

부산지역 도시 열섬의 시·공간적인 특성 분석

도우곤[†] · 조정구

대기보전과

An Analysis of Temporal and Spatial Characteristics of the Urban Heat Island in Busan

Woo-Gon Do[†] and Jeong-Gu Jo

Air Preservation Division

Abstract

The temporal and spatial characteristics of the urban heat island was investigated using near surface temperature data measured at 3 automatic weather stations(AWSs) in Busan metropolitan area during the 2-yr period, 2006 and 2007. Similar to the previous studies, the urban heat island in Busan is stronger in the nighttime than daytime and decreased with increasing wind speed, but it was least developed in summer. The annual mean intensity of urban heat island were 0.3°C at Busanjin-gu site and 0.5°C at Dongnae-gu site in 2006 and 0.8°C at Dongnae-gu site in 2007. The maximum hourly mean urban heat island were 1.2°C at Busanjin-gu site ranged from 2300 to 0100LST and 1.4°C at Dongnae-gu site in 2006 and 0.9°C at Busanjin-gu site from 2300~0100LST and 1.6°C at Dongnae-gu site at 2200~2300LST in 2007.

Key Words : Urban heat island, Numerical simulation, MM5

서론

지난 수 세기 동안 도시화된 지역은 그렇지 않은 교외 지역보다 기온이 높다는 사실이 알려져 왔다. 도심지역이 교외지역과 비교하여 고온의 공기층을 형성하는 이러한 현상을 도시열섬(Urban Heat Island)이라고 한다. 일반적으로 도심과 교외지역의 기온차로서 표현되는 열섬강도는 주로 구름이 없고 바람이 약한 날의 야간에 강하게 나타나며, 여름철에 약하고 겨울철 낮은 저녁에서 밤 동안에 가장 크게 나타나는 특징이 있다.

도시열섬은 도시지역의 에너지 수지의 변질 때문에 발생한다. 에너지수지의 변질은 자연의 지표면이 파괴되어 인공구조물이 건설되고, 인간 활동에 수반되어 열이 도시지역에서 방출되기 때문에 나타난다. 즉, 도시지역의 인구 및 산업 활동의 집중에 따른 난방 및 차량 등에 의한 인공열의 증가, 건물 등 구조물에 의한 거칠기 길이의 변화, 표면의 열적 성질의 차이 및 지표면에서의 증발잠열의 차이 등이 원인이 될 수 있다. 도시열섬효과 크기에 영향을 미치는 변수에는 여러 가지가 있으며, 일부는 지역적 배경에 관련이 있고, 나머지는 지역적 배경 하에서 수행되는 활동도에 관계가 있다. 이 중에서도 가장 중요한 것은 도시의 규모와 인구밀도인데, 도시가 크고 인구밀

도가 높을수록 보다 큰 열섬유발 효과를 갖는 것으로 알려져 있다. 도시열섬 현상으로 인하여 대도시에서는 강우량의 변화가 나타날 수 있으며 도시지역 내에서 특유한 바람의 순환계가 형성되어 대기오염 물질의 확산 특성이 시골지역과 다르게 나타날 수 있다. 이로 인하여 도시지역의 고농도 대기오염 현상이 발생하기도 한다.

본 연구에서는 부산지역의 도시열섬 현상을 파악하기 위하여 기상청에서 운영 중인 AWS의 2006년간 시간별 기온 측정 자료를 이용하여 도시열섬 강도를 파악하였다. 또 도시열섬 강도가 강했던 사례 일을 선정하여 MM5 기상장 모델을 수행하고 도시열섬의 공간적인 분포를 파악 하였다.

연구내용 및 방법

조사 대상 지점

기상청에서 운영 중인 12개의 AWS 중 해발고도의 차이가 많은 지점을 제외하고, 도심과 교외지역으로 구분할 수 있는 3개소를 선정하였다(Fig. 1, Table 1). U1과 U2로 표시된 지점은 각각 '부산진'과 '동래구' 측정소로 해발고도 83 m, 18 m에 위치하고 있으며, R1으로 표현된 지점은 '일광' 측정소로 해발고도 12 m에 위치하고 있다. 부산지역의 토지피복 분류도

[†] Corresponding author. E-Mail: dou777@busan.go.kr
Phone: 051-888-6816, Fax: 051-757-2879

Table 1. The list of AWS for investigation.

ID	Elevation(m)	Description	District
U1	83	AWS site, Busanjin-gu	Urban
U2	18	AWS site, Dongnae-gu	Urban
R1	12	AWS site, Ilgwang	Rural

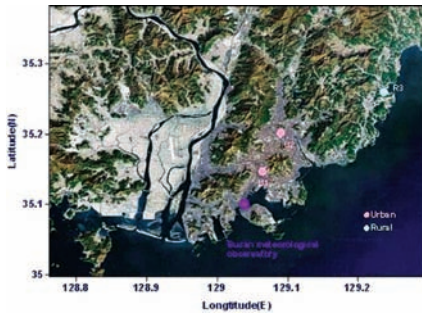


Fig. 1. Locations of AWS for investigation(●) and Busan meteorological observatory(■).

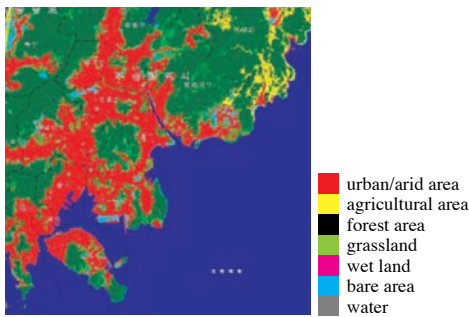


Fig. 2. Land use classification map of the Busan metropolitan area

(Fig. 2)를 살펴보면 ‘부산진’과 ‘동래구’ 측정소는 비교적 부산지역의 중심부에 위치하면서, 시가지에 위치하고 있어 도시지역의 영향을 받는 지역이며, ‘일광’ 측정소는 부산의 동쪽, 산림지역에 속하는 곳으로 도시화의 영향이 적은, 교외지역으로 분류할 수 있다. 도시열섬 강도는 도심지에 위치하는 AWS의(U1, U2)의 기온과 교외지역에 위치하는 AWS(R1)와의 기온 차로서 계산하였으며, 2006~2007년간 측정된 시간자료를 사용하였다.

열섬효과 수치모델링

도심지역과 교외지역의 기온차이로 표현되는 열섬효과 공간적인 분포를 파악하기 위하여 도시열섬 현상이 탁월한 날을 선정하여 기상장 모델링을 수행하였다. 사용한 기상장 모델은 현재 중규모 기상현상 해석에 가장 많이 사용되고 있는 MM5(Version3)를 사용하였다. MM5(PSU/NCAR Mesoscale

meteorological Model Version3)는 중규모 기상모델로서 미국 기상연구소(National Center for Atmospheric Research)와 펜실베니아 주립대학이 공동 개발한 후 지속적으로 개선되어 온 모델이다. 초기에는 중규모 기상예측에 주로 사용되었으나 최근 중규모와 미기상에도 적용 가능하게 되었고 대기오염물질의 광화학 반응/이동/침착 모형의 입력자료 생성에도 사용될 수 있도록 수정 되었다.

연직 좌표계로 지형을 따르는 좌표계를 사용하고 있으며, 비정수(Non-hydrostatic) 방정식계를 사용하고, Arakawa B-grid 격자망으로 구성되었으며, 공간적으로 2차 중앙차분법을, 시간적으로 semi-implicit scheme을 사용하였다. 또한 분석자료와 관측자료의 4차원 자료동화(FDDA)가 가능하며, 여러 가지 물리적인 옵션들을 선택할 수 있다.

본 연구에서는 부산지역의 상세 기온계산을 위하여 부산지역이 포함되는 domain4를 설정하고, domain1 ~domain4까지 총 4개의 domain을 설정하고, 기상청에서 운영 중인 12개 AWS의 풍향, 풍속, 기온을 사용하여 자료동화를 수행하여 모델링 결과가 보정되도록 하였다.

연구 결과

지점별 평균 기온 분포

2006~2007년간의 조사지점 각 지점별 평균 기온 분포는 Table 2, Table 3과 같다. 부산지방 기상청의 2006, 2007년 연평균 기온은 각각 14.7, 15.3℃로 2007년에 다소 상승한 것으로 나타났다.

2006년의 경우 도심지에 위치한 AWS의 연평균 기온은 부산진구(U1) 14.6℃, 동래구(U2) 14.8℃로 부산지방 평균 기온과 비슷하였으나, 교외지역인 일광 측정소의 연평균 기온은 14.3℃로 도심지역과 비교하여 0.3~0.5℃낮은 것을 알 수 있다. 2006년의 경우 4월까지의 교외지역의 기온이 높게 유지되었으나, 5월부터 도심지역의 기온이 상승하기 시작하여, 12월까지 도심지역의 월평균 기온이 높게 나타났다. 2007년에는 도심지역의 동래구 측정소(U2)의 연평균 기온이 15.6℃로 부산지방평균 기온보다 다소 높았으며, 부산진구(U1)와 교외지역인 일광(R1) 측정소의 연평균 기온은 14.7℃로 부산지방 연평균 기온보다 낮게 나타났다. 도심지역과 교외지역의 기온 차이는 동래구 측정소(U2)에서 0.8℃높게 나타났으며, 부산진 측정소(U2)에서는 연평균 기온의 차이가 없는 것으로 나타났다. 월평균 기온의 차이는 부산진 측정소(U1)에서는 5월, 10~12월을 제외하고

Table 2. Monthly mean temperature at each site, 2006. (unit : °C)

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean
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	14.6
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	14.8
R1	3.7	4.2	8.4	13.2	17.0	21.1	23.5	26.7	20.5	18.0	11.2	4.6	14.3
Busan meteorological observatory	3.9	4.0	8.0	12.2	16.3	20.3	22.6	27.5	21.3	20.0	13.1	6.6	14.7
ΔT, (U1-R1)	-0.3	-0.6	-0.7	-0.8	0.2	0.4	0.4	1.2	0.7	1.4	0.9	0.7	0.3
ΔT, (U2-R1)	-0.1	-0.1	-0.3	-1.4	0.8	1	0.6	1.4	0.7	1.4	1	0.9	0.5

Table 2. Monthly mean temperature at each site, 2007. (unit : °C)

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean
U1	4.2	7	8.7	13.4	18.2	21.1	23.8	27.4	22.6	16.9	9.4	4.2	14.7
U2	4.7	7.3	9	14	19.7	22.2	24.6	28	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	14.7
Busan meteorological observatory	5.2	7.9	9.1	13.2	17.8	20.5	22.8	26.7	22.9	18.3	11.9	7.3	15.3
ΔT, (U1-R1)	0.5	0.9	0.7	0.2	-0.3	0	0.2	0.2	0.2	-0.4	-0.4	-1.8	0.0
ΔT, (U2-R1)	1	1.2	1	0.8	1.2	1.1	1	0.8	0.5	0.5	0.7	0.2	0.8

는 교외지역보다 높게 나타났으며, 동래구 측정소는 2007년 전 월에서 교외지역보다 높은 평균 농도를 보였다.

시간대별 도시열섬 강도

일반적으로 도시열섬 강도는 도심지역의 기온과 교외지역 기온의 차이로 나타내며, 겨울철 저녁에서 밤사이에 강하게 형성되는 것으로 알려져 있다. 2006~2007년간의 도심지역(U1, U2)과 교외지역(R1)의 기온 차이를 시간대별로 평균 한 Table 3, Table 4를 살펴보면 부산지역의 경우도 야간 시간을 중심으로 비교적 강한 도시열섬이 형성되는 것을 알 수 있다.

부산진 측정소(U1)의 경우 20시 이후부터 교외지역인 일광 측정소(R1)보다 기온이 높아지기 시작하여 야간으로 지속되었으며, 오전 9시부터 교외지역의 기온이 높아지면서 도시열섬이 사라지는 것을 알 수 있다. 최대 시간대별 평균 기온차이는 2006년에는 23~24시와 1시에 1.2 로 최고를 보였고, 2007

년에도 같은 시간대에 최고 기온의 차이를 보였으나 0.9°C로 2006년보다는 다소 낮았다.

동래구 측정소(U2)에서는 2006년과 2007년이 다소 차이를 보였다. 2006년에는 18시부터 교외지역 보다 기온이 높아지기 시작하여 22시에 1.4°C로 최고를 보이면서, 오전 8시까지 지속되었으나, 2007년에는 낮 시간대인 13시부터 동래구 측정소가 일광 측정소보다 기온이 높게 나타났으며, 22~23시에 1.6°C로 가장 큰 차이를 보였다.

부산진 측정소의 경우 2006년에는 최고 1.2°C, 2007년에는 0.9°C의 기온 차이를 나타내고, 발생시간도 비슷한 것으로 나타났다. 동래구 측정소의 경우 2006년과 비교하여 2007년에는 낮 시간대부터 열섬이 형성되었으며, 평균농도의 최고값도 부산진 측정소보다 다소 높게 나타나 지역별로 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

시간대별 평균 열섬강도의 월별 분포는 Fig. 3, Fig. 4와 같

Table 3. Hourly mean of Urban Heat Island intensity at each site, 2006.(unit : °C)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
U1-R1	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.3	-0.5	-0.9	-0.9	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-0.5	0.0	0.6	0.9	1.1	1.2	1.2
U2-R1	1.1	1.1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.5	-0.1	-0.6	-0.8	-0.5	-0.2	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.0	1.3	1.4	1.3	1.3

Table4. Hourly mean of Urban Heat Island intensity at each site, 2007.(unit : °C)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
U1-R1	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.4	-0.3	-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	0.9
U2-R1	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	0.8	0.2	-0.2	-0.3	-0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	0.9	1.3	1.5	1.6	1.6	1.5

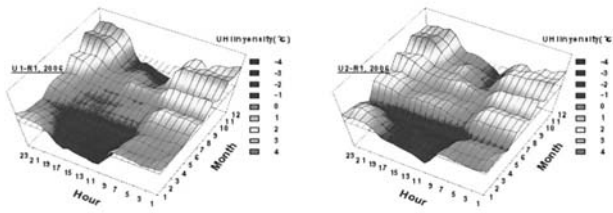


Fig. 3. Monthly and hourly distributions of Urban Heat Island intensity at each sites, 2006.

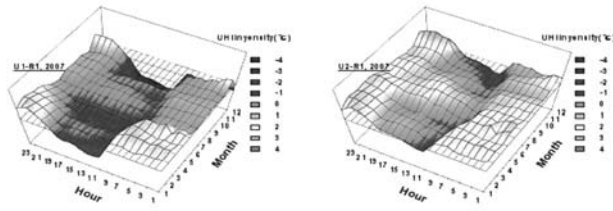


Fig. 4. Monthly and hourly distributions of Urban Heat Island intensity at each sites, 2007.

다. 2006년의 경우는 두 지점 모두 10월에 평균 열섬강도가 가장 강하게 나타났으며, 부산진 측정소에는 23~24시에 2.8℃, 동래구 측정소에서는 21시에 2.9℃로 가장 크게 나타났다. 11월과 12월에도 부산진구 측정소에서 2.3, 2.8℃, 동래구 측정소에는 2.4, 2.5℃로 비교적 높은 기온 차이를 보였으며, 봄철인 3~4월에 열섬강도가 비교적 약해지며, 여름철에 다시 기온차이가 증가하였다.

부산진구 측정소의 경우 열섬 강도가 비교적 강한 겨울철에는 19시부터, 교외지역인 일광 측정소보다 기온이 높아지기 시작해서 오전 9시 까지 지속되는 것으로 나타났다. 여름철인 7~9월간에는 낮 시간부터 교외지역보다 높은 기온이 유지되는 것으로 나타났으며, 8월의 경우 최고 2℃(2시)이상인 것으로 나타났으며 9월에도 1.6℃(21시)이상의 시간평균 기온차이를 보였다. 동래구 측정소의 경우는 부산진구 측정소와는 다소 다른 패턴을 보였는데, 먼저 열섬강도가 강한 10~12월간의 경우에는 부산진구 측정소보다 다소 빠른 낮 시간대인 14시부터 교외지역인 일광 측정소보다 기온이 상승하기 시작하여 오전 9시까지 지속되었고, 5~9월간에도 낮 시간부터 도심지의 기온이 교외지역보다 높게 유지되어 일 중으로 도심지의 기온이 교외지역인 일광 측정소 보다 높게 나타났다.

2007년의 경우 최대 열섬강도는 부산진구 측정소에서는 2.2℃로 나타났으며, 1월에 22시, 2월에 오전 7시에 발생하였다. 동래구 측정소에서는 11월에 2.6℃로 21시에 가장 큰 차이를 보였다. 2007년의 경우는 2006년과 달리 두 지점 모두 1~5월간의 기온 차이가 2.0℃이상으로 비교적 높은 기온차이를 보였다. 부산진구 측정소의 경우 열섬강도가 큰 1~4월간에는 20시 이후부터 교외지역보다 기온이 상승하여 1~2월에는 오전 10시, 3월에는 9시, 4월에는 8시까지 지속되는 것으로 나타났으며, 6월과 7월에는 낮 시간대에도 도심지역의 기온이

교외지역보다 높게 유지되는 것으로 나타났으나 그 차이는 크지 않았다. 8월 이후에는 열섬강도는 크지 않지만 19시부터 교외지역인 일광 측정소보다 기온이 다소 상승하였으며, 오전 8시까지 유지되는 것으로 나타났다. 12월의 경우는 전 시간대에서 교외지역의 평균 기온이 도심지역보다 높은 것으로 나타나 열섬현상이 현저하게 약했음을 알 수 있다. 동래구 측정소의 경우 최대 열섬강도는 11월에 나타났으며, 부산진구 측정소와 비슷하게 1~5월간 2.0℃이상의 기온차이로 비교적 강한 열섬강도를 보였다. 동래구 측정소의 경우 1~10월까지의 낮 시간대부터 도심지역의 기온이 교외지역인 일광 측정소보다 높게 유지되고 있고, 11~12월간에는 17시, 19시부터 도심지역의 기온이 상승하기 시작하였다.

여름철 낮 시간 도심지의 기온이 일광 측정소보다 높은 것은 육지와 해양의 비열차이로 설명될 수 있다. 여름철 낮 시간의 높은 기온은 내륙지역의 기온 상승에 영향을 미치고, 상대적으로 비열이 높은 해양과 인접한 일광 측정소보다 높은 기온을 유지 할 수 있는 것으로 사료된다.

Fig. 3, 4에 의하면 2006년의 경우 전반적으로 10월~12월의 야간에 비교적 강한 도시열섬이 형성되었고, 2007년에는 1월~4월간의 야간을 중심으로 비교적 강한 도시열섬이 형성되는 것을 알 수 있으며, 부산진구 측정소와 비교하여 동래구 측정소에서 비교적 열섬강도가 강하며, 낮 시간을 포함하여 전반적으로 교외지역인 일광 측정소보다 기온이 높게 유지되는 것을 알 수 있다. 이는 부산진구 측정소의 해발고도가 동래구 측정소보다 다소 높기 때문으로 판단된다.

도시열섬 발생빈도 분포

2006년의 경우 부산진구 측정소(U1), 동래구 측정소(U2)와 일광 측정소(R1) 시간대별 기온차이는 22시에 1.3℃로 가장 높게 나타났다. Fig. 5는 부산진구 측정소, 동래구 측정소와 교외지역인 일광 측정소의 22시의 기온차이를 2006년 전체에

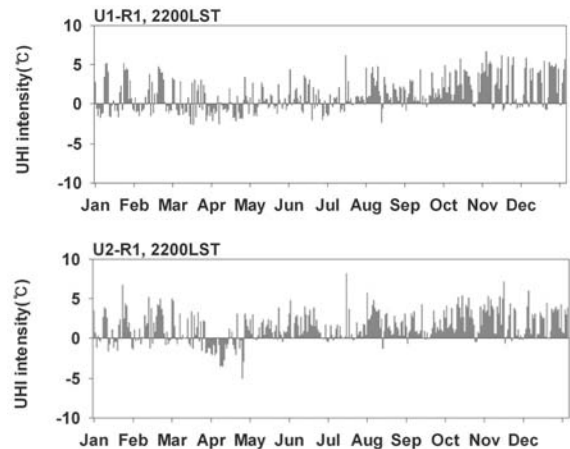


Fig. 5. Time series of difference temperature at 2200LST, 2006.

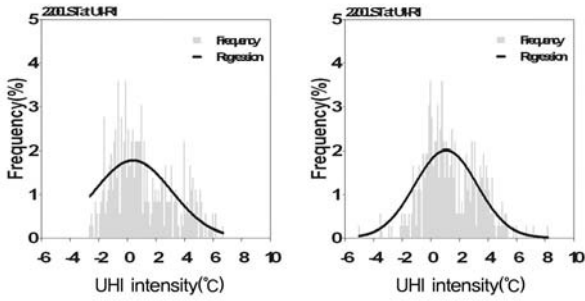


Fig. 6. Frequency distributions of UHI intensity at 2200LST, 2006.

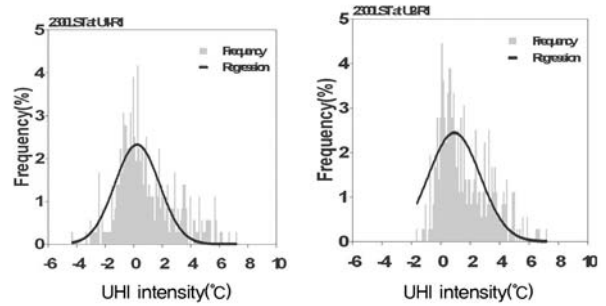


Fig. 8. Frequency distributions of UHI intensity at 2300LST, 2007.

걸쳐 나타낸 그림이다. 열섬강도의 평균이 높았던 가장 높았던 시간대인 만큼 두 지점에서 연중 도심지역의 기온이 높은 것으로 나타났으나, 부산진 측정소의 경우 8월까지의 뚜렷하게 강한 열섬강도를 보이지 않았으며, 교외지역인 일광 측정소 기온이 높은 경우도 가끔씩 발생하였다. 동래구 측정소의 경우 3, 4월에 도시열섬 현상이 약해지면서 교외지역의 기온이 높게 유지 되었고, 그 외의 기간에는 도심지역인 동래구 측정소의 기온이 교외지역인 일광 측정소 보다 높은 기온을 유지하는 것으로 나타났다. 부산진 측정소의 경우 8월 이후, 동래구 측정소의 경우 5월 이후부터 도심지역의 기온이 높게 유지되었으며, 10~12월에 그 강도가 가장 강한 것으로 나타났고, 1, 2월에도 비교적 기온차이가 크게 나타났으며, 도심지역과 교외지역의 기온차이가 5°C가 넘는 경우도 다수 발생하였다.

같은 기간의 열섬강도별 발생빈도 분포는 Fig. 6과 같다. 부산진 측정소의 2006년 22시의 평균 열섬강도는 1.1°C, 동래구 측정소는 1.4°C로 나타났으며, 두 지점 모두 0~4°C에서 많은 빈도를 보이고 있는 것으로 나타났으나 동래구 측정소가 부산진 측정소보다 0°C이상의 빈도가 더 많았다. Fig. 5에서와 같이 부산진 측정소에서는 교외지역인 일광측정소의 기온이 높

은 경우도 적은 경우지만 발생하였다.

2007년의 경우 부산진구 측정소(U1), 동래구 측정소(U2)와 일광 측정소(R1)간의 시간대별 기온차이의 평균은 23시에 1.3로 가장 높게 나타났다. 2007년 전체에 대하여 23시의 두 지점간의 기온차이는 Fig. 7과 같다. 2006년과 유사하게 기온차이의 평균이 비교적 큰 시간대로 도심지역의 기온이 연중으로 높게 유지되는 것을 알 수 있다. 2007년의 경우 2006년과 다르게 봄철인 3~5월 에도 도심지역의 기온이 높게 유지되었으며, 부산진구 측정소의 경우에는 교외지역의 기온이 높은 경우도 가끔씩 발생하였으나, 동래구 측정소의 경우 대부분의 기간에서 동래구 측정소의 기온이 교외지역인 일광 측정소보다 높았던 것으로 나타났다. 도시열섬 강도는 1~4월간에 높게 나타나났으며, 11월에도 다소 높은 것을 알 수 있다.

열섬강도별 발생빈도 분포는 Fig. 8과 같다. Fig. 7의 전체 기온차이의 발생경향에서 알 수 있듯이 두 지점 모두 0°C이상의 범위에서 발생빈도가 주로 높았으나, 부산진 측정소는 0°C 이하에서도 다수 발생하였으며, 동래구 측정소에서는 0~4°C의 범위에서 대부분 발생하였고, 0°C이하는 매우 적은 것으로 나타나 열섬현상이 심각함을 알 수 있다.

2006, 2007년 22시, 23시에 모두 부산진과 동래구 측정소 모두 교외지역인 일광 측정소보다 기온이 높은 경우가 많이 발생하고 있으며, 부산진 측정소의 경우 기온차이가 0°C이하에서부터 비교적 넓은 범위에서 발생하였으나, 동래구 측정소의 경우 기온차이가 0°C이하인 경우는 현저하게 적은 것으로 나타났다. 이는 부산진구 측정소의 해발고도가 동래구 측정소보다 높기 때문에 기온이 낮은 경우가 많이 발생했기 때문으로 판단된다.

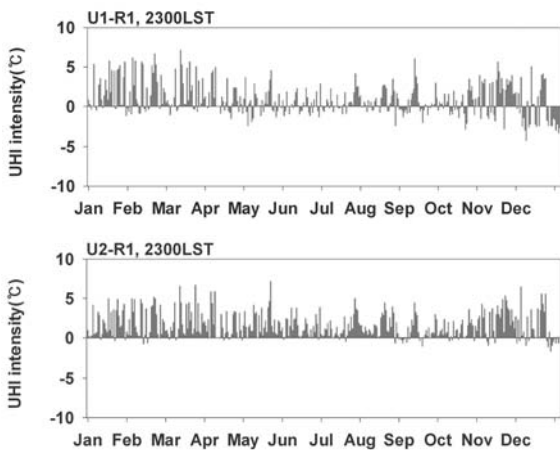


Fig. 7. Time series of difference temperature at 2300LST, 2007.

열섬강도와 기상인자와의 관계

일반적으로 도시열섬은 약한 풍속과 적은 운량의 조건에서 야간에 잘 발달하는 것으로 알려져 있다. 시간대별 열섬강도와 기상조건과의 관계를 알아보기 위하여 6, 12, 18, 24시의 부산진, 동래구 측정소의 시간대별 평균기온과 교외지역인 일광 측정소와의 기온차이, 그리고 같은 시간대의 부산지방 기상청의 풍속, 운량자료를 이용하였으며, 2006년의 경우는 Fig. 9와

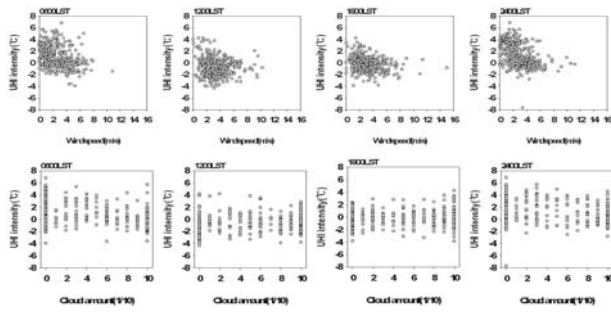


Fig. 9. UHI intensity in relation to cloudiness and wind speed at 0600, 1200, 1800 and 2400LST at 2006.

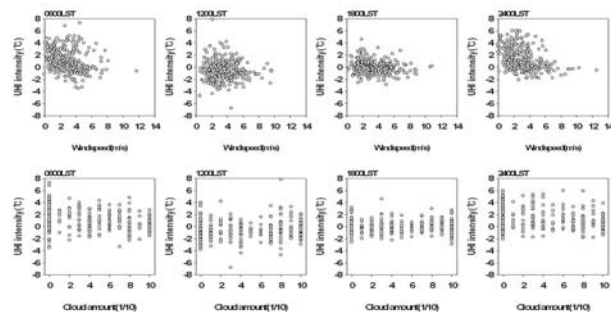


Fig. 10. UHI intensity in relation to cloudiness and wind speed at 0600, 1200, 1800 and 2400LST at 2007.

같다. 전반적으로 뚜렷한 상관을 보이지는 않고 있으나, 풍속의 경우 낮 시간대(12시, 18시)와 비교하여 야간(24시), 새벽 시간대(6시)의 경우 열섬강도가 강할수록 풍속이 낮은 경우가 많음을 알 수 있다. 운량과의 비교에서는 새벽과 야간 시간대에는 운량이 0일 경우 기온차이가 큰 것을 알 수 있지만, 운량이 증가하여도 기온차이가 큰 경우도 발생하고 있어 뚜렷한 관계를 보이지는 않았다.

Fig. 10은 2007년의 부산진, 동래구 측정소 열섬강도의 평균과 부산지방 기상청의 풍속 운량과의 관계를 나타낸 그림이다. 2006년의 경우와 유사하게, 0600LST와 2400LST의 경우 열섬강도가 강할수록 풍속이 낮게 발생하고 있음을 알 수 있다. 낮 시간대의 경우는 풍속이 낮은 경우에도 교외지역의 기온이 높은 경우가 다수 발생하고 있어 뚜렷한 경향을 보이지는 않고 있다. 운량의 0인 경우에는 도심지역의 기온이 높은 경우의 빈도와, 온도차도 크게 나타나고 있으나, 운량이 많은 경우에도 도심지역의 기온이 높은 경우도 다수 발생하고 있어 뚜렷한 상관을 보이지는 않았다.

부산지역의 경우 야간 도시열섬 강도가 높을수록 풍속이 낮게 나타나는 상관성을 보이고 있으며, 낮 시간대에는 열섬강도가 약해지면서 이러한 상관성이 나타나지 않고 있다. 운량이 0일 경우 열섬의 발생빈도와 강도가 매우 높게 나타나고 있으나, 뚜렷한 상관성을 보이지는 않고 있다. 즉 야간 도시열섬은

속이 약하고 운량이 0인 경우에 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

열섬강도와 대기오염도와의 관계

일반적으로 도시열섬은 도심내부로 향하는 수렴기류를 형성하여 야간의 대기오염 확산에 불리한 조건을 형성한다. 2006년과 2007년 야간의 열섬강도와 대기오염도와의 관계를 파악하기 위하여 부산지역의 17개 대기오염 자동측정망의 PM-10 측정자료를 이용하였다.

2006년 06, 12, 18, 24시의 부산진 측정소와 동래구 측정소의 기온 평균과 교외지역인 일광 측정소의 기온차이와 같은 시간대의 17개 대기오염 자동측정소의 PM-10 평균값을 Fig. 11에 표시하였다. 좀더 정밀한 분석을 위하여 황사발생일은 분석에서 제외하였다. 또한 황사발생은 기상청에서 제시한 부산지역의 황사 관측 일을 사용하였다. 낮 시간대에 해당되는 1200LST와 1800LST의 경우 PM-10 평균농도와 기온차이 사이에는 뚜렷한 상관성이 나타나지 않고 있다. 열섬강도에 관계없이 PM-10 농도는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 중심으로 분포하고 있음을 알 수 있다. 그러나 새벽시간과 야간시간인 6시와 24에는 약하지만 양의 상관관계가 있음을 알 수 있다. 열섬강도가 증가함에 따라 PM-10의 농도도 약하게 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 6시보다는 열섬의 강도가 비교적 강한 시간대인 24시에 좀더 높은 상관성을 보이고 있다.

2007년의 06, 12, 18, 24시의 도심지역과 교외지역의 기온차이와 같은 시간대의 대기오염 자동 측정망의 PM-10 평균 농도 분포는 Fig. 12와 같다. 2006년과 동일하게 황사 발생일의 자료는 제외하였으며 황사발생 일은 기상청의 자료를 사용하였다. 2007년의 경우도 2006년과 유사한 결과를 보였으며,

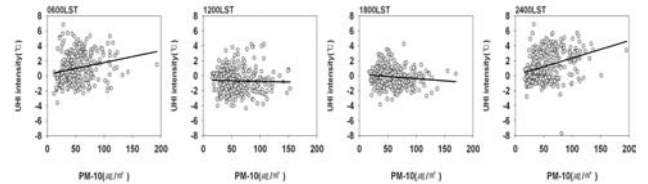


Fig. 11. UHI intensity in relation to PM-10 concentration at 0600, 1200, 1800 and 2400LST at 2006.

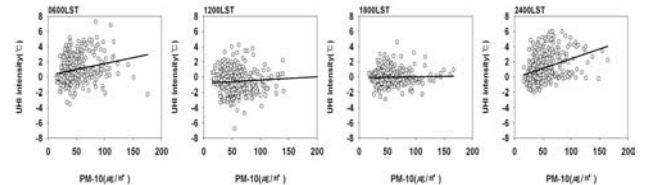


Fig. 12. UHI intensity in relation to PM-10 concentration at 0600, 1200, 1800 and 2400LST at 2007.

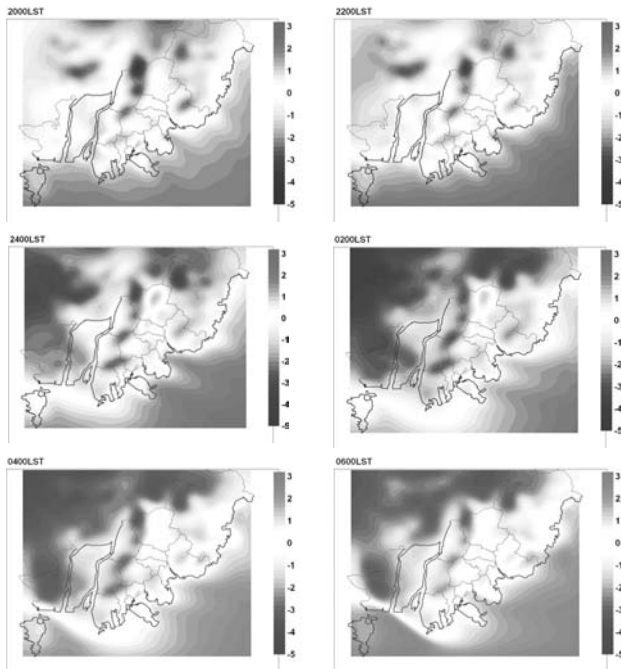


Fig. 13. Spatial pattern of temperature difference between all grid point and Ilgwang grid point in domain4 from 2000LST 12 November to 0600LST 13 November, 2006.

열섬 강도가 강해지는 새벽과 야간시간대를 중심으로 열섬강도의 증가가 PM-10농도 증가와 약한 상관성을 보이는 것으로 나타났다.

2006년과 2007년의 대기질 측정항목 중 PM-10농도와 비교한 결과 낮 시간대와 비교하여 야간 시간대를 중심으로 상관계수는 0.3 이상의 상관성을 보였으며, 따라서 열섬강도와 대기오염도간의 약한 상관관계를 확인 할 수 있었다.

도시열섬의 공간분포

Fig. 13은 열섬현상이 탁월했던 2006년 11월 12일과 13일 사이의 야간시간대의 MM5모델링 결과를 나타낸다. 모델링 결과 계산된 교외지역 일광 측정소의 기온 값과 전체 격자의 기온 값과의 차이를 표현한 것으로 파란색은 일광 측정소의 기온보다 낮은 지역을 나타내고, 붉은색은 일광 측정소보다 높은 기온을 보이는 지역을 나타낸다. 육지와 바다 및 강 지역의 비열차이로 인하여 20시에는 해양과 낙동강 지역에서 기온이 높은 지역이 나타나고 있으나, 24시 이후로 낙동강지역의 고온역은 사라짐을 알 수 있다. 22시 이후부터 금정구 지역과 동래구, 부산진구 지역을 연결하는 도심내부에서 일광 측정소 보다 기온이 높은 지역이 나타나고 있으며, 부산진구 지역은 4시에 기온이 다시 낮아 졌으나, 금정구와 동래구를 연결하는 도심내부에서는 비교적 새벽시간대까지 일광 측정소지역보다 기온이 높게 유지됨을 알 수 있다.

11월 12일과 13일 야간의 사례일에 대하여 MM5 기상장 모델링을 수행한 결과 부산지역의 도시열섬은 금정구와 동래구 부산진구를 연결하는 도심내부를 중심으로 발달하는 것을 알 수 있으며 24시에서 02시 사이에 가장 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

요약 및 결론

도심지역이 교외지역과 비교하여 고온의 공기층을 형성하는 이러한 현상을 도시열섬(Urban Heat Island) 이라고 한다. 일반적으로 도심과 교외지역의 기온차로서 표현되는 열섬강도는 주로 구름이 없고 바람이 약한 날의 야간에 강하게 나타나며, 여름철에 약하고 겨울철 늦은 저녁에서 밤 동안에 가장 크게 나타나는 특징이 있다.

부산지역의 도시열섬 현상을 파악하기 위하여 기상청에서 운영 중인 AWS의 2006~2007년간 시간별 기온 측정 자료를 이용하여 도시열섬 강도를 파악하였다. 기상청에서 운영 중인 12개의 AWS 중 해발고도의 차이가 많은 지점을 제외하고, 3개 지점을 선정하였으며, 부산지역의 토지피복 분류도를 바탕으로 ‘부산진’과 ‘동래구’ 측정소는 도심지역, ‘일광’ 측정소는 교외지역으로 분류하였다. 도시열섬 강도는 도심지에 위치하는 AWS(U1, U2)의 기온과 교외지역에 위치하는 AWS(R1)와의 기온 차로서 계산하였으며, 2006~2007년간 측정된 시간자료를 사용하였다.

지점별 연평균 기온 분포는 2006년의 경우 도심지에 위치한 부산진구(U1) 측정소는 14.6℃, 동래구(U2) 측정소는 14.8℃로 부산지방 평균 기온과 비슷하였으나, 교외지역인 일광 측정소의 연평균 기온은 14.3℃로 도심지역과 비교하여 0.3~0.5℃낮게 나타났으며, 2007년에는 도심지역의 동래구 측정소(U2)의 연평균 기온이 15.6℃로 부산지방평균 기온보다 다소 높았으며, 부산진구(U1)와 교외지역인 일광(R1) 측정소의 연평균 기온은 14.7℃로 부산지방 연평균 기온보다 낮게 나타났다.

시간대별 도시열섬 효과를 파악하기 위하여 2006~2007년간의 도심지역(U1, U2)과 교외지역(R1)의 기온 차이를 시간대별로 평균한 결과, 2006년의 경우 두 지점 모두 10월에 평균 열섬강도가 가장 강하게 나타났으며, 부산진 측정소에는 23~24시에 2.8℃, 동래구 측정소에서는 21시에 2.9℃로 가장 크게 나타났고 2007년의 경우는 부산진구 측정소에서 1월에 2.2℃로 나타났으며, 동래구 측정소에서는 11월에 2.6℃로 2006년과 차이를 보였으며, 또한 2006년과 달리 두 지점에서 1~5월간의 기온 차이가 2.0℃이상으로 비교적 높은 기온 차이를 보였다. 열섬강도와 풍향, 운량과의 관계분석을 통하여 야간 도시열섬 강도가 높을수록 풍속이 낮게 나타나는 상관성을 보이는 것을 알 수 있었으며, 낮 시간대에는 열섬강도가 약해지면서 이러한 상관성이 나타나지 않고 있다. 운량이 0일 경우 열섬의 발생빈도와 강도가 매우 높게 나타나고 있으나, 두

릿한 상관성을 보이지는 않고 있었다.

2006년과 2007년의 대기질 측정항목 중 PM-10농도와 비교한 결과 낮 시간대와 비교하여 야간 시간대를 중심으로 상관계수는 0.3이상의 상관성을 보였으며, 따라서 열섬강도와 대기오염도간의 약한 상관관계를 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 김유근, 홍정혜, 연안도시 부산지역에서의 열섬에 관한 연구, 한국대기환경학회, 추계학술대회 논문집, pp379-381(2000)
2. 윤일희, 민경덕, 김경익, 대구 지역의 기상 특성 연구 및 대기 확산 모델의 개발 II. 도시 열섬 특성에 관한 사례 연구, 한국기상학회지, 30(2), pp303-312(1994)
3. 이종범, 김용국, 김태우, 춘천지역 도시열섬의 특성과 대기질에 미치는 영향, 한국대기보전학회지, 9(4), pp303-309(1993)
4. 장영기, 김정욱, 서울지역의 도시열섬현상과 대기오염도의 관계에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 7(1), pp49-53(1991)
5. 한영호, 김보현, 이동인, 부산지역 도심지의 열섬현상과 기온변화에 관한 연구. 한국기상학회지, 29(3), pp205-216 (1993)
6. Huang, L., Li, J., Zhao, D., Zhu, J., A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of nanjing, china. *Building and Environment*, 43(1), pp7-17(2008)
7. Jauregui, E., Heat island development in mexico city, *Atmospheric Environment*, 31(22), pp3821-3831(1997)
8. King, V. J., Davis, C., A case study of urban heat islands in the carolinas, *Environmental Hazards*, 7(4), pp353-359(2007)
9. Klysik, K., Fortuniak, K., Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of łódz, poland, *Atmospheric Environment*, 33(24-25), pp3885-3895(1999)
10. Sarrat, C., Lemonsu, A., Masson, V., and Guedalia, D., Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. *Atmospheric Environment*, 40(10), pp1743-1758(2006)
11. Wong, N. H., Yu, C., Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International*, 29(3), pp547-558(2005)
12. Yeon-Hee Kim, Jong-Jin Baik. Spatial and temporal structure of the urban heat island in seoul. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5), pp591-605(2005)