 내에서 온도차가 크게 나타나 실내 전체를 쾌적하게 하기 위해서는 설정 온도를 권장온도보다 낮게 조절하여 전력낭비의 원인이 되는 등 여러 가지 문제점들을 초래하고 있는 실정이다. 이에 개별 냉방기기의 사용에 따른 문제점을 해결하기 위해 기존 난방에서 사용 중인 바닥복사패널을 여름철 냉방에 적극 활용하려는 관점에서 바닥복사냉방에 관한 연구⁽¹⁾가 진행되고 있다. 그러나 바닥복사냉방과 관련된 지금까지의 연구에서 실은 제어의 안정성, 결로 방지^(2,3) 및 쾌적성^(4,5) 측면에서 새로운 냉방시스템으로 그 가능성을 확인하였으나, 기존 냉방운영 방식(패키지 에어컨)에 익숙한 사용자들의 입장에서 바닥복사냉방의 운영방안을 살펴보아야 하며 기존 냉방방식과 비교해서 바닥복사냉방의 운영에 따른 실내 열환경과 에너지 소비 측면에서의 비교 평가가 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 연속 냉방과 간헐 냉방시 적절한 바닥복사냉방의 운영방안을 제시하고, 시뮬레이션을 이용하여 제안된 바닥복사냉방의 운영방안을 기존의 패키지 에어컨에 의한 냉방방식과 실내 열환경 측면 및 에너지 소비량 측면에서 비교 평가하였다.

2. 바닥복사냉방의 운영방안 제시

바닥복사냉방의 운영방안을 제시하기 위해서는 냉방이 필요한 상황을 파악하여야 한다. ASHRAE Handbook(2001)에서 냉방은 하나의 건물이나 존에서 다양한 요인에 의해 증가한 냉방부하를 제거하는 것이라고 정의하고 있다. 냉방부하가 커지는 것은 크게 실외로부터의 열획득과 실내에서 발생하는 열획득이 원인이다. 실제 냉방의 운영에 있어 실외부하보다는 실내부하가 중요한 요소로 작용하게 된다. 실내부하 발생에 대한 냉방운영방법은 크게 연속적으로 냉방을 하는 경우와 간헐적으로 냉방을 하는 경우로 나누어 볼 수 있다. 연속냉방은 냉방요구 공간을 실내부하 변동에 따라 냉방기기가 항상 켜진 상태로 설정 실은

을 유지하는 것이며 간헐냉방은 거주자의 생활형태에 따른 재실 여부에 따라 냉방 필요시 임의로 냉방기기를 작동하여 실내부하를 제거하는 것이다. 기존 패키지 에어컨을 이용한 국내 공동주택의 냉방실태를 분석한 자료⁽⁶⁾를 바탕으로 연속냉방과 간헐냉방시 바닥복사냉방의 운영방안을 제시하였다.

2.1 연속냉방시 바닥복사냉방의 운영방안

실제 공동주택에서는 대표실에 1대의 패키지 에어컨을 설치하여 냉방을 하고 나머지 공간에 대해서는 냉방을 하지 않거나 멀티 에어컨을 이용하여 각 실별로 냉방을 하는 경우로 나누어진다. 그리고 냉방기간에 대해 거주자의 생활형태에 따라 각 실별 부하발생이 달라 실별 냉방을 요구하는 수준이 다를 것이다. 대표실은 거주자의 재실에 따라 주/야간 연속적으로 냉방이 요구되는 경우가 많고 내부 발열부하의 증가가 예상되는 공간이며 나머지 공간은 주간에 비해 야간의 재실빈도가 높아 실외부하가 작은 야간에 냉방을 하는 경우가 많다. 이러한 기존 냉방 운영방법을 바탕으로 Fig. 1, Fig. 2와 같이 내부 발열부하의 증가가 예상되는 대표실인 거실이나 안방에는 바닥복사냉방에 추가적인 장치를 사용한 바

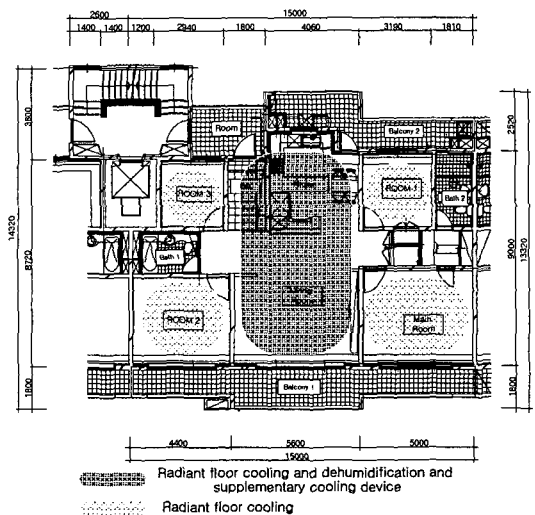


Fig. 1 Operation strategy concept of the radiant floor cooling during continuously operated.

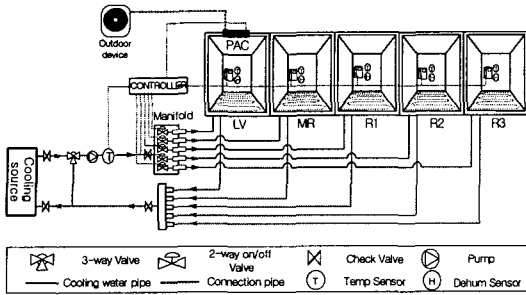


Fig. 2 Operation strategy system distribution of the radiant floor cooling during continuously operated.

다복사냉방과 제습 및 보조냉방에 의해 운영을 하고 내부 발열부하의 변화가 작은 나머지 실에 대해서는 추가적인 냉방장치의 설치가 필요없이 바닥난방패널을 유효하게 냉방에 이용하는 바닥복사냉방만으로 운영하여도 냉방이 가능할 것으로 판단된다.

2.2 간헐냉방시 바닥복사냉방의 운영방안

일반적인 공동주택에서는 냉방기간중 거주자의 필요시 간헐적으로 냉방을 하는 경우가 많다. 주/야간 거주자의 생활방식에 따라 다양한 냉방 운영상황이 발생하게 되며 거주자에 의해 임의로 냉방 여부를 결정하여 냉방을 하게 된다. 이러한 기존의 대류에 의한 냉방방식을 바닥복사냉방에 그대로 적용하게 된다면 초기 부하 제거시간이 느려 효과적인 냉방이 불가능할 것으로 판단된다. 이러한 단점을 보완하여 기존 연구^(3,4)에서 언급한 보조냉방장치를 사용할 수 있으나 이에 따라 바닥복사냉방의 냉방 담당영역이 작아지고 시스템이 복잡해질 수 있다. 이에 공동주택 구조체의 열용량이 큰 특성을 이용해 실제 냉방 운영상황에 적합하도록 거주자 비재실시에 축냉을 이용한 바닥복사냉방만으로 예냉을 한 후 재실시에 바닥복사냉방과 제습 및 보조냉방을 동시에 사용하여 운영한다면 효과적인 것으로 판단된다.

3. 시뮬레이션 계획

바닥복사냉방의 운영을 위해서는 실제 지어진 건물에서 거주자의 생활형태와 외기상태에 따른

구조체의 반응을 통한 평가가 필요할 것이다. 그러나 냉방기간 전체에 대해 다양한 부하변화를 모사하여 멀티존을 대상으로 평가하기에는 많은 제약이 따른다. 이에 시뮬레이션 도구로 바닥복사냉방의 열해석이 가능할 뿐만 아니라, 다양한 운영을 위한 제어가 가능하고 열성능 및 에너지 측면에서의 평가가 가능한 TRNSYS 15를 선정하였다.

3.1 시뮬레이션 개요

시뮬레이션 수행을 위한 대상은 시뮬레이션 결과의 정확성을 검토해 볼 수 있도록 기존의 현장실험⁽³⁾ 공간을 선정하였다. Fig. 1과 같이 경기도 광주시에 위치한 국내 공동주택 49평형의 기준층 중간 세대이며 정남향으로 냉방을 위한 공간은 5개로 구성되어 있다. 시뮬레이션을 위한 구조체의 각 벽체별 구조 및 물성치는 현장실험 대상 공동주택의 것과 동일하게 구성하였다. 재실자의 인체부하, 조명기기, 각종 실내기기, 거주 및 운전 스캐줄은 4인 가족을 기준으로 각 실에서 재실자의 생활패턴을 반영하였다. 쾌적성을 평가하기 위한 PMV 입력조건들은 ISO 7730에 따라 착의량은 여름철 얇은 옷에 해당하는 $0.078 \text{ m}^2\text{C/W}$, 대사량은 앉아서 가벼운 작업을 하는 상태로 설정하였다. 그리고 에어컨 및 냉동기의 용량은 일반적으로 40평형에 설치되는 12,000 kcal/h(3.6 RT)로 결정하였다. 두 가지 방식의 냉방 특징이 서로 다르기 때문에 이들의 용량이 달라질 수도 있지만 본 연구에서는 같은 대상모델의 냉방부하를 동등하게 제거해야 한다는 측면에서 동일한 용량을 선정하였다. 에어컨과 냉동기 모두 성능계수(COP)를 3.0으로 하였으며 순환펌프는 125 W의 펌프를 사용하였다. 시뮬레이션을 위한 입력데이터는 Table 1과 같다.

3.2 시뮬레이션 방법

3.2.1 연속냉방시 바닥복사냉방의 운영방안 평가 계획

Fig. 3과 같이 기존의 냉방방식은 대표실에 1대의 패키지 에어컨이 설치되는 경우(Simulation 1)와 각 실별로 멀티에어컨을 설치하는 경우(Simulation 2)로 나누어 계획하였고 제안된 바닥복사냉방의 운영방안으로 대표실에는 바닥복사냉방과

Table 1 Input data for the simulation

Item	Input data	
Simulation model	Location Orientation Model room	Gyung Gi Kwang Ju South (Central unit) 5 Rooms-49 p'yöng (Area: 96.61 m ² , Volume: 222.21 m ³)
Weather condition	Seoul standard weather data, SAREK, 1998.	
Air change rate	Natural ventilation Radiant cooling	27 ACH ⁽¹⁾ 0.6 ACH
People load ⁽⁷⁾	Sensible Latent Number	70 W/person 45 W/person 4 Persons
Lighting load ⁽⁷⁾	Convection Radiation	11.8 W/m ² 9.2 W/m ²
Equipment load	Convection Radiation	8.3 W/m ² 8.3 W/m ²
PMV variables	Metabolism External work Clothing Air velocity	1.2 met 0 0.5 clo 0.1 m/s
Operation condition	Flow rate Control Set point	3 lpm Outdoor reset with on/off ^(2,3) 26.0°C (Deviation: ±0.5)
Equipment device	Air conditioner Chiller Pump	12,000 kcal/h (COP=3.0) 12,000 kcal/h (COP=3.0) 125 W

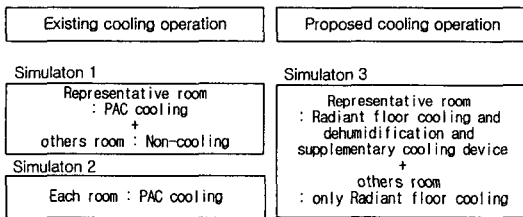


Fig. 3 Evaluation plan of the radiant floor cooling during continuously operated.

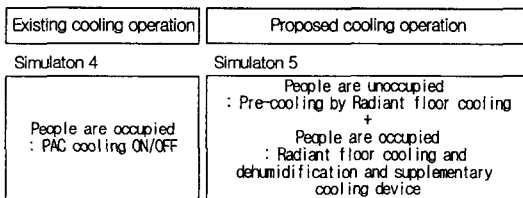


Fig. 4 Evaluation plan of the radiant floor cooling during intermittently operated.

추가적인 제습 및 보조냉방방식을 이용하고 나머지 공간에는 바닥복사냉방만을 이용하여 냉방을 하는 경우로 나누어 시뮬레이션을 구성하였다 (Simulation 3).

3.2.2 간헐냉방시 바닥복사냉방의 운영방안 평가 계획

Fig. 4와 같이 기존의 패키지 에어컨에 의한 냉방 운영방식으로 비재실시는 비냉방의 상태이지만 거주자의 재실 여부 및 냉방요구에 따라 재실시 냉방을 하는 경우(Simulation 4)와 제안된 바닥복사냉방의 운영방안으로 비재실시 축냉을 이용한 바닥복사냉방만으로 예냉을 한 후 재실시에 바닥복사냉방과 제습 및 보조냉방을 동시에 사용하여 냉방을 하는 경우(Simulation 5)로 나누어 시뮬레이션을 계획하였다. 그리고 예냉시간을 달리하여 바닥복사냉방의 냉방효과를 분석한 후 적절한 예냉시간을 제시하였다.

4. 시뮬레이션 결과 분석

기존 냉방방식과 제안된 운영방안을 실내 열환경 측면과 에너지 소비량 측면에서 분석하였다. 5개의 냉방공간을 남측과 북측으로 나누어 분석하였으며 실내 열환경은 설정실온에 대한 평균실온과의 제어편차를 분석하였고, 바닥표면온도와 실내 노점온도의 관계에 의한 표면결로 발생 유무 분석, 실내 열환경의 평가 및 설계를 위한 기준으로 사용되는 PMV 값에 의한 쾌적성을 검토하였다. 그리고 기존 패키지 에어컨의 운영에 의한 에너지 소비량은 압축기와 팬의 소비전력을 나타내며 바닥 복사냉방의 운영에 의한 에너지 소비량은 냉수공급에 의한 냉동기와 펌프의 소비전력을 나타낸다.

4.1 연속냉방시 기존 냉방방식과 바닥복사냉방의 비교 평가

일반적인 여름철 냉방기간인 6월 29일부터 8월 30일 2개월간 시뮬레이션을 실시하여 실내 열환경 측면과 에너지 소비량 측면에서 비교 평가하였다.

4.1.1 실내 열환경 분석

기존 공동주택의 일반적인 냉방 형태인 시뮬레이션 1의 결과를 Fig. 5, Table 2와 같이 나타내었다. 설정실온은 26℃에 대해 패키지 에어컨이 설치된 거실은 설정편차 내에서 실온 제어가 가능하였으나 최저 실온이 24.3℃로써 제어편차가 발생하여 불쾌적을 유발할 수도 있을 것이다. 이는 대류

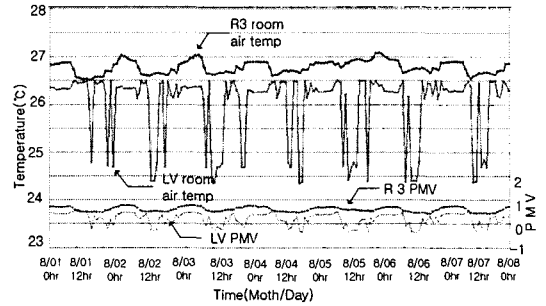


Fig. 5 Results of simulation 1.

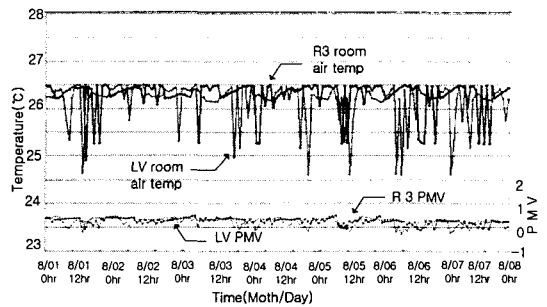


Fig. 6 Results of simulation 2.

방식에 의해 패키지 에어컨의 작동시 급격한 실온의 하강에 따른 것으로 판단된다. 또한 냉방장치가 설치되지 않은 나머지 비냉방공간은 실외부하가 상대적으로 작은 북향실의 경우에도 평균 실온 26.5℃, 최고 실온 27.1℃, 평균 실내습도 73.4%를 나타내어 불쾌적인 실내환경을 나타내었다. 또한 비냉방공간의 PMV 값도 0.7을 나타내어 ASHRAE

Table 2 Statistics of indoor environmental conditions during continuously operated

		Rooms facing south			Rooms facing north	
		Main room	Living room	Room 2	Room 1	Room 3
Room air temperature (°C)	Simulation 1	26.6	26.0	26.4	26.5	26.5
	Simulation 2	26.2	26.1	26.2	26.2	26.2
	Simulation 3	26.0	25.9	26.1	26.0	26.2
Floor surface temperature (°C)	Simulation 1	26.5	26.1	26.4	26.3	26.3
	Simulation 2	26.1	26.1	26.2	26.1	26.2
	Simulation 3	25.8	25.8	25.8	25.9	25.9
Room air humidity (%)	Simulation 1	70.7	62.4	70.7	68.1	73.4
	Simulation 2	65.6	63.4	67.1	66.1	62.3
	Simulation 3	68.3	68.9	68.6	68.1	68.6
PMV	Simulation 1	0.7	0.3	0.6	0.6	0.6
	Simulation 2	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
	Simulation 3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4

의 쾌적범위인 $-0.5 \sim 0.5$ 의 범위를 벗어나는 것을 알 수 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 실별로 멀티에어컨을 설치하는 방안과 바닥복사냉방을 이용하는 방안이 있을 것으로 판단된다.

대표실 냉방의 문제를 해결하기 위해 실별로 멀티에어컨을 설치한 시뮬레이션 2의 결과는 Fig. 6, Table 2와 같으며 대표실 냉방방식과 다르게 앞선 비냉방공간의 평균 실온이 26.2°C 로 나타나 실온 제어가 효과적이었다. 대류 냉방방식에 의해 평균 실내습도도 64% 를 나타내어 쾌적한 상태를 유지했으며 부하 제거에 빠르게 반응을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이러한 실별 멀티에어컨은 실내 열환경 측면에서 효과적인 냉방방식일 수 있으나 실온을 제어하는 과정에서 제어편차가 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 로 크게 나타나 실온편차에 의한 불쾌적이 발생할 것으로 판단되며 각 실별 에어컨의 설치에 따른 초기 투자비용의 증대와 실별 냉방에 따른 피크 전력의 증가가 예상된다.

대표실은 바닥복사냉방과 제습 및 보조냉방의 냉방방식을 적용하고 나머지 공간은 바닥복사냉방만으로 냉방을 실시할 경우의 실내 열환경을 분석하기 위한 시뮬레이션 3의 결과를 Fig. 7, Table 2에 나타내었다. 다른 실에 비해 부하의 크기가 상대적으로 큰 대표실인 거실에서 최대 현열부하가 약 32 W/m^2 발생할 때, 바닥패널로 13.5°C 의 냉수가 공급되어 평균 바닥표면온도는 24°C , 바닥코일 배관 직상부의 최저 온도는 21°C 를 나타내며 실온을 안정적으로 유지할 수 있었다. Fig. 8과 같이 실온의 제어과정에서 실외부하가 상대적으로 크고 고온다습한 날인 8월 3일 18시경에 실내 노점온도의 상승으로 인해 결로발생이 예상되는 구간에서 제습제어^(2,3)에 의해 바닥패널로 냉수공급의 중단과 제습장치의 작동에 의해 실내 절대습도량이 15.3 g/kg(DA) 에서 14.9 g/kg(DA) 으로 변함에 따라 노점온도가 바닥표면온도보다 낮아짐으로써 결로발생을 방지하며 실내온도를 유지할 수 있었던 것으로 판단된다. 그리고 실내습도 및 바닥표면온도와 노점온도의 관계분석을 통해 결로발생이 예상되는 가장 온도가 낮은 부분인 배관 직상부의 온도가 21°C 로 나타나 바닥표면온도의 하강에 의한 표면결로발생은 없었다. 또한 평균 실내습도 68% , 평균 PMV 값이 0.3 을 나타내어 ASHRAE의 쾌적범위 내에서 실내 열환경을 유지하였다. 이와 함께 바닥복사냉방에서는

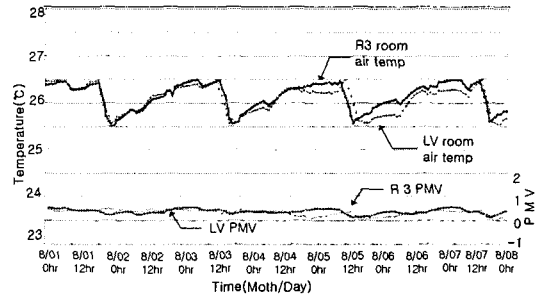


Fig. 7 Results of simulation 3.

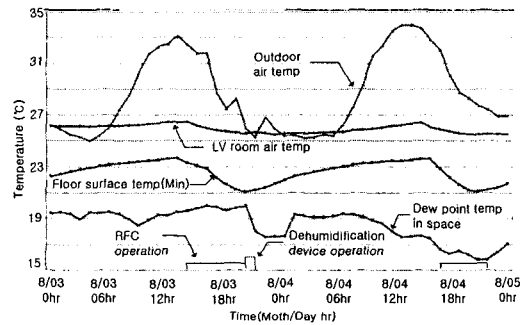


Fig. 8 Results of simulation 3 (during hot and humid period).

바닥구조체의 냉각에 의해 바닥온도가 낮아 불쾌적할 것으로 예상되나 가장 온도가 낮은 부분인 배관 직상부의 온도가 바닥표면의 평균 온도보다 $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 정도 낮은 21°C 로 나타나 ASHRAE 및 ISO 기준에서 정하는 바닥표면의 하한값(19°C)보다 높은 것으로 나타났다. 바닥복사냉방 운전시 부하의 변동에 대해 적정 바닥온도를 유지하면서 쾌적하고 안정적으로 실온을 제어함을 알 수 있다. 이를 통해 연속적인 냉방시 바닥복사냉방의 운영방안인 대표실에는 바닥복사냉방과 추가적인 장치에 의해 냉방을 실시하고 기존의 비냉방공간은 바닥복사냉방만으로도 냉방기간 전체에 대해 실온 제어가 안정적이며 표면결로를 방지할 수 있고, 실내 열환경이 쾌적한 상태를 유지할 수 있어 냉방이 가능함을 알 수 있었다.

4.1.2 에너지 소비량 분석

기존의 냉방방식인 실별 패키지 에어컨에 의한 냉방방식(Simulation 2)과 제안된 바닥복사냉방에 의한 운영방안(Simulation 3)을 에너지 소비량 측면에서 비교 분석하였다. Fig. 9와 Table 3에서

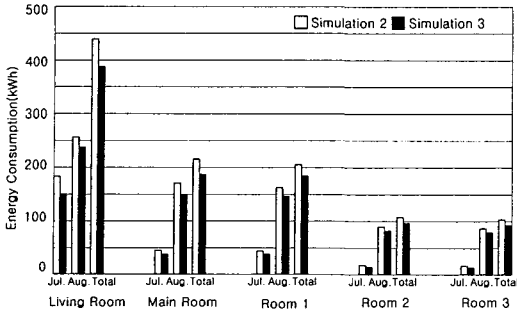


Fig. 9 Comparison of the energy consumption during continuously operated.

Simulation 2와 Simulation 3의 비교 분석 결과 전체 냉방기간에 대해 단위세대 전체의 에너지 소비량이 946 kWh를 나타낸 바닥복사냉방의 냉방방식이 1,069 kWh를 나타낸 기존 냉방방식에 비해 약 13% 정도 작은 것으로 나타났다. 이는 패키지 에어컨에 의한 냉방시 과냉에 의해 에너지 소비가 증가한 것으로 판단되며, 구조체의 축냉에 의해 바닥복사냉방의 냉방시 에너지 소비가 감소한 것으로 판단된다. 그리고 부하의 크기가 상대적으로 크고 재실자의 재실빈도가 큰 대표실이 나머지 실에 비해 에너지 소비량이 약 2배 정도 크게 나타났다. 또한 에너지 소비량의 차이에서 실 외부하의 크기가 작은 북향실에 비해 부하의 크기가 큰 남향실의 에너지 소비량이 큰 경향을 나타내었다. 이를 통해 냉방기간 전체에 대해 연속적인 냉방운영시 기존 패키지 에어컨에 의한 실별 냉방방식에 비해 제안된 바닥복사냉방으로 운영시 에너지 소비량이 절감되는 것으로 나타났다. 또한 바닥복사냉방만으로 운영시 추가적인 냉방장치의 설치가 필요 없어 초기 투자비 및 열원에 따른 에너지 비용 측면을 고려할 때 바닥복사냉방에 의한 운영시 더욱 경제적인 것으로 예상된다.

4.2 간헐냉방시 기존 냉방방식과 바닥복사냉방의 비교 평가

기존 공동주택 냉방 실태조사⁽⁶⁾에서 일반적인 재실자의 생활형태에 따라 18시 이후 냉방기기의 사용비율이 증가하는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 18시부터 다음날 06시까지인 야간에는 거주자가 재실하는 것으로 가정하고 06시부터 18시까지의 주간에는 비재실 상태라고 가정하였다. 주/야간 하루 동안의 냉방상태를 분석하기 위해 우리 나라 여름철 기후 중 3일간의 고온 다습한 날을 대상으로 시뮬레이션을 실시하여 실내 열환경을 분석하였으며, 에너지 소비량은 냉방기간 전체를 대상으로 비교 평가하였다.

4.2.1 실내 열환경 분석

기존의 패키지 에어컨에 의한 냉방 운영방식으로 거주자의 재실시 냉방을 실시할 경우에 대한 시뮬레이션 4의 결과는 Fig. 10과 Table 4에 나타내었다. 주간의 비냉방공간을 야간에 냉방공간으로 전환시 설정실온은 26°C에 대해 실온 제어가 가능하였으며 초기 부하 제거시간이 빠르게 나타났다. 그러나 대류방식에 의해 실온의 급격한 하강으로 인해 실온편차가 2~3°C로 나타나 불쾌적함을 유발할 것으로 판단되며 잦은 작동으로 인한 PMV 값의 변동폭도 큰 것을 알 수 있었다. Fig. 10에서 비냉방에서 냉방으로 전환되는 8월 3일 18시의 거실 실온이 26.8°C에서 24.6°C로 2°C 이상의 하강과 냉방 시작 후 약 3시간 동안 잦은 작동을 통해 실온을 유지하는 과정에서 불쾌적이 발생할 것으로 판단된다. 이러한 대류 냉방방식의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 바닥복사냉방에 의해 거주자의 재실 여부에 따라 재실 전에 예냉을 실시함으로써 냉방의 효과를 높일 수 있

Table 3 Statistics of the energy consumption during continuously operated (kWh)

		Rooms facing south			Rooms facing north		Total
		Main room	Living room	Room 2	Room 1	Room 3	
July	Simulation 2	45	183	17	43	16	304
	Simulation 3	38	150	14	38	13	253
August	Simulation 2	170	256	90	162	87	765
	Simulation 3	149	237	82	146	79	693
Total	Simulation 2	215	439	107	205	103	1,069
	Simulation 3	187	387	96	184	92	946

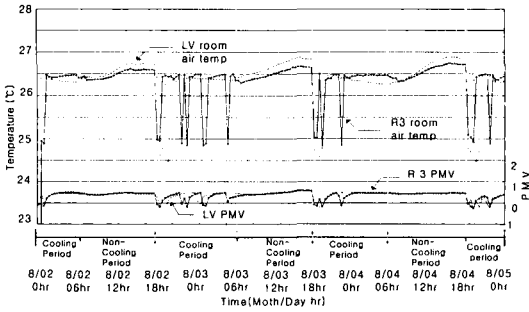


Fig. 10 Results of simulation 4.

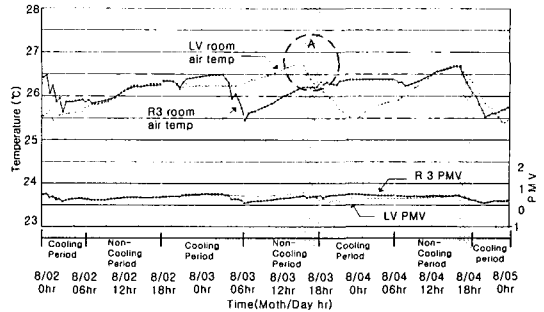


Fig. 12 Results of simulation 5.

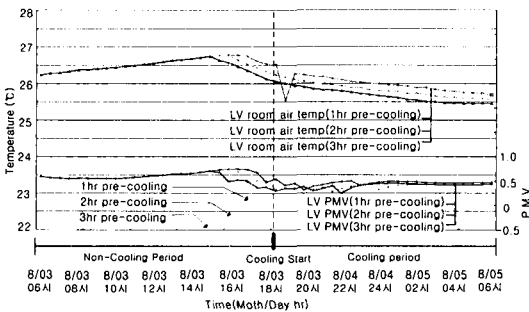


Fig. 11 Cooling effect on the pre-cooling time change of the radiant floor cooling.

을 것으로 판단된다. 그러나 재실 전 예냉시간을 달리해 재실시 냉방의 효과를 검토해 볼 필요가 있다. Fig. 11과 같이 바닥복사냉방만을 이용해 냉방시작 전 예냉 1시간, 2시간 및 3시간에 따른 냉방효과를 비교해 보았다. 냉방 시작 전 1시간 예냉을 실시할 경우 비냉방시의 26.8℃이던 실온이 26.6℃로 낮아졌으며 냉방 시작시 보조냉방의 작동에 의해 실온제어가 가능하였다. 이때 보조냉방의 작동에 의해 빠른 초기 부하 제거가 가능

하였으나 보조냉방이 작동하지 않을 경우 구조체의 축열로 인한 실온의 상승 현상이 빠르게 나타났다. 그리고 바닥복사냉방에 의해 2시간 전 예냉을 실시하였을 경우 냉방 시작 전 설정실온 편차범위 내인 25.8℃를 나타내어 보조냉방의 작동이 불필요하여 기류에 의한 불쾌적 현상이 발생하지 않을 것으로 판단된다. 또한 3시간 전 예냉을 실시할 경우 냉방을 시작하기 전 실온이 26.0℃를 나타내어 설정실온에 도달한 상태이며 냉방을 시작하였을 경우에는 재실자가 이미 쾌적한 실내 열환경을 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 냉방 시작 전 시스템의 작동에 의한 에너지 소비가 증가할 것으로 판단된다. 이상에서 냉방 시작 전 바닥복사냉방의 예냉 시간은 보조냉방의 사용을 줄일 수 있고 에너지 소비 측면에서 2시간이 적당할 것으로 판단된다.

적절한 예냉시간 도출을 위한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 재실전 바닥복사냉방에 의해 2시간 전 예냉을 실시할 경우인 시뮬레이션 5의 결과를 Fig. 12와 Table 5에 나타내었다. 그림에서 A부분인 냉방 시작시간인 8월 3일 18시의 실온이 26.2

Table 4 Statistics of indoor environmental conditions during intermittently operated

		Rooms facing south			Rooms facing north	
		Main room	Living room	Room 2	Room 1	Room 3
Room air temperature (°C)	Simulation 4	26.0	26.0	26.1	26.0	26.2
	Simulation 5	25.9	25.9	26.0	25.9	26.1
Floor surface temperature (°C)	Simulation 4	26.0	26.0	26.1	26.0	26.2
	Simulation 5	25.8	25.7	25.8	25.7	25.7
Room air humidity (%)	Simulation 4	65.0	64.8	65.1	64.9	65.0
	Simulation 5	66.9	66.8	66.9	66.8	67.9
PMV	Simulation 4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
	Simulation 5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

℃를 나타내고 있다. 이는 냉방 시작 2시간 전 예냉에 의해 실온이 낮아진 상태에서 냉방을 시작해 구조체의 축냉에 의해 냉방시간을 단축시킬 수 있었던 것으로 판단된다. 그리고 냉방 초기 실온이 과도하게 높을 경우 보조냉방이 작동된다면 기류에 의한 불쾌적이 발생할 수 있으나 예냉에 의해 이를 방지할 수 있었으며 에너지 소비를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

4.2.2 에너지 소비량 분석

기존의 냉방 운영방식인 냉방 필요시 패키지 에어컨에 의한 운영방식(Simulation 4)과 구조체의 축냉 효과를 이용한 바닥복사냉방의 운영방안(Simulation 5)에 대한 에너지 소비량을 비교 분석하였다. Fig. 13과 Table 5에서 Simulation 4와 Simulation 5의 비교 분석 결과 전체 냉방기간에 대해 단위세대 전체의 에너지 소비량이 600 kWh를 나타낸 바닥복사냉방의 냉방방식이 559 kWh를 나타낸 기존 냉방방식에 비해 약 6% 정도 큰 것으로 나타났다. 이는 실외 냉방부하가 큰 주간에 냉방을 실시하지 않음으로써 기존 패키지 에어컨에 의한 에너지 소비량이 감소한 것으로 판단되며 바닥복사냉방에 의해 예냉을 실시함으로써 에너지 소비량이 증가한 것으로 판단된다. 그리고 야간의 간헐적인 냉방 필요기간이 상대적으로 작은 7월에 비해 8월의 에너지 소비량이 큰 경향을 보였다. 또한 실외부하의 크기가 작은 북향실은 에너지 소비량의 차이가 극히 작게 나타났다. 이를 통해 거주자의 생활방식을 고려해 볼 때 대표실을 제외한 야간의 재실빈도가 큰 공간을 바닥복사냉방으로 예냉을 실시하여 운영할 경우 에너지 소비량 측면에서 기존 패키지 에어컨 냉방방식에 비해 불리하지 않을 것으로 판단된다. 또한 바닥복사냉방 방식은 시스템의 운전시 에너지 소비량의 변동폭이 작아 여름철에 전력수

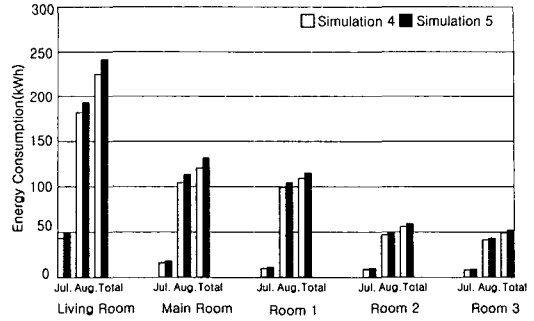


Fig. 13 Comparison of the energy consumption during intermittently operated.

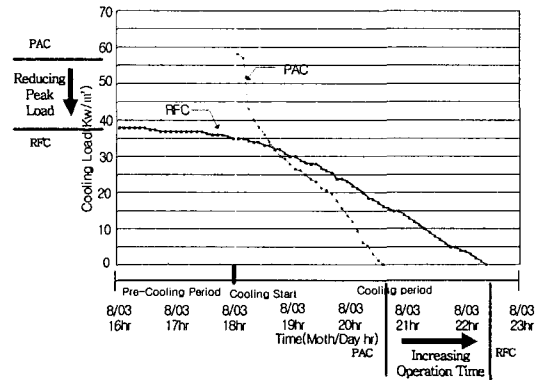


Fig. 14 Comparison of the peak load between radiant floor cooling and PAC cooling.

요가 큰 구간에 대해 안정적인 전력공급이 예상되며 복사냉방에 의한 쾌적한 실내 열환경을 유지할 수 있는 장점이 있을 것이다. Fig. 14는 바닥복사냉방과 패키지 에어컨의 냉방시 피크 부하의 변화를 나타내었다. 단시간의 냉방 효과를 나타내는 기존 패키지 에어컨 냉방방식에 비해 구조체의 축냉에 의해 지속적인 냉방 특성을 나타내는 바닥복사냉방은 피크 부하의 감소와 함께

Table 5 Statistics of the energy consumption during intermittently operated (kWh)

		Rooms facing south			Rooms facing north		Total
		Main room	Living room	Room 2	Room 1	Room 3	
July	Simulation 4	16	43	9	10	8	86
	Simulation 5	18	49	10	11	9	97
August	Simulation 4	104	182	47	99	41	473
	Simulation 5	113	193	49	104	43	502
Total	Simulation 4	120	225	56	109	49	559
	Simulation 5	131	243	59	115	52	600

냉방 운영시간이 길어지는 특성이 있다. 그리고 예냉에 의해 바닥복사냉방만으로 운영시 추가적인 냉방장치의 설치가 필요 없어 초기 투자비 측면을 고려한다면 기존 패키지 에어컨에 의한 냉방에 비해 바닥복사냉방에 의한 운영이 전체 경제성 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 바닥복사냉방의 운영방안을 제시하고, 제안된 바닥복사냉방의 운영방안을 기존의 패키지 에어컨에 의한 냉방방식과 비교 평가하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 연속적인 냉방시 운영방안으로 각 실별로 다른 시스템과 제어를 적용하여 운영하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 즉, 내부 발열부하의 증가가 예상되는 대표실인 거실이나 안방에는 바닥복사냉방과 제습 및 보조냉방에 의한 운영을 실시하고 내부 발열부하의 변화가 작은 나머지 실에 대해서는 바닥복사냉방만 실시하여도 냉방이 가능할 것으로 판단된다.

(2) 실제 공동주택의 간헐적인 냉방 운영상황에 맞게 거주자의 재실 여부에 따라 시간별 다른 시스템과 제어를 적용하여 비재실시에는 축냉을 이용한 바닥복사냉방만으로 운영한 후 재실시에는 바닥복사냉방과 제습 및 보조냉방을 사용하여 운영하는 방안이 있을 것이다.

(3) 연속적인 냉방 운영시 바닥복사냉방의 실별 운영방안을 기존 냉방방식과 비교 평가해 보았을 때, 제안된 운영방안은 기존 냉방방식에 비해 실내 열환경 측면에서 냉방기간 전체에 대해 실온편차가 작게 나타났으며 에너지 소비량도 작은 것으로 나타나 쾌적한 실내 환경을 유지함과 동시에 경제적으로도 유리한 운영방안으로 판단된다.

(4) 비냉방 상황에서 냉방으로 전환되는 간헐적인 냉방 운영시 공동주택 구조체의 열용량이 큰 특징을 활용한 예냉을 실시한다면 추가적인 장치의 설치 없이 바닥복사냉방만으로 냉방이 가능할 것이다. 이는 초기 투자비를 고려한다면 기존 패키지 에어컨에 의한 냉방에 비해 바닥복사냉방에 의한 운영이 전체 경제성 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

(5) 간헐적인 냉방 운영시 기존 냉방방식과 바닥복사냉방의 시간별 운영방안을 비교 평가해 보

았을 때, 제안된 운영방안은 기존 냉방방식에 비해 실내 열환경 측면에서 초기 실온 제어가 안정적이고, 시스템의 운전시 에너지 소비량의 변동폭이 작게 나타나 여름철 전력수요가 큰 구간에 대해 안정적인 전력공급이 예상된다.

본 연구를 바탕으로 향후에는 시스템 전체를 포함한 LCC 평가 및 한국인의 생활방식을 감안한 쾌적성 검토, 그리고 환경조건별 바닥복사냉방의 운영패턴에 관한 연구가 필요할 것이다.

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, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 200-208.
2. Kim, Y. Y. and Kim, K. W., 2003, A study on the dehumidification control to prevent condensation for radiant floor cooling, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 137-143.
3. Lim, J. H., Yeo, M. S., Yang, I. H. and Kim, K. W., 2002, A study on the application of the dehumidification system for radiant cooling using Ondol, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 7, pp. 607-616.
4. Cho, Y. H., Lim, J. H., Yeo, M. S. and Kim, K. W., 2002, A study on the field application of the radiant floor cooling in an apartment building, Preceeding of the AIK 2002 Spring Annual Conference, pp. 589-592.
5. Rhie, M. K., Lim, J. H., Yeo, M. S. and Kim, K. W., 2003, An experimental study on the field application of the radiant floor cooling in apartment building, Preceeding of the SAREK 2003 Winter Annual Conference, pp. 555-560.
6. Ministry of Commerce, Industry and Energy, 1998, A Development of the Air-Conditioning System in Apartment Houses, pp. 65-72.
7. McQuiston, F. C. 1992, Cooling and Heating Load Calculation Manual, 2nd ed., ASHRAE, p. 5.7.