

ORIGINAL ARTICLE

대구의 여름철 야간 냉각량과 기상요소와의 관련성 연구

김하영 · 김해동^{1)*}

계명대학교 환경과학과, ¹⁾계명대학교 자연과학대학 환경학부 지구환경학전공

A Study on the Relationship between the Summertime Night Cooling Rate and Meteorological Elements in Daegu

Ha-Young Kim, Hae-Dong Kim^{1)*}

Department of Environmental Science, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

¹⁾Major in Global Environment, Faculty of Environment, College of Natural Sciences, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

Abstract

The relationship between night cooling rate and meteorological elements was investigated over the past five years (2016-2020), using weather data from the new (Daegu(143)) and old (Shinam(860)) Daegu Regional Meteorological Agency located in the suburban and urban regions, respectively. There was a correlation between the total daily amount of solar radiation (S_{tot}) and the night cooling rate in the both regions. However, a higher correlation was observed at the new Daegu Regional Meteorological Agency station (Daegu(143)). In particular, data from the new Daegu Regional Meteorological Administration's observatory, which experiences a low thermal storage effect caused by artificial structures, showed a higher correlation between nighttime cooling and weather factors. The reason for this is that the lesser the heat storage effect caused by the artificial structures, the better the effect of surface radiation cooling on temperature reduction. These findings confirm that the correlation between night cooling and weather factors can be used to assess the impact of artificial structures in cities.

Key words : Night cooling amount, Thermal storage effect, Artificial structure

1. 서 론

기후변화로 인한 극한 기후의 대표적인 사례로 여름철 고온현상을 들 수 있다. 도시에서의 여름철 고온현상 출현 증가의 원인은 지구온난화와 도시화에 있으며, 도시의 고온현상을 완화하기 위해서는 지구온난화 억제만이 아니라 도시열섬화의 원인을 줄이는 것이 필수적이다.

산업화 과정에서 증가된 대기 중 온실가스 농도로 인해 지구온난화가 심화되어 오늘날 전 세계적으로 여름철 고온현상이 심화되고 있다. 산업화 이전 대비 2017년까지 1.0℃의 내외의 기온상승이 진전된 것으로 추정되며 현재 속도로 온난화가 지속된다면 2030년에서 2052년 사이에 1.5℃의 온도 상승이 예상된다(IPCC, 2018).

대도시의 기온상승에 미치는 영향은 지구온난화보다

Received 2 August, 2021; Revised 16 September, 2021;

Accepted 17 September, 2021

*Corresponding author: Hae-Dong Kim, Major in Global Environment, Faculty of Environment, College of Natural Sciences, 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.

도시열섬의 효과가 훨씬 큰 것으로 알려져 있다(Kai, 2012). 도시열섬화의 주요 원인으로는 인공구조물의 증가, 인공열의 방출 및 토지이용의 집중화 등을 들 수 있다. 그 중 가장 큰 원인은 아스팔트 도로포장과 콘크리트 건축물 등 인공구조물이 증가함에 따라서 불투수층이 증가하고 녹지면적이 감소하여 증발원이 줄어드는 토지피복의 변화로 알려져 있다(Mizukoshi and Yamashita, 1993). 도시의 인공구조물은 나대지나 녹지에 비해 태양 에너지의 흡수율이 크고 열저장이 훨씬 큰 특성을 가지고 있다. 이는 열용량의 증가로 이어진다. 증가된 열용량으로 인해 도시의 지표온도와 기온은 상시적으로 교외에 비하여 높은 상태를 유지한다(Kim et al., 2016).

일몰 후의 기온 하강 속도를 말하는 야간 냉각률을 이용하여 인공구조물 효과에 따른 대구의 여름철 야간 고온 열 환경 특성을 조사해 보았다. 일몰 후의 기온 하강률(야간 냉각률)은 인공구조물이 도시열섬에 미치는 영향의 정도를 평가하는 데에 오래전부터 사용해온 전통적인 방법이다(Oke and Maxwell, 1975). 도시열섬은 겨울철에 바람이 약하고 청명한 날에 최저기온이 나타날 시각 무렵, 즉 일몰 직전 경에 가장 현저하다는 것이 일반적으로 알려진 사실이다(Mizukoshi and Yamashita, 1993). 그러나 Oke(1977)와 Yamashita(1983) 등은 도시에 인공구조물의 효과가 탁월한 경우에는 한밤중인 0시 전후에 도시열섬 강도가 최대가 나타나서 그 상태가 다음날 일출 직전까지 이어지는 것을 관측을 통하여 밝혔다. 그 이유는 도심지의 높은 열용량으로 인하여 일몰 후에 도시 내외의 기온 하강 속도에 현저한 차이가 발생할 수 있기 때문에 일몰 후 2~4시간 동안에 교외에서 기온이 급속하게 하강하지만 도시 지역에서는 그다지 하강하지 않기 때문이다.

도시열섬강도가 최대가 되는 시간대는 도시의 특성만이 아니라 도시가 위치한 기후대에 따라서 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있다. 예로서 내륙 도시의 경우에는 도시열섬강도가 여름철에 작고 겨울철에 크지만 일본의 후쿠오카처럼 난류가 지나는 해안 도시의 경우에는 여름에 가장 크게 나타난다.

이 연구에서는 대구지방기상청의 두 기상관측 지점(도심과 교외)의 자료를 이용하여 여름철 두 지점의 열적 환경 차이를 비교 분석하였다. 특히 두 지점에서 나타나는 오전의 가열률(시간당 기온상승률)과 오후의 냉각률

에 풍속과 일사량이 미치는 영향을 비교 분석하였다. 이를 통하여 인공구조물로 인한 도심지의 열환경 악화를 제시할 수 있었다. 이 연구결과를 통해 도시열섬 완화 및 도시 쾌적성 향상을 위한 정책 결정에 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 기상관측

이 연구에서 사용한 자료는 대구지방기상청 신청사가 위치한 동구 효목동 관측소(지점번호, 대구(143))와 대구기상대 소재지였던 동구 신암동 관측소(지점번호, 신암(860))에서 관측한 기상자료이다. 2013년 9월 대구기상대 소재지(대구광역시 동구 아양로9길 36)에서 현재의 대구지방기상청 청사(대구광역시 동구 효동로 2길 10)으로 이전하였다. 효목동 관측소(대구(143))는 주변 지형에 비하여 높은 곳에 위치할 뿐만 아니라 관측에 영향을 주는 장애물이 적은 개활지로서 관측환경에 양호한 조건을 갖추고 있다. 관측소 북동쪽으로 약 300 m 떨어진 곳으로 금호강이 흐르고 있다. 금호강변을 따라서 넓은 평야지대가 펼쳐지는데 평야지대 위에 대구국제공항과 작은 구도심이 구성되어 있고 동쪽으로는 망우당 공원이 위치하고 있다. 이러한 위치를 감안할 때에 이곳은 대구광역시 교외지역의 조건을 갖추고 있다고 간주할 수 있다.

신암동 관측소(신암(860))는 1937년부터 2013년 9월 까지 대구기상대 소재지였다. 이곳의 인근에 동대구역사와 대구광역시청이 위치하는 등 반경 10 km 이내에 대구광역시 도심지가 밀집해 있어서 이곳은 도심지로서의 조건을 갖추고 있다고 간주할 수 있다. 관측소의 해발고도는 각각 54.27 m (대구(143))과 58.81 m (신암(860))로 거의 같다. 자료의 분석기간은 최근 5년간(2016~2020)인데, 이 기간 안에는 2016년과 2018년의 고온의 해가 포함되어 있다.

2.2. 연구방법

대구광역시 도심지에 위치한 (구)대구지방기상청 관측소(신암(860))와 교외지역에 위치한 (신)대구지방기상청 관측소(대구(143))에서 관측한 최근 5년간(2016~2020) 기상자료 중 결측인 날을 제외하였다. 두 지역 사이의 기온, 습도, 야간 냉각률과 풍속 및 1일 적산일사량

Table 1. Monthly average temperatures(°C) in summer during the past five years (2016~2020) in suburban areas (Daegu(143)) and urban areas (Sinam(860))

Station	All five years			Days above 33°C			Days below 33°C		
	6	7	8	6	7	8	6	7	8
Daegu(143)	23.5	26.3	27.6	26.8	29.8	29.5	22.9	24.4	25.2
Sinam(860)	24.1	26.7	28.0	27.3	30.5	30.0	23.5	24.8	25.8

(S_{tot})간의 관계를 비교·분석하였다.

최근 5년간 두 지점에서 관측된 기온의 시간 변화를 기상청의 폭염주의보 기준온도인 33°C를 기준으로 고온 출현일(일 최고기온 33°C 이상)과 그렇지 않은 날(일 최고기온 33°C 미만)로 나누었으며 (신)대구지방기상청 관측소(대구(143))에서 관측된 일 최고기온을 기준으로 33°C 이상인 날을 고온일, 33°C 미만을 고온이 나타나지 않은 날로 정의하였다. 각각의 경우에 대하여 두 지점의 야간 냉각량을 비교하여 도심지(신암(860))의 높은 열용량으로 인한 야간 기온 하강 억제 기능을 평가한다. 아울러 낮 시간 동안 인공구조물의 열 저장량을 결정하는 1일 적산 일사량 및 풍속과 야간 냉각량과의 관계에 나타나는 두 지역 간의 차이를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 두 지점 간 기온비교

여름철 도심지(신암)와 교외지역(대구)간의 기온을 비교하기 위하여 Table. 1에 최근 5년간(2016~2020)의 여름철(6~8월) 월평균 기온을 5년 전체, 고온일(일 최고기온 33°C 이상)과 고온이 나타나지 않은 날(일 최고기온 33°C 미만)로 나누어 제시하였다. 5년 전체기간을 평균한 여름철 평균기온은 도심지(신암)가 26.3°C, 교외지역(대구)이 25.8°C로 도심지인 신암 지점의 기온이 약 0.5°C 높게 나타났다. 여름철 고온일을 대상으로 한 평균기온은 신암 지점이 29.8°C, 대구 지점이 29.2°C로 신암 지점이 0.6°C 높았다. 7월의 평균기온은 신암 지점이 30.5°C, 대구 지점이 29.8°C였고(두 지점 간 차는 0.7°C), 8월 평균기온은 신암 지점이 30.0°C, 대구 지점이 29.5°C로 나타났다(두 지점 간 차는 0.5°C). 일 최고기온이 33°C 미만이었던 날을 대상으로 한 경우(c)에 두 지점의 여름철 전체(6~8월)의 평균기온은 신암 지점이 24.5°C, 대구

지점이 24.0°C로 도심지인 신암 지점의 기온이 0.5°C 더 높았다. 두 지점 간의 차는 월평균 기온이 가장 낮았던 6월에 가장 컸다(0.6°C).

도심지에 위치한 (구)대구지방기상청 관측소가 교외 지역에 위치한 (신)대구지방기상관측소보다 7~8월에 월평균 기온으로 0.5°C 정도 더 높고, 그 차는 기온이 높은 날일수록 더 크게 나타났다. 이를 통해 관측소의 이전 효과로 인해 과거보다 현재 대구광역시의 여름철 기온이 더 낮게 평가되고 있음을 알 수 있다.

두 관측 지점 사이에 존재하는 도시열섬 유발 요인들로 인한 열용량 증가효과가 기온의 시간변화에 미치는 효과를 조사하기 위하여 Fig. 1에 5년 전체(a), 고온일(일 최고기온 33°C 이상)(b)과 고온이 나타나지 않은 날(일 최고기온 33°C 미만)(c)로 나누어 최근 5년간(2016~2020)의 여름철(6~8월) 기온의 시간대별 분포를 제시하였다. 도심지인 신암 지점의 기온이 교외지역인 대구 지점의 기온보다 모든 시간대에서 높게 나타났으며 최고기온이 나타나는 시각은 두 지점 모두 15시, 최저기온이 나타나는 시각은 06시로 같았다. 기온 차는 일출 전에 가장 컸고(0.7°C), 오전 10시 경에 가장 작았다(0.4°C). 고온일(b)의 경우에도 기온의 시간변화경향은 같았지만 주간에 두 지점 간의 기온 차가 작았는데, 특히 일출 이후부터 13시까지 기온 차가 작았다. 그 이유는 교외 지역인 (신)대구지방기상청의 일출부터 12시에 걸쳐서 기온상승속도(가열률)이 큰 것에 있었다. 고온이 나타나지 않은 날을 대상으로 한 경우(c)에도 기온의 시간변화 경향은 (a), (b)와 같았다. 다만 두 관측 지점 사이의 기온 차가 (b)보다 작았다.

3.2. 두 지점 간 상대습도 비교

상대습도는 기온에 대한 포화수증기압과 대기 중에 실제로 포함되어 있는 수증기가 나타내는 수증기압의

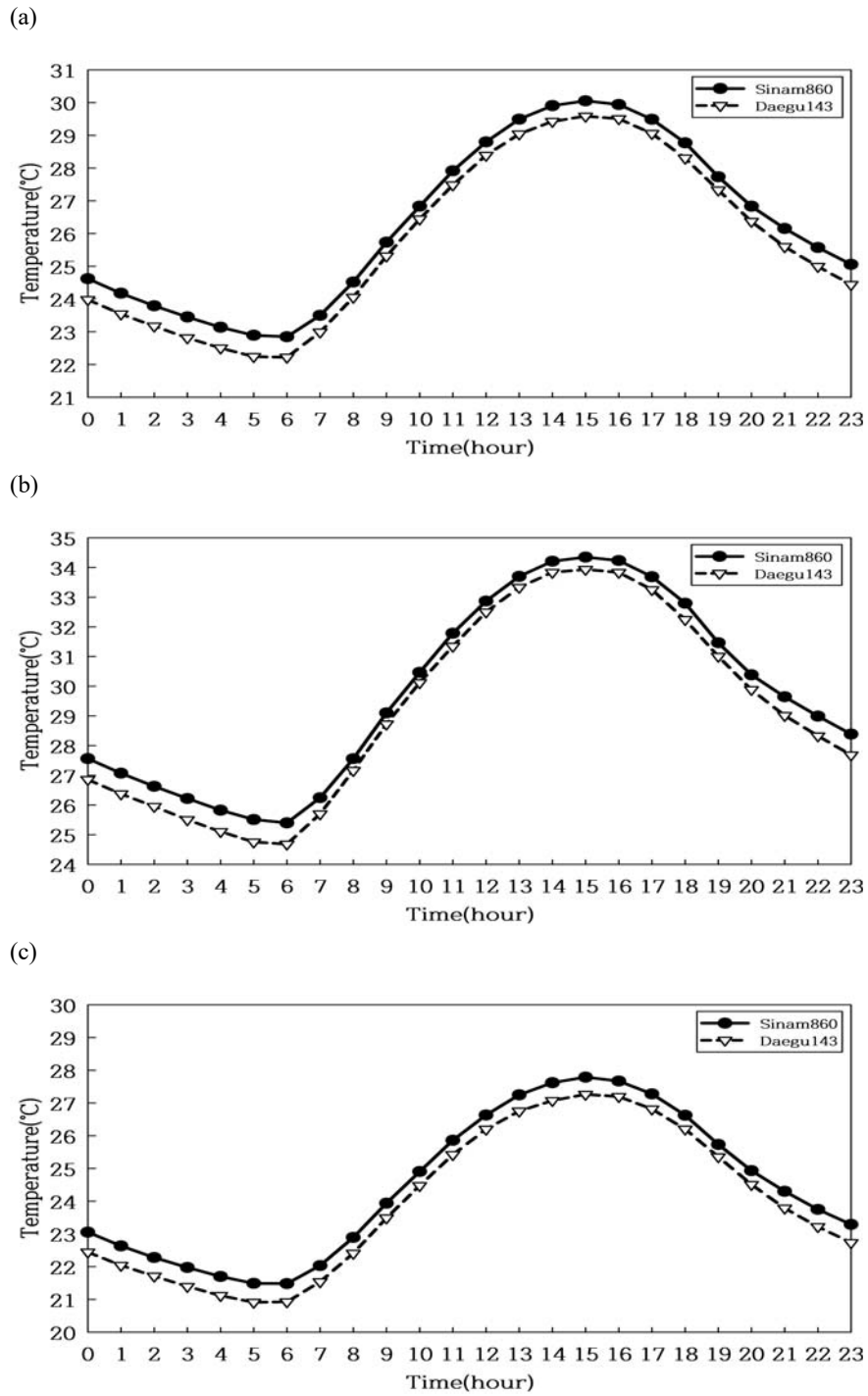


Fig. 1. Time variation of air temperatures in summer during the past five years (2016~2020) at suburban areas (Daegu(143)) and urban areas (Sinam(860)). (a) all five years, (b) days above 33°C, and (c) days below 33°C.

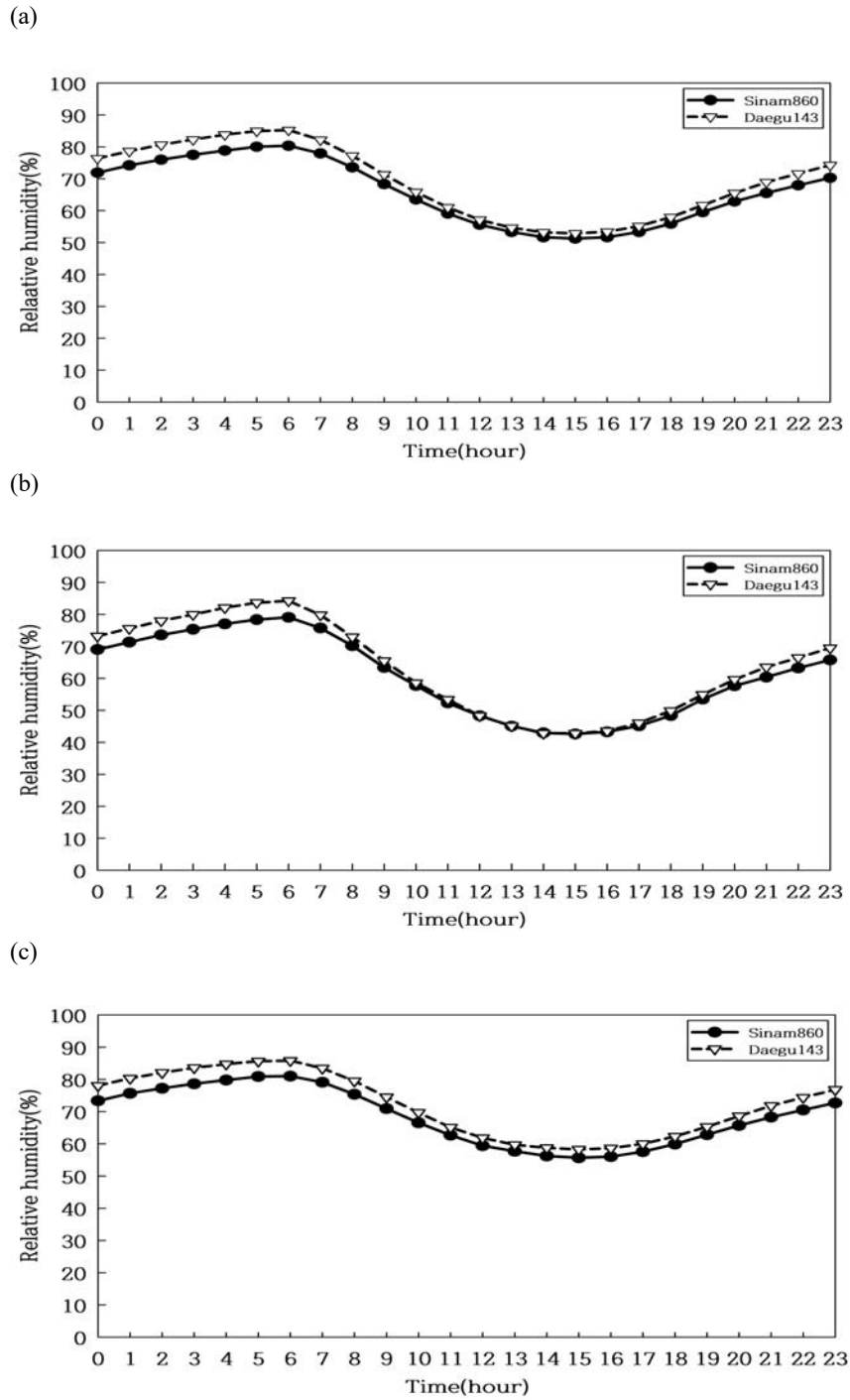


Fig. 2. Time variation of relative humidity in summer during the past five years (2016~2020) at suburban areas (Daegu(143)) and urban areas (Sinam(860)). (a) all five years, (b) days above 33°C, and (c) days below 33°C.

비로 결정된다. 도시의 기온이 상승되면 기온에 대한 포화수증기압이 증가하게 되어 상대습도가 감소한다. 지표면의 증발원이 감소할 때 증발산량이 줄어들게 되므로 대기 중의 수증기량이 감소하게 되는데, 이 경우 또한 상대습도가 감소할 수 있다(Park and Kim, 2007).

두 지점 간에 존재하는 상대습도의 시간변화 특성을 조사하기 위하여 Fig. 2에 5년 전체(a), 고온일(일 최고기온 33°C 이상)(b)과 그렇지 않은 날(일 최고기온 33°C 미만)(c)로 나누어 최근 5년간(2016~2020)의 여름철(6~8월) 상대습도의 시간대별 분포를 제시하였다. 분석기간 전체(a)에 대하여 금호강 부근 교외에 위치한 대구 지점의 평균 습도가 69%로 도심지에 위치한 신암 지점보다 3% 정도 더 높았다. 두 지점의 습도 차는 한낮(12~16시)에 약 1.3%로 가장 작았고 기온이 낮은 심야에서 일출 시간대(00~06시)에 걸쳐서 가장 컸다(약 5%). 고온일 경우(b)에는 대구 지점이 63%로 신암 지점보다 약 3% 정도 높았다. 이 경우에도 낮 시간대(12~16시)에서 두 지점 간 습도 차이가 가장 작아서 0.5% 미만이었으며, 16시 이후로 다시 두 지점 간의 습도 차는 증가하여 심야에서 일출 시간대(00~06시)에 걸쳐서 가장 컸다(약 5%). 폭염특보가 발령되지 않은 경우(c) 평균상대습도는 대구 지점에서 72%, 신암 지점이 68.5%로 대구 지점이 신암 지점에 비해 3.5% 높게 나타났다. 주간(12~16시)에 그 차이가 약 2%로 가장 작았고, 심야에서 일출 시간대(00~06시)에 걸쳐서 가장 컸다(약 5%).

두 지점 간의 상대습도 차는 기온이 낮은 심야에서 일출 시간대(00~06시)에서 크고, 기온이 높은 시간대에서 작았다. 또한 기온이 상대적으로 낮은 날에 두 지점 간 상대습도 차는 더 크게 나타났다. 지표면 증발은 한낮에 그리고 기온이 높은 날일수록 두 지점에서 더 큰 차이를 보이겠지만 실제 두 지점 간의 상대습도 차는 야간 시간대와 기온이 상대적으로 낮은 날에 더 크게 나타났다는 사실은 관측소 주변의 증발원의 역할보다 지상 기온의 효과가 상대습도에 더 크게 작용한다는 것을 말한다.

3.3. 두 지점 간 가열·냉각률의 시간변화

도심지와 교외지역의 하루 중 시간대별 기온변화 특성(가열·냉각률)을 분석하였다. 자료 분석 기간인 5년 전체(a), 고온일(일 최고기온 33°C 이상)(b)과 그렇지 않은 날(일 최고기온 33°C 미만)(c)로 나누어 시간대별 가열·

냉각률 변화를 Fig. 3에 제시하였다. 이것은 각 지점별로 해당 시각의 평균기온과 그보다 1시간 전의 평균기온의 차로 구하였다. 해당 시각의 값이 양이면 가열을, 음의 값이면 냉각에 해당한다. 오전의 가열률은 오전 9~11시 사이에 가장 컸는데, 교외에 해당하는 대구 지점에서 더 크게 나타났다. 두 지점 사이에 가열률 차이가 가장 큰 시간대는 이른 아침인 7시 경이었다. 이것은 열용량이 작은 교외지역의 기온상승률이 도심지보다 크게 나타난다는 앞선 연구자들의 결과와 일치한다(Kim et al., 2016). 그러나 13~15시 사이에는 도심지인 신암 지점의 기온 상승률이 더 높게 나타났다.

16시 이후에 기온이 냉각하기 시작하였고 냉각률은 18~19시 사이에서 가장 컸다. 20시 이후부터 00시까지 교외지역인 대구 지점에서 냉각률이 더 컸다. 신암 지점(도심지)과 대구 지점(교외지역) 간의 냉각률 차이는 Oke와 Maxwell(1975)이 지적한 바와 같은 경향을 보였다. 그들은 몬트리올과 밴쿠버를 대상으로 도심과 교외의 기온 시간분포를 분석한 결과로 일몰 후부터 열용량이 작은 교외 쪽의 기온 하강이 빨라서 00시 전후로 열섬강도가 가장 강해지고 그 이후에는 기온 하강률(야간 냉각률)에 차이가 없어서 다음날 아침까지 거의 일정한 도시열섬 강도가 유지된다고 지적한 바 있는데, 그러한 특성을 Fig. 1에 제시한 기온의 시간변화에서 확인할 수 있다.

3.4. 야간 냉각률과 풍속과의 관계

바람은 기계적인 난류를 유발시켜 지표면온도 냉각을 조장할 수 있다(Lee et al., 2008). 이 관계를 확인하기 위하여 Fig. 4에 최근 5년간(2016~2020)의 여름철(6~8월) 18~00시 사이의 평균 야간 기온 냉각률과 풍속과의 관계를 나타내었다. 신암 지점에서 관측한 자료이며, 5년 전체(a), 고온일(일 최고기온 33°C 이상)(b)과 그렇지 않은 날(일 최고기온 33°C 미만)(c)로 나누어 나타내었다. 풍속이 강할수록 야간 기온 냉각률이 더 큰 것으로 나타났고, 고온일(b)이 고온이 나타나지 않은 날(c)보다 풍속과 야간 기온 냉각률과의 사이에 상관성이 더 높았다. 동일한 방법으로 대구 지점의 자료를 분석하였는데 신암 지점의 사례와 비슷한 결과가 도출되었다.

3.5. 야간 냉각률과 1일 적산 일사량과의 관계

Fig. 5에 신암 지점의 야간 최대 냉각률(19시의 기온 하강률)과 1일 적산 일사량간의 상관관계를 나타내었다.

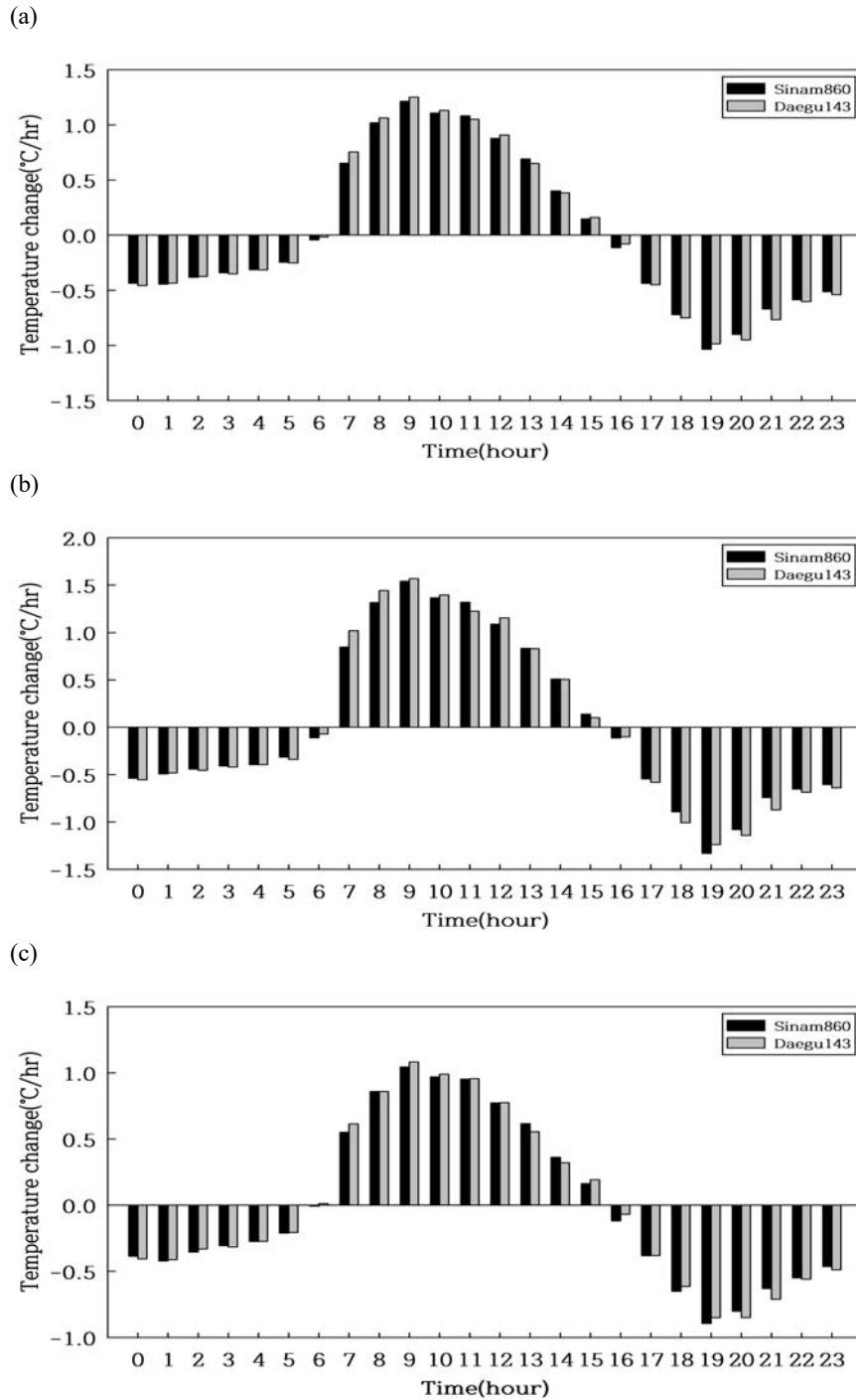


Fig. 3. Hourly air temperature changes in summer during the past five years (2016~2020) at suburban areas (Daegu(143)) and urban areas (Sinam(860)). (a) all five years, (b) days above 33°C, and (c) days below 33°C.

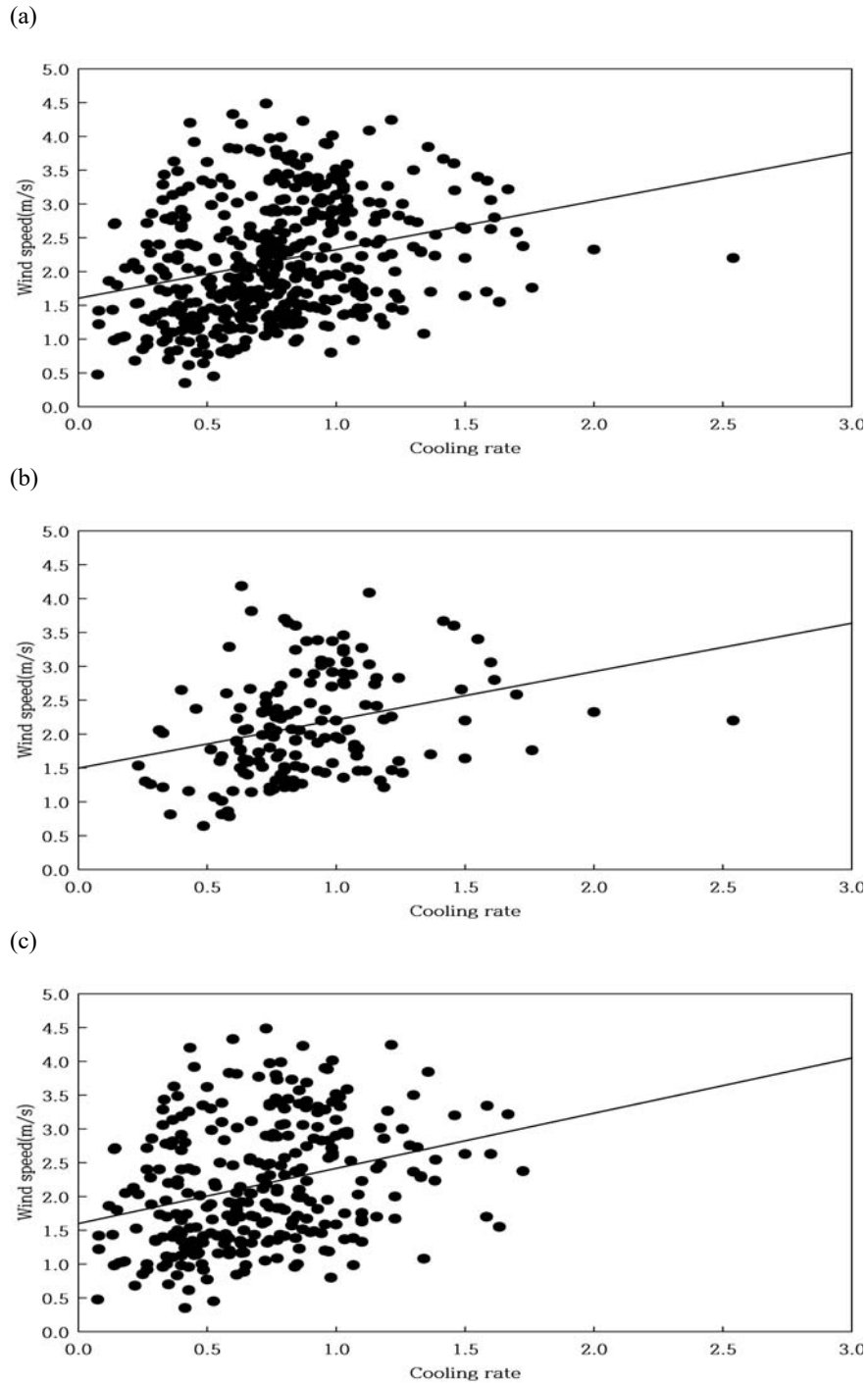


Fig. 4. Scatter plot of wind speed versus cooling rate from 18LST to 00LST in summer during the past five years (2016~2020) at urban areas (Sinam(860)). (a) all five years, (b) days above 33°C, and (c) days below 33°C.

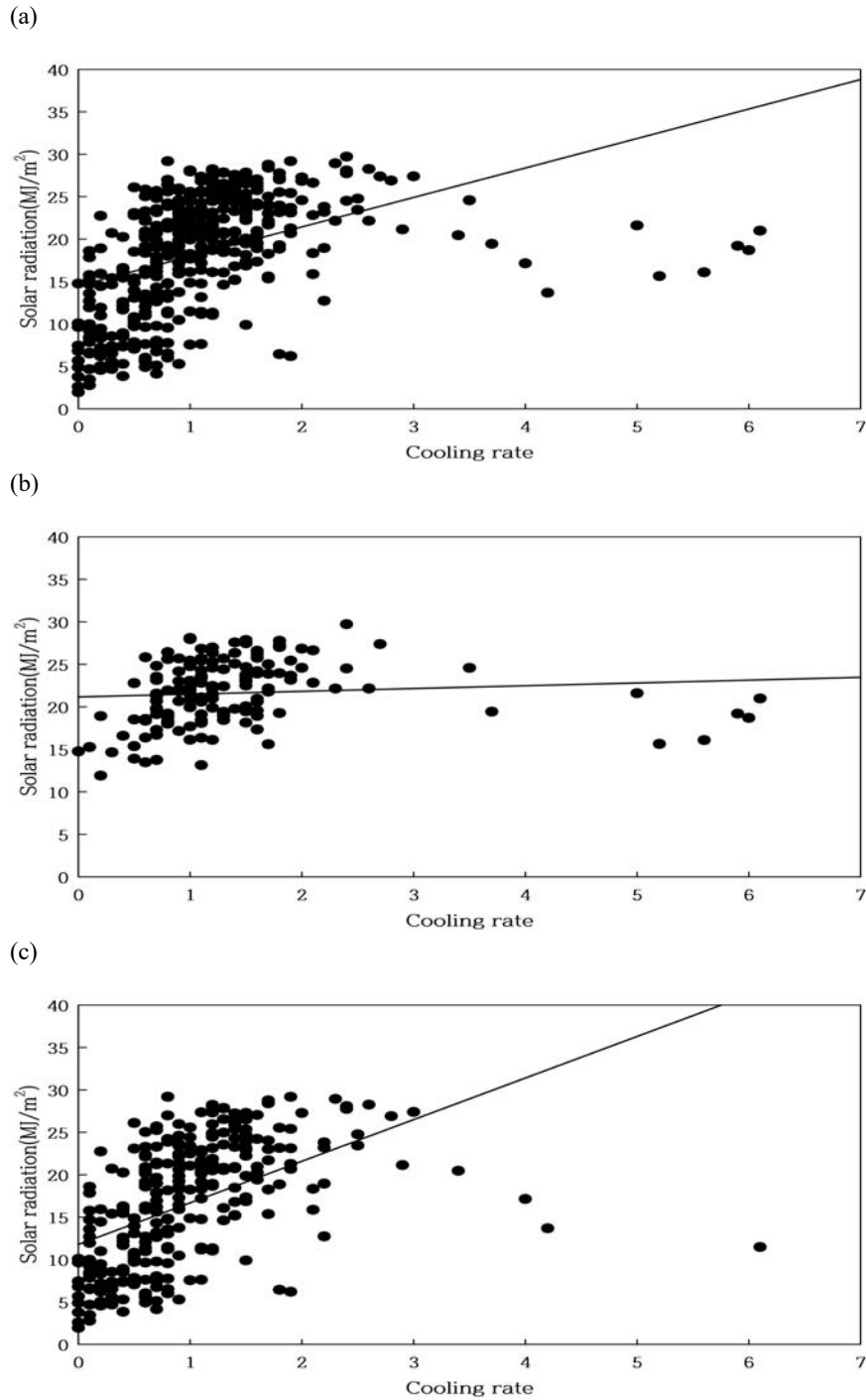


Fig. 5. Scatter plots of total daily amount of solar radiation(MJ/m²) versus 19LST cooling rate in summer during the past five years (2016~2020) at urban areas (Sinam(860)). (a) all five years, (b) days above 33°C, and (c) days below 33°C.

(a), (b), (c)는 각각 최근 5년간(2016~2020)의 여름철(6~8월) 전체, 폭염특보가 발령된 날(일 최고기온 33℃ 이상) 그리고 일 최고기온이 33℃ 미만이었던 날의 경우이다.

낮에 강한 일사를 받아서 지표 가열이 강했던 날일수록 야간 냉각량이 크게 나타났다. 이것은 낮 동안에 가열이 높을수록 일몰 후에 야간 냉각률이 높게 나온다는 도시열섬 강도 시간변화 설명과 같은 원리로 설명할 수 있다. 한편, 폭염특보가 내려진 경우의 날(b)보다 그렇지 않은 날(c)에 두 변수 간의 상관관계가 높게 나타난 것은 그 경우에 1일 적산 일사량 자료에 산포성이 높아서 그래프의 선형적 관계가 보다 뚜렷하게 표현될 수 있었기 때문이라고 판단한다. 교외지역인 대구 지점에 대해서도 동일한 조사를 수행하였는데 신암 지점과 유사한 결과가 나왔기 때문에 대구 지점을 대상으로 조사한 그림은 생략한다.

4. 결론

대구 도심지에 위치한 (구)대구지방기상청(신암(860))과 교외지역에 위치한 (신)대구지방기상청 관측소(대구(143))에서 관측한 최근 5년간(2016~2020) 기상 자료를 이용하여 두 지역 사이의 기온, 습도, 야간 냉각량과 1일 적산일사량(S_{100}) 및 풍속 간의 관계를 비교·분석하였다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 5년간 평균한 여름철 월평균 기온은 도심지(신암)가 26.3℃, 교외지역(대구)가 25.8℃로 도심지인 신암 지점의 기온이 약 0.5℃ 높았다. 두 지점 모두 일 최고기온은 15시 경에 일 최저기온은 일출직전인 06시 경에 나타났다. 다만 두 관측지점 간의 기온 차는 일출에서 13시 까지가 그 이외의 시간대보다 작았다. 그 이유는 교외지역(대구)이 도심지(신암)보다 열용량이 작아서 일출에서 13시경까지 기온 상승률(가열률)이 높기 때문이다.

둘째, 두 지점 모두 풍속이 강할수록 야간 냉각률이 높게 나타났는데 교외지역(대구)보다 도심지(신암)에서 두 변수 간의 기온기와 상관관계가 모두 더 높게 나타났다. 또 폭염 특보가 내려졌던 고온일의 경우에 두 변수 간의 기온기와 상관관계가 그렇지 않은 날의 경우보다 더 높게 나타났다. 이것은 여름철 야간 열 환경 개선을 위해서는 도시에 환기 조건(풍속)을 개선하는 일이 매우 중요하

다는 사실을 말한다.

셋째, 1일 적산 일사량과 야간 최대 냉각률(19시)간의 상관관계는 풍속과 야간 냉각률의 그것보다 훨씬 높게 나타났다. 그 이유는 1일 적산일사량이 많아서 지표와 건물 가열이 높은 날일수록 일몰 후에 냉각이 크게 나타나기 때문이다. 두 변수간의 상관관계는 지표조건이 상대적으로 간단한 교외지역(대구(143))이 복잡 지표 조건을 가진 도심지(신암(860))보다 더 낮게 나타났다.

대구지방기상청의 관측소가 신암동(신암(860))에서 효목동(대구(143))으로 이전함으로써 여름철 모든 시간대에서 기온 하강 효과가 나타났는데, 특히 야간 기온에 하강 효과가 더 컸다는 사실을 알 수 있었다. 그리고 그 하강 효과가 두 지점 사이에 존재하는 지역의 열용량 효과의 차이에 기인한다는 사실과 그것의 크기를 정량적으로 파악할 수 있었다.

REFERENCES

- DRMA (Daegu Regional Meteorological Administration), 2020, Daegu · Gyeongbuk environmental guide for meteorological observation places, 2-9.
- IPCC, 2018, Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Portner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pean, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R., Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)], World meteorological organization, Geneva, Switzerland, 32.
- Kim, G. H., Lee, Y. G., Lee, D. G., Kim, B. J., 2016, Analyzing the cooling effect of urban green areas by using the multiple observation network in the seonjeongneung region of seoul, Korea, J. Environ. Sci., 25, 1475-1484.
- Kim, H. D., Kim, S. R., Kim, B. J., 2015, Observational study for the environment evaluation of summertime over the asphalt pavement - case study in Daegu 2014 -, J.

- Environ. Sci., 24, 1265-1272.
- Kai, K., 2012, Two warming phenomenon, Seisando Press, Tokyo, 10-13.
- 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., 25, 259-265.
- Kim, S. R., Jung, E. H., Kim, H. D., 2015, Observational study to investigate thermal environment and effect of clean-road system over a broad way of Daegu in summer, J. Environ. Sci., 24, 1171-1180.
- Lee, S. H., Park, M. H., Kim, H. D., 2008, Study on the variation of nighttime cooling rate associated with urbanization, J. Kor. Soc. for Atmos. Environ., 24, 83-90.
- Mizukoshi, M., Yamashita, S., 1993, Introduction to climatology, Kokin Press, Tokyo, 90-94.
- Oke, T. R., Maxwell, G. B., 1975, Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver, Atmos. Environ., 9, 191-200.
- Oke, T. R., 1977, Boundary Layer Climates, Methuen Co. Ltd., Newyork, 372.
- Park, M. H., Kim, H. D., 2007, A Study on the characteristics of urban dryness in Daegu, J. Environ. Sci., 16, 171-178.
- Yamashita, S., 1983, Urbanization and climatological environment, Geography, 28, 12-25.
-
- Master's course. Ha-Young Kim
Department of Environmental Science, Keimyung University
hyk2410@naver.com
 - Professor. Hae-Dong Kim
Major in Global Environment, Faculty of Environment,
College of Natural Sciences, Keimyung University
khd@kmu.ac.kr