

## 도시근린공원의 열환경 개선을 위한 열쾌적성 평가\*

임은나<sup>1</sup> · 이우성<sup>2</sup> · 최철현<sup>1</sup> · 송봉근<sup>3</sup> · 정성관<sup>1\*</sup>

### An Evaluation of Thermal Comfort on Urban Neighborhood Park for Improving Thermal Environment \*

Eun-Na LIM<sup>1</sup> · Woo-Sung LEE<sup>2</sup> · Chul-Hyun CHOI<sup>1</sup> ·  
Bong-Geun SONG<sup>3</sup> · Sung-Gwan JUNG<sup>1\*</sup>

#### 요 약

본 연구는 도시 근린공원의 열쾌적성을 평가하고 이에 따른 열환경 개선방안을 도출하고자 연구를 진행하였다. 먼저 공원의 주요 열환경 인자의 분포특성 및 공간 유형별 차이를 평가한 결과, 기온, 상대습도, 풍속의 경우 공간적으로 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 그러나 평균복사온도는 공간의 개방정도 및 포장재질에 따라 큰 차이를 나타내는 것으로 확인되었다. 추출된 열환경 인자를 토대로 공간 유형에 따른 열쾌적성을 평가한 결과, 광장의 PMV(Predicted Mean Vote, 예상온열감) 지수가 4.39로 가장 높게 나타났으며, 동선의 경우 2.58, 녹지 1.90 그리고 휴게공간은 0.42로 평가되었다. 이러한 열쾌적성을 결정하는 열환경 요인에 대한 중요도를 평가해보기 위하여 PMV 회귀모형을 구축한 결과, 평균복사온도(1.084), 풍속(-0.280), 기온(0.013), 상대습도(-0.009)의 순으로 PMV에 대한 상대적인 중요도가 높게 나타났다. 열환경적 측면에서 개선이 필요한 지역을 대상으로 시나리오 분석을 실시한 결과, 반사율, 색상, 포장재질의 물리적 특성 변화를 통해 인체가 체감하는 열쾌적성을 향상시킬 수 있으며, 실제 공원에 이를 적용하여 개선안을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 도시근린공원, 열환경, PMV

#### ABSTRACT

This study was conducted to analyze the thermal comfort in the urban neighborhood

2013년 11월 12일 접수 Received on November 12, 2013 / 2013년 12월 10일 수정 Revised on December 10, 2013 / 2013년 12월 26일 심사완료 Accepted on December 26, 2013

\* 본 논문은 2013년 한국지리정보학회 추계학술대회에 발표된 것으로서 주저자의 석사학위논문의 일부를 수정·보완한 것임.

1 경북대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

2 대구대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Daegu University

3 창원대학교 환경공학과 Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University

\* Corresponding Author E-mail : sgjung@knu.ac.kr

park and to obtain a plan for improvement of the thermal environment. First, in the result of the analysis of the distribution characteristics of the park's main thermal environment factors and differences among types of space, temperature, relative humidity, and wind speed did not show a clear difference spatially. However, the median radiant temperature showed great differences according to the openness of the space and the covering material. According to the evaluation of thermal comfort by types of space based on derived thermal environmental factors, the PMV value of the square was the highest at 4.39, the paths showed 2.58, greenery 1.90, and resting spaces 0.42. In the result of the PMV regression model established for the evaluation of the significance of these thermal environment factors that decide thermal comfort, it showed that the relative significance to the PMV was as follows in decreasing order: median radiant temperature(1.084), wind speed(-0.280), temperature(0.013), and relative humidity(-0.009). When conducting a scenario analysis on the areas with need for improvement in thermal environment, it was found that through reflectivity, color and the change in the physical properties of packing materials the thermal comfort felt by the body could be improved, and it is believed that through this the improvement plan can be established.

**KEYWORDS :** *Urban Neighborhood Park, Thermal Environment, PMV*

## 서론

최근 국민의 소득 증대와 주 5일 근무제의 시행과 같은 사회의 변화는 보다 인간다운 삶에 대한 개인의 가치를 중요시하게 되었으며, 삶의 질에 대한 개인의 행복 기준선을 상승시키고 있다(Park and Hwang, 2011). 이러한 도시민의 삶의 질에 대한 관심은 여가에 대한 인식과 기대를 더욱 높이고 있으며, 외부활동에 대한 욕구를 증가시키고 있다. 특히, 도시공간의 대표적인 오픈스페이스인 도시근린공원은 도시민들에게 운동, 휴식, 이벤트 등과 같은 다양한 외부활동을 제공함으로써 삶의 질에 대한 욕구를 충족시키고 있다.

그러나 대부분의 도시근린공원은 이용자의 수요나 환경적 특성을 고려하여 계획되기 보다는 법적인 시설기준에 근거하여 계획되기 때문에 이용자의 주체인 시민들의 요구를 반영하지 못하고, 획일적인 공간구성으로 조성되는 경우가 많다(Seo, 2009; Sung *et al.*, 2009;

Jung, 2011). 특히, 외부활동에 있어 열환경은 시민들의 건강과 직결되기 때문에 매우 중요한 요소이나 공원 조성시 열환경을 고려하여 계획에 적용하는 사례는 거의 찾아볼 수 없다. 열환경이 열악한 공원의 경우 이용자의 심리적인 상태에 영향을 주어 공원에 대한 만족도를 떨어뜨려 이용성을 감소시키는 원인이 될 수 있다(Lim *et al.*, 2012; Son *et al.*, 2012).

일례로 여름철 주간에는 높은 기온과 약한 바람 등으로 인해 공간적으로 불균일한 복사조건을 갖기 때문에 인간에게 열적 스트레스를 가중시키며, 이로 인해 공원의 이용률은 현저하게 낮아지게 된다(WHO, 2004; Thorsson *et al.*, 2007). 따라서 인간이 체감할 수 있는 열적 스트레스와 관련된 열쾌적성에 관한 개념을 외부공간에 적용하여 열환경을 개선시킬 수 있는 방안을 수립해야 할 필요성이 있다.

도시공간의 열환경이 인간에게 미치는 영향에 관한 국외의 연구 사례를 살펴보면, 독일 및 유럽 여러 국가에서는 도시옥외공간의 구성에 있어 미기후를 고려하여 시민들에게 최적의 환

경을 제공하기 위한 목적으로 인체를 고려한 기후지도를 제작하고 있다(WHO, 2004). 또한 도시계획이나 외부환경 설계 시 에너지 밸런스 최적화 및 열환경 개선을 목적으로 미기후와 공간디자인을 접목한 다양한 연구가 진행되고 있다(Ozkeresteci *et al.*, 2003; Sebastian *et al.*, 2008; Wiston *et al.*, 2011).

한편, 국내의 경우 열환경이 인간에게 미치는 영향에 대한 연구보다 도시열섬 및 바람길과 같은 도시기후에 대한 연구가 주로 진행되고 있다. 그러나 실제 공간을 이용하는 이용자를 고려한 소규모 공간에 대한 연구가 부족한 상황이며, 공간의 물리적 특성을 고려할 뿐 인간의 감각과 행태에 영향을 미치는 열환경 인자들의 상호관련성을 간과하고 있다(Lee *et al.*, 2010). 이에 지역의 특성에 적합한 관리방안을 수립하고 실제적인 도시공간의 개선을 위해 필요한 소규모 공간에 대한 진단 및 평가에 관한 체계적인 연구가 필요한 실정이다(Park, 2012).

이러한 상황에서 최근 도시의 공간적 특성 및 열환경의 분석이 가능한 Envi-met, RayMan 등과 같은 시뮬레이션 프로그램 및 GIS와 같은 분석도구를 통해 도시의 기후 분석 및 열환경 평가에 관한 연구가 시도되고 있다(Ozkeresteci *et al.*, 2003; Thorsson *et al.*, 2004; Cha, 2007; Lim, 2009; Jeon *et al.*, 2010, Song and Park, 2013).

구체적인 연구를 살펴보면, Lee(2006)는 3차원 바람장 시뮬레이션인 CFD를 이용하여 산출된 기온, 습도, 풍속 자료를 토대로 열쾌적성 지수를 평가하고 공간적 분포 형태를 파악하였으며, 이를 통해 도시공간 구성요소와 열쾌적성과의 관련성을 분석하였다. Lee and Ryu(2010)는 옥외공간 조경 포장면의 종류에 따라 기온과 상대습도를 적용한 온열쾌적성 지수(Wet Bulb Global Temperature: WBGT)에서 유의한 차이가 나타나는 것을 확인하였다. Lee *et al.*(2010)은 도심 내 위치한 소규모 공간의 열환경을 개선하기 위해 공간구조 및 특성을 분석하고, 기상정보 및 공간의 물리적 정

보를 RayMan 시뮬레이션에 입력하여 열쾌적성 지수인 예상온열감(Predicted Mean Vote: PMV)을 평가하였다. 도시 열환경 및 그에 영향을 미치는 미기후와 관련된 국외의 연구를 살펴보면, Ozkeresteci *et al.*(2003)은 선형 공원을 대상으로 Envi-met 시뮬레이션과 Envi-met 결과를 시각화하는 LEONARDO를 실행하였으며, 이를 통해 에너지의 절감효과를 확인하였다. Chen *et al.*(2006)은 싱가포르 Bukit Batok Nature Park와 Clementi Woods Park의 두 공원을 대상으로 Envi-met, TAS 시뮬레이션 및 실측을 병행하여 공원 내부환경의 온도와 에너지 소비패턴을 분석하였으며, 주간과 야간에 공원 주변의 냉각효과를 확인하였다. Sebastian *et al.*(2009)은 공간의 변화 추세와 세밀한 미기후 시뮬레이션을 토대로 건물 및 수목의 형태를 보다 상세하게 구성하여 관련 연구를 수행하였다.

하지만 열환경 분야의 연구는 바람길 조성과 같은 도시규모 차원에서의 접근이 대부분을 차지하고 있어 실제 이용자들을 고려한 공간의 열쾌적성 개선에 관한 구체적인 대안을 마련하기에는 어려움이 있다. 따라서 도시근린공원과 같은 소규모의 공간에 대한 정량적 평가 및 분석에 관한 심도있는 연구가 필요하며, 열환경을 체계적으로 관리하고 개선할 수 있는 가이드라인이 수립되어야 할 것이다.

이에 본 연구에서는 공원의 열환경에 영향을 주는 인자를 정량적으로 도출하고 각 공간유형에 따른 열환경의 차이를 분석해 보고자 하였다. 또한 추출된 열환경 인자를 토대로 열쾌적성 지수를 산정한 후, 열쾌적성에 영향을 미치는 중요 요인을 파악하여 열환경적 측면에서 쾌적한 공원환경 조성을 위한 개선방안을 도출하고자 하였다.

## 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구에서는 효과적인 열환경 개선방안을

제시하기 위해 연구의 대상지로 대구광역시 중구 동인동에 위치한 국채보상기념공원을 선정하였다(그림 1). 국채보상기념공원은 국내 대도시 중 여름철 평균 기온이 가장 높은 대구광역시의 중심부에 위치하며, 주변 지역은 대부분 상업시설과 인공피복으로 이루어져 있다(Son et al, 2012). 또한, 공원 내 각종 공연 및 전시가 이루어지고 있어 낮 시간대 이용객이 많아 공원의 이용률 및 만족도에 있어 열환경에 대한 영향이 클 것으로 예상된다(Jung and Kim, 2003).

국채보상기념공원은 과거 대구여자고등학교와 대구시 지방경찰청 부지에 공원을 조성한 대표적인 사례이며, 면적은 약 43,000㎡로 도심내 녹지공간 확보 및 시민의 안락한 휴식공간 제공을 위하여 조성되었다(http://www.gukchae.com). 해당 공원은 지속적인 도시화로 인해 고층건물이 밀집한 지역에 쾌적한 공간을 제공하기 위해 조성되었으나 열환경 및 열쾌적성에 대한 고려가 없이 설계되었기 때문에 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

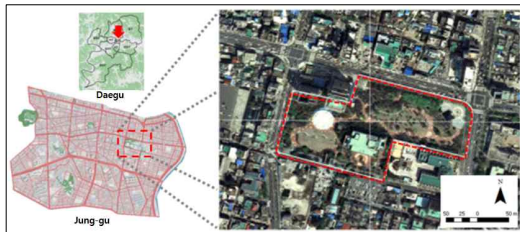


FIGURE 1. Location of the study area

## 2. 연구과정

본 연구는 쾌적한 도시근린공원 조성을 위한 공간 유형 및 토지피복에 따른 열쾌적성 평가에 관한 연구로 그림 2와 같은 연구 수행과정을 통해 분석 및 평가를 진행하였다. 연구과정은 데이터 구축, 열환경 및 열쾌적성 평가, 열쾌적성 결정요인 분석, 열환경 개선방안의 네 단계로 나눌 수 있다.

연구과정을 구체적으로 살펴보면, 먼저 현장 조사와 항공영상을 통한 공간 및 피복 유형, 녹

지 및 시설환경의 데이터를 구축하였다. 또한 Envi-met 시뮬레이션을 실시하여 기온, 상대습도 등과 같은 열환경 인자를 추출하였으며, 추출된 열환경 인자를 공간데이터로 변환하였다. 아울러 추출된 열환경 인자를 보정하기 위해 현장의 실측자료와 비교 분석하여 자료의 보정과정을 수행하였으며, 도시근린공원의 공간 유형 및 포장 특성에 따른 현황과 모델링의 기본 데이터베이스를 고려하여 2mX2m의 Vector GRID로 설정하였다.

둘째, 구축된 데이터를 기반으로 공간 및 피복 유형을 분류하였으며, 열환경 데이터를 바탕으로 공원 전체 열환경 인자의 분포 특성을 파악하였다. 열환경 인자를 토대로 열쾌적성 평가 지표인 PMV 지수를 산출하였으며, 이에 대한 분포 특성을 공간유형에 따라 비교 및 분석하였다.

셋째, 열환경 개선방안의 도출을 위해 열쾌적성 결정요인의 중요도 분석과 포장특성에 따른 평균복사온도 결정요인 분석을 실시하였다.

마지막으로 시나리오 분석에서는 열환경 개선을 위해 열쾌적성 평가에서 취약하게 평가된 공간을 중심으로 포장재질 변경의 3가지 시나리오를 설정하여 공간특성 변화에 따른 열쾌적성 변화패턴을 분석하였다.

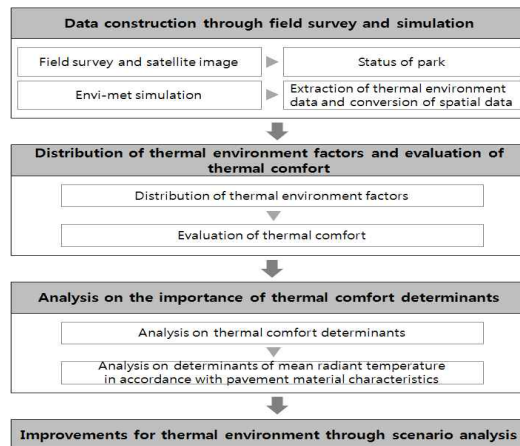


FIGURE 2. The performance process of study

### 3. 연구방법

#### 1) 현장조사 및 공간유형 분류

도시근린공원 내 공간의 유형에 따른 열환경의 특성을 알아보기 위해 시민들의 이용행태 및 공간적 특성에 따라 공간의 유형을 분류하였다(Park, 2002; Lee, 2008; Doo, 2010). 그 결과, 공원의 공간 유형은 광장, 건물, 녹지, 잔디공간, 동선, 휴게공간, 주차공간, 수공간 등 총 8개로 분류되었다(그림 3).



FIGURE 3. The classification of space type

공원의 열환경은 주변 시설이나 포장상태에 따라 영향을 많이 받기 때문에 피복재질의 유형에 따라 공원의 피복유형을 분류하였다(그림 4). 이를 위해 공원 설계도면, 고해상도 항공영상을 참조하였으며, 최종적으로 현장조사를 실시하여 대상 공원의 포장유형을 분류하였다. 공원의 포장유형은 점토블럭, 화강석판석, 현무암판석, 자연석부정형판석, 아스팔트 등과 수목이 식재된 녹지, 잔디 그리고 수공간 등으로 조사되었다. 이상의 자료를 바탕으로 열환경 평가 및 열쾌적성 모형 구축에 사용가능하도록 ArcGIS 9.3을 이용하여 피복 및 공간 유형의 속성자료를 입력한 뒤, 공간자료의 형태로 제작하였다(Kim, 2011; Lee *et al.*, 2011; Lee, 2011).

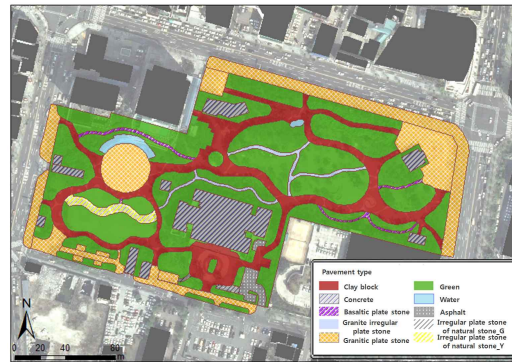


FIGURE 4. The classification of pavement type

#### 2) 열환경 데이터 추출

본 연구에서는 Envi-met 시뮬레이션을 사용하여 지면, 건물, 식생, 대기의 실제정보를 기반으로 기온, 풍속, 습도 등의 열환경 및 열쾌적성을 평가하였다.

분석범위는 대상지인 국제보상기념공원을 중심으로 하여 가로 478m, 세로 356m로 설정하였다. 시뮬레이션을 실행하기 위한 기본 현황파일인 .IN 파일은 현장조사 및 항공영상을 토대로 건물, 식생, 포장재질을 입력하여 생성하였으며, 기본설정 파일인 .CF 파일을 구축하기 위해 표 1과 같이 기초 데이터를 설정하였다. 시뮬레이션 기본 입력 데이터 중 지역의 평균 기온, 습도의 경우 분석일자에 맞춰 대기기상대 자료를 참조하여 입력하였으며, 시뮬레이션 분석일자는 열환경 실측조사 일자와 동일한 2012년 9월 2일로 하였다(<http://www.kma.go.kr>). 시뮬레이션 조건에서 분석시간대는 06시부터 18시까지 총 12시간으로 설정하였으며, 태양의 고도가 가장 높고 열환경이 취약한 시간대인 12시의 미기후 자료를 분석에 사용하였다.

시뮬레이션을 통한 열환경 인자의 데이터 추출은 실제와 비슷한 모델을 가상의 공간에 모의적으로 구축하여 공간의 열환경을 추정하는 것이다. 따라서 시뮬레이션으로부터 정확한 열환경 데이터를 추출하기가 어렵기 때문에 신뢰도를 높이기 위해서는 현장의 측정자료와 비교

하여 보정하는 작업이 필요하다(Thorsson *et al.*, 2007). 시뮬레이션 결과와 측정된 열환경 인자의 관계성을 분석하기 위해 Park(2013)의 선행연구를 참조하였으며1), 기온, 상대습도, 풍속의 경우 자료의 신뢰성을 높이기 위해 절대값에 의한 보정을 실시하였다(Kim and Yoon, 2011). 또한 시뮬레이션으로 도출된 평균복사온도와 측정된 데이터를 토대로 산출한 평균복사온도를 상관분석한 결과, 상관계수가 0.694로 높게 나타났으며, 1%의 유의수준 내에서 통계적으로 유의하였다. 이에 시뮬레이션과 실제 측정 결과를 통해 도출된 평균복사온도의 회귀식을 이용하여 시뮬레이션으로 추출된 평균복사온도의 보정을 수행하였다. 최종적으로 공간분석이 용이하도록 GIS에서 지원하는 래스터(raster) 형태로 자료를 변환하였다.

TABLE 1. Simulation conditions

	content
Location	35° 52' 08.13", 128° 36' 08.89"
Grid size	2m x 2m x 2m
Wind speed/ Wind direction	2.15m/s / 129.62
Roughness	0.1
Relative humidity	63.92%
Temperature	27°C(300.15K)

3) 열쾌적성 지수 산출

열쾌적성 평가지표인 PMV는 인체와 외부환경과의 열교환에 관한 생리학적인 이론에 근거하여 일정 환경 하에서 사람들이 체감하게 되는 평균적인 온열감을 말한다. PMV는 기온, 평균복사온도 등과 같은 열환경 인자와 활동지수, 의복지수 등을 활용하여 아래의 식을 통해 산출할 수 있다(ASHRAE, 1989; ASHRAE, 2005).

$$PMV = [0.303e(-0.036M) + 0.028] \times L$$

L : 인체 열부하(W/m<sup>2</sup>)  
M : 인체 대사량(W/m<sup>2</sup>)

$$L = (M - W) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_{cl} (t_{cl} - t_a) - 0.305 [5.73 - 0.007(M - W) - P_a] - 0.42 [(M - W) - 58.15] - 0.0173M(5.87 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a)$$

M : 인체 대사량(W/m<sup>2</sup>)  
ta : 기온(°C)  
tr : 평균복사온도(°C)  
fcl : 착의면적지수  
tcl : 착의 상태에서 외표면의 평균복사온도(°C)  
hc : 대류 열전달율(W/m<sup>2</sup> · °C)  
pa : 대기중의 수증기압(kPa)

산출된 PMV 지수는 표 2와 같이 열적 감각과 쾌적 감각으로 나타낼 수 있으며, 쾌적 범위를 -0.5~0.5로 정의하고 있다(ISO Standard, 7730, 1994; Pourshaghaghly and Omidvari, 2012).

TABLE 2. PMV index

PMV	Thermal sensation	Comfort sensation
3.5 <	very hot	very uncomfortable
2.5~3.5	hot	uncomfortable
1.5~2.5	warm	slightly uncomfortable
0.5~1.5	slightly warm	uncomfortable
-0.5~0.5	neutral	comfortable
-1.5~-0.5	slightly cool	slightly uncomfortable
-2.5~-1.5	cool	uncomfortable
-3.5~-2.5	cold	uncomfortable
< -3.5	very cold	very uncomfortable

Source : Gagge *et al.*, 1986; Yoram and Daniel, 2006.

4) 열쾌적성 중요요인 분석

열쾌적성 지표인 PMV값 도출을 위해 사용되는 열환경 변수는 평균복사온도, 기온 풍속, 상대습도이다. 대상지의 환경에 따라 변수의 민감도에서 차이가 나타날 수 있기 때문에 대상지의 각 열환경 인자가 열쾌적성에 미치는 영향을 파악할 필요성이 있다. 이를 파악하기 위해 사용하는 정량적인 방법으로는 선형회귀모형을 구축하여 계산식을 단순화하는 방법이 있

다(Kim *et al.*, 2006; Steven and Raymond, 2004; Moon *et al.*, 2007). 이 방법은 변수별 계수가 도출되어 PMV 값에 대한 각 열환경 요인의 민감도를 파악할 수 있기 때문에 효과적인 열쾌적성 개선방안을 제시할 수 있다. 따라서 열쾌적성인 PMV를 종속변수로, 열환경 인자들은 독립변수로 설정하여 다중회귀분석을 실시하였다.

또한 평균복사온도에 대한 포장재질의 영향성을 파악하기 위해 회귀분석을 실시하였다. 여기서, 평균복사온도에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 태양에서 오는 복사에너지이며, 태양으로부터 지표에 도달하기 전 주변의 건물이나 수목 등과 같은 차폐요소가 생길 경우 복사에너지가 차단되기 때문에 피복재질에 따른 차이 보다는 태양일사량의 차단 정도에 따라 평균복사온도가 크게 달라질 수 있다(Park, 2013). 이에 태양일사량의 정도를 효과적으로 통제할 수 있는 변수로 하늘시계지수(Sky View Factor, SVF)2)를 선정하였다. 태양직사광선의 양은 같은 피복재질이라 하더라도 SVF 값에 따라 달라지며, 평균복사온도 역시 다른 값으로 나타나기 때문에 SVF를 통제변인으로 사용하여 이에 대한 영향성을 제거할 필요가 있다. 최종적으로, SVF를 통제변수로, 포장재질을 독립변수로 설정하여 다중회귀분석을 실시하였다. 포장재질 변수는 명목수준의 척도로서 녹지를 기준변수로 하여 더미변수화하였기 때문에 결과의 해석은 녹지와 변수를 비교한 비표준화 계수를 통해 확인해 볼 수 있다.

5) 시뮬레이션을 통한 열환경 개선방안

열환경에 대한 개선방안을 제언하기 위해 열쾌적성이 취약하게 평가된 공간을 대상으로 시나리오 분석법을 이용하여 열쾌적성의 변화를 예측하였다(표 3).

시나리오 1은 포장재질의 물리적 특성을 변화한 경우이며, 화강석판석의 반사율을 기존의 0.2에서 0.4로 변경함에 따른 보행자들의 열스트레스 및 쾌적성에 대한 효과와 영향을 알아보고자 하였다. 시나리오 2는 기존 아스팔트

로 포장되어 있던 주차공간을 잔디포장으로 변경하였을 경우이다. 기존 아스팔트 포장에서 잔디포장으로 변경하여 열환경 및 열쾌적성 개선 효과를 나타낸다면 투수포장의 도입 필요성을 확보할 수 있을 것으로 판단되어 시뮬레이션을 설정하였다. 시나리오 3은 산책동선을 제외한 동선을 대상으로 색상을 변환한 경우로 설정하였다. 색상의 변경을 통한 열쾌적성의 효과를 확인하고, 실제 도시근린공원의 도입 가능성을 확보하고자 하였다.

TABLE 3. The configuration criteria for each scenario

Scenario	Setting standards	Changes	Target space for change
1	Changes in reflectivity	In the case where the reflectivity was changed from 0.2 to 0.4	Square
2	Changes in pavement materials	In the case where the material was changed from asphalt to grass pavement	Parking space
3	Changes in color	In the case where the color was changed from red to ivory	Traffic line

결과 및 고찰

1. 열쾌적성 평가

1) 열환경 인자의 분포 특성

열환경 인자의 분포 특성은 그림 5와 같다. 먼저 전체적인 기온의 분포 현황을 살펴보면, 전반적으로 큰 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 대기의 순환과정에 의한 영향에서 그 원인을 찾을 수 있는데, 지표면의 열기가 대기와 접하게 될 경우 열기가 쉽게 혼합되어 주변의 기온과 거의 유사하게 나타나기 때문이다(Park, 2009). 공간 내에서 기온의 큰 차이는 나타나지 않았으나 분포의 특성을 살펴보면, 공원의 중앙부는 상대적으로 기온이 낮게 나타났다. 이는 공원 중심부의 녹지에 기인한 영향으로 판단된다(Song and Park, 2012). 반

면 공원 중앙부를 제외한 북동쪽과 남서쪽의 경우 공원의 중앙부와 비교하여 높은 기온 분포를 보였다. 이는 고층건물과 상업시설이 밀집한 지역에 가까워질수록 인공 피복에 의한 복사열이 증가하여 상대적으로 기온이 높아진 것으로 판단된다(Cho, 1996; Lee; 2011).

상대습도는 대상지 전반에 걸쳐 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 습도는 수증기의 발생원 및 기온변화와 관련성이 있고 상대습도는 현재온도에서의 포화 수증기압에 대한 실제 수증기압의 비율로 정의되며, 온도와 반비례한다. 따라서 습도의 분포가 대상지 전역에 걸쳐 유사하게 나타난 것은 기온의 분포와 관련이 있다(Yoon, 2001). 상대습도의 분포 특성을 살펴보면, 공원의 내부에서는 상대적으로 높은 상대습도를 보였으며, 남서쪽의 공평로를 중심으로 낮은 상대습도 분포가 나타났다. 이러한 경향은 공원 내 수분함량이 높은 투수 포장 및 수목의 증발산효과와 도시화에 따른 콘크리트 등과 같은 피복재질에서 인공열이 발생한 결과이다.

풍속의 분포는 차폐요소에 따른 공간의 개방 정도에 따라 확연한 차이가 나타났다. 대상지를 중심으로 뻗어있는 6차선의 공평로와 동덕로는 양쪽으로 건물이 위치한 도시의 협곡구조를 형성하여 비교적 강한 풍속이 발생하는 것으로 분석되었다. 공원 중앙부의 경우, 건물이나 대교목과 같은 장애물이 비교적 적어 상대적으로 강한 풍속이 나타났다. 반면 공원의 북쪽에서는 약한 풍속의 분포가 나타났는데, 이는 공원의 외곽으로 7m 이상의 교목이 식재되어 있어 풍속이 저감된 결과로 판단된다.

풍속의 분포는 차폐요소에 따른 공간의 개방 정도에 따라 확연한 차이가 나타났다. 대상지를 중심으로 뻗어있는 6차선의 공평로와 동덕로는 양쪽으로 건물이 위치한 도시의 협곡구조를 형성하여 비교적 강한 풍속이 발생하는 것으로 분석되었다. 공원 중앙부의 경우, 건물이나 대교목과 같은 장애물이 비교적 적어 상대적으로 강한 풍속이 나타났다. 반면 공원의 북쪽에서는 약한 풍속의 분포가 나타났는데, 이는 공원의 외곽으로 7m 이상의 교목이 식재되어 있어 풍속이 저감된 결과로 판단된다.

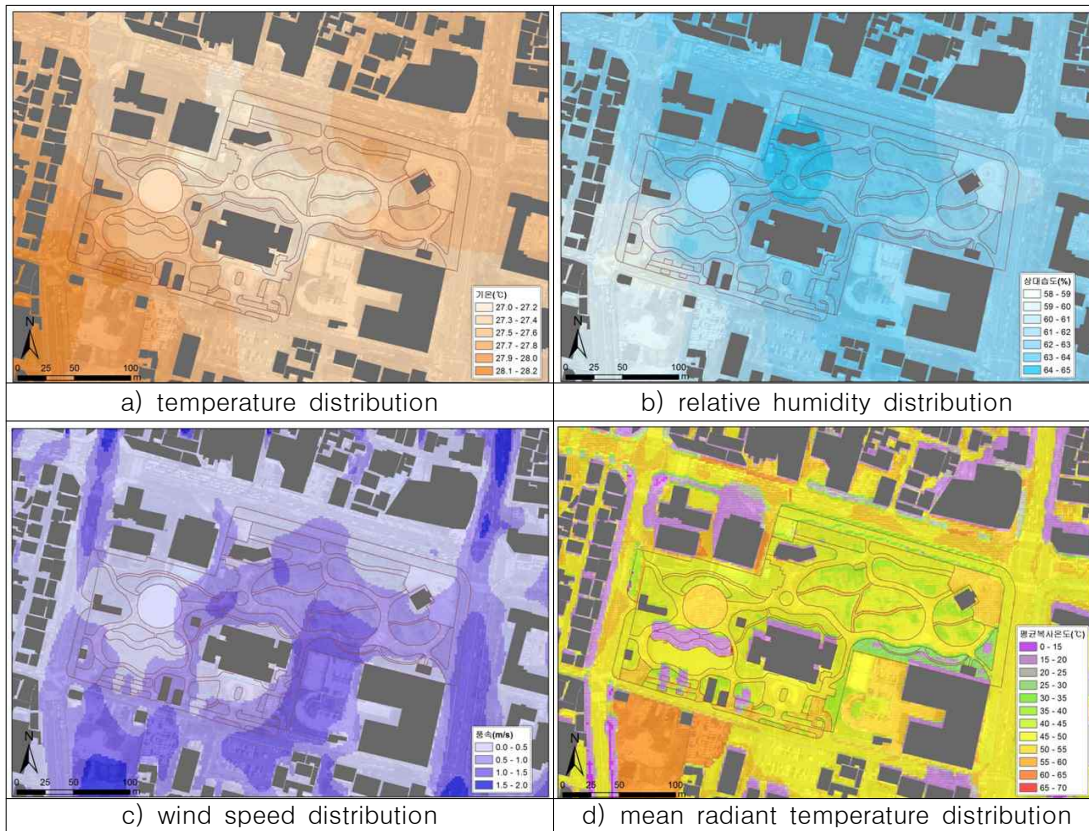


FIGURE 5. Thermal environment component distribution



평균복사온도는 특히 공간의 개방정도에 따라 큰 차이를 보였는데, 이는 평균복사온도가 복사에너지에 의해 직접적인 영향을 받기 때문이다. 다시 말해 개방된 공간의 경우 태양복사 에너지의 차단이 이루어지지 않고 그대로 유입되기 때문에 일사차폐가 이루어진 지역보다 평균복사온도가 높게 나타나는 것이다(Yoon and Song, 2000). Park(2013)의 연구 역시 태양복사에너지가 평균복사에너지에 가장 큰 영향을 미친다는 결론을 도출하였으며, 포장을 구성하는 재질에 따라라도 평균복사온도의 차이가 크다는 것을 확인하였다. 본 연구의 결과 역시 다른 열환경 인자보다도 평균복사온도에서 공간적인 편차가 큰 것으로 나타났다.

2) 열쾌적성 평가

추출된 열환경 인자를 토대로 열쾌적성 지수인 PMV를 산출한 결과, 그림 6과 같은 분포를 보였다. 주로 공원의 가장자리 지역에서 높은 PMV 값이 나타났으며, 잔디와 수목이 있는 지역은 비교적 낮은 PMV의 값을 가지는 것으로 평가되었다. 이러한 차이는 공간의 개방 유형에 따른 태양복사에너지량의 차이와 각 공간의 포장 및 주변 환경에 의한 영향으로 판단되며, 가장자리 부분의 경우 도로와 인접하여 아스팔트와 같은 인공피복 등으로 인해 높은 PMV가 나타난 것으로 사료된다(Lee et al., 2010).

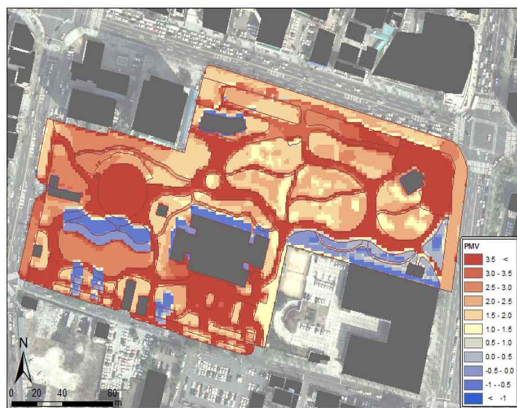


FIGURE 6. The PMV distribution

각 공간의 유형에 따른 PMV를 분석해 본 결과, 광장(4.39), 주차공간(3.66), 동선(2.58), 수공간(2.25), 잔디공간(1.91), 녹지(1.90), 휴게공간(0.42) 순으로 분석되었다(표 4). 화강석판석 포장으로 이루어진 개방된 공간인 광장의 경우, PMV 지수가 3.66으로 3.5를 초과하였으며, 이는 인체가 매우 강한 열 스트레스를 받는 것을 의미한다. 이로 인해 한 여름의 광장은 이용률이 매우 낮아질 수 있고 공간적 활용도가 떨어질 수 있기 때문에 해당 공간에 대한 열환경 개선방안의 마련이 시급함을 알 수 있다. 반면 동일한 화강석판석으로 포장되었지만 공간의 윗면이 차폐된 반개방형 공간으로 조성된 휴게공간의 경우, PMV 지수가 0.42로 가장 낮게 분석되었으며, PMV의 쾌적범위인 -0.5~0.5에 해당되어 휴게공간이 타 공간에 비해 상대적으로 쾌적한 공간이라는 것을 알 수 있다(Pourshaghaghly and Omidvari, 2012). 동선의 열쾌적성 지수는 2.58로 PMV 지수가 2.5에서 3.5 범위에 포함되어 더움과 불쾌함을 느끼는 상태로 해석할 수 있다. 따라서 시민들의 이동 및 통행을 목적으로 사용되는 동선의 열환경을 개선하여 인체가 받는 열 스트레스를 줄일 수 있도록 해야 할 것이다.

TABLE 4. The PMV distribution of each space type

Space type	Mean	Standard deviation
Square	4.39	1.60
Green space	1.90	1.04
Lawn space	1.91	1.62
Water space	2.25	0.69
Parking space	3.66	0.64
Resting space	0.42	1.88
Traffic line	2.58	1.52

2. 열쾌적성 결정요인 분석

1) PMV 결정요인 분석

공원의 열환경을 개선하기 위해서는 공원의 구성요소와 열환경과의 관계를 도출하고 어떠한 열환경 인자가 열쾌적성에 영향성을 미치는

TABLE 5. The multiple regression analysis of PMV and thermal environment variables

	Unstandardized coefficients	Standardized coefficients	t	Tolerance	VIF	R <sup>2</sup>	F
(Constant)	-4.853	-	-6.233**	-	-		
Mean radiant temperature	0.138	1.084	953.255**	0.784	1.276		
Wind speed	-1.366	-0.280	-242.757**	0.761	1.314	0.989	243942.315**
Temperature	0.107	0.013	5.141**	0.157	6.380		
Relative humidity	-0.012	-0.009	-3.455**	0.159	6.303		

\*\* :  $p < 0.01$

지 파악할 필요가 있다. 이에 열쾌적성인 PMV를 종속변수로, 나머지 평균복사온도, 기온, 풍속, 상대습도와 같은 열환경 인자들을 독립변수로 설정하여 다중회귀분석을 실시하였다.

다중회귀분석을 수행하기 전 독립변수 간에 상관관계를 나타내는 다중공선성을 확인하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 분산 팽창인자의 값이 최대 6.380이며, 공차한계는 최소 0.157로 분석되어 다중공선성의 문제가 없는 것으로 나타났다(Jang *et al.*, 2009; Lee, 2011). 단계적(Stepwise) 선택방식을 이용한 다중회귀분석에 의해 모형을 구축한 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.987로 PMV 값의 약 98.7%가 평균복사온도, 풍속, 습도, 기온 4개의 변수에 의해 설명될 수 있는 것으로 분석되었다(표 5).

각 변수의 중요성을 판단할 수 있는 표준화계수를 살펴보면, 평균복사온도(1.084)가 PMV에 대해 가장 중요도가 큰 변수로 나타났으며, 다음으로는 풍속(-0.280), 기온(0.013), 상대습도(-0.009)의 순으로 나타났다. 이는 PMV에 기온이 가장 큰 영향을 미치는 Moon *et al.*(2007)의 연구와는 차이가 있었으며, 이러한 결과는 연구대상지의 환경이 달랐기 때문인 것으로 사료된다. 선행연구는 실내공간을 대상으로 분석하였기 때문에 PMV에 대한 기온과 풍속의 상대적인 중요도가 높게 분석되었다. 반면 본 연구의 대상지는 옥외공간으로 공간유형에 따른 평균복사온도가 큰 차이를 가지는 것으로 분석되었기 때문에 PMV에 가장 큰 기여도를 나타내는 것으로 사료된다.

도출된 각 계수의 부호를 살펴본 결과, 평균복사온도와 기온은 PMV에 대해 양(+ )의 방향

으로 영향을 미쳐 PMV를 높이는 요인으로 나타났다으며, 풍속 및 상대습도는 음(-)의 상관관계를 나타내어 PMV를 낮아지게 하는 것으로 분석되었다. 이상의 결과를 통해 공원의 환경 내에서 PMV 값을 변화시키기 위해서는 평균복사온도를 조절하는 것이 가장 효과적이라는 것을 알 수 있었으며, 기온이나 상대습도보다는 풍속을 조절하는 것이 보다 효율적인 것으로 판단된다.

## 2) 포장특성에 따른 평균복사온도 결정요인 분석

공간 유형에 따라 열쾌적성의 차이가 크게 나타났으며, 열쾌적성 지수인 PMV 값에 가장 중요도가 큰 요인은 평균복사온도였다. 앞서 주요 열환경 인자의 공간적 분포 특성을 보면 기온과 상대습도, 풍속의 경우 대상지 내에서 큰 차이가 없었으나 평균복사온도의 경우 공간 유형에 따라 큰 차이가 나타났으며, 이를 통해 공원의 열환경을 개선하기 위해서는 평균복사온도의 변화에 대한 논의가 필요하다는 것을 알 수 있다. 따라서 평균복사온도에 대한 포장재질의 영향성을 판단하기 위해 회귀분석을 실시한 결과, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.711로 약 71.1%의 설명력을 가지는 것으로 나타났으며, 다중공선성의 문제는 없는 것으로 분석되었다. 또한 모든 변수들은 1%의 유의수준을 만족하는 것으로 나타났다(표 6). 각 변수들의 인과관계를 살펴보면, 물은 음(-)의 상관관계를 가지며, 물을 제외한 모든 변수는 평균복사온도와 양(+ )의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다. 이는 기준변수인 녹지와 비교했을 때, 수공간을 제외한

TABLE 6. The multiple regression analysis on the mean radiant temperature and the pavement material

	Unstandardized coefficients	Standardized coefficients	t	Tolerance	VIF	R <sup>2</sup>	F
(Constant)	16.272	-	97.636**	-	-		
SVF	39.994	-0.01	-2.036*	0.989	1.011		
Asphalt	8.283	0.785	142.014**	0.843	1.186		
Granite irregular plate stone	7.501	0.216	41.052**	0.928	1.077		
Irregular plate stone of natural stone_Y	2.824	0.108	19.438**	0.836	1.196	0.711	3064.872**
Basaltic plate stone	5.53	0.067	13.032**	0.981	1.02		
Granitic plate stone	7.216	0.065	12.637**	0.978	1.023		
Clay block	3.671	0.043	8.428**	0.992	1.008		
Irregular plate stone of natural stone_G	4.529	0.023	4.484**	0.955	1.047		
Water	-1.454	0.017	3.348**	0.995	1.005		

\*\* : p<0.01, \* : p<0.05

모든 유형의 포장은 그 공간의 평균복사온도를 증가시키는 요인으로 작용한다는 것을 의미한다. 만약 포장유형이 아스팔트인 경우 녹지보다 평균복사온도가 약 8.3℃가 높다는 것을 말하며, 공간의 열쾌적성에 부정적인 영향을 미치는 포장유형이라 할 수 있다. 회귀계수의 크기는 아스팔트가 가장 높고 다음으로 화강석부정형 판석, 화강석판석 등의 순으로 나타났다.

### 3. 시뮬레이션을 통한 열환경 개선방안

열쾌적성이 취약하게 평가된 광장, 주차공간, 동선의 공간을 대상으로 시나리오 분석법을 이용하여 열쾌적성 변화를 예측하였다. 이를 통해 실제로 포장재질의 변경이 열쾌적성에 미치는 영향을 분석하고, 이에 대한 적용성 및 계획방향을 검토하고자 하였다.

광장의 반사율을 변화시킨 시나리오 1을 적용하여 열쾌적성을 산출한 결과, 광장의 PMV 지수는 3.82로 분석되었으며, 변경 전의 PMV(4.39)에 비해 약 0.57 감소하는 것으로 나타났다(그림 7). 이는 입사되는 복사에너지의 양은 동일하지만 반사율에 따라 포장재질이 흡수하는 열에너지가 저감되어 표면의 가열이 기존보다 감소하였기 때문인 것으로 판단된다. 즉

반사율이 낮은 포장재질은 복사에너지를 포장재질이 대부분 흡수하여 높은 평균복사온도를 가지게 되는 것이다.

주차공간의 포장재질을 아스팔트에서 잔디로 변경한 시나리오 2를 통해 분석해 본 결과, 주차공간의 PMV 지수는 변경 전 3.66이었으나 변경 후 PMV 지수는 1.96으로 약 1.70이 감소하는 것으로 나타났다(그림 8). PMV 값을 통해 인간이 느끼는 열적 감각을 간접적으로 나타낼 경우, 기존 아스팔트 포장은 ‘매우 더움’ 과 ‘불쾌함’ 을 느낄 수 있는 공간이었다. 그러나 잔디포장으로 변경하였을 경우, ‘따뜻함’ 을 느끼는 공간으로 변화하였으며, PMV 지수가 3단계 하락하였다. 이러한 결과는 기존의 아스팔트 포장을 친환경적인 투수성 잔디포장으로 교체함에 따라 도시열섬저감 뿐만 아니라 인체의 체감적인 열쾌적성에도 긍정적인 효과가 있음을 의미한다.

시나리오 3의 열쾌적성 평가결과는 그림 9와 같으며, 붉은 계열의 블록포장일 때 동선의 PMV 지수는 3.83이었으나 상아색으로 변경한 후 PMV 지수는 3.14로 0.69만큼 감소한 것으로 나타났다. 이는 공원을 전반적으로 순환하는 동선이 ‘매우 더움’ 을 느끼는 공간에서 1단계

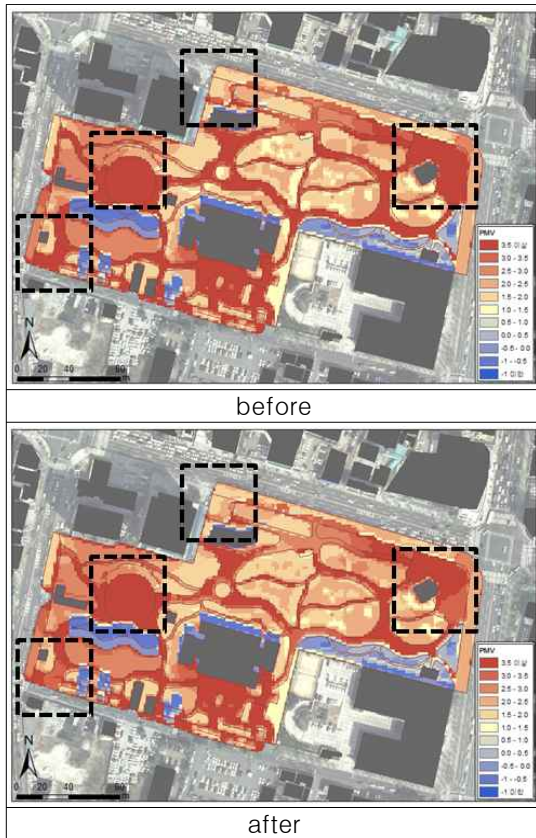


FIGURE 7. The change of thermal comfort according to the reflection rate change of pavement material of Square(Scenario 1)

낮아진 ‘더움’ 을 느끼는 공간으로 열적 체감이 변화되었다. Ryu and Um(2013)의 연구 역시 표면의 색상을 대상으로 표면온도에 대한 변화를 분석한 결과, 명도가 높은 색상은 다른 색상들과 비교하여 현저하게 낮은 표면온도를 나타내는 것을 확인하였으며, 이는 본 연구와도 유사한 결과이다.

다시 말해 물체의 표면뿐만 아니라 밝은 계열의 색상의 포장재질을 이용한 반사율의 증가는 지면에 도달하는 복사에너지가 열에너지로 전환되기 전에 반사하여 차단함으로써 변경 전보다 쾌적한 공간이 조성될 수 있음을 알 수 있다.

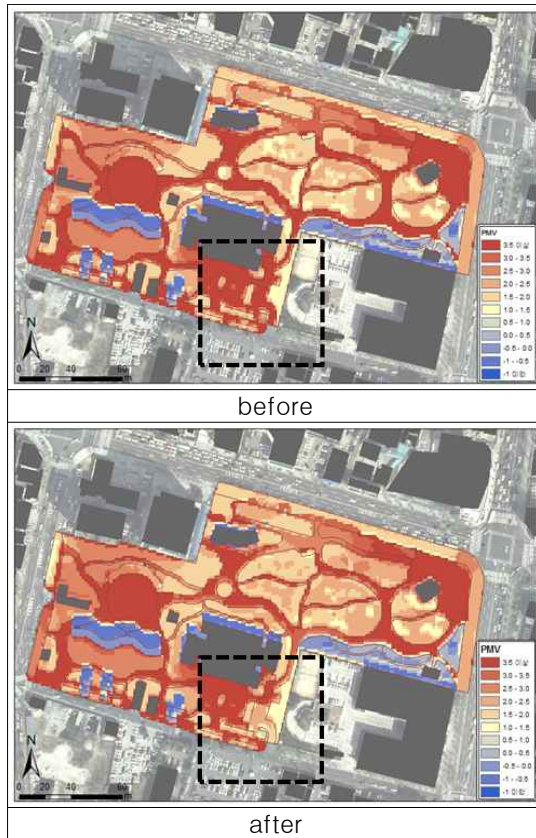


FIGURE 8. The change of thermal comfort according to the change of pavement material of parking Space(Scenario 2)

### 결론

본 연구는 도시 근린공원의 열쾌적성을 평가하고 이에 따른 열환경 개선방안을 도출하고자 연구를 진행하였다. 이를 위하여 먼저 대상지인 국채보상기념공원의 공간 유형을 분류한 결과, 광장, 휴게공간, 녹지, 동선, 수공간, 주차공간 등 8개의 유형으로 분류되었다. 또한 열환경에 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 피복특성에 따라 포장유형을 분류한 결과, 녹지, 물, 아스팔트, 점토블럭, 콘크리트, 현무암판석, 화강석판석 등 10개의 유형으로 분류되었다.

공원의 주요 열환경 인자의 분포특성 및 공간 유형별 차이를 평가한 결과, 기온, 상대습도,

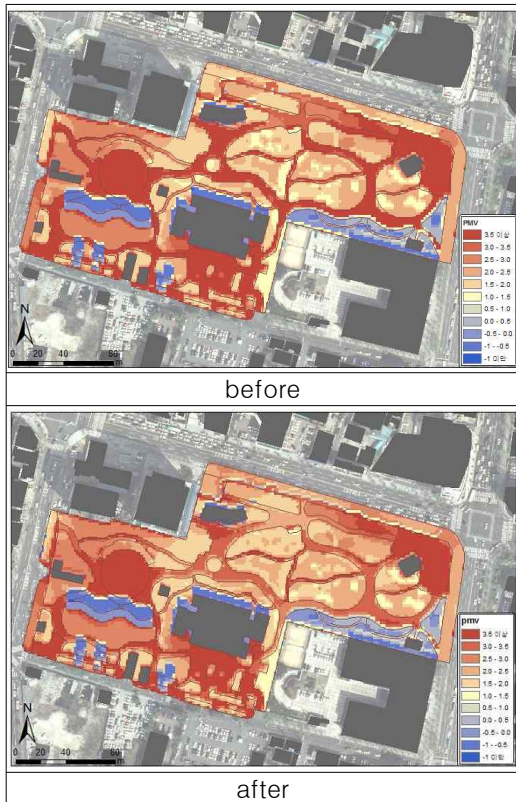


FIGURE 9. The change of thermal comfort according to the change of traffic line coloring(Scenario 3)

풍속의 경우 공간적으로 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 그러나 평균복사온도는 공간의 개방정도 및 포장재질에 따라 큰 차이를 나타내는 것으로 확인되었다. 앞서 추출된 열환경 인자료를 토대로 공간 유형에 따른 열쾌적성을 평가한 결과, 광장의 PMV 지수가 4.39로 가장 높게 나타났으며, 동선의 경우 2.58, 녹지 1.90 그리고 휴게공간은 0.42로 평가되었다. 이러한 결과를 통해 열쾌적성이 시민들의 공간이용 및 활용에 있어 영향을 미칠 수 있기 때문에 높은 PMV를 나타낸 공간의 시급한 대책마련이 필요함을 알 수 있었다.


이러한 열쾌적성을 결정하는 열환경 요인에 대한 중요도를 평가해보기 위하여 PMV 회귀모형을 구축한 결과, 평균복사온도(1.084), 풍속

(-0.280), 기온(0.013), 상대습도(-0.009)의 순으로 PMV에 대한 상대적인 중요도가 높게 나타났다. 이는 본 연구의 대상지가 옥외공간으로써 기온과 상대습도, 풍속은 공원 전역에 걸쳐 거의 유사하였으나 평균복사온도는 공간유형 및 포장재질에 따라 큰 차이를 보였기 때문이다. 따라서 피복재질에 따라 평균복사온도가 얼마나 변화하는지 알아보기 위해 평균복사온도 변화모형을 구축하였다. 그 결과 수공간과 녹지를 제외한 대부분의 포장재질이 유의한 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 분석되어 평균복사온도를 증가시키는 요인으로 작용한다는 것을 알 수 있었다.

열환경적 측면에서 개선이 필요한 지역을 대상으로 시나리오 분석을 실시한 결과, 광장 포장재질의 반사율을 변경한 경우, PMV가 4.39에서 3.82로 0.57이 감소하는 것으로 나타났다. 다음으로 동선의 색상 변화에 따른 PMV를 예측한 결과, 색상이 변경된 후 PMV가 0.69만큼 낮아졌다. 한편, 주차공간의 아스팔트포장이 잔디포장으로 변경되었을 경우 PMV가 1.70 감소하는 효과를 보였다. 이에 광장과 같은 개방적인 공간에서는 공간의 이용 및 특성을 고려하여 쾌적한 열환경에 기여할 수 있는 개선된 포장재질을 사용하며, 동선에는 포장재질의 색상 변경 방안을 고려할 수 있을 것이다. 그 외에도 주차공간을 투수성인 잔디포장을 적용한다면 이용적 측면뿐 아니라 쾌적한 도시환경 조성에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과를 통해 평균복사온도는 피복재질에 따른 큰 차이를 보였으며, 열쾌적성에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 그리고 반사율, 색상, 포장재질의 물리적 특성 변화를 통해 인체가 체감하는 열쾌적성을 향상시킬 수 있으며, 실제 공원에 이를 적용하여 개선안을 마련할 수 있을 것으로 판단된다. 열환경 및 열쾌적성은 이용적 측면에 있어서 공원녹지 기본계획, 환경보전계획 등의 수립시 기초자료로 활용될 수 있으며, 공원 내 시설부분의 열환경 개선을 통해 이용자들이 공간을 쾌적하게 이용하는데 기여할 수 있을 것이다. 또한 열환경 시뮬

레이션은 공원의 계획단계에서 열쾌적성을 증진시킬 수 있는 방안을 사전에 수립할 수 있으므로 공원의 목적에 따라 주 이용공간을 파악하고 해당 공간유형의 열쾌적성을 증진시켜 공원의 이용활성화 및 만족도 향상에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 본 연구에서는 시뮬레이션에 있어 특정 날짜에 국한된 점과 근린공원 한 곳을 대상으로 연구를 진행하였다는 점이 연구의 한계로 작용한다. 그러나 이는 공원의 열환경과 관련된 연구가 아직 초기단계이고 열쾌적성 개선방안을 더 구체적이고 정량적으로 제안하기 위해 연구의 범위를 축소한 것이다. 따라서 향후 옥외공간에 대한 추가적인 연구를 통한 비교연구를 진행하여 더 객관적인 방향으로 열환경 개선방안을 모색할 수 있도록 내용적 범위를 단계적으로 확대해 나가야 할 것이다. 

## 주

- 1) 열환경 인자의 현장측정은 박수국과 공동조사를 수행하였다.
- 2) Sky View Factor(SVF)란 하늘시계지수로 천공률이라고도 하며, 인접한 건축물이나 수목 등에 의해 차폐되지 않는 천공의 입체각 투사율을 말한다.

## REFERENCES

- ASHRAE. 1989. ASHRAE Handbook Fundamentals—chapter 8 thermal comfort. ASHRAE.
- ASHRAE. 2005. ASHRAE Handbook Fundamentals—chapter 8 thermal comfort. ASHRAE.
- Chen Y. and N. H. Wong. 2006. Thermal benefits of city parks. *energy and buildings* 38(2):105–120.
- Cha, J.G., E.H. Jung, J.W. Ryu and D.W. Kim. 2007. Constructing a green network and wind corridor to alleviate the urban heat-island. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(1):102–112 (차재규, 정응호, 류지원, 김대욱, 도시열섬현상 완화를 위한 녹지네트워크 및 바람길 구축, *한국지리정보학회지* 10(1):102–112).
- Cho, E.J. 1996. A study of surface temperature and its change with landuse change. Master Thesis, Ewha Womans University (조은주. 1996. 토지이용변화에 따른 지표온도 분포 및 그 변화에 관한 연구. 이화여자대학교 석사학위논문).
- Doo, C.E. 2010. The preference analysis for energy saving landscape architectural facilities : focusing on the Gimpo urban park. Master Thesis, Sangmyung University (두철연, 2010. 에너지 절약형 조경시설물의 선호도 분석 : 김포시 근린공원을 중심으로. 상명대학교 석사학위논문).
- Gagge, A.P., A.P. Fobelets and L.G. Berglund. 1986. A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Trans* 92(2):709–731.
- ISO Standard, 7730. 1994. Moderate Thermal Environments—Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort. Geneva: International Standards Organisation.
- Jang, S.W., S.H. Lee and J.J. Kim. 2009. Impact of cognition factors on an apartment housing price. *Architectural Institute of Korea* 25(3):207–214 (장세웅, 이상효, 김재준. 2009. 인지요인이 공동주택가격에 미치는 영향요인 분석연구. 대한

- 건축학회지 25(3):207-214).
- Jeon, M.Y., S.J. Lee, J.Y. Kim, S.B. Leigh and T.Y. Kim. 2010. Evaluation of the thermal environment and comfort in apartment complex using unsteady-state CFD simulation. *Korea Institute of Ecological Architecture and Environment* 10(4):67-73 (전미영, 이승재, 김지영, 이승복, 김태연. 2010. Unsteady-state CFD 시뮬레이션을 이용한 여름철 공동주택 외부공간의 온열환경 및 쾌적성 평가. *한국생태환경건축학회논문집* 10(4):67-73).
- Jung, A.R. 2011. A study on the realization of allteglichkeit in Seoul urban parks. Master Thesis, Sungkyunkwan University (정아름. 2011. 서울 도시공원의 일상성 구현에 관한 연구. *성균관대학교 석사학위논문*).
- Jung, K.D. and H. G. Kim. 2003. Study on the Use Behavior of Open Spaces of Urban Public Constructions. Daegu (정규대, 김형기. 2003. 도시공공건축물 오픈스페이스의 이용행태에 관한 연구. *대구광역시*).
- Kim, K.T. 2011. The assessment of urban environment and estimation of ecological index for eco-city plan. Ph.D. Dissertation, Kyungpook national university (김경태. 2011. Eco-City 조성을 위한 도시환경 평가 및 생태지수 산정. *경북대학교 박사학위논문*).
- Kim, T.Y. and H.S. Yoon. 2011. Skill assessments for evaluating the performance of the hydrodynamic model. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering* 14(2):107-113 (김태윤, 윤한삼. 2011. 해수유동모델 검증을 위한 오차평가방법 비교 연구. *한국해양환경공학회지* 14(2):107-113).
- Kim, U.C., J.J. Kim, B.U. Park, S.H. Park and M.S. So. 2006. *Modern Statistics*, Youngchi, Seoul.
- Lee, C.S. and N.H. Ryu. 2010. The influence of landscape pavements on the WBGT of outdoor spaces without ventilation or shade at summer midday. *The Korea Institute of Landscape Architecture* 38(2):1-8 (이춘석, 류남형. 2010. 조경포장이 옥외공간의 온열쾌적성지수(WBGT)에 미치는 영향. *한국조경학회지* 38(2):1-8).
- Lee, E.J. 2006. Relationship between urban spatial elements and the thermal comfort. Master Thesis, Hanyang University (이은주. 2006. 도시공간 구성요소와 열쾌적성과의 관련성 연구. *한양대학교 석사학위논문*).
- Lee, J.A., D.Y. Jung, J.H. Jung, S.M. Lee and Y.B. Song. 2010. An evaluation of human thermal comfort and improvement of thermal environment by spatial structure. *The Korea Institute of Landscape Architecture* 38(5):12-20 (이정아, 정대영, 정진형, 이상문, 송영배. 2010. 공간 구조별 열쾌적성 평가와 열환경 개선방안. *한국조경학회지* 38(5):12-20).
- Lee, S.G. 2011. A study on temperature variation and prediction. Master Thesis, Kyungpook national university (이슬기. 2011. 토지이용 유형에 따른 온도 분포 및 예측에 관한 연구. *경북대학교 석사학위논문*).
- Lee, S.G., S.G. Jung, W.S. Lee. and G.H. Park. 2011. A predictive model for urban temperature using the artificial neural network. *Korea Plan Association* 46(1):129-142 (이슬기, 정성관, 이우성,

- 박경훈. 2011. 인공신경망을 이용한 도시기온 예측모형 구축. *대한국토계획학회지* 46(1):129-142).
- Lee, W.S. 2011. The assessment of green environment and establishment of planning direction for the sustainable urban space. Ph.D. Dissertation, Kyungpook national university (이우성. 2011. 지속가능한 도시공간 조성을 위한 녹지환경 평가 및 계획방향 설정. 경북대학교 박사학위논문).
- Lee, Y.J. 2008. Measure for Extensive Reduction of the Grass Space of Urban Park. Gyeonggi Research Institute (이양주. 2008. 도시공원의 잔디공간 대폭 축소 방안. 경기개발연구원).
- Lim, J.Y. 2009. A study on the assessment tool for the outdoor thermal environment. Master Thesis, Sungkyunkwan University (임종연. 2009. 대류, 복사 연성 시뮬레이션을 통한 외부열환경 평가수법에 관한 연구. 성균관대학교 대학원 석사학위논문).
- Lim, Y.H., H. Kim and Y.C. Hong. 2012. Variation in mortality of ischemic and hemorrhagic strokes in relation to high temperature, *International Journal of Biometeorology* 57(1):145-153.
- Moon, Y.J., K.C. Noh and M.D. Oh. 2007. Simplification of PMV through multiple regression analysis. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration* 19(11):761-769 (문용준, 노광철, 오명도. 2007. 다중회귀분석을 통한 PMV 모델의 단순화. *설비공학논문집* 19(11):761-769).
- Ozkeresteci, I., K. Crewe., A. J. Brazel and M. Bruse. 2003. Use and evaluation of the envi-met model for environmental design and planning: an experiment on linear parks. *International Cartographic Association(ICA)* 21(1):10 -16.
- Park, G.S. and D.W. Hwang. 2011. Analysis of the quality of life and factors that determine the use of the hands-on health center. *Korea Academic Society of Tourism Management* 26(2):103-123 (박근수, 황대욱. 2011. 삶의 질과 건강체험장 이용결정 요인 분석. *대한관광경영학회 관광연구* 26(2):103-123).
- Park, H.W. 2002. Assessment for the use adequacy of space composition for urban parks. Master Thesis, Yeungnam University (박혜원. 2002. 도시공원에 있어서 공간구성의 이용적합성 평가. 영남대학교 석사학위논문).
- Park, S.Y. 2009. Analysis of cooling effect on heat island and sensible consciousness of neighborhood residents by urban parks. Master Thesis, Konkuk University (박선영. 2009. 도시공원의 열섬현상 저감효과와 근린주민의 체감의식 분석. 건국대학교 석사학위논문).
- Park, S.K. 2012. Basic Research and Analysis to Produce a Human Bio-Climatic Map. Daegu Gyeongbuk Development Institute (박수국. 2012. 인간 생기후지도 제작을 위한 기초 조사 분석. 대구경북연구원).
- Park, S.K. 2013. A way for creating human bioclimatic maps using human thermal sensation (comfort) and applying the maps to urban and landscape planning and design. *The Korea Institute of Landscape Architecture* 41(1):21-33 (박수국. 2013. 인간 열환경 지수를 이용한 생기후지도 작성 및 도시·조경계획 및 디자인에의 적용방안. *한국조경학*



- 회지 41(1):21-33).
- Pourshaghaghay, A. and M. Omidvari. 2012. Examination of thermal comfort in a hospital using PMVePPD model. *Applied Ergonomics* 43(6):1089-1095.
- Ryu, T.H. and J.S. Um. 2013. Evaluating changing trends of surface temperature in winter according to rooftop color using remotely sensed thermal infrared image. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System* 21(1):27-37 (류택형, 엄정섭. 2013. 원격 열화상을 이용한 지붕색상별 겨울철 표면온도 변화추세 비교. *한국지형공간정보학회지* 21(1):27-37).
- Sebastian H., B. Michael and D. Paul. 2008. Using envi-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. *Japanese-German Meeting on Urban Climatology* 18(5):307-312.
- Seo, J.Y. 2009. A study on the spatial organization improvement of the urban park: focusing on lawn and green areas. Ph.D. Dissertation, Sangmyung University (서정영. 2009. 도시공원의 공간구성 개선에 관한 연구. *상명대학교 박사학위논문*).
- Son, J.Y., J.T. Lee, G.B. Anderson and M.L. Bell. 2012. The impact of heat waves on mortality in seven major cities in Korea. *Environ Health Perspect* 120(4):566-571.
- Song, B.G. and G.H. Park. 2012. Analysis of heat island characteristics considering urban space at nighttime. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15(1):133-143 (송봉근, 박경훈. 2012. 도시공간을 고려한 야간시간대의 열섬특성 분석. *한국지리정보학회지* 15(1):133-143).
- Song, B.G. and G.H. Park. 2013. Air ventilation evaluation at nighttime for the construction of wind corridor in urban area. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 16(2):16-29 (송봉근, 박경훈. 2013. 도시지역의 바람길 조성을 위한 야간시간대의 공기순환성 평가. *한국지리정보학회지* 16(2):16-29).
- Steven, C.C. and P.C. Raymond. 2004. *Numerical Methodds for Engineers with Software and Programing Applications*. 4th ed. McGraw-Hill Korea.
- Sung, H.C., J.Y. Seo, Y.G. Lee, D.I. Kang, S.Y. Hwang and Y. J. Lee. 2009. User-driven Urban Park Development Plan. Gyeonggi Research Institute (성현찬, 서정영, 이용구, 강대인, 황소영, 이양주. 2009. 이용자 중심의 도시공원 조성방안. *경기개발연구원*).
- Thorsson, S., M. Lindqvist and S. Lindqvist. 2004. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Goteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology* 48(3):149-156.
- Thorsson, S., F. Lindberg, I. Eliasson and B. Holmer. 2007. Different methods of estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology* 27(14):1983-1993.
- WHO Regional Office for Europe. 2004. *Heat-Waves: Rskes and Responses*. World Health Organization.
- Winston, T.L. Chow, Ronald L. Pope Chris

- A. Martin and Anthony J. Brazel. 2011. Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: horizontal and vertical impacts. *Theoretical and applied climatology* 103(1-2):197-211.
- Yoon, Y.H. 2001. Comparison study of air temperature by green condition and relative humidity. *Turfgrass Society of Korea* 15(3):111-118 (윤용한. 2001. 녹지 조건에 따른 기온 및 상대습도의 비교연구. *한국잔디학회* 15(3):111-118).
- Yoon, Y. H. and T. G. Song. 2000. Factors affecting temperature of urban parks. *The Korea Institute of Landscape Architecture* 79(6):39-48 (윤용한, 송태갑. 2000. 도시공원의 기온에 영향을 미치는 요인. *한국조경학회지* 79(6):39-48).
- Yoram, E. and S. Moran. 2006. Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health* 44(3):388-398.
- <http://www.gukchae.com/>.
- <http://www.kma.go.kr>. 