

ORIGINAL ARTICLE

## 고밀도 도시기후관측 망 자료를 이용한 대구의 여름철 기온 수평 공간 분포의 일변화

김상현 · 김백조<sup>1)</sup> · 김해동\*

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

### Diurnal Variations in the Horizontal Temperature Distribution using the High Density Urban Climate Observation Network of Daegu in Summer

Sang-Hyun Kim, Baek-Jo Kim<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, Jeju 63568, Korea

#### Abstract

We analyzed diurnal variations in the surface air temperature using the high density urban climate observation network of Daegu in summer, 2013. We compared the time elements, which are characterized by the diurnal variation of surface air temperature. The warming and cooling rates in rural areas are faster than in urban areas. It is mainly due to the difference of surface heat capacity. In addition, local wind circulation also affects the discrepancy of thermal spatiotemporal distribution in Daegu. Namely, the valley and mountain breezes affect diurnal variation of horizontal distribution of air temperature. During daytimes, the air(valley breeze) flows up from urban located at lowlands to higher altitudes of rural areas. The temperature of valley breeze rises gradually as it flows from lowland to upland. Hence the difference of air temperature decreases between urban and rural areas. At nighttime, the mountains cool more rapidly than do low-lying areas, so the air(mountain breeze) becomes denser and sinks toward the valleys(lowlands). As the result, the air temperature becomes lower in rural areas than in urban areas.

**Key words** : Urban climate, Heat capacity, Mountain and valley breeze, Local wind circulation

#### 1. 서론

우리나라의 도시화율은 80%를 초과하고 있는데, 이것은 몇몇 도시형 국가를 제외하고는 매우 높은 수준이다. 아울러 서울, 부산, 인천 등 대도시의 도시화 속도는 일본 동경을 뛰어넘는 매우 빠른 수준에 있다(Lee and Kim, 2008). 그 결과 우리나라 대도시의 기온상승속도

는 매우 현저하며, 여름철 도시형 홍수의 발생과 그에 따른 도시의 재해발생도 증가하고 있다. 도시열섬과 지구 온난화는 서로 상승작용을 하면서 도심부의 기온을 더욱 높여 기후변화로 인한 재해 취약성과 도시의 환경 쾌적성을 더욱 악화시킨다. 이러한 문제의 완화를 위해서는 도시의 기후환경을 정확히 파악할 수 있는 도시기후관측 시스템의 구축이 중요하다.

Received 6 October, 2015; Revised 24 December, 2015;

Accepted 4 January, 2016

\*Corresponding author : Hae-Dong Kim, 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.

일본 동경에서는 도시 열 환경 파악을 위하여 1993년에 동경도 환경과학연구소가 주로 초등학교의 백엽상을 빌려서, 동경 도내에 약 100개 지점에 관측 장치(온습도 데이터 로거)를 설치한 관측 망(이를, 93년 관측 망이라고 지칭함)을 1년간 운영한 사례가 있다. 이 관측 성과로 동경의 도시열섬 분포 특성을 파악할 수 있는 흥미로운 결과가 얻어졌다(Mikami, 1999).

하지만 93년 관측 망은 행정 구역으로서의 동경에 집착해서 관측 망을 구축하였기 때문에 동경과 다른 행정 구역간의 경계 지역에서는 관측소의 분포가 균질하지 못하다는 단점이 있었다(Yamazoe et al., 1999). 이러한 자료의 비 균질성은 격자형으로 산출되는 수치모델의 계산결과와 관측 자료를 비교 검증할 때에 한계를 드러낸다. 그래서 새로운 관측 망에서는 관측밀도를 균질하게 하고, 행정구역에 관계없이 면적(面的)으로 전개하였다(이를 98년 관측 망이라고 지칭함). 93년 관측 망은 동경 도내에 격자 간격 5 km(도심부에서는 격자간격 2.5 km)하고, 각 격자의 중앙 부근에 위치한 초등학교의 백엽상을 차용하여 관측기기를 설치하였다. 새로운 도시기후 관측 망 구축에 있어서도 이러한 기본 방침을 따라서, 도내는 산간 부를 제외한 전 지역을 포함하는 범위 내를 관측 대상지역으로 하였으며 나아가서 격자를 설정하는 영역을 북쪽으로 10 km, 남쪽으로 5 km 더 확대하였다. 북쪽으로 확대한 이유는, 도시의 고온역이 해풍의 진입에 수반하여 북쪽으로 이동해간다는 선행 연구자들의 지적을 실증해 보고자 함에 있었다.

대구를 대상으로 열 환경을 상세하게 파악해 보기 위하여 일본 동경의 98년 관측 망 체제를 참고로 AWS와 온습도로그를 이용하여 관측 망을 구축하였다. 고밀도 도시기후관측 망 자료의 특징은 도시의 지상기온을 시공간적으로 고해상도로 자료를 얻을 수 있다는 점에 있다. 관측시간 간격은 1분이고, 공간적으로 도심부와 교외에 걸쳐서 5 km를 만족하도록 고려되었다. 이러한 특징을 살림으로써, 지역별로 나타나는 기온 일변화 특징을 상세하게 파악할 수 있게 되었다.

이 연구에서는 이 도시기후 관측 망을 통해 얻은 기온 자료 중에서 하계(8월)를 대상으로 강수가 없는 쾌청한 기후조건 하에서 계절 평균적인 기온분포의 일변화와 그 일변화의 특징을 분석하였다. 기온의 일변화 자료에는 열수지 관계가 반영되어 있다고 판단할 수 있으므로, 기

온 일변화 분석을 통하여 각 관측지점의 열용량, 국지풍 등의 국지순환에 수반된 이류의 영향 등을 추정해 볼 수 있다(Yamazoe et al., 1999). 이 연구에서는 특히 최고 기온 발생 시와 상승 중간점 및 하강 중간점의 각 요소에 대해서 분석하였다. 이를 통해서 대구 도심과 대구의 교외지역에서 기온의 시공간적 변화에 도시의 영향과 국지순환의 영향이 어떻게 기여하고 있는가를 추정해 보았다.

## 2. 자료 및 분석방법

이 연구에서 수행한 해석에서는 계명대학교 기후환경 연구실에서 구축한 관측 망 및 대구기상지청에서 관리하는 AWS 자료를 망리하여 이용하였다. 또 해석 기간은 여름철 사례로 2013년 8월, 가을철 사례로 2013년 10월을 대상으로 하였다. 관측지점의 위치는 Fig. 1에 제시하였다. 12개소(지점번호 17~22, 24~26, 29~31)는 자동기상관측자료이고, 18개 지점(지점번호 1~16, 23, 27, 28)은 학교 백엽상에 설치한 온습도 로거 자료이다. 각 관측지점에 대한 위치 정보는 Kim et al.(2014)의 논문에서 제시되어 있다. 이들 자료를 분석하여 대구의 도시 열섬의 현황과 열 환경(폭염)의 시공간적 분포특성을 조사해 보았다.

열섬현상과 기후조건의 관계에 대해서는, Sekine (1960)가 동경을 중심으로 한 반경 약 30 km 영역을 대상으로 매일의 일 최저기온분포와 운량, 풍향·풍속 등의 기상요소와의 관계를 고찰한 바 있다. 그에 따르면 도시 내외의 기온 차는 쾌청하면서 바람이 약하고 야간에 풍향의 변화가 보이지 않는 저온인 경우에 크다는 것을 밝혔다.

이러한 사실을 고려하여 이 연구에서도 자료 분석 대상 일을 강수가 없는 쾌청한 날로 선정하였다. 쾌청한 날의 조건은 대구 기상지청에서 측정한 일조시간과 대구 지역의 가조시간을 이용하여 일조율이 70% 이상인 날로 하였다. 이에 해당하는 날은 2013년 8월에는 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 27, 31일의 14일간이었다. 선택된 날의 기온을 대상으로 시간대별 평균값을 구하여 기온분포 일변화를 조사하였다. 자료의 검증은 해당일의 대구기상지청 관측 자료와 비교하여 기온의 시간변화 경향을 비교하는 방식으로 수행하였다.

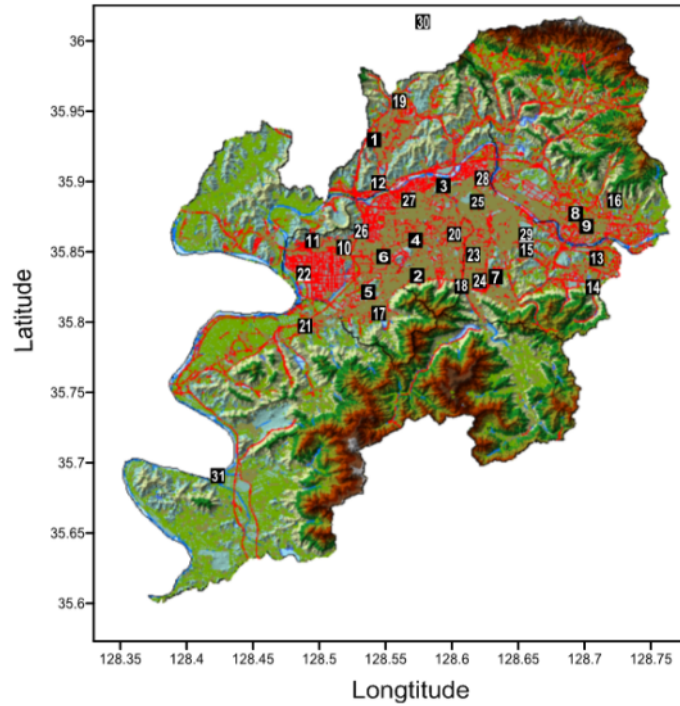


Fig. 1. The locations of observation sites and geographical characteristics in Daegu.

3. 결과

3.1. 기온 공간분포의 시간변화

2013년 8월(여름)과 2013년 10월(가을)의 기온분포 일변화를 Fig. 2-5에 걸쳐서 제시하였다. 기온 값은 자료 분석 대상일의 기온을 각 시각별로 평균하여 구하였다.

2013년 8월 03시의 시간평균 공간분포를 Fig. 2에 나타내었다. 대구 중심부에 고온 영역이 확인된다. 이 시간대에 기온이 가장 높은 곳은 대구의 도심지인 중구 지역을 중심으로 나타났는데 그 값은 약 27.7℃에 이르러 기온이 낮은 교외지역의 24℃내외에 비하여 약 3~4℃나 높은 것으로 파악 되었다. 도심에 고온의 핵이 1개 존재하고 중심부에서 도심 주변부로 가면서 점차 저온이 되는 1핵 도시(Mizukoshi and Yamashita, 1980)의 도시 열섬 분포를 보여주고 있다. 그리고 산풍의 영향이 가장 탁월하게 발달할 수 있는 이 시간대에 교외지역의 기온이 도심지보다 훨씬 낮게 형성된 것은 Kanou and Mikami(2003)가 지적하고 있듯이 높은 산지로 둘러싸여있는 분지형 도시의 특성을 잘 반영하고 있다.

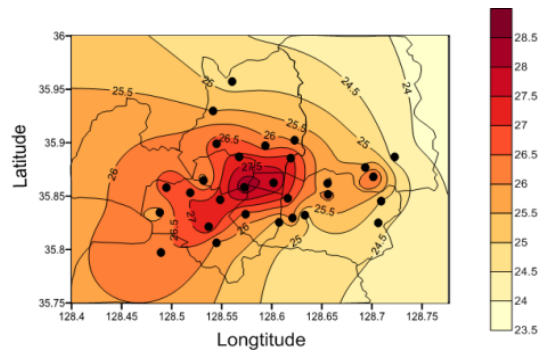


Fig. 2. Distribution of surface air temperature on August (03:00, ℃).

Fig. 3에 일출 후 약 3시간이 경과한 2013년 8월 09시의 시간평균 공간분포를 나타내었다. 기온의 공간분포에서 도심지에서 약 30.8℃, 교외에서 28.8℃로 그 차이가 약 2℃로 나타나서 03시에 비하여 약간 축소된 것으로 나타났다. 이러한 도시열섬 강도의 축소는 도심지보다 교외지역에서 기온상승 속도가 더 빠른 것에 기인하였는

데, 이는 도시열섬강도가 야간에 도심 고온현상으로 인해 크게 나타나고 낮에는 축소된다는 선행 연구결과와 잘 일치하는 것이다(Oke, 1973; Lansberg, 1980). 그리고 도시의 고온 영역이 중구를 중심으로 북쪽과 남쪽으로 양분되는 특성을 보여 태양에너지 흡수에 따른 지표면 온도 상승이 빠른 열적 특성이 존재하는 것을 볼 수 있다.

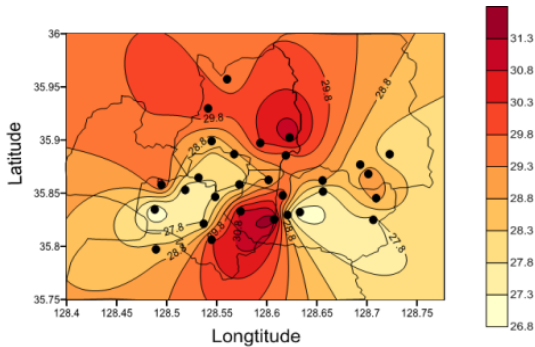


Fig. 3. Distribution of surface air temperature on August (09:00, °C).

여름철에 지표 가열이 충분히 진행된 것으로 판단할 수 있는 15시의 시간평균 공간분포를 Fig. 4에 나타내었다. 도심에서 약 35.2°C, 교외에서 약 34.2°C로서 도시열섬강도가 1°C 내외로 나타나서 그 이전 시간대에 비하여 기온차가 더욱 감소되었으며 고온 영역은 산업과 인간 활동이 집중되는 중구에서 남서쪽 방향으로 높게 나타났다. 한낮에 도시를 둘러싼 교외 지역에도 다른 시간대에

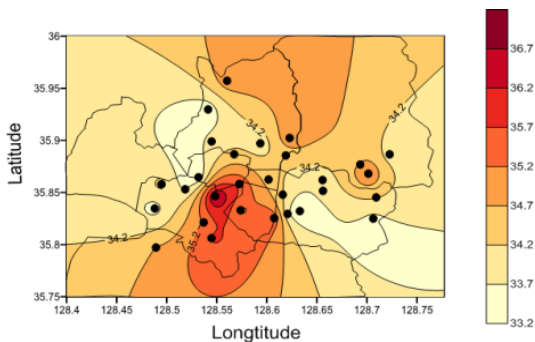


Fig. 4. Distribution of surface air temperature on August (15:00, °C).

비하여 고온이 형성되는 것은, 국지적 가열효과뿐만 아니라 분지 형 도시에서 낮에 골바람의 형태로 도심에서 산지로 바람이 불어 도심에서 교외로의 온난이류가 발생하는 것에도 기인한다(Kanou and Mikami, 2003).

Fig. 5에 일몰 후 약 3시간이 경과하여 지표면 냉각이 어느 정도 진행된 것으로 간주할 수 있는 21시의 시간평균 공간분포를 나타내었다. 도심지의 기온은 약 31.2°C, 교외지역의 기온은 약 27.2°C로 그 차이가 한낮에 비하여 많이 커졌음을 알 수 있다. 이러한 차이는 일몰 후 3시간 동안에 도심지의 기온이 약 4°C 하강할 동안에 교외 지역에서는 약 7°C나 하강한 것에 기인하였다. 이러한 경향은 Oke and Maxwell(1975)이 지적한 바와 같이 도심지가 교외지역에 비하여 지면 열용량이 훨씬 큰 사실에 주로 기인한다. 아울러 도시의 고온 영역이 새벽 3시와 유사하게 중구에서 서쪽에 위치한 달서구 방향으로 길게 동서로 위치하여 고온 영역이 대구에서 인간 활동이 가장 활발한 지역과 일치하는 경향을 보여준다. 반면에 저온경향을 보여주는 동쪽, 남동쪽 및 북동쪽의 교외 지역에는 지표의 낮은 열용량 효과뿐만 아니라, Goo et al.(2002)이 지적한 바와 같이 경산(남천), 앞산, 팔공산에서 발생한 산풍에 의한 기온 하강의 영향도 작용하였을 것이다.

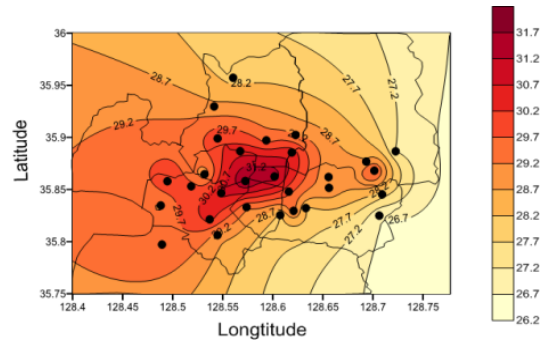


Fig. 5. Distribution of surface air temperature on August (21:00, °C).

### 3.2. 기온일변화의 시간적 요소의 분포

아래에 항목별로 제시하는 기온일변화의 시간적 요소의 산출은 Hujibe(1993)의 방법을 따라서 수행하였다.

<최고기온 발생 시각>

최고기온 발생시각은 하루 중에서 관측된 기온의 15분치의 3항 이동평균값이 최고가 되는 시각인데, 최고치가 하루에 2회 이상 있는 경우는 빠른 시각을 선정하였다.

Fig. 6에 8월의 최고기온 발생 시각분포를 나타내었다. 8월의 최고기온분포(그림 생략)는 15:00의 분포(Fig. 4)와 유사하게 나타났다. 8월의 일 최고 기온 발생 시각은 13시에서 16시에 걸쳐 나타나서 지역적인 차이가 약 3시간에 이르렀다. 13시경에 최고기온이 나타난 지역은 북구 칠곡의 팔거천 상류지역(35.93N, 128.53E 부근) 및 농경지와 삼림지역이 많이 분포하는 달성군 서재지역(35.85N, 128.56E 부근)과 수성구 월드컵 경기장 부근(35.86N, 128.65E 부근)이었다. 반면에 지표면 열용량이 큰 아스팔트도로와 주거시설이 많은 지역에서는 일 최고 기온의 출현 시각이 이보다 훨씬 늦었다. 이러한 경향은 Yamazoe et al.(1999)이 일본 동경을 대상으로 최고기온과 최저기온의 출현시각은 지표면 열용량이 큰 지역일수록 늦어진다는 지적과 일치한다.

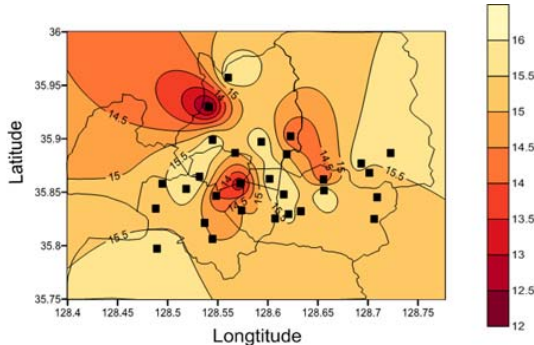


Fig. 6. Time distribution of the appearance of daily maximum air temperature in clear Days of August 2013.

<상승 중간점>

상승 중간점이란 그날의 아침 최저기온과 최고기온간의 중간 값에 기온이 도달한 시각으로 표현된다. 이 시각이 빠르면 기온의 상승이 급하다는 것을 의미하고 늦으면 기온 상승이 완만하다는 것을 나타낸다(Yamazoe et al., 1999). 즉, 각 지역별로 지표면이 가열되기 쉬운 정도를 특징짓는 지표가 된다. 상승 중간점은 15분 간격의 값을 직접 내삽해서 구하였다.

Fig. 7에 상승 중간점 분포를 나타내었다. 대체로 Fig. 4에 제시한 일 최고기온 분포에서 일 최고기온이 낮은 지역에서 상승 중간점의 출현이 빠르게 나타났다. 이는 최고기온이 낮은 지역에서 상승 중간점의 기온도 낮은 현상을 반영한 결과로 판단된다. 앞산의 대곡지역(35.8N, 128.54E 부근)에서 오전 8시 경으로 빠르게 나타났는데, 연안 도시에서 해안부근에서 이러한 경향을 보이는 것과 유사한 경향을 보였다. 그 이외의 지역은 10시 내외로 차이가 작았다. 도심지역일수록 기온 일교차가 작다는 것을 고려하여 생각해 보면, 도심지역일수록 지표면의 가열과 냉각이 느리다는 것을 알 수 있다.

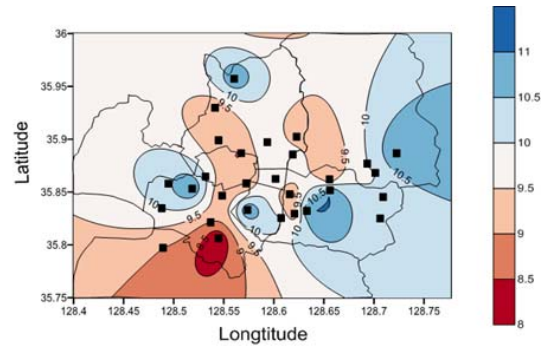


Fig. 7. Same as Fig. 6, except for the intermediate time in the process of warming.

<하강 중간점>

하강 중간점이란 그날의 최고기온과 다음 날 아침의 최저기온의 중간치에 기온이 도달한 시각으로 표현된다. 이 시각이 빠르면 하강이 급하다는 것을 의미하며, 늦다면

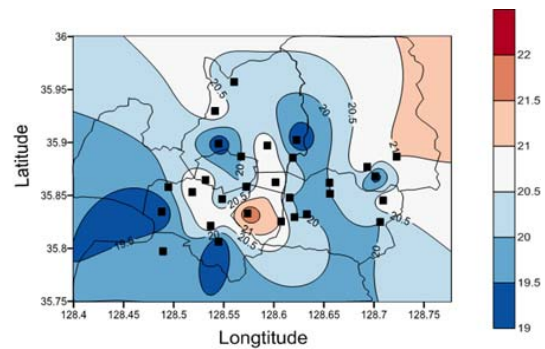


Fig. 8. Same as Fig. 6, except for the intermediate time in the process of cooling.

기온 하강이 완만하다는 것을 나타낸다. 즉 각 지역의 냉각되기 쉬운 정도를 나타내는 지표가 된다. 하강 중간점은 상승 중간점과 마찬가지로 15분치를 직접 내삽해서 구하였다.

Fig. 8에 8월의 하강 중간점 분포를 나타내었다. 산지 부근의 교외지역에서 빠르고 도심부(35.82N, 128.56E 부근)에서 지연되는 유형이 보인다. 이와 같이, 도심부에서 최고기온이 높고 하강 중간치에 해당하는 기온도 높는데, 그기에 도달하는 시간이 늦다는 것은 낮 동안에 저장되는 열의 양이 많기 때문이었을 것이다.

#### <도심과 교외 지점의 상세 비교>

도심과 교외간의 기온 시간변화 특성을 명확히 하고자 도심지역(Fig. 1의 4번 지점)과 팔공산 부근에 위치한 북쪽에 위치한 교외지역(Fig. 1의 3번 지역)의 여름철(8월) 기온의 시간평균값을 Fig. 9에 제시하였다. 교외지역의 최저기온은 07시경에 약 23.8℃로 나타났고 최고기온은 16시경에 약 34.2℃이었다. 도심지역의 일최저기온은 그보다 1시간 늦은 08시경에 약 25.3℃이었고, 일최고기온은 17시경에 약 35.5℃로 나타났다. 교외지역에서 상승 중간점 온도는 약 29℃로 11시 경에 나타났고, 도심지의 상승 중간점은 약 30.4℃이며 12시 경에 나타났다. 교외지역의 하강 중간점은 19시 30분 경, 도심지의 하강 중간점은 이보다 훨씬 늦은 23시경에 나타났다.

이러한 결과는 도심과 교외의 지표의 열저장 능력의 차이를 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다. 최저기온에서 최고온도의 중간점에 도달하는 시간에는 큰 차이가 없지만, 최고 온도에서 최저온도의 중간점에 도달하기까지의 냉각 시간은 도심에서 훨씬 길었다. 도심지의 여름철 열 환경은 지표의 높은 열용량으로 인하여 야간 기온의 하강이 느려져 열대야 현상이 조장되기도 하고, 하루 동안의 적산온도가 커지기 때문에 교외지역과 도심 지역의 주민들이 체감할 수 있는 열적 수준은 평균기온으로 표현되는 그것보다 큰 차이를 보이게 된다.

#### 4. 결론

동경 주변에 설치된 고밀도 도시기후관측 망 자료를 이용한 해석의 사례로 기온분포의 일변화와 기온일변화를 특징짓는 시간적 요소 분포에 대해서 전형적인 폭염의 해였던 2013년 여름(8월)을 사례를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 8월의 기온분포 일변화 특징은 도시의 지표면 열용량의 영향을 크게 반영하고 있는 것으로 나타났다. 지표의 열용량이 큰 아스팔트 도로와 콘크리트 건축물이 많고 인간 활동이 많은 도심지와 산업공단 지역에서 일최고기온과 일최저기온이 높게 나타났는데, 지역적 차이는 일최고기온은 1~2℃, 일최저기온은 3~4℃로 나타났다. 도시열섬 강도가 최저기온이 최고온도보다 크

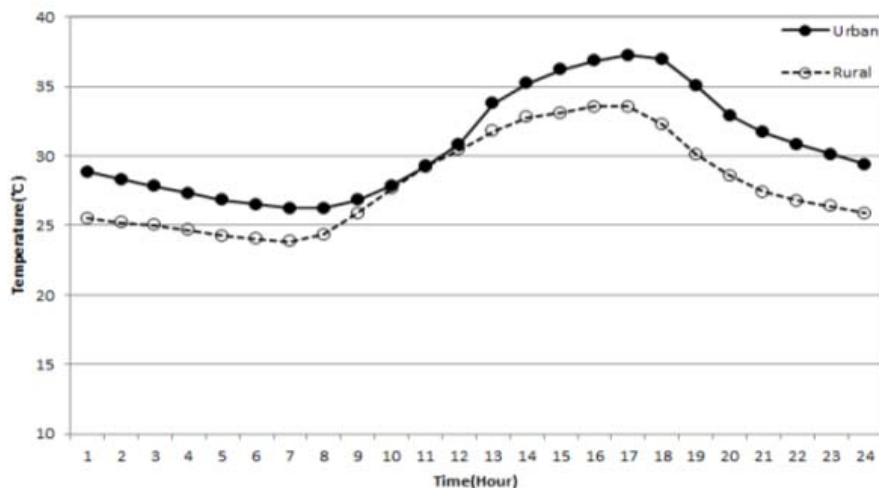


Fig. 9. Time variations of monthly averaged air temperature during August 2013 at urban and rural points.

게 나타나는 경향은 Do and Jung(2012)과 Park et al.(2012) 연구에서 제시된 부산의 경우와 같지만, 일 최저온도에 나타난 도시열섬강도는 부산에 비하여 두 배 정도 크게 나타났다. 그 이유로, Kanou and Mikami (2003) 높은 산지로 둘러싸인 분지 지형에서 발달하는 산곡풍의 영향이 중요한 역할을 하고 있을 것이다.

둘째, 최고기온, 상승중간점 및 하강중간점 시각이 모두 자연 토양과 산지가 많은 교외지역이 도심지보다 빠르게 나타났는데, 그 차이가 크게는 3시간에 이르기도 하였다. 아울러 도심지의 높은 지표면 열용량에 따른 시간 지연효과(time-lag effect)도 도심과 교외 지역 간 기온 시간변화 요소에 큰 차이를 만드는 중요한 요인이 된다. 이러한 특성은 Yamazoe et al.(1999)이 일본 동경을 대상으로 조사한 결과와 비교하면 해안에 인접한 도심지와 산지에 인접한 교외간의 시간변화 경향성 값이 유사하였다.

셋째, 도심지의 높은 지표면 열용량으로 인한 시간지연효과는 결과적으로 도심지의 일 누적 온도를 높여 도시 쾌적성을 낮추는 역할을 한다. 따라서 도심지의 여름철 환경 쾌적성 확보를 위해서는, 도로와 건축물 외벽 단열재 도입 같은 공학적 기법을 도입(Moriyama, 2005)하여 지표면의 열용량을 낮추는 일이 중요할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 국립기상과학원 연구 개발사업 응용기술개발연구의 일환으로 수행되었습니다.

### REFERENCES

- Do, W. G., Jung, W. S., 2012, An analysis on the variation trend of urban heat island in Busan area (2006-2010), *Journal of Environmental Sciences*, 21, 953-964.
- Hujibe, T., 1993, Daily change of air temperature distribution in Kanto Plateau on Spring and Summer, *Tenki*, 40, 759-767.
- Mikami, T., 1999, Investigation of urban heat island based on the ground monitoring system, *Monitoring and management of urban heat island interim report*, Japan Science and Technology Corporation, 1-3.
- Kim, S. H., Cho, C. B., Kim, H. D., 2014, Investigation of urban high temperature phenomenon in summer using the high density ground monitoring system in Daegu metropolitan area, *Journal of Environmental Science International*, 23, 1619-1626.
- Kanou, M., Mikami, T., 2003, Interaction between the heat island phenomena and mountain breeze in an urban area located on a valley mouth, *Tenki*, 50, 3-10.
- Landsberg, H. E., 1981, *The urban climate*, Academic Press, Newyork, 275.
- Lee, S. H., Kim, H. D., 2008, Effects of regional warming due to urbanization on daytime local circulations in a complex basin of the Daegu metropolitan area, Korea, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 1427-1441.
- Moriyama, M. K., 2004, Countermeasure and technology against heat island, *Kakugei Press*, 88-131.
- Mizukoshi, M., Yamashita, S., 1993, *Introduction to Climatology*, Kokin Press, 90-95.
- Oke, T. R., 1973, City size and the urban heat island, *Atmospheric Environment*, 7, 769-779.
- Oke, T. R., Maxwell, G. B., 1975, Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver, *Atmospheric Environment*, 9, 191-200.
- Park, M. H., Lee, J. S., Ahn, J. S., Suh, Y. S., Han, I. S., Kim, H. D., 2012, Analysis of correlation between the cause of urbanization effect of Busan by using daily minimum temperature, *Journal of Environmental Sciences*, 21, 1477-1486.
- Sekine, R., 1960, Urban climatological study on the distribution of daily minimum air temperature in Tokyo Metropolitan area, *Journal of Geography*, 33, 564-572.
- Yamajoe, K., Ushiyama, T., Mikami, T., Kimura, K., 1999, An analysis of diurnal variations in the horizontal temperature distribution using the high density urban climate observation network in Tokyo Metropolitan area : A comparison of the summer case with the autumn case, *Monitoring and management of urban heat island interim report*, Japan Science and Technology Corporation, 16-22.