

온돌을 이용한 복사냉방의 가능성에 관한 연구

구 소 영*, 김 용 이**, 석 호 태***
이 현 우****, 김 광 우*****

A study on the applicability of radiant cooling using Ondol

S. Y. Koo, Y. Y. Kim, H. T. Seok
H. W. Lee, K. W. Kim

(Received November 10, 1999; revision received November 23, 1999)

ABSTRACT

The use of air-conditioning systems for cooling in residential buildings has negative effects on the environment and causes the problem in peak electric power demand in summer. The objective of this study is to demonstrate the potential of radiant cooling systems using ondol as an alternative cooling system in our residential buildings. Computer simulation has been performed for the floor radiant cooling system performance.

The results of this study show that :

- 1) This system can control the temperature of Ondol room within comfort limits.
- 2) This system can be operated with a little risk of condensation but the control of latent heat will make this system more potential.

Key words: Ondol(온돌), Radiant cooling(복사냉방), Thermal comfort(열쾌적), Condensation(결로)

기 호 설 명

<p>A : 바닥면적 [m^2]</p> <p>A_w : 개구부 면적 [m^2]</p> <p>C_D : 개구부의 누기계수</p> <p>g : 중력가속도 [m/s^2]</p> <p>h : 바닥표면의 열전달계수 [$W/m^2\cdot^\circ C$]</p> <p>ΔH_{NPL} : NPL까지의 높이 [m]</p> <p>I : 일사량 [W/m^2]</p>	<p>K : 공간 구조체의 열관류율 [$W/m^2\cdot^\circ C$]</p> <p>Q : 환기율 [m^3/s]</p> <p>q_{floor} : 온돌복사냉방바닥에 의한 제거열량 [W]</p> <p>q_{sm} : 대상공간의 현열냉방부하 [W]</p> <p>T_i : 실내온도 [$^\circ C$]</p> <p>T_s : 바닥온도 [$^\circ C$]</p> <p>T_o : 외기온도 [$^\circ C$]</p>
---	--

1. 서 론

산업발달과 소득의 증대에 따른 편이성과 쾌적성의 추구로 인하여 주택에서의 에너지 수요가 크게 증가하였다. 최근에는 주택의 냉방설비로서 개별냉방기기(룸 에어컨)의 설치가 급증함에 따

* 서울대 대학원(E-mail: punky007@snū.ac.kr)
 ** 서울대 대학원
 *** 정회원, 쌍용건설(주)
 **** 정회원, 광운대 건축공학과
 ***** 정회원, 서울대 건축학과

라 하계 냉방 에너지의 소비수요가 점차 증가하고 있는 추세이다. 1989년에서 1997년까지 10년 동안, 국내에서의 룸 에어컨의 출하량은 약 400% 이상 증가하였으며, 이러한 추세는 향후 계속될 것으로 예측된다.

현재 국내 공동주택에 주로 사용되는 개별냉방 방식인 룸 에어컨은, 개별 운전이 쉽고 각 세대별 욕구를 만족시켜 줄 수 있으며 설치 및 유지관리가 간편하다는 등의 장점이 있다. 그러나, 기기 설치로 인한 건물 외관의 손상 및 운전의 비효율성으로 인한 에너지 낭비와 냉매에 의한 환경오염의 문제점이 지적되고 있으며, 또한 하계의 전력 피크부하를 상승시켜 국가적인 차원에서 에너지 낭비를 초래하고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 근래에 이르러 주택에서의 에너지 절약적 냉방 시스템에 대한 개발의 필요성이 대두되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 공동주택의 에너지 절약적인 냉방 방식의 하나로써, 지금까지 난방 시스템으로만 사용된 온돌을 냉방 시스템으로 적용한 복사냉방방식을 제안하고, 기존의 온돌을 복사냉방방식으로 적용하기 위한 일차적인 단계로서 그 가능성을 검토하고자 한다.

온돌을 이용한 복사냉방의 가능성을 위하여, 기존의 공동주택에 별도의 기기나 설비장치를 설치하지 않은 상태를 기준으로 즉, 인위적인 습도 제어 장치에 의한 변화인자들은 일단 배제한 상태로 현열부하의 제거만을 통한 냉방가능기간 및 이 때의 열쾌적 성능을 분석하였다. 또한 냉방기간 동안 습도제어의 필요성 여부 및 필요정도를 판단하기 위하여, 현열부하만을 제거할 경우 나타나는 결로 발생기간을 평가하였다.

2. 온돌을 이용한 복사냉방에 대한 예비적 고찰

난방용 온돌 시스템에 대해서 냉방으로 전환할 때, 열류의 방향 등 열전달 관련 물리적인 계수가 바뀌게 되며, 바닥이 냉각됨에 따라 재실자의 온열감에도 변화를 주게 된다. 또한, 냉방으로 전환할 때 난방과 달리 외기 조건은 높은 외기온과 습도로 바뀌게 되며, 냉방 부하를 제거하기 위한 냉수의 사용시 결로가 생기게 된다. 따라서, 본항에서는 난방설비인 온돌을 냉방설비로 전환했을 때의 고려사항을 고찰하며, 외기 조건에 대하

여 정상 상태 계산을 통한 냉방의 가능성을 예측하였다.

2.1 온돌을 이용한 복사냉방시 고려사항

복사냉방에 있어서, 복사냉방능력을 제한하는 인자로는 수직온도구배, 바닥온도의 쾌적도와 결로발생여부를 들 수 있다.⁽¹⁾ 바닥복사냉방의 경우, 천정 패널과는 달리 수직 온도분포는 실험결과에 의하여 쾌적한 것으로 밝혀졌다.⁽²⁾ 냉방시 바닥온도가 재실자의 쾌적바닥온도 범위 내에서 유지되도록 해야 한다. 결로는 이론상 바닥표면온도가 실공기의 노점온도 이하일 때 발생하며, 결로발생 방지를 위해서는 제습을 위한 장치 및 적절한 제어가 필수적이다.

일반적으로 냉방시의 대류열전달 계수는 난방의 경우보다 더 작아지는 것으로 알려져 있다.⁽³⁾ 외국에서 실시된 바닥복사 냉방시의 복사, 전도, 대류를 포함한 총열전달계수를 측정 한 실험결과에 의하면, 바닥표면과 실 사이의 총열전달계수(total heat exchange coefficient)는 $7 \text{ W/m}^2\text{C}$ 로 측정되었다. 여기서 복사에 의한 열전달계수는 약 $5.5 \text{ W/m}^2\text{C}$ 이며, 대류에 해당하는 값은 약 $1.5 \text{ W/m}^2\text{C}$ 이다.⁽²⁾

미국공기조화냉동공학회(ASHRAE) 및 ISO기준에서는 쾌적 바닥온도의 하한값을 19C 로 권장하고 있다(ISO 7730; ASHRAE 1992). 본 연구에서 실온의 설정온도는 우리나라의 하절기 설계 기준실온을 참고하여 26C 로 설정하고, 바닥온도는 미국에서 제안하는 19C 를 하한온도로 선정하여 최대냉방능력을 산출하면, 일반적인 바닥냉방 시스템의 바닥구조체에 대한 냉방능력은 약 50 W/m^2 로 계산된다. 그러나, 우리나라의 경우 생활양식을 고려할 때 바닥온도의 쾌적 하한 값은 보다 높아질 수 있으므로, 단위 바닥면적당 냉방능력은 이보다 더 낮아질 것으로 예상된다.

2.2 정적 계산을 통한 바닥복사냉방의 가능성 예측

바닥복사냉방방식의 활용 가능성을 개략적으로 평가하기 위해서, 온돌 복사냉방바닥이 대상공간의 전체 현열을 처리하며, 실온과 벽체온도가 같다고 가정하고, 온돌공간에 대한 정상상태의 열

확산 방정식을 계산하였다. 이 때, 실온은 연속 운전 상태에서 안정한 상태로 고정된 값을 유지한다고 가정하였다. 그러면 대상공간의 현열냉방 부하는 온돌 복사냉방 바닥이 제거하는 전열량이 되며, 다음과 같은 식들이 성립한다.

$$q_{sn} = q_{floor} \quad (1)$$

$$q_{sn} = f(T_o, I, K) \quad (2)$$

$$q_{floor} = hA(T_i - T_s) \quad (3)$$

바닥온도는 식(4)와 같이 실온 및 냉방부하와 바닥면적에 대한 함수가 된다. 식(4)에서, 냉방부하가 일정하면 바닥면적이 커질수록 소요바닥온도가 높아도 되므로 공급냉수온도는 높여 주어도 된다.

$$T_s = T_i - \frac{q_{sn}}{hA} \quad (4)$$

서울에 위치한 일반적인 공동주택의 안방공간에 대해(바닥면적: 17.55 m²) 6월부터 9월까지 식(4)로 의한 냉방시 요구되는 바닥온도를 계산한 결과는 Fig. 1과 같다. 실온은 설정온도 26℃로 유지되는 것으로 가정하였으며, 일사량 및 외기온은 공조학회의 표준 기상데이터를 이용하여 1시간 간격으로 계산하였다.

실온을 설정온도인 26℃로 유지하기 위하여 요구되는 바닥온도는 20.4~26.7℃의 범위 이었으며, 그 평균값은 약 23.8℃이었다. 대상공간에 대하여, 7월 중 외기온이 가장 높은 날(30일: 33℃)을 포함하는 더운날 3일 동안의 소요바닥온도의 변화는 Fig. 2와 같다. 이 기간 동안, 일사량과 외기온은 비례하였지만 일사량과 소요바닥온도는 반비례하였다. 7월 동안 일사량에 따른 외기온과 바닥온도의 관계를 보면(Fig. 3 참조), 일사량이 100 W/m² 이상일 경우 소요바닥온도는 21.4~24.2℃범위 이내, 일사량이 100 W/m² 미만일 경

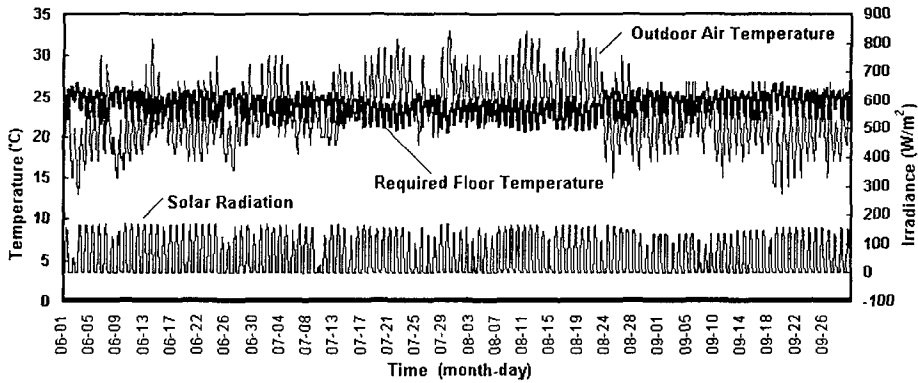


Fig. 1 Required floor temperature expected by the static calculation.

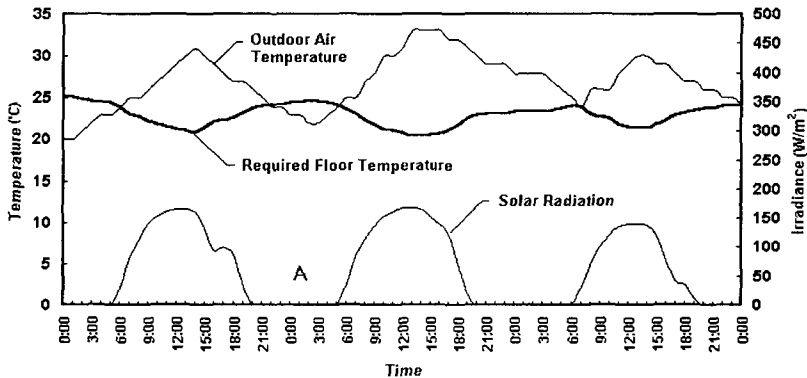


Fig. 2 Outdoor air conditions and required floor temperature(7/29-7/30).

우 소요바닥온도는 22.5~25.6℃ 범위 이내로 분석되었다.

이상과 같이, 온도를 이용하여 복사냉방을 할 경우 요구되는 바닥온도의 예상 최저값은 20.4℃로 ASHRAE에서 제시하는 바닥온도의 쾌적 하한값인 19℃ 이상을 만족하면서도 설정실온을 유지할 수 있는 것으로 분석되었다.

실내의 공기조건은 일차적으로 해당 지역의 기상조건에 의해서 좌우되며, 그 기상조건에 의해 결로발생유무를 개략적으로 예측할 수 있다. Fig. 4는 서울지역 6~9월 노점온도의 누적분포를 나타낸 것으로, 소요 최저 바닥온도 20.4℃로 냉방할 때 65% 기간동안 결로없이 냉방가능한 것으로 분석되었다. 또한소요 바닥온도의 평균값인 23.8℃로 냉방시에는 약95%에 해당하는 기간 동안 냉방가능한 것으로 나타났다. 그러나, 내부발

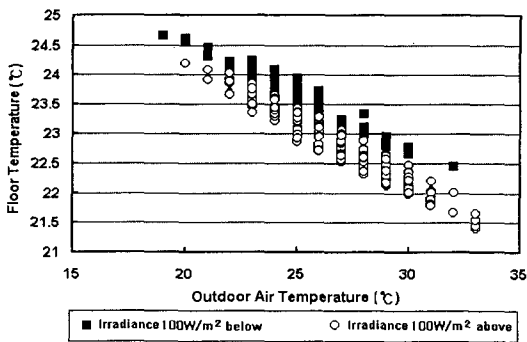


Fig. 3 Outdoor air temperature and required floor temperature(July).

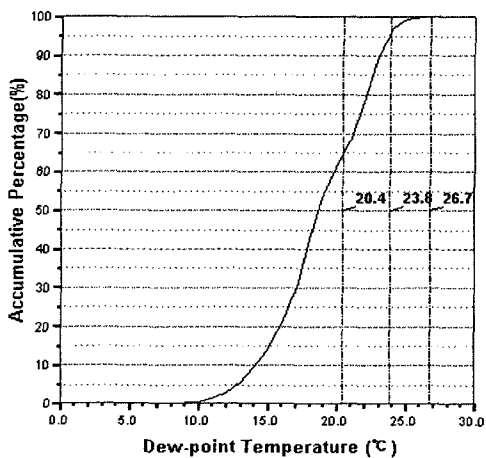


Fig. 4 Dew-point temperatures of outdoor air.

열에 의한 수증기의 증가를 고려한다면 바닥복사 냉방이 가능한 기간은 줄어들 것이다.

3. 복사냉방의 타당성 분석을 위한 시뮬레이션

예비적 고찰에서 온도를 이용한 복사냉방의 가능성이 개략적으로 증명되었으므로, 시시각각으로 변하는 외기와 실내 발열 및 구조체의 축열 효과 등에 따른 그 가능성의 정도가 달라질 수 있으므로 정밀 열해석 시뮬레이션을 통하여 온도에 의한 복사냉방의 타당성을 분석하였다.

3.1 해석프로그램

복사냉방의 타당성 분석을 위해서는 다실에 대한 동적 열성능 해석이 가능하고, 새로운 운전 방식에 대한 모듈 추가가 가능한 프로그램이 요구된다. 이를 위해 본 연구에서는, 실험을 통하여 온돌난방공간에 대한 열성능 해석이 검증된⁽⁴⁾ 해석 프로그램을 기준으로 하여 온돌냉방공간 해석 시 필요한 모듈을 추가시켜 분석도구로 사용하였다.

실내습도 및 결로 발생을 분석하기 위해서 잠열해석에 관한 모듈을 습공기선도의 원리⁽⁵⁾에 의하여 추가하였다. 또한 실온의 쾌적도 분석을 위해서 PMV 계산 함수를, 연속냉방운전을 제어하기 위하여 냉방용 제어모듈을 추가하였다.

냉방의 제어(Fig. 5 참조)는 현재 온돌 난방에 가장 많이 사용되는 ON/OFF 제어방식을 적용하

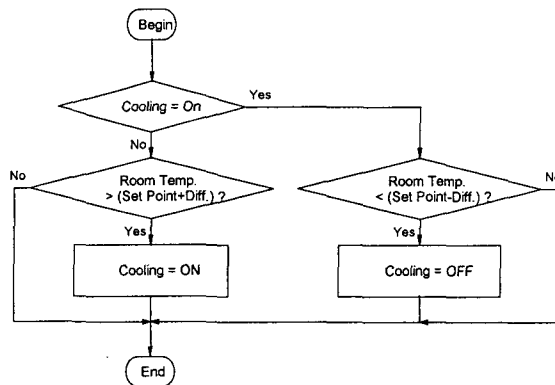


Fig. 5 Control algorithm for cooling.

여 제어기에 따른 별도의 비용이 들지 않도록 하였다. 실온이 설정온도보다 높으면 냉방을 시작하고 낮으면 종료하게 된다.

3.2 시뮬레이션 계획 및 조건

3.2.1 시뮬레이션 계획

온도를 이용한 복사냉방의 적용 타당성을 평가하기 위해 동적 열해석 시뮬레이션을 실시하여 온돌공간에서의 쾌적과 결로 문제를 분석하였다. 먼저, 냉방필요기간을 산정하기 위하여 대상공간을 자연상태하에서 시뮬레이션을 실시하여 냉방필요기간을 결정하고, 그 기간에 대해 시뮬레이션을 실시하였다.

냉방필요기간에 대하여 공급냉수온도를 변화시켜가며 시뮬레이션을 실시한 후, 도출된 적정 공급냉수온도에 대하여 쾌적과 결로의 관점에서 분석하고 온도를 이용한 복사냉방의 가능기간을 도출하였다. 마지막으로, 복사냉방이 불가능한 기간에 대한 분석을 통하여 복사냉방 가능기간을 늘이기 위하여 제어가능한 인자를 찾고 선정된 인자를 변화시켜 시뮬레이션을 실시하였다.

3.2.2 시뮬레이션 조건

(1) 대상 모델

시뮬레이션을 위한 단위세대로는 현재 국내 공동주택 규모에서 가장 일반적인 평수인 32평형 공동주택을 선정하였다. 또한, 공동주택 동 단위에서 가장 많은 비율을 차지하는 기준층의 중간세대에 대하여, 실온 제어의 기준이 되는 안방을 시뮬레이션 대상 공간으로 선정하였다.

(2) 기상 조건

서울지역을 대상으로 작성된 표준 기상 자료⁽⁶⁾ 중 냉방기간으로 평가되는 6, 7, 8, 9월에 대한 기상자료를 이용하였다.

(3) 환기 횟수

냉방기간 동안의 환기 횟수는 거주자에 의한 자연환기의 유무에 따라 그 값이 달라지게 된다. 따라서, 본 연구에서는 자연환기의 유무에 따른 환기횟수를 다음과 같이 고려하였다.

자연환기는 풍력에 의한 것과 온도차에 의한 것이 있으나, 풍력에 의한 자연환기는 없는 것으로 가정하였다. 온도차에 의한 자연환기는 실내외의 온도차에 의한 환기를 말하며, 식 (5)와 같

이 온도차에 의한 환기율 계산식(5),(6)을 사용하여 계산하였다.⁽⁷⁾

$$Q = C_D A_w \sqrt{2g\Delta H_{NPL}(T_i - T_o)/T_i} \quad (5)$$

$$C_D = 0.40 + 0.0045|T_i - T_o| \quad (6)$$

시뮬레이션 기간동안 외기온의 평균값이 28℃이며, 실내온도가 자연환기로 유지되어 온도차가 2℃가 된다고 가정하면, ΔH_{NPL} 에 개구부 높이의 1/2을 대입하면 환기율은 0.3 m³/s이 된다. 이것은 실내설정온도를 유지하기 위한 최대 환기횟수가 27 회/h임을 뜻한다. 냉방중일 때에는, 창문을 닫고 있는 것으로 가정하고 건물 및 창호의 기밀성을 고려하여 1 회/h로 하였다.

(4) 내부 발열⁽⁸⁾

대상 공간에 성인 2명이 편안히 앉아 있는 것을 기준으로 발열량 116 W/인으로 하였다.

조명 발열과 기기 발열은 침실을 기준으로 350 W로 하였다.

(5) 운전 조건

복사 냉방을 위한 운전 조건은 기존 난방방식의 운전 조건을 그대로 사용할 수 있도록 하여서, 운전 방식은 연속 냉방으로, 제어방식은 ON/OFF 제어로 하였다.

(6) PMV 분석

인체 대사량 70 W/m²로 설정하였으며, 이 때 착의량은 얇은 여름옷을 기준으로 하여 0.5 clo로 설정하였다.⁽⁹⁾

이상의 시뮬레이션 조건을 정리하면 Table 1과 같다.

3.3 냉방필요기간 결정

냉방 필요 기간 결정을 위하여 자연상태하에서 냉방이 필요할 것으로 예상되는 6월부터 9월까지의 기간 동안 시뮬레이션을 실시한 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 실온이 냉방 기준온도인 26℃를 초과한 날은 6월 6일부터 발생하여 9월 30일까지 있었으며, 냉방기준온도를 초과한 시간은 약 792시간으로 분석되었다.

기간별로 보면, 6월에서 7월 중순까지는 낮 시간에만 냉방이 필요한 날이 총 10일 정도 나타났으며 야간 동안은 냉방이 필요없는 것으로 나타

Table 1 Simulation condition

Parameter	Condition		Remark
Model House	location	central house on the typical floor	32-pyong house as a typical size in Korea
	orientation	south	
	target room(master bedroom)	area : 17.55m ² ceiling height : 2.3m	
Weather	Seoul Weather Data		SAREK, 1990.
Air Change Rate	natural ventilation	27 ACH	-
	radiant cooling	1 ACH	-
People (1)	convection	21.3W	(1)(2) Faye C. McQuiston, Cooling and Heating Load Calculation Manual(2nd Edition), ASHRAE,1992, p.5.7.
	radiation	49.7W	
	latent	45W	
	people	2 persons	
Lighting (2)	convection	143.91W	
	radiation	207.09W	
Equipment	total	0	
P M V (3)	metabolic rate	70W/m ²	sedentary
	clothes	0.08m ² °C/W	light summer clothes (0.5clo)
	air movement	0.004m/s	air change rate=1ACH
	external work	0	typical case
	drybulb temperature	simulation results	(3)International Organization for Standardization, ISO 7730, 1984, pp.1-8.
	MRT		
	humidity ratio		
Operation Conditions	method	continuous cooling	-
	control	ON/OFF	-
	flowrate	3 lpm	-
	set point	26±1°C	Design Standards for Energy Conservation of Buildings

났다. 7월 20일경에서 8월 20일경까지의 한달 동안은 거의 하루종일 냉방이 필요한 것으로 나타났다으며, 8월 20일 이후에도 부분적으로 냉방이 필요한 기간으로 알 수 있었다.

3.4 공급냉수온도의 결정

공급냉수온도를 11°C부터 23°C까지 2°C 간격으로 시뮬레이션을 실시하여 설정실온 유지여부, 바닥온도 및 실내온도의 쾌적도, 일일 평균냉방 시간 관점에서 각 공급냉수온도에 대하여 비교·분석하였다.

3.4.1 설정 실온 유지

대상공간이 실온을 입력변수로 하여 ON/OFF 제어가 되고 있으므로 실온은 Fig. 7과 같이 냉수온도에 따라서는 값의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서, 공급냉수온도가 11~23°C 사이에서 변화하여도, 실온은 냉수온도에 상관없이 설정범위 이내로 제어 가능한 것으로 판단되었다.

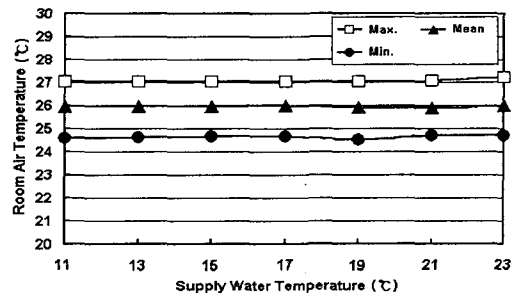


Fig. 7 Supply water temperature and room air temperature.

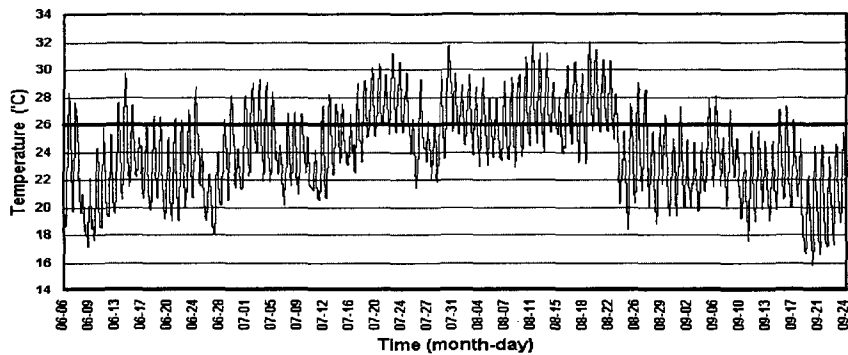


Fig. 6 Profile of room air temperature at natural weather condition.

3.4.2 바닥온도 및 실내온도의 쾌적도

바닥온도는 Fig. 8과 같이 냉수온도가 낮아질수록 바닥온도의 최소값도 낮아졌다. 이는 바닥 구조체 내부의 냉열원에 직접적인 영향을 받는데서 기인한 결과이다. Olesen이 제시한 바닥의 쾌적온도로부터, 서 있거나 걷는 사람을 위한 적정온도인 23℃를 바닥온도의 하한 값으로 설정하면, Fig. 8에 나타난 공급냉수온도와 바닥온도의 관계 그래프로부터 공급냉수온도의 범위는 19℃ 이상이 적당함을 알 수 있다.

이에 따라 19℃이상의 온도를 대상으로 PMV 지표에 의한 실온의 쾌적도를 비교한 결과, Fig. 9와 같이 공급냉수온도 19℃이상의 범위에서는 PMV 값이 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 바닥온도와 실온의 쾌적 관점에 의하면 공급냉수온도가 19℃이상이면 적절한 것으로 판단되었다.

3.4.3 일일 평균 냉방시간

기존의 난방설비를 냉방에도 사용할 때, 난방을 위한 운전시간보다 냉방을 위한 운전시간이 더 길어지지 않도록 한다면 난방 운전을 기준으

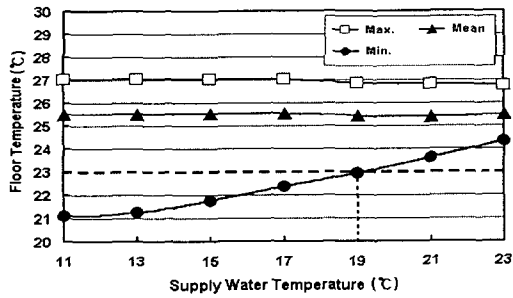


Fig. 8 Floor temperature variation according to the supply water temperature.

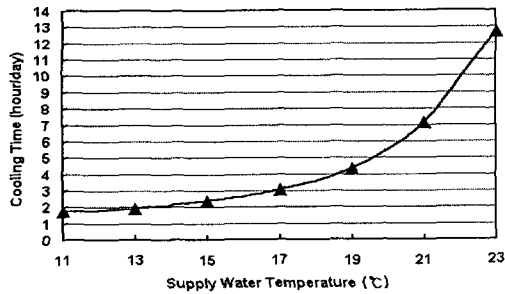


Fig. 10 Daily mean cooling time according to the supply water temperature.

로 설계된 기존의 설비에 별무리가 없을 것으로 보고 일일 평균 냉방 시간 기준을 6시간으로 하였다. Fig. 10은 냉수온도별 일일 평균냉방시간을 비교한 것으로, 일일 평균 냉방 시간 기준(6시간)을 만족시키는 범위는 냉수온도가 약 19~21℃일 때였다.

이상의 분석에 의하면 공급냉수온도 19~21℃에서는 만족할 만한 PMV값을 얻을 수 있었으나, 바닥 표면의 결로방지를 고려할 경우 냉수공급온도는 21℃ 이상으로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 적절한 공급냉수온도를 21℃로 결정하였다.

3.5 쾌적에 대한 분석

3.5.1 바닥온도에 따른 쾌적도

바닥온도의 열쾌적은 우리 나라 사람들의 좌식 생활양식과 관련지어 중요하게 고려되어야 할 사항이다. Olesen의 연구^(10~11)에 의하면, 맨발일 경우에는 바닥의 재료에 따라 바닥쾌적온도 범위가 약간씩 차이가 있으며, 대체적으로 바닥표면온도의 하한값은 21℃, 상한값은 약 28℃로 제안하고

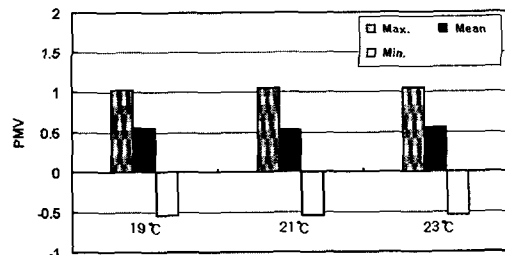


Fig. 9 PMV according to the supply water temperature.

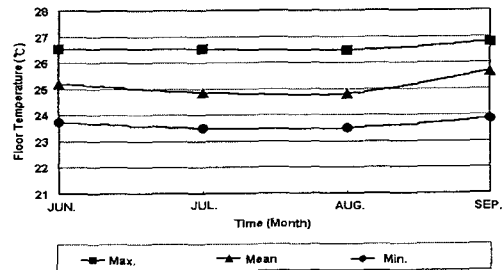


Fig. 11 Floor temperature in Radiant Cooling.

Table 2 Ranges for typical floor materials (bare feet)^(10~11)

Floor materials	Ranges[°C]
Textiles(rugs)	21 ~ 28
Pine floor	22.5 ~ 28
Oak floor	24.5 ~ 28
Hard linoleum	24 ~ 28
Concrete	26 ~ 28.5

있다(Table 2 참조). 우리 나라에서는 일반적으로 바닥에 카펫 등을 깔지 않는 것을 고려할 때, 그 하한값은 약 23°C 이상이 되어야 할 것으로 판단된다.

Fig. 11은 공급냉수온도를 21°C로 하여 냉방에 따른 바닥표면온도의 변화를 비교한 것이다. 냉

방시의 평균 바닥온도는 약 25°C를 유지하며, 최소값은 23°C 이상을 유지하므로, 냉방시 바닥온도는 비교적 쾌적한 것으로 판단된다.

3.5.2 실온에 따른 쾌적도

실온의 쾌적을 평가하기 위하여 PMV 지표를 이용하였다. 시뮬레이션 결과 냉방시 하절기 동안의 PMV 변화는 Fig. 12과 같으며, 평균값은 약 +0.5로 나타났다. 이 값은 의복착의량이 0.5clo 이고 실내설정온도가 26°C에 해당하는 경우이므로, 일반적인 하절기 주택에서의 매우 가벼운 옷차림으로 인하여 의복착의량이 0.5clo보다 낮아지거나 쾌적범위가 26°C보다 약간 높다고 볼 경우에 PMV 값은 보다 0에 가까워 질 것으로 예상된다. ISO에서 권장하는 PMV 값의 쾌적범위는

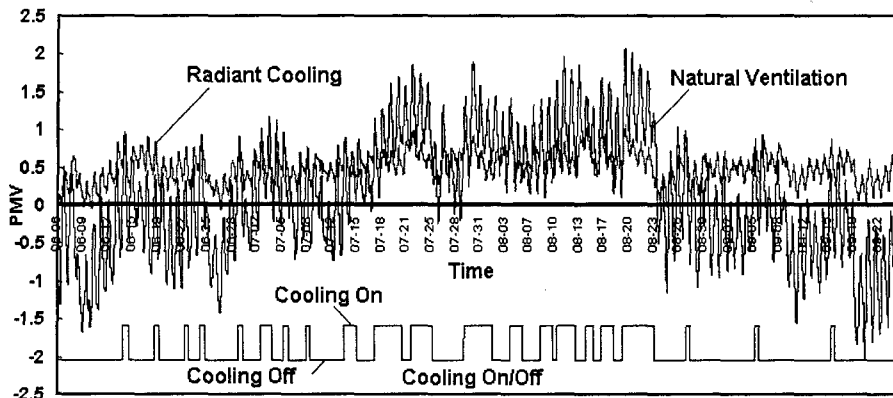


Fig. 12 Comparisons of PMV between natural ventilation and radiant cooling.

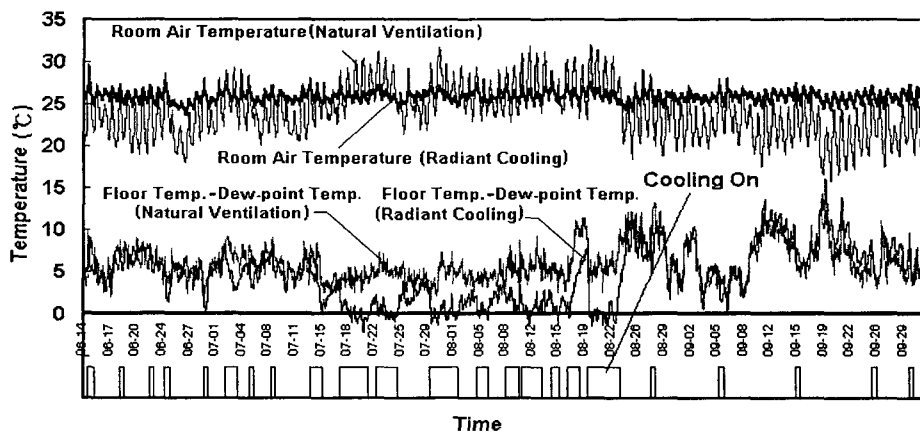


Fig. 13 Comparisons of indoor environment between natural ventilation and radiant cooling.

-0.5~+0.5 에 해당한다. 따라서, 본 연구에서는 냉방시의 PMV 평균값을 0.5로 유지할 수 있는, 실내설정온도 26℃, 공급냉수온도 21℃로 냉방할 경우 쾌적한 실온이 유지된다고 판단하였다.

3.6 결로에 대한 예측

습공기선도 상에서 보면 냉방시 바닥표면온도가 실공기의 노점온도보다 높을 때, Fig. 13에서 (바닥온도-노점온도)의 값이 0이하로 내려가는 기간으로 표현되고 결로 발생의 위험이 있다. 시뮬레이션 분석 결과, 총 냉방기간 약 792시간 중 약 209시간이 결로 발생의 위험이 있는 기간으로 나타났다.

4. 결론

온돌을 이용한 복사냉방의 타당성을 검토하기 위하여 예비적 고찰 및 시뮬레이션을 통하여 도출된 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 정적계산을 이용한 예비적 고찰 결과, 복사냉방시 필요한 바닥온도는 일반적으로 대상공간의 냉방부하와 바닥면적의 함수이며, 주어진 공간에 대하여 바닥온도는 외기온과 일사량의 함수로 나타난다. 또한, 소요바닥온도의 예상값은 20.4℃~26.7℃로 분석되어 바닥온도의 쾌적이나 결로의 관점에서 볼 때 온돌을 이용한 복사냉방의 적용 가능성이 있다고 분석되었다.

(2) 시뮬레이션을 통한 공급냉수온도의 분석 결과, 쾌적의 관점에서 볼 때, 냉방시의 실온은 공급냉수온도에 상관없이 설정온도 범위로 제어되며 바닥온도는 공급냉수온도가 19℃ 이상이면 적절한 것으로 분석되었으며, 일일 평균 냉방시간을 고려하면 공급냉수온도는 19℃~21℃의 범위가 적절한 것으로 분석되었고, 결로의 관점에서 공급냉수온도는 21℃가 적절한 것으로 분석되었다.

(3) 시뮬레이션을 통한 쾌적도의 분석 결과, 바닥온도는 Olesen의 기준 21℃~28℃를 벗어나지 않았으며, 실온의 PMV는 평균값이 약 +0.5로 쾌적한 것으로 분석되었다.

(4) 시뮬레이션을 통한 결로발생의 분석 결과, 시뮬레이션 기간(냉방기간) 792시간 동안 결로발생 위험기간은 약 209시간이었다. 따라서 본 대상 공간에서 냉방필요 기간의 약 72%는 온돌을 이용한 복사냉방이 가능한 것으로 나타났다.

온돌을 이용한 복사냉방은 대상 기후지역에 대하여 결로에 대한 약간의 위험율은 있으나 그 적용 가능성은 있다고 판단된다. 결로발생 위험기간을 줄이기 위해서는 공급냉수온도를 조절하거나 실내 잠열을 제어해야 할 것으로 판단되며, 공급냉수온도는 실공기의 노점온도 또는 외기 상대습도에 따라 제어할 수 있을 것이다. 공동주택에서의 냉방시스템으로 온돌이 사용된다면 패키지 에어컨에 의한 건물외관 손상이나 환경과피도 방지할 수 있을 것이며, 냉열원으로 지역냉난방 및 흡수식 냉동기 등을 사용한다면 하절기 최대 전력수요 억제효과를 가져올 수 있을 것이다.

REFERENCE

1. MOCIE, 1997, A Development of the AirConditioning System in Apartment Houses (I), (II).
2. Michel, E., and Isoardi, J.P., 1993. Cooling floor. Proceedings of Clima 2000. London.
3. Olesen, B.W., Possibilities and Limitations of Radiant Floor Cooling, ASHRAE Transactions 1997, p. 42.
4. Kim, Y. Y., 1997, "A Study on the Time-Division Hot Water Supply for Energy Saving of Radiant Floor heating System", MS thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
5. ASHRAE, 1997, ASHRAE Fundamentals Handbook, pp. 6.1-6.13.
6. SAREK, 1990, 『Seoul Standard Weather Data』, SAREK.
7. ASHRAE, 1997, ASHRAE Fundamentals Handbook, p. 25.13
8. McQuiston, Faye C., Cooling and Heating Load Calculation Manual(2nd Edition), ASHRAE, 1992, p. 5.7.
9. International Organization for Standardization, 1984, ISO 7730, pp. 1-8.
10. Olesen, B.W., 1977, Thermal comfort requirements for floors. Proceedings of Commissions B1, B2, E1 of the IIR Belgrade, 337-43.
11. Olesen, B.W., 1977, Thermal comfort requirements for floors occupied by people with bare feet, ASHRAE Transactions 83(2).