

공동주택에서 바닥복사냉방의 시스템 구성과 제어 방안에 관한 연구

A Study on the System Integration and Control Method of Radiant Floor Cooling in Apartment Buildings

조영흠* 석호태** 김광우*** 여명석****
Cho, Young-Hum Seok, Ho-Tae Kim, Kwang-Woo Yeo, Myoung-Souk

Abstract

The objective of this study is to show the system Integrations and control method for operation of the Radiant Floor Cooling. The systems for radiant floor cooling system consist of only using the radiant floor cooling and the radiant floor cooling integrated with a dehumidification system. And the study is suggested control method with composed radiant floor cooling system through simulations. Radiant floor cooling systems compose of four main parts: an existing radiant heating panel, manifold, cooling source and controller, and sensors. If dehumidifying or supplementary cooling is needed, additional equipments such as PAC and AHU are needed. Simulation results show that control method only using radiant floor cooling system can prevent condensation and set room air temperature with the exception of hot and humid periods and control method using the radiant floor cooling integrated with a dehumidification system is comfort thermal environments and can reduce the cooling load quickly, moreover, show comfort control method to meet various cooling operation situations.

Keywords : Radiant Floor Cooling, Apartment Buildings, System Integration, Control Method, TRNSYS

주요어 : 바닥복사냉방, 공동주택, 시스템구성, 제어방안, TRNSYS

1. 서론

공동주택에서 거주자의 실내 환경 수준에 대한 관심이 증대되면서 냉방에 대한 요구도 증대되고 있다. 최근 초고층 주상 복합 아파트의 등장으로 건물의 계획 및 시공시 냉방 설비에 대한 고려가 이루어지고 있는 추세이다. 이에 에어컨의 보급이 증가되고 있으며 최근에는 기존의 대표실에 1대의 에어컨이 설치되던 냉방 방식에서 하나의 건물을 다수의 공간으로 나누어 각 공간의 특성 및 사용자의 요구에 부합하게 공조를 할 수 있는 멀티 에어컨 냉방 방식으로 그 추세가 변하고 있다. 그러나 멀티 에어컨 냉방 방식은 여름철 전력수요 피크를 더욱 야기시키는

문제점을 발생시킨다. 개별 냉방기기의 사용에 따른 문제점을 해결하기 위해 기존 난방에서 사용중인 바닥복사패널을 여름철 냉방에 적극 활용하려는 관점에서 바닥복사냉방에 관한 연구가 진행되고 있다. 그러나 바닥복사냉방과 관련된 지금까지의 연구에서 실온 제어의 안정성, 결로 방지 및 쾌적성 측면에서 새로운 냉방 시스템으로 그 가능성을 확인하였으나 표면결로를 방지하기 위해 제습장치가 추가적으로 설치됨으로써 기존의 바닥복사난방 시스템에 비해 전체 시스템이 복잡해지게 되므로 실제 적용 가능한 시스템과 제어 측면에서의 고려가 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 바닥복사냉방의 운영을 위한 시스템의 구성 및 제어 방안을 마련하였다. 바닥복사냉방 시스템은 바닥복사냉방만을 사용하는 구성과 바닥복사냉방과 제습 및 보조냉방 장치를 사용하는 구성으로 크게 나누었다. 그리고 이러한 시스템 구성을 바탕으로 시뮬레이션을 통해 바닥복사냉방의

* 정회원, 서울대 공학연구소, 공학석사

** 정회원, 영남대 건축학부 조교수, 공학박사

*** 정회원, 서울대 건축학과 교수, 건축학박사

**** 정회원, 서울대 건축학과 조교수, 공학박사

제어 방식을 적용하는 단계부터 최종적으로 바닥보사냉방과 제습 및 보조냉방을 적용하는 단계까지의 과정을 거쳐 실제 운영을 위한 제어방안을 제시하였다.

II. 바닥보사냉방의 시스템 구성

본 장에서는 일반적인 공동주택 단위세대를 대상으로 바닥보사냉방만의 시스템 구성과 바닥보사냉방에 제습 및 보조냉방 장치를 추가한 시스템 구성을 살펴보았다.

1. 바닥보사냉방만의 시스템 구성

추가적인 장치 없이 기존의 난방 배관을 유효하게 이용하는 바닥보사냉방만의 시스템 구성은 기존의 바닥보사난방용 시스템을 이용하는 부분과 새롭게 추가되어야 할 부분이 있다. 구성 장치로는 기존의 바닥 난방용 패널, 온수 분배기, 냉수 유량 그리고 냉열원, 냉수 배관 및 컨트롤러와 센서가 있다.

난방용 바닥 패널은 기존 연구에서 바닥보사냉방의 현장실험을 통해 실온 제어의 안정성 측면에서 난방용 바닥 패널을 냉방용으로 사용이 가능한 것으로 평가되었으므로 특별한 변경없이 그대로 사용이 가능할 것이다.

현재 난방용으로 사용중인 온수 분배기는 각 실별로 유량 분배 및 실온 조절이 불가능하여 냉방용으로 사용하기에는 실별 유량 조정 및 실온 조절이 가능한 냉방용 유량 분배기가 필요할 것이다. 기존 난방분야에서 연구 중인 실별 유량 불균형이나 실별 실온 제어의 문제점을 해결한 실별 제어 시스템과 같은 새로운 냉수분배기가 설치되어야 할 것이다.

냉수 유량은 기존 현장 실험 결과를 통해 난방용 설계 유량을 냉방용으로 사용이 가능한 것으로 나타났으며 이와 함께 공급된 냉수 유량으로 냉수온도를 변화시켜 실온을 제어할 수 있었던 것으로 나타나 기존의 난방용 설계 유량을 냉방용으로 사용이 가능할 것으로 판단된다. 냉열원 및 냉수 배관은 기존의 공동주택에 바닥보사냉방의 적용시 추가적인 장치의 설치가 필요 없고 시공이 간편한 개별식 냉열원을 적용하는 것이 유리할 것으로 판단되며 중앙식의 냉열원을 채택할 경우에는 각 세대별로 냉수를 공급하기 위한 배관의 설치에 의한 시공의 어려움이 발생

할 수도 있을 것이다.

컨트롤러 및 센서는 바닥보사냉방의 운영을 위해서 기존의 난방에 사용중인 실온 센서와 컨트롤러 외에 바닥표면의 결로 발생을 제어할 수 있는 추가적인 센서와 컨트롤러가 필요할 것이고 현재 대표실에 설치된 하나의 컨트롤러 외에 각 실별로 센서와 컨트롤러가 설치되어야 할 것이다. 이와 함께 추가적인 장치로 각 실별 컨트롤러와 습도 및 냉수온도 센서의 설치가 필요할 것이다.

<그림 1>은 각 실별 바닥보사냉방만의 시스템 배관도를 나타내고 있다. 그리고 <표 1>은 바닥보사냉방만의 시스템 구성을 기존에 설치된 것과 추가 설치되어야 할 것으로 나누어 나타내었다.

2. 바닥보사냉방과 제습 및 보조냉방 장치에 의한 시스템 구성

다양한 실제 운영 상황에 대처하기 위한 바닥보사냉방과 제습 및 보조냉방 장치의 구성은 바닥보사냉방용 시스템과 제습 및 보조냉방을 위한 시스템으로 나누어진다. 추가적인 장치는 패키지 에어컨(Package Air Conditioner, PAC)과 AHU를 이용한 제습 장치 및 실별 분배 장치와 컨트롤러 및 센서로 구성된다.

제습용 장치로 패키지 에어컨을 이용할 경우에는 기존에 사용 중인 패키지 에어컨을 제습장치로 유용

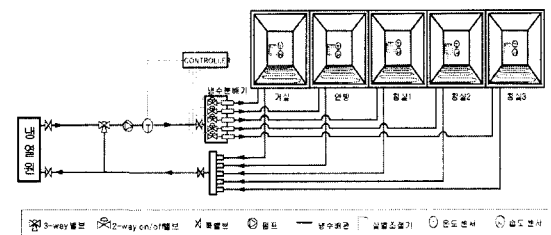


그림 1. 바닥보사냉방만의 시스템 배관도

표 1. 바닥보사냉방만의 시스템 구성

	바닥 패널	온수 분배기	바닥보사 냉열원		바닥보사 냉수배관		컨트롤러 및 센서
			중앙식	개별식	중앙식	개별식	
기존 설치	난방용	난방용	-	-	-	-	난방용
추가 설치	-	냉방용	경제성 고려	경제성 고려	필요함	-	냉방용

하게 사용할 수 있을 것이다. 현재 <그림 2>와 같이 초고층 주상 복합 건물들은 환기 시스템과 병용된 멀티 에어컨의 보급이 확대되고 있는 추세이므로 기존에 설치된 패키지 에어컨을 제습용으로 적극 활용하는 방안이 있을 것이다.

기존의 패키지 에어컨이 설치되지 않은 아파트에서는 현재의 패키지 에어컨 구입시 현열 부하 제거를 위한 약 6,000 kcal/hr(7 kW, 10~12평형)의 큰 용량의 제품이 선정되지만 제습용으로 구입할 경우 잠열 부하의 제거가 가능한 작은 용량의 패키지 에어컨을 구입함으로써 초기 투자비를 절감할 수 있을 것이다. 또한 초고층 주상 복합 아파트에서는 각 세대별 덕트형 멀티 에어컨이나 천장 카세트형 에어컨이 설치되어 있으므로 기존 냉방용 장치를 특별한 시공이나 설치 없이 제습용으로 전환하여 사용이 가능할 것으로 판단된다. 실별 천장형 에어컨을 제습 장치로 이용하는 방법 이외에 거실에 1대의 제습용 덕트형 에어컨을 설치하여 각 실에 발생된 잠열부하를 제거할 수도 있을 것으로 판단된다. <그림 3>과 <그림 4>는 천장형 에어컨과 덕트형 에어컨을 이용한 시스템 배관도를 나타내고 있다.

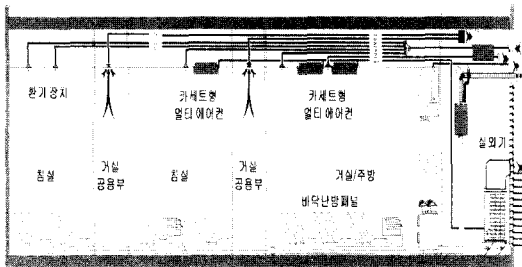


그림 2. 초고층 주상복합 아파트의 공조 개념도

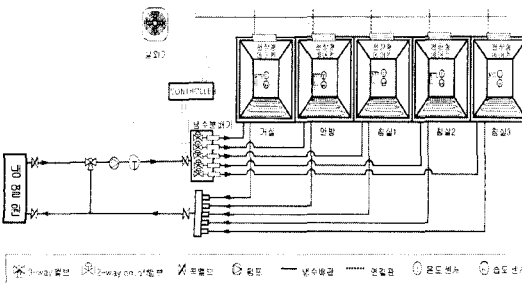


그림 3. 바닥복사냉방과 천장형 에어컨을 이용한 시스템 배관도

AHU를 이용할 경우에는 바닥복사냉방의 냉열원을 제습용으로 적극 활용하여 사용하는 AHU를 통한 제습이 가능할 것으로 판단된다. 제습목적으로 중앙식의 바닥복사용 냉열원을 이용할 경우 중앙의 냉열원으로부터 각 단위세대로 연결하는 바닥복사용 배관과 제습용 배관을 다르게 설치해야할 것이다. 이를 통해 불때 시공의 편의성이나 유지 관리 측면에서 개별식 냉열원을 사용하는 경우가 효과적일 것으로 판단된다. <그림 5>는 AHU를 이용한 제습 장치의 시스템 배관도를 나타내고 있다.

컨트롤러 및 센서는 바닥복사냉방과 제습의 냉방 운영을 위해서 앞서 제시한 제어용 센서와 바닥복사냉방 및 제습 장치를 제어할 수 있는 컨트롤러의 설치가 필요할 것이고 보조냉방장치는 앞서 제시한 바닥복사냉방과 제습 장치의 구성과 동일하다. 그러나 잠열 부하 제거를 위한 제습용 장치를 현열 부하 제거 시에도 이용하기 위해서는 실별 현열 및 잠열 부하 제거에 적합한 용량의 장치가 선정되어야 한다. <표 2>는 바닥복사냉방에 추가적으로 설치될 제습 및 보조냉방 시스템의 구성을 나타내었다.

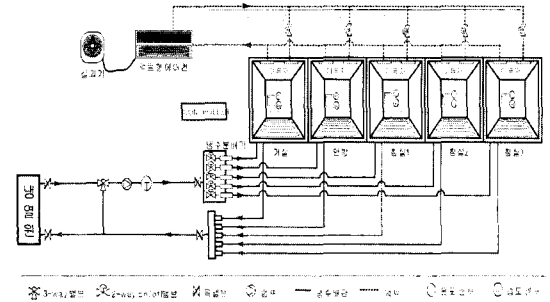


그림 4. 바닥복사냉방과 덕트형 에어컨을 이용한 시스템 배관도

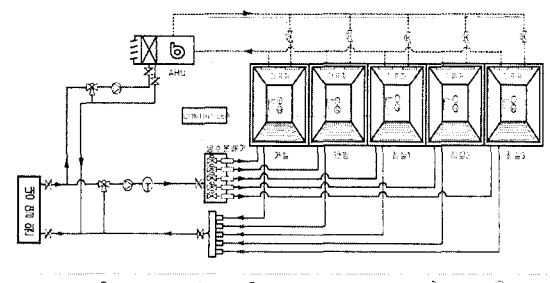


그림 5. 바닥복사냉방과 AHU를 이용한 시스템 배관도

표 2. 제습 및 보조냉방 시스템 구성

	제습 장치		제습용 냉수배관		분배 장치		컨트롤러 및 센서
	PAC	AHU	PAC	AHU	덕트형 에어컨	천장형 에어컨	
기존 설치	대표실 설치	-	-	-	-	대표실 설치	-
추가 설치	각 실별 설치	열원에 따름	-	필요함	필요함	각 실별 설치	냉방용

III. 바닥복사냉방의 제어방안

1. 시뮬레이션 계획

바닥복사냉방의 실제 운영을 위한 제어 방안을 마련하기 위해 본 연구에서는 기존 현장 실험 결과 데이터와 시뮬레이션 결과 데이터의 타당성을 확인한 동적 열해석이 가능하고 제어 알고리즘의 검토가 가능한 프로그램인 TRNSYS를 선정하여, 냉방기간 중 부하 발생이 큰 구간을 대상으로 제어 성능을 검토하였다. 시뮬레이션을 위한 구조체는 기존 현장 실험대상으로 선정된 공동주택의 설계도면과 동일하게 구성하여 결과 데이터의 정확성을 검토하였다. 재실자의 인체, 조명, 각종 실내기기, 거주 및 운전 스케줄은 재실자의 생활패턴을 반영하였으며, 조명, 발열 기기 등의 사용 스케줄은 평일과 주말을 구분하지 않고 실별, 시간별 최대부하를 고려하였다. 시뮬레이션의 입력 조건은 <표 3>과 같다.

바닥복사냉방의 제어방안을 마련하기 위한 시뮬레이션은 바닥복사냉방만의 시스템을 적용한 경우와 바닥복사냉방과 추가적인 시스템을 적용한 경우로 나누어 실시하였다. <그림 6>과 같이 각 시뮬레이션의 수행결과 나타난 제어측면에서의 문제점들을 해결하는 과정을 반복하여 바닥복사냉방의 실제 운영에 적합한 제어방안을 마련하였다.

2. 시뮬레이션 결과 분석

각각의 제시된 제어 알고리즘들은 Fortran에 의해 새로운 Type으로 작성된 후 TRNSYS 시뮬레이션을 통해 평가되었다. 설정실온에 대해 제어 편차 범위 내에서 실온 제어 가능성을 확인하였고 바닥표면온도와 노점온도와의 관계를 분석하여 표면결로 발생 유무에 따른 제어 성능을 분석하였다.

표 3. 시뮬레이션 조건

항 목	조 건		비 고
시뮬레이션 모델	위치	경기도 광주시	49평형
	향	정남향	중간 세대
	대상 공간	안방	바닥면적 : 22.3 m ² 체적 : 51.4 m ³
기상 자료	서울지역 표준 기상 데이터		공기조화 냉동 공학회, 1998년
환기 횟수	자연 상태	27회/h	-
	냉방 상태	0.6회/h	
인체발열	현열	70 W/인	대류: 21.3 W/인 복사: 49.7 W/인
	잠열	45 W/인	
	재실 인원	1인	
조명발열	현열	20 W/m ²	대류: 11.8 W/m ² 복사: 9.2 W/m ²
	잠열	0 W	
기기발열	현열	16.6 W/m ²	가정용 전력 소비형태 조사한국전력공사, 2000
	잠열	0 W	
운전 조건	운전방식	연속 냉방	-
	유량	3 lpm	-
	실내설정온도	26.0°C	제어 편차 : ±0.5

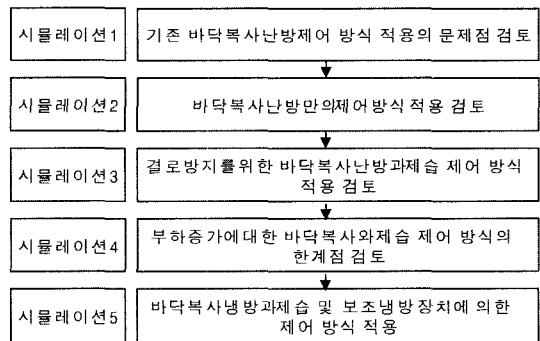


그림 6. 제어방안 마련을 위한 시뮬레이션 항목

1) 기존 바닥복사냉방의 제어방안 (시뮬레이션 1)
 기본적인 바닥복사냉방의 제어는 외기온과 실내온도를 고려하여 이루어진다. 외기보상률에 의해서 실내에 공급되는 냉수의 온도를 결정하고 설정실온을 유지하기 위해 바닥복사냉방을 위한 설정실온(Tset)을 중심으로 제어 편차에 따라 냉수유량의 공급을 결정하는 것이다. 즉, 냉방을 하지 않다가 현재 실온이 바닥복사냉방을 위한 설정실온 상한치(Tset+d)가 되면 시스템을 작동하고 냉방을 하는 동안 현재 실온이 바닥복사냉방을 위한 설정실온 하한치(Tset-d)

가 되면 작동을 중단하는 on/off 제어를 한다. <그림 7>은 바닥보사냉방의 제어 개념을 나타낸 것이다.

우리나라의 전형적인 여름철 날씨인 고온 다습한 날을 대상으로 바닥보사냉방 방식의 on/off 제어방식을 바닥보사냉방에 적용해 본 결과 <그림 8>과 같은 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과 설정실온인 26°C에 맞게 실온을 안정적으로 유지할 수 있었다. 그러나 바닥패널로 공급된 차가운 냉수 온도에 의해 바닥표면온도가 실내 노점온도보다 낮아져 8월 2일 12시경(A구간)과 8월 3일 18시경(B구간) 및 8월 4일 12시경(C구간)에 표면결로현상이 발생하였다. 그러므로 실제 적용에는 문제가 있으며 바닥표면의 결로 발생을 방지할 수 있는 제어방안이 필요할 것으로 판단된다.

2) 바닥보사냉방만의 제어방안(시뮬레이션 2)

앞서 바닥보사냉방의 제어방식으로는 표면결로 발생의 위험으로 인해 그대로 적용할 수 없다. 이에 바닥표면온도와 실내노점온도와의 관계에서 결로 발생구간을 예측하여 미리 냉수공급을 중단하여 결로 발생을 방지하는 제어방안을 제시하였다.

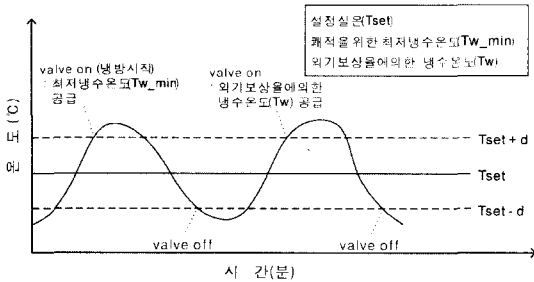


그림 7. 바닥보사냉방의 제어 개념

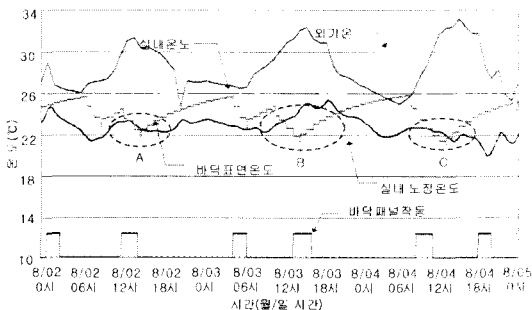


그림 8. 기존 바닥보사냉방 제어방식 적용(시뮬레이션 1)

난방에서 사용하는 외기보상곡선을 냉방에 그대로 사용하게 되면 외기온이 높은 경우 냉수온도가 지나치게 낮아져서 바닥표면온도가 낮아질 우려가 있다. 이때는 쾌적을 위한 바닥 표면온도의 하한값을 정하여 더 이상 낮아지지 않도록 제어해야만 한다. 바닥 표면온도가 설정 바닥 표면온도(Tfset) 이하가 되었을 때는 바닥패널로 공급되는 냉수의 온도와 공급여부를 조절할 수 있다. 외기온에 따라 결정되는 냉수의 온도를 더 이상 낮아지지 않도록 하던지 혹은 냉수공급을 중단하여 제어를 보완할 수 있다. 그러나 냉수공급을 중단하게 되면 바닥보사냉방의 작동이 중단되어 실온의 과열현상의 발생 우려가 있으며 이것은 최대한 바닥보사냉방을 사용하려는 목적에도 어긋나게 된다. 그러므로 쾌적을 위한 기준보다 바닥 표면온도가 계속해서 낮아질 경우 설정 바닥표면온도(Tfset)이하로 떨어지지 않도록 하는 냉수온도의 최저값(Tw_min)을 공급하도록 제어한다. 기존 연구 결과를 바탕으로 최저 공급냉수온도를 13.5°C로 제한하여 공급하도록 알고리즘을 구성하였다. 실제 바닥보사냉방의 운영시에는 거주자의 요구에 맞게 직접 최저 공급냉수온도의 입력이 필요할 것이다.

표면결로 발생을 방지하기 위해 가해진 설정노점온도(Tdset)를 계산하는 과정에서 노점온도(Td)에 노점온도의 안전율(safety factor:SF)을 더하여 미리 냉수공급을 중단하도록 해야 한다. 여기서 노점온도의 안전율을 임의로 결정할 수 있으나 시뮬레이션을 통해 다양한 실내 상황에 변화하는 실내 노점온도에 따라 1~6사이의 안전율(SF)이 정해지도록 제어를 보완하였다. 이를 통해 실내 노점온도의 변화에 적절히 반응하여 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

모의실험실에는 직접 바닥표면온도 센서를 설치하여 입/출력값에 따라 제어할 수 있으나 바닥보사냉방의 실제 운영시 거주자의 생활 공간에 바닥표면온도 센서를 부착하여 제어할 수 없을 것으로 판단된다. 이를 위해 기존 연구에서 제시한 바닥표면온도와 공급냉수온도의 상관관계를 바탕으로 바닥표면온도를 예측하여 제어하도록 구성하였다. 이를 바탕으로 작성된 바닥보사냉방만의 제어 알고리즘은 <그림 9>와 같다.

앞서 on/off 제어에 의해 결로 발생이 있었던 구간을 바닥보사냉방만의 제어 알고리즘을 통해 시뮬

레이션을 수행하였을 경우 <그림 10>과 같이 나타났다. 이를 통해 앞서 결로 발생이 예상되었던 구간인 8월 2일 12시경과 8월 3일 18시경 및 8월 4일 12시경에 표면결로의 발생을 방지할 수 있었다. 표면결로를 방지하기 위해 냉수를 차단함으로써 8월 3일 18시경(A구간의 실온은 설정실온인 26°C보다 높은 27.2°C를 나타냄으로써 실온 제어가 이루어지지 않는 것으로 나타났다. 그러나 고온 건조한 날인 8월 14일부터 16일 구간에서는 <그림 11>과 같이 실내 노점온도가 낮아 설정실온을 안정적으로 유지할

수 있는 것으로 나타났다. 이를 통해 볼때 결로 발생을 방지하기 위해 제습 장치를 사용하지 않고 바닥복사냉방만으로 실내 노점온도가 낮고 현열 부하의 발생이 큰 구간에서는 설정실온을 유지하여 냉방이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 다양한 냉방 운영 상황이 발생하는 전체 냉방기간 동안 냉방을 하기 위해서는 제습장치를 통해 잠열부하를 제거해야 할 것이다.

3) 바닥복사냉방과 제습 시스템의 제어방안 (시물레이션 3, 4)

제습 시스템은 <그림 12>와 같이 기본적으로는 실내 노점온도가 높아져 결로 발생가능성이 있을 때 작동하며 부가적으로 여름철 습도가 높아 쾌적을 위해 제습을 필요로 할 때 사용할 수 있다. 결로 방지를 위한 제습시스템의 작동은 바닥복사냉방과 결합하여 바닥복사냉방이 이루어지는 동안에 작동된다. 결로는 바닥표면온도가 실내 노점온도보다 낮을 때 발생하게 되며, 이를 사전에 방지하기 위하여 실내 노점온도(Td)를 기준으로 바닥 표면온도에 안전율을 감안한 설정 노점온도(Tdset = Td + SF)를 결정하고,

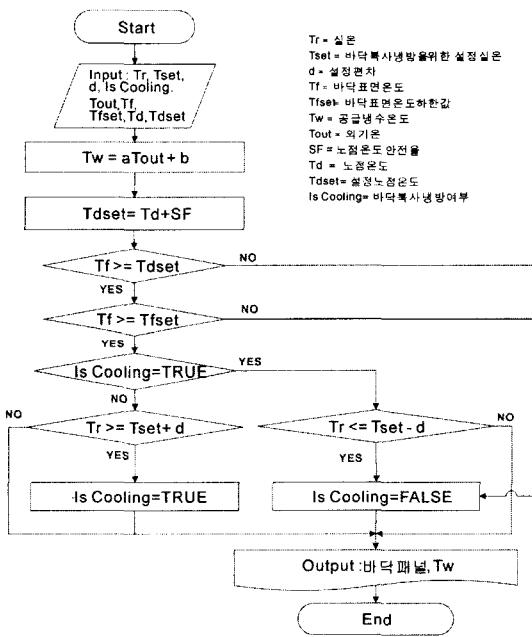


그림 9. 바닥복사냉방의 제어 알고리즘

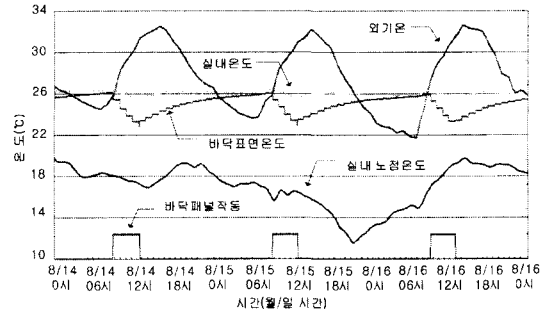


그림 11. 바닥복사냉방 제어방식 적용-고온 건조한 날 (시물레이션 2)

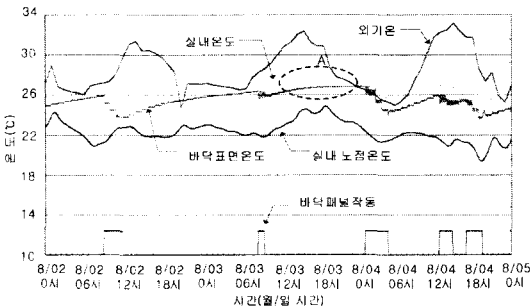


그림 10. 바닥복사냉방 제어방식 적용-고온 다습한 날 (시물레이션 2)

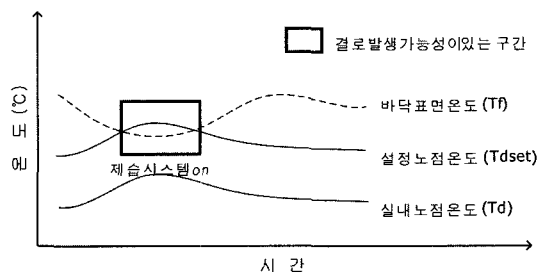


그림 12. 제습시스템의 제어 개념도

결정된 설정 노점온도와 실내 노점온도의 관계에 따라 냉수의 유량을 조절한다.

앞서 바닥복사냉방만으로 제어할 경우 실내 노점온도가 높은 구간에서 냉방이 불가능한 것으로 나타났다. 이에 바닥복사냉방에 제습장치를 추가함으로써 <그림 13>과 같이 설정실온을 안정적으로 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 바닥복사냉방만으로 실온의 제어가 불가능하였던 8월 3일 18시경(A부분) 바닥복사냉방에 의해 실온이 25.8°C를 나타냄으로써 제어가 가능함을 알 수 있었다. 이는 바닥표면온도와 실내노점온도와의 관계에서 결로 발생이 예상되는 구간에서 미리 제습장치가 작동하여 결로 발생을 방지함으로써 바닥복사냉방에 의해 실온을 안정적으로 유지시킬 수 있었던 것으로 판단된다.

그러나 실제 냉방의 운영 상황에서는 실내 발생 부하의 변화가 있을 것으로 판단된다. 예를 들어 비냉방 상황에서 냉방을 시작하는 경우가 있을 것이며 냉방도중에 내부 발열 부하의 증가가 있을 수도 있다. 이와 같은 실내 발생부하의 변화를 모사해 <그림 14>와 같이 바닥복사냉방과 제습의 제어 방식을 이용해 시뮬레이션을 실시하였다. 그림에서 오후 1시경인 A, B, C 구간에 대해 <표 3>에서 제시한 인체 발열부하를 3배로 증가시켰다. 이는 ASHRAE에서 제시한 부하 증가량을 기준으로 가정하였으며 시스템 용량을 초과하는 부하발생량은 고려하지 않았다. 이 때 설정실온인 26°C를 초과하여 실내온도가 27.5°C를 나타내었다. 이를 통해 볼 때 복사냉방방식을 사용하는 경우 설정실온이 안정적인 장점이 있으나 부하제거 시간이 느린 단점이 있는 것을 알 수 있다. 해결 방법으로 낮은 냉수온도를 공급하여 부하 제거 시간을 줄일 수 있으나 바닥표면온도가 낮아짐에 따라 표면결로의 위험과 재실자의 불쾌적함을 유발할 수 있을 것이다. 그러므로 이를 해결하기 위해 보조냉방장치를 사용하는 방안이 있을 것이다. 바닥복사냉방이 제거할 수 없는 현열부하를 대류냉방 방식의 보조냉방장치를 이용하여 제거하도록 제어하는 방안이다.

4) 바닥복사냉방과 제습 및 보조냉방에 의한 제어 방안 (시뮬레이션 5)

실내의 현열부하를 제거하는 방법으로 복사냉방방식인 바닥복사냉방과 함께 대류방식인 보조냉방장치

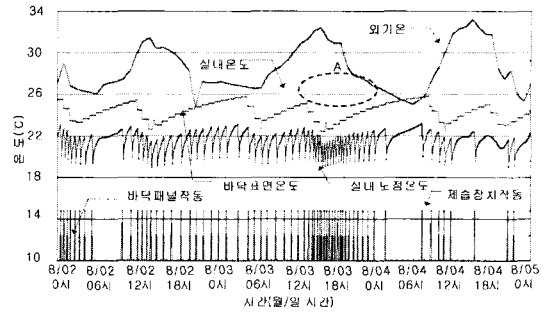


그림 13. 결로방지를 위한 바닥복사냉방과 제습 제어 방식 적용 (시뮬레이션 3)

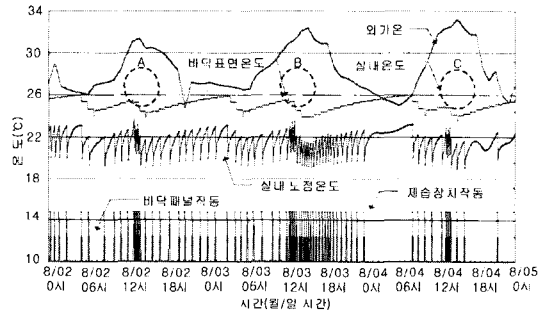


그림 14. 부하증가에 대한 바닥복사냉방과 제습 제어 방식의 한계 검토

를 병행해서 사용하는 방식이 있다. 이는 <그림 14>와 같이 바닥복사냉방만으로 실내의 증가된 부하를 제거하기에는 쾌적측면에서 제한을 받게 되는 경우 바닥복사냉방이 담당할 수 없는 현열부하를 보조냉방장치에 의해 제거하는 것으로써 그 제어 알고리즘은 <그림 15>와 같다. 제어목표는 바닥복사냉방 시스템의 작동을 최대한 하고 초과한 부분에 대해서 보조적으로 냉방을 돕도록 하는 것이다. 그러므로 보조냉방시스템은 부하가 커져서 실온이 바닥복사냉방 시스템의 담당영역을 벗어날 때 작동을 시작하며 부하가 제거되었다고 판단될 경우 작동을 중단하게 된다.

오후 1시경에 실내 발열부하를 증가시켰을 경우 <그림 16>과 같이 실내온도(Tr)가 설정실온(Tset)인 26°C를 초과하며 동시에 보조냉방의 작동 범위인 27°C((Tset+d)+D = (26°C+0.5)+0.5)를 초과하여 바닥복사냉방과 동시에 보조냉방이 약 15분 정도 작동하여 발생된 부하를 제거한 후 설정실온을 유지할 수 있었다. 이를 통해 볼 때 보조냉방을 사용함으로

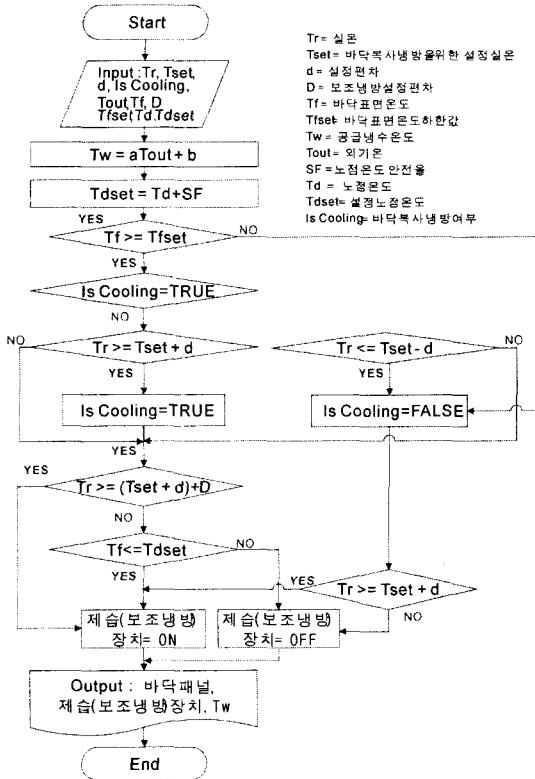


그림 15. 바닥보사냉방과 제습 및 보조냉방의 제어 알고리즘

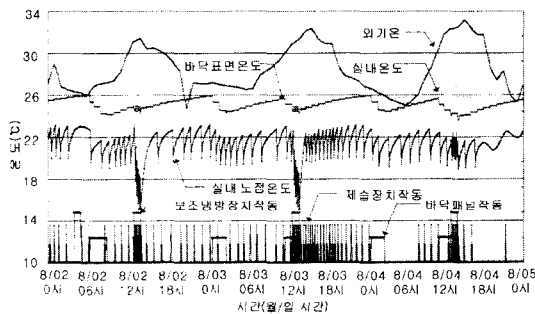


그림 16. 바닥보사냉방과 제습 및 보조냉방에 의한 제어방식 적용 (시뮬레이션 5)

써 바닥보사냉방에 의한 부하제거 시간이 느린 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 바닥보사냉방의 실제 운영을 위한

시스템의 구성을 살펴보았으며, 시스템의 구성과 관련하여 다양한 제어방안을 마련하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 추가적인 장치 없이 기존의 난방 배관을 유효하게 이용하는 바닥보사냉방만으로 시스템을 구성할 경우, 현열 부하를 제거하는 바닥보사냉방용 장치로는 기존 난방용 바닥패널, 난방용 온수 분배기, 냉열원 및 냉수 배관 그리고 이를 제어하기 위한 컨트롤러와 센서가 필요할 것으로 판단된다.

(2) 다양한 실제 운영 상황에 대처하기 위해 바닥보사냉방과 제습 및 보조냉방 장치에 의해 시스템을 구성할 경우, 현열 부하를 제거하는 바닥보사냉방용 장치와 함께, 잠열부하를 제거하는 제습용 장치로는 기존의 패키지 에어컨을 이용하는 경우와 AHU를 이용하는 경우로 나뉘며 각각에 제습용 실별 분배장치가 추가적으로 설치되어야 할 것이다. 그리고 제습 및 보조냉방 장치의 운전을 위한 컨트롤러와 센서가 필요할 것이다.

(3) 기존 바닥보사난방용에 보편적으로 사용중인 외기보상 on/off에 의한 제어방식을 바닥보사냉방에 그대로 적용하였을 경우 실온제어는 가능하였으나 바닥표면의 결로가 발생하여 냉방이 불가능하였다.

(4) 바닥보사냉방만의 제어방식은 고온 건조한 날에는 결로가 발생하지 않았으며 실온제어가 가능하였다. 그러나 고온 다습한 날에는 결로 방지를 위해 냉수공급이 중단되어 냉방이 불가능한 것으로 나타났다.

(5) 바닥보사냉방과 제습에 의한 제어방식은 결로 발생이 예상되는 구간에 제습을 실시하여 설정실온을 안정적으로 유지할 수 있었다. 그러나 쾌적을 위한 바닥표면온도의 제한을 통해 부하증가에 대해 느린 반응을 보임으로써 이를 해결하기 위해 초기 부하제거 시간이 빠른 냉방 방식을 겸용하여 사용할 필요성이 있는 것으로 나타났다.

(6) 바닥보사냉방과 제습 및 보조냉방(대류 방식)에 의한 제어방식은 실온제어가 안정적이며 결로발생을 방지할 수 있었으며 부하제거 시간이 빠르게 나타나 실제 바닥보사냉방의 운영시 다양한 냉방 운영 상황에 대처하기에 적합할 것으로 판단된다.

본 연구는 시뮬레이션에 의하여 도출되어진 결과이기 때문에 앞으로는 실험에 의해서도 시뮬레이션

결과를 다시 한번 재검증하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김난행 외 1인(2003), 공동주택에서 냉방시 실내온열환경 평가 연구, 한국주거학회논문집 14권 3호.
2. 산업 자원부(2003), 온돌을 이용한 복사 냉난방 시스템 개발에 관한 연구.
3. 석호태 외 3인(2003), 바닥복사난방의 실별제어시스템에 관한 열성능 평가, 한국주거학회논문집 14권 5호.
4. 이미경 외 3인(2002), 바닥복사냉방의 공동주택 현장적용에 관한 실험적 연구, 대한설비공학회 동계학술발표대회.
5. 임재한 외 3인(2002), 온돌을 이용한 바닥복사냉방의 제습 시스템 적용에 관한 연구, 대한설비공학회 논문집 제 14권 7호.
6. 조영흠 외 3인(2003), 바닥복사냉방의 공동주택 현장적용에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(계획계).
7. ASHRAE(2001), ASHRAE Handbook-Fundamental.
8. Faye C. McQuiston, Cooling and Heating Load Calculation Manual (2nd Edition), ASHRAE, 1992, p.5.7.