

ORIGINAL ARTICLE

도시화에 따른 부산과 대구의 일교차 변화 특성에 관한 연구

박명희 · 이준수* · 안지숙 · 이혜현 · 한인성 · 엄기혁 · 서영상 · 김해동¹⁾ · 배현균¹⁾

국립수산과학원 기후변화연구과, ¹⁾계명대학교 지구환경학과

Analysis on Variation of Diurnal Temperature Range of Busan and Daegu according to Urbanization

Myung-Hee Park, Joon-Soo Lee*, Ji-Suk Ahn, Hye-Hyun Lee, In-Seong Han,
Ki-Hyuk Eom, Young-Sang Suh, Hae-Dong Kim¹⁾, Hun-Kyun Bae¹⁾

Ocean Climate & Ecology Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹⁾*The Department of Global Environment, Keimyung University, Daegu 42601, Korea*

Abstract

In this study, changes in daily temperature range were investigated using daily maximum and minimum temperatures of Busan and Daegu for last 81 years (1934-2014), and also characteristics of daily temperature range and seasonal fluctuations by urbanization were examined. First, elapsing changes showed a lower decreasing trend in Busan (0.32 °C) than Daegu (1.2 8 °C) for last 81 years. Daily temperature range showed the highest rise in winter in both Busan and Daegu. Second, daily temperature range due to urbanization showed that Busan had a pronounced decreasing trend before urbanization meanwhile Daegu showed the same trend after urbanization. On seasonal changes, the results of Busan showed a decreasing trend in summer before urbanization, and in autumn after urbanization. For Daegu, the results showed a decreasing trend in spring before urbanization, and in winter after urbanization. Seasonal fluctuations of Busan showed little difference in the pre and post-urbanization, except in winter and summer. There was large difference in daily temperature range in winter after urbanization, and in summer before the urbanization. The results in Daegu showed that there was decreasing trend of daily temperature range in all seasons after urbanization.

Key words : Diurnal temperature range, Urbanization, Seasonal fluctuations

1. 서론

국내 기후변화에 영향을 미치는 요소는 기온, 강수량, 습도, 증발산량, 일조시간, 풍향, 풍속 등 다양한 것들이 있지만, 자연과 인간 활동에서 발생하는 기후현상을 설명하는 요소로는 기온과 강수량이 가장 적합하다. 또한 인간 활동에 의한 영향은 일교차로 나타낼 수 있다. 일교

차(diurnal temperature range, DTR)는 일최고기온과 일최저기온 차로 정의되며, 기본적으로 대기상태와 지표 면상태에 복합적으로 영향을 받는 기후요소이다. 이러한 일교차는 지리적 위치와 계절에 따라 그 변동성이 클 뿐만 아니라 평균기온과 함께 기후변화의 중요한 지표이다 (Braganza et al., 2004; Kim et al., 2010; Suh et al., 2009; Zhou et al., 2004).

Received 27 October, 2015; Revised 1 February, 2016;

Accepted 15 February, 2016

*Corresponding author : Joon-Soo Lee, Ocean Climate & Ecology Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

Phone : +82-51-720-2241

E-mail : leejoonsoo@korea.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.

Karl et al.(1993)은 전 세계 육지면적의 37%에 해당하는 자료를 분석하여 1951년부터 1990년까지 최저기온($0.84^{\circ}\text{C}/100\text{년}$)이 최고기온($0.28^{\circ}\text{C}/100\text{년}$)에 비해 3배 이상 상승하여 일교차가 감소했다는 결과를 얻었다. 그리고 북아메리카에서 일교차가 감소하는 원인을 최저기온의 상승이 최고기온의 상승보다 강하게 발생하는 비대칭적 기온변동경향과 이러한 비대칭성은 모든 계절에서 일교차의 감소를 가져오고, 이는 운량의 증가에 의한 것이라는 연구결과를 발표하기도 하였다. 또한 일교차는 20세기 중반 이후 전 세계 대부분의 지역에서 감소하였으나, 이베리아반도, 인도, 캐나다 중부지역, 북미해안 일부지역에서 증가하는 경향을 보여 지역별 변화의 차이가 존재하고 있음을 밝히기도 하였다(Braganza et al., 2004; Easterling et al., 1997; Heo et al., 2011; Karl et al., 1993; Liu et al., 2004; Makowski et al., 2008; Zhou et al., 2008).

일교차의 변동경향도 기온의 변동경향과 같이 주로 지리적 위치 및 계절에 따라 다양하기 때문에 일교차 변동경향과 그 원인을 밝히는 것은 최근 기후변화에 있어서 인위적 요인의 영향을 진단하는데 있어서 중요하다(Hong et al., 2007). Yadav et al.(2004)는 히말라야에서 최고기온이 상승하고 최저기온은 감소하는 높은 상관성 때문에 일교차가 증가한다고 제시하였다. Roy and Balling(2005)은 1931년부터 2002년까지 인도의 최고기온, 최저기온, 일교차와 운량에 의한 계절별 경향을 분석하였는데, 일교차의 경우 여름철의 북서 카슈미르 지역의 감소를 제외하고는 대부분의 지역에서 변화를 파악하지 못하였다. 또한 중국에서는 1990~2000년에 걸쳐 일최고기온의 뚜렷한 상승으로 일교차가 증가한다는 연구결과를 발표하였다(Liu et al., 2004).

국내에서 수행된 일교차 연구로는 Cho et al.(1998)이 서울을 대상으로 최저기온보다 최고기온의 상승경향이 크게 나타났으며, 기온의 일교차가 지속적으로 감소한다고 지적하였다. Suh et al.(2009)는 1976년부터 2005년까지 기상청 60개 지점의 기상관측자료를 이용하여 일교차의 계절별 공간분포와 변동경향을 나타내었다. 뿐만 아니라 일교차 변동에 미치는 영향을 강수량, 운량 등으로 분석하였으며, 우리나라는 좁은 국토에도 불구하고 일교차의 변동경향이 계절 및 지역에 따라 다르게 나타남을 보고하였다. 또한 계절에 관계없이 대도시

가 인접한 지역보다 일교차가 작게 나타나는 것은 도시화로 인한 일교차 감소가 주요원인이라고 지적하였다. Lee and Kang(1997)은 대도시와 인근의 소도시 사이의 기온차를 이용하여 도시승온화를 정량적으로 평가하였는데, 한반도 평균 도시화 경향은 지난 20년간 약 0.3°C , 도시화가 제거된 한반도의 온난화는 지난 90년간 $0.5\sim 0.7^{\circ}\text{C}$ 진척된 것으로 평가되어, 지구온난화 속도보다 도시화에 의한 기온상승 속도가 더 높다는 지적을 한 바 있다. Park et al.(2012)은 부산과 목포에서 관측한 지난 100년(1910~2010년)간의 최고기온, 최저기온, 평균기온, 상대습도를 이용하여 경년변화와 도시화 효과에 따른 기온상승경향과 도시화효과를 추정하여 제시하였다. 또한 Park et al.(2012)은 부산을 대상으로 일최저기온을 이용하여 1960년대 이후 도시화에 수반되어 나타난 도시화효과를 분석하고, 그 원인으로 도시규모(도시면적, 인구증가) 및 토지이용, 인간 활동(도로길이, 자동차 증가량, 전력이용량, 소비자물가지수) 등을 이용하여 도시화효과와 도시화원인과의 상관성을 분석하였다. 이와 같이 지금까지 수행된 일교차 변화에 관한 연구는 대부분이 지리적 조건이나 계절에 따른 차이를 중심으로 이루어졌으나, 도시화 전후에 따른 일교차의 계절변동을 살펴본 사례는 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 지리적 특성이 다른 부산(해안지역)과 대구(내륙지역)를 대상으로 1934년부터 2014년까지 지난 81년간 일교차의 경년변화와 도시화에 따른 일교차 변화특성 및 계절별 변동경향을 파악하고자 하였다.

2. 자료 및 방법

부산과 대구(Fig. 1)의 지난 81년(1934~2014년)간 일교차 변화를 분석하기 위하여 각 지점에서 관측한 일최고기온, 일최저기온 자료를 이용하였다. Table 1은 부산과 대구의 기상관측지점에 위경도 좌표와 기상관측지점의 이동이 발생한 해를 제시하였다. 두 도시에서의 기상관측지점 이동은 우리나라의 산업화와 도시화의 시작인 1962년 경제발전 5개년 계획이 본격적으로 추진되기 전 1930년대 초반까지 이루어져 지리적 특성에 따른 일교차의 영향을 파악하는 데는 문제가 없는 것으로 판단된다. 다만 대구의 경우 2013년 9월 기상관측지점의 이

동이 있었으나, 본 연구의 분석에 포함되는 관측기간이 매우 짧아 거의 영향이 미치지 않을 것으로 판단된다. 또한 기상자료의 동질성 확보의 경우 우리나라의 일별 기온자료를 이용한 대부분의 연구에서 기상청 관측 장비가 변경되기 전인 2000년 이전까지로 제한한 바가 있으나 (Choi et al., 2003; Heo et al., 2006; Heo and Lee, 2011; Koo et al., 2007), Ryoo et al.(2006)은 서울, 부산, 대구, 광주, 강릉 등의 장기간 자료를 제공하는 관측 지점의 기후자료 동질성을 이중 위상화귀모형으로 분석한 결과 관측기간 동안 기온자료의 뚜렷한 시계열적 변곡점을 찾지 못하였다는 결과를 보고하였다. 따라서 2000년 이후 기온자료를 이용한 연구도 최근 활발히 이루어지고 있어(Choi et al., 2008; Heo and Lee, 2011; Oh et al., 2010), 본 연구에서 두 지점의 기상관측자료를 이용하는데 무리가 없을 것으로 판단하였다.

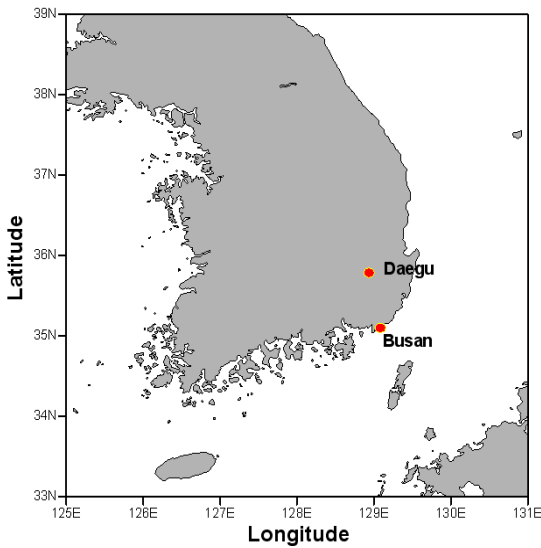


Fig. 1. Location of Busan and Daegu metropolitan in the Korean peninsula.

도시화에 의한 일교차 변화를 알아보기에 앞서 부산과 대구의 지난 81년간 일최고기온, 일최저기온, 일교차의 경년변화와 계절별 변화를 분석하였다. 계절별 변화는 봄철(3~5월), 여름철(6~8월), 가을철(9~11월), 겨울철(1월, 2월, 12월)로 나누어 나타내었다. 다음으로 도시화에 따른 일교차의 변화 특성은 지난 55년(1960~2014년)간 부산과 대구의 인구수 및 인구증가율 변화 (Fig. 8)를 분석하여 도시화의 기준이 되는 해를 선정하고, 도시화이전과 도시화이후로 구분하여 일교차의 경년변화와 계절별 변동을 분석하였다. 경년변화는 장기변화 경향을 알아보기 위하여 추세분석을 이용하였으며, 통계적 유의수준은 $p < 0.01$ 이면 **, $p < 0.05$ 이면 *로 그래프에 표시하였다. 일교차의 변동성은 도시화이전과 도시화이후로 구분하여 계절별로 나타내었다.

3. 결과

3.1. 부산과 대구의 일교차 변화

3.1.1. 일교차의 경년변화

일교차는 일최고기온과 일최저기온의 변화경향에 따라서 달라진다. Fig. 2는 지난 81년(1934~2014년)간 부산과 대구의 일최고기온과 일최저기온, 일교차의 경년변화를 나타내었다. 일최고기온은 부산이 약 1.30°C, 대구는 약 1.86°C, 일최저기온은 부산이 1.62°C, 대구는 3.08°C 상승하였으며, 부산이 대구에 비해 일최고기온은 0.56°C, 일최저기온은 1.52°C 낮았다. 일교차는 부산과 대구에서 각각 0.32°C, 1.30°C 감소하였는데, 부산은 통계적으로 유의하지는 않았다. 이렇듯 일교차의 변화정도가 다르게 나타나는 것은 Heo and Lee(2011)의 연구결과와 같이 지역적 특성에 의해 해안지역보다는 내륙지역에서 높게 나타난다는 사실과 잘 일치하고 있다. 또한 두 지점에서 나타난 일교차의 감소원인은 일최저기온의 상승이 일최고기온의 상승보다 강하게 발생하는 비대칭적

Table 1. Geographical characteristics (longitude, latitude, height) and history of their relocations

Station	Longitude	Latitude	Height(m)	Meteorological station circumstance
Busan	129°02′	35°06′	69.2	SR in 1904, 1906, 1934
Daegu	128°23′	35°13′	53.3	SR in 1907, 1916, 1937, 2013

SR: station relocation

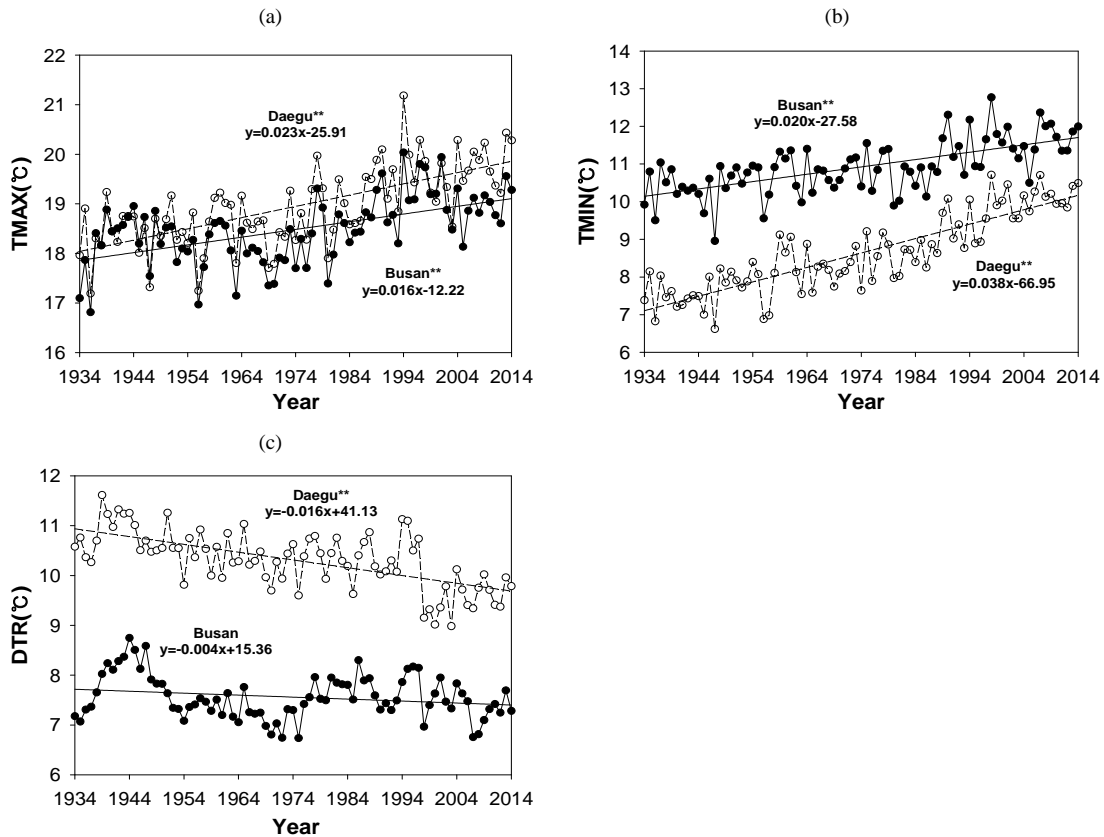


Fig. 2. Yearly average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of Busan and Daegu.

기온변동경향에 있다는 Krel et al.(1993)의 연구결과와도 잘 일치한다.

3.1.2. 일교차의 계절별 경년변화

부산과 대구의 지난 81년(1934~2014년)간 일최고기온, 일최저기온 및 일교차의 계절별 경년변화를 Figs. 3~6에 나타내었다. 봄철(Fig. 3)의 일최고기온을 살펴보면 부산은 1.46°C, 대구는 2.43°C, 일최저기온은 부산이 1.62°C, 대구는 3.48°C 상승한 것으로 나타나 일최저기온의 상승경향이 일최고기온에 비해 크게 나타났다. 일교차의 경우 부산은 통계적으로 유의하지 않았지만 0.16°C, 대구는 1.05°C 감소하여 부산에 비해 뚜렷한 감소경향을 나타내었다. 여름철(Fig. 4)의 일최고기온은 부산과 대구 각각 0.49°C, 0.41°C 상승하였으나, 두 지점 모두 통계적으로는 유의하지 않았다. 그러나 다른 계절

과 달리 부산이 대구에 비해 0.07°C 높게 나타나는 특징이 있었다. 일최저기온은 부산이 1.22°C, 대구는 1.86°C로 두지점 모두 봄철에 비해 낮은 상승경향을 나타낸 반면, 일교차는 부산이 0.73°C, 대구는 1.46°C 감소하여 대구와 달리 부산의 일교차 감소는 봄철보다 훨씬 컸다. 가을철(Fig. 5)의 일최고기온은 부산이 0.97°C, 대구는 1.54°C 상승하였으며, 이는 여름철과 비교했을 때 부산은 약 2배, 대구는 약 4배 이상 높은 값이다. 일최저기온은 여름철보다 각각 0.16°C, 1.14°C 상승하여 부산은 1.38°C, 대구는 3.0°C로 나타났다. 일교차는 부산은 0.41°C, 대구는 1.46°C 감소하였다. 겨울철(Fig. 6)의 일최고기온은 부산이 2.0°C, 대구는 2.92°C, 일최저기온은 부산이 1.94°C, 대구는 3.32°C 상승하였는데, 일최저기온의 경우 사계절 중 가장 높은 상승경향을 나타내었다. 일

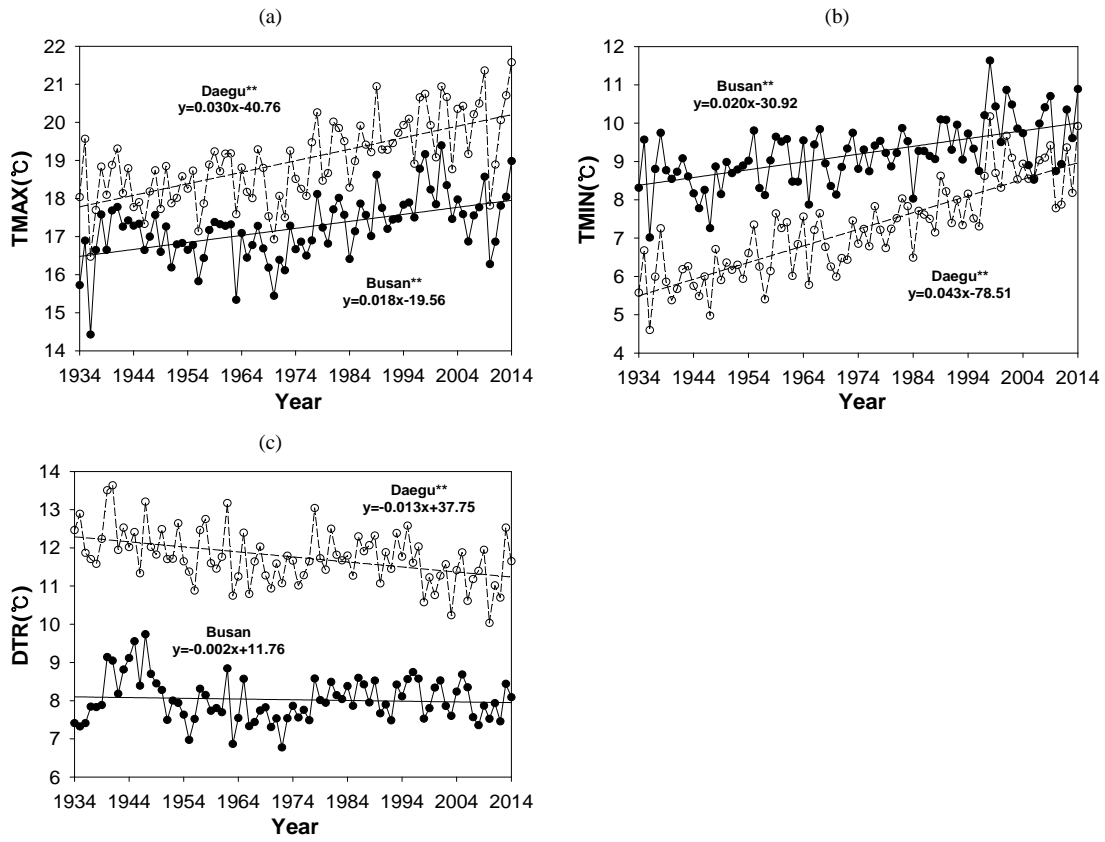


Fig. 3. Seasonal average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of Busan and Daegu in spring.

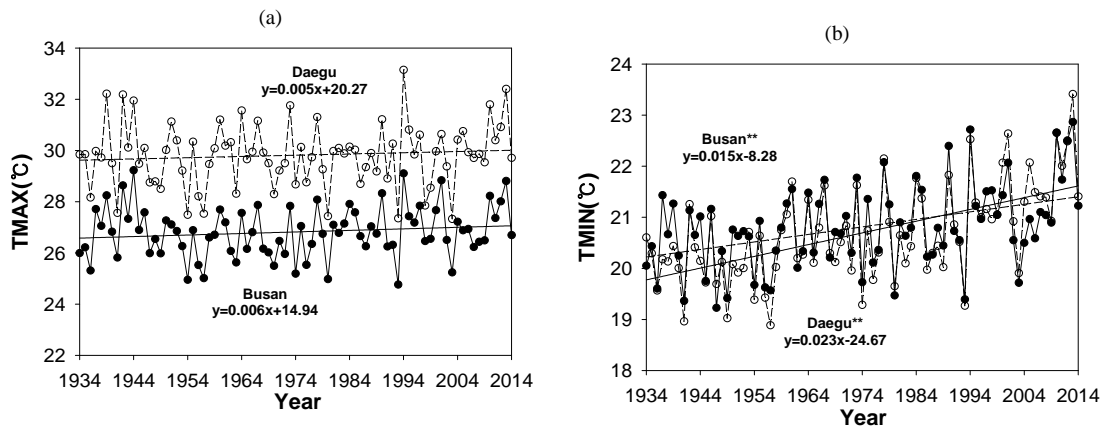


Fig. 4. Seasonal average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of Busan and Daegu in summer.

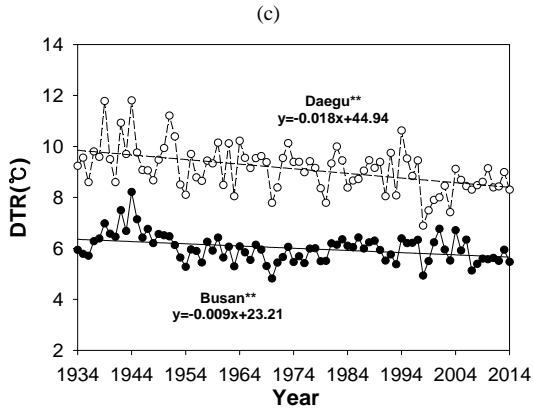


Fig. 4. Continued.

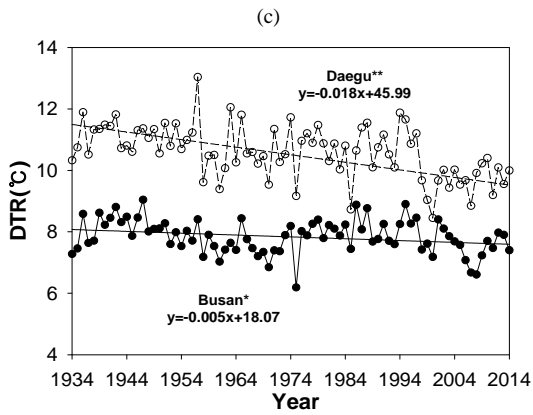
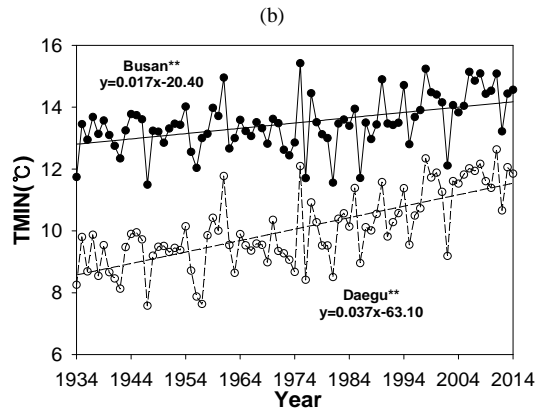
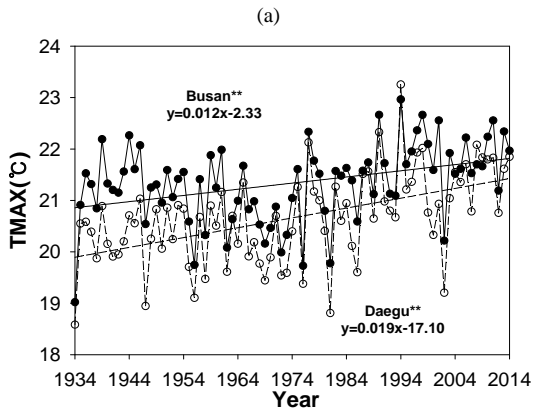


Fig. 5. Seasonal average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of Busan and Daegu in fall.

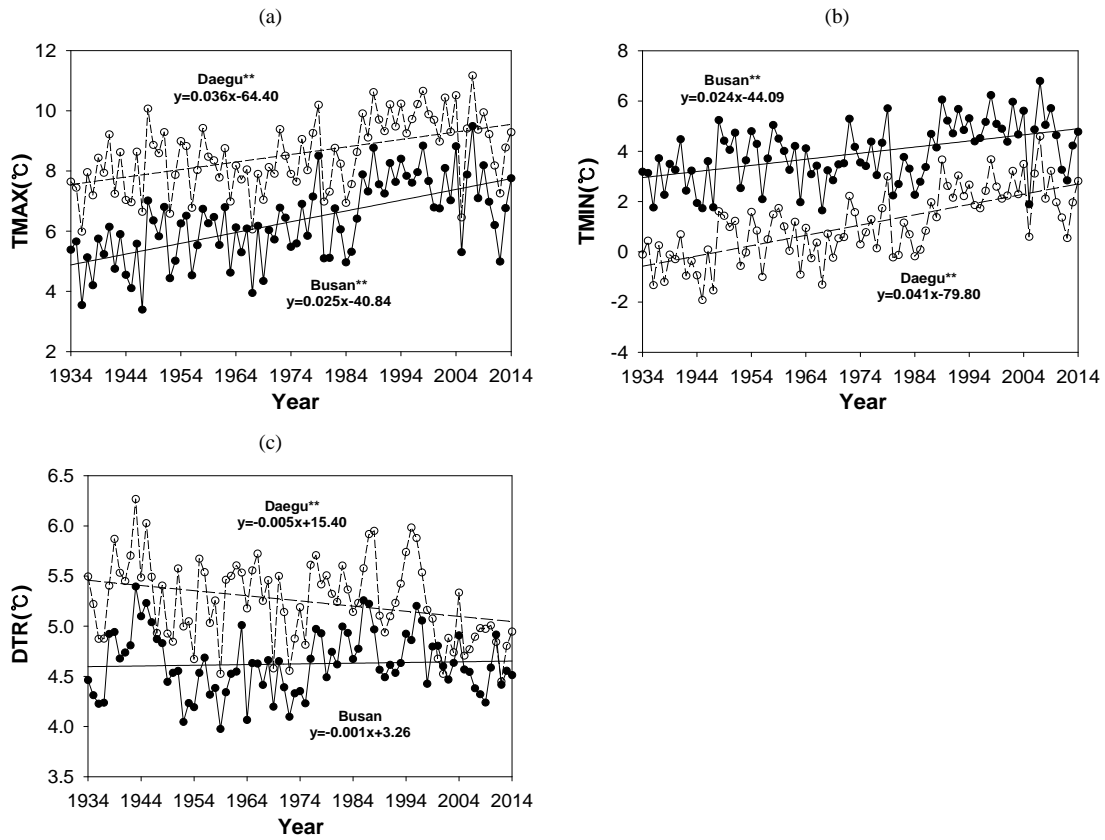


Fig. 6. Seasonal average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of Busan and Daegu in winter.

최고기온과 일최저기온의 상승이 다른 계절에 비해 겨울철에 가장 높게 나타난 것은 Easterling et al.(1997)과 Heo and Lee(2011)의 연구에서 보고된 바와 같이 북반구에 위치한 대부분의 나라들은 겨울철에 기온상승이 가장 높았다는 결과와 잘 일치하고 있다. 반면 일교차는 부산은 $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$, 대구는 $0.41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 감소하였으며, 부산은 통계적으로 유의하지 않았다. 이러한 일교차의 감소경향은 계절 중 가장 낮았고, 두 지점 모두 계절별 기온상승경향과는 달리 겨울철에 낮고 여름철에 높게 나타났다.

3.1.3. 일교차의 계절변동

지난 81년간 부산과 대구의 일최고기온, 일최저기온, 일교차의 일평균 값을 이용하여 계절별 변동특성을 비교 분석하였다(Fig. 7). 일최고기온(Fig. 7(a))은 봄철과 여름철에는 대구가 높게 나타난 반면, 가을철과 겨울철은

부산이 높았다. 일최저기온(Fig. 7(b))은 여름철을 제외한 다른 계절에서 부산이 높게 나타났다. 부산과 대구의 일교차(Fig. 7(c)) 변동 특성을 살펴보면 부산은 다른 계절에 비해 여름철에 낮게 나타난 것을 제외하고는 크게 차이가 없었다. 반면 대구는 봄철과 가을철에 높았고, 여름철과 겨울철에는 낮았다. 이러한 계절별 변동 특징은 부산이 지리적으로 해안에 위치하여 내륙에 위치한 대구와 달리 해양성 기후에 영향을 받기 때문으로 판단된다.

3.2. 도시화에 의한 일교차의 변화

일반적으로 도시화의 정도에 대한 평가지표로 인구와 도시면적을 이용하여 연구해 왔다(Fukuoka, 1983). 예로서, Zhou et al.(2004)는 중국의 일교차 감소가 도시화 효과에 영향을 받고 있으며, 도시화효과는 도시인구의 비율과 상관성이 있음을 발표하였다. 따라서 본 연구에

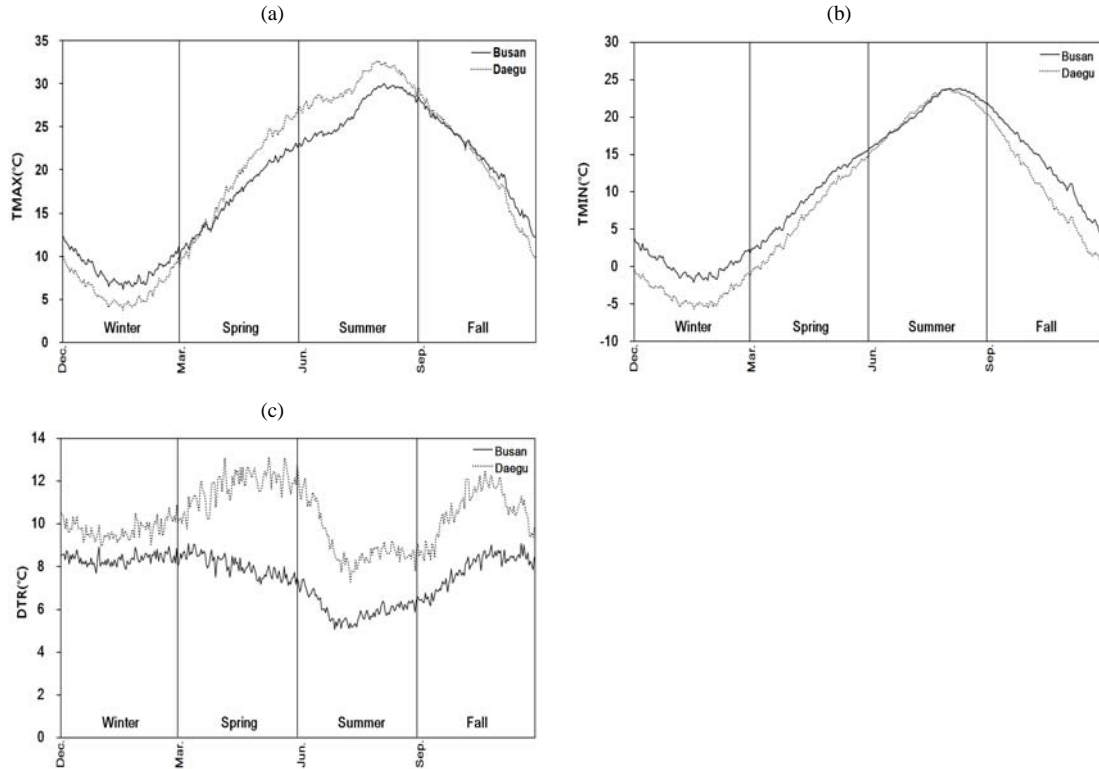


Fig. 7. Seasonal distribution of average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) in Busan and Daegu.

서는 도시화 전후의 일교차 변화를 알아보기 위하여 Fig. 8에 부산과 대구의 지난 55년(1960~2014년)간 인구수와 인구증가율을 이용하였다. 먼저 인구수(Fig. 8(a))를 살펴보면 1990년 초까지는 두 지역 모두 꾸준히 증가한 반면, 1995년 이후 부산은 감소하고 대구는 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 다음으로 인구증가율(Fig. 8(b))은 산업화가 본격적으로 이루어지기 시작하는 1980년대까지 두 지역에서 급격히 증가하였다. 이를 바탕으로 도시화에 따른 일교차의 변화를 파악하기 위하여 부산과 대구의 평균 인구증가율이 높았던 1970년대 중 부산의 인구증가율이 가장 높았던 1974년을 기준으로 도시화 이전(1934~1973년)과 도시화 이후(1974~2014년)로 나누어 분석하였다.

3.2.1. 도시화에 의한 일교차 경년변화

도시화에 따른 일교차의 변화를 알아보기 위하여

1974년을 기준으로 도시화 전후(이하 도시화이전(1934~1973년), 도시화이후(1974~2014년)로 표기함)로 나누어 일최고기온, 일최저기온, 일교차의 경년변화를 살펴보았다. 일최고기온의 경우 도시화이전에는 두 지점 모두 통계적으로는 유의하지 않았지만, 부산은 도시화이전에 0.28°C 감소하였고, 도시화이후에 약 0.98°C 상승하여, 도시화이후에 상승경향이 뚜렷하게 나타났다. 대구는 도시화이전에 0.24°C 상승하여 부산과는 상반된 경향을 나타내었고, 도시화이후에는 1.23°C 상승하여 두 지점 모두 도시화이후의 상승경향이 더욱 뚜렷하게 나타났다. 일최저기온은 도시화이전에 부산이 0.68°C, 대구는 1.08°C 상승하였고, 도시화이후에는 부산이 1.31°C, 대구는 2.30°C 상승하였다. 부산의 경우 도시화이전은 일최고기온과 일최저기온의 변화경향이 상반되게 나타났으나, 도시화이후에는 일최고기온과 일최저기온 모두 높은 상승경향을 나타내었다. 그 결과로 일교차는 부산이

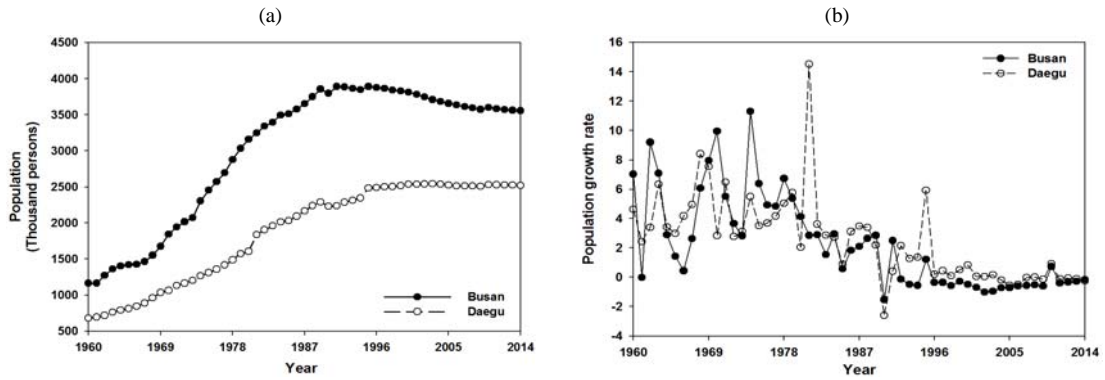


Fig. 8. Long-term change of (a) population and (b) population growth rate during the 55 years(1960~2014) in Busan and Daegu.

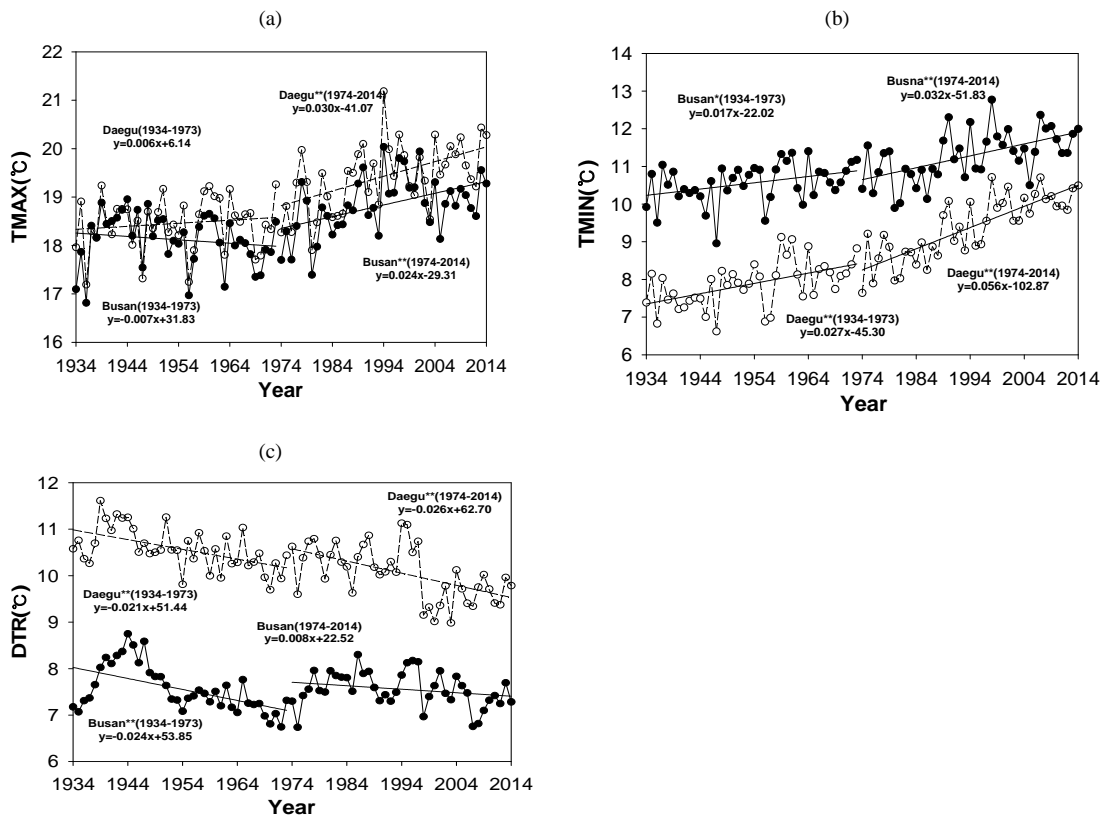


Fig. 9. Yearly average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of urbanization before(1934-1974) and after(1975-2014).

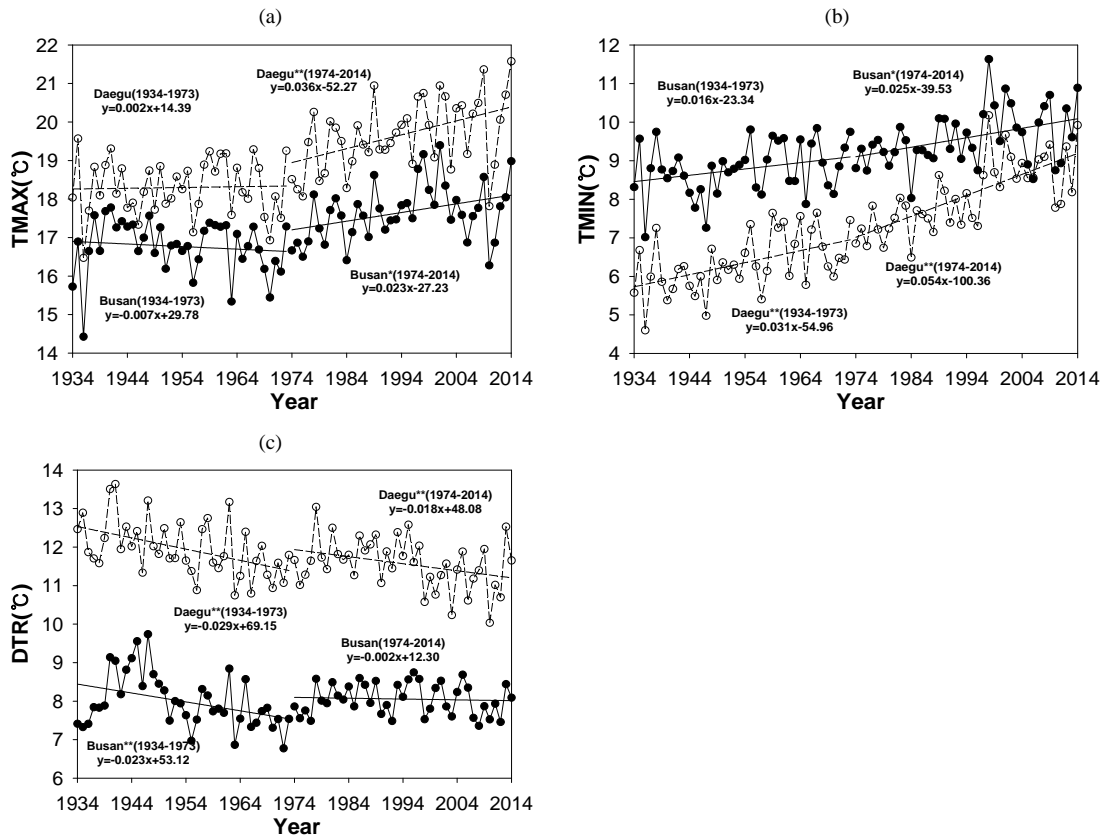


Fig. 10. Seasonal average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of urbanization before(1934-1973) and after(1974-2014) in spring.

도시화이전에는 0.96°C , 도시화이후에는 0.33°C 감소하였으나, 통계적으로는 유의하지 않았다. 감소경향은 도시화이전이 도시화이후에 비해 더욱 뚜렷하였다. 대구는 도시화이전에는 0.84°C , 도시화이후에는 1.07°C 감소하여 부산과 달리 도시화이후의 감소경향이 뚜렷하였다. 도시화이전에 부산의 일최고기온이 감소한 것을 제외하고는 일반적으로 알려진 바와 같이 우리나라는 일최고기온의 상승보다는 일최저기온의 상승이 더 뚜렷하여 일교차가 감소한다는 사실과 잘 일치하고 있다. 부산의 도시화이전 일최고기온의 감소경향은 Liu et al.(2004)의 연구결과와 같이 중국의 기온변화경향과 유사하다. 중국에서는 1955~1990년 사이에 일최고기온이 0.15°C 감소하였으나, 1990~2000년에는 5.6°C 상승한 것으로 보고하였다. 부산의 도시화이전의 일최고기온의 감소원인

을 파악하기 위해서는 기온변화에 영향을 미치는 여러 요인들에 대한 다각적인 연구가 필요하다.

3.2.2. 도시화에 따른 일교차의 계절별 경년변화

도시화에 따른 계절별 경년변화를 살펴보기 위하여 도시화이전과 이후의 일최고기온, 일최저기온, 일교차의 변화를 Figs. 10~13에 제시하였다. 봄철(Fig. 10)의 일최고기온의 변화경향을 살펴보면 부산은 도시화이전에 0.28°C 감소하였으며, 도시화이후에 0.94°C 상승하였다. 대구는 도시화이전과 이후에 0.08°C , 1.48°C 상승하여 도시화 전후 모두 상승경향을 나타내었다. 그러나 두 지점 모두 도시화이전의 변화경향은 통계적으로는 유의하지 않았다. 일최저기온은 부산의 경우 도시화이전에는 통계적으로 유의하지 않았지만 0.64°C 상승하였고, 대구는 부산보다 약 2배 높은 1.24°C 상승하였다. 도시화이

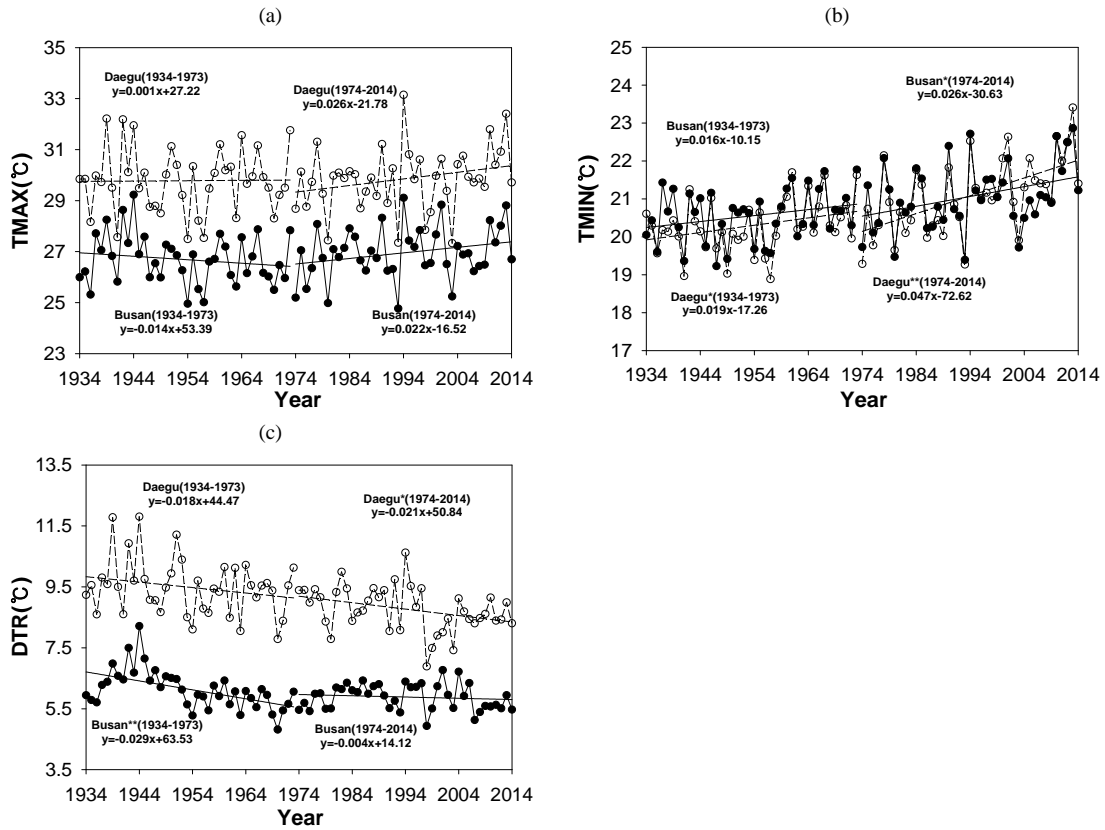


Fig. 11. Seasonal average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of urbanization before(1934-1973) and after(1974-2014) in summer.

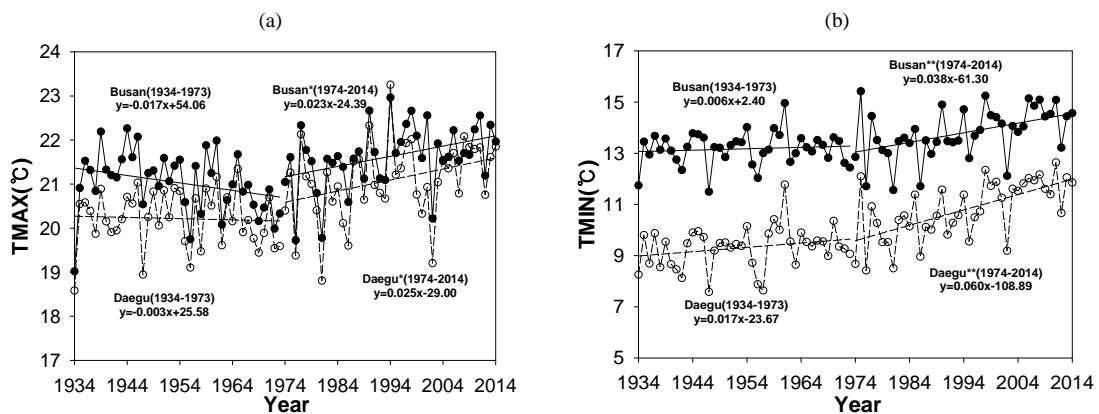


Fig. 12. Seasonal average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of urbanization before(1934-1973) and after(1974-2014) in fall.

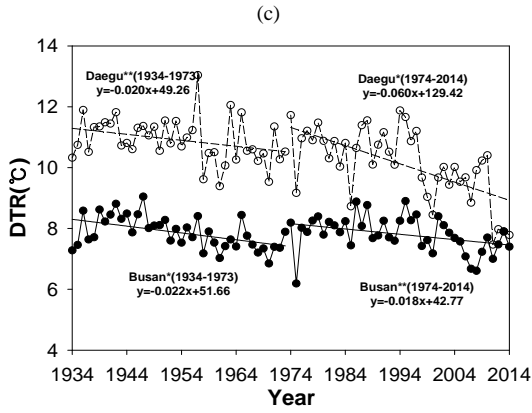


Fig. 12. Continued.

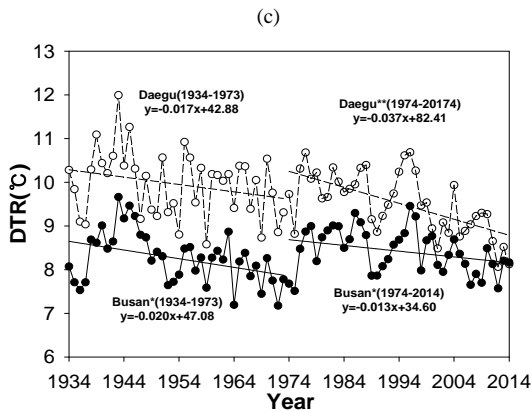
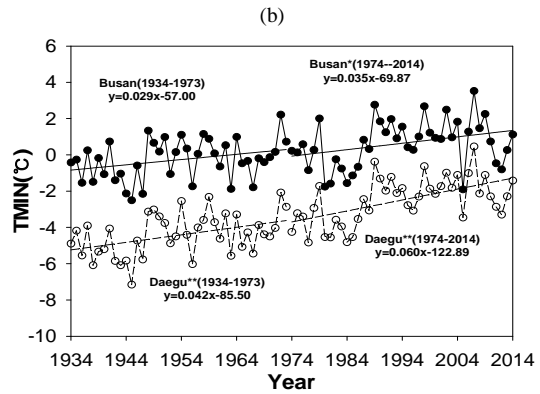
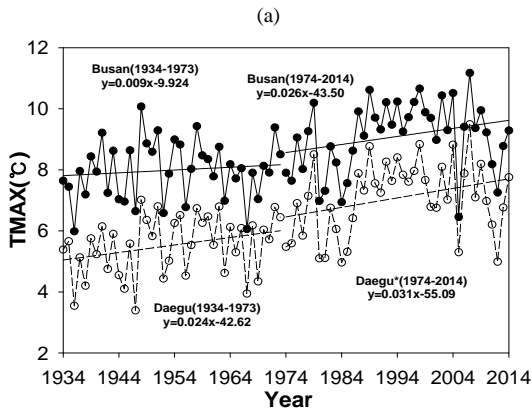


Fig. 13. Seasonal average (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of urbanization before(1934-1973) and after(1974-2014) in winter.

후에는 부산은 1.03℃, 대구는 2.21℃ 상승하여 두 지점 모두 도시화에 상관없이 상승경향을 나타내었으며, 도시화이후에 상승경향이 더욱 뚜렷하였다. 일교차의 기온변화경향은 도시화이전에는 부산이 0.92℃, 대구는 1.16℃, 도시화이후에는 부산이 0.08℃, 대구는 0.74℃ 감소하여, 두 지점 모두 도시화이전의 일교차 감소경향이 더욱 뚜렷하였다. 그러나 부산은 도시화이후의 변화경향이 통계적으로 유의하지 않았다. 여름철(Fig. 11)의 일최고기온은 도시화이전에 두 지점 모두 통계적으로 유의하지 않았지만, 부산은 0.56℃ 감소하였고 대구는 0.04℃ 상승하였다. 도시화이후에는 두 지점 모두 상승경향이 나타났는데, 부산은 0.90℃, 대구는 1.07℃로 나타났다. 일최저기온은 도시화이전에 부산은 0.64℃, 대구는 0.76℃ 상승하였으나, 부산은 통계적으로 유의하지 않았다. 도시화이후에는 부산은 1.07℃, 대구는 1.93℃ 상승하여 일최고기온보다 더 높은 상승경향을 나타내었다. 일교차

는 부산은 도시화이후, 대구는 도시화이전에 통계적으로 유의하지 않았으나, 기온변화 경향을 살펴보면 도시화이전에는 부산은 1.16℃, 대구는 0.72℃ 감소하였고, 도시화이후에는 부산은 0.16℃, 대구는 0.86℃ 감소한 것으로 나타났다. 부산은 도시화이전의 일교차 감소경향이 뚜렷하였고, 대구는 도시화이후의 감소경향이 다소 높게 나타났다. 가을철(Fig. 12)의 일최고기온을 살펴보면 부산과 대구에서 도시화이전에는 0.68℃, 0.12℃ 감소하였고, 도시화이후에는 0.94℃, 1.03℃ 상승하였으며, 도시화이전의 경우 두 지점 모두 통계적으로 유의하지 않았다. 일최저기온의 경우 도시화이전에는 두 지점 모두 통계적으로 유의하지 않았으나, 기온변화경향은 부산과 대구에서 각각 0.24℃, 0.68℃, 도시화이후에는 1.56℃, 2.46℃ 상승하였다. 일교차는 부산과 대구에서 도시화이전은 0.88℃, 0.80℃ 감소하였고, 도시화이후에는 0.74℃, 2.46℃ 감소하여 부산은 도시화이전에 감소경향이

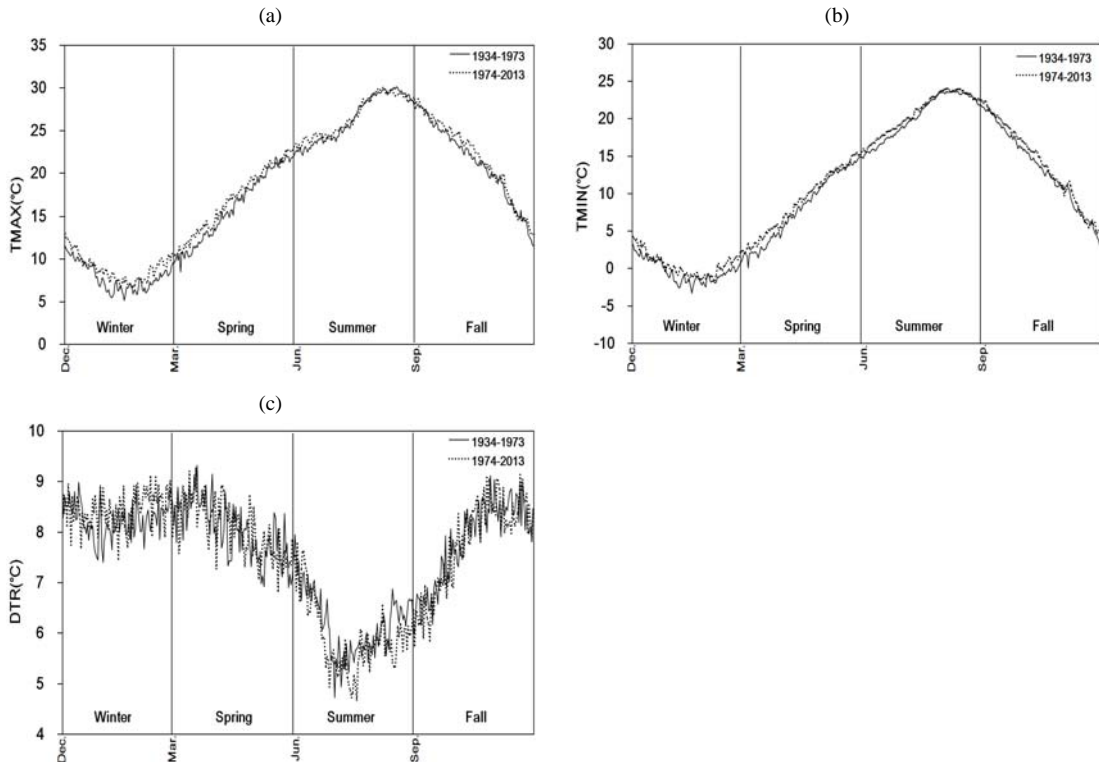


Fig. 14. Seasonal distribution of (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of urbanization before(1934-1973) and after(1974-2014) in Busan.

뚜렷하였고, 대구는 도시화이후의 감소경향이 뚜렷하였다. 겨울철(Fig. 13)의 일최고기온은 부산이 도시화전후, 대구는 도시화이전이 통계적 유의하지 않았다. 기온변화 경향은 부산과 대구에서 도시화이전에는 0.36°C , 0.96°C 상승하였고, 도시화이후에는 1.07°C , 1.27°C 상승하여 다른 계절에 비해 상승경향이 가장 크게 나타났다. 일최저기온은 부산은 도시화이전에 통계적으로 유의하지 않았으나 기온변화경향은 1.16°C , 대구는 1.68°C , 도시화이후에는 부산은 1.44°C , 대구는 2.46°C 상승하였다. 그 결과 일교차는 도시화이전에 대구가 통계적으로 유의하지 않았으나, 기온변화경향은 부산은 0.8°C , 대구는 0.68°C , 도시화이후에는 부산은 0.53°C , 대구는 1.52°C 감소하였다.

3.2.3. 도시화에 의한 일교차의 계절변동

도시화이전과 도시화이후의 부산과 대구의 일최고기온, 일최저기온, 일교차의 계절변동을 Fig. 14와 Fig. 15

에 나타내었다. 부산(Fig. 14)의 도시화에 따른 일교차의 계절변동을 살펴보면 일최고기온(Fig. 14(a))은 도시화이후 늦여름(10월)을 제외한 모든 계절에서 상승하였지만, 특히 겨울철과 봄철에 높은 상승을 나타내었다. 일최저기온(Fig. 14(b))은 일최고기온과 달리 도시화이후 모든 계절에서 뚜렷하게 상승하였다. 일교차(Fig. 14(c))는 여름철을 제외하고 도시화이전과 도시화이후의 계절별 변동이 거의 없었다. 그러나 여름철에는 도시화이후 뚜렷한 감소경향을 나타내었다. 일반적으로 도시의 기온상승은 주로 도시화에 따른 열용량의 증가, 야간복사냉각의 감소, 대기오염물질배출 증가에 의한 온실효과, 도시 인공열의 증가 등에 기인하는 것으로 알려져 있다. 열용량이 증가할 경우 일최고기온의 낮아지고, 일최저기온이 높아져 기온의 일변화 또는 경년변화 폭이 감소하게 되며 야간복사냉각이 감소하고, 이로 인해 주간에 받았던 열에 대한 야간의 방출 열량이 감소하여 지표가 충분히

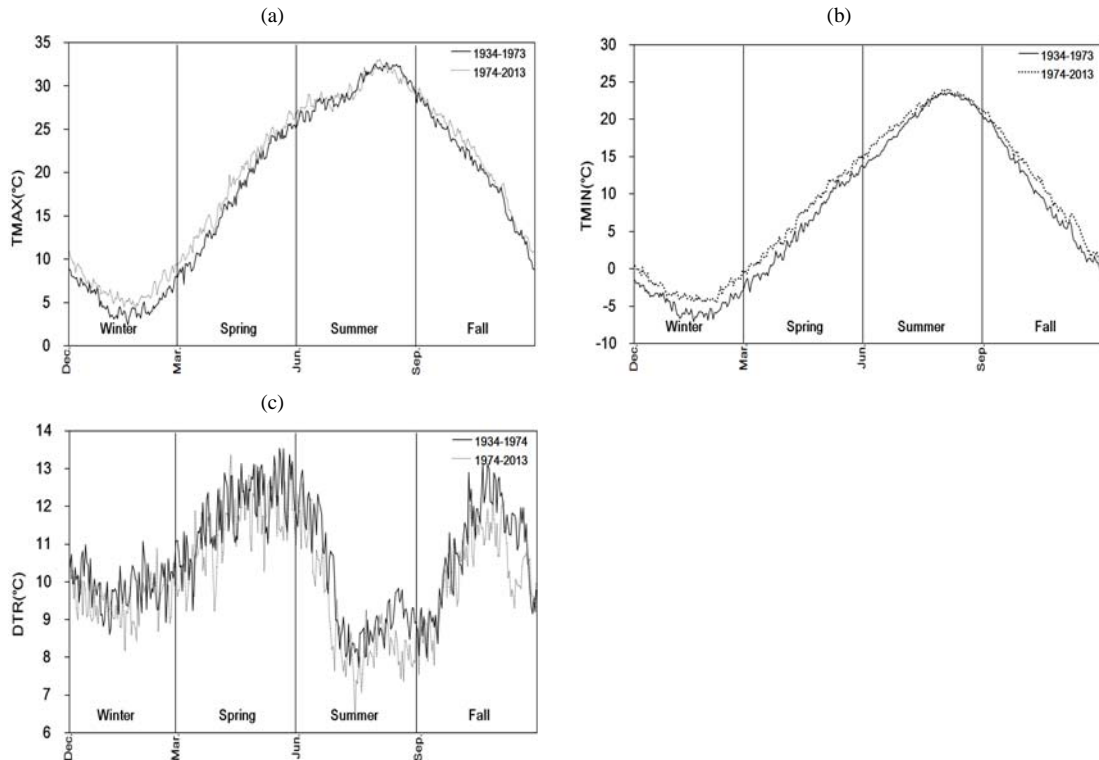


Fig. 15. Seasonal distribution of (a) maximum air temperature(TMAX), (b) minimum air temperature(TMIN) and (c) diurnal air temperature range(DTR) of urbanization before(1934-1973) and after(1974-2014) in Daegu.

냉각되지 않기 때문에 일최저기온의 상승하게 되는 것으로 알려져 있다(Park et al., 2012). 따라서 부산의 일교차의 계절적 변동의 특징인 도시화이후 여름철의 뚜렷한 감소는 부산이 지리적으로 해안에 위치하여 여름철에 해양성기후의 영향을 받아 일최고기온의 변화는 크게 없으나, 도시화로 인한 여름철 야간의 일최저기온 상승에 의한 것으로 판단된다. 대구(Fig. 15)의 일최고기온(Fig. 15(a))은 부산과 다르게 여름철을 제외하고 모든 계절에서 도시화이후에 상승하였음을 알 수 있다. 특히 늦여름(9월)은 도시화이전의 일최고기온이 도시화이후 보다 높은 특징을 나타내었다. 일최저기온(Fig. 15(b))은 부산과 같이 도시화이후 모든 계절에서 상승하였으나, 상승 폭은 부산에 비해 높게 나타났다. 일교차(Fig. 15(c))는 도시화이후 여름철과 가을철에 다른 계절에 비해 높은 감소경향을 나타내었으며, 특히 늦가을(11월)에 가장 뚜렷하게 감소하였음을 알 수 있다. 이러한 변화경향은 일반적으로 알려진 우리나라의 일교차 변화경향과 잘 일치하고 있다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 지리적 특성이 다른 부산(해안지역)과 대구(내륙지역)를 대상으로 지난 81년(1934~2014년) 간 일교차의 경년변화와 도시화에 따른 일교차 경년변화 및 계절별 변동특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째 일교차의 경년변화를 살펴보면 지난 81년간 부산은 0.32℃, 대구는 1.30℃ 감소하여, 부산이 대구에 비해 약 75% 이상 낮은 감소경향을 나타내었다. 일교차의 계절별 경년변화는 두 지점에서 상승경향이 겨울철에 가장 높았고, 여름철에 가장 낮았다. 이는 여름철에 강수가 집중하는 몬순의 영향으로 판단된다. 일교차의 계절변동은 부산의 경우 여름철이 가장 낮았고, 다른 계절에는 변동 값의 차이가 크게 없었다. 반면 대구는 봄철과 가을철의 변동 값이 크고, 여름철과 겨울철에는 낮은 변동 값을 나타내었다.

둘째 도시화에 의한 일교차 경년변화를 살펴보면 부산은 도시화이전에는 0.96℃, 도시화이후에는 0.33℃ 감소하여 도시화이전에 감소경향이 더욱 뚜렷하였다. 대구는 도시화이전에는 0.84℃, 도시화이후에는 1.07℃ 감소

하여 부산과 달리 도시화이후의 감소경향 뚜렷하였다. 부산에서 도시화이전의 일교차 감소경향이 높은 것은 일최고기온의 감소 때문이다. 도시화에 의한 일교차의 계절별 경년변화를 살펴보면 지난 81년간 부산은 도시화이전에는 여름철에 감소경향이 가장 뚜렷하였고, 도시화이후에는 가을철에 감소경향이 가장 뚜렷하게 나타났다. 대구는 도시화이전에는 봄철에 가장 뚜렷한 감소경향을 나타내었고, 도시화이후에는 가을철에 가장 뚜렷한 감소경향을 나타내었다. 도시화에 의한 일교차의 계절변동을 살펴보면 부산은 여름철을 제외하고 도시화이전과 도시화이후의 계절별 변동이 거의 없었다. 그러나 여름철에는 도시화이후 뚜렷한 감소경향을 나타내었다. 반면 대구는 도시화이후 여름철과 가을철에 다른 계절에 비해 높은 감소경향을 나타내었으며, 특히 늦가을(10월)에 가장 뚜렷하게 나타났다.

위의 결과를 바탕으로 도시화에 따른 일교차 변화 및 계절변동이 지역별로 다르게 나타남을 알 수 있었으나, 그 원인을 파악하지는 못하였다. 따라서 향후 도시화 효과가 일교차 변화에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되어야 하고, 도시화 효과에 영향을 미치는 요인 중에서 일교차에 영향을 미치는 요인을 파악하고, 분석하는 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 국립수산물과학원 수산과학연구소(R2016051)의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Braganza, K. J., Karoly, D. J., Arblaster, J. M., 2004, Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13217.
- Cho, H. M., Cho, C. H., Chung, K. W., 1988, Air temperature changes due to urbanization in Seoul area, *J. Korean Meteorological Society*, 24, 27-37.
- Choi, Y. E., Jung, H. S., Nam, K. Y., Kwon, W. T., 2003, Adjusting urban bias in the regional mean surface temperature series of South Korea 1968-99, *Int. J. Climatol.*, 23, 577-591.

- Choi, G. Y., Kwon, W. T., Boo, K. O., Cha, Y. M., 2008, Recent spatial and temporal change in means and extreme events of temperature and precipitation across the republic of Korea, *The Korean Geographic Society*, 43(5), 681-700.
- Easterling, D. R., Horton, B., Jones, P. D., Peterson, T. C., Karl, T. R., Parker, D. E., Salinger, M. J., Razuvayev, V., Plummer, N., Jamason, P., Folland, C. K., 1997, Maximum and minimum temperature trends for the globe, *Science*, 277, 364-367.
- Fukuoka, Y., 1983, Physical climatological discussion on causal factors of urban temperature, *Memoirs of The Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, Ser. IV*, 8, 157-178.
- Heo, I. H., Kwon, W. T., Chun, Y. M., Lee, S. H., 2006, The impact of temperature rising on the distribution of plant -in case of bamboos and garlics-, *Environment Impact Assessment*, 15(1), 76-78.
- Heo, I. H., Lee, S. H., 2011, The change of diurnal temperature range in south Korea, 17(2), *Journal of the Korean association of regional geographers*, 17(2), 167-180.
- Hong, S. K., Ahn, C. H., Jung, H. K., Kang, J. H., Suh, M. S., Kwak, M., C. H., 2007, The cause and the change of diurnal temperature range in Korea for recent 1976-2005, *Proceedings of the Korean Meteorological Society Conference*, 296-297.
- Karl, T. R., Jones, P. D., Knight, R. W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V., Gallo, K. P., Lindsey, J., Charlson, R. J., Peterson, T. C., 1993, A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 74, 1007- 1023.
- Kim, J. H., Suh, M. S., Hong, S. H., 2010, The relocation effect of observation station on the homogeneity of seasonal mean of diurnal temperature range, *J. Korean Meteorological Society*, 20(4), 437-449.
- Koo, G. S., Boo, K. O., Kwon, W. T., 2007, The estimation of urbanization effect in global warming over Korea using daily maximum and minimum temperature, *J. Korean Meteor. Soc.*, 17(2), 185-193.
- Lee, M. I., Kang, I. S., 1997, Temperature variability and warming trend in Korea associated with global warming, *J. Korean Meteorological Society*, 33(3), 429-443.
- Liu, B., Xu, M., Henderson, M., Qi, Y., Li, Y., 2004, Taking China's temperature : Daily range, warming trends, and regional variations 1955~2000, *J. Climate*, 17, 4453-4462.
- Makowski, K., Wild, M., Ohmura, A., 2008, Diurnal temperature range over Europe between 1950 and 2005, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 6483-6498.
- Oh, S. N., Ju, O. J., Moon, Y. S., Lee, K. S., 2010, Climate change and urban air temperature in crease in Korean peninsula, *Environment Impact Assessment*, 19(2), 169-177.
- Park, M. H., Lee, J. S., Ahn, J. S., Suh, Y. S., Han, I. S., Kim, H. D., 2012, Study on the climate change and the urbanization effect in Busan, *J. Environment Sciences*, 21(4), 401-409.
- 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 and urbanization effect of Busan by using daily minimum temperature, *J. Environment Sciences*, 21(12), 1477-1485.
- Roy, S. S., Balling Jr, R. C., 2005, Analysis of trends in maximum and minimum temperature range, and cloud cover over India, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12702.
- Ryoo, S. B., Kim, Y. H., Kwon, T. H., Park, I. S., 2006, Inhomogeneities in Korea climate data (1): Due to site relocation, *Atmosphere*, 16(3), 215-223.
- Suh, M. S., Hong, S. K., Kang, J. H., 2009, Characteristics of seasonal mean diurnal temperature range and their cause over south Korea, *J. Korean Meteorological Society*, 19(2), 155-168.
- Yadav, R. R., Park, W. K., Sing, J., Dubey, B., 2004, Do the western himalayas defy global warming?, *Geophys. Res. Lett.*, 31(17), L17201.
- Zhou L. R., Dickinson, E., Tian, Y., Fang, J., Li, Q., Kaufmann, R. K., Tucker, C. J., Muneni, R. B., 2004, Evidence for a significant urbanization effect on climate in China, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(26), 9540-9544.
- Zhou L., Dai, A., Dai, Y., Vose, R. S., Zou, C. Z., Tian, Y., Chen, H., 2008, Spatial dependence of diurnal temperature range trends on precipitation from 1950 to 2004, *Clim. Dyn.*, 32, 429-440.