공동주택의 단열 및 차양에 따른 구체축열시스템 냉방성능 평가

Evaluation on Cooling Performance of Thermally Activated Building System by Insulation and Shading Conditions in Apartments

유미혜* 여명석** 이유지*** 정웅준*** 박상훈**** 김광우*****
Yoo, Mi-Hye Yeo, Myoung-Souk Lee, Yu-Ji Chung, Woong-June Park, Sang-Hoon Kim, Kwang-Woo

Abstract

Thermally Activated Building System(TABS) is a radiant heating and cooling system which uses structures as thermal storage by embedding pipes in a concrete slab. Using TABS as the cooling system in residential buildings can reduce energy consumption and peak loads. But the ratio of cooling loads handled by TABS is low in the residential buildings which are significantly influenced by outside condition because condensation and over-cooling may occur. However, recent interest on energy-saving buildings is increasing and new residential buildings are expected to be less influenced by outside with high-insulation and shading. In such residential buildings, the heating and cooling loads and the range of load changes reduce. So the ratio of loads handled by TABS can increase. Therefore, this research investigates the cooling performance and energy performance of TABS in the residential buildings with less influence from outside using the simulation.

Keywords : Thermally Activated Building System (TABS), Cooling Performance, Apartment, Insulation, Shading

주요어 : 구체축열시스템, 냉방성능, 공동주택, 단열, 차양

1. 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경 및 목적

구조체의 축열을 이용한 복사시스템인 구체축열시스템은 주거건물의 냉방시스템으로 사용할 경우 대류시스템인 에어컨에 비해 에너지소비가 적으며, 피크부하를 감소시키는 효과가 있다(Yoo et al., 2011). 그러나 구체축열시스템은 열관성으로 인해 제어가 어렵고(Gwerder et al., 2008), 주로 냉난방부하가 크지 않은 사무소 건물에 사용되는데(Olesen, Sommer & Dchting, 2002), 사무소 건물의 냉난방부하는 내부발열이 지배적이며 채일스케줄에 따라 거의 일정하게 나타난다. 반면, 주거건물은 내부발열보다는 일사 및 관류에 의한 외피부하가 커서 부하의 변동폭이 크기 때문에 결로 및 과냉의 발생 우려가 크다. 또한 구체축열시스템은 부하의 변화에 따라 즉각적으로 제어되는 시스템

이 아니므로 변동폭이 큰 기존 주거건물의 현열부하를 전부 처리할 수가 없다. 따라서 주거건물의 외피부하를 저감하여 사무소 건물과 같이 부하의 변동폭을 줄인다면 구체축열시스템의 활용도를 높일 수 있을 것이다.

현재 건물 에너지절약을 위한 기준이 꾸준히 강화되고 있으며, 최근에는 특히 패시브하우스와 같이 적은 에너지를 소비하는 주거건물에 대한 관심이 높아 국내에서도 높은 수준의 에너지절약을 달성한 주거건물 사례들이 계속해서 늘어나고 있다(Kim et al., 2010). 이러한 주거건물은 외피부하를 저감하도록 설계되어 냉난방부하가 작고 부하의 변동폭도 작아 구체축열시스템 만으로 현열부하를 처리할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 외피부하를 저감한 주거건물에서의 구체축열시스템 성능을 기존 주거건물의 경우와 비교평가 하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 국내의 대표적인 주거건물인 공동주택을 대상으로 시뮬레이션을 수행하여 진행하였다.

외피부하를 저감하는 방안으로는 외피단열강화와 외부차양을 이용하였고, 이를 기존 공동주택의 경우와 비교하였다. 연구의 진행순서는 다음과 같다.

(1) 기존 연구를 바탕으로 구체축열시스템의 개념 및 주거건물에서의 활용도를 고찰한다.

(2) 기존 수준의 단열 및 차양이 적용된 공동주택과 외피단열강화 및 외부차양이 적용된 공동주택의 조건을 설정한다.

*정회원(주저자), 서울대학교 대학원 석사과정

**정회원(교신저자), 서울대학교 건축학과 교수, 공학박사

***정회원, 서울대학교 대학원 석사과정

****정회원, 서울대학교 대학원 박사과정

*****정회원, 서울대학교 건축학과 교수, 건축학박사

Corresponding Author: Myoung-Souk Yeo, Dept. of Architecture, Seoul Natl. Univ., Sillim9-dong, Gwanak-gu, Seoul, Korea, E-mail: msyeo@snu.ac.kr

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2011-0005295)

(3) 시뮬레이션을 통해 각 공동주택의 냉난방부하를 산정하여 냉난방부하에 대한 단열과 차양의 영향을 분석한다.

(4) 냉방시스템으로 구체축열시스템을 적용할 경우 각 공동주택의 실내온도 범위를 산정하고, 이를 기존 시스템인 에어컨을 사용한 경우와 비교하여 구체축열시스템의 냉방성능을 평가한다.

(5) 외피부하를 저감한 공동주택에 적용된 구체축열시스템의 에너지소비량을 에어컨의 에너지소비량과 비교하여 구체축열시스템의 에너지성능을 평가한다.

II. 구체축열시스템의 개요

1. 구체축열시스템의 개념

구체축열시스템(Thermally Activated Building System, TABS)이란 공급수 배관을 슬래브 내부에 매설하여 별도의 축열층 없이 콘크리트 구조체의 축열을 이용하는 복사시스템이다. 구체축열시스템은 고온수냉방이 가능하므로 열원으로 지열을 사용할 수 있어 에너지절감에 효과적이며, 축열로 인한 부하분산효과로 피크부하저감이 가능하다(Olesen, Sommer & Dchting, 2002).

구체축열시스템은 슬래브 상하부로 방열/방냉이 가능하여 다층 건물에 유리하나, 현재 국내 공동주택은 층간단열규정이 있어 슬래브 상부로 열전달이 어렵다. 따라서 기존 연구(Park et al., 2010)에서 국내 실정에 맞도록 주거용 구체축열시스템을 제안하여 구체축열시스템을 슬래브 하부 실의 냉방시스템으로서 이용하고, 별도의 온돌층을 두어 바닥 난방을 따로 설치하는 것으로 설정하였다(Figure 2).

Figure 1. Simplified Concept of TABS

Figure 2. Section View of TABS for Apartment Houses

2. 구체축열시스템의 부하담당율

구체축열시스템의 냉방용량은 부하담당율을 통해 결정된다. 부하담당율은 최대냉방부하 대비 구체축열시스템의 방냉량을 말하며, 부하담당율이 높을수록 구체축열시스템의 활용도가 높고 구체축열시스템 만으로는 처리할 수 없는 잔여현열부하가 작다고 할 수 있다. 부하담당율을 정하기 위해서는 부하담당율에 따른 공급수온도를 적용하여 시뮬레이션을 수행한 뒤 과냉 및 결로가 발생하지 않도록 하는 공급수온도를 정한다(Chung et al., 2011). 따라서 부하의 변동폭이 큰 기존 주거건물에서는 과냉 및 결로의 발생 가능성이 높아 부하담당율이 낮게 설정된다.

III. 주거건물의 단열 및 차양

1. 주거건물의 단열

건물의 에너지절약을 위해 외피부하를 최소화할 수 있는 가장 대표적인 방법은 외피를 통한 열손실을 막아주는 단열이다.

정부에서는 ‘건축물의 에너지절약설계기준’을 통해 건물의 설계단계부터 단열을 고려하도록 외피의 열관류율을 규정하고 있으며, 이는 여러 번의 개정을 통해 점차 강화되고 있는 추세이다. 국내 중부지방의 열관류율 기준을 나타낸 <Table 1>을 보면 대부분의 항목에서 열관류율을 값이 강화된 것을 볼 수 있고, 특히 건물 열손실의 대부분을 차지하는 ‘창 및 문’의 경우 40% 이상 강화되었다. 2008년 발표된 제4차 에너지이용합리화 기본계획에 따르면 현행 선진국 수준인 외벽·지붕·바닥의 단열기준은 2012년과 2017년에 걸쳐 5년마다 10% 개선을 목표로 하고 있다.¹⁾

Table 1. Change in Building Code of Insulation for Central Area of Korea (Unit: W/m^2K)

		Revision year	2001	2010
Part				
Living room external wall	Directly contact with outdoor air		0.47	0.36
	Indirectly contact with outdoor air		0.64	0.49
Living room ceiling/ roof of top level	Directly contact with outdoor air		0.29	0.20
	Indirectly contact with outdoor air		0.41	0.29
Living room floor of the lowest level	Directly contact with outdoor air	Floor heating	0.35	0.30
		Non-floor heating	0.41	0.41
	Indirectly contact with outdoor air	Floor heating	0.52	0.43
		Non-floor heating	0.58	0.58
Side wall of apartments			0.35	0.27
Floor between levels of apartments	Floor heating		0.81	0.81
	Others		1.16	1.16
Window and door	Directly contact with outdoor air	Apartment		2.10
		Others	3.84	2.40
	Indirectly contact with outdoor air	Apartment	5.47	2.80
		Others		3.20

1) 국무총리실 · 지식경제부 보도자료 (2008. 12. 15).

패시브하우스에서도 단열은 중요한 요소이며 패시브하우스 인증을 위해서는 엄격한 단열기준을 따라야 한다. 한국패시브건축협회의 패시브하우스 요소기술 조건을 보면 벽 열관류율 $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ 이하, 창이 유리 및 프레임 열관류율 $0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$ 이하로 독일 패시브하우스 기준과 같은 값을 제시하고 있다. 또한 유리는 아르곤, 클립톤을 충전한 3중유리를 사용할 것을 조건으로 하고 있다. 이러한 조건은 현행 국내 기준보다 2배 이상 강화된 것이며, 패시브하우스를 목표로 향후 주거건물의 단열이 강화될 것으로 판단된다.

2. 주거건물의 차양

우리나라 대표적인 주거건물인 공동주택은 창면적비가 매우 커서 일사의 영향이 크게 나타난다. 일사는 난방에는 유리하지만, 냉방에는 매우 불리하게 작용하는데 현재 주거건물에서는 차양장치로서 대부분 실내 블라인드만을 사용하고 있다. 그러나 실내 블라인드를 사용할 경우 태양의 복사열이 유리를 통해 이미 실내로 유입된 후에 차단되기 때문에 냉방부하를 감소시키는데 큰 효과가 없다. 따라서 일사에 의한 냉방부하를 저감하기 위해서는 외부 차양을 사용하는 것이 유리하다.

한국패시브건축협회에서는 패시브하우스의 요소기술로 외부차양을 제시하고 있으며, 차양이 내부에 있을 경우 태양열 차단은 15%에 그치지만 외부에 설치된 경우 85% 이상이 차단된다고 설명하고 있다.

공동주택의 발코니는 고정형 외부차양이라 할 수 있으나, 현재 발코니 확장이 보편화되어 있으며 고정형 차양은 입사각의 변화에 따른 일사유입을 효과적으로 차단할 수 없다. 가변형 차양인 외부 블라인드는 경제상의 문제와 고층 공동주택에서의 관리 및 안전상의 문제로 국내에서는 아직 보편화되지 않았다. 그러나 최근 패시브하우스를 목표로 한 여러 주거건물을 중심으로 외부 블라인드의 사용이 많이 늘고 있으며, 향후 기술발전과 건물에너지절약에 대한 효과로 인해 외부 블라인드의 사용이 계속해서 증가할 것으로 예상된다.

IV. 단열 및 차양에 따른 냉방부하

1. 시뮬레이션 경계조건

본 연구에서는 공동주택의 단열 및 차양에 따른 영향을 비교하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램은 Energy Plus를 사용하였으며 대상 실은 공동주택의 안방으로 설정하였다. 대상 실의 경계조건은 <Table 2>와 같으며 해당 건물의 도면은 <Figure 3>과 같다. 재실스케줄은 <Figure 4>와 같으며 조명 및 기기 또한 스케줄에 따라 적용되었다. 환기는 2010년 개정된 ‘신축공동주택등의 기계환기설비의 설치기준’에 따라 전열교환기를 사용하였고, 전열교환기의 효율은 0.8을 적용하였다.

Table 2. Boundary Conditions

Conditions	Content
Weather data	Seoul
Building orientation	South
Window	75% of Southern Wall
Internal loads	2 people, 100 W lighting, 150 W equipment
Ventilation rate	0.7 ACH

Figure 3. Floor Plan

a) Weekdays

b) Weekends

Figure 4. Occupancy Schedule

2. 단열 및 차양 조건

기존 공동주택과 비교하기 위한 외피단열강화 및 외부 차양이 적용된 공동주택의 명칭을 ‘고성능외피 공동주택’이라 하였다. 각각의 외피단면구성 및 차양 조건은 <Table 3>과 같다.

외벽의 열관류율은 2010년 개정된 ‘건축물의 에너지절약설계기준’을 따라 산정하였으며, 기존 공동주택은 국내 중부지역의 기준을 따라 $0.36 \text{ W/m}^2\text{K}$ 이하로 하였고, 고성능외피 공동주택은 패시브하우스의 기준을 따라 $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ 이하로 하였다.

창은 기존 공동주택의 경우 건축물의 에너지절약설계기준의 별표 3을 참고하여 국내 중부지역의 기준인 2.1 W/

Table 3. Insulation and Shading Conditions

	Current apartment	High performance envelop apartment
External wall	<p>concrete 200 mm insulation 100 mm gypsum board 9.5 mm</p> <p>(exterior) (interior)</p> <p>0.33 W/m²K</p>	<p>insulation 200 mm concrete 200 mm gypsum board 9.5 mm</p> <p>(exterior) (interior)</p> <p>0.14 W/m²K</p>
Window	<p>low-e glass 6 mm air 12 mm low-e glass 6 mm</p> <p>(exterior) (interior)</p> <p>2.1 W/m²K</p>	<p>low-e glass 4 mm argon 18 mm plain glass 4 mm argon 18 mm low-e glass 4 mm</p> <p>(exterior) (interior)</p> <p>0.7 W/m²K</p>
Shading	Interior blind	Exterior blind

m²K 이하가 되는 단면으로 하였으며, 고성능외피 공동주택은 국외 저에너지 주택 사례(산업자원부, 2005)를 참고하여 패시브하우스 기준인 0.80 W/m²K 이하가 되는 단면을 사용하였다. 창외의 경우 열관류율 산정 시 프레임도 포함한 단면으로 되어있으나 시뮬레이션 상에는 유리만 적용되어 값에는 차이가 있지만 기존 공동주택과 고성능외피 공동주택에 적용된 유리의 열관류율이 2배 이상 차이가 난다.

차양은 기존 공동주택에 현재 주로 사용하는 천소재의 실내 롤스크린을 적용하였고, 고성능외피 공동주택에는 외부 블라인드를 적용하였다.

3. 냉난방부하 비교

복사시스템인 구체축열시스템은 현열부하만을 담당하므로 본 연구에서 냉난방부하는 현열부하만을 고려하였다.

구체축열시스템의 적용에 앞서 단열과 차양에 따른 냉난방부하를 산정하고, 기존 공동주택과 고성능외피 공동주택의 냉난방부하를 비교하여 고성능외피 공동주택에서의 부하 감소율과 부하 특성을 분석하였다.

냉난방부하는 실 부하로 구하였으며, 재실에 관계없이 전체 시간에 걸쳐 산정하였다. Energy Plus에서 Zone HVAC: Packaged Terminal Air Conditioner를 사용하여 냉방부하는 설정온도 26도일 때의 Sensible Zone Cooling Rate로, 난방부하는 설정온도 20도일 때의 Sensible Zone Heating Rate로 산정하였다.

냉방부하 산정 기간은 7~8월로, 냉방기 동안에는 재실자가 되도록 일사를 차단하려 할 것으로 판단하였고 차양의 영향을 크게 하기 위해 블라인드를 항상 전폐하는 것으로 가정하였다. 이 기간 동안 난방부하는 발생하지 않았다. 난방부하 산정 기간은 1~2월이며, 난방기 동안 블라인드를 개방하여 일사를 유입하고, 냉방부하가 발생하면 블라인드를 전폐하여 냉방이 발생하지 않는 것으로 가정하였다.

Table 4. Energy Needs for Cooling and Heating by Insulation and Shading Conditions

	Current apartment	High performance envelop apartment
July~August Energy needs for cooling	14696 Wh/m ²	6356 Wh/m ² Decrease by 57%
January~February Energy needs for heating	9879 Wh/m ²	4670 Wh/m ² Decrease by 53%

기존 공동주택과 고성능외피 공동주택의 냉난방부하를 산정한 결과는 <Table 4>와 같다.

1) 냉방부하

냉방부하 산정 시에는 단열과 차양에 대한 영향을 각각 알아보았다. 단열만 강화한 경우의 냉방부하는 기존 공동주택에 비해 다소 증가하였다. 단과장의 태양복사는 유리를 통해 실내로 유입되는 반면 장과장의 실내복사는 유리를 통과할 수 없어 온실효과가 일어나는데, 외벽의 단열성능이 높아지면서 외벽을 통한 열출입이 감소하여 오히려 온실효과가 더 크게 나타났다. 단열조건은 기존 공동주택과 동일하게 하고 외부차양만 적용된 경우는 기존 공동주택에 비해 냉방부하가 53% 감소하여 외부차양의 효과가 매우 크게 나타났다. 이러한 결과는 건축물의 에너지절약설계기준을 통해 단열이 강화되고 있지만, 이는 오히려 냉방부하를 증가시킬 수 있고 냉방부하 저감을 위해서는 효과적인 차양이 필요하다는 것을 의미한다. 고성능외피 공동주택은 기존 공동주택에 비해 냉방부하가 57% 감소하였고, 기존 공동주택과 고성능외피 공동주택을 비교한 그래프는 <Figure 5>와 같다.

2) 난방부하

난방부하는 블라인드를 개방한 상태로 산정했으므로 단열의 영향만을 비교하였다. 그 결과 단열을 강화한 경우의 난방부하는 기존 공동주택에 비해 53% 감소하였다. 냉방부하와 반대로 일사의 유입은 난방부하를 감소시키는 요인으로 작용하였고, 앞서 언급된 단열강화로 인해 냉방부하가 증가하게 된 이유가 난방부하에는 유리하게 작용하였다. 따라서 단열강화가 난방부하 감소에 효과가 큰 것으로 나타났다.

3) 구체축열시스템 적용을 위한 부하변동폭 비교

앞에서 살펴본 바와 같이 고성능외피 공동주택에서 냉방부하가 크게 감소하였지만, 내부발열은 기존 공동주택과 동일하다. 따라서 고성능외피 공동주택은 외피부하가 작아 부하의 변동폭이 작고 내부발열의 비중이 크게 나타나 구체축열시스템을 적용하기에 유리한 환경이라고 할 수 있다.

<Figure 6>은 최대냉방부하가 나타나는 8월 20일의 냉방부하에 대해 내부발열에 의한 부하와 외피 부하의 비중을 나타낸 그래프이다. 기존 공동주택에서는 외피부하에 따라, 고성능외피 공동주택에서는 내부발열에 의한 부하에 따라 냉방부하패턴이 변하는 것이 확연히 나타난다.

Figure 5. Hourly Cooling (a) and Heating (b) Load Profile

Figure 6. Sensible Cooling Loads Contribution on 20th August

V. 구체축열시스템 성능 평가

1. 구체축열시스템 적용 조건

냉난방부하 산정 결과를 바탕으로 기존 공동주택과 고성능외피 공동주택에 구체축열시스템을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램 및 경계조건은 앞장과 동일하다.

구체축열시스템은 천장 슬래브를 통해 하부실을 냉방하는 데에 이용하는 것으로 하였다. Energy Plus의 Zone HVAC: Low Temperature Radiant: Constant Flow를 사용하여 모델링하였으며, Construction: Internal Source에서 콘크리트 중앙에 배관이 매설되도록 구현하였다. 구체축열시스템의 적용단면 치수는 <Table 5>와 같다. 슬래브 두께 및 단면구성은 일반적인 공동주택의 도면을 참고하여 정하였고, 배관의 매설간격과 매설깊이는 문헌(Babiak,

Table 5. TABS Conditions

Conditions	Content	Dimension
Slab layer composition	Screed	90 mm
	Insulation	20 mm
	Concrete	200 mm
	Gypsum board	10 mm
Pipe in concrete	Spacing	200 mm
	Embedded depth	100 mm (Center of concrete)

Olesen & Petráš, 2007)과 기존 연구(Park et al., 2010)를 참고하였다. 구체축열시스템의 운전 시간은 축열효과를 고려해야하므로 구체축열시스템의 운전 시작 시간 및 운전 지속 시간에 대한 기존 연구(Park et al., 2011)를 참고하였고, 재실이 일어나기 2시간 전에 운전을 시작하여 재실이 있는 시간동안 운전을 지속하는 것으로 하였다.

2. 시뮬레이션 Case 설정

구체축열시스템의 성능을 평가하기 위해 기존 시스템인 에어컨과 비교하였으며, 에어컨은 Energy Plus의 Zone HVAC: Packaged Terminal Air Conditioner를 사용하여 모델링하였다. 에어컨의 설정온도는 26°C로 하고 재실이 있는 시간에만 운전하였다. 에어컨을 사용한 경우를 'PTAC', 구체축열시스템을 사용한 경우를 'TABS'로 나타내었다. 적용 시스템에 따른 분류를 위의 공동주택의 분류와 조합하여 <Table 6>과 같이 총 4개의 Case를 설정하였다.

Table 6. Simulation Case

System	Building	Current apartment	High performance envelop apartment
Packaged terminal air conditioner		Current+PTAC	Improved+PTAC
Thermally activated building system		Current+TABS	Improved+TABS

기존 공동주택은 ‘Current’로, 고성능외피 공동주택은 ‘Improved’로 나타내었다.

시뮬레이션 기간은 현실적인 냉방시스템의 운전을 고려하여 부하가 작은 날은 냉방시스템을 운전하지 않고 지내는 것으로 가정하고, 냉방에너지 요구량이 중간치 이상인 7월 25일부터 8월 25일까지로 정하였다.

3. 구체축열시스템의 냉방성능

구체축열시스템을 사용할 경우 기존 공동주택과 고성능외피 공동주택에서의 구체축열시스템 활용도를 비교하기 위해 구체축열시스템 부하담당율을 비교하였다.

또한 각 공동주택의 구체축열시스템 냉방성능을 평가하기 위해 채실시 실내온도를 산정하여 비교하였으며, 에어컨 사용한 경우의 실내온도와 비교하여 에어컨 대비 구체축열시스템의 냉방성능을 평가하였다.

시뮬레이션 결과 구체축열시스템의 공급수온도 및 부하담당율은 <Table 7>과 같다. <Table 7>에서 ‘구체축열시스템 설계 방냉량’은 EN의 열저항법 계산식을 통해 공급수온도에 따른 방냉량을 정상상태에서 산정한 것을 말하는 것으로, 시뮬레이션의 비정상상태 값과는 차이가 있다.

공급수온도의 결정은 기존연구(Chung et al., 2011)를

Table 7. Result of Application of TABS from 25th July to 25th August

	Case A2	Case B2
Supply water temperature (°C)	21	23
TABS designed cooling rate (a) (W/m ²)	16	10
Maximum cooling load (b) (W/m ²)	47	10
Maximum load ratio (a/b) (%)	35	100

Figure 7. TABS Cooling Rate (a) and Mean Air Temperature (b)

a) Current Apartment Using TABS

b) High Performance Envelop Apartment Using TABS

Figure 8. Mean Air Temperature Range

참고하여 사전 시뮬레이션을 통해 별도의 제어 없이 과냉 및 결로가 발생하지 않도록 하는 공급수온도의 범위를 구하는 방법을 사용하였고, 이 중 최저 공급수온도를 구하여 적용하였다. 추후 제어에 대한 연구를 통해 과냉 및 결로 문제를 보다 정확히 처리할 수 있을 것으로 기대된다. 적용된 공급수온도는 기존 공동주택과 고성능외피 공동주택에서 약 2°C의 차이를 보였다. 이때의 최대현열부하 대비 구체축열시스템 부하담당율은 기존 공동주택에서 35%, 고성능외피 공동주택에서 100%로 나타났다. 기존 공동주택에서는 구체축열시스템의 방냉량이 최대부하에 크게 못 미쳐 잔여부하를 처리하는 보조시스템이 필요하나, 고성능외피 공동주택에서는 최대부하와 비슷한 방냉량으로 운전하여도 과냉 및 결로가 발생하지 않았다.

<Figure 7>은 냉방에너지 요구량이 가장 크게 나타나는 8월 20일을 포함한 3일 동안의 구체축열시스템 방냉량과 실내공기온도를 나타낸 그래프이다. 기존 공동주택에서는 구체축열시스템을 적용한 후의 실내공기온도가 구체축열시스템을 적용하기 전보다 약 6°C 낮아졌고, 고성능외피 공동주택에서는 약 4°C 낮아졌다. 그러나 기존 공동주택의 실내공기온도가 고성능외피 공동주택보다 다소 높게 나타나며, 고성능외피 공동주택은 거의 일정한 실내공기온도가 유지되고 있다.

전체 시뮬레이션 기간에 걸쳐 기존 공동주택과 고성능외피 공동주택의 채실시 실내온도를 비교하여 각 공동주택에서의 구체축열시스템 냉방성능을 비교하였다. 기존 공동주택에서 실내온도의 변동범위는 약 7°C로 나타났으며 열쾌적 범위를 크게 벗어난 시간이 발생했다. 그러나 고

Figure 9. Operative Temperature Ratio during Occupancy

성능외피 공동주택에서는 실내온도의 변동범위가 약 3°C로 기존 공동주택에 비해 약 2배 이상 안정적인 온도분포를 보였으며 구체축열시스템의 냉방성능으로 비교적 쾌적한 온도를 유지할 수 있는 것으로 나타났다<Figure 8>.

구체축열시스템은 축열체를 통해 방열하므로 반응속도가 즉각적이지 않아 별도의 제어 없이 운전시간 동안 일정한 공급수온도로 운전하도록 하였다. 따라서 부하변동과 관계없이 구체축열시스템의 방열량은 거의 변화가 없고 부하변동과 함께 실내공기온도도 변하게 된다. 고성능외피 공동주택은 부하의 변동폭이 작고 그로 인해 실내공기온도의 변화도 작기 때문에 일정한 방열량을 갖는 구체축열시스템에 더욱 적합한 환경이라고 할 수 있다.

고성능외피 공동주택에서 구체축열시스템의 냉방성능을 에어컨과 비교한 결과는 <Figure 9>와 같다. 구체축열시스템과 같은 복사시스템은 표면온도를 이용하여 냉방하기 때문에 에어컨을 사용한 경우보다 평균복사온도가 더 낮게 나타났고, 이러한 장점을 반영하기 위해 작용온도를 비교하여 냉방성능을 평가하였다. 그 결과 구체축열시스템을 사용한 경우에도 에어컨을 사용한 경우와 비슷한 온도범위를 나타냈고 평균작용온도는 에어컨의 경우 26.5°C, 구체축열시스템의 경우 26.6°C로 거의 동일하게 나타났다. 따라서 고성능외피 공동주택에서 구체축열시스템을 사용할 경우 에어컨을 설정온도 26°C로 운전한 것과 비슷한 냉방성능을 나타낸다고 할 수 있다.

3. 구체축열시스템의 에너지성능

고성능외피 공동주택에서 구체축열시스템의 냉방성능을 평가한 결과를 바탕으로 구체축열시스템의 에너지소비량을 에어컨의 에너지소비량과 비교하여 구체축열시스템의 에너지성능을 평가하였다. 에너지소비량의 산정 결과는 <Table 8>과 같다.

먼저 단열 및 차양에 의한 부하 감소의 효과로 인해 고성능외피 공동주택에서 에어컨의 에너지소비량은 기존 공동주택에 비해 약 52% 감소하였다.

고성능외피 공동주택에서의 에너지소비량을 보면 에어컨을 사용한 경우에 비해 구체축열시스템을 사용한 경우 에너지소비량이 크게 감소하였다. 구체축열시스템은 열원으로 지열을 사용하므로 펌프 이외에 에너지소비가 없다.

Table 8. Energy Consumption Comparison (Unit: Wh)

System \ Building	Existing apartment	High performance envelop apartment
Packaged terminal air conditioner	134,476	64,588
Thermally activated building system	-	8,479

Figure 10. Mean Air Temperature Using Air Conditioner or TABS

또한 구체축열시스템을 사용한 경우는 운전종료 후에도 축열효과에 의해 실내온도가 낮게 유지되고 재실에 따라 실내온도가 변하는 반면, 에어컨을 사용한 경우는 운전을 종료하는 즉시 실내온도가 상승하고 실내공기온도를 다시 설정온도까지 낮추기 위해서 많은 에너지를 소비한다 <Figure 10>.

따라서 외부의 영향을 적게 받는 고성능외피 공동주택으로 설계할 경우 부하 감소에 의한 에너지절약 뿐 아니라, 에너지소비량이 많은 기존 시스템 대신 변화된 부하 패턴에 맞는 시스템인 구체축열시스템을 사용함으로써 에너지절약을 최대화할 수 있다.

VI. 결 론

본 연구를 통해 단열 강화 및 외부차양을 이용한 고성능외피 공동주택에서 구체축열시스템의 적용 타당성을 평가한 결과는 다음과 같다.

(1) 단열강화 및 외부차양을 통해 고성능외피 공동주택의 기간냉난방 현열부하는 기존 공동주택에 비해 50% 이상 감소한다. 이 경우 외피부하가 감소하여 내부발열에 의한 부하의 비중이 커지고, 부하변동폭이 감소한다. 따라서 고성능외피 공동주택에서는 구체축열시스템의 적용이 유리해진다.

(2) 기존 공동주택에서는 구체축열시스템의 최대현열부하 대비 부하담당율이 30%에 그쳐 잔여부하가 크다. 반면 고성능외피 공동주택에서는 구체축열시스템의 부하담당율을 100%로 설정할 수 있다.

(3) 고성능외피 공동주택에 구체축열시스템을 적용한 경우 기존 공동주택에 비해 온도의 변동폭이 작고 비교적 쾌적한 온도분포를 나타낸다. 또한 에어컨을 사용한 경우와 작용온도를 비교한 결과 비슷한 온도범위를 가지며 평

균온도도 거의 동일하다.

(4) 고성능외피 공동주택의 변화된 부하패턴에 맞는 구체축열시스템을 적용하여 에너지 소비를 절감할 수 있다. 고성능외피 공동주택의 난방부하 감소에 따른 에너지 절감과 함께 에너지 소비량이 큰 에어컨 대신 지열을 사용한 복사시스템을 사용함으로써 에너지소비량이 크게 감소한다.

난방부하와 함께 난방부하도 크게 감소하는 고성능외피 공동주택에서는 구체축열시스템을 난방시스템으로도 사용할 수 있을 것이다. 향후 복사시스템의 중복 없이 구체축열시스템을 난방시스템으로 사용하기 위한 연구가 수행되어야 할 것이다.

REFERENCES

1. 국토해양부 (2010). 건축물의 에너지절약설계기준.
2. Babiak, J., Olesen, B., W. & Petráš, D. (2007). *Low temperature heating and high temperature cooling*. Rehva.
3. Cheong, C., Kim, T., & Leigh, S. (2008). Expectation about heating and cooling load reduction in apartment by using the window with lower U-value and the external shading device. *Proceeding of Spring Conference of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System 2008*, 65-70.
4. Chung, W. et al. (2011). Feasibility of a thermally activated building system in residential buildings. *ISES Solar World Congress 2011*, Kassel.
5. EN 15377-1: *Heating system in buildings - Design of embedded water based surface heating and cooling system - Part 1: Determination of the design heating and cooling capacity*. (2007).
6. Gwerder, M., Lehmann, B., Todtli, J., Dorer, V., & Renggli, F. (2008). Control of thermally-activated building system (TABS). *Applied Energy*, 85(7), 565-581.
7. Kim, J., Lee, T., Cho, K., & Kim, J. (2010). A case study on the domestic passive house through application of the Germany passive house standards. *Proceeding of Spring Conference of the Korean Institute of Ecological Architecture and Environment 2010*, 19-22.
8. Ministry of Commerce, Industry and Energy (2005). *A study on the development of the insulation and design criteria for low energy housing complex*.
9. Olesen, B. W., Sommer, K., & Duchting, B. (2002). Control of slab heating and cooling systems studied by dynamic computer simulations.
10. Park, S. et al. (2011). Operation mode of a thermally activated building system according to the starting time and the operating hours in residential building. *ISES Solar World Congress 2011*, Kassel.
11. Park, S., Kim, I., Koo, S., Yeo, M., & Kim, K. (2010). The effect on the heat output by combination of design factors of thermally activated building system(TABS). *Journal of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System*, 4(3), 180-186.
12. Yoo, M. et al. (2011). Evaluation on energy performance of thermally activated building system (TABS) in residential building. *Proceeding of Autumn Annual Conference of the Architectural Institute of Korea 2011, Planning & Design*, 399-400
13. Passive House Institute Korea. <http://www.phiko.kr/>

접수일(2012. 2. 1)
수정일(1차: 2012. 3. 19)
게재확정일(2012. 4. 10)