부산지역 도시 열섬의 변화경향 분석 (2006-2010)

도우곤 · 정우식^{1)*}

부산광역시 보건환경연구원, ¹⁾인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터
(2012년 4월 20일 접수; 2012년 5월 21일 수정; 2012년 6월 20일 채택)

An Analysis on the Variation Trend of Urban Heat Island in Busan Area (2006-2010)

Woo-Gon Do, Woo-Sik Jung^{1)*}

Busan Metropolitan City of Institute of Health and Environment, Busan 613-806, Korea

¹⁾Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

(Manuscript received 20 April, 2012; revised 21 May, 2012; accepted 20 June, 2012)

Abstract

The annual variations of the urban heat island in Busan is investigated using surface temperature data measured at 3 automatic weather stations(AWSs) for the 5 years period, 2006 to 2010. Similar to previous studies, the intensity of the urban heat island is calculated using the temperature difference between downtown(Busanjin, Dongnae) and suburb(Gijang). The maximum hourly mean urban heat island are 1.4°C at Busanjin site, 2300LST and 1.6 °C at Dongnae site, 2100LST. It occurs more often at Dongnae than Busanjin. Also the maximum hourly mean urban heat island appears in November at both sites. The urban heat island in Busan is stronger in the nighttime than in the daytime and decreases with increasing wind speed, but it is least developed in summer. Also it partly causes the increasement of nighttime PM10 concentration.

Key Words : Urban heat island, Annual variation, Intensity

1. 서론

지난 수 세기 동안, 도시화가 진행된 지역은 그렇지 않은 교외 지역보다 기온이 높다는 사실이 알려져 왔다. 이처럼 도시가 급속히 성장하면서 발생된 각종 인공열과 대기오염물질로 인해 도시상공의 기온이 주변 지역보다 높아지는 현상을 도시열섬(Urban Heat Island, UHI)이라 하는데, 도시상공 일정고도에서의

등온선이, 지형도에서 섬(island)이 있는 곳에서의, 등고선 형태와 비슷한 모습을 하고 있어 이렇게 불리고 있다(김, 2010). 일반적으로 도심과 교외지역의 기온 차로써 표현되는 도시열섬의 강도는 주로 구름이 없고 바람이 약한 날의 야간에 강하게 나타나며, 여름철에 약하고 겨울철 늦은 저녁에서 밤 동안에 가장 크게 나타나는 특징이 있다(장과 김, 1991; 한 등, 1993).

도시열섬은 도시지역의 에너지 수지의 변질 때문에 발생한다. 에너지 수지의 변질은 자연의 지표면에 인공구조물이 건설되고, 인간 활동이 수반되어 도시 지역에서 과다한 양의 열이 방출되기 때문에 나타난다. 즉, 도시지역의 인구 및 산업 활동의 집중에 따른 난방 및 차량 등에 의한 인공열의 증가, 건물 등 구조

*Corresponding author : Woo-Sik Jung, Department of Atmospheric Environment Information Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea
Phone : +82-55-320-3932
E-mail : wsjung1@inje.ac.kr

물에 의한 거칠기 길이의 변화, 표면의 열적 성질의 차이, 그리고 지표면에서의 증발잠열의 차이 등이 도시 열섬의 원인으로 작용할 수 있다. 도시열섬 효과의 강도에 영향을 미치는 변수는 여러 가지가 있으며, 일부는 지역적 배경에 관련이 있고, 나머지는 지역적 배경을 바탕으로 수행되는 활동의 정도에 관계가 있다. 그 중에서도 가장 중요한 것은 도시의 규모와 인구밀도인데, 도시가 크고 인구밀도가 높을수록 보다 큰 열섬 유발 효과를 갖는 것으로 알려져 있다. 즉, 도시열섬 현상으로 인해 대도시에서는 강우량의 변화가 나타날 수 있으며 도시지역 내에서 특유한 바람의 순환계가 형성되어 대기오염 물질의 확산 특성이 교외 및 시골지역과 다르게 나타날 수 있게 되는 것이다. 이로 인하여 도시지역의 고농도 대기오염 현상이 발생하기도 한다.

도시화로 인한 도시열섬 형성 및 특징에 대해서 외국에서는 수십여 년 전부터 연구가 되어왔으며 우리나라에서도 대도시와 일부 중소 도시를 대상으로 다양한 연구가 이루어져 오고 있다. 장과 김(1991)은 서울의 도심-외곽지역의 기온차이와 기상요소, 대기오염도와의 상관성을 분석하였으며 한 등(1993)은 계절별 실측을 바탕으로 부산지역 도시열섬의 공간 분포를 파악하고 CO, CO₂ 측정결과와 비교하였다. 이 등(1993)도 춘천지역에서 실측치를 바탕으로 도시열섬의 존재를 확인하였으며 윤 등(1994)은 대구지역에 이와 반(2004)은 전주 지역에 이 방법을 적용하였다. 최근에는 관측기술의 향상으로 자동기상관측장비나(구 등, 2007) 인공위성 측정결과를 이용하기도 하며 토지이용 상태와 연결하여 도시열섬의 발생 원인을 분석하기도 한다(윤 등, 2008). 국외의 경우 Jauregui(1997)은 도심과 교외지역에서의 1년간 기온 측정자료를 바탕으로 Mexico 지역의 도시열섬을 분석하였으며 Klysik과 Fortuniak도(1999) 3년간의 관측자료를 바탕으로 Poland 지역의 도시열섬 현상을 분석하였다. Wong과 Yu(2005)는 자동차를 이용한 온도 측정으로 Singapore 지역의 공간적인 온도 분포를 파악하고 도심과 교외의 온도차이가 최대 4.01℃까지 나타남을 밝혔으며 Huang 등(2008)은 중국 Nanjing 지역 4개 관측지점의 자료를 이용하여 토지이용 형태와 온도 차이를 분석하기도 하였다.

부산지역의 경우 자동기상관측장비를 이용하여 1

년간 기온변화의 공간분포를 분석한 연구가 있으나(김과 홍, 2000) 최근의 자료를 반영한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 부산지역 도시열섬 현상을 파악하기 위하여 기상청에서 운영 중인 AWS의 2006~2010년, 5년간 시간별 기온 측정 자료를 이용하여 최근의 도시열섬 발생빈도를 파악하고 기상요소 및 대기오염도와의 상관성을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 2006년부터 2010년까지 부산지역 도심지와 교외지역의 기온차이를 분석하기 위하여 기상청에서 운영하고 있는 자동기상관측장비(Automatic weather system, 이하 AWS) 자료를 이용하였다. 부산지역에서 운영 중인 12개 AWS 지점의 토지이용 상태를 확인하고 구, 군별 인구밀도를 고려하여, 도심과 교외지역으로 구분할 수 있는 3개소를 선정하였다(Table 1, Fig. 1). Table 1과 Fig. 1에 각각 'U1'과 'U2'로 나타낸 '부산진'과 '동래' 지점은 부산의 도심지에 위치하고 있으며(Fig. 1) 인구 밀도가 다른 지역에 비해 비교적 높은 지역으로써 도심지역을 대표하고 있다고 판단되어 도심지 분석지점으로 선정하였으며, 'R1'으로 나타낸 '기장' 지점은 부산의 외곽지역인 기장군 일광면에 위치하여 주변이 산림으로 둘러싸여 있어(Fig. 1) 도심지에 비해 도시화 비율이 낮은 지역으로 전형적인 교외지역을 대표하고 있다고 판단하여 비교분석 대상으로 선정하였다. 즉, 부산지역의 토지피복 분류도(Fig. 1)에 나타난 바와 같이 부산진과 동래 지점은 비교적 부산지역의 중심부인 시가지에 위치하고 있고, 기장 지점은 부산의 동쪽, 산림지역에 속하는 곳으로 도시화의 영향이 적은, 교외지역에 속하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 1. The list of AWSs which are used in this study

ID	Description	District
U1	AWS site, Busanjin-gu	Urban
U2	AWS site, Dongnae-gu	
R1	AWS site, Gijang	Rural

Fig. 1. Land use categories in Busan and locations of AWSs for investigation(○) and Busan meteorological observatory(■).

본 연구에서는 도심지역과 교외지역의 기온차이로 설명되는 도시열섬 강도를 파악하기 위하여 기존의 연구와 동일한 방법으로 도심지역에 위치한 관측지점과 교외지역에 위치한 관측지점 사이의 기온차를 이용하여 분석을 수행하였다(한 등, 1993; Klysik과 Fortuniak, 1999). 따라서 도심지에 위치하는 AWS(U1, U2)와 교외지역에 위치하는 AWS(R1)의 기온차로써 분석을 수행하였으며, 2006년~2010년 동안의 시간별 기온자료를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 지점별 평균기온 분포

2006년부터 2010년까지 5년간 각 조사지점별 월평균기온과 연평균기온을 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이, 각 지점별 연평균기온 분포를 살펴보면, 도심지역인 동래(U2)와 부산지역의 대표값

인 부산지방기상청은 2007년 크게 상승하였다가 2008년부터 약하게 감소하는 경향을 보이고 있고, 또 다른 도심지역인 부산진(U1)은 2008년 평균기온이 14.2℃로 낮게 나타났으나 2009년부터 다시 증가한 경향을 보였다. 교외지역에 위치한 기장(R1)은 2007년 14.8℃로 조금 상승하였다가 이후 지속적으로 감소하는 경향을 보여, 도심지역인 부산진, 동래, 그리고 부산지방기상청과 다른 연 변화 경향을 보이고 있다. 이에 따라 부산진과 기장, 그리고 동래와 기장의 연평균기온의 차이($\Delta T(U1-R1)$, $\Delta T(U2-R1)$)도 2006년 각각 0.3, 0.5℃에서 2010년 1.3, 0.9℃로 최근 들어 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 물론, 지점마다 기온 변화경향이 조금씩 차이가 있으므로 단지 기온차이의 증가가 도시열섬의 강화를 의미하는 것이라고 단적으로 판단하기에는 더 정밀한 정량적 분석이 필요하지만 전반적으로 도심지역이 교외지역보다 점차적으로 높은 기온의 경향을 나타내고 있음은 정성

Table 2. Monthly mean temperature(°C) at each site at 2006 to 2010. The BMO denotes Busan meteorological observatory, The ΔT denotes difference of U1 and R1, U2 and R1 respectively

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean
2006	U1	3.4	3.6	7.7	12.4	17.2	21.5	23.9	27.9	21.2	19.4	12.1	5.3	14.7
	U2	3.6	4.1	8.1	11.8	17.8	22.1	24.1	28.1	21.2	19.4	12.2	5.5	14.9
	R1	3.7	4.2	8.4	13.2	17	21.1	23.5	26.7	20.5	18	11.2	4.5	14.4
	BMO	3.9	4.1	8	12.1	16.3	20.2	22.6	27.4	21.3	20	13.1	6.7	14.7
	$\Delta T(U1-R1)$	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	0.2	0.4	0.2	1.2	0.6	1.4	0.9	0.9	0.3
	$\Delta T(U2-R1)$	-0.1	-0.1	-0.3	-1.3	0.8	1.0	0.5	1.4	0.7	1.4	1.0	1.1	0.5
2007	U1	4.2	7.0	8.7	13.4	18.2	21.1	23.8	27.4	22.6	16.9	9.4	4.2	14.8
	U2	4.7	7.3	9.0	14.0	19.7	22.2	24.6	28.0	22.9	17.8	10.5	6.2	15.6
	R1	3.7	6.1	8	13.2	18.5	21.1	23.6	27.2	22.4	17.3	9.8	6	14.8
	BMO	5.2	7.8	9.1	13.1	17.7	20.4	22.7	26.7	22.8	18.3	11.9	7.3	15.3
	$\Delta T(U1-R1)$	0.5	0.9	0.7	0.3	-0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	-0.3	-0.5	-1.8	0.0
	$\Delta T(U2-R1)$	0.9	1.2	1.0	0.9	1.2	1.1	1.0	0.8	0.5	0.5	0.7	0.2	0.8
2008	U1	1.3	0.5	7.7	13.0	17.9	20.1	26.7	25.5	23.0	18.5	10.6	5.5	14.2
	U2	3.6	3.0	9.3	14.6	19.1	21.0	28.1	26.3	23.5	18.8	11.1	5.8	15.4
	R1	3.6	3	8.8	13.6	17.3	19.9	26.5	25.2	22.4	17.4	10.1	5.3	14.5
	BMO	3.5	8.3	9.7	14.3	18.5	21.4	23.3	25	22.7	18.8	11.1	5.4	15.2
	$\Delta T(U1-R1)$	-2.3	-2.5	-1.1	-0.6	0.6	0.3	0.1	0.3	0.6	1.0	0.4	0.2	-0.2
	$\Delta T(U2-R1)$	0.0	0.0	0.6	1.0	1.8	1.1	1.6	1.1	1.2	1.4	1.0	0.6	0.9
2009	U1	2.1	7.4	9.1	14.2	19.4	22.5	24.5	25.7	23.1	18.8	11.0	5.1	15.3
	U2	2.4	7.9	9.8	14.8	19.8	22.9	24.5	25.5	22.7	18.2	10.7	4.8	15.4
	R1	2	7.3	8.9	13.4	18	21.5	23.3	24.5	21.7	16.9	9.9	4.4	14.4
	BMO	4.7	3.8	9.5	13.9	17.4	19.7	25.6	25	22.9	19.1	11.6	6.6	15
	$\Delta T(U1-R1)$	0.1	0.2	0.2	0.8	1.4	1.1	1.1	1.2	1.4	1.9	1.1	0.7	0.9
	$\Delta T(U2-R1)$	0.4	0.6	0.9	1.4	1.8	1.4	1.2	1.0	1.0	1.4	0.8	0.4	1.0
2010	U1	2.8	5.7	8.1	11.8	18.2	23.1	26.2	28.8	24.7	18.4	10.7	4.8	15.3
	U2	2.7	5.4	7.8	11.4	18.0	22.8	26.2	28.4	23.9	17.7	9.9	4.6	15.0
	R1	2.2	4.8	7.3	10.6	16.9	21	25.3	27.3	22.8	16.9	8.8	4.2	14.1
	BMO	3	5.8	7.8	11.5	17.2	22	25.2	27.9	24.1	18.3	11.3	5.2	15
	$\Delta T(U1-R1)$	0.6	0.9	0.8	1.2	1.2	2.1	0.9	1.5	1.9	1.5	1.9	0.6	1.3
	$\Delta T(U2-R1)$	0.5	0.6	0.4	0.8	1.0	1.8	0.9	1.1	1.1	0.8	1.1	0.4	0.9

적 특성으로 파악할 수는 있다.

연도별로 좀 더 자세히 살펴보면, 2006년의 경우 4월까지는 교외지역인 기장의 기온이 높게 유지되었으나, 5월부터 도심지역인 부산진과 동래의 기온이 상승하기 시작하여, 12월까지 이들 도심지역의 월평균 기온이 기장보다 높게 나타났다. 2007년에는 동래의 연평균 기온이 15.6°C로 부산지방기상청보다 다소 높았으며, 부산진과 기장의 연평균 기온은 14.7°C로 부산지방기상청보다 낮게 나타났다. 동래와 기장의 연평균 기온차는 0.8°C로 동래에서 높게 나타났으며, 부산진과 기장의 연평균기온은 차이가 없는 것으로 나타났다. 월평균 기온의 차이는 부산진에서는 5월, 10월,

11월, 12월을 제외하고는 기장보다 높게 나타났으며, 동래에서는 2007년 전월에서 기장보다 높은 기온을 보였다. 2008년은 다른 연도에 비해 연평균기온이 낮았던 연도였다. 동래의 연평균기온은 15.4°C로 부산지방기상청보다 약간 높았으며 기장의 연평균 기온은 14.5°C로 부산진의 14.2°C보다 높게 나타났다. 부산진은 2007년 10월부터 2008년 4월까지 교외지역보다 낮은 월평균기온을 보였으며 동래는 2008년 3월부터 기장보다 높은 월평균기온을 나타내었다. 2009년은 부산진과 동래의 연평균 기온이 각각 15.3°C, 15.4°C로 부산지방기상청보다 높게 나타났으며 기장은 14.4°C로 가장 낮은 기온을 보였다. 따라서 도심과 교외

의 기온차이도 각각 0.9℃(부산진-기장), 1.0℃(동래-기장)로 도심지역에서 높은 연평균기온을 보였으며 연중 높은 기온을 유지 하는 것으로 나타났다. 2010년에도 2009년과 유사하게 도심지역인 부산진과 동래에서 교외지역인 기장보다 높은 연평균기온과 월평균 기온을 나타내었다.

3.2. 시간대별 도시열섬 강도

도심지역인 부산진(U1), 동래(U2)와 교외지역인 기장(R1)의 시간대별 평균기온과 기온차를 Table 3과 Table 4에 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 연구기간동안 야간시간대를 중심으로 도심지역이 교외지역에 비해 높은 기온을 보이는 비교적 강한 도시열섬이 형성되고 있음을 알 수 있다.

부산진의 경우 약 19시 이후부터 교외지역인 기장보다 기온이 높아지기 시작하여 야간동안 지속되었으며, 오전 8, 9시부터 기장의 기온이 높아지면서 도시열섬이 사라지는 것을 알 수 있다. 그러나 2010년에는 좀 더 빨라져 12시 이후부터 기온이 높아지기 시작하여 오전 8시까지 지속되고 있다. 연구기간동안 평균기온차이가 가장 크게 나타난 시간대는 23시로 약 1.4℃의 차이가 나타남을 알 수 있다. 동래 지점은 부산진과 달리 2007년부터 거의 모든 시간대에서 기장보다 높

은 기온을 보이고 있다. 2006년에는 18시부터 기장보다 기온이 높게 나타나기 시작하여 오전 8시까지 높은 기온을 보였으며, 2007년에는 낮 시간대인 13시부터, 2008년 이후에는 11시부터 기장보다 기온이 높게 나타났다. 평균적으로 기온차이가 가장 큰 시간대는 21시로 약 1.6℃ 차이가 나타나는 것으로 나타나 부산진보다 다소 큰 것을 알 수 있다. 따라서 2006년과 2010년을 제외하면 부산진에서는 저녁 시간 이후 도시열섬이 나타나며, 동래에서는 낮 시간대부터 교외지역인 기장보다 높은 기온이 나타나서 지역별로 도시열섬 발생 및 강도에 차이가 있음을 알 수 있다.

Fig. 2와 Fig. 3은 시간대별 평균 도시열섬 강도의 월별 분포를 나타낸 것이다. 그림을 보면, 부산진의 경우 10, 11월에 기장과 기온차이가 2.4℃로 가장 크게 나타났고 시간대별로는 21시 이후에 나타남을 알 수 있다. 전반적으로 가을철에 해당되는 10, 11월 야간시간대를 중심으로 열섬강도가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 봄철에 해당하는 5월에도 야간시간을 중심으로 최고 1.7℃까지 기온차이가 나타나고 있다. 야간 시간대에 뚜렷하게 나타난 도시열섬은 낮 시간대에는 사라졌으나 6~9월 동안에는 낮 시간대에도 약하게 부산진의 기온이 높게 유지 되고 있음을 알 수 있다.

Table 3. Hourly mean of urban heat island intensity($\Delta T(U1-R1)$, °C) from 2006 to 2010

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2006	1.2	1.1	1.1	1	1	1	1	0.9	0.3	-0.4	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.5	0.1	0.6	0.9	1.1	1.2	1.3
2007	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.4	-0.2	-0.9	-1.2	-1.2	-1.1	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-0.1	0.2	0.6	0.8	0.9	0.8
2008	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.2	-0.5	-1.3	-1.6	-1.5	-1.4	-1.2	-1.1	-1.1	-1.2	-0.9	-0.4	0.2	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6
2009	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.4	0.5	-0.3	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.7	1.3	1.8	2	2	2	1.9
2010	2.1	2.1	2.1	2	2	2	1.4	0.6	0	-0.1	0	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5	0.7	1.2	1.6	2	2.2	2.2	2.2	2.2

Table 4. Hourly mean of urban heat island intensity($\Delta T(U2-R1)$, °C) from 2006 to 2010

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2006	1.2	1.1	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.5	-0.1	-0.6	-0.7	-0.5	-0.2	-0.1	0	0	0	0.2	0.6	1	1.3	1.4	1.4	1.3
2007	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	0.8	0.2	-0.2	-0.3	-0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.5	0.6	0.9	1.3	1.5	1.6	1.6	1.5
2008	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	0.8	0.2	-0.3	-0.3	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	1.1	1.5	1.8	1.9	1.7	1.6	1.5
2009	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3	0.9	0.3	-0.1	0	0.3	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.6	1.4
2010	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	0.7	0.3	0	0	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6	1	1.3	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	mean
1	0.8	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	-0.5	-1.8	-2.6	-2.4	-2.3	-2	-1.7	-1.6	-1.4	-0.5	0.4	1	1.1	1.2	1.2	0.9	-0.3
2	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.2	-0.9	-1.8	-2	-1.8	-1.6	-1.4	-1.3	-1.3	-1.2	-0.9	0.1	0.7	1	0.9	0.9	0.8	-0.2
3	0.8	0.6	0.8	0.7	0.8	0.9	0.9	0.2	-0.8	-1.3	-1.3	-1.2	-1.1	-1	-0.9	-0.8	-0.9	-0.8	-0.4	0.3	0.8	1	1	1	0
4	1.2	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	0.9	-0.2	-0.9	-1	-0.8	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.3	0.7	0.9	1.1	1.2	0.2
5	1.6	1.7	1.6	1.5	1.7	1.6	0.9	0.1	-0.2	-0.1	0	0.1	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0	-0.1	0	0.4	0.8	1.1	1.4	1.6	0.6
6	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.4	0.8	0.3	0.3	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.7	0.9	1	1.2	1.2	0.8
7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	0.8	0.8	0.5
8	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1	0.6	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	0.9
9	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1	0.3	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.5	1	1.5	1.7	1.8	1.7	1.6	0.9
10	2.1	2.1	2.1	2	1.9	1.9	1.8	0.9	-0.2	-0.8	-0.7	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0	0.8	1.8	2.3	2.4	2.3	2.3	2.2	1.1
11	2.1	2	1.8	1.8	1.7	1.8	1.6	1	-0.4	-1.5	-1.7	-1.5	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.4	0.7	1.7	2.2	2.4	2.4	2.2	2.2	0.8
12	1.4	1.2	1.1	1	1	0.9	0.8	0.6	-0.5	-1.7	-2.2	-2.2	-2	-1.7	-1.5	-1.3	-0.7	0.1	1.1	1.4	1.5	1.6	1.5	1.4	0.1
mean	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	0.9	0.4	-0.3	-0.7	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	0.1	0.6	1	1.3	1.4	1.4	1.4	0.5

Fig. 2. Monthly and hourly distributions of urban heat island intensity(°C) at U1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	mean
1	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	-0.1	-1	-1.3	-1	-0.8	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.5	1.1	1.4	1.5	1.4	1.2	1	0.4
2	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.4	-0.4	-1	-1	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0	0.2	1	1.4	1.5	1.4	1.4	1.1	0.4
3	1.1	0.9	1	0.9	1	1.1	0.9	0.3	-0.5	-0.8	-0.5	-0.3	-0.1	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.5	1	1.4	1.5	1.4	1.3	0.5
4	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	0.6	-0.4	-0.7	-0.5	-0.2	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4	0.9	1.2	1.3	1.4	1.3	0.5
5	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1	0.5	0.4	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.5	1.8	1.9	2	2	1.3
6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.6	1.4	0.9	0.6	0.7	1	1.2	1.1	1.4	1.4	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6	1.3
7	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	0.8	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.1	1.1	1.1	1	1	1.2	1.2	1.4	1.4	1.3	1.2	1
8	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	0.9	0.6	0.4	0.5	0.7	0.8	0.8	1	1	1	1	1	1.1	1.3	1.5	1.5	1.5	1.3	1.1
9	1.2	1.2	1.1	1.1	1	0.9	0.6	0.1	0	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	1.1	1.5	1.6	1.5	1.4	1.3	0.9
10	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	0.6	-0.4	-0.6	-0.2	0.2	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	1.2	1.9	2.2	2.2	2	1.9	1.8	1.1
11	1.6	1.5	1.3	1.4	1.3	1.2	1.1	0.6	-0.4	-0.8	-0.6	-0.3	-0.1	0	0.2	0.1	0.6	1.3	2	2.3	2.3	2.1	1.9	1.8	0.9
12	1.2	1.1	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	-0.3	-0.9	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1	0.3	0.9	1.5	1.6	1.6	1.6	1.4	1.3	0.5
mean	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	0.9	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.8	1.1	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	0.8

Fig. 3. Monthly and hourly distributions of urban heat island intensity(°C) at U2.

동래의 경우에는 최고 기온차이가 11월에 2.3°C로 나타났으며 발생시간대도 20시 이후로 부산진과 비슷하게 나타났다. 그리고 5월에도 야간 시간대에 2°C까지 기온차가 나타나 부산진과 유사하였다. 그러나 4월부터 10월까지 낮 시간대에도 지속적으로 교외지역인 기장보다 높은 온도를 유지하고 있는 것으로 나타나 6월부터 9월까지 이런 현상이 나타난 부산진 지점에 비해 좀 더 긴 기간을 보이고 있다.

3.3. 도시열섬 발생빈도 분포

앞서 분석한 바와 같이, 최근 5년의 기간 동안 매 시간별 기온자료를 이용하여 각 시간대별 평균기온을 도출하고 이 자료를 바탕으로 부산진과 기장, 그리고 동래와 기장의 각 시간대별 평균기온차를 구하였다. 분석결과, 부산진과 기장에서는 야간시간대인 23시에 두 지점 간 기온차가 가장 크게 나타났으며 이때 기온

차는 1.4°C였다(Table 3). 따라서 본 연구에서는 23시를 부산진과 기장 간 도시열섬 강도분석의 기준시간으로 설정하여 다음의 연구를 수행하였다.

Fig. 4는 2006년부터 2010년까지 부산진과 기장의 23시의 기온차이를 연도별로 나타낸 그림이다. 연구 기간동안 평균적으로 도시열섬 강도가 가장 큰 시간대인 만큼 각 연도별로 일부기간(2006년 3, 4월, 2007년에는 11, 12월, 2008년에는 1, 2월)의 며칠을 제외하고는 연중 대부분의 기간에서 도심지역인 부산진의 기온이 높게 나타나고 있다. 특히, 앞서 살펴본 바와 같이 2009년과 2010년에는 부산진의 기온이 거의 매일 기장보다 높게 나타나고 있고 열섬강도를 진단할 수 있는 기온차도 다른 연도에 비해 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. Fig. 5는 2006년부터 2010년까지 부산진과 기장 간 23시 기온 차이값을 발생빈도 분포

Fig. 4. Daily variations of temperature difference between U1 and R1 at 2300LST, 2006 to 2010.

로 나타낸 그림이다. 연구기간인 2006년부터 2010년까지 전체 기간 동안 도시열섬 강도는 평균 1.4°C였으며, 연도별로는 2006년 1.1°C, 2007년 0.8°C, 2008년 0.7°C로 조금씩 약해지다가 다시 2009년에는 2.0°C, 2010년에는 2.2°C로 큰 폭으로 강해지고 있다. 이것은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 발생빈도의 평균분포가 최근으로 올수록 점차 오른쪽으로 편향되고 있음을 통해 알 수 있는 것이다. 즉, 2006년부터 2008년까지는 최대 발생빈도가 0°C 부근에서 나타나고 있으나 2009년과 2010년에는 약 1°C 부근에서 최대 발생빈도를 보이고 있다. 또한 양(+)의 수를 나타내는 우측영역이 최근으로 올수록 더 넓게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 부산진에서의 열섬발생 빈도와 강도가 최

근으로 오면서 점차 많아지고 강해지고 있는 것으로 판단할 수 있다.

위에서 설명한 바와 같이 동일한 방법으로 분석한 결과, 동래와 기장에서는 야간시간대인 21시에 두지점간 기온차가 1.6°C로 가장 크게 나타났다(Table 4). 따라서 동래와 기장 간 도시열섬 강도분석의 기준시각은 21시로 설정하였다. Fig. 6은 연구기간동안 동래와 기장의 21시의 기온차이를 연도별로 나타낸 그림이다. 부산진과 유사하게 대부분의 기간에서 도심지역인 동래의 기온이 기장보다 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 2006년의 경우 3, 4월 일부 기간에 기장보다 낮은 기온이 나타나기도 하였지만 이후 전반적으로 동래의 기온이 연중 높게 유지되고 있는 것으로 판

Fig. 5. Frequency distributions of UHI intensity between U1 and R1 at 2300LST, 2006 to 2010.

Fig. 6. Daily variations of temperature difference between U2 and R1 at 2100LST, 2006 to 2010.

단할 수 있다. Fig. 7은 연구기간동안 동래와 기장 간 21시 기온 차이값을 발생빈도 분포로 나타낸 그림으로 전체 연구기간동안 이 두 지점 간 도시열섬 강도는 1.6°C 였다. 연도별로는 2006년 1.3°C , 2007년 1.5°C , 2008년 1.9°C , 2009년 1.8°C , 2010년 1.6°C 로 나타났는데, 부산진과는 달리 2006년부터 비교적 일정한 강도로 동래가 기장보다 높은 기온을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 도시열섬 강도의 발생빈도 분포를 보면 전반적으로 매년 비슷한 강도와 빈도분포를 보이고 있어 2009년과 2010년에 열섬 발생빈도와 강도에 변화가 컸던 부산진과 차이를 나타내고 있다. 즉 부산진에서는 도심지역의 기온이 기장보다 낮은 것을 의

미하는 0°C 이하인 음(-)의 영역 여러 부분에서 일정 부분 발생하였으나, 동래에서는 2006년을 제외하고는 부산진과 비교해 그 발생빈도가 매우 적게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 따라서 동래지역이 부산진 지역에 비해 열섬현상이 좀 더 뚜렷이 발생하는 것으로 분석할 수 있다.

3.4. 도시열섬 강도와 기상인자와의 관계

일반적으로 도시열섬은 약한 풍속과 적은 운량의 기상조건에서 야간시간대에 잘 발달하는 것으로 알려져 있다. 시간대별 도시열섬 강도와 기상조건과의 관계를 살펴보기 위하여 최근 5년 동안 06시, 12시, 18시, 그리고 24시의 부산진과 기장의 기온차이, 그리고

Fig. 7. Frequency distributions of UHI intensity between U2 and R1 at 2100LST, 2006 to 2010.

Fig. 8. UHI intensity in relation to wind speed and cloud amount at 0600, 1200, 1800 and 2400LST at U1.

이 시간대에 부산지방기상청에서 관측된 풍속, 운량 자료를 이용하여 도시열섬 강도와 기상인자와의 관계를 살펴보았다(Fig. 8). 전반적으로 뚜렷한 상관을 보이지는 않고 있으나, 저녁이나(18시) 야간 시간대(24시)에 풍속이 약할수록 두 지점 간의 기온차(열섬 강도)가 커지는 경향이 나타나고 있으며 낮 시간대에도 어느 정도 그러한 경향을 볼 수 있다. 운량의 경우도 12시와 비교하여 06시나 24시에 운량이 적을수록 열섬강도가 다소 강해지는 경향을 인지할 수 있었으

나 그렇지 않은 경우도 다수 발생하고 있어 풍속보다는 관련성이 적은 것으로 판단되었다. Fig. 9는 동일한 방법으로 동래와 기장에 대해서 나타낸 그림이다. 부산진과 유사하게 풍속이 약할수록 열섬강도는 비교적 강해지는 것을 볼 수 있는데 낮 시간(12시)에 비해 저녁(18시)이나 야간(24시)에 좀 더 연관성이 높은 것으로 보여진다. 운량의 경우에도 부산진과 유사하게 뚜렷한 관계성을 볼 수는 없지만, 낮 시간대(12시)와 저녁(18시), 야간(24시)을 비교해보면 운량이 적을수록

Fig. 9. UHI intensity in relation to wind speed and cloud amount at 0600, 1200, 1800 and 2400LST at U2.

도심지역인 동래의 기온이 높게 나타나는 빈도가 다소 많이 나타나고 있으며 기온차이도 더 높아지는 것으로 보여진다. 따라서 전반적으로 풍속이 약할 때 야간에 도시열섬이 좀 더 강하게 나타날 가능성이 높다고 볼 수 있다.

3.5. 도시열섬 강도와 대기오염도와의 관계

도시열섬은 도심내부로 향하는 수렴기류를 형성하여 야간의 대기오염 확산에 불리한 조건을 형성할 수 있다. 이에 부산진과 동래의 도시열섬 강도와 대기오염도와의 관계를 살펴보기 위하여 부산지역의 17개 도시대기 측정소의 시간대별 전체 평균 PM10 자료를 이용하여 같은 시간대의 도시열섬 강도와 연관성을 살펴보았다. 여기서 황사발생일은 분석에서 제외하였는데 기상청에서 제시한 부산지역의 황사 관측일을 제외한 기준으로 하였다. Fig. 10과 11은 부산진과 동래의 열섬강도와 부산지역 평균 PM10과의 관계를 나타낸 그림이다. 앞서 분석에서 살펴본 바와 같이 열섬의 발생빈도가 많은 야간 및 새벽시간대의 그림(06시, 24시)을 보면, 두 지점 모두 비교적 유의한 수준에서 양의 상관관계가 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 열섬강도가 강해질수록 PM10의 농도도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 주간시간대(12시, 18시)에는 열섬강도에 거의 관계없이 PM10 농도가 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도의 값을

보이고 있다.

4. 결 론

최근의 부산지역 도시열섬의 경향과 특성을 살펴보기 위하여 2006년부터 2010년까지 최근 5년간 부산지역에서 운영 중인 AWS 12개 지점의 토지이용 상태를 확인하고 구, 군별 인구밀도를 확인하여, 부산진(U1)과 동래(U2)는 도심지역, 기장(R1)은 교외지역으로 분류하여 분석을 수행하였다. 도시열섬 강도는 도심지에 위치하는 AWS(U1, U2)의 기온과 교외지역에 위치하는 AWS(R1)와의 기온 차로써 계산하였다.

조사지점의 연평균 기온분포를 살펴본 결과, 동래와 부산지방기상청이 비슷한 경향을 나타내었으며 부산진에서는 2008년 평균 기온이 비교적 감소하였다가 2009년 크게 증가하였다. 교외지역에 위치한 기장은 2007년 14.8℃ 이후 지속적으로 감소하고 있으며 이에 따라 부산진, 동래와 연평균기온의 차이도 2006년 각각 0.3℃, 0.5℃에서 2010년 1.3℃, 0.9℃로 최근 들어 증가하고 있다.

연구기간동안 시간대별 열섬강도를 살펴본 결과, 부산진의 경우 약 19시 이후부터 교외지역인 기장보다 기온이 높아지기 시작하여 야간동안 지속되었고 오전 8, 9시부터 교외지역의 기온이 높아지면서 도시

Fig. 10. UHI intensity in relation to PM10 concentration at 0600, 1200, 1800 and 2400LST at U1.

Fig. 11. UHI intensity in relation to PM10 concentration at 0600, 1200, 1800 and 2400LST at U2.

열섬이 사라지고 있으나 동래 지점은 2007년부터 거의 모든 시간대에서 교외지역보다 높은 기온을 보이고 있다. 도시열섬 강도의 월별 분포를 살펴보면 부산진의 경우 전반적으로 가을철에 해당되는 10, 11월 야간시간대를 중심으로 그 강도가 강하게(2.4℃) 나타났으며 동래 지점의 경우도 11월에 2.3℃로 나타났지만, 동래에서는 4월부터 10월까지 낮 시간대에도 지속적으로 교외지역보다 높은 온도를 유지하고 있는 것으로 나타나 6월부터 9월까지 이러한 현상이 나타난 부산진과는 차이를 나타내었다.

도시열섬 강도와 풍속, 운량과의 연관성을 살펴본 결과 부산진과 동래 두 지점 모두 야간 풍속이 낮을수록 도시열섬 강도가 높아지는 경향을 볼 수 있었으나 운량과의 연관성은 낮게 나타났다. 또한 비반응성 대기오염물질인 PM10 농도와 도시열섬 강도 사이의 연관성을 살펴본 결과, 부산진과 동래 모두 야간 시간대에 도심의 기온이 높을수록 PM10 농도도 높아지는 양의 경향이 약하게 나타나고 있음을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

- 구해정, 김연희, 최병철, 2007, 서울시 도시 열섬 구조의 변화에 관한 연구, 기후연구, 2(2), 67-78.
- 김상진, 2010, 도시열섬현상, 한국태양에너지학회.
- 김유근, 홍정혜, 2000, 연안도시 부산지역에서의 열섬에 관한 연구, 한국대기환경학회 2000 추계학술대회 논문집.
- 윤용한, 박봉주, 김원태, 조현수, 2008, 토지이용형태에 따른 계절별 열섬현상의 강도, 대한국토·도시계획학회지 『국토계획』, 43(4), 21-30.
- 윤일희, 민경덕, 김경희, 1994, 대구 지역의 기상 특성 연구 및 대기 확산 모델의 개발 II. 도시 열섬 특성에 관한 사례 연구, 한국기상학회지, 30(2), 303-313.
- 이광호, 반지연, 2004, 전주 지역에서 봄·가을에 형성되는 도시 열섬의 특성 연구, Jour. Science Education Chonbuk National University, 29, 27-44.
- 이종범, 김용국, 김태우, 1993, 춘천지역 도시열섬의 특성과 대기질에 미치는 영향, 한국대기보전학회지, 9(4), 303-309.
- 장영기, 김정옥, 1991, 서울지역의 도시열섬현상과 대기오염도의 관계에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 7(1), 49-53.
- 한영호, 김보현, 이동인, 1993, 부산지역 도심지의 열섬현상과 기온변화에 관한 연구, 한국기상학회지, 29(3), 205-216.
- Huang, L., Li, J., Zhao, D., Zhu, J., 2008, A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, Chin, Building and Environment, 43, 7-17.
- Jauregui, E., 1997, Heat island development in Mexico city, Atmospheric Environment, 31(22), 3821-3831.
- Klysik, K., Fortuniak, K., 1999, Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland, Atmospheric Environment, 33, 3885-3895.
- Wong, N. H., Yu, C., 2005, Study of green areas and urban heat island in a tropical city, Habitat International, 29, 547-558.