도시공간을 고려한 야간시간대의 열섬특성 분석

송봉근¹ · 박경훈^{1*}

Analysis of Heat Island Characteristics Considering Urban Space at Nighttime

Bong-Geun SONG¹ · Kyung-Hun PARK^{1*}

요 약

본 연구는 창원시 도시지역을 대상으로 도시공간을 고려한 야간시간대의 도시열섬특성을 파악하기 위해 1:1,000 축척의 토지이용도 및 토지피복도와 DTM, 그리고 ASTER 위성영상에서 추출된 야간시간대의 지표온도자료를 활용하였다. 분석결과에 따르면, 야간시간대는 건물이 밀집되어있는 단독주거지역이 상업지역이나 공공시설지역보다 열섬강도가 높았고, 이것은 에너지소비에 의한 인공열 방출이 열섬형성에 많은 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 또한 이러한 점 때문에 공업지역에서는 건물은 가동시간에 따라 온도차이가 매우 크게 나타났다. 한편, 도시녹지지역과 하천지역은 도시열섬을 완화하는 냉각효과가 있는 것으로 확인되었으며, 열섬강도가 높은 지역에 녹지 및 수변공간의 조성으로 열섬강도를 낮출 필요가 있을 것으로 판단된다. 이상과 같은 결과는 야간시간대의 도시열섬을 완화하는데 있어 개발계획 수립시 효율적인 공간활용을 위해 기초자료로 이용될 것으로 사료된다.

주요어 : 도시열섬, 지표온도, ASTER 영상, 열섬강도

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the characteristics of urban heat island considering urban space at nighttime. We used to analyze landuse and landcover data of 1:1,000 scale, DTM, and surface temperature extracted ASTER image satellite of nighttime. According to the analytical results, heat intensity in single-family residential is higher than that in industrial area, public facility area, and commercial area because the anthropogenic heat by energy consumption is released. Likewise, the temperature difference were big in the buildings of industrial area depending on operating hours. Meanwhile, green and river area had cooling impacts mitigating the urban heat island.

2012년 1월 20일 접수 Received on January 20, 2012 / 2012년 3월 2일 수정 Revised on March 2, 2012 / 2012년 3월 5일 심사완료 Accepted on March 5, 2012

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

* 연락처 E-mail : landpkh@changwon.ac.kr

Therefore, we have to mitigate heat intensity through constructing green space and waterfront area. As mentioned above, we think that the results of this study will be used as base data for effective spatial planning when formulating development planning to mitigate urban heat island at nighttime.

KEYWORDS : *Urban Heat Island, Surface Temperature, ASTER Image, Heat Intensity*

서론

도시열섬(Urban heat island)현상은 도시 지역의 에너지소비에 의한 인공열 방출과 녹지지역의 감소, 콘크리트 및 아스팔트의 증가, 대기오염물질에 의한 온실효과 등의 여러 요인들이 상호복합적으로 작용하여 형성된다(Yamanoto, 2006). 이러한 현상은 약 100년 전부터 영국의 런던에서 처음 시작되었으며, 현재 전 세계적으로 도시지역에서 빈번히 형성되어 문제가 되고 있다. 최근에는 여러 연구 분야에서 도시열섬현상을 완화하기 위해 노력하고 있으며, 그 중에서 지리적 특성과 기후적 조건, 지표면 피복재질, 토지이용별 에너지소비형태 등 도시공간에 따라 열섬특성을 규명하여 이를 도시계획에 활용함으로써 개선 방안을 마련하고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다(Scherer, 1999; Oke, 2006).

Oke(1974)에 의하면, 도시열섬현상은 도시공간규모에 따라 미기후열섬(Micro-climate heat island)과 중기후열섬(Meso-climate heat island)으로 구분되며, Saaroni *et al.*(2000)은 도시지역과 외곽지역의 도시공간규모에 따른 온도 차이를 비교한 결과, 미기후규모에서는 약 10℃의 온도가 차이 나며, 중기후규모에서는 3~5℃ 정도 차이가 나므로, 도시 규모에 따라 열섬의 강도가 상이하다고 하였다. 또한, Yamaguchi(2006)은 미기후열섬은 건물의 공간형태와 재질, 그리고 에너지소비에 따른 인공열 방출 등으로 인해 지표면 열수지(Surface heat balance)의 불균형으로 발생되고, 중기후열섬은 도시지역과 외곽지역에서 미기후열섬의 차이에 의해 형성된다고 하였다. 그러므로 도시열섬현상을

완화하기 위해서는 도시공간규모에 따라 개선 방안의 마련이 필요할 것으로 보이며, 우선적으로 미기후열섬을 완화하기 위해 도시관리계획 범위차원에서 도시공간과 열섬현상과의 관계성을 파악해야 할 것으로 판단된다.

선행연구를 통해 도시공간과 열섬현상과의 관계성을 분석한 연구를 살펴보면 다음과 같다. Oke(1987)와 Givoni(1998), Giridharan *et al.*(2004)은 도시열섬에 영향을 미치는 도시공간요인에 대해 살펴보았으며, 도시의 크기와 인구밀도, 건물 밀집도, 표면재질, 용적률 등과 같은 도시공간특성이 인공열과 표면 알베도, 증발산 작용, 복사량 등의 물리적 성분에 변화를 일으키며, 결국 이러한 물리적 성분의 변화로 인해 도시열섬형성에 영향을 미친다고 하였다. 또한, Wienert and Kuttler(2001)은 도시의 열섬강도(Heat island intensity)와 인구수, 인공열, 위도(latitude)의 상관성을 분석하였으며, Yamamoto(2006)은 도시열섬이 형성되는 원인으로 도시지역의 에너지소비에 의한 인공열 방출과 녹지지역 감소에 의한 표면 증발산량의 감소, 콘크리트와 아스팔트 같은 건축재질로 열 축적량 증가, 밀집된 건물로 인한 열의 침체현상 등이 있다고 하였다. Giridharan *et al.*(2005)은 야간시간의 도시열섬에 미치는 영향인자들을 파악하기 위해 건물의 용적률과 표면 알베도, 천공율, 복사량, 불투수율, 녹지율 등을 독립변수로, 기상측정의 온도자료를 종속변수로 설정하여 회귀분석 및 상관성을 분석하였다. Mirzaei and Haghighat(2010)은 건물에너지소비와 외부 대기질을 컴퓨터 시뮬레이션과 현장측정을 통해 분석하고, 도시열섬과의 관계성을 규명하고자 하였으며, Akbari and Konopacki(2005)은 도시열섬완

화를 위한 정책적 전략을 수립하기 위해 토지이용별 에너지소비패턴과 건물의 구조 등이 도시열섬에 미치는 영향 등을 분석하였다. Stewart and Oke(2009)와 Oke(2006), 송봉근과 박경훈(2011)은 도시열섬 뿐만 아니라 도시기후를 개선하기 위해 공간계획단계에서 적극적으로 활용할 수 있는 자료를 마련하고자 기후요소와 도시공간특성을 반영하여 공간유형을 분류하였다. 이와 같이, 선행연구에서는 도시공간에 대해 다양한 접근방식으로 도시열섬과의 관계성을 규명하고자 하였으며, 또한 개발계획과의 연계성을 확보하고자 하였다.

한편, 기존의 도시열섬현상 분석에는 실제 기상장비에 의한 기온의 측정으로 행해졌으나, 최근에는 많은 연구에서 RS(Remote Sensing)의 분석도구를 활용한 위성영상자료로 지표복사온도를 추출하고 도시열섬현상을 분석하는 연구가 많아지고 있다(Voogt, 2002; Voogt and Oke, 2003). 그 이유는, 위성영상자료가 넓은 지역을 대상으로 열섬현상의 공간적 분포패턴을 쉽게 파악할 수 있으며, 공간분석을 통하여 지표온도와 도시공간간의 관계성을 분석하는데 활용할 수 있기 때문이다(Li *et al.*, 2011). 예를 들어, 위성영상자료에서 도시지역의 식생지수와 토지피복, 토지이용, 지표온도를 추출하여 이들의 상관성을 분석한 연구가 대표적이라 할 수 있다(Voogt and Oke, 2003; Buyantuyev and Wu, 2010). 하지만 아직까지 도시공간을 정밀히 분석한 고해상도의 영상자료를 통한 도시열섬분석은 자료의 한계로 쉽게 접근하지 못하고 있는 실정이다(이우성 등, 2010). 또한, 도시열섬은 일몰 후 3~5시간 후에 가장 뚜렷하게 나타나 열섬강도가 가장 높지만(Oke, 1981), 야간시간에 촬영된 영상을 확보하기 어렵기 때문에 대부분 주간시간에 촬영된 영상으로 분석한 연구가 많으며, 특히 국내 연구의 경우, 야간시간에 초점을 맞춰 도시열섬을 규명한 연구를 찾아보기 힘들 정도이다.

따라서 본 연구는 경상남도 창원시의 도시

지역을 대상으로 고해상도 항공사진을 바탕으로 제작된 1:1,000 축척의 토지이용도와 토지피복도, 그리고 라이다 영상으로 촬영된 DTM 자료를 활용하여 도시공간을 표현하고, 야간시간대에 촬영된 ASTER 위성영상으로 지표온도자료를 이용하여 도시공간과 지표온도의 특성을 분석하고 야간의 도시열섬현상을 규명하고자 하였다.

연구 방법

1. 대상지의 개요

본 연구의 대상지는 그림 1과 같이 경상남도 창원시의 도시지역을 중심으로 분석하였으며, 그 중에서 창원시 재난안전 대책본부의 기상측정시설이 설치되어있는 6개의 지점에서 토지이용을 고려하여 봉림동사무소와 중앙동사무소, 성산구청의 3개 측정지점에 대해 도시공간과 지표온도의 특성을 분석하였다.

창원시 도시지역의 특징을 살펴보면, 총 12개의 행정구역으로 구분되어 있으며, 면적은 125.4km², 인구는 약 42만 명이 거주하고 있다(창원시, 2010). 지형적으로는 정병산(567m), 천주산(656m), 불모산(802m)이 도시외곽지역에 분포하고 있어 분지형태를 띄고 있으며(송봉근, 2011), 바다가 인접하여 해양성 기후의 특성을 보이고 있다(이우성 등, 2010). 또한, 국가정책에 의해 계획도시로 조성되어 있어 용도지역 및 토지이용의 특성이 명확하게 구분되어 있으며, 주거지역과 상업지역, 공공시설지역 등이 집약적으로 분포하고 있다. 이는 토지이용적인 측면에서는 효율적일 수 있으나, 도시열섬형성을 가중시키는 역할을 할 것으로 판단되므로 기후적인 측면에서는 부정적인 공간형태를 띄고 있는 것으로 사료된다. 그리고 인근의 진해구와 마산회원구, 김해시가 위치하여 출퇴근 시간에 차량통행량이 매우 많으며, 이로 인해 대기질의 악화가 우려되고 있는 실정이다.

FIGURE 1. The study area

2. 연구수행과정

본 연구는 그림 2와 같은 과정으로 진행하였다. 우선 3개의 기상측정지점에 대해 buffer 분석을 실시하여 반경 200m 내에 포함되는 지역을 분석하고자 하였다. 그리고 창원시의 1:1,000 토지이용도와 토지피복도, DTM(Digital Terrain Models)을 이용하여 도시공간데이터를 구축하였고, 그 중에서 토지이용도와 토지피복도를 재분류하여 공간해상도 1m×1m의 래스터(raster) 형식의 데이터로 변환하였다. 또한, ASTER 위성영상의

열적외선 밴드를 추출하여 계산식에 의해 지표온도를 분석하였다.

다음으로 GIS 프로그램의 profile graph를 이용하여 도시공간과 지표온도간의 패턴을 분석하였으며, 이를 통해 도시공간과 지표온도간의 특성을 파악하였고 야간시간대의 도시열섬의 특성 및 개선방안에 대해 알아보았다.

3. 분석방법

1) 도시공간자료 구축

도시공간자료는 해상도 10cm급의 고해상도

FIGURE 2. The process of this study

항공사진을 바탕으로 제작된 1:1,000 축척의 토지이용도와 토지피복도, 그리고 라이더(Lidar) 촬영에 의해 지표면상의 지형지물을 공간해상도 1m×1m로 분석한 DTM(2008년 11월 19일 촬영)을 이용하였다. 토지이용도와 토지피복도는 분류체계에 의해 각각 59개와 38개의 속성으로 이루어져 있으며, 토지이용도는 단독주거지역과 공동주거지역, 상업지역, 공공시설지역, 공업지역, 산림, 하천, 도로, 농업지역의 9개 속성으로, 토지피복도는 건물과 포장지역, 식생지역, 초지지역, 수면지역의 5개 속성으로 재분류하였다(창원시, 2009). 그리고 재분류된 속성별로 코드번호를 부여하였으며, 코드번호를 기준으로 벡터형식의 데이터를 공간해상도 1m×1m의 래스터 데이터 형식으로 변환하였다.

2) 지표온도 분석

도시지역의 야간시간대의 열섬특성을 파악하기 ASTER 위성영상의 열적외선 밴드를 이용하여 지표온도를 추출하였다. 영상은 2010년 6월 3일 밤 10에 촬영된 2B03 Product 영상(공간해상도 30m×30m)을 활용하였는데, 이는 TIR(Thermal Infrared Radar) 데이터 값에 기본적인 대기 보정처리 후 방사휘도 Product를 기초로 하여 열적외 센서에 입사하는 열적외 방사량으로부터 지표온도를

DN(Digital Number)로 나타내는 영상이다. 따라서 식 (1)에 의해 지표온도가 계산되어지며, PG-STEAMER 4.2의 영상처리 프로그램으로 기하보정 및 정사보정을 실시하였으며, 또한 실제 관측 자료와의 정확성 향상을 위해 표 1과 같이 토지이용유형별 방사율을 적용하였다(이우성 등, 2010; 송봉근, 2011). 한편, 분석된 지표온도는 ArcGIS 9.2의 Neighborhood statistics 기능을 이용하여 영향범위를 고려한 평균 지표온도를 분석하여 1m×1m의 공간해상도로 구축하였다.

$$temperature(^{\circ}C) = DNvalue \times 0.1 - 273.15 \quad (1)$$

TABLE 1. Emissivity by Landuse

Landcover	Emissivity
Water surface area	0.98
Vegetation area	0.98
Urban area	0.95
Barren area	0.92
Agricultural area	0.98
Grassland area	0.96

3) 공간특성과 지표온도와 관계분석

도시공간과 지표온도의 특성분석은 3개의 측정지점 주위 반경 200m 내의 지역을 대상으로 하였으며, 토지이용도와 토지피복도, DTM, 지표온도 자료를 이용하여 profile

(a) Bonglim-dong office (b) Jungang-dong office (c) Sungsan-gu office

FIGURE 3. Analysis methods of relations between urban spatial and surface temperature

graph의 패턴을 통해 분석하였다. profile graph는 그림 3과 같이 북(N)에서 남(S)으로, 그리고 서(W)에서 동(E)으로의 두 가지 경우로 라인을 설정하여 divide 기능으로 각각 1m 간격으로 구분하였으며, 각 라인별로 ArcGIS 9.2의 zonal statistics 기능을 활용하여 1m 간격별 평균지표온도와 토지이용 및 토지피복의 코드번호, DTM의 평균고도 값을 분석하여 이를 그래프로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 기상측정지점별 도시공간특성

대상지점 주위의 토지이용과 토지피복, 그리고 DTM의 도시공간특성을 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 우선 봉림동사무소는 주위에는 단독주거지역이 밀집되어 있으며, 남쪽 방향으로 차량 통행량이 많은 대로가 위치해 있고, 창원천이 흐르고 있다. 건물은 일정한 배열형태로 배치되고 있고 저층 주택이 대부분을 차지하고 있으며, 건물의 높이에 대한 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 또한, 인근에 체육공원과 도로녹지가 위치하고 있어 열섬완화에 효과가 있을 것으로 판단된다(그림 4(a)).

중앙동사무도지역은 북쪽으로 단독주거지역이, 서쪽으로 도시녹지지역, 동쪽과 남쪽에 중심상업지역이 위치해 있다. 중심상업지역의 건물들은 대부분 10층 이상의 고층빌딩으로 이루어져 있으며, 밀집도가 매우 높아 거리협곡(street canyon)지역을 형성하고 있다(그림 4(b)). 거리협곡지역은 지표면에서 대기로 방출되는 열을 가두어 열이 지표면 부근에서 침체되는 현상이 발생되며(Buyantuyev and Wu, 2010), 풍향이 건물에 직각으로 유입될 경우 바람은 약화되어 공기가 정체된다(윤일희, 2003). 따라서 지표면 부근의 열이 외부로 유출되지 못하고 축적되어 도시열섬강도가 매우 높을 것으로 판단된다. 한편, 주위에 도시녹지가 분포하여 인근의 단독주거지역과 상업지역의 열섬현상을 완화할 수 있을 것으로

생각된다.

성산구청 주위에는 차량 통행량이 많은 도로와 남천, 대규모 공업지역이 인접해 있으며, 도로를 넘어서는 도시녹지공원이 위치해 있다. 공업지역에 위치한 건물들을 보면, 밀집도는 낮지만 건물 면적이 크며 높이가 다양하다. 또한, 건물재질이 대부분 철판으로 이루어져 있어 주간과 야간의 태양복사열의 유무에 따라 건물외벽의 온도가 상이할 것으로 판단된다. 그리고 인근에 위치한 도시녹지지역은 대기정화작용과 열섬완화를 위한 냉각효과가 있을 것으로 생각된다(그림 4(c)).

2. 도시공간별 지표온도 특성 분석결과

profile graph를 통해 기상측정지점별로 도시공간에 따른 지표온도의 특성을 분석한 결과는 그림 5와 같다. 우선 봉림동사무소지역의 N→S 방향을 살펴보면, 토지이용은 단독주거지역과 도로, 봉림동사무소가 위치한 공공시설지역, 상업지역, 하천 등이 분포하고 있으며, 고도는 약 8m의 평지가 대부분인 것으로 나타났다. 단독주거지역의 건물 높이는 약 8m 정도이며, 상업지역의 건물이 약 10m 정도로 가장 높았다. 지표온도는 도로지역에서 최고 19.1℃로 가장 높았고, 남쪽의 단독주거지역에서 최저 18.6℃로 가장 낮았으며, 온도의 차이는 크지 않는 것으로 확인되었다. 도로지역에서 온도가 가장 높은 이유는 차량 통행에 의해 발생하는 인공열의 영향 때문인 것으로 판단되고, 남쪽방향에 위치한 단독주거지역은 주위에 하천이 인접해 있어 온도가 낮은 것으로 생각된다. W→E 방향에서는 단독주거지역과 도로, 공공시설지역, 상업지역, 단독주거지역, 도로 순으로 토지이용이 분포하고 있으며, 건물의 밀집도가 높고 단독주거지역에서 온도가 높은 것으로 나타났다. 이는 야간시간에는 가정주택에서 전력소모량에 따른 인공열의 발생이 상업지역이나 공공시설지역보다 많고 가구 수가 많을수록 그에 따라 소비되는 에너지양이 많기 때문인 것으로 생

FIGURE 4. Spatial characteristic by target situations

각된다(그림 5(a)).

중앙동사무소의 N→S 방향은 단독주거지역과 도로, 중앙동사무소가 위치한 공공시설지역, 도로, 상업지역 순으로 토지이용이 분포하

고 있다. 고도는 약 10~15m 정도이고, 남쪽으로 고도가 낮은 경사를 이루고 있다. 건물 높이는 단독주거지역의 건물들은 대체로 5m의 저층건물을 형성하고 있고, 상업지역의 건

SFR: Single-family residential, MFR: Multi-family residential, PFA: Public facility area, IA: Industrial area, CA: Commercial area, GA: Green area

FIGURE 5. Features of urban spatial and surface temperature on target situations

물높이는 24m인 것으로 확인되었다. 지표온도는 단독주거지역에서 약 21°C 이상의 높은 온도 분포를 이루고 있으며, 반대로 공공시설

지역에서 19.5°C로 낮은 온도를 형성하고 있고 온도 차이는 1.5°C로 크지 않은 것으로 나타났다. W→E 방향은 도시녹지와 도로, 공공

시설지역, 상업지역 등이 분포하고 있으며, 상업지역에서 온도가 높게 형성되어 있는 반면, 도시녹지지역에서는 온도가 약 18°C 로 낮게 나타났다(그림 5(b)). 그러므로 도시에 분포하는 녹지지역은 냉각효과를 가져와 도시열섬을 완화하는데 효과적인 것을 알 수 있다(Wong and Yu, 2005; Oliveira *et al.*, 2011).

성산구청지역의 N→S 방향은 도시녹지지역에서 시작하여 도로와 성산구청이 위치한 공공시설지역, 하천, 공업지역을 통과하고 있으며, 고도는 약 35~40m 사이로 나타났고, 건물과 도시녹지지역을 제외하고 대부분 평지를 이루고 있다. 지표온도는 성산구청에서 약 19.5°C 로 가장 높았고, 공업지역의 건물에서 14.5°C 로 가장 낮아 온도차이가 5°C 정도로 매우 큰 것으로 나타났다. 이렇게 공장건물의 온도가 낮은 이유는 대부분 철판 재질로 이루어져 있어 태양복사가 약한 야간에는 아스팔트나 콘크리트의 재질보다 건물표면의 온도가 상대적으로 급격히 떨어지며, 또한 공장가동률이 낮아 인공열 방출이 적기 때문인 것으로 판단된다. W→E 방향은 하천과 공동주거지역, 도로, 성산구청이 위치한 공공시설지역, 도로, 도시녹지지역 순으로 토지이용이 이어지고 있고, 고도는 동쪽으로 갈수록 높아지는 경사를 이루고 있다. 지표온도는 동쪽의 도시녹지지역에서 식생의 영향으로 인해 약 16.5°C 로 가장 낮으며, 가장 높은 성산구청지역과의 온도차이는 약 3°C 로 나타났다(그림 5(c)).

이상의 결과를 정리해보면, 도시녹지지역은 단독주거지역이나 상업지역, 공공시설지역 등 시가화가 형성되어 있는 지역보다 온도가 낮은 것으로 나타나, 아스팔트와 콘크리트 등 인공적 재질에 의해 도시지역이 열섬을 형성하고 있는 것으로 확인되었다. 또한, 좁은 공간 내에서도 온도차이가 최고 5°C 정도까지 차이가 나는 열섬강도가 매우 높은 지역도 있었다. 이러한 현상은 야간시간대에 발생할 수 있는 도시열섬특성으로 간주되는데, 야간시간에는 에너지소비에 의한 인공열 방출이 도시

열섬형성에 많은 영향을 미치는 것으로 판단되어 건물의 밀집도가 높은 단독주거지역이 상업지역이나 공공시설지역보다 에너지소비량의 집중도가 높아 비교적 온도가 높으며, 열섬강도도 높은 것으로 생각된다. 따라서 냉각효과가 있는 녹지공원이나 수변공간 등을 조성하여 열섬강도를 낮춤으로서 도시열섬을 완화할 필요가 있을 것으로 사료된다. 한편, 이우성 등(2010)의 연구에서 주간시간대의 토지이용유형별 열환경 특성을 분석한 결과, 공업지역의 온도가 가장 높은 것으로 나타났지만, 본 연구에서는 공업지역의 열섬강도는 낮으며, 특히 건물이 위치한 곳은 오히려 냉섬현상(cooling island)이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 공업지역의 도시열섬효과에 대한 연구를 위해서는 공장가동에 대한 요인을 조사할 필요가 있을 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 도시공간과 야간시간대의 도시열섬특성을 파악하기 위해 창원시의 봉림동사무소와 중앙동사무소, 성산구청의 기상측정시설이 설치된 지역의 반경 200m를 대상으로 1:1,000 축척의 토지이용도와 토지피복도, DTM, 그리고 ASTER 위성영상에서 추출한 지표온도를 활용하여 분석하였다. 분석결과를 살펴보면 다음과 같다.

우선 봉림동사무소 주위에는 단독주거지역이 밀집되어 있으며, 상업지역과 하천, 대로가 분포하고 있다. 대체로 평지를 이루고 있으며, 건물은 저층건물이 대부분을 형성하고 있다. 지표온도의 차이는 약 0.5°C 로 크지 않은 것으로 나타났으며, 단독주거지역이 상업지역이나 공공시설지역보다 비교적 온도가 높은 것으로 확인되었다. 이는 가정주택의 전력사용에 따른 인공열의 발생량에 차이가 있기 때문으로 판단된다. 중앙동사무소지역은 단독주거지역과 도로, 공공시설지역, 중심상업지역이 분포하고 있다. 대체로 남쪽이 낮은 경사를 이루고 있으며, 상업지역의 건물은 약 40m의

고층빌딩이 밀집되어 분포하고 있어 거리협곡 지역을 형성하고 있었다. 또한, 단독주거지역에서 지표온도가 21℃로 가장 높게 나타났으며, 녹지지역 주위는 식생에 의한 냉각효과로 온도가 낮은 것으로 확인되었다. 성산구청지역은 인근에 대규모 공업지역과 차량통행 빈도가 매우 높은 도로, 그리고 도시녹지, 하천 등이 분포하고 있었다. 대체로 평지를 이루고 있으며, 지표온도는 성산구청이 위치한 건물에서 19.5℃로 가장 높았고, 공업지역의 건물에서 14.5℃로 가장 낮았다. 그 이유는 공장 건물의 재질이 철판으로 이루어져 있어 태양 복사의 유무에 따라 온도의 변화가 심하며, 또한 야간시간에는 공장이 가동되지 않아 산업활동에 따른 인공열 방출이 적기 때문으로 판단된다.

이상의 결과에서 알 수 있듯이, 야간의 도시열섬현상은 도시공간에 따라 다양한 특성을 가지는 것으로 나타났으며, 특히 건물의 이용 목적과 밀집된 정도에 따른 에너지소비 형태에 의해 많은 영향을 받는 것으로 확인되었다. 따라서 향후에는 각 가정과 상업시설의 에너지소비량과 그에 따라 발생하는 인공열의 발생 정도와 이를 공간화한 자료로 구축하여 도시열섬완화방안을 마련할 필요가 있을 것으로 판단된다. 예를 들어, 가정주택이 밀집되어 있는 단독주거지역이나 아파트 등 공동주거지역, 그리고 중심상업지역, 공장가동률이 높은 공업지역 등은 야간에 에너지소비가 높아 열섬강도가 매우 높을 것으로 예상되므로, 이러한 지역에 냉각효과가 있는 소규모 녹지공원이나 옥상녹화, 수변공간 등을 조성하여 열섬현상을 완화할 수 있을 것이다. 또한, 건물과 녹지 공간 등의 도시공간요소들을 적절히 활용하여 열섬현상을 완화할 수 있는 최적의 공간배치 형태를 마련할 필요가 있을 것으로 보이며, 이러한 결과들은 신도시를 개발하거나 구도시를 재계획하고자 할 경우 도시공간의 열섬현상을 완화하는데 있어 환경 및 녹지계획 수립에 기초자료로 활용될 것으로 사료된다. **KAGIS**

참고문헌

- 송봉근. 2011. 도시기후 및 대기질 개선을 위한 통합적 공간환경평가 및 계획기법의 개발. 창원대학교 대학원 석사학위논문 37-38쪽.
- 송봉근, 박경훈. 2011. 도시기후 형성 요소를 고려한 공간유형 분류-창원시를 대상으로-. 환경영향평가 20(3):1-10.
- 윤일희 역. 2003. 미기상학개론, 제2판. 시그마프레스. 428쪽.
- 이우성, 정성관, 박경훈, 김경태. 2010. 친환경적 공간계획을 위한 도시의 열환경 분석. 한국지리정보학회지 13(1):142-154.
- 창원시. 2009. 창원시 환경지도 제작 및 GIS 구축 연구보고서.
- 창원시. 2010. 창원시 2010년 통계연보.
- Akbari, H. and S. Konopacki. 2005. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. Energy Policy 33:721-756.
- Buyantuyev, A. and J. Wu. 2010. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. Landscape Ecology 25:17-33.
- Giridharan, R., S.S.Y. Lau and S. Ganesan. 2005. Nocturnal heat island effect in urban residential developments of Hong Kong. Energy and Buildings 37:964-971.
- Givoni, B. 1998. Climate Considerations in Building and Urban Design. Wiley. USA.
- Kato, S. and Y. Yamaguchi. 2007. Estimation of storage heat flux in an urban area using ASTER data. Remote

- Sensing of Environment 110:1-17.
- Li, J., C. Song, L. Cao, F. Zhu, X. Meng and J. Wu. 2011. Impacts of landscape structure on surface urban heat island: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment* 115:3249-3263.
- Mirzaei, P.A. and F. Haghighat. 2010. Approaches to study urban heat island-abilities and limitations. *Building and Environment* 45:2192-2201.
- Oke, T.R. 1976. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat island. *Atmospheric* 14:268-277.
- Oke, T.R. 1981. Canyon geometry and the urban heat island : comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology* 1:237-254.
- Oke, T.R. 1987. *Boundary Layer Climate*. Methuen. USA.
- Oke, T.R. 2006. Initial guidance to obtain representative meteorological observation at urban sites, Instruments an observing methods report 81. World Meteorological Organization pp.9-11.
- Oliveira, S., H. Andrade and T. Vaz. 2011. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: a case study in Lisbon. *Building and Environment* 46:2186-2194.
- Saaroni, H., E. Ben-Dor, A. Bitan and O. Potchter. 2000. Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel. *Landscape and Urban Planning* 48:1-18.
- Scherer, D. 1999. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment* 33:4185-4193.
- Stewart, I., and T.R. Oke. 2009. Newly developed "Thermal climate zones" for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer, The Timothy R Oke Symposium. American Meteorological Society Annual Meeting, Phoenix, AZ.
- Voogt, J.A. 2002. Urban heat island, In I. Douglas. *Causes and consequences of global environmental change* 3:660-666.
- Voogt, J.A. and T.R. Oke. 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86:370-384.
- Wienert, U. and W. Kuttler. 2001. Statistical analysis of the dependence of urban heat island intensity on latitude. in: *Fourth Symposium on Urban Environment*.
- Wong, N.H. and C. Yu. 2005. Study of green area and urban heat island in a tropical city. *Habitat Internatioanl* 29:547-558.
- Yamamoto, Y. 2006. Measures to mitigate urban heat islands. *QUARTERLY REVIEW* 18:65-83. **KAGIS**