

자연환기가 가능한 서울시 공동주택의 하절기 실내 온열 쾌적성 평가

Evaluation of the Indoor Thermal Comfort in Naturally Ventilated Apartment During Summer

이 승 재* 정 창 현** 황 석 호*** 김 태 연**** 이 승 복*****
Lee, Seung-Jae Cheong, Chang Heon Hwang, Suckho Kim, Taeyeon Leigh, Seung-Bok

Abstract

Natural ventilation is major strategy of 'sustainable building'. It aims to supply fresh air to the indoor, and to remove heat from the indoor during summer. In the latter point of view, natural ventilation can be grouped into two main strategies, daytime ventilation and night cooling. If we take advantage of these two natural ventilation strategies, indoor thermal comfort can be significantly improved. This study focused on grasping the current situation and problem of indoor thermal comfort of the naturally ventilated residential buildings to seek for direction of later studies. Additionally, thermal comfort of residence where the interior blind and exterior insulation were applied was analyzed. It was analyzed that the percentage of the time which satisfy the indoor acceptable operative temperature during summer was 90 ~ 95% and the heat control performance of natural ventilation has a limitation. When the interior blind and exterior insulation were applied, indoor thermal comfort was significantly improved. However, it still need more improvement.

키워드 : 자연환기, 공동주택, 실내 온열 쾌적, Adaptive model

Keywords : Natural ventilation, Apartment, Indoor thermal comfort, Adaptive model

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

에너지고갈과 지구온난화가 세계적 문제로 대두되면서, 건물의 성능을 평가하는데 에너지 소비 효율이 가장 영향력 있는 지표로 부각되고 있다. 그러나 하절기 주택의 경우, 사무소 건물과는 달리 실내 발열량이 적으며 주간 이용 빈도가 낮고, 재실자가 경제적 부담을 이유로 어느 정도의 열적 스트레스를 감수하기 때문에 실제 냉방에 소비되는 에너지가 상대적으로 적다. 따라서 하절기 공동주택은 설비적인 시스템을 이용하지 않은 상태에서의 실내 쾌적성을 중심으로 평가하는 것이 합리적이라고 사료된다.

이러한 관점에서, 자연환기는 실내공기질 측면에서 유용할 뿐만 아니라 가장 효과적인 자연적 냉방전략 중 하나로, 공동주택에서는 이러한 자연환기를 비교적 자유롭

게 이용할 수 있다. 냉방 측면에서의 자연환기 전략은 크게 daytime ventilation과 night cooling으로 나뉜다. Daytime ventilation은 주간에 외기를 도입함으로써 실내 공기온도를 낮추고, 사람 표면으로부터의 증발 냉각, 대류 냉각을 촉진하는 등 직접적으로 열을 제거하는 방법이다. 그러나 외기온이 실내 공기온도나 재실자의 목적온도보다 높으면 실내 열량 측면에서는 오히려 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 반면 night cooling은 야간에 자연환기를 통해 실내 축열체를 냉각시켜 이 냉기를 익일 이용하는 방법으로, 익일 주간에는 환기를 중지하여 불필요한 열의 유입을 차단해야 한다. 그러나 야간에도 재실자가 상주하는 공동주택의 특성상, 야간에 실내 온열환경을 고려하지 않는 냉각은 재실자의 불쾌적감을 유발할 우려가 있다. 이러한 두 가지 자연환기 전략의 특성을 파악하고, 적절히 이용하는 것만으로도 실내 온열 환경은 크게 개선될 수 있다.

본 연구는 하절기 국내 공동주택의 실내 온열 쾌적성 향상을 위한 후속 연구에 앞서, 기본적으로 자연환기를 도입한 공동주택의 실내 온열 환경 현황과 문제점을 파악하고, 그에 따른 추후 연구 방향을 모색하는데 그 목적이 있다. 추가적으로 손쉽게 적용할 수 있는 실내 블라인드와 공동주택의 에너지 성능향상을 위해 활발하게 연구

* 연세대학교 건축공학과 석사과정 (sjlee8604@gmail.com)
** 연세대학교 건축공학과 박사과정 (pinklee00@hotmail.com)
*** 연세대학교 건축공학과 연구교수 (hwangsh@yonsei.ac.kr)
**** 연세대학교 건축공학과 부교수 (tkim@yonsei.ac.kr)
***** 교신저자, 연세대학교 건축공학과 정교수 (sbleigh@yonsei.ac.kr)

되고 있는 외단열을 현재 혹은 미래의 공동주택에 있어 기본적인 조건으로 보고, 이에 따른 개선 정도도 함께 분석하였다. 실내 온열 환경은 EnergyPlus 시뮬레이션을 통해 분석하였으며, adaptive model을 적용하여 쾌적성 여부 평가를 도출하였다. 그러나 실내 기류에 의한 쾌적 환기(comfort ventilation) 효과는 분석 대상에서 제외하였다.

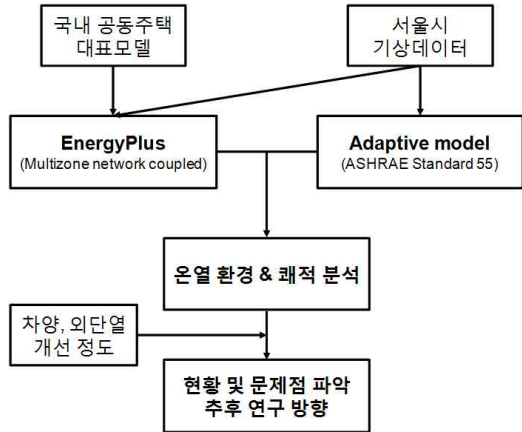


그림 1. 연구 진행 절차

2. 본 론

2.1 Adaptive model

일반적으로 실내 온열 환경과 그에 따른 재실자의 쾌적을 설명하는데 Fanger P. O.가 제안한 열평형 이론을 널리 사용해왔다. 이는 실험실 실험에 기초하고 있으며, 일정한 온도로 냉난방이 이루어지는 건물에 적합하다. 그러나 냉난방이 이루어지지 않는 실내 공간의 경우, 실내 환경은 실외 환경 변화에 반응하여 자연스럽게 변하게 된다. de Dear R. J., Humphreys M. A., Nicol J. F. 등은 실제 건물에서의 실험과 설문을 바탕으로 자연환기가 이루어지는 공간에서 재실자의 행동적, 생리적, 심리적 적응과 기대치를 고려한 adaptive model을 연구·보고했다.[1,2] 이들 adaptive model들은 월평균외기온도(혹은 연속평균치)를 바탕으로 실내 작용온도(operative temperature)의 쾌적 수용 범위를 제시하고 있다. 작용온도는 실내온열환경을 평가하기 위한 지표로 공기온도와 MRT를 각각 대류, 복사열전달률로 가중 평균한 값으로, 일반적인 실내 환경(일사에 직접적으로 노출되어있지 않은 상태, 대사율 1~1.3met, 실내 기류속도 0.20m/s 이하)의 경우 공기온도와 MRT의 단순 평균 값에 근사하다.[13] 현재 ASHRAE Standard 55와 EN 15251에서도 이러한 연구를 바탕으로 각각 자연환기가 이루어지는 공간의 온열 쾌적성을 평가하는 adaptive model을 제시하고 있다. Moujalled B. et al.[3]은 프랑스에 위치한 5개 사무용 건물에서의 실측과 설문을 통해 자연환기가 이루어지는 공간에서 기존 PMV 지표보다 adaptive model이 실내 재실자의 쾌적 여부를 평가하는데 적합하다는 연구결과를 보고한 바 있다. Yao R. et al.[4]은 adaptive model을 이용하여 중국 5개 지역의 자연환기를 통한 냉방 가능성

을 분석한 바 있다. 공동주택의 경우, 자연환기가 자유롭게 이루어지며, 특성상 재실자의 행동적, 생리적, 심리적 적응이 적극적으로 이루어지기 때문에, 본 연구에서는 de Dear R. J.에 의해 연구되어 ASHRAE Standard 55에 적용된 adaptive model을 이용하였다. 그림 2는 ASHRAE Standard 55에서 제안하는 adaptive model의 쾌적 수용 범위를 나타낸 것이다. 쾌적 온도는 월평균 외기온도와 식 1에 의해 계산되며, 쾌적 수용 80% 범위의 상한과 하한은 식 2와 3을 통해 구할 수 있다.

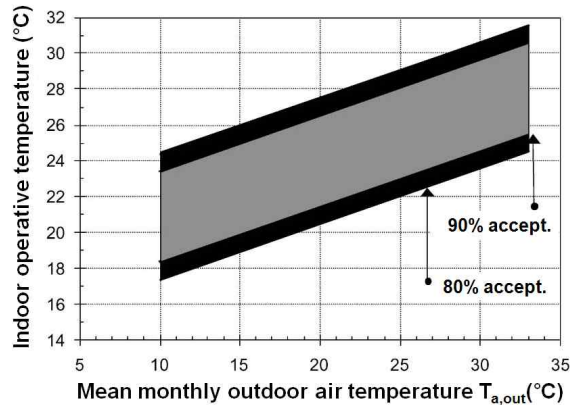


그림 2. de Dear R. J. 의 adaptive model [1]

$$T_{comf} = 0.31 T_{a,out} + 17.8 \quad \text{수식 1}$$

$$T_{max} = T_{comf} + 3.5 \quad \text{수식 2}$$

$$T_{min} = T_{comf} - 3.5 \quad \text{수식 3}$$

여기서, T_{comf} = 쾌적 작용온도

$T_{a,out}$ = 월평균 외기온도

T_{max} = 쾌적 수용 80% 범위 상한 작용온도

T_{min} = 쾌적 수용 80% 범위 하한 작용온도

2.2 기상데이터 분석

외기온과 풍속·풍향은 건물에 자연환기전략을 도입하는데 있어 가장 핵심적인 요소이다. 본 연구에서는 한국태양에너지학회 대한민국 서울 표준기상데이터를 활용하였다. 그림 3은 여름철 서울의 외기온과 그에 따른 쾌적 수용 범위를 나타낸 것이다. 5월과 6월, 9월은 하루 중 일교차가 크기 때문에 야간에 자연환기를 도입하는데 있어 실내가 과냉각 되는 것을 주의해야 한다. 7월과 8월의 경우, 최고 온도가 29°C를 넘어가는 날을 제외하면 외기온이 쾌적 수용 범위에 속하므로 자연환기를 통해 실내 온열 쾌적을 만족시키는데 무리가 없을 것으로 사료된다. 그러나 외기온이 29°C를 넘어가는 경우에는 자연환기를 통해 실내 온열 쾌적을 만족시키는 것이 어렵기 때문에 창문을 닫아 열량의 유입을 차단하는 것이 바람직하다.

그림 4는 서울의 여름철 풍속과 풍향 빈도를 나타낸 것이다. 일반적으로 여름철에는 남동풍이 분다는 상식과는 달리 주풍향이 북동풍으로, 이는 운재옥이 30년간의 기상자료를 분석한 결과와 유사하다.[7] 풍향과 풍속은 건

물의 향, 개구부 위치 등과 연계하여 환기량을 결정하게 된다.

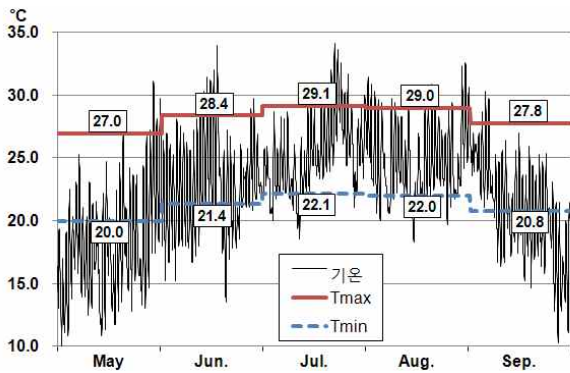


그림 3. 서울시 여름철 외기온 분포 및 쾌적 수용 범위

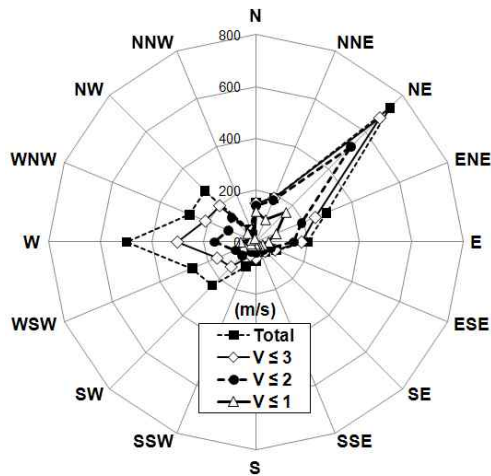


그림 4. 서울시 여름철 풍속 및 풍향 빈도 (시간)

2.3 시뮬레이션

2.3.1 해석대상

건물의 열적 특성 및 기류 흐름은 해석 건물의 평면과 물성, 기타 경계조건에 따라 크게 달라진다. 때문에 본 논문에서는 관련 자료를 바탕으로 국내 공동주택을 대표하는 시뮬레이션 모델을 구성하여 연구에 이용하였다. 2005 인구주택총조사에 따르면 바닥면적 19~29평(62.7~95.7m²)의 주택이 가장 빈도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 그림 5와 같이 국토해양부 ‘친환경 주택의 설계 및 성능평가 지침’에서 제시하는 84m² 평가기준주택의 평면을 따랐다. 건물 구조체의 layer와 물성은 ‘건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙’에서 규정하는 열관류율을 기준으로 ASHRAE Fundamental 2005와 송승영 et al.[8]의 연구내용을 참고하여 표 1과 같이 구성하였다. 창호는 제 3 면에 low-e 코팅이 처리된 이중유리를 적용하였다. 실내 재실자, 조명, 기기 발열량은 2005 인구주택총조사 보고서, ASHRAE Fundamental 2005와 ASHRAE Standard 90.1-2007을 참고하여 표 2와 같이 입력하였으며, 이와 관련된 스케줄은 ASHRAE Standard 90.1-1998의 ‘multi-residential building’을 이용하였다.

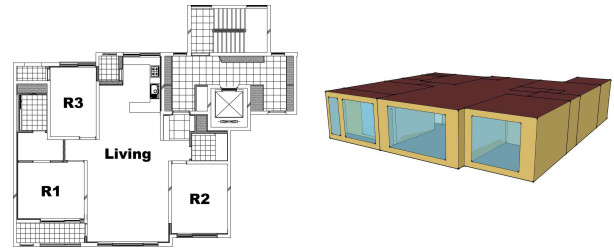


그림 5. 해석 대상 평면(좌) 및 시뮬레이션 모델(우)

표 1. 재료 물성치

구분	재료 (외부→내부)	두께 (mm)	열전도율 (W/m·K)	비열 (J/kg·K)	밀도 (kg/m ³)
외벽	콘크리트	200	1.95	900	2240
	단열재	75	0.03	1210	43
	석고보드	16	0.16	1090	800
슬라브	석고보드	16	0.16	1090	800
	콘크리트	200	1.95	900	2240
	단열재	25	0.03	1210	43
	경량기포콘크리트	45	0.114	1173	650
내벽	모르타르	50	0.97	900	1600
	석고보드	16	0.16	1090	800
	콘크리트	200	1.95	900	2240
	석고보드	16	0.16	1090	800

표 2. 내부 발열

구분	입력값	출처
재실자	2.87명	2005 인구주택총조사
	108 W/person	ASHRAE Fundamental 2005
조명	8 W/m ²	ASHRAE Standard 90.1
기기	2.5 W/m ²	ASHRAE Standard 90.1

2.3.2 Multizone network

Multizone network simulation은 대상 공간을 한 개 혹은 수 개의 존(zone)으로 나누어 질량, 에너지 보존 방정식을 풀으로써 주로 환기·침기량, 오염물질 농도 등을 해석하는데 이용하는 시뮬레이션 도구이다. 그러나 기류의 운동량을 고려하지 않으며, 존을 완전 혼합된 상태(well-mixed)로 가정하는데서 오는 한계를 안고 있다.[9] 이러한 단점에도 불구하고, 해석에 걸리는 시간이 짧아 본 연구에서와 같이 긴 기간을 대상으로 건물에너지 시뮬레이션과 연계하여 사용하기에 유리하다. EnergyPlus에서는 COMIS multizone network algorithm을 이용하여 기류 흐름 및 실내 환기 성능을 예측할 수 있다. 여기서 각 시점의 풍속·풍향에 따른 외부 벽면의 풍압은 수식 4에 의해 계산되는데, 이 때 각 벽면의 풍압계수를 입력해야 한다. 특정 대상의 풍압계수는 건물에서의 실측, 풍동 실험, CFD 시뮬레이션을 통해 구할 수 있으나 본 연구에서는 구체적인 건물의 형태나 주변 환경은 분석의 대상이 아니기 때문에 ASHRAE Fundamental 2005에서 제시하는 고층건물 표면 평균 풍압계수(그림 6 참조)를 적용하였다. Wong N.H. et al[10]은 풍동실험을 통해 구한 풍압계수와 표면 평균 풍압계수를 비교하여 환기량을 예측하는데 있어 표면 평균값을 이용하는 것이 유용하다는

연구 결과를 보인 바 있다.

고도에 따른 풍속을 계산하는데 수식 5를 이용하였으며, 건물의 높이는 조성행 et al.[11]이 보고한 서울시 아파트 층수에 대한 현황을 바탕으로 가장 빈도가 높은 범위에 속하는 공동주택의 높이인 15층으로 가정, 45m로 정하였다.

$$P_w = C_p \times \frac{\rho V_z^2}{2} \quad \text{수식 4}$$

$$V_z = V_{met} \left(\frac{Z}{Z_{met}} \right)^\alpha \quad \text{수식 5}$$

여기서, P_w = 건물 표면 풍압 (Pa)

C_p = 풍압 계수 (-)

ρ = 공기 밀도 (kg/m^3)

V_z = 높이 Z에서의 풍속 (m/s)

V_{met} = 관측 지점에서의 풍속 (m/s)

Z = 고도, 45m

Z_{met} = 관측 지점의 높이, 10m

α = 풍속 프로파일 지수, 0.33

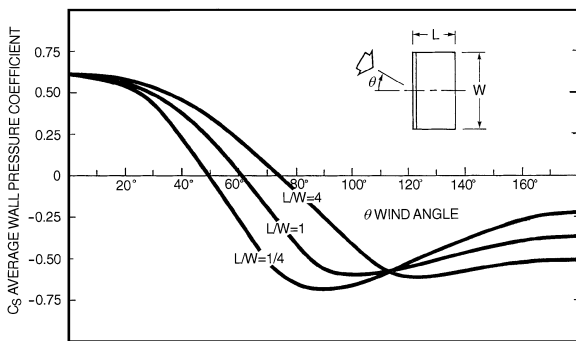


그림 6. 고층건물 표면 평균 풍압계수 [15]

표 3. 창문 면적 및 개구 비율

	전면 발코니	Living			후면 발코니	실내 문		
		R1	R2	R3				
면적(m^2)	7.1	6	5.3	4.6	7.9	4.6	1	1.9
개구비율(%)	28	37.5	37.5	50	50	50	50	100

2.3.3 자연환기 전략

본 연구에서는 앞에서 언급한 두 가지 자연환기 전략을 고려하여 아래와 같은 제어 규칙을 세워 연구에 이용하였다. 소음, 분진 유입 등 자연환기에 영향을 미치는 다른 요소들에 대한 고려는 하지 않았다.

자연환기를 위한 창문의 개폐 전략은 활동시간(08:00~23:00)과 취침시간(23:00~익일08:00)으로 나누어 설정하였다. 활동시간에는 재실자가 실내·외 기온 조건에 따라 창호를 자유롭게 개폐할 수 있으나 실내 기류에 의한 효과는 고려하지 않았다. 여름철 주간에는 높은 온도의 외기가 실내로 유입되어 실내가 과열되는 것을 방지하기 위해 활동시간의 창호 개방은 실내 기온이 외기온 보다 높

을 때로 한정하였으며, 야간에는 과냉을 방지하기 위해 실내 기온이 쾌적범위의 하한선보다 높을 때에만 창호를 개방하는 것으로 하였다. 취침시간에는 재실자의 실내외 조건에 따른 창호의 개폐가 어렵기 때문에 23시의 외기온이 24°C 이하일 경우, 익일 8시까지 창호를 폐쇄하는 것으로 하였다.

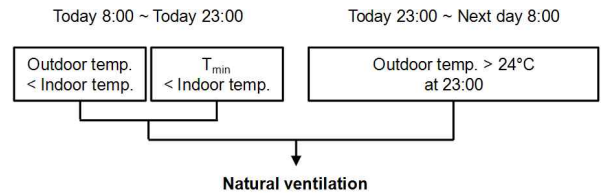


그림 7. 창호 개폐 전략

2.4 자연환기전략에 따른 실내 온열 쾌적성 분석

기본적으로 자연환기전략을 도입한 공동주택에서의 실내 온열 쾌적성을 분석하였다. 이 때, 건물의 향은 일사의 유입은 물론, 환기량에도 결정적인 영향을 미침으로써 실내 온열환경을 좌우하게 된다. 본 연구에서는 정동, 남동, 정남, 남서, 정서, 총 5 방향에 대해 시뮬레이션을 수행하였으며, 그림 5의 R1, R2, R3, Living의 바닥 면적으로 가장 평균한 실내 작용온도를 분석에 이용하였다.

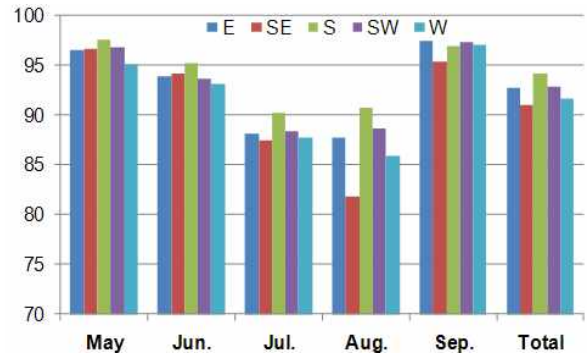


그림 8. 온열 쾌적 만족 시간 비율 (%)

그림 8은 건물 향에 따른 전체 시간 대비 실내 작용온도가 수용 범위의 상한선을 넘지 않는 시간의 비율을 나타낸 것이다. 하절기 전반에 걸쳐 온열 쾌적 만족 시간은 정남, 남서, 정동, 정서, 남동 순으로 나타났다. 5월과 6월, 9월에는 모든 향에 대해 만족 시간의 비율이 93%를 상회하는 것으로 나타났으나 7월과 8월에는 90% 이하로 내려가며, 특히 8월 남동향의 경우, 81.7% 까지 내려가는 것으로 나타났다. 이는 주간에 쾌적 수용 범위를 만족하지 못하는 일수가 향에 따라 적게는 20일, 많게는 30일 정도임을 의미한다. 비율로 따졌을 때에는 상당히 많은 시간이 수용범위를 만족시키는 것으로 분석되었음에도, 실내 작용온도가 수용 범위를 만족하지 못하는 일수가 20~30일로 상대적으로 많은 이유는 실내 작용온도가 주간 일부 시간에만 수용범위를 넘어가기 때문이다.

그림 9는 8월 중, 향에 따른 온열 쾌적 만족시간의 극

심한 차이를 밝히기 위해, 8월 20일부터 8월 22일까지의 외기온과 정남향, 남동향, 남서향 주택의 실내 MRT, 공기온도 분포를 나타낸 것이다. MRT는 실내 평균복사온도로 이를 통해 구조체 표면의 상태를 유추할 수 있다. 실내 공기온도의 경우, 환기를 수행하는 시간에는 대체로 외기온을 따라가는 것으로 나타났으며, MRT는 일사 패턴과 구조체의 축열성능의 영향을 받는 것으로 나타났다. 8월 20일 새벽에 실내 기온이 높게 유지되는 이유는 환기전략에 따라 창문이 닫혀있었기 때문이며, 8시 이후 창문 개방과 동시에 실내 기온이 하강했다가 다시 상승하는 것을 볼 수 있다. 정남향 주택의 경우, 다른 두 주택에 비해 일사유입량이 적기 때문에 주간 MRT의 상승이 비교적 적은 것을 확인할 수 있다. 또한, 실내 공기온도가 외기온보다 낮기 때문에 자연환기가 중지되어 불필요한 열의 유입을 차단하고 있다. 야간에는 충분한 자연환기에 의해 실내 공기온도가 외기온과 같은 상태가 지속된다. 이를 통해 실내 구조체가 냉각이 원활하게 이루어짐을 짐작할 수 있다. 그러나 남동향의 경우, 아침과 저녁 시간에 낮은 태양 고도로 인한 일사유입이 많아 실내 MRT가 정남향 주택에 비해 빠르게, 많이 상승하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 이로 인해 실내 공기온도가 외기온보다 높아져 열량 제거를 위해 낮에도 자연환기가 이루어지고 있다. 야간에 실내 공기온도가 외기온보다 높게 유지되는 것을 통해 충분한 환기가 이루어지지 못하고 있음을 확인할 수 있다. 분석결과 20일에서 21일로 넘어가는 야간의 경우, 창문이 모두 개방되어있음에도 불구하고, 환기량이 15ACH 미만인 것으로 나타났다. 8월의 경우, 북동풍의 비율이 54%(무풍 시간 제외), 북북동, 동북동풍을 포함할 경우 68%에 이르기 때문에 남동향 건물에서는 충분한 자연환기가 이루어지지 않는다. 이로 인해, 구조체가 충분히 냉각되지 못한 채 익일로 넘어가게 된다. 이러한 이유 때문에 실내 작용 온도가 쾌적 수용 범위의 한계를 넘어가는 시간이 늘어나는 것으로 판단된다. 남서향 건물의 경우, 남동향과 마찬가지로 일사유입량이 많아 주간에는 실내 MRT가 급격하게 상승하지만, 충분한 환기를 통해 다시 급격하게 냉각되는 것으로 나타났다.

자연환기 전략에 따른 하절기 공동주택의 실내 온열환경을 분석한 결과, 5, 6, 9월에는 비교적 실내 온열환경이 양호한 것으로 나타났다. 그러나 7월과 8월의 경우, 높은 외기온에 의해 주간 실내 온열환경이 쾌적 수용 범위를 넘어가는 시간이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 특히 야간에 환기량이 부족한 경우, 잔열이 익일 주간에 영향을 미칠 수 있는 것으로 분석되었다.

만약 야간에 충분한 환기를 통해 구조체가 냉각된 경우, 주택의 특성상 실내 발열량이 적어, 외기온이 최고점에 이르는 한 낮에는 창문을 닫아 외기 유입을 차단하는 것이 실내 작용온도 측면에서 유리한 것으로 나타났다. 그러나 이는 기류에 의한 쾌적성 향상을 고려하지 않은 것으로 추후 여기에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

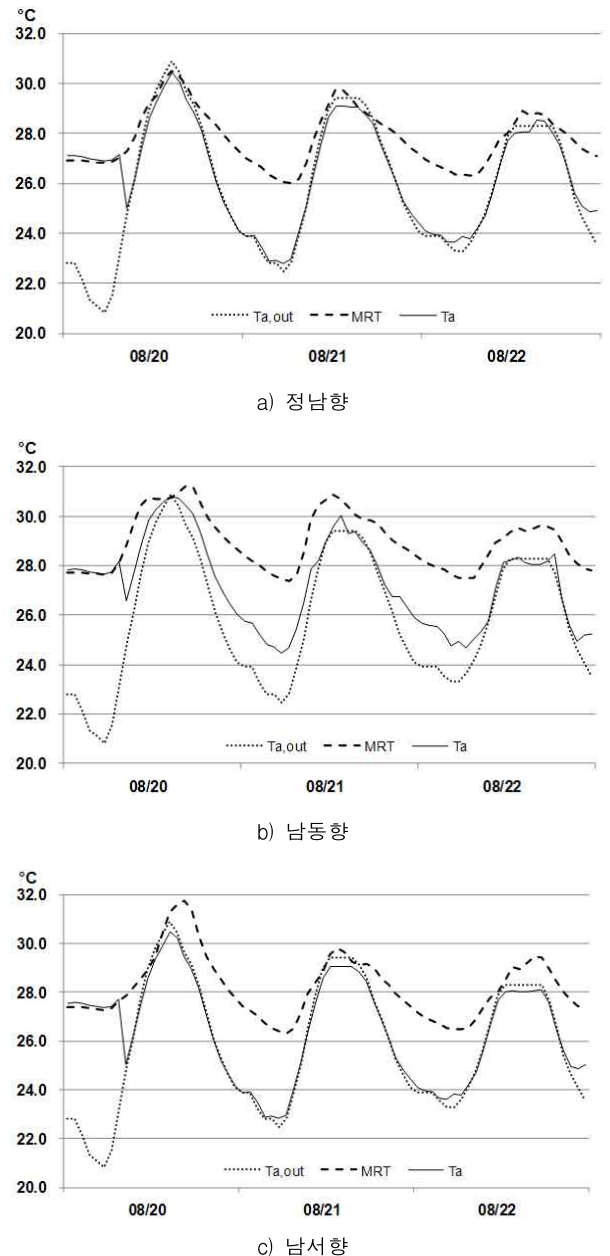


그림 9. MRT, 실내-외 공기온도 (8/20~22)

2.5 실내측 차양 적용을 통한 개선

건축적인 요소들(건물의 향, 창면적, 평면 배치 등)이 결정된 이후에는 실내 온열환경을 개선하는 것이 쉽지 않다. 그러나 실내측 차양은 설치와 유지보수가 용이할 뿐만 아니라 일사 차단에 효과적이다. 본 연구에서는 실내측 블라인드의 적용성을 고려할 때, 실제 공동주택에 손쉽게 적용 가능할 것으로 판단하고, 자연환기 전략을 유지한 채 실내 온열환경이 어느 정도까지 개선될 수 있는지를 EnergyPlus의 blind 모듈을 적용하여 분석하였다. 블라인드 슬랫 각도는 45°로 고정하였으며, 24시간 동안 외기에 면한 창문 실내측에 적용되는 것으로 하였다. 이 때, 실내 블라인드로 인한 환기량의 변화는 무시하였다.

표 4. 차양 물성

폭 (mm)	간격 (mm)	두께 (mm)	반사율	유리면과의 거리 (mm)
25	20	1	0.8	50

그림 10은 실내 블라인드 적용 시, 온열 쾌적 만족 시간 비율을 나타낸 것이다. 전체적으로 쾌적 만족 시간이 증가한 가운데, 8월 중의 만족 시간이 대폭 증가하였다.

그림 11은 8월 중 온열쾌적 만족 시간이 크게 증가한 것을 밝히기 위해 앞에서와 같은 기간의 실내 MRT와 공기온도를 나타낸 것이다. 그림 9와 비교해볼 때, 일사 차단으로 인해 주간 MRT의 상승이 억제되어 실내 작용온도가 상한선을 넘는 시간이 감소한 것으로 나타났다. 또한, 구조체의 획득 열량이 줄어들어 야간에 환기량이 부족한 남동향의 경우에도 실내 온열 환경이 상당히 개선되었다. 그러나 7월의 경우, 실내 블라인드 적용을 통한 실내 쾌적 만족 시간의 증가가 크게 이루어지지 않았다. 이는 그림 12에 나타난 것과 같이 주간과 야간의 외기온 자체가 크게 상승하여 실내 쾌적 조건을 만족시키는 것이 어렵기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 극서기의 경우, 자연적인 환기와 일사차단 만으로는 주간은 물론, 야간에도 실내 쾌적 조건을 만족시키는 것이 어렵다. 따라서 이를 보완하기 위한 기계적, 설비적 수단이 계획되어야 할 것이다.

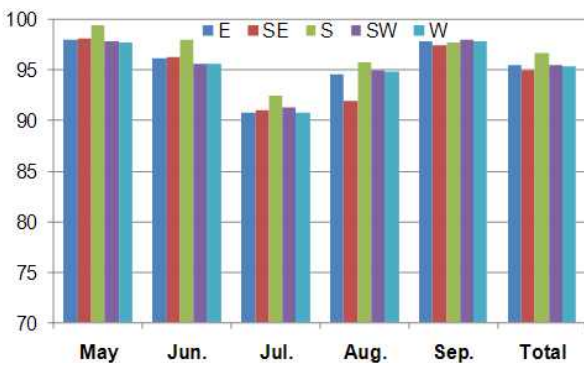
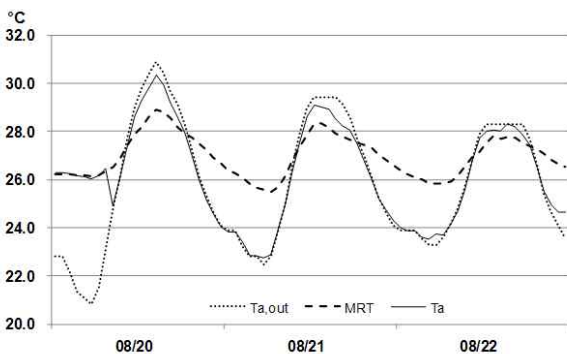
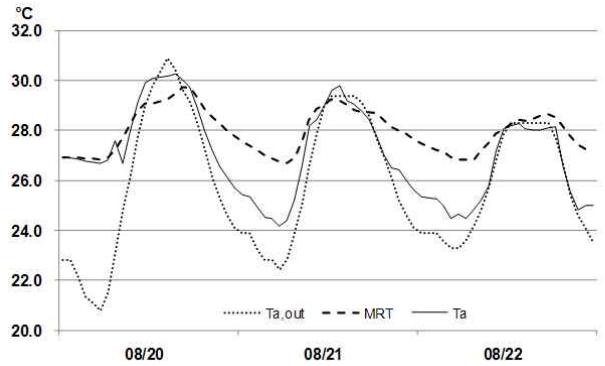


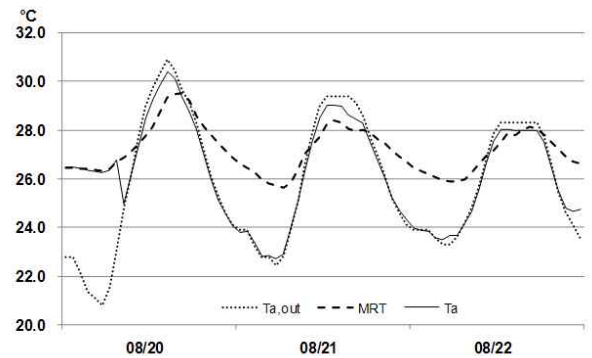
그림 10. 실내 블라인드 적용 시, 온열 쾌적 만족 시간 비율 (%)



a) 정남향



b) 남동향



c) 남서향

그림 11. 블라인드가 적용된 주택의 MRT, 실내·외 공기온도 (8/20~22)

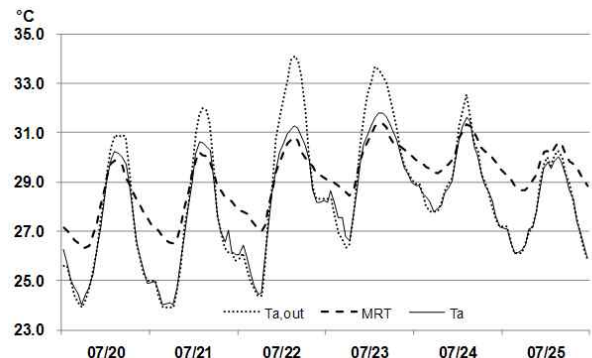


그림 12. 블라인드가 적용된 정남향 주택의 MRT, 실내·외 공기온도 (7/20~25)

2.6 외단열 적용을 통한 개선

외단열이란 단열재를 벽체 외부에 설치함으로써 열교를 차단하고, 실내 노출되는 축열체의 양을 증가시키는 단열 방법을 의미한다. 시공과 경제성, 유지보수 등의 문제로 국내에서는 아직까지 외단열 시공이 보편화되지 못하였으나, 현재 건물의 에너지 성능이 강조되면서 공동주택에 외단열을 적용하기 위한 활발한 연구와 기술개발이 진행 중에 있다. 가까운 미래에는 많은 공동주택에 외단열이 적용될 것으로 예상된다. 외단열이 적용될 경우, 실내 축열성능 향상을 바탕으로 night cooling의 효과가 극대화 되어 하절기 실내 온열 쾌적성도 개선될 것으로 예상된다. 본 연구에서는 자연환기 전략을 유지한 채, 외벽

의 물성을 표 5와 같이 변경하여 외단열 적용 시 실내 온열 쾌적성을 예측하였다.

표 5. 외단열 물성치

구분	재료 (외부->내부)	두께 (mm)	열전도율 (W/m ² K)	비열 (J/kg ² K)	밀도 (kg/m ³)
외벽	실리콘플라스터	15	0.196	965	1521
	단열재	75	0.03	1210	43
	콘크리트	200	1.95	900	2240

그림 13과 14는 실내 블라인드와 외단열이 적용된 공동주택에서의 하절기 작용온도와 온열 쾌적 만족 시간 비율을 나타낸 것으로, 7월 극서기를 제외한 하절기 전반에 걸쳐 실내 온열 환경이 양호한 것을 확인할 수 있다. 그림 15에서 나타낸 것과 같이, 극서기의 경우에도 앞서 분석한 실내 블라인드를 적용한 경우와 비교해 볼 때 상당히 개선되는 것을 확인할 수 있다. 야간에 냉각된 구조체로 인해 실내 공기온도가 최고 31°C 이하에 머물러 있을 뿐만 아니라, MRT가 2°C 가량 낮게 유지되는 것으로 나타나 실내 작용온도 측면에서 유리할 것으로 사료된다. 여전히 7월 혹서기 주간에는 실내 작용 온도가 상한을 넘어가지만 실내 블라인드와 외단열 적용만으로도 하절기 실내 온열 환경이 상당부분 개선됨을 확인할 수 있다.

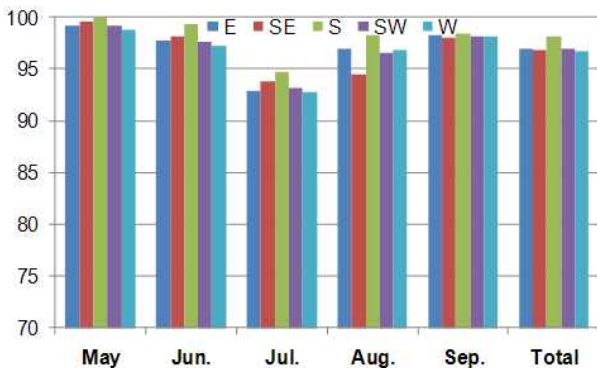


그림 13. 실내 블라인드와 외단열 적용 시, 온열 쾌적 만족 시간 비율 (%)

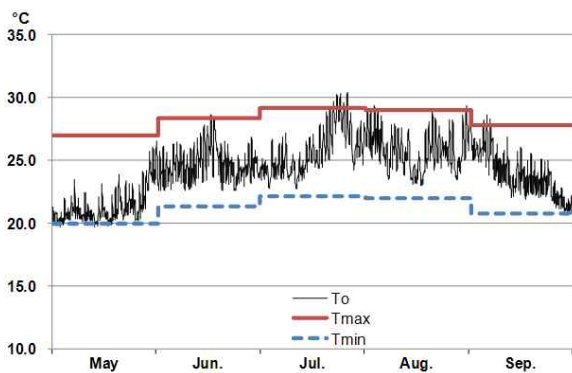


그림 14. 실내 블라인드와 외단열 적용 시, 실내 작용온도

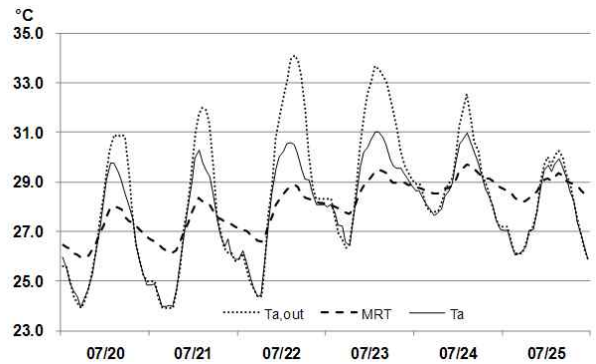


그림 15. 블라인드와 외단열이 적용된 정남향 주택의 MRT, 실내·외 공기온도 (7/20~25)

3. 결론 및 추후 연구내용

서울시 기상데이터를 바탕으로 자연환기가 가능한 서울시 공동주택의 여름철 실내 온열 쾌적성을 평가하였다. 분석 결과, 자연환기를 통한 열량제어만으로는 7월과 8월, 공동주택의 쾌적성을 만족시키는 데에 한계가 있는 것으로 나타났다. 정남향 주택의 경우, 일사 유입이 적고, 충분한 환기량을 확보할 수 있기 때문에 여름철 실내 온열환경이 비교적 양호하다. 하지만 남동향 주택의 경우, 정남향에 비해 일사유입이 많을 뿐만 아니라, 특히 8월의 경우, 서울시 주풍향과의 관계로 인해 환기량이 부족해 실내가 충분히 냉각되지 않아 온열 쾌적 조건을 만족시키지 못하는 기간이 늘어나는 것으로 나타났다.

여름철 실내로 유입되는 일사를 차단하기 위해 실내측에 블라인드를 적용할 경우, 하절기 전반에 걸쳐 실내 온열 환경이 개선되는 것으로 나타났다. 특히 8월의 경우, 주간 외기온이 수용 범위의 상한 근처에 분포하고 있기 때문에 실내 블라인드를 적용하는 것만으로도 수용 범위 만족 시간이 크게 증가하는 것으로 사료된다. 그러나 여전히 7월 혹서기에는 외기온 자체가 크게 상승하여 주간과 야간의 실내 쾌적 조건을 만족시키는 것이 어려운 것으로 나타났다.

외단열을 적용할 경우, 실내 노출되는 축열체의 증가로 night cooling의 효과가 향상되어, 하절기 주간에 실내 공기온도와 MRT가 상승하는 것을 억제하기 때문에 실내 온열 환경이 개선되는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 실내 온열환경이 쾌적 수용 범위를 만족시키지 못하는 시간을 중심으로, 하절기 전반에 걸친 현황을 파악하는데 초점을 맞추었다. 그러나 추후 연구에서는 온열 환경이 열악해지는 7월과 8월 중 특정일에 대한 상세한 분석이 필요할 것으로 사료된다. 특히 자연환기를 통한 열량제어를 보완하기 위한 실내 기류 형성의 자연적, 기계적 방법과 이를 통한 주간 쾌적성 및 표면연 전달을 향상을 평가하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 multizone network simulation의 한계상, 실내 기류 분포를 분석 대상에 포함시키지 못하였다. 물론 맞통풍시 실내 기류속도를 예측하는 경험 모델이 연구된바 있으나[12], 단일 실을 대상으로 하기 때문에 이

용에 한계가 있다. 때문에 추후 CFD와의 연계를 통해 실내 기류 분포와 그에 따른 냉각 효과를 추가적으로 분석하여 하절기 실내 온열 쾌적 만족 시간의 확장 가능성을 평가하는 것이 필요하다.

또한 이를 보조하기 위한 냉방 시스템의 경우, 공동주택의 특성상 주간 이용율이 낮고, 축열체가 풍부하며 냉방 필요 시간이 7월과 8월 주간에 한하여 짧게 분포하는 것을 고려할 때, 응답성이 좋은 시스템을 계획해야 할 것으로 사료된다.

후 기

- 본 연구는 교육과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음(R11-2005-056-02001-0)
- 본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(06건설핵심 BD2)에 의하여 수행되었음

참고문헌

1. de Dear, R.J., Brager, G.S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings* 2002;34(6): 549-61
2. Humphreys, M.A., Nicol, J.F. Adaptive thermal comfort in buildings. The Kinki Chapter of the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan Kyoto, Japan:SHASE, 17th October, 2008
3. Moujalled, B., Cantin, R., Guarracino, G. Comparison of thermal comfort algorithms in naturally ventilated office buildings. *Energy and Buildings* 2008;40 (12): 2215-23
4. Yao, R., Li, B., Steemers, K., Short, A. Short. Assessing the natural ventilation cooling potential of office buildings in different climate zones in China. *Renewable Energy* 2009;34(12):2697-705
5. 송두삼, 강기남, 가토신스케, 에너지절감을 위한 실내 온열 환경 adaptive model의 검토, 2007;14(3):253-262
6. 전정운, 배누리, 공동주택의 여름철 수용 쾌적온도 범위가 거주자의 냉방기 사용행위에 관한 연구, 설비공학논문집, 2005;17(5):477-486
7. 윤재욱. 한국 29개 주요 도시의 풍향, 풍속 및 바람특성 비교 연구. *대한건축학회* 2003;19(11):229-36
8. 송승영, 구보경, 최보혜. 외단열시스템 적용에 따른 공동주택 측벽-슬라브 접합부의 단열성능 평가. *한국생태환경건축학회 학술발표대회* 2007
9. Chen, Q. Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications. *Building and Environment* 2009;44(4): 848-58
10. Wong, N.H., Chin, H.K. An evaluation exercise of a wind pressure distribution model. *Energy and Buildings* 2002;34(3):291-309
11. 조성행, 송성진. 서울시 아파트의 층수 및 평형 현황 비교 분석 연구. *대한건축학회 학술발표대회* 2003
12. Graça G.C., 2003. Simplified models for heat transfer in rooms, PhD thesis, University of California, San Diego.
13. ASHRAE Standard 55 - Thermal environmental conditions

for human occupancy, ASHRAE Inc., 2004

14. ASHRAE Standard 90.1 - Energy standard for buildings except low-rise residential buildings, ASHRAE Inc., 2007
15. ASHRAE Handbook - Fundamentals, ASHRAE Inc., 2001
16. ASHRAE Handbook - Fundamentals, ASHRAE Inc., 2005
17. DIN EN 15251, Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, 2007
18. 2005 인구주택총조사, 조사 보도자료(가구주택)
19. 친환경 주택의 설계 및 성능평가 지침, 국토해양부, 2009.10
20. 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 국토해양부, 2009.12.31 개정

투고(접수)일자: 2010년 7월 12일

심사일자: 2010년 7월 12일

게재확정일자: 2010년 8월 18일