

ORIGINAL ARTICLE

## 지상 고밀도 관측 시스템을 이용한 대구의 여름철 고온현상 조사

김상헌 · 조창범<sup>1)</sup> · 김해동\*

계명대학교 지구환경학과, <sup>1)</sup>국립기상연구소 응용연구과

### Investigation of Urban High Temperature Phenomenon in Summer using the High Density Ground Monitoring System in Daegu Metropolitan Area

Sang-Heon Kim, Chang-Bum Cho<sup>1)</sup>, Hae-Dong Kim\*

Department of Global Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

<sup>1)</sup>Applied Meteorology Research Division, National Institute of Meteorological Research, KMA, Seogwipo-Si 697-100, Korea

#### Abstract

We analyzed diurnal variations in the surface air temperature using the high density urban climate observation network in Daegu metropolitan city, the representative basin-type city in Korea, in summer, 2013. We used a total of 28 air temperature observation points data(16 thermometers and 12 AWSs). From the distribution of monthly average air temperature, air temperature at the center of Daegu was higher than the suburbs. Also, the days of daily minimum air temperature more than or equal to 25°C and daily maximum air temperature more than or equal to 35°C at the schools near the center of Daegu was more than those at other schools. This tendency appeared more clearly on the days of daily minimum air temperature more than or equal to 25°C. Also, the air temperature near the center of the city was higher than that of the suburbs in the early morning. Thus it was indicated that the air temperature was hard to decrease as the bottom of the basin. From these results, the influence of urbanization to the formation of the daily minimum temperature in Daegu was indicated.

**Key words** : Urban climate, Basin-type city, Urbanization, Daily minimum temperature

#### 1. 서론

도시열섬현상은 국지성이 매우 강하다. 그래서 도시 내 소지역별로 다른 양상으로 나타나는 기온상승의 원인이나 집중호우 발생 메커니즘을 규명하기 위해서는 도심부의 상세한 기상자료를 필요로 한다(Koo 등, 2010; Sugata 등, 1995; Kataschner과 Kassel, 1988; Goldreich,

1984). 또 도시기후모델을 이용한 예측결과의 검증을 위해서도 시공간적 고해상도의 기상관측자료가 요구된다. 이러한 연구목적을 달성하기 위하여 일본 동경에서는 1997년에서 1998년에 걸쳐서 동경 전역에 약 120개소에 관측 장치를 설치하여 도시기후 자료를 얻어오고 있다(Kim, 2011). 이 중에서 20개 지점은 건물 옥상에 설치된 자동기상관측장치로 풍향, 풍속, 기온, 습도, 강

Received 9 July, 2014; Revised 19 August, 2014;

Accepted 11 September, 2014

\*Corresponding author : Hae-Dong Kim, The Department of Global Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea  
Phone: +82-53-580-5930  
E-mail: khd@kmu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수량, 기압이 10분 간격으로 관측되고 있는데 이를 METROS20이라고 한다. 그리고 나머지 100개 지점은 초등학교 백엽상에 온습도로그를 설치하여 기온과 습도를 관측하고 있는데, 이를 METROS 100이라고 한다 (Kanou 등, 2003)

이들 자료를 이용한 대표적인 연구결과로는 Ando 등(2003)이 폭염이 기승을 부린 2002년 7월 20일부터 8월 31일 사이에 관측된 자료를 바탕으로 제작한 동경의 기온 공간분포도가 있다. METROS 관측 자료로 시공간적 고해상도 관측 자료를 분석할 수 있게 됨으로써, 도시의 열 환경에 관한 세밀한 정보를 파악할 수 있게 되었다. 아울러 이러한 성과는 동경도가 도시열섬을 완화하기 위한 정책을 수립하는 데에 제공되어, 동경도가 2015년까지 목표로 추진 중인 동경도 환경기본계획 (『도시기온 2℃ 낮추기 프로젝트』라고도 지칭함) 수립에 기초자료로 활용되었다. 이 계획은 특히 “도시와 지구의 지속가능성의 확보-열섬현상과 지구온난화의 진

행을 막는다.”를 가장 중요한 목표로 설정하였고, 이를 달성하기 위한 5가지 중점 프로그램 중의 하나로 열섬 대책을 내세우고 있다.

이 기본계획에는 열섬대책의 목표로, “2015년까지 열대야 발생일수를 연간 30일에서 20일로 감소시키고, 도시기온을 2℃ 낮춘다.”로 정하였다. 이 목표는 동경의 도시기후를 1980년대 이전 수준으로 복원시키는 것을 상정한 것이다(Kim, 2011).

또 Okada 등(2014)은 일본에서 여름철 폭염이 가장 극심한 지역들 중의 하나로 알려져 있는 아이치현 타치미 시와 그 교외 지역에 총 15개의 온도로그를 설치하여 도시열섬이 폭염에 미치는 영향을 평가하였다. 그들은 월평균 기온공간분포로부터 타치미 시 중심부일수록 기온이 높고, 비교적 해발고도가 높은 교외에서 기온이 낮은 분포를 보인다는 것을 확인하였다. 이러한 경향은 일 최저기온이 기록되기 쉬운 아침 5시의 기온분포에도 같은 경향이었다. 분지 형 도시의 저지대에 위치한

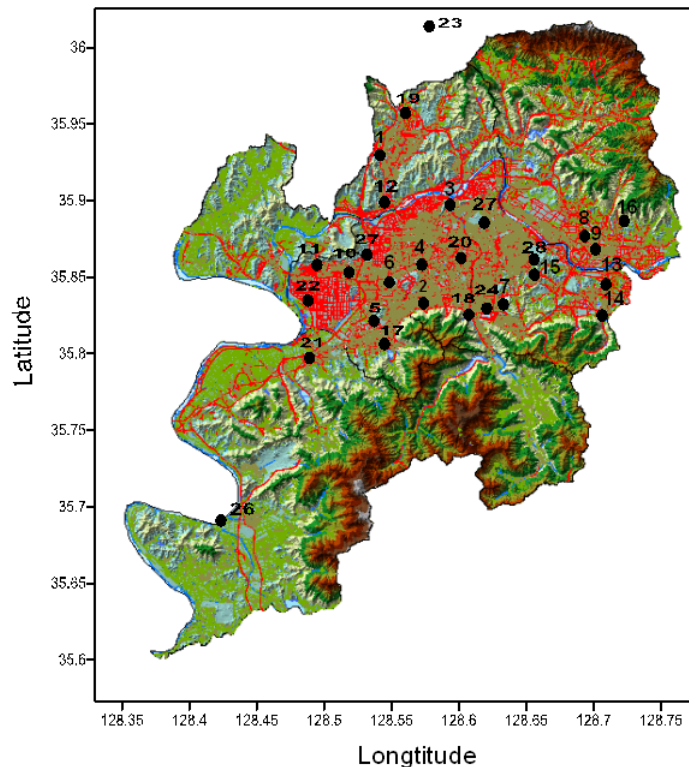


Fig. 1. The locations of observation sites and geographical characteristics in Daegu.

시가지는 일 최고기온 35℃ 이상인 일수와 일 최저기온이 25℃ 이상인 일수가 모두 많았다. 시가지와 교외간의 열 환경 차이는 열대야일수에서 보다 명료하게 나타났다. 이러한 결과를 통해서, 타지미 시의 일 최저기온 형성에 도시열섬이 영향을 미치고 있는 것이 분명하다는 결론을 도출하였다.

이러한 배경에서 이 연구에서는 대구지역에 설치되어 있는 12개소(지점번호 17~28)의 자동기상관측자료와 16개 지점(지점번호 1~16)의 온습도로거 자료를 이용하여 대구의 도시열섬의 실태와 그것이 도시 열적환경(폭염)에 미치는 영향을 조사해 보고자 한다. 관측지점의 위치를 Fig. 1에, 그 지점의 명칭을 Table 1에 제시

하였다. 우리나라 서울(53개 지점)에 비하여 훨씬 적기 때문에 도시열섬의 공간분포를 고해상도로 파악하는데에는 한계가 존재하였다. 특히 자동기상관측 망이 주로 도심과 동서방향으로 집중적으로 자리하고 있고 대구를 둘러싸고 있는 교외지역에는 그 수가 적어서 도심과 교외의 온도분포를 제대로 파악하는데에는 한계가 있었다(Ahn 등, 2010). 그래서 이러한 문제점을 보완하기 위하여 2013년 2월부터 대구지역에 위치한 16개소의 학교 백엽상에 온습도로거를 추가로 설치하여 자료를 얻음으로써, 대구 도심의 열적 특성을 파악할 수 있었다. 이 연구의 결과는 향후 대구 지역에 관측 장치를 확대해가는 데에 기초자료로도 활용될 수 있을 것이다.

**Table 1.** The list of observation points

	Site number	The observation site
Thermometers by Keimyung University	1	Kangbuk High School
	2	Namduk elementary School
	3	Daesan elementary School
	4	Gunam Public Health High School
	5	Yeongnam High School
	6	Wonhwa Middle School
	7	Nungin High School
	8	Jeongdong High School
	9	Yulha elementary School
	10	Seongji elementary School
	11	Sinseo elementary School
	12	Paldal Middle School
	13	Maedong elementary School
	14	Dukwon High School
	15	Daeryun High School
	16	Daegu II Science High School
AWSs by Keimyung University	17	Dowon Middle School
	18	Suseong Middle School
	19	Gyeongsangbuk-Do Agricultural research & Extention services
	20	Kyungbuk National University High School
	21	Hwawon High School
	22	Energy Management Cooperation
	23	New Solar Plant
	24	Doosan-Dong Community Center
AWSs by Daegu Meteorological Observatory	25	Daegu Meteorological Observatory
	26	Dalseong-Gun 828
	27	Seo-Gu 846
	28	Suseong-Gu 845

## 2. 자료 및 분석방법

2013년 여름은 우리나라의 남부지방과 중부지방의 여름날이 매우 대조적인 특성을 보인 해로 기록되고 있다. 장마가 중부지방부터 시작되어 지속기간도 길고 강수량도 많았다. 반면에 남부지방은 장맛비가 매우 적었으며 기록적인 고온일이 오래 지속되었다.

이러한 고온의 여름에 대구의 도시 내 소지역별 열적 특성을 관측 자료를 이용하여 분석해 보았다. 이를 위하여 대구지역에 설치되어 운영 중인 12개소의 AWS 기상 관측자료와 도심지를 중심으로 5 km × 5 km 격자간격으로 학교 백엽상에 설치한 16개 지점의 온습도로거 자료를 이용하였다. 여기에 사용된 온습도로거는 일본 Sato사에서 제작된 것으로 기온과 습도에 대한 정밀도는 각각  $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 3.0\%$ 이다. 이 제품은 일본 동경의 METROS 100에 채용되고 있으며, Okada 등(2014)의 연구에도 사용되었다. 이들 28개 지점에서 관측된 기온자료를 이용하여 대구지역의 2013년 8월의 월평균기온, 오전 5시의 기온공간분포를 조사하였다. 또 여름일(일 최고기온  $30^{\circ}\text{C}$  이상의 날)과 열대야(일 최저기온  $25^{\circ}\text{C}$  이상의 날)일 조건의 유지 시간 비율 및 일 최고기온과 일 최저기온의 소지역별 공간분포 및 여름일과 열대야일이 2013년 8월의 한 달 동안 출현한 빈도에 관한 공간분포도 조사해 보았다. 이들 자료를 바탕으로 대구의 2013년 8월의 사례에 나타난 소지역별 열적 특성을 논의하였다. 관측지점의 해발고도는 대체로 40 m 내외이기 때문에

기온에 대한 고도보정은 수행하지 않았다. 그리고 관측 자료의 신뢰성 평가는 Park 등(2013)에 제시되어 있으며, 모든 관측지점의 기온의 시간변화경향을 대구기상대 자료와 비교하여 일치정도를 비교하였다. 아울러 천리안 위성으로 산출한 기온공간분포와의 일치성도 조사하여 보고서에 제시된 바 있다(Daegu Meteorological Observatory, 2013).

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 2에 대구시의 2013년 8월의 월평균 기온 공간분포를 나타내었다. 도심지인 중구 부근에서  $29^{\circ}\text{C}$ 를 초과하여 가장 높게 나타났다. 아울러 이런 고온지역은 인간 활동이 많은 중구지역을 중심으로 하여 대표적 산업단지가 위치한 남서부 쪽으로 확장되어 나타나고 있음을 확인할 수 있다( $28.5^{\circ}\text{C}$  이상인 지역). 반면에 북동, 동 및 남동쪽으로는  $27^{\circ}\text{C}$  이하로 나타나 고온 지역에 비하여  $2^{\circ}\text{C}$  정도 낮은 분포를 보였다.

Fig. 3에 대구시의 2013년 8월 오전 5시의 월평균 기온 공간분포를 나타내었다. 야간에 분지 지형에서는 복사냉각과 사면 하강류의 이루어 퇴적이 발생하여 저지대에는 냉기 층이 형성되기 쉽다(Kondo 등, 1989; Lee 등, 2010; Sakakibara 등, 2002; Okada 등, 2014). 따라서 분지지역인 대구의 저지대는 밤부터 이른 아침에 걸쳐서 앞산이나 팔공산 산지 부근의 해발고도가 높은 지역보다 저온이 되기 쉽다. 그럼에도 불구하고 월평균 기

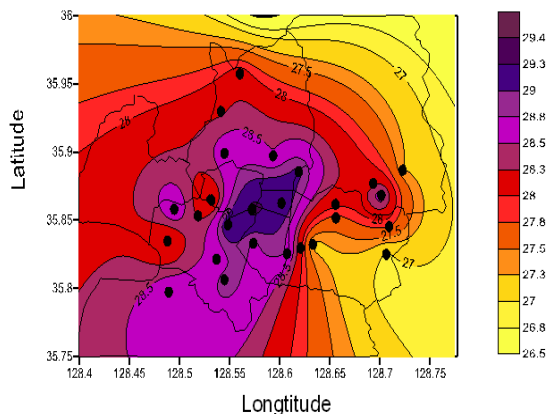


Fig. 2. The distribution of monthly mean temperature on August 2013.

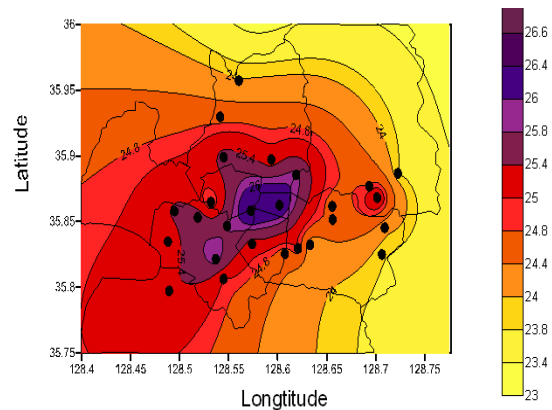


Fig. 3. The distribution of monthly mean temperature at 5 am August 2013.

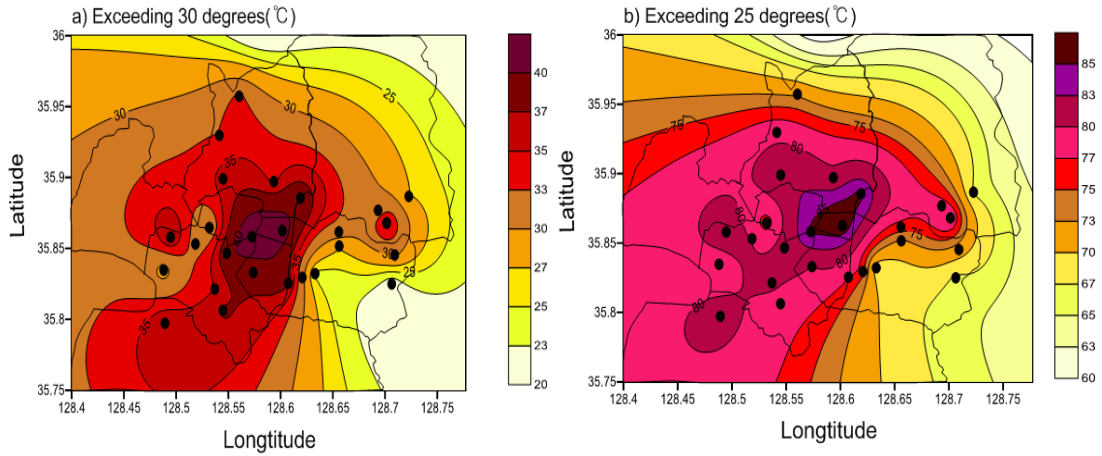


Fig. 4. The distribution of percentage of time that exceeds (a)30°C and (b)25°C on August 2013.

온분포와 유사하게 오전 5시의 기온도 시가지 중심부에서 높은 것을 확인할 수 있다. 중심부에서 26°C 이상인데 반하여 인간 활동도가 낮은 동쪽 지역에서는 이보다 2~3°C보다 낮은 기온이 나타났다. 이러한 기온공간 분포 특성은 도시의 포장화와 인공열의 배출이 도시열섬에 크게 작용하고 있다는 사실을 입증하는 것이다 (Okada 등, 2014).

8월 한 달 중에서 여름철 낮의 고온과 밤의 고온을 대표하는 지표로 널리 이용되고 있는 여름일(일 최고기온 30°C 이상인 날)과 열대야일(일 최저기온 25°C 이상인 날)의 조건을 유지한 시간 비율을 Fig. 4(a)와 (b)에 각

각 나타내었다. 기온 30°C 이상이 유지된 시간 비율은 도심지인 중구 부근에서 40% 이상을 보였고, 그곳에서 산업단지가 위치한 남서쪽으로 30°C 이상의 고온 유지시간비율이 높게 나타났다(35% 이상). 이는 8월 한 달에서 일평균 9시간 이상 30°C를 초과하였다는 것을 의미한다. 반면에 팔공산(북쪽)과 앞산(남서쪽) 그리고 경산과 접해있는 수성구(동쪽)에서는 20~25% 정도로 훨씬 낮게 나타났다.

열대야 출현 조건인 25°C 이상을 나타낸 시간비율도 도심지인 중구에서 남서쪽 방향으로 높게 나타났다(80% 이상). 이는 8월 한 달에서 일평균 4시간 정도만 열대야

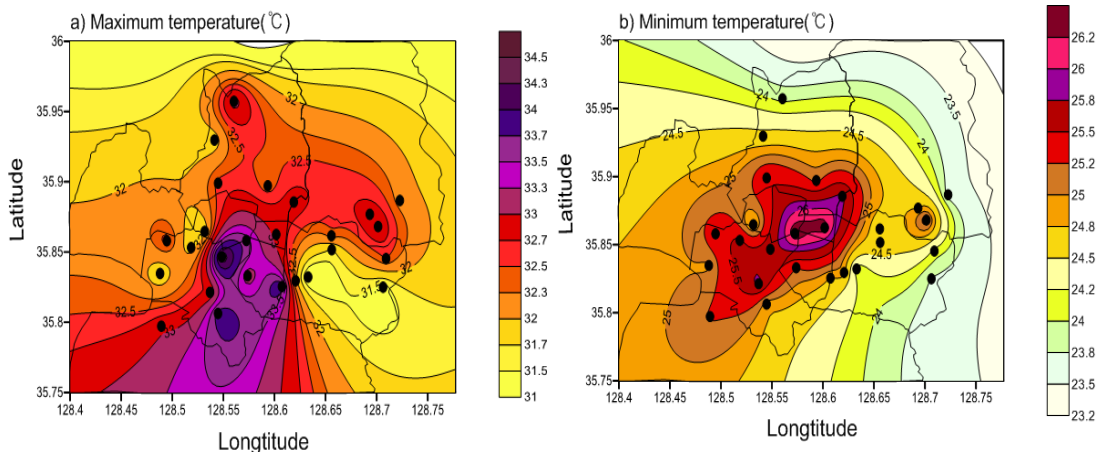


Fig. 5. The distribution of monthly mean (a)maximum temperature and (b)minimum temperature on August 2013.

조건에서 벗어나 있었다는 것을 의미한다. 이와 달리 팔공산, 앞산 및 경산과 접하는 수성구 쪽은 이보다 10% 이상 낮게 나타나서 앞의 지역에 비하여 하루에 2시간 정도 더 오랜 기간에 걸쳐서 열대야의 조건에서 벗어났었다는 것을 의미한다.

일 최고기온과 일 최저기온의 공간분포를 Fig. 5(a)와 (b)에 각각 나타내었다. 일 최고기온이 가장 높았던 지역은 중구의 의 약간 서쪽지역에서 나타났는데, 일 최고기온의 월평균 값이 약 34°C에 이르렀다. 이는 일 최고기온 35°C 이상이 이를 연속해서 나타날 것으로 예상될 때에 발령되는 열파경보에 근접하는 수준이다. 또 인간 활동이 높은 중구에서 남서부지역에 걸쳐서 33°C 이상으로 높았다. 반면에 팔공산, 앞산, 경산에 인접한 동쪽지역은 이들 지역보다 약 3°C 낮게 나타났다. 일 최저기온도 중구에서 가장 높아 26°C 이상이었다. 일 최저기온 25°C 이상 지역은 중구에서 남서부지역으로 넓게 분포하였다. 반면에 팔공산, 앞산, 경산에 인접한 동쪽지역은 24°C 이하로 나타나서, 이들 지역보다 2~3°C 낮게 나타났다.

열대야일과 열대야 일수의 공간분포를 조사하여 Fig. 6(a)과 (b)에 나타내었다. 중구와 그곳부터 남서부지역으로는 28일 이상으로 나타나서, 2013년 8월의 거의 전부가 열대야일의 조건을 만족하였다. 25일 이상으로 범위를 넓히면 대구의 팔공산과 앞산 지역을 제외한 모든 지역이 이에 해당하여 폭염의 심각성을 확인할 수 있

다. 열대야 일수는 중구에서 16~18일이었고, 중구에서 서쪽지역으로 넓은 범위에 걸쳐서 한 달 이내에 10일 이상 열대야 조건을 만족하였다. 반면에 팔공산, 앞산, 경산 인접지역은 5일 이하로 현저히 낮게 나타났다.

일평균 일교차(최고기온과 최저기온의 차)의 공간분포를 Fig. 7에 나타내었다. 도시 포장면적이 넓은 동서방향으로 낮게 나타나고(8~9°C), 팔공산, 앞산 및 경산 인접의 수성구 동쪽에서는 이보다 약 2°C 정도 더 크게 나타났다. 이러한 차이는 Ahn et al.(2006)의 지적과 같이 도시의 토지피복도 차이에 크게 기인하는 것으로 판단된다. 즉 아스팔트 콘크리트와 같은 인공 구조물의 열저장 효과에 큰 영향이 있을 것으로 추정된다. 이외에도 주거시설이 많은 이들 지역에서 야간에 인공열(야간 냉방 열)의 방출에도 영향을 받았을 것으로 추정된다. 이들 지역은 대구에서 인공열 방출이 가장 높은 지역과 대체로 일치한다(Ahn 등, 2002).

분지 지역인 대구에서 낮의 최고기온만이 아니라 오전 5시의 최저기온도 저지대인 시가지에서 높게 나타난다는 사실은 Okada 등(2014)의 지적하고 있듯이, 대구의 도시폭염에 도시열섬의 영향이 크다는 것을 입증하는 관측적 증거로 생각할 수 있다. 따라서 대구가 도시의 여름철 열 환경 개선 대책을 추진하려면 도시지표의 축열 현상과 인공열 배출을 억제하는 것이 필요한데, 우선적으로 중구에서 남서부 방향(달서구)의 축열을 따라서 수행하여야 할 것으로 판단된다. 이들 열 환경이 열악한 지

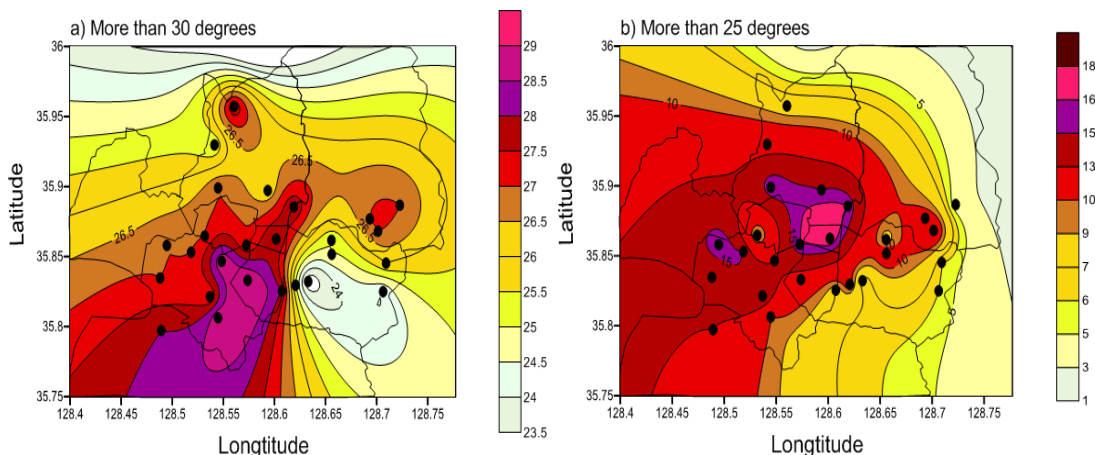


Fig. 6. The distribution of (a)tropical days and (b)tropical night days on August 2013.

대에 산업 활동이 활발하고 저소득층의 비중이 높다는 사실을 고려한다면 열 환경 개선대책은 이들 지역을 우선하여 추진하는 것이 더욱 바람직할 것으로 판단된다.

열대야 일수도 이들 지역 사이에는 5~10일 정도의 큰 격차가 존재하는 것으로 파악되었다.

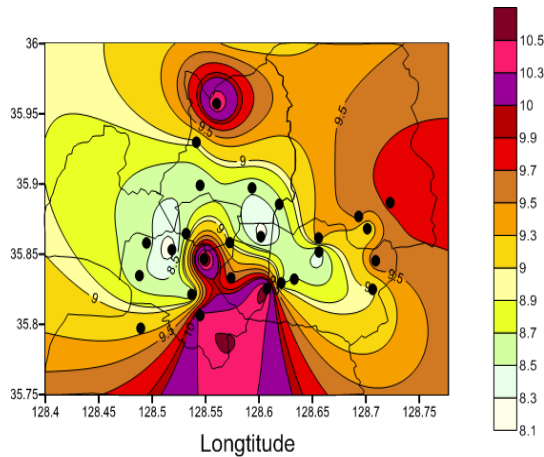


Fig. 7. The monthly mean daily temperature range on August 2013.

4. 결론

이상 고온의 여름이었던 2013년 8월의 대구지역 소지역별 열적 분포특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

(1) 월평균기온 공간분포로부터, 중심부일수록 기온이 높고, 비교적 해발고도가 높은 앞산과 팔공산 산지 부근에서 기온이 낮은 분포를 보였다. 이러한 경향은 일 최저기온이 기록되기 쉬운 아침 5시의 기온분포에서도 같다는 것이 확인되었다.

(2) 대구의 여름철 낮의 고온은 도심지인 중구를 중심으로 하여 산업 활동이 활발한 남서부 방향으로 보다 높게 나타났고, 팔공산과 앞산 지역 및 산업 활동이 상대적으로 낮은 경산 인접지역(수성구(동쪽))에서 낮게 나타났다. 이들 지역 사이에 일 최고기온은 3℃이상의 차이가 나타났고, 여름일과 열대야일수는 5일 이상의 격차가 존재하였다.

(3) 대구의 야간 고온의 분포도 낮의 최고기온 분포와 유사하게 중구를 중심으로 하여 남서부 방향으로 높게 나타났고, 팔공산, 앞산 및 경산 인접지역인 수성구의 동쪽에서 낮게 나타났다. 그 차이는 2~3℃이었다.

감사의 글

이 연구는 국립기상연구소 주관의 『응용기상기술개발연구』의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

Ando, H., Shioda, T., Morishima, W., Kojima, S., Ishii, K., Izumi, T., Mikami, T., 2003, Spatial structure of summer temperatures over the urban area of Tokyo in 2002, Annual Report of Tokyo Environmental Science Research in 2003, 81-87.

Ahn, J.S., Kim, H.D., Kim, S.W., 2010, Effect of Difference of Land Cover Conditions on Urban Thermal Environment in Daegu Using Satellite and AWS Data, Journal of Environmental Science International, 19, 281-293.

Ahn, J.S., Kim, H.D., Hong, J.H., 2002, Estimation of temporal and spatial distribution of anthropogenic heat in Daegu, Journal of Environmental Science International, 11, 1045-1054.

Daegu Meteorological Observatory, 2013, Detailed Information Service of Climatological Index on Solar Generation.

Goldreich, Y., 1984, Urban topo-climatology, Press of Physical Geography, 336-363.

Kataschner, L., Kassel, G., 1988, Urban redevelopment under construction of climatological aspects, Environmental meteorology, Kluwer Academic Publishers, 416-472.

Kanou, M., Mikami, T., 2003, Interaction between the heat island phenomena and mountain breeze in an urban area located on valley mouth, Tenki, 50, 3-11.

Kim, H.D., 2011, The establishment of urban weather observation system and environment assessment of heat island, Meteorological technology and policy information, 4(2), 31-42.

Kim, K.Y., Byon, J.Y., Kim, H.D., 2013, Heat Island Intensity in Seongseo, Daegu, South Korea - a Rural Suburb Containing Large Areas of Water, Journal of Environmental Science International, 22, 1337-1344.

Kondo, J., Kuwagata, T., Haginoya, S., 1989, Heat island

- analysis of nocturnal cooling and daytime heating in a basin, *Journal of Atmospheric Science.*, 46, 2917-2933.
- Koo, H.S., Kim, H.D., Yun, W.T., Lee, S.H., 2010, Variation of Regional Circulations due to Long-term Change of Land Use in the Daegu Metropolitan Region for 100 years, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Science*, 46, 53-64.
- Lee, S.H., Kim, H.D., 2010, Modification of Nocturnal Drainage Flow Due to Urban Surface Heat Flux, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Science*, 46, 453-465.
- Okada, M, H. Kusaka, M. Midori, S. Abe, Y. Takane, Y. Fuji, T. Nagai, 2014, Distribution of air temperature in Tajimi city in summer, *Tenki*, 61(1), 23-28.
- Park, M.H., Lee, J.S., Ahn, W.S., Kim H.D., 2013, A study on the Thermal Characteristics of Midsummer in Daegu Metropolitan Area, *Journal of Environmental Science International*, 22, 667-677.
- Sakakibara, Y., Mieda, A., 2002, Cause of nocturnal heat island and the difference between heat island intensity on fine and cloudy days, *Tenki*, 49, 533-539.
- Sugawara, H., Kondo, J., 1995, Sensitivity test of urban surface temperature, *Tenki*, 42, 813-820.