열환경 완화를 통한 주택지내 쾌적성 확보에 관한 연구

A Study on Thermal Comfortable Following the Thermal Environment Migration in Detached Housing Area

류지원*
Ryu, Ji-Won

정응호**
Jung, Eung-Ho

호야노 아키라***
Hoyano, Akira

김대욱****
Kim, Dae-Wuk

Abstract

This study aims to improve the thermal comfort level of detached housing area by reducing the impact of thermal environment. The study focused on reducing surface temperature that is generated in buildings and adjacent spaces as a result of sensible heat load and presented a proposal on implementing planting method considering its outdoor condition and structure and composed materials. To perform the study, we utilized 3D-CAD to examine the outdoor condition and structure and composed materials that impact on surface temperature and conducted space design after reflecting climatic elements in simulations. The result is as follows. In reviewing temperature distribution of Heat Island Potential (HIP) of buildings and adjacent spaces, in case where green coverage ratio is increased, there was a 6°C temperature difference and in regard to changes in the thermal environment in detached housing area, in case where rooftop planting, surface improvement, planting, and overall green coverage ratio is increased, there was a 10°C temperature difference. In addition, there was difference in temperature in detached housing area following the changes in wind.

Keywords : Thermal Comfortable, Urban Heat Island, Surface Temperature, HIP, MRT

주요어 : 열 쾌적성, 도시열섬현상, 표면온도, 열섬잠재성지표, 열방사환경

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

올 한해 대구지역은 7월 한 달 중 하루 최저기온이 섭씨 25도로 내려가지 않는 열대야 현상이 20일간 나타났다. 이 같은 현상은 부분적으로 기록이 없는 몇몇 연도를 제외하고는 대구에서 1907년 기상관측 이후 가장 많이 나타난 해로 이는 1994년 살인적인 더위로 이름을 날렸던 당시 7월 열대야 일수보다 3일이나 더 많은 것으로 집계됐다. 올해는 강수량이 절대적으로 부족했으며 상대적으로 일사량이 많고 도시 열섬현상 등으로 지표면의 열이 식지 않아 열대야 현상이 유독 많이 발생한 것으로 보인다.

이처럼 여름철 발생하는 도시 열섬현상의 형성요인으로 대기층을 데우는 대기 현열 부하량은 도시화에 따른 고도의 토지이용이 진행되면서 나타나는 기후적 특성으로

지표면의 피복상태 내(Ryu et al., 2011; Ryu et al., 2012), 수목과 초지 등의 증발 잠열 발생원이 감소하고 대신 태양의 일사를 받아 지면온도가 상승하기 쉬운 인공적인 피복에 의한 대류 현열의 증가로 촉진된다. 열용량이 큰 콘크리트와 아스팔트는 주간엔 축열된 열을 야간에 방출하고 동시에 주변건물의 요철 증가는 열방사와 통풍을 저해해 야간기온 저하가 어려운 환경을 조성하고 있다(Kim, Yeo, & Yoon, 2011).

도시화에 따른 열섬현상은 국지적인 대류체계인 ‘Thermal Induced Air Exchange’와 ‘Structural Wind Circulation’을 교란시킴으로써 도시 주변지역으로의 녹지에서 형성된 차고 신선한 공기의 도시지역으로의 유입과 대기오염물질의 확산을 방해하며, 또한 그 원천적인 대류기능을 차단하게 된다(Song, 2005). 이러한 원인으로 말미암은 도시 내 기후특성은 기온이 상승하고 습도가 감소하며 구름량이 증가하고 바람이 감소하는 등의 특성을 나타내면서 도시생활의 쾌적성은 낮아지고 있다.

특히, 주택지 내의 기온상승으로 말미암은 생활환경의 악화는 거주민들의 쾌적성과 질적 향상을 저해하는 원인으로 작용하고 있으며, 그 구성요소가 다양하고 인자들 사이의 상관관계가 복잡하여 그 내부에서 이루어지는 인간 활동 또한 다양하므로 외부공간에서의 물리적 특성을 계산하고 예측하는 것은 실내 환경보다 매우 복잡하고 어려운 실정이다(Ryu et al., 2009).

*정회원(주저자), 동경공업대학 총합이공학과 박사과정

**정회원(교신저자), 계명대학교 환경대학 환경계획학과 교수

***정회원, 동경공업대학 총합이공학과 명예교수

****정회원, 계명대학교 환경대학 시간강사

Corresponding Author: Eung-Ho Jung, Dept. of Environmental Planning, Keimyung Univ., 1000 Shindang-Dong, Dalseo-Gu, Daegu, Korea, E-mail: turep21@kmu.ac.kr

이 논문은 2012년 대구녹색환경지원센터의 지원과 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0026738)

주택지 내 기온상승 요인은 기온뿐만 아니라 바람, 습도 등 인간의 감각과 행동에 영향을 미치는 여러 기후 인자들에 의해 형성되며, 이러한 기후 인자들을 고려하여 쾌적한 열환경을 만드는 것은 주거공간의 설계에서 매우 중요한 사항이다(Nikolopoulou, & Lykoudis, 2007; Mayer et al., 2008). 특히, 실재 주거공간에는 건물이나 지면 등 공간을 구성하는 요소의 표면온도가 옥외 공간형태나 구성 재료 등 공간디자인과 밀접하게 관련되어 있어서 열환경을 고려한 옥외의 공간설계를 실현하는 것이 중요하다(Hoyano, Asawa, & Nakaohkubo, 2004).

이에 본 연구는 열환경 완화를 통한 주택지 내의 쾌적성 향상을 도모하고자 한다. 먼저, 대기의 현열부하 억제 위하여 표면온도 완화 효과에 주목하였으며, 표면온도 완화를 위한 계획적 접근 방안으로 옥외의 공간형태나 구성 재료를 고려한 녹화수법의 적용 및 활용방안을 제시하였다. 이를 위하여 선정된 대상지역의 표면온도에 영향을 미치는 옥외 공간형태나 구성 재료 등을 3D-CAD 기반으로 작성하고 주변 지역에 미치는 기후요소 등을 시뮬레이션에 반영한 공간설계를 시행하였다.

II. 이론적 고찰

1. 도시쾌적성

도시를 생산하는 장소인 동시에 생활하는 장소로 만들기 위해서는 어메니티, 즉 쾌적성이 있어야 한다. 어메니티(amenity)는 즐거운(pleasant), 매력적인(attractive), 바람직한(desirable), 어울리는(agreeable) 등의 의미로 사용되며, 어떤 장소나 기후 등에서 느끼는 쾌적함을 일컫는 용어로서 장소나 기후 등이 매력적이거나 주변 환경과 잘 어울리는 환경 그 자체를 말한다. 따라서 도시 쾌적성(urban amenity)은 도시민이 느끼는 기후와 생활공간이 쾌적하고 만족감을 주는 환경으로 정의할 수 있다.

지금까지 도시 쾌적성과 관련한 연구를 살펴보면, 도시 쾌적성 저하에 대한 원인 및 개선방안에 관한 연구와 도시계획제도 또는 기법에 따른 도시 쾌적성 평가 및 개선 효과에 관한 연구가 많이 진행됐다. 본 연구와 관련 있는 연구로 토지이용 및 토지 피복의 변화에 따른 기온상승 관련 연구(Kwan, 2002; Hong, 2007; Cha, 2009), 도시개발에 의한 바람환경 관련 연구(Jung, 2007; Son, 2009), 도시 열섬현상의 원인 및 완화방안 도출 연구(Ojima, 1982; Oke, 1991; Eliasson, 2000; Hwang, 2003; Yun, 2007, Cha, 2009)등이 진행되었다.

하지만 상기의 연구는 도시규모의 토지이용 및 토지 피복에 따른 도시기온의 상승에 국한하여 연구를 수행하였으며, 토지이용 또는 주거형태에 국한하여 도시 열섬현상의 차이를 비교·분석하였다. 본 연구는 도시규모의 쾌적성 평가기준이 아니라 실제로 적용 가능한 건축물 및 주거단지 수준의 열오염 대책의 지표¹⁾를 <Figure 1>에서와 같이 구성하고, 구성된 지표 중에서 표면온도 완화 효과

와 관련 있는 지표를 중심으로 시뮬레이션에 반영하여 실용성을 검증하였다.

Figure 1. Thermal Environment Measures of According to the Scale

2. 주택지내 열적 쾌적성

열적 쾌적성(Thermal comfort)의 사전적 의미는 열환경에 대하여 만족을 표현하는 마음의 상태이다. 따라서 쾌적성의 평가에서 심리적인 요소가 많은 영향을 끼치며 이러한 심리적인 요소의 영향은 비단 옥외공간에만 한정된 것은 아니지만, 실내공간보다 외부환경 하에서의 열환경에 대한 기대치(Thermal Expection)가 상당히 차이가 발생하는 점을 반드시 고려해야 한다.

주택지 내 열적 쾌적성이란 주거환경에 대하여 만족을 표현하는 마음의 상태로서 쾌적한 열환경은 열에 의해 거주민이 스트레스나 긴장감을 받지 않는 환경이라 할 수 있다. 그러나 개인의 온감은 서로 달라서 가능한 많은 사람이 쾌적하다고 느끼는 상태를 말하며 일반적으로 사람들의 80%가 쾌적하다고 느끼면 쾌적 영역으로 인식된다. 쾌적 영역이란 기온, 습도, 평균복사온도, 기류 간의 관계를 조합하여 성인 다수가 쾌적하다고 느끼는 환경의 범위이다(Yoon, Y., Joo, C., & Kim, J. 2011).

최근 국내의 옥외공간에 대한 거주자의 열적 쾌적성 평가에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 실내 온열환경에 관한 연구에 비해 상대적으로 그 수가 적으며 옥외 공간에서의 온열감 평가지표 또한 실내환경의 열적 쾌적성 평가에 사용하는 지표(PMV, ET, SET 등)를 그대로 활용하는 경우가 대부분이다. 그러나 옥외공간은 실내 환경과의 체제 시간에 차이가 있으며, 그 환경에 노출된 사람들의 열적 쾌적감에 대한 기대치가 실내 환경과 다르며 열적 쾌적감을 평가하는 각 인자의 중요도 또는 영향도 또한 달라지기 때문에 옥외환경하에서 열적으로 쾌적함을 느끼는 온도범위는 실내와 다르게 된다. 이처럼 종래의 연구에서 사용되었던 실내 온열환경의 쾌적성 평가

1) <http://www.env.go.jp/air/report/h14-01/07-1.pdf#search>

지표인 PMV, SET 등을 이용하여 옥외공간의 열적 쾌적성을 평가하는 것의 문제점을 개선하기 위해서 최근 Adaptive Thermal Comfort Model과 같은 새로운 지표의 작성에 관한 연구들이 진행되고 있다(Song, D., & Lim, J. 2009).

본 연구에서는 실내의 온열감의 차이가 발생하는 것은 태양복사의 영향이 많은 부분을 차지한다는 점에 주목하여 옥외공간에 적용 가능한 평균방사온도(MRT)와 열섬잠재성지표(HIP)를 활용하였다. 호야노 등에 의해 개발된 HIP는 <Figure 2>²⁾에서와 같이 태양복사에 의한 건축물이나 지면 등 전 표면으로부터 발생하는 현열의 면적에 대한 비율을 나타내며 측정대상지의 열섬현상으로의 영향도를 지표면 온도로 환산한 온열지표이다. 건축물 및 도시블록 요철(凹凸)의 영향을 고려하여 부하의 평균 표면온도를 정량적으로 나타낸 것으로 HIP가 클수록 표면온도와 기온의 차가 크다는 것을 의미하고 측정대상지의 쾌적성을 저하하며 열섬현상의 원인이 되는 대기방출 현열이 많다는 것을 의미한다. 이와 관련된 선행연구로 Yoon and Jung(2008, 2009)은 공동주택의 주동형상 및 배치유형에 따른 여름철 옥외 열쾌적성 및 열섬가능성을 예측하였으며, Jiang and Hoyano(2009)는 PCW(Passive Colling Wall)을 활용하여 도시열환경의 완화를 예측·평가하였다. 또한 Jiang, Hoyano and Asawa(2009)는 외부공간의 열환경 예측을 위하여 가구의 건축물을 대상으로 여러 조건을 가정하여 열환경 시뮬레이션을 진행하였다.

본 연구는 이상의 연구 진행방법 및 과정은 유사하나 실제 지역을 대상으로 그 지역이 가지는 지역성을 최대한 반영하였으며, 시뮬레이션 결과로부터 지역에 열환경이 형성된 원인을 찾고자 하였다.

Figure 2. HIP (Heat Island Potential)

2) 대구지역환경기술개발센터(2009). 지속가능한 도시재생을 위한 옥상녹화 국제심포지움. p. 85

III. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 대구시를 대상으로 저층 위주의 양호한 단독주택지가 밀집된 제1종일반주거지역을 대상으로 선정하였다. 자연 발생적으로 형성된 지역보다는 기성시가지 내 부족한 주택공급의 목적을 가진 1990년 이전에 개발된 토지구획정리사업지구와 1990년 이후부터 현재까지 추진한 택지개발사업지구를 검토한 결과, 60~70년대 토지구획정리사업지구인 대명지구를 대상으로 선정하였다.

Figure 3. General Residential Area Map

이곳은 지구 내 가로 위계가 명확한 곳으로 단위 주거와 직접으로 연결된 격자형 가로구조를 형성하고 있으나 노상주차가 빈번하게 발생하여 보행자의 안전성 문제가 발생하고 있다. 또한, 다세대 주택이 적으며 주택지 내 공지가 존재하는 담장이 설치된 2켜 형식의 단독주택지로 10m 미만의 도로에 접하는 2층 이하의 전형적인 단독주택지역이다.

최근, 전면철거방식에 대한 반성과 양호한 단독주택 재고 감소에 대한 위기의식과 함께 주거지 정비방식의 패러다임이 전환되어야 한다는 사회적 인식이 확산되고 있다. 이러한 사회적 분위기를 반영한 이 지역은 담장 허물기 운동을 통한 새로운 주거지 정비방식을 도입하는 등 본 연구에서 열환경 완화를 통한 주택지 내 쾌적성을 확보하는데 있어서 적합한 대상지이다.

연구의 내용적 범위로는 열환경 완화를 통한 주택지 내의 쾌적성 향상을 도모하기 위하여 주택지 옥외공간 대기의 현열을 증가시키는 여러 요인 가운데 표면에서 발생하는 현열을 완화하는데 초점을 맞추었으며 <Figure 1>에서 제시한 건축물 및 주거단지 수준의 열오염 대책의 지표를 기반으로 열환경 시뮬레이션을 시행하였다.

또한, <Table 1>의 녹화 효과에 주목하여 녹화에 따른 주택지 옥외공간의 열환경에 어떠한 변화가 있는가를 살펴보고, 주택지 내 표면온도 완화를 위한 계획적 접근

Figure 4. Case Study Area

Table 1. Effects of Greening on the Thermal Environments

Ratio of green coverage	- The radius 250m range ratio of green coverage and temperature of the reduction of the temperature of green spaces in the relationship up to -0.32 / ratio of green coverage 10%.
	- If increase in street space ratio of green coverage from 18% to 43% in the distribution area of the MRT will increase from 10% to 20%. Especially as footpaths, improved thermal comfort.
Greenery of building	- When you were greenery of rooftop at room temperature lower about 2.0~2.4
	- The summer on a clear day, the day of the thermal shielding effect is about 0.56 ·h/

근 방안으로 옥외의 공간형태나 구성 재료를 고려한 녹화수법의 적용 및 활용방안을 제시하였다.

도시의 열환경은 다양한 규모의 현상들에 의해 영향을 받는다. 이 때문에 미기후에 영향을 미치는 작은 규모에 중점을 둔 연구부터 기후, 기류를 고려하는 매크로 규모에 중점을 둔 연구까지 그 주제에 따라 다양하게 이루어지고 있다. 지금까지 열환경 관련 연구는 매크로 규모의 도시공간이나 도시를 대상으로 위성과 항공기를 이용하여 촬영한 영상을 GIS와 연계해서 도시표면온도 등을 분석한 열환경 연구가 활발히 진행됐으나, 최근에는 주택 및 주거단지를 대상으로 한 열환경 연구가 활발히 진행되고 있다.

하지만, 최근의 도시 열환경에서 가장 중요한 원인이 되고 있는 인공피복 변화, 인공배열 증가를 설명하기 위해서는 건축물의 형상이나 요철 등의 구성 재료가 건축물의 전열특성이나 도시 열환경 형성에 중요하며 그것을 재현할 필요가 있다. 따라서 열환경을 고려한 옥외의 공간설계를 실현하기 위해서는 먼저 표면온도를 지표로 설정하는 것이 중요하며 표면온도를 완화하는 노력과 수법이 필요하다.

본 연구에서는 표면온도 완화를 위한 분석방법으로 도시 및 건축규모 등 공간재현이 가능한 3D-CAD 열환경 프로그램인 ThermoRender를 활용하여 3차원 전표면온도와 평균방사온도(MRT)와 열섬잠재성(HIP)을 평가하였다.

호야노 교수가 개발한 3D-CAD 기반 열환경 시뮬레이션 프로그램 ThermoRender는 <Figure 5>와 같이 옥외의 전 표면온도를 3D의 형태로 시각화하여 나타내며 측정대상의 건물이나 지면의 표면온도를 Thermo-graphy의 형태로 가시화할 수 있다.

Figure 5. Quantitative Prediction and Evaluation for the Thermal Environment

본 연구에서는 단독주택지 내 쾌적성을 확보하고 열환경을 완화를 위하여 여러 기후 인자들을 고려하여 3차원에 의한 표면온도분포를 Thermography의 형태로 가시화하고 대기로의 현열부하를 계산하는 열섬잠재성(HIP) 지표와 인간이 지면에서 1.5m 높이의 주변으로부터 체감하는 열복사의 영향을 전방위로 평균화하여 온도로 환산하는 평균방사온도(MRT)를 계산하였다.

INPUT 3D-CAD

SOLVER

OUTPUT

Figure 6. The Flow Chart of the Thermal Simulation Tool

3) 대구지역환경기술개발센터(2009). 지속가능한 도시재생을 위한 옥상녹화 국제심포지움. p. 99

다음은 열환경 분석을 위한 시뮬레이션 진행과정으로 <Figure 6>과 같이 먼저, 입력단계(Input)에서 3D형태의 모델을 작성한 후, 수치계산을 위한 3D-mesh 모델 형태로 변환한다³⁾.

이 과정에서 <Figure 7>와 같이 먼저, 1:1,000 수치지도와 대상지 주변 지적도를 토대로 하여 3D-CAD 기반 건물정보(층수, 면적) 및 지표면 정보(차도, 보도)를 추출하였으며, 고해상도 위성영상과 현지조사를 통하여 건축물의 지붕·벽면·창문·옥상의 표면재료, 개구부 및 녹지 정보를 추출하였다. 그리고 추출된 정보를 바탕으로 구성 재료의 열물성치를 3D-CAD 프로그램인 VectorWorks를 이용하여 지표면 기반 3D 공간데이터를 작성하였다.

다음 계산단계(Solver)에서 기상조건을 입력하며 각 메쉬(mesh)마다 열수지 계산을 진행한다. 열수지 계산은 건축물의 3D 모델을 일정 간격(0.2 m)으로 질점(質點)메시화한 후에 건물위치정보, 태양위치정보, 기상조건, 건축재료의 열물성치를 고려하여 건물과 옥외공간의 전표면 열수지를 계산한다.

Figure 7. Space Data Creation at Case Study

기상조건은 대구 북위 37°34", 동경 127°58"로 대표일은 2009년 하계 최서일인 8월 19일을 기준으로 하였으며, 실내온도는 평균 26°C로 냉방조건을 설정하고 실외조건은 <Figure 8>의 대구표준 기상데이터(24시간의 온도, 습

Figure 8. Input the Weather Condition at Case Study

도, 법선면 직달일사량, 수평면천공일사량, 야간 복사량, 풍향, 풍속)를 이용하였다.

마지막으로 결과단계(Output)에서는 가장 먼저 표면온도를 산출한 후 3D형태로 가시화하며, 이를 기반으로 열방사 환경(MRT)과 열섬잡재성 지표(HIP)를 산출한다(Jiang, Hoyano, & Asawa, 2009).

IV. 연구결과

1. 건축 및 건축 외부공간의 열환경 변화

본 절에서는 주택지 내의 열환경 완화와 쾌적성 확보를 위하여 건축 및 건축 외부공간의 열환경 변화를 살펴 보았으며, <Figure 1>에서 제시한 열오염 대책 지표를 활용하여 대상지 내 주택을 중심으로 식생, 수목식재, 인공피복개선 및 옥상식재 등의 녹화수법을 적용하였다.

<Figure 9>는 상기에서 제시한 분석진행 과정에 따라 대상지 내 주택지의 입력레이어를 작성하여 수치 시뮬레이션 한 오후 13시 결과이다. 표면온도 분포결과, 토지 피복을 나지(bare ground)에서 잔디(grass)로 변화한 경우 지표면을 중심으로 10°C 정도의 표면온도 차이가 발생했으며, 수목(planting)을 추가 식재한 경우에서도 수목의 일사차폐로 인한 그늘진 부분은 나지(bare ground)보다 15°C 이상의 낮은 표면온도가 발생하였다. 그리고 옥상식재에 따른 표면온도분포 변화에서도 20°C 이상의 온도 차이가 발생하였다.

체감지표를 나타내는 MRT분포 결과에서도 나지(bare ground)보다 잔디(grass)로 지표면을 바꾼 경우와 수목을 추가 식재한 경우에서 4~5°C 이상의 낮은 온도분포가 발생하였으며, 옥상식재를 적용한 경우에서도 5°C 이상의 온도분포 차이가 발생하였다. MRT는 인간이 주변으로부터 체감하는 열복사의 영향을 전 방위로 평균화하여 온도로 환산한 것으로서 수목식재, 인공피복개선, 옥상식재 등의 녹화적용에 의한 건축물의 복사열 차단이 온도분포

Figure 9. Thermal Environmental Distribution by Greening Type (13:00)

차이에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 단독주택지 내 열환경으로 말미암은 쾌적성 확보에는 건축 및 건축 외부공간의 표면에서 방출되는 방사열을 차단하고 완화할 수 있는 계획적 녹화수법과 함께 건축물의 에너지 절약을 위한 패시브 건축의 사용이 요구되어 진다.

열섬잠재성(HIP)의 결과, 지표면을 잔디와 옥상식재를 적용한 경우에서 가장 낮은 온도분포 결과가 나타났으며, 인공피복개선과 수목식재를 적용한 경우에서도 옥외공간의 열환경에 영향을 미치는 것으로 나타났다. <Figure 10>에서 지표면이 나지(bare ground)인 경우가 가장 높은 HIP의 온도가 발생하였다. 나지(bare ground)에 수목(planting)을 추가 식재한 경우는 수목으로 인한 일사차폐로 수목 주변에 그늘을 형성하여 2~3°C 정도 낮은 온도가 발생하였으며, 지표면을 잔디(grass)로만 한 경우, 그리고 옥상식재(rooftop planting)만 한 경우에서도 나지인 경우보다 3~4°C 낮은 HIP의 온도분포를 나타내었다. 이는 HIP의 특성상 지면이나 건축물 표면으로부터 발생하는 현열을 녹화로 말미암은 효과 때문인 것으로 생각된다.

마지막으로 지표면을 잔디(grass)로 하고 옥상식재(rooftop planting)를 같이 한 경우, 나지(bare ground)에 비해 6°C 이상의 온도 차이가 발생하였다. 결국, 단독주택지 내 열환경 완화를 통한 쾌적성 확보를 위해서는 건축 및 건축 외부공간에 식생, 수목식재, 인공피복개선 및 옥상식재 등의 녹화수법을 활용한 녹피율을 증가하여 표면이나 지표면에서 발생하는 현열을 완화하는 노력이 필요하다.

Figure 10. HIP Distribution (13:00)

2. 주택지 내 열환경 변화

본 절에서는 앞 절의 식생, 수목식재, 인공피복개선 및 옥상식재 등의 녹화적용에서 나타난 결과를 주택지 내 옥외 공간설계에 반영하여 주택지 내 녹피율 증가에 따른 열환경 변화를 살펴보았다. 그리고 주택지 내 기온상승은 기온뿐만 아니라 여러 기후인자들에 의해 형성되는데 그 중에서 풍속이 미치는 영향에 따른 열환경 변화를 살펴 보았다.

1) 3차원 표면온도분포

주택지 내 3차원 표면온도분포 시뮬레이션 결과, 열환경 개선을 위하여 식생, 수목식재, 인공피복개선 및 옥상식재 등의 다양한 녹피율을 증가(7→25%)한 Case 2에서 표면온도 분포가 10°C 이상 낮게 발생하였다. 특히, <Figure 11>에서와 같이 옥상식재를 적용한 경우에는 20°C 이상의 표면온도 차이가 발생하였으며, 인공피복을 잔디로 바꾸고 수목을 추가 식재한 지역에서도 일사차폐로 인한 그늘로 10°C 이상의 표면온도 차이가 발생하였다. 이는 수목과 초지 등에 의한 차양효과와 증발산작용을 통한 주변의 현열을 완화한 결과로 생각된다. 또한, 옥상식재를 적용한 경우에서도 20°C 이상의 낮은 표면온도 분포를 보이고 있어 단독주택지 내 열환경 개선 및 주택지 내의 쾌적성 확보와 단열성 향상을 위한 건축물의 에너지 절약을 위해서는 반드시 고려해야 할 계획요소로 판단된다.

Figure 11. Surface Temperature Distribution (13:00)

2) MRT 분포

MRT는 인간이 주변으로부터 체감하는 열복사의 영향을 전방위로 평균화하여 온도로 환산한 것으로서 <Figure 12>의 MRT 결과에서도 수목을 식재하고 인공피복을 개선하여 녹피율을 증가(7→25%)한 Case 2에서 온도분포가 낮게 발생하였다. 특히, 옥상녹화를 적용한 경우, 주변지역에서 10°C 이상의 온도차이가 발생하였으며, 지표면의 피복을 바꾼 나지에서 잔디로 바꾼 지역에서도 3~5°C 정도의 온도 차이가 발생하고 있다.

즉, MRT 수치가 크다는 것은 복사열이 많다는 것을 의미하므로 인간이 실제 기온보다 더 높은 기온을 체감하게 되는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 주택지 내의 쾌적성 확보와 향상을 위해서는 수목에 따른 일사차폐, 인공피복개선 및 옥상식재 등을 활용하여 태양의 복사열로부터 건조환경물(built-environment)의 표면온도를 억제할 수 있는 다양한 기법들을 활용하여야 할 것이다.

3) HIP 분포

<Figure 13>에서는 대상지의 전체 지면을 인공피복인 경우(아스팔트)와 투수성이 되면서 인공피복을 잔디로 적용한 경우, 그리고 식생, 수목식재, 인공피복개선 및 옥상 식재 등의 녹피율을 증가(7→25%)한 경우의 HIP 분포를 살펴보았다.

Figure 12. MRT Distribution (13:00)

그 결과, 대상지 내의 녹피율을 증가한 Case 2의 경우에서 Case 1보다 10°C 정도 낮은 온도 차가 발생하였으며, 대상지 내 전 지표면을 잔디로 변화한 경우보다도 5°C 정도 낮은 온도분포를 보이고 있다. 즉 HIP가 클수록 표면온도와 기온의 차이가 크다는 것을 의미하고 열섬현상의 원인이 되는 대기방출의 현열이 많다는 것을 의미한다. 이러한 원인으로서는 인공피복, 표면의 모양, 열원, 수분원 등을 들 수 있는데, 특히, 인공피복은 <Figure 13>에서와 같이 콘크리트, 아스팔트 등 인공재료들의 열 축적과 방출에 기인하고 있다. 표면의 모양 역시 복사열과 관련이 깊으며, 동시에 바람에 의한 냉각 효과도 영향을 미친다.

Figure 13. HIP Distribution (13:00)

결국, 부분적인 녹화적용보다는 대상지 전체의 건조환경물질을 대상으로 녹피율을 증가하는 계획이 열환경을 완화하는데 도움이 되고 있다.

4) 풍속에 따른 열환경 변화

주택지 내 기온상승 요인은 기온뿐만 아니라 풍속도 인간의 감각과 행동에 영향을 미치며, 특히 주택지 내 쾌적한 열환경을 만드는데 있어서 중요한 요인이다.

본 절에서는 <Figure 14>의 풍속 변화에 따른 주택지 내 표면온도 분포 결과 풍속이 증가함에 따라 주택지 내 건조환경물질들의 표면온도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

Figure 14. Surface Temperature Changes According to the Wind Speed (13:00)

또한, <Table 2> HIP 값의 결과 일출 후에서 일몰 전까지 태양의 직달 일사로 인하여 주택지 내 옥외공간의 표면에서 방출되는 대기 현열 부하량이 높은 상황에서 풍속의 증감으로 인한 HIP 값의 변화분포가 나타났다. 이는 낮 시간을 중심으로 태양의 직달 일사로 주택지 내 옥외공간의 표면온도가 상승하고 이로 인한 대류의 현열 증가는 풍속의 증감에 따라 대기층의 대류 현열을 정체 또

Table 2. HIP due to Changes in Wind Speed

Time (h)	HIP (°C)				Time (h)	HIP (°C)			
	1.0	1.6	2.0	2.5		1.0	1.6	2.0	2.5
0	2.15	2.10	2.09	2.05	12	15.89	15.45	14.96	14.21
1	1.84	1.79	1.76	1.74	13	19.45	18.14	17.36	16.35
2	1.14	1.08	1.06	1.02	14	15.88	14.73	14.49	13.53
3	1.00	0.94	0.93	0.91	15	12.26	11.91	11.81	11.49
4	1.70	1.67	1.66	1.61	16	8.69	8.51	8.43	8.26
5	1.78	1.76	1.75	1.70	17	5.45	5.30	5.26	5.11
6	3.62	3.57	3.56	3.54	18	3.93	3.83	3.78	3.67
7	5.02	5.00	4.99	4.95	19	3.44	3.35	3.30	3.21
8	5.94	5.90	5.90	5.88	20	3.62	3.53	3.51	3.44
9	6.63	6.59	6.58	6.57	21	3.20	3.12	3.10	3.03
10	10.11	10.08	10.07	10.06	22	2.68	2.62	2.60	2.54
11	12.88	12.83	12.79	12.70	23	2.82	2.74	2.73	2.66

는 분산시킴으로써 주택지 내 온도의 변화에 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 열환경 완화를 통한 주택지내의 쾌적성 향상을 도모한 연구이다. 대기의 현열부하 요인으로 건축 및 건축 외부공간에서 발생하는 표면온도의 완화 효과에 주목하였으며, 표면온도 완화를 위한 접근방안으로 옥외의 공간형태나 구성 재료를 고려한 녹화수법의 적용과 활용방안을 제시하였다.

연구진행을 위하여 대상지역의 표면온도에 영향을 미치는 옥외공간 형태나 구성 재료 등을 3D-CAD 기반으로 작성하고 주변 지역의 기후요소 등을 시뮬레이션에 반영한 공간설계를 시행하였으며 결과는 다음과 같다.

건축 및 건축 외부공간의 열섬잠재성지표(HIP)의 온도 분포 결과, 녹피율을 증가한 경우에서 6°C 정도의 온도 차이가 발생하였으며, 주택지 내 열환경 변화에서도 식생, 수목식재, 피복개선 및 옥상식재 등의 녹피율을 증가한 경우에서 10°C 이상의 온도 차의 변화가 발생하였다. 또한, 풍속변화에 따라서 가구 내 전체에 있어서 풍속이 증가함에 따라 가구 내 건조환경물들의 표면온도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 대기층의 대류 현열을 정체 또는 분산시킴으로써 주택지 내 온도의 변화에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 보여주듯이 주택지내 열환경 완화와 쾌적성 향상을 위해서는 건조환경물들의 표면온도를 완화하기 위한 노력이 요구되어 진다. 주거공간의 열환경은 온도뿐만 아니라 바람, 습도 등 인간의 감각과 행동에 영향을 미치므로 주택지내 지속적인 바람이 유동할 수 있는 공간 형태의 배치와 설계가 중요하다.

열적으로 쾌적한 도시가구를 창조하기 위해서는 설계의 초기단계부터 시뮬레이션을 이용하여 열환경을 예측·평가하면서 설계를 진행하는 것이 바람직하다. 그러나 현실에 있어서 한정된 시간 내에서는 가구가 가지는 열환경 특징을 파악하기 위한 시뮬레이션을 충분히 실시할 수가 없다. 그러므로 한번 실시한 시뮬레이션 결과로부터 가구에 그 열환경이 형성된 원인을 찾아 효율성 있게 피드백을 진행하면서 설계를 진행하는 것이 중요하다.

본 연구에서 생각하는 설계지원방법은 한번 시뮬레이션을 사용해서 산출한 표면온도분포나 HIP의 결과 등을 사용하여 가구에 형성되어 있는 열환경의 특징을 파악하고 다음의 설계에 활용할 수 있다는 것이다. 따라서 본 연구는 실제 가구를 대상으로 도시가구에 형성되어 있는 열환경 특징을 파악하고 이것이 가구설계에 사용가능한 지표로 얼마나 설명할 수 있고 어떤 시점에서 가구의 열환경을 분석해갈 필요가 있는지 본 연구의 의의가 있다고 하겠다.

REFERENCES

1. 송두삼·임종연 (2009). 옥외환경의 열쾌적성 평가지표에 관한 고찰. 한국그린빌딩협회의지, 10(4), 26-32.
2. 정용호 (2007). 대구시 대기환경개선을 위한 바람길 권역설정 및 평가. 대구: 대구지역환경기술개발센터.
3. 차영화 (2009). 토지이용·토지피복 특성이 서울시 도시기온에 미치는 영향에 관한 연구. 서울: 서울도시연구.
4. Cha, J. (2007). *Constructing a Green Network to Alleviate the Urban Heat Island Phenomenon*. Master's thesis, Keimyung University, Daegu.
5. Eliasson, I. (2000). Nocturnal Airflow from Urban Parks-Implications for City Ventilation. *Theoretical and applied climatology*, 38(7), 235-244.
6. Hong, W. (2007). Characteristics of Urban Temperature and Thermal Environment Simulation According to Land Usage. *Architectural Institute of Korea*, 23(9), 139-146.
7. Hwang, J. (2003). A Comparative Analysis on the Urban Heat Island by Residential Types. *Korea Planners Association*, 38(7), 235-244.
8. Hoyano, A., Asawa, T., & Nakaohkubo, K. (2004). Environmental Design tool by Combining Outdoor Thermal Environment Simulation with 3D-CAD. *Journal of architecture and building science*, 20, 195-199.
9. Jiang, H., & Hoyano, A. (2009). A 3D CAD-based Simulation Tool for Prediction and Evaluation of the Thermal Improvement Effect of Passive Colling Walls in the Developed Urban Locations. *Journal of Solar Energy*, 83, 1064-1075.
10. Jiang, H., Hoyano, A., & Asawa, T. (2009). A numerical simulation tool for predicting the impact of outdoor thermal environment on building energy performance. *Journal of Applied Energy*, 86, 1596-1605.
11. Kim, K., Yeo, I., & Yoon, S. (2011). The Study on the Characteristics of the Formation of Urban Thermal Environment according to the Greening Type. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 27(6), 229-236.
12. Kwan, Y. (2002). *The influence of urban green areas on ambient air temperature in seoul*. Doctoral Dissertation. Konkun University, Seoul.
13. Mayer, H. et al. (2008). Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(3), 241-250.
14. Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2007). Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. *Building & Environment*, 42(10), 3691-3707.
15. Ojima, T. (1982). Earth Surface Heat Balance Changes by Urbanization. *Energy and Buildings*, 4(2), 99-114.
16. Oke, T. (1991). Simulation of Surface Urban Heat Islands under 'Ideal' Conditions at Night. *Boundary-layer meteorology*, 56(4), 339-358.
17. Ryu, M., Lim, J., Hwang, H., & Song, D. (2009). Study on assessment of outdoor thermal environment with coupled simulation of convection and radiation. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 6, 565-572.
18. Ryu, J. et al. (2011). Study on Evaluation of Thermal Environment Following Alleviation of Limit on Number of

- Floors of Apartment Complex. *Preceeding of REAL CORP 2011* (p. 923-933). Essen, Germany.
19. Ryu, J., Jung, E., & Hoyano, A. (2011). A Study on Evaluation of Thermal Environment Following the Alleviation of the Limit on Number of Floors or Apartment Complex. *Journal of the Korean Housing Association*, 22(3), 93-100.
 20. Ryu, J., Jung, E., Aki, S., Oh, S. H., & Hoyano, A. (2012). Evaluation of Thermal Environment of External Space Following Fence Demolition Campaign in Detached Housing Area. *Journal of the Korean Housing Association*, 23(1), 19-26.
 21. Son, G. (2009). A Study on the Layout Type of an Apartment Complex Considering Wind Environment. *Journal of the Korean Housing Association*, 20(3), 85-95.
 22. Song, Y. (2005). Influence of new town development on the urban heat island, *Journal of Environmental Science*, 17(4), 641-645.
 23. Yoon, S., & Jung, S. (2008). Evaluation of Outdoor Thermal Environment in Summer of Flat-type Apartment Houses and Tower-type Apartment Houses Using Numerical Simulation of All-Surface-Temperature of 3-Dimension. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 24(10), 259-266.
 24. Yoon, S., & Jung, S. (2009). Predictive Evaluation of Outdoor Thermal Environment in Summer of Apartment Housing According to Building Types and Site Planning Types. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 25(9), 321-328.
 25. Yoon, Y., Joo, C., & Kim, J. (2011). Improvement of Environmental Comfort by Land-use using Bioclimate Chart. *Journal of the Korean Regional Development Association*, 23(3), 39-58.
 26. Yun, Y., (2007). Effects of Land Use Pattern on Urban Heat Island in Chungju City. *The Korean environmental sciences society*, 16(9), 1063-1069.
-
- 접수일(2012. 11. 23)
 수정일(1차: 2013. 2. 8)
 게재확정일(2013. 2. 18)