

Unsteady-state CFD 시뮬레이션을 이용한 여름철 공동주택 외부공간의 온열환경 및 쾌적성 평가

Evaluation of the Thermal Environment and Comfort in Apartment complex using Unsteady-state CFD simulation

전 미 영* 이 승 재** 김 지 영*** 이 승 복**** 김 태 연*****
Jeon, Mi-Young Lee, Seung-Jae Kim, Ji-Yoeng Leigh, Seung-Bok Kim, Taeyeon

Abstract

As more and more people desire to live in an apartment complex with a comfortable outdoor space, many construction company became interested in outdoor design. In order to increase the use of outdoor space and create the most pleasant environment, outdoor thermal environment and comfort should be evaluated quantitatively from the design stage. This study utilized ENVI-met 3.1 model to analyze outdoor thermal environment in apartment complex, and evaluated outdoor thermal comfort in 6 points of apartment complex. The physiologically equivalent temperature(PET) was employed as a outdoor thermal index. Playground B had a poor thermal environment with the maximum PET 43°C (Very hot). Because shading by building and tree didn't affect outdoor thermal environment of playground B. To design comfortable outdoor space from the view point of thermal environment, the factors influencing Mean radiant temperature(MRT) and wind speed should be considered in design stage. Since it is difficult to control outdoor thermal environment compared with indoor environment, we should take into account an assessment for outdoor thermal environment and comfort in outdoor design stage.

키워드 : 실외 온열환경, 실외 온열쾌적, ENVI-met, Physiologically equivalent temperature(PET)

Keywords : Outdoor thermal environment, Outdoor thermal comfort, ENVI-met, Physiologically equivalent temperature(PET)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

삶의 질이 향상됨에 따라 공동주택 내 쾌적한 외부공간에 대한 수요가 늘어나고 있다. 외부공간은 자연과 동떨어져 살아가는 도시 사람들에게 자연을 느낄 수 있는 공간으로서 역할을 하게 되었다.(김준식, 2004; 김대현, 2004) 자연과 거리가 먼 도심지일수록 그에 대한 요구는 더 크며, 쾌적한 외부공간은 거주지를 택할 때 고려해야 할 중요한 요소 중에 하나가 되었다.

실외 온열환경 측면에서 쾌적한 외부공간을 조성하는 것은 사람들의 실외활동 측면에서 공간의 가치를 향상시킬 수 있는 방법이다. 대표적으로 밝은 색과 같이 반사율

이 높은 지표면 마감재료를 사용하고, 녹지 비율을 늘리고 수목 및 수공간을 적절히 배치해 공기온도와 표면온도를 낮춤으로써 외부 온열환경을 개선시킬 수 있다.(Baruch Givoni, 2003) 외부환경과 관련하여 국내외에서 진행되고 있는 연구의 대부분은 열섬현상을 완화하기 위한 방안에 초점이 맞추어져 있었다.(R. Giridharan, 2005 ; R. Giridharan, 2007) 그러나 최근 들어 몇몇 연구자들에 의해 외부공간에서의 사람의 온열쾌적에 대한 연구가 시작되었고, 외부공간의 중요성이 커짐에 따라 그에 대한 관심 또한 커지고 있다.(Peter Hoppe, 2002 ; Jennifer Spagnolo, 2003 ; Hong Chen, 2004) 실외공간은 실내에 비해 디자인 변경이 어렵고, 온열환경을 조절하기 어렵기 때문에 설계단계에서부터 온열환경을 정량적으로 평가해야 한다. 외부공간이 하루 종일 쾌적한 온열환경을 유지하기는 어렵지만 설계단계에서부터 온열환경을 평가하고 계획한다면 조금 더 쾌적한 환경을 조성할 수는 있을 것이다. 본 연구에서는 Unsteady-state CFD 시뮬레이션을 이용해 실제 공동주택 단지 외부공간의 여름철 온열환경과 쾌적성을 평가하였다. 이를 통해 온열환경 측면

* 연세대학교 건축공학과 석사과정 (miyoung@yonsei.ac.kr)

** 연세대학교 건축공학과 석사과정 (sjlee8604@gmail.com)

*** 연세대학교 건축공학과 박사과정 (jiyoeng@yonsei.ac.kr)

**** 연세대학교 건축공학과 교수 (sbleigh@yonsei.ac.kr)

***** 교신저자, 연세대학교 건축공학과 교수 (tkim@yonsei.ac.kr)

에서 외부공간 조성 시 고려해야 할 사항을 제시하고, 외부공간 계획 시, 사전 분석의 필요성을 밝히는데 목적이 있다.

1.2 연구방법 및 절차

실측을 통해 외부환경을 분석하는 방법은 많은 비용과 시간이 필요하다. 또한, 외부공간이 조성되기 이전에는 공간의 특성을 정량적으로 평가하기 어렵기 때문에 설계 단계에서 활용할 수 없다는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 외부환경 해석을 위해 개발된 ENVI-met 3.1 시뮬레이션을 이용해 공동주택 단지의 외부 온열환경을 분석하고, 시뮬레이션을 통해 얻은 값을 이용해 실외 온열쾌적성을 평가하였다. 온열쾌적성 평가에는 실외 온열 쾌적성 평가 지표인 Physiologically equivalent temperature(PET)를 사용하였다. PET는 평가하고자 하는 실외 조건하에서의 인체 피부온도와 심부온도가 열평형을 이루게 되는 전형적인 실내 환경(Mean radiant temperature(MRT)는 공기온도와 동일, 기류속도 0.1m/s, 수증기압 12hPa, 작업대사량 80W, 0.9clo)에서의 공기온도로 정의된다. PET에 대한 더 자세한 내용은 Peter Hoppe의 논문을 통해 확인할 수 있다.(Peter Hoppe, 1999)

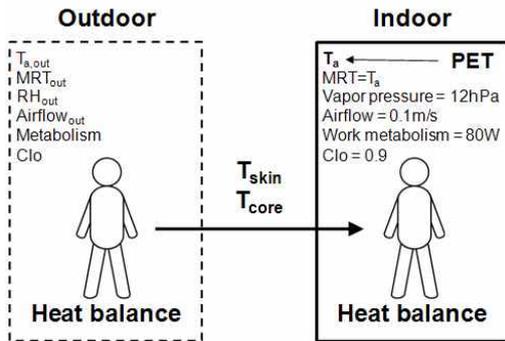


그림 1. PET 개념 모식도

표 1. PET 범위에 따른 온열감각

온열감각	PET 범위(℃)
Very cold	< 4
Cold	4-8
Cool	8-13
Slightly cool	13-18
Neutral	18-23
Slightly warm	23-29
Warm	29-35
Hot	35-41
Very hot	> 41

출처 : Matzarakis A, Mayer H. Another kind of environmental stress : thermal stress. WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control, Newsletters, vol, 18: 1996. p. 7-10.

이 지표는 Peter Hoppe뿐만 아니라 다수의 연구자들에 의해 외부환경의 온열 쾌적성 평가 시 활용되고 있다. Tzu-Ping Lin 등은 Sky view factor(SVF)에 따른 온열

쾌적성을 비교하기 위해 사용하였고, Agnes Gulyas 등은 향과 수목의 유무가 온열쾌적성에 미치는 영향을 분석하기 위해 PET를 사용하였다.(Tzu-Ping Lin, 2010 ; Agnes Gulyas, 2006) Fazia Ali-Toudert 등은 다양한 height- to-width ratio(H/W)와 향, 그리고 복잡한 건물 형태가 존재하는 도시의 온열쾌적성을 이 지표를 이용하여 분석하였다.(Fazia Ali-Toudert, 2006 ; Fazia Ali-Toudert, 2007) 본 논문에서는 표 1의 PET 범위에 따른 온열감각을 이용해 해석 대상 공동주택 단지의 외부공간 6곳의 쾌적성을 평가하였다. 또한, 시뮬레이션 결과와 쾌적성 평가를 통해 공동주택 단지 외부공간에서 온열쾌적성에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 외부 공간 조성 시 온열환경을 개선하기 위한 고려사항을 제시하였다.

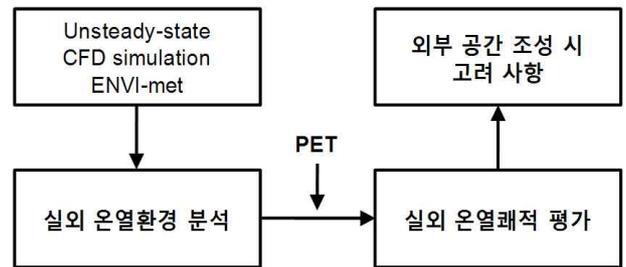


그림 2. 연구 진행 절차

2. 본 론

2.1 Unsteady-state CFD Simulation

CFD는 기류와 온도 분포를 비교적 정확히 해석할 수 있고 일사, 장파복사, 전도 및 수목 등의 영향을 반영하기 위한 여러 가지 해석방법들과 연성이 가능하기 때문에 외부환경 해석에 많이 활용되고 있다. 그러나 CFD는 해석에 많은 시간이 필요하고 다른 해석방법과 연성을 하기 위해서는 연구자의 기술과 노력이 필요하며, 특히 unsteady-state해석에 많은 제약을 가지고 있다. 기존의 연구들이 steady-state 해석이 많은 이유가 여기에 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이러한 제약을 극복하기 위해 외부환경 해석을 위해 개발된 ENVI-met 3.1을 사용하였다. 이 틀은 기존의 CFD simulation 방법과 마찬가지로 일사, 장파복사, 전도 등을 고려한 해석을 할 수 있고, 수목의 증발산 및 광합성 효과를 계산할 수 있다. 또한, 하루 중 태양고도와 방위에 따라 각기 다른 일사량 값이 적용해 비정상상태 해석을 수행할 수 있고, 지중에서의 비정상 전도 해석을 통해 정상상태 해석에서 고려하기 어려운 축열을 계산할 수 있기 때문에 외부환경을 예측하는데 적합한 시뮬레이션 툴이다. N.H. Wong와 Chen Yu는 이 틀을 이용해 수목의 온도저감 효과를 분석하였고,(N.H. Wong, 2007 ; Chen Yu, 2006) Fazia Ali-Toudert 도시의 다양한 형태의 건물과 수목이 쾌적성에 미치는 영향에 대해 분석하였다.(Fazia Ali-Toudert, 2007)

2.2 분석대상 및 시뮬레이션 조건

분석대상은 2003년 4월에 완공된 서울에 위치한 공동주택 단지이다. 공동주택 단지의 대지면적은 48,179㎡, 조경면적은 17,700㎡이다. 녹지는 전체 면적의 약 37%이고, 16~25층의 공동주택 15개 동으로 이루어져있다.



그림 3. 분석대상의 인공위성 사진

시뮬레이션에 필요한 경계조건은 대상 지역의 기상청에서 측정한 값을 바탕으로 표 2와 같이 설정하였다. 해석 대상일인 2007년 7월 31일의 평균온도는 26.2°C, 평균상대습도는 70%이며, 평균풍속은 1.8m/s, 주풍향은 남서풍이다. 그림 4는 해석 대상일의 실제 일사량과 유사하도록 조정하여 시뮬레이션에 적용된 하루 중 시간 변화에 따른 수평면 일사조건을 나타낸다.

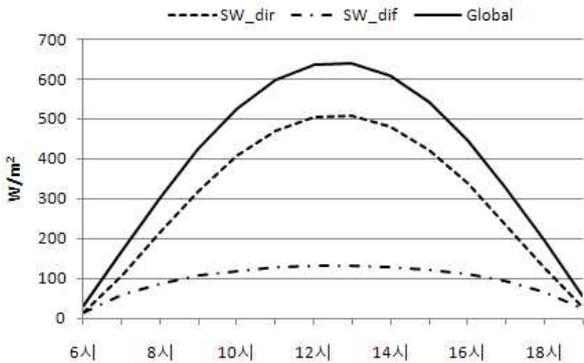


그림 4. 수평면 일사량

건물은 각 주동의 높이에 따라 62m에서 최대 70m로 다양하며, 수목은 실제와 유사하게 하기 위해 1m와 10m 두 가지로 나누어 모델링하였다. 모델링 상의 편의를 위해 해석 단지를 제외한 주변 지역은 평면으로 가정하였고, 도로와 건물로 둘러싸여 있는 단지의 특성상 지표면 마감재료는 아스팔트와 콘크리트로 적용하였다. 평면으로 가정한 해석 단지 주변 지역의 일사량이 과도하게 적용되는 것을 막기 위해 해석 단지 외부에 유입되는 일사량이 해석 단지 내 유입되는 일사량의 평균값과 같도록 설정하였다.

표 2. 시뮬레이션 경계조건

위치	서울 (37.33°N, 126.59°E)
시뮬레이션 시간	7월 30일 20:00 - 7월 31일 21:00
셀 크기	3 m X 3 m X 1.1 m
풍속	1.8 m/s (10m 높이) 거칠기 길이(Roughness length) : 0.1m
풍향	SW (225°)
초기 조건 (7월30일 20:00)	상대습도(2m 높이) : 72% 공기온도 : 26.6°C
알베도	보도블럭 : 0.29 콘크리트 : 0.3 아스팔트 : 0.2 식물의 잎 : 0.2

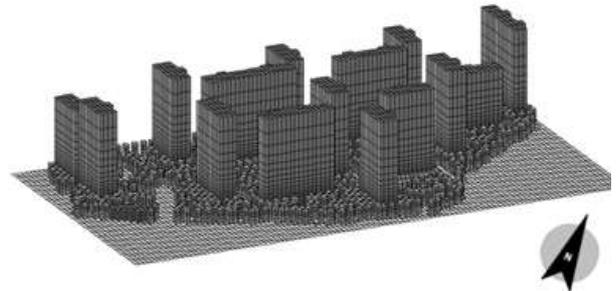


그림 5. 분석모델

시뮬레이션의 시간 간격은 태양의 고도를 기준으로 3 단계로 나누어 적용되었다. 태양고도가 40°이하 일 때는 10초, 40°에서 50° 사이는 5초 그리고 50°이상은 2초 간격으로 계산하였다. 본 시뮬레이션은 외부환경과 상호영향을 주고받는 건물의 영향을 고려하기 위해 건물의 벽과 지붕의 열관류율, 알베도 그리고 건물 내부의 온도를 고려하였다. 그러나 본 연구는 공동주택 단지 외부환경 디자인에 따른 사람의 쾌적성에 초점을 맞추었기 때문에 건물의 인공배열에 대한 고려는 무시하였다.

2.3 시뮬레이션 결과

그림 6는 하루 중 가장 열악한 온열환경을 보인 오후 2시 30분, 1.1m 에서의 기온, 상대습도, 풍속, MRT의 분포를 나타낸다. 1.1m는 서있는 사람을 기준으로 했을 때 온열환경 측정높이이다.(ASHRAE, 2005) 해석 단지의 주변 지역의 지표면 마감조건을 아스팔트와 콘크리트로 설정하여 공동주택 단지 내부로 유입되는 공기온도가 비교적 높은 조건이었으나 단지 내부를 통과하면서 냉각되어, 단지 중앙부에서는 최고 1.1°C까지 저감되는 것으로 나타났다. 상대습도는 공기온도와 상반된 분포를 보이며, 풍속은 단지 내 0~1.6m/s 분포로 외부에 비해 최고 2.55m/s 까지 느려지는 것으로 나타났다. 한편, MRT는 공기온도, 상대습도, 풍속과는 달리 단지 내에서 지점에 따라 27°C에서 최고 52°C에 이르기까지 큰 차이를 보였다.

2.4 시뮬레이션 결과에 따른 실외온열 환경 분석

단지 내 공기온도가 저감되는 이유는 식물 증발산 효과에 따른 공기온도의 점진적인 저하와 공동주택 동의 밀집으로 인한 일사 유입량의 감소 효과가 반영된 것으로 사료된다. 이러한 결과는 H. Taha와 H. Akbari의 연

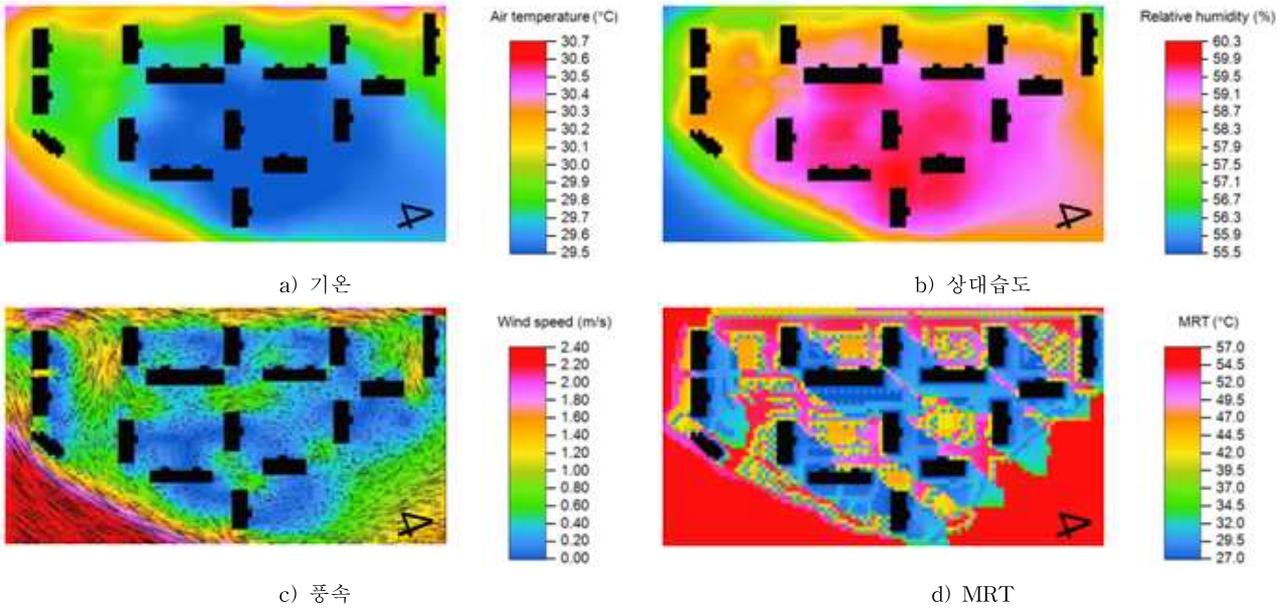


그림 6. 시뮬레이션 결과(오후 2시 30분)

구결과와도 유사하다.(H. Taha, 1991) 그러나 단지 내 각 지점에서 공기온도의 차이가 크지 않아, 공기온도가 온열 쾌적성에 미치는 영향은 상대적으로 적을 것으로 사료된다. 단지 내 MRT의 차이가 크게 달라진 이유는 MRT가 대기, 지표면, 벽면으로부터 오는 장파복사뿐만 아니라 직달 일사, 산란 일사, 반사 일사가 고려되어 계산된 값으로 주변의 표면온도, 직달 일사의 노출 정도, SVF 등에 의해 영향을 받기 때문으로 사료된다.

표 3. 지표면 특성에 따른 MRT와 표면온도 변화(오후 2시 30분)

	양지		음지	
	MRT (°C)	표면온도 (°C)	MRT (°C)	표면온도 (°C)
잔디	43~44	30~31	26~28	27~29
보도블럭	50~53	39~41	29~32	32~38
아스팔트	52~56	39~45	31~34	33~38

외부환경 조건에서 MRT는 일사의 영향을 가장 많이 받는다. 그림 6-d에 따르면 건물의 음영이 있는 곳은 그렇지 않은 곳보다 더 낮은 MRT를 보였고, 수목이 있는 곳은 수목에 의한 일사차단 효과와 건물의 음영으로 인해 더 낮은 MRT를 보였다. 또한, 지표면 마감재료에 따른 표면온도도 MRT에 영향을 주었는데, 잔디는 보도블럭으로 마감된 곳보다 더 낮은 MRT를 보였다. 이는 잔디의 증발산 작용에 의해 표면온도가 저감되었기 때문인 것으로 보인다. 반면, 보도블럭과 아스팔트는 알베도가 낮고, 투수성이 없어 표면온도가 상대적으로 높게 나타났다.

2.5 PET를 이용한 실외 온열쾌적성 평가

주변 환경에 따른 온열쾌적성을 비교하고자 우리나라 공동주택에서 일반적으로 볼 수 있는 외부공간인 놀이터,

코트, 생태연못 각각 2곳 총 6곳을 선택하여 Physiologically equivalent temperature 를 비교하였다. PET를 구하는데 필요한 대기온도, 상대습도, 풍속, MRT는 시뮬레이션을 통해 얻은 값을 사용했다.

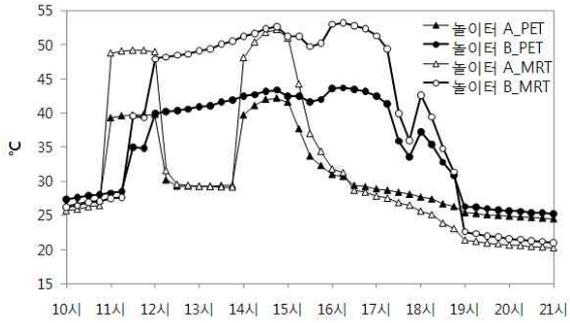


그림 7. 온열쾌적성 평가 지점

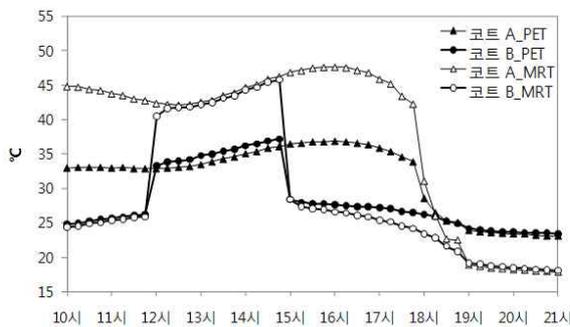
같은 공동주택 내에 있는 동일 용도를 가진 공간임에도 불구하고, 지점별 PET는 각각 다른 패턴을 보였다. 놀이터 A는 오전 11시에서 12시, 오후 2시에서 3시 사이에는 건물과 건물 사이를 통해 일사가 직접적으로 유입되어 급격하게 PET와 MRT가 상승하고, 그 외의 시간 동안은 건물의 음영으로 인해 PET 35°C 이하로 Warm과 Slightly warm에 속하는 비교적 쾌적하다는 결과가 나왔다. 놀이터 B는 오후 4시쯤 PET가 최대 43°C(Very hot)까지 올라갔으며, 6곳 중 가장 열악한 온열환경을 보였다. 그 이유는 다른 곳과는 달리 주변건물의 음영이 전혀 영향을 미치지 못했고, 서측 면이 외부에 노출되어 있기 때문에 해가 지기 직전까지도 놀이터 A에 비해 높은 PET 값을 나타냈다. 코트 A는 하루 종일 주변건물의 음영이 없어 오전 10시부터 오후 5시 30분까지 PET 35°C 안팎(Warm, Hot)의 비교적 일정한 값을 유지했다. 코트 B는 12시에서 오후 2시 30분까지를 제

외하고는 건물의 음영으로 인해 PET 29℃ 이하(Slightly warm)의 값을 나타냈으며, 코트 A에 비해 쾌적한 시간이 더 길었다. 생태연못 A의 경우 동측에 주변 건물이 없어서 오전에 높은 PET값을 예상했으나, 수목의 음영으로 인해 29℃ 이하의 값을 나타냈다. 생태연못 B는 수목의 음영이 미치지 못해서 오전 시간에도 PET 35℃ 이상의 높은 값을 보였다. 그러나 오후 3시 이후부터는 건물의 음영으로 인해 PET 29℃ 이하의 값을 나타냈다.

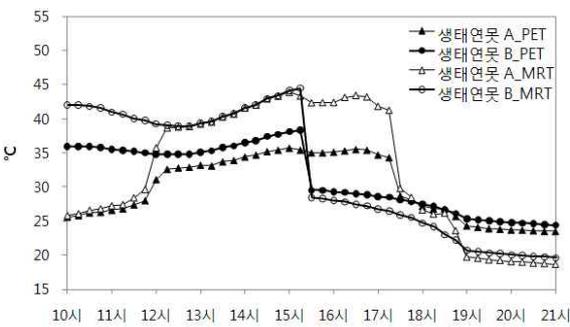
평균값을 나타낸 표이다. 생태연못 A는 이 단지의 주풍향인 남서풍이 지나가는 길목에 있고, 남서쪽에 수목이 거의 없기 때문에 평균 0.7m/s의 비교적 빠른 기류속도를 유지할 수 있었다. 그러나 생태연못 B는 건물 풍하측에 위치하고 있어 평균 풍속이 0.1m/s로 온열쾌적성 측면에서 볼 때 열악한 환경을 갖고 있었다. 그러나 본 연구에서는 단순히 온열쾌적성 측면에서의 기류 속도의 영향을 분석한 것으로 기류의 특성에 따른 사람의 쾌적성은 고려하지 않았다.



a) 놀이터A, B의 PET와 MRT



b) 코트A, B의 PET와 MRT



c) 생태연못A, B의 PET와 MRT

그림 8. 일중 PET 변화

표 4. 생태연못 A, B의 온열환경 요소 및 PET (12시~2시30분 평균)

	온도 (℃)	습도 (%)	풍속 (m/s)	MRT (℃)	PET (℃)
생태연못 A	29.4	60.3	0.7	40.6	33.9
생태연못 B	29.1	61.0	0.1	41.0	36.2

3. 결론

본 연구에서는 외부환경 전용 Unsteady-state CFD 시뮬레이션 ENVI-met 3.1를 이용하여 실제 공동주택 단지의 온열환경을 분석하고, PET를 이용하여 외부공간 6곳의 온열쾌적성을 평가하였다. 위의 분석결과를 바탕으로 온열환경 측면에서 쾌적한 공동주택의 외부공간 조성 시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

첫째, 온열환경 측면에서 공동주택의 외부공간을 쾌적하게 디자인하기 위해서는 MRT에 영향을 주는 요소들을 우선적으로 고려해야 한다. 그림 8의 그래프에서와 같이 MRT와 PET의 변화패턴은 매우 유사하며, 이를 통해 공동주택 단지 외부공간의 온열쾌적성에 MRT가 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 단지 내 MRT에 영향을 주는 요소는 크게 세 가지로 볼 수 있다. 첫 번째는 직달 일사의 유입 유무이다. 사람이 직달 일사에 직접적으로 노출되면 그로 인해 상당한 열적 스트레스를 받게 된다. 뿐만 아니라 직달 일사에 노출된 주변의 표면온도가 급격하게 상승하여 사람에게 영향을 미치게 된다. 공동주택 단지 내 직달 일사의 유무는 건물과 수목에 의해 크게 달라진다. 특히, 우리나라의 공동주택은 10층 이상의 고층이기 때문에 건물에 의한 음영을 적극적으로 활용할 수 있다. 놀이터 A와 코트 B가 비교적 높지 않은 PET 값을 보이는 이유는 건물의 음영에 의한 효과 때문이다. 건물뿐만 아니라 수목에 의한 음영도 온열환경 개선에 효과적인 방법이다. 수목은 건물에 비해 배치와 이동이 자유롭기 때문에 설계 이후에도 활용할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어, 건물 음영에 의한 영향이 거의 없는 놀이터 B와 코트 A의 온열환경은 적절한 수목 배치를 통해 개선할 수 있을 것이다. 또한, 수목은 직달 일사를 차단할 뿐만 아니라 증발산 효과에 의한 온도저감 효과도 있어 온열환경 개선에 효과적이다. 외부공간에서 MRT에 영향을 주는 두 번째 요소는 지표면 마감재료가

2.6 실외 온열쾌적성에 기류가 미치는 영향

전체적으로 두 공간의 MRT 값이 같으면 PET의 값도 거의 유사하게 나왔다. 그러나 생태연못 A와 B는 12시에서 오후 2시 30분 사이의 MRT가 거의 비슷함에도 불구하고 PET 값은 다른 곳과는 달리 비교적 큰 차이를 보였다. 그 이유는 두 공간의 기류속도 차이 때문인 것으로 사료된다. 표 4는 12시에서 오후 2시 30분 사이, 각각의

다. 마감재로는 알베도, 투수성, 증발산 유무에 따라 표면 온도가 크게 달라진다. 아스팔트와 보도블럭의 경우, 알베도가 낮아 많은 양의 태양복사를 흡수하고, 투수성이 작아 증발냉각에 의한 표면온도 저감효과가 없기 때문에 온열환경 측면에서 불리하다. 하루 종일 PET 40℃ 안팎의 수치를 보이는 놀이터 B의 경우, 알베도가 높은 마감재료, 투수성이 높은 재료, 혹은 증발산 작용을 하는 잔디로 마감해 전체적인 PET 값을 낮출 수 있을 것이다. 마지막으로 SVF(sky view factor)는 유입되는 확산 일사의 양을 조절함으로써 MRT에 영향을 미친다. 직달 일사와 음영의 경우 하루 중 태양의 위치에 따라 특정지점에 대한 효과가 크게 달라지지만, SVF는 비교적 꾸준한 효과를 갖는다. 건물이나 수목에 의해 둘러싸인 공간은 SVF가 작기 때문에 온열환경 측면에서 유리하다. 이와 같이 건물의 높이 및 주동 배치, 적절한 수종 선택 및 배치, 지표면 마감재료 등은 MRT에 상당한 영향을 주므로 이에 대한 평가가 설계단계에서부터 수행되어야 한다.

둘째, 실외 온열쾌적성을 향상시키기 위해서는 MRT를 감소시키는 것도 중요하지만, 기류의 속도를 빠르게 하는 것 또한 효과적인 방안이 될 수 있다. 기류는 피부에서의 증발과 대류를 촉진시킴으로써 사람을 시원하게 한다. 표 4에서와 같이 생태면적 A가 B보다 더 낮은 PET를 갖는 이유는 기류가 더 빠르기 때문인 것으로 사료된다. 공동주택 단지 내 기류를 원활하게 하기 위해서는 수목과 주동배치를 고려한 단지 전체의 바람길 계획이 필요하다. 그러나 수목과 주동의 배치는 바람길 뿐만 아니라 직달 일사의 유입에도 큰 영향을 미치므로 다각적인 접근이 필요하다.

셋째, 시뮬레이션과 쾌적성 평가 결과, 해석 대상 공동주택 단지의 외부공간은 같은 목적을 갖고 있는 장소라 할지라도 건물, 지표면 마감재료, 수목 등에 의해 각기 다른 온열환경을 보였다. 공동주택 단지의 외부공간은 실내공간과는 달리 한번 디자인 된 이후에는 그 변경이 어렵고, 온열환경을 조절하는 것 또한 쉽지 않기 때문에 설계 단계에서부터 정량적이고 객관적인 온열환경 및 쾌적성 평가가 필요하다.

우리나라 공동주택 외부공간의 쾌적성은 생태면적률에 의해 간접적으로 평가되고 있다. 최근에는 50%가 넘는 생태면적률을 가진 공동주택 단지가 조성되기 시작했으며, 쾌적한 공동주택이라는 평가를 받고 있다. 그러나 생태면적률이 열섬현상을 저감하고, 생태적 기능을 유도하는 긍정적인 역할을 하는 것은 분명하지만 외부공간의 쾌적성을 평가하는 절대적인 지표는 될 수 없을 것이다. 똑같은 생태면적률을 가진 공동주택이라 할지라도 단지 내부의 온열환경은 주동배치, 수공간과 녹지공간의 배치, 지표면 마감재료, 단지 내 기류속도 등 다양한 요소에 의해 달라지기 때문이다. 같은 비용으로 가장 효율적이고, 쾌적한 외부공간을 조성하기 위해서는 설계단계에서부터 외부공간의 온열환경 및 쾌적성을 평가해야 한다. 여가시간의 확대로 테마파크와 야외경기장, 실외환경의 이점을

이용하는 레스토랑이나 카페 등이 증가하고 있는 지금, 온열환경 및 쾌적성 평가의 필요성은 더욱 증대할 것으로 보인다.

4. 추후연구 방향

본 연구는 실제 단지 한 곳을 대상으로 시뮬레이션을 이용하여 수행된 것이다. 그렇기 때문에 단지 내 건물, 수목, 지표면 등, 각각의 요소들이 실외 온열환경에 미치는 영향도를 정량적으로 평가하고, 이를 바탕으로 일반화된 결과를 도출하기 위해서는 실측과 추가적인 시뮬레이션을 바탕으로 심도 있는 연구가 필요할 것이다. 또한, 이 연구는 여름철을 대상으로 수행된 것으로 중간기 및 겨울철을 고려한 최적화된 온열환경 개선안이 요구된다.

후기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(06건설핵심 BD2)에 의하여 수행되었음

본 연구는 교육과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음(R11-2005-056-02001-0)

참고문헌

1. 김준식, 김익환, 공동주택단지 거주자의 자연지향과 녹환경 인식구조에 관한 연구. Journal of the Korean Housing Association 2004;15:7-96.
2. 김대현, 김대수, 신지훈, 김순분, 아파트 단지 옥외공간의 변천. 한국조경학회 추계학술논문발표회 논문집 2004;32:37-41.
3. Baruch Givoni, Mikiko Noguchi, Hadas Saaroni, Oded Pochter, Yaron Yaacov, Noa Feller, Stefan Becker. Outdoor comfort research issues. Energy and Buildings 2003;35:77-86.
4. R. Giridharan, S.S.Y. Lau, S. Ganesan, Nocturnal heat island effect in urban residential developments of Hong kong, Energy and Buildings 2005;964-971.
5. R. Giridharan, S.S.Y. Lau, S. Ganesan, B. Givoni, Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong, Building and Environment 2007, 3669-3684.
6. Peter Hoppe, Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort, 2002.
7. Jennifer Spagnolo, Afield study of thermal comfort in out-door and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia, Building and Environment 2003, 721-738.
8. Hong Chen, Ryoza Ooka, Kazuya Harayama, Shinsuke Kato, Xiaofeng Li. Study on outdoor thermal environment of apartment block in Shenzhen, China with coupled simulation of convection, radiation and conduction. Energy and Buildings 2004(36), 1247 - 1258.
9. Peter Hoppe, 1999. The physiological equivalent temperature

- a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, In J Biometeorol, Vol 43, pp.71-75.
10. Tzu-Ping Lin, Andreas Matzarakis, Ruey-Lung Hwang, 2010. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. Building and Environment, Vol 45, pp. 213-221.
 11. Agnes Gulyas, Janos Unger, Andreas Matzarakis. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment. Building and Environment 2006;41: 1713-1722.
 12. Fazia Ali-Toudert, Helmut Mayer, Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate Building and Environment 41 (2006) 94 - 108.
 13. Fazia Ali-Toudert, Helmut Mayer. Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and Vegetation on thermal comfort in urban street canyons. Solar Energy 2007;81:742 - 754.
 14. N.H. Wong, Steve Kardinal Jusuf, Aung Aung La Win, Htun Kyaw Thu, To Syatia Negara, Wu Xuchao. Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. Building and Environment 2007;42:2949 - 2970.
 15. Chen Yu, Wong Nyuk Hien. Thermal benefits of city parks. Thermal benefits of city6;38:105 - 120.
 16. Fazia Ali-Toudert, Helmut Mayer. Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and Vegetation on thermal comfort in urban street canyons. Solar Energy 2007;81:742 - 754.
 17. ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 2005.
 18. H. Taha, H. Akbari, A. Rosenfeld. Heat Island and Oasis Effects of Vegetative Canopies : Micro- Meteorological Field-Measurements. Theoretical and Applied Climatology 1991;44:123-138.

투고(접수)일자: 2010년 7월 12일

심사일자: 2010년 7월 12일

게재 확정일자: 2010년 8월 25일