

ORIGINAL ARTICLE

## 2016년 여름철 폭염 시기 대구의 기온공간분포 특성

김지혜 · 김해동\*

계명대학교 환경학부 지구환경학과

### Spatial Distribution of Air Temperature during an Extreme Heat Period in Daegu Metropolitan Area in 2016

Ji-Hye Kim, Hae-Dong Kim\*

Department of Global Environment, Faculty of Environment, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

#### Abstract

We studied the distribution of air temperature using the high density urban climate observation network data of Daegu. The observation system was established in February 2013. We used a total of 38 air temperature observation points (23 thermometers and 18 AWSs). From the distribution of monthly averaged air temperatures, air temperatures at the center of Daegu were higher than in the suburbs. The daily minimum air temperature was more than or equal to 25°C and the daily maximum air temperature was more than or equal to 35°C at the elementary school near the center of Daegu. Also, we compared the time elements, which are characterized by the diurnal variation of surface air temperature. The warming and cooling rates in rural areas were faster than in urban areas. This is mainly due to the difference in surface heat capacity. These results indicate the influence of urbanization on the formation of the daily minimum temperature in Daegu.

**Key words** : Warming rate, Cooling rate, Heat capacity, Urbanization

#### 1. 서론

2016 이상기후보고서(KMA, 2017)에 따르면 지난해 전국 연평균 기온은 평년보다 1.1°C나 높은 13.6°C를 기록하여 전국적 기상관측 망이 갖추어진 1973년 이래 가장 높았다. 지난해에는 5월에 남서풍 계열의 고온 공기가 유입되고 강한 일사로 기온이 큰 폭으로 상승하여 폭염주의보가 발효되기도 하였으며 7월말부터 8월말까지 북태평양고기압 및 중국 대륙에서 발

달한 대륙 고기압의 영향으로 기록적인 폭염이 나타났다. 폭염일이 22.4일, 열대야 발생이 10.8일에 이를 정도로 폭염이 심각하였다. 그 결과 2016년의 여름은 1994년 이후 가장 심각한 폭염의 해가 되었다. 이와 같은 이상 고온과 가뭄현상으로 과일 일소(日燒)와 농작물 고사가 발생하여 농지 약 1만 6600 ha에 농작물 피해가 발생했다. 고온 장애로 가축 444만여 마리가 폐사하고 온열 질환자가 총 2천 125명(사망 17명) 발생하여 전년 대비 약 2배나 증가하였다.

Received 14 June, 2017; Revised 25 July, 2017;  
Accepted 7 August, 2017

\*Corresponding author: Hae-Dong Kim, Department of Global Environment, Keimyung University, Daegu 42601, 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.

대구의 경우에는 일 최고기온이 7월 5일에 처음으로 30℃를 넘어서 이후 비가 내려 일시적으로 30℃ 이하를 기록한 7일을 제외하고 폭염일이 8월 26일까지 이어져서(총 46일) 전국 평균보다 2배 이상 많았다. 이 기간에 폭염 경보 수준인 일 최고기온 35℃ 이상을 기록한 일수는 총 11일이었고 기온이 가장 높았던 것은 8월 13일의 38.1℃이었다. 그런데 이렇게 높았던 대구의 기온도 실제 도심지의 기온에 비하면 많이 낮을 것으로 추정된다. 특히 대구기상지청은 2015년 6월에 관측지점을 동구 신암동에서 인간 활동이 적은 금호강 주변인 동구 효목동으로 이전했고, 그 이후로 대구의 공식 기온이 상대적으로 낮은 수준을 기록하게 된 것으로 지적받고 있다. 사례로서 2016년 8월 8일에 대구기상지청에서 관측된 일 최고기온은 35.6℃이었는데, 최근 고층 아파트 단지과 산업시설이 많이 들어선 달성군 현풍 소재 기상청의 자동기상관측 장치에서는 39.0℃가 기록되어 3.4℃나 높았다. 또 (구) 대구기상대 소재지인 신암동의 관측치도 효목동보다 0.4℃ 더 높았다(Mail Newspaper, 2016).

도심지의 실제 기온이 그 지역에서 발표되는 기상 관측의 공식 자료에 비하여 훨씬 높을 것이라는 문제 의식에서 도시에 상세 기온관측시스템을 구축하여 도시의 기온 공간분포를 파악하는 연구가 국내외적으로 다수 수행되었다(Yamajoe et al., 1999; Lee and Kim, 2008; Park et al., 2011; Kim et al., 2014, 2016; Yoshida, 2016). 일본에서 여름철 고온현상이 가장 심각한 Tachimi 시에서는 시민과 연구자들이 함께 현장 관측을 수행하고 분석하여 그 결과를 논문으로 출간한 사례도 있다(Okada et al., 2014). 그들은 Tachimi 시의 고온출현 원인을 지리적 위치와 지형(소분지)에 의한 기상 특성, 도시개발에 따른 지표면의 변화(논면적의 감소 등), 자연적 인위적 기후변화 영향이 종합적으로 관여한 결과라고 결론지었다.

Park et al.(2011)은 대구 지역에 설치되어 있는 자동기상관측 망 자료, 대기오염 관측 망 자료, 인공열 배출량, 위성자료를 이용한 지표면 열 환경 분포, 수치 실험을 이용한 국지 순환풍 분포, 대구의 지형 특성을 이용하여 대구의 도시 환경기후지도도를 작성하였다. 이 연구에서 그들은 대구의 기후를 5개 영역으로 분류하고 각 영역별로 도시기후를 효과적으로 보전할

수 있는 방안을 제시한 바 있다. 또 Kim et al.(2014)은 대구에 설치한 지상 고밀도 기상 관측 시스템 자료를 이용하여 2013년 대구의 여름철 고온현상의 공간분포 특성을 조사하여, 도심과 교외 사이에 월평균한 일 최고기온과 일 최저기온에 3℃ 내외의 차이가 존재하며, 여름일과 열대야일수도 5~10일 정도의 차가 존재한다는 것을 제시한 바 있다.

Kim et al.(2015)은 폭염경보 수준의 고온 하에서 대구의 중심 지역을 관통하고 있는 간선 대로상에서 기상관측을 수행하여 도로 상의 일 최고기온이 대구 기상지청의 자료에 비하여 7℃ 정도 높았다는 사실을 보고한 바도 있었다.

이 연구에서는 1998년의 폭염 이래로 가장 더운 여름으로 기록되었던 2016년의 폭염 기간을 대상으로 대구의 여름철 고온 공간분포 특성을 대구기상지청 관측의 자료와 비교하여 분석해 보았다. 이 연구의 기대효과로는 대구시의 도시고온 분포 특성과 그 원인을 바탕으로 과학적인 도시열섬 완화 대책을 수립하는 데에 기초자료로 활용할 수 있다는 것에 있다. 아울러 대구의 도시 내 고해상도 도시폭염정보시스템 구축에 기초자료로 활용될 수 있다는 점을 들 수 있다.

## 2. 자료와 연구방법

2016년 여름은 전국적으로 폭염일이 22.4일에 이르러 1998년 이래로 가장 더운 해였다. 특히 대구는 7월 5일부터 8월 26일 사이에 폭염일이 46일에 이르러 전국 평균의 2배를 넘었다. 이 연구에서는 이 기간(52일)을 대상으로 2013년 3월부터 대구 지역에 5 km×5 km 격자 간격으로 학교 백엽상에 온습도 로거를 설치하여 관측해 오고 있는 기온과 습도 자료 23개소(Kim et al., 2014) 및 대구광역시 보건환경연구원의 대기오염관측소 10개소 및 대구기상지청의 8개소(AWS 6개소, ASOS 2개소) 자료를 사용하였다. 학교 백엽상에 설치한 온습도로거는 일본 Sato사에서 제작한 것으로 기온과 습도에 대한 정확도는 ±0.7℃, ±3.0%이다. 이 제품은 일본의 동경도 환경과학연구소와 동경수도대학의 Mikami 교수 연구실이 협력하여 동경 도내의 상세 도시기상자료를 모니터링하기 위하여 구축한 100개소의 온습도 관측에 사용한 제품과

동일한 제품이다. 일본 동경 도에서는 2002년 7월부터 도시 내 학교 백엽상을 이용하여 100개 지점에서 온습도 로거를 이용하여 온도와 습도 자료를 관측하여 동경의 도시 고온현황을 실시간으로 모니터링하고 있는데, 이를 METROS 100이라고 부르고 있다 (Araki, 2003).

이들 자료를 이용하여 대구지역의 2016년 폭염기간 동안의 평균기온, 일 최고기온과 일 최저기온의 평균기온의 상세 공간분포를 조사하였다. 또 여름일과 열대야일 조건의 유지 시간비율 및 일교차의 공간분포 특성도 조사하였다. 마지막으로 대구의 도시 기후 구역별 기온의 일변화를 조사하고, 대구기상지청과 대구 도심 기온의 일변화를 비교하였다. 관측 장비의 설치 장소 정보와 신뢰도 평가에 대해서는 Kim et al.(2014)와 Park et al.(2013)에 상세히 기술되어 있다.

### 3. 결과

Fig. 1에 대구시 전역의 2016년 고온기간(7월 5일 ~8월 26일)의 평균 기온 공간분포를 나타내었다. 2016년 대구에서는 7월 5일부터 8월 26일 사이에 강수현상 등으로 기온이 일시적으로 폭염수준에 도달하지 않은 7일을 제외하고 폭염일이 이어졌다. 도심지인 중구 부근에서 29℃를 초과하여 가장 높았다. 이곳과 교외지역(27℃ 내외)사이에 2℃ 이상의 차이가 확인되었다.

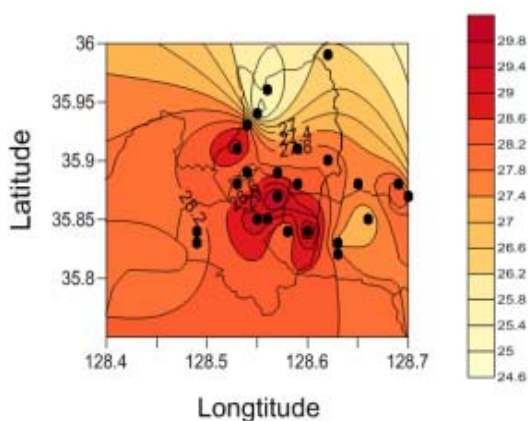


Fig. 1. The distribution of mean temperature during hot summer days (6 July ~26 August 2016) in Daegu.

Fig. 2(a)와 (b)에 폭염 기간 동안에 기록된 일 최고기온과 일 최저기온의 평균치에 대한 공간분포를 나타내었다. 일 최고기온도 중구를 중심으로 폭염 경보 수준에 육박하는 34℃ 이상이 나타났고, 폭염 주의보 수준인 33℃ 이상은 교외지역을 제외한 대부분의 지역에 나타났다. 즉 대구의 대부분의 지역은 7월에서 8월에 걸쳐서 거의 2개월 동안 폭염 주의보 수준 이상에 노출되었다. 반면에 중구의 북쪽에 위치한 팔공산 인근 교외지역의 일 최고기온은 32℃ 내외였다. 그래서 도심과 교외지역 사이의 일 최고기온 차는 약 2℃로 나타났다. 일 최저기온도 열대야 수준인 25℃ 이상의 고온 영역이 중구 지역을 중심으로 넓게 분포하였다. 이에 반해서 중구의 북쪽에 위치한 팔공산 부근을 포함한 교외 지역에서 22℃ 내외였다. 그 결과 대구 도심과 교외지역 간에는 일 최고기온은 2℃, 일 최저기온은 3℃ 정도의 차가 나타났다.

폭염 기간을 대상으로 열대야일 수준(25℃ 이상), 여름일 수준(30℃ 이상), 폭염경보 수준(35℃ 이상)의 조건을 유지한 시간 비율을 Fig. 3(a), (b), (c)에 나타내었다. 도심지에서는 열대야일 수준 이상이 나타난 시간 비율이 자료 분석기간 전체의 80%를 초과하였고, 교외에서도 대부분의 지역에서 70% 이상이었다. 즉 하루 중 25℃ 이상이 유지된 시간이 도심지에서는 약 20시간, 교외에서도 17시간 정도였다. 여름일 수준 이상이 유지된 시간비율은 도심지에서 40%(약 10시간)를 초과하였고, 교외에서는 도심지보다 10% 이상 낮았다. 폭염경보 수준 이상이 유지된 시간비율은 도심지에서 12% 이상(약 3시간), 교외에서는 6% 내외(약 1.5시간)였다.

Fig. 4에 이른 아침과 오후의 기온 편차(시각마다의 각 지점과 전 지역 평균 간의 차)를 나타냈다. 이른 아침인 07시에는 대구의 중심지(중구)에서 서쪽 지역으로 고온 영역이 넓게 분포하고, 북쪽의 팔공산과 남쪽의 앞산 및 동쪽 방향으로 저온 영역(음의 편차)이 형성되어 있다. 양과 음의 편차 값은 대체로 -2~+2℃의 분포를 가져서 지역 간 편차가 4℃ 정도에 이르렀다. 하루 중 기온이 가장 높은 시간대인 14시에는 양의 편차지역은 중구에서 남구 방향으로 길게 분포하였고, 북쪽 팔공산 방향으로 음의 편차 지역이 나타났다. 편차 값의 분포는 -1~+2℃로 나타나서 07시에

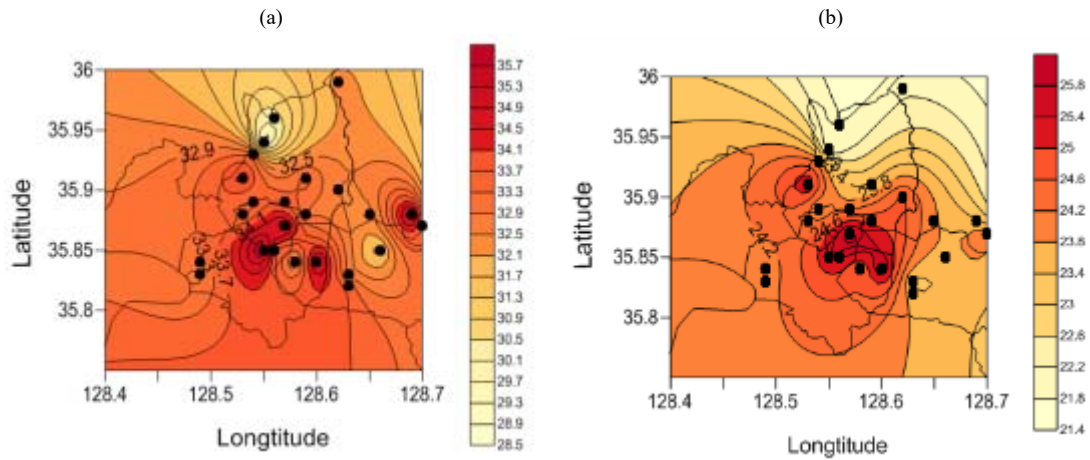


Fig. 2. Same as Fig. 1 except for daily (a) maximum temperature and (b) minimum temperature.

비하여 도심과 교외간의 기온 차가 다소 감소하였다. 이 결과로부터 도시열섬 강도가 낮 시간대보다 이른 아침 시간대에 약간 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 이는 도심과 교외간의 지표면 열용량의 차에 기인하는 것으로 판단할 수 있다(Mikami, 1999; Hujibe, 2011; Kim et al., 2016). 이를 보다 자세히 알아보기 위하여, 대구의 도시기후권역별로 기온의 시간변화 특성을 조사해 보았다.

먼저 Fig. 5에 Park et al.(2011)이 기온과 지형 및 지상 바람순환의 공간 구조 등을 바탕으로 분류한 대구 지역의 도시기후지도를 제시하였다. 그들은 Mikami (2005)의 방법을 따라서 기온과 국지풍의 시공간적 변화특성에 따라서 대구를 6개 소지역으로 분류하였다. A가 도심지인 중구이고 대구의 산업시설 중 약 70%가 몰려있고, 가장 많은 인구가 밀집해 있는 달서구가 포함되어 있는 곳이 D이고, 대구의 전통적 주거 시설이 밀집되어 있는 남구가 E지역이다. 팔공산의 영향이 크고 인구 밀도가 낮은 동구가 B이고, 경산과 맞닿아 있고 대구에서 녹지분포가 가장 높은 수성구는 C지역에 포함된다. 대구기상지청은 동구 효목동에 위치하여 B지역에 포함된다.

Fig. 6에 이렇게 분류한 대구의 도시기후 지역별 기온의 시간변화를 나타내었다. 각 지역에 속하는 여러 지점의 기온을 평균하여 나타내었다. 하루 중 기온이 가장 높은 지역은 A지역이고, B와 C지역으로 나타났

다. 산풍이 발달하는 야간 시간대에는 B와 C지역의 기온에 차이가 아주 작았지만, 낮 시간대에는 도시가 더 발달한 C지역이 B지역 더 높게 나타났다. 일 최저 기온은 B, C지역에서는 오전 6시, A지역에서는 이보다 1시간 늦은 7시에 나타났고 두 지역 간에 약 3°C의 차이가 확인되었다. 일 최고기온은 두 지역 모두 오후 2시에 나타났는데, A지역이 B지역보다 약 3°C 정도 더 높았다. 최저기온이 나타난 시간대에서부터 2시간 동안의 기온 상승 기울기는 B지역에서 가장 크다는 사실을 확인할 수 있다. 이것의 원인은 Kim et al.(2016)이 지적하고 있듯이, B지역이 다른 지역에 비하여 자연 피복이 넓어서 지표의 열용량이 작은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

대구기상지청에서 관측된 기온과 대구 도심지 기온과의 차이를 알아보기 위하여 Fig. 7에 대구기상지청과 기온이 가장 높게 나타난 도시 중심지에서 관측된 기온의 시간변화를 나타내었다. 두 지역 사이의 기온 차는 오전 6시에 가장 커서 3°C 이상에 이르렀다. 이후 10시경까지 기온상승 속도가 교외 지역으로 지표의 열용량이 작은 대구기상지청 쪽이 지표의 열용량이 큰 도심지보다 더 빨라서 두 지역의 기온차가 작아져서 9~10시경에는 기온 차가 1°C 정도로 축소되었다. 이 시각 이후로 두 지역 사이의 기온차가 다시 확대되어 일 최고기온이 나타나는 14~16시경에는 기온 차가 약 2.7°C에 이르게 되었다. 이런 큰 기온 차는

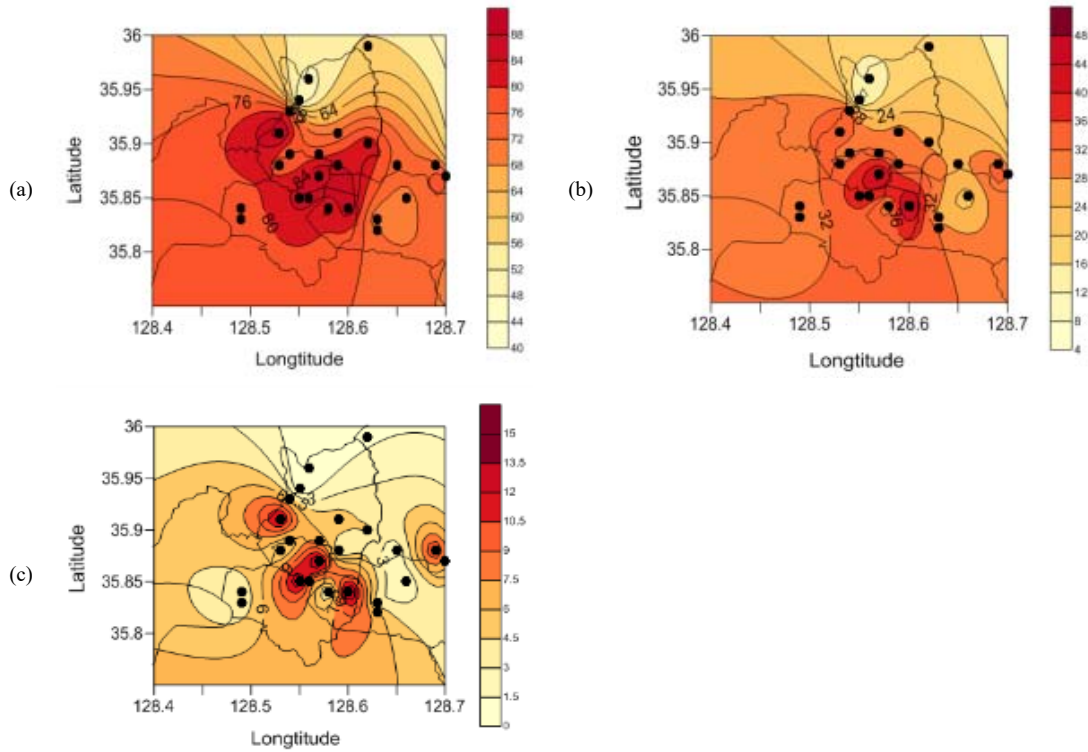


Fig. 3. Same as Fig. 1 except for percentage of time that exceeds (a) 25°C, (b) 30°C, (c) 35°C.

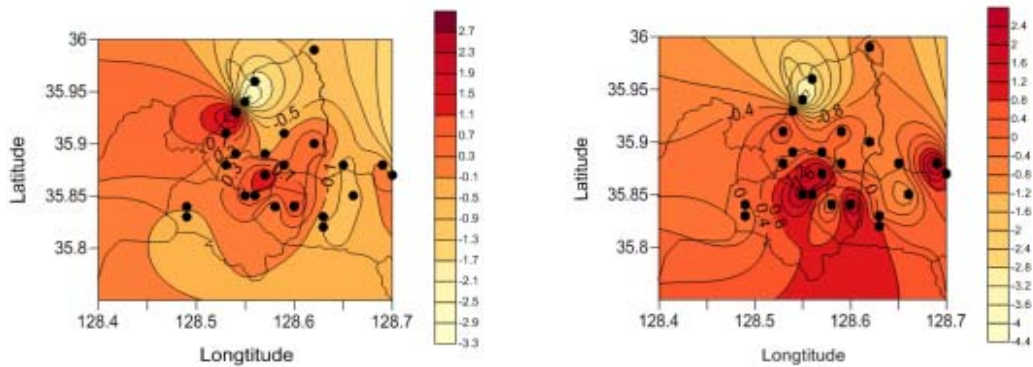


Fig. 4. Distribution of air temperature anomaly at early morning (07AM, left) and afternoon (14AM, right).

일몰 시각까지 지속되었고, 일몰(18시) 이후 대구기상지청의 기온 하강속도가 대구 도심지보다 약간 커서 다음날 일출 시각까지 두 지역 간 기온 차가 확대되었다.

#### 4. 결론

2016년 여름철 대구의 폭염기간(7월 6일~8월 26일)에 상세 공간해상도로 관측된 기온자료를 분석해본 결과 다음과 같은 사실을 확인할 수 있었다.

첫째, 일 최고기온 평균값은 도심인 중구를 중심으로



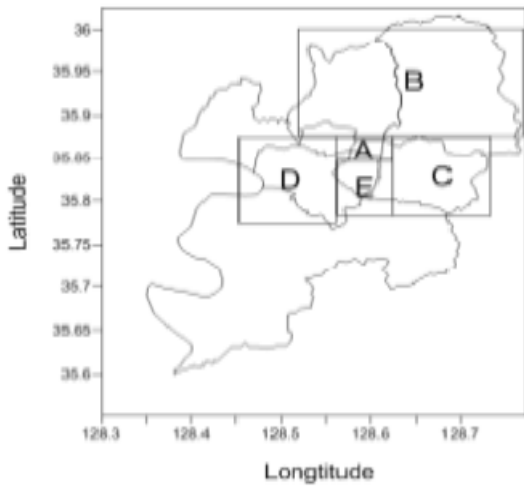


Fig. 5. Climatope mapping in Daegu classified by Park et al.(2011).

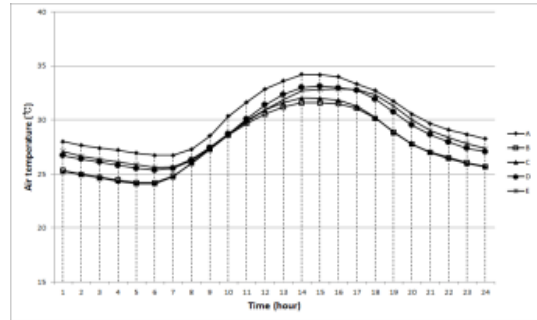


Fig. 6. Time variation of air temperatures by urban climate areas.

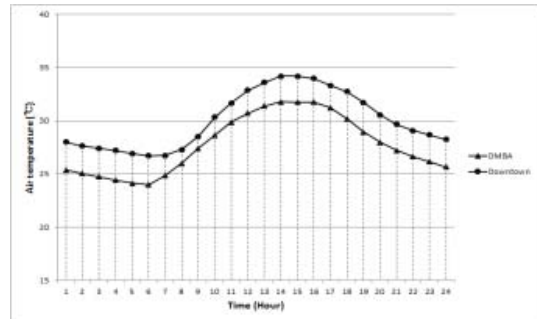


Fig. 7. Time variation of air temperatures of Daegu Meteorological Branch (DMBA) and downtown Daegu (Downtown) during hot summer days (6 July~26 August 2016).

35℃ 내외로 나타나 폭염 경보 수준을 유지하였다.  
 둘째, 도심지에서 35℃와 30℃를 초과한 기온이 유지된 시간은 각각 하루에 3시간, 10시간에 이르렀다.  
 셋째, 일 최저기온이 교외지역에서는 오전 6시에, 도심지에서는 이 보다 1시간 늦은 오전 7시에 출현했고 기온 상승과 하강속도는 교외지역이 도심지보다 빨랐다. 이러한 사실은 도심지가 교외지역에 비하여 지표 열용량이 크기 때문에 나타나는 현상으로 판단할 수 있다.  
 넷째, 30℃ 이상의 기온은 상대적으로 전원지역인 B 기후구에서는 11~18시 동안에, 도심지인 A 기후구에서는 10~20시 동안에 유지되어 여름일 수준(일 최고기온 30℃ 이상)의 고온이 지속되는 시간이 도심지에서 하루에 평균 3시간 정도 더 길었다. 이것은 주로 도심지의 도로포장과 높은 밀도의 건축물로 인해

지표 열용량이 커진 것에 주로 기인한다고 판단할 수 있다. 따라서 도시의 열 환경 개선을 위해서는 도심지의 도로와 건축물의 표면에 차열 성 도료를 도입하여 열용량을 경감시켜야한다는 것을 알 수 있다. 이 연구로 대구의 소지역별 폭염시기의 열적 환경의 차이와 지표면 열용량의 상대적인 크기가 파악되었기에 열 환경 개선을 위한 정책수립에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대할 수 있다.  
 다섯째, 낮 시간에 도심지의 기온은 대구기상지청보다 2~3℃ 더 높은 것으로 파악되었기에, 대구기상지청에서 폭염경보 수준의 기온이 관측되면 도심지에서는 매우 위험(기온 37℃ 이상; WBGT 31 이상) 수준에 도달하므로 이를 감안한 폭염정보를 시민들에게 전달할 필요가 있을 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 2015년 정부(교육부)의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015R1D1A1A01057632).

### REFERENCES

- Araki, H., 2003, The political approach to heat islands in Japan, *Environmental Information Science*, 32, 42-47.
- Hujibe, F., 2011, Long-term variation of Japanese climate and urbanization, *Tenki*, 58, 5-18.
- 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 tropolitan area, *J. Environ. Sci. Int.*, 23, 1619-1626.
- Kim, S. H., Kim, B. J., Kim, H. D., 2016, Diurnal variations in the horizontal temperature distribution using the high density urban climate observation network of Daegu in summer, *J. Environ. Sci. Int.*, 25, 259-265.
- Kim, S. R., Jung, E. H., Kim, H. D., 2015, Observational study to investigate thermal environment and effect of clean-roof system over a broad way of Daegu in summer, *J. Environ. Sci. Int.*, 24, 969-980.
- KMA, 2017, 2016 Abnormal climate report, 192.
- 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, *J. Appli. Meteor. Clima.*, 47, 1427-1441.
- Mail Newspaper, 2016, Unbelievable air temperature of Daegu (16 August 2016).
- Mikami, T., 1999, Research on actual condition of urban heat island using ground monitoring data in the capital region, *Monitoring and Management of Urban Heat Island Interim Report*, 1-4.
- Mikami, T., 2005, *Abnormal weather in Tokyo*, Yousensha Mook Press, Tokyo, Japan, 24-41.
- Okada, M., Kusaka, H., Takaki, M., Abe, S., Takane, Y., Fuji, Y., Nagai, T., 2014, Distribution of air temperature in Tajimi city in summer, *Tenki*, 61, 23-29.
- Park, M. H., Jung, W. S., Kim, H. D., 2011, A Study on urban environmental climate mapping method for sustainable urban planning in Daegu, *J. Environ. Sci. Int.*, 20, 465-482.
- Park, M. H., Lee, J. S., Ahn, W. S., Kim, H. D., Oh, S. N., 2013, A Study on the thermal characteristics of midsummer in Daegu metropolitan area, *J. Environ. Sci. Int.*, 22, 667-677.
- 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.
- Yoshida, N., 2016, Distribution of air temperature distribution at Tachimi city using summer field observation data in 2015, *Proceeding of the Japan meteor. Soc. Conf.*, 110, 175.