한국지역지리학회지 제17권 제2호(2011) 167-180

우리나라의 일교차 변화에 관한 연구*

허인혜** · 이승호***

The Change of Diurnal Temperature Range in South Korea*

Heo, Inhye** · Lee, Seungho***

요약 : 본 연구는 1954~2009년까지의 분석 기간을 1954~1987년과 1988~2009년으로 구분하여 일최고기온, 일최저기온, 일교차의 계절별 변화와 지역별 분포에 따른 그 변화 경향과 그 원인을 파악하였다. 일최고기온의 기온 상승 경향은 전후반기 뚜렷한 변화가 없으나 일최저기온은 전반기보다 후반기에 뚜렷하게 상승하여 일교차는 감소하는 경향이다. 계절별로 구분하였을 때 봄철의 일교차는 약간의 상승 경향이고 가을철은 감소 경향이 뚜렷하다. 지역별로는 대도시 지역이 중소도시보다 일교차 감소가 크고 비도시 지역은 일교차가 상승하는 경향이다. 대도시와 중소도시 지역의 일교차는 봄철의 운량과 가을철의 일조시간의 영향이 크다. 비도시 지역은 봄철에는 운량, 가을철에는 강수일수의 영향이 크다.

주요어 : 일최고기온, 일최저기온, 일교차, 대도시 지역, 비도시 지역

Abstract : This paper investigates the changes of diurnal temperature range (DTR) by season and region in South Korea using daily maximum temperature and daily minimum temperature from 1954 to 2009. It also attempts to find what causes these changes. The daily minimum temperature distinctively increased during the latter half of the research period (1988~2009) than the first half of the year (1954~1987) leading decreases in DTR, while the rise in daily maximum temperature was not distinct during the research period. The DTR shows slightly increasing trend in spring, but decreasing trend in fall. The DTR is decreasing in urban region while it is increasing in rural area. The degree of the DTR decrease is bigger in large urban region than in medium-small urban region. The DTR in urban region is affected by the amount of clouds in spring and the duration of sunshine in fall. The DTR in rural area is affected by the amount of clouds in spring and the number of days with precipitation in fall.

Key Words : daily maximum temperature, daily minimum temperature, diurnal temperature range, large urban region, rural area

1. 서 론

전 지구적으로 평균기온이 지속적으로 상승하면서 국내·외적으로 기온상승에 대한 관심이 고조되고 있다. 그러나 최고기온과 최저기온의 변동 경향이 달라서 일교차는 평균기온의 상승 추세와 다를 수 있다. Karl *et al.*(1993)은 전 세계 육지 면적의 37%에 해당하는 관측 자료를 분석하여 1951~1990년 동안의 최저기온(0.84℃/100년)이 최고기온(0.28℃/100년)에 비해 약 3배 상승하여 일교차가 감소했음을 밝혔으며, 그 후 일교차의 변화에 관한 관심이 증대되었다. 일교차는 20세기 중반 이후 전 세계 대부분의 지역에서 감소하였으나 이베리아 반도, 인도, 캐나다 중부 지역, 북미 해안 일부 지역에서는 증가하는 경향을 보여 지역별 변화의 차이가 존재하고 있음이 밝혀졌다(Karl *et al.*, 1993; Easterling *et al.*, 1997; Liu *et al.*, 2004, Braganza *et al.*, 2004; Makowski *et al.*, 2008; Zhou *et al.*, 2008). 특히 유럽의 대부분 지역에서는 1980년대 이전까지는 일교차가 감소하는 경향이었으나 최근에는 일교차의 증가경향이 나타나고 있다는 보고(Makowski *et al.*, 2008)가 있고 인접한 중국에서도 1990~2000년의 일최고기온의 뚜렷한 상승으로 일교차가 증가한다는 연구가 발표되었다(Liu *et al.*, 2004).

우리나라는 지형이 복잡하고 주변이 바다로 둘러싸여 있어 지리적 특성에 따라 기온 변동과 일교차의 변동이 다를 수 있다. 예를 들어, 기온상승

* 이 논문은 2008년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

** 건국대학교 지리학과 강의교수(Lecture Professor, Department of Geography, Konkuk University)(hihgrace@konkuk.ac.kr)

*** 건국대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Konkuk University)(leesh@konkuk.ac.kr)

경향은 해안보다는 내륙에서 더 크고(서명석 등, 2009) 산지에서의 기온상승 또한 뚜렷하다(이승호·김선영, 2008). 관측기간이 비교적 긴 지점의 기온변동 경향을 보면, 도시화 효과에 의한 기온상승이 서울은 44.8%, 대구는 31.8%, 부산은 18.5% 등(하경자 등, 2004)으로 지역별 기온 상승 경향은 지리적 위치 또는 도시화 효과 등에 의해 영향을 받을 수 있음이 확인되었다. 따라서 일최고기온과 일최저기온 변동의 영향을 받는 일교차도 지역별로 다른 변동 경향을 나타낼 수 있다.

일교차의 변동은 식생과 작물에 미치는 영향이 크다. 예를 들어 벼와 보리는 출수 후 등숙기간 동안의 기온이 높아지면, 낮 동안에 광합성을 통하여 탄수화물이 만들어지더라도 야간 기온이 높을 경우 낮 동안 만들어진 탄수화물을 소모해버리므로 이삭의 낟알이 잘 여물지 못한다(윤진일, 1990). 그러므로 일최저기온 상승에 의한 일교차 변화는 벼와 보리의 생산량 감소에 영향을 미칠 수 있다(이승호 등, 2008). 또한 일최저기온은 봄철 늦서리 현상에도 영향을 미치며 일최고기온과 더불어 과수작물의 개화시기 및 수분시기를 변화시킨다(이승호 등, 2008). David(2007)은 기후모델을 이용하여 지역별 일교차 변동을 분석한 결과 옥수수와 밀이 자라는 지역에서는 대부분 일교차가 증가하며 미국의 경우 밀생산량이 감소할 것이고, 벼가 재배되는 지역에서는 일교차가 감소하는 경향이며 인도의 경우 벼 생산량이 증가할 것이라고 하였다. 이와 같이 농작물 생산량에 영향을 미치고 있는 일최고기온과 일최저기온, 일교차의 변화는 작물에 따라서 특정 계절의 기온 변동에 민감하므로(이승호 등, 2008) 계절별 기온 변화에 관한 연구가 필요하다.

일교차 변동에 영향을 미칠 수 있는 요인은 구름, 강수현상, 태양복사, 온실기체, 에어로졸 등이 있다(Dai *et al.*, 1999; Braganza *et al.*, 2004; Gong *et al.*, 2006). Dai *et al.*(1999)은 강수와 일교차의 관계를 분석하여 강수 현상이 맑은 날의 일교차를 약 25~50% 감소시킬 수 있음을 제시하였다. 구름은 주간에는 지구 표면에 입사하는 단파 복사 에너지를 감소시켜 일최고기온을 감소시킬 수 있고 야간에는 지구에서 내보내는 장파 복사 에너지를 차단함으로써 일최저기온을 증가시킬 수 있으므로 일교차 변화에 미치는 영향이 뚜렷하다(Campbell and Vander Haar, 1997). Gong *et al.*(2006)은 도시화 영향과 관련하여 중국에서 주말효과가 일교차에 미치는 영향을 분석하였다. 겨울에는 최고기온을 상승시켜 양의 영향을 미치고 여름에는 최고기온을 낮추어 음의 영향을 미치게 되어 계절에 따른 주말효과가 상반되는 결과를 보였다. Zhou *et al.*(2004)도 중국의 일교차 감소가 구름의 증가가 아닌 도시 열섬과 관련있음을 제시하여 일교차 연구에 도시화 효과가 고려되어야 함을 제기하였다.

우리나라에서 이루어진 일교차 연구는 서울을 대상으로 최저기온의 상승이 최고기온의 상승경향보다 크게 나타나 기온의 일교차가 지속적으로 감소(조하만 등, 1988)한다는 것을 시작으로 특정 지역, 특정 기간을 대상으로 일교차의 변동과 일교차에 영향을 미치는 요인에 관한 연구가 이루어졌다(허창회 등, 2006; 최병철 등, 2007; 서명석 등, 2009). 서명석 등(2009)은 일교차에 영향을 미칠 수 있는 요소로 강수현상과 운량을 분석하여 강수현상이 발생하는 날의 일교차가 강수가 없는 날의 일교차보다 작고 운량과 일교차가 음의 상관관계를 갖는다고 하였으며, 허창회는 설연휴 시기를 사례로 서울 지역의 에어로졸 변화가 일교차에 영향을 미친다는 연구 결과를 제시하였다. 또한 Choi *et al.*(2008)은 1973~2007년간 일최고기온과 일최저기온의 여름철과 겨울철 변화를 분석하여 겨울철의 기온 변화가 여름철에 비하여 크고 통계적으로 유의한 결과를 보인다고 하였으며 분석기간을 1988년 이전과 이후로 구분하여 두 기간 동안의 일최고기온과 일최저기온의 변화가 뚜렷한 온도대를 파악하였으나 계절적으로 일교차가 큰 봄과 가을철의 연구가 이루어지지 않았다. 이들 대부분의 연구는 분석 지역과 분석 기간의 제한으로 계절적 기온 변화의 특성과 우리나라 일교차의 시계열적인 변화 등의 이해에 어려움이 있고 우리나라 기온변화에 영향을 미치는 도시화 효과에 대한 이해도 부족하다. 일교차에 영향을 미치는 요인 분석에서도 단순하게 특정 기후요소와 일교차와의 상관관계만을 파악하고 관련 기후요소의 지역별/계절별 변화로 인한 일교차 변화와의 관련성을 고려하지 않았다.

따라서 본 연구에서는 장기간의 일최고기온과 일최저기온의 차이인 일교차의 계절별 변화 경향과 그 분포 특성을 시기별/도시 규모별로 구분하여 비교 분석하고 일교차 변화가 특징적인 계절의 일교차에 영향을 미치는 요인을 파악하고자 하였다.

2. 연구 자료 및 방법

본 연구는 기상청에서 관측한 일별 최고기온과 최저기온, 강수량, 운량, 일조시간, 상대습도 등의 기상자료를 이용하였다. 우리나라의 일별 기온 자료를 이용한 대부분 연구는 자료의 동질성 확보 때문에 기상청 관측 장비가 변경되기 전인 2000년 이전까지로 제한하고 있다(Choi *et al.*, 2003; 허인혜·이승호, 2005; 구교숙 등, 2007). 그러나 류상범 등(2006)은 서울, 부산, 대구, 광주, 강릉 등의 장기간 자료를 제공하는 관측 지점의 기후 자료 동질성을 이중 위상 회귀 모형을 이용하여 분석하였을 때 관측기간 동안 기온 자료의 뚜렷한 시계열적 변곡점을 찾지 못하였다는 연구 결과를 도출하여 2000년 이후 기온 자료를 이용한 연구도 최근 활발하게 이루어지고 있다(Choi *et al.*, 2008; 오성남 등, 2010). 최근 발표된 IPCC(2007) 보고서에서는 1999년까지의 기온 자료를 이용한 경우 일교차의 감소가 뚜렷하다고 하였으나 2000년 이후의 기온 자료가 보완되면서 일교차의 감소가 미비하다는 결과를 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 최근 10년간 기온의 특성이 포함된 분석 결과를 파악하기 위하여 1954년부터 2009년까지를 분석기간으로 선정하였다. 분석지점은 이 기간 동안 연속적으로 관측된 14개 지점(서울, 강릉, 인천, 울릉도, 추풍령, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 목포, 여수, 제주)이며, 〈그림 1〉과 같다.

일최고기온과 일최저기온, 일교차의 시계열 변화 경향을 계절별로 파악하기 위하여 봄, 여름, 가을, 겨울로 구분하였다. 즉, 12월부터 2월까지를 겨울로, 3, 4, 5월을 봄, 6, 7, 8월을 여름, 9, 10, 11월을 가을로 정하였다. 겨울은 해당연도의 12월부터 다음해 2월까지의 자료를 이용하였다. 예를 들어 2009년 겨울은 2009년 12월부터 2010년 1월과 2월의 값을 의미한다.

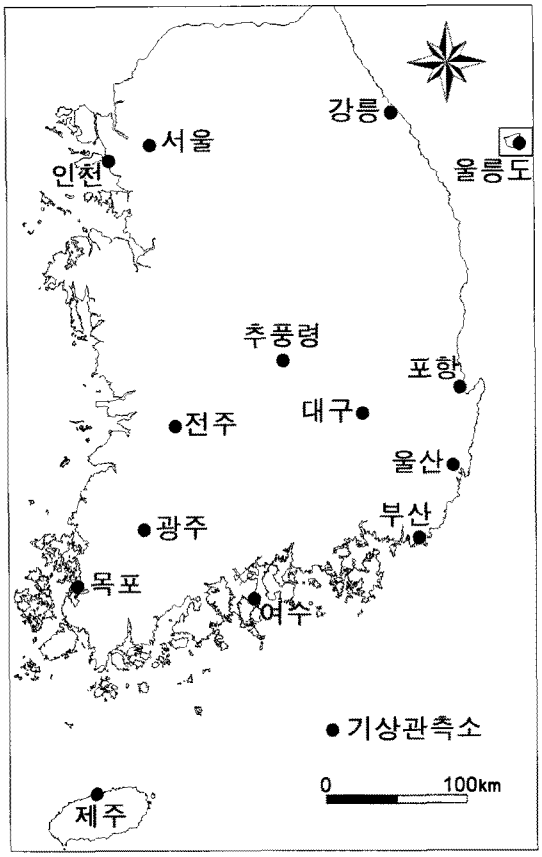

그림 1. 분석에 이용된 관측지점

우리나라 기온의 장기간 변화를 파악하기 위하여 14개 기상관측지점의 일최고기온과 일최저기온, 일교차의 시계열 변화와 7년 이동 평균을 구하여 그래프로 나타냈다. 시기별 기온 변화 특성을 분석하기 위하여 기준 시기 선정에 Gong and Ho(2002)의 연구 결과를 참고하였다.

시베리아고기압의 강도와 우리나라 기온은 높은 상관관계가 있다. 시베리아 고기압은 겨울철뿐만 아니라 한여름을 제외하고 전 계절에 걸쳐 우리나라에 미치는 영향이 크다. Gong and Ho(2002)는 시베리아 고기압의 강도가 1980년대 후반부터 감소하는 경향임을 밝히며 우리나라 기온의 변이점이 될 수 있음을 제시하였다. 이를 고려하여 본 연구에서는 일최고기온과 일최저기온이 평년에 비하여 상승하는 경향이 뚜렷한 시기인 1988년을 기준으로 그 전과 후의 시기별 기온 특성을 비교 분석하였다[1]. 기온변동 정도를 정량적으로 파악하

기 위하여 회귀분석을 통하여 일최고기온과 일최저기온, 일교차를 분석기간의 전반기(1954~1987년)와 후반기(1988~2009년)로 구분하여 연 변동율과 계절별 변동율을 구하였다.

지역별 일교차 변동 분포를 파악하기 위하여 분석 지점의 1954~2009년까지의 일교차 변동율을 분석하였다. 또한 각 분석 지점의 기간별 변동 경향을 파악하기 위하여 분석 기간의 전반기와 후반기의 일교차 변동 경향을 비교하였다. 도시의 규모에 따른 일교차 변동율의 차이를 파악하기 위하여 대도시와 중소도시, 비도시로 각각 구분하였다. 각 관측지점을 포함하고 있는 최소 행정단위의 인구를 기준으로 인구 100만 이상을 대도시, 100만 미만의 도시를 중소도시, 5만 이하를 비도시로 구분하였다.

다양한 기후요소 중 일교차 변동에 영향을 미치는 요인을 파악하기위해서 일교차와 구름, 강수, 일조 등과의 상관관계를 분석한 후 계절별 관련 기후요소의 변동율과 일교차 변동율을 도시 규모별로 비교하였다. 계절별로 분석 기간의 일교차 일 자료와 14개 관측 지점의 일평균 운량, 일 강수량, 일별 일조시간의 상관계수를 구하였고 강수일수는 매년 월별 자료를 정리하여 월평균 일교차와 월 강수일수 자료를 이용하여 상관관계를 파악하였다.

3. 결과 및 토의

1) 우리나라의 일교차 변동

일교차는 일최고기온의 변동이나 일최저기온의 변동에 의하여 변화할 수 있다. 〈그림 2〉는 1954년부터 2009년까지 우리나라의 일최고기온과 일최저기온, 일교차 편차의 변동을 나타낸 것이다. 즉, 〈그림 2〉의 값은 우리나라에서 1954년 이후 관측 기록이 연속적으로 남아 있는 14개 지점의 평균값을 1971~2000년의 평균에 대한 편차로 나타낸 것이다. 1990년대 이후 일최고기온과 일최저기온이 양의 편차가 우세하고, 그 이전에는 음의 편차가 우세하였다. 일최저기온은 1980년대 이후 꾸준하게 상승하는 경향이지만, 일최고기온은 1980년대 초반부터 1990년대 말까지 상승하였고 그 이후 하강하는 경향을 볼 수 있다. 여기서 일최고기온과 일최저기온의 변동 경향이 항상 일치하는 것은 아니라는 것을 확인할 수 있다.

일교차는 〈그림 2〉의 하단에서 볼 수 있듯이 일최고기온이나 일최저기온의 변동과는 다른 경향을 볼 수 있다. 우리나라의 일교차는 1990년대 중반까지 증가와 감소를 반복하였지만, 그 이후 감소 경향이 뚜렷하다. 특히 1999년부터는 음의 편차가 뚜렷하며, 이는 일최저기온은 계속 상승하지만 일최고기온은 하강하기 시작한 시기와 일치한다. 즉, 1999년 이후 우리나라의 일교차는 일최저기온의 변동보다는 일최고기온의 하강에 의하여 감소하는 것이라 할 수 있다.

〈표 1〉은 본 연구의 분석 기간 동안 일최고기온과 일최저기온 및 일교차 값의 전반기와 후반기 평균과 변동율을 나타낸 것이다. 우리나라 14개 지점의 평균 일교차는 1954~2009년 동안 8.4℃이다. 분석 기간을 1954~1987년(전반기)과 1988~2009년(후반기)으로 구분하였을 때 전반기에는 8.44℃였던 것이 후반기에는 8.37℃로 일교차 평균값의 시기별 변화는 거의 없다. 일최고기온과 일최저기온의 평균값을 전반기와 후반기로 구분하

표 1. 우리나라의 시기별 일최고기온과 일최저기온 및 일교차와 그 변동율

기온요소 \ 시기	1954~1987년		1988~2009년		1954~2009년	
	평균값(℃)	변동율 (℃/100년)	평균값(℃)	변동율 (℃/100년)	평균값(℃)	변동율 (℃/100년)
일최고기온	17.5	0.7	18.3	0.7	17.8	2.3**
일최저기온	9.1	0.2	10.0	3.1	9.4	2.5**
일 교 차	8.4	0.4	8.4	-2.5*	8.4	-0.3

* α=0.05에서 유의함.
** α=0.01에서 유의함.

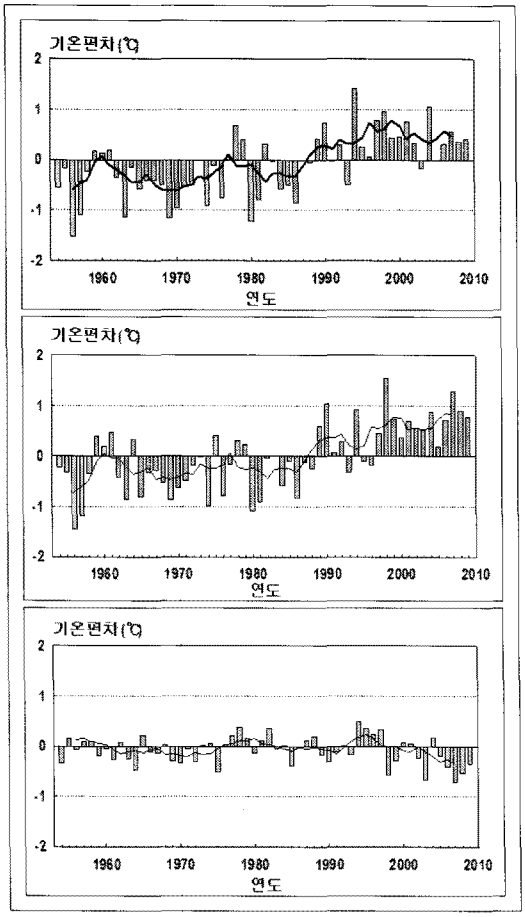

그림 2. 우리나라의 일최고기온(상)과 일최저기온(중), 일교차(하)의 변동(실선은 7년 이동평균을 나타냄.)

여 비교하였을 때 전반기에는 일최고기온이 17.5℃, 일최저기온이 9.1℃이었으나 후반기에는 일최고기온 18.3℃, 일최저기온 10.0℃로 각각의 시기별로 일최고기온과 일최저기온의 차이의 변화가 크지 않은 것과 일치한다.

전반기와 후반기 기온 변동율도 차이가 있다. 〈표 1〉에서와 같이 일최고기온은 1954~2009년 동안 2.3℃/100년 상승하였다. 전반기와 후반기 각각 0.7℃/100년, 0.7℃/100년로 통계적으로 유의하지는 않지만 일최고기온의 기온 변동 경향은 전후반기 모두 같은 비율로 상승하였다. 일최저기온은 전반기에는 기온 상승률이 0.2℃/100년 인 것이 후반기에 3.1℃/100년으로 전반기에 비하여 15배 정도 큰 값이다. 이로 인하여 일교차의 변동율은 전반기에는 0.4℃/100년이었으나 후반기에는 -2.5℃/100년으로 감소 경향이 뚜렷하다. 1954~1987년까지의 일교차 변동율은 증가하는 경향이었으나 1988~2009년간의 일교차 변동율의 뚜렷한 감소 경향으로 분석기간인 1954~2009년간의 일교차가 -0.3℃/100년으로 감소하는 경향을 보였다. 전반기와 후반기의 기온 변화는 일교차를 제외하고는 통계적으로 유의하지 않다.

IPCC 3차 보고서(2001)는 전 세계적으로 일최고기온의 상승보다 일최저기온의 상승하는 변동율이 더 커서 일교차 감소가 뚜렷하다고 하였다. 이러한 결과는 1990년대 중반까지의 자료를 이용한 것이다. 이후 2000년대 초반까지의 자료가 보강된 4차 보고서(2007)에서는 일최저기온의 상승뿐만 아니라 일최고기온의 상승도 1990년대 이후 뚜렷하여 일교차의 감소가 작아지는 결과를 제시하며 최근 일최고기온의 상승을 주시하였다. 우리나라와 인접한 중국에서도 1955~1990년 사이에는 일최고기온이 -0.15℃/100년의 비율로 감소하였으나 1990~2000년에는 5.6℃/100년 상승하는 경향이다(Liu *et al.*, 2004).

IPCC 4차 보고서 결과와 인접한 중국을 사례로 한 연구 결과에서는 최근의 일최고기온의 상승 경향이 뚜렷해지면서 과거 일최저기온의 상승 변동율의 값이 컸던 것에 의하여 일교차 값의 감소가 뚜렷하였던 것이 일최고기온의 상승으로 인하여 일교차 값의 감소가 상쇄되는 연구 결과를 보이고 있다. 그러나 우리나라는 일최고기온의 상승보다는 일최저기온의 상승이 더 뚜렷하여 일교차가 감소하는 경향이다. 1999년 이후 일최고기온과 일교차의 변동이 유사한 경향이지만 1980년대 후반부터 최근까지의 일최저기온의 뚜렷한 상승은 IPCC 보고서(2006)에 소개된 연구 결과와 다른 결과를 보이고 있으므로 그 요인에 관하여 다각적인 연구가 필요하다.

2) 우리나라의 계절별 일교차 변동

우리나라의 일최고기온과 일최저기온의 변동은 겨울철에 가장 크고 여름철에 가장 작다(표 2). 봄철의 일최고기온과 일최저기온은 1954~1987년에 비하여 1988~2009년에 각각 1.0℃, 0.9℃ 상승하였고 일교차는 0.1℃ 증가하였다. 여름의 일최고기

표 2. 우리나라의 시기별 일최고기온과 일최저기온 및 일교차와 그 계절별 변동

계절 \ 기온	기간	일최고기온			일최저기온			일교차		
		1954~1987	1988~2009	1954~2009	1954~1987	1988~2009	1954~2009	1954~1987	1988~2009	1954~2009
평균값 (℃)	봄	16.8	17.8	17.2	7.3	8.2	7.6	9.5	9.6	9.5
	여름	27.6	27.8	27.7	20.3	20.7	20.5	7.3	7.1	7.3
	가을	19.8	20.5	20.1	11.0	11.9	11.3	8.8	8.6	8.7
	겨울	5.8	7.2	6.4	-2.3	-0.9	-1.8	8.2	8.1	8.1
변동율 (℃/100년)	봄	2.2*	3.4	3.3**	1.0	4.0	2.8**	1.3	-0.5	0.5
	여름	0.5	-0.2	0.7	0.5	1.9	1.3*	-0.1	-2.2	-0.6
	가을	0.0	0.5	1.7**	0.3	5.9*	2.5**	-0.3	-5.4**	-0.8*
	겨울	0.9	-2.0	3.6**	0.1	0.0	3.8**	0.8	-1.9	-0.1

* α=0.05에서 유의함.
** α=0.01에서 유의함.

온은 전반기와 후반기의 평균값이 각각 27.6℃에서 27.8℃이고 일최저기온은 전후반기 각각 20.3℃, 20.7℃로 기온 평균값의 상승폭이 가장 작다. 가을철은 일최고기온과 일최저기온이 전반기보다 후반기에 각각 0.7℃, 0.9℃ 상승하였다. 겨울철의 일최고기온은 1954~1987년까지 평균 5.8℃였던 것이 1988~2009년간에는 평균 7.2℃로 상승하였고 일최저기온은 전반기에 -2.3℃였던 것이 후반기에 -0.9℃로 상승하며 가장 높은 기온 변화를 보였다. 여름, 가을, 겨울의 일교차는 전반기에 비하여 후반기에 그 평균값이 모두 감소하였으나 봄철은 그 값이 증가하였다(표 2).

1954~2009년 동안의 겨울철 일최고기온의 변동율은 3.6℃/100년로 여름철의 0.7℃/100년보다 5배 이상 크다(표 2). 일최저기온도 겨울철에는 3.8℃/100년 변동율을 보이지만 여름철에는 1.3℃/100년로 일최고기온과 같이 겨울철의 기온 변화가 여름철의 3배 정도이다. 북반구에 위치한 대부분의 나라들은 겨울철에 기온의 변화가 크고 가을철에 작은 변화를 보인다(Easterling *et al.*, 1997). 그러나 우리나라와 인접한 중국과 우리나라의 경우 여름철에 기온의 변화가 가장 작다. 이는 여름철에 강수가 집중하는 몬순의 영향이라고 판단된다.

중국과 우리나라의 일최고기온과 일최저기온의 변화는 겨울철이 가장 크지만 일교차의 변화는 다른 특징을 보인다. 중국은 일교차의 변동율이 겨울철에 가장 크고 여름철에 가장 작은 값을 보인다. 반면에 우리나라는 일교차가 감소하는 변화가 가을철에 가장 크고 겨울철에 상대적으로 작다(표 2). 가을철은 일최고기온의 증가보다 일최저기온의 증가가 더 뚜렷하여 일교차 변동율이 가장 크고 통계적으로 유의한 감소 경향을 보인다. 통계적으로 유의하지는 않지만 여름철, 봄, 겨울철 순으로 일교차 변동값이 작아진다. 봄철은 다른 계절과는 달리 증가하는 경향이 특징적이다.

일최고기온과 일최저기온의 1954~1987년(전반기)과 1988~2009년(후반기)의 변동율은 계절별로 차이가 있다. 봄철은 전반기와 후반기 모두 기온이 상승하는 경향으로 전반기에 비하여 후반기의 상승 폭이 크다. 봄철의 전반기에는 일최고기온이 일최저기온의 상승보다 커 일교차가 상승하였지만 후반기에는 일최고기온보다 일최저기온의 상승이 뚜렷하여 일교차가 -0.5℃/100년로 감소하는 경향으로 다른 계절과 같이 최근의 일최저기온의 상승이 특징적이다. 그러나 1954~2009년 동안의 일교차는 일최고기온이 3.3℃/100년이고 일최저기온이 2.8℃/100년로 다른 계절과는 달리 다소 증가하는 경향이다.

여름철은 분석 기간 동안 기온의 변화가 가장 작은 시기이다. 일최고기온은 전반기와 후반기로 구분하여 변동율을 분석하였을 때 전반기는 상승하고 후반기는 하강하는 경향이다. 전반기에 비하여 후반기에 여름철 일최고기온의 하강 경향이 더 뚜렷하다. 일최저기온은 전반기와 후반기 모두 상

승하는 경향이지만 후반기에 들어서 상승폭이 증가하였다. 따라서 여름철 일교차는 후반기에 감소하는 경향이 전반기에 비하여 2배 이상 크다.

가을철은 전반기와 후반기 모두 기온이 상승하는 경향이다. 일최저기온의 경우 전반기 0.3℃/100년 이었던 것이 후반기 5.9℃/100년으로 크게 상승하여 모든 계절에 일교차 감소가 뚜렷한 후반기 중에서도 다른 계절에 비하여 가장 높은 -5.4℃/100년의 값을 보였다. 겨울철의 일최고기온과 일최저기온의 전반기 변동율은 각각 0.9℃/100년, 0.1℃/100년으로 증가하는 경향이지만 후반기에 일최고기온은 -2.0℃/100년, 일최저기온은 0.0℃/100년로 감소 또는 변화가 없다. 특히 후반기 일최고기온의 감소로 일교차의 변화는 -1.9℃/100년로 감소 경향이 뚜렷하다.

분석 기간을 1954~1987년(전반기)과 1988~2009년(후반기)로 구분하였을 때 봄철과 가을철은 분석기간의 전반기에 비하여 후반기에 일최고기온과 일최저기온의 변동율 상승 폭이 크다. 특히 일최고기온보다 일최저기온의 상승 경향이 뚜렷하다. 가을철의 경우 일최저기온의 변동율이 1954~1987년에는 0.3℃/100년 였으나 1988~2009년에는 5.9℃/100년로 20배 정도 증가하였다. 반면에 최근의 겨울철은 일최고기온의 뚜렷한 감소가 후반기의 일교차 감소에 영향을 미치고 여름철의 경우도 일최고기온의 감소 경향이 일교차 감소에 영향을 미친다. 여름철은 최근의 일최저기온의 상승 경향도 뚜렷하다. 이러한 계절별 일최고기온과 일최저기온의 변화로 인한 일교차의 변화는 지역별 식생과 농업 등에 영향을 미칠 수 있으므로 계절별 각 지역의 기온 변화에 대한 연구가 필요하다.

3) 관측 지점별 변화

일교차의 변화 경향은 세계 여러 지역에서 감소하는 경향이라고 보고되었으나 우리나라는 지역에

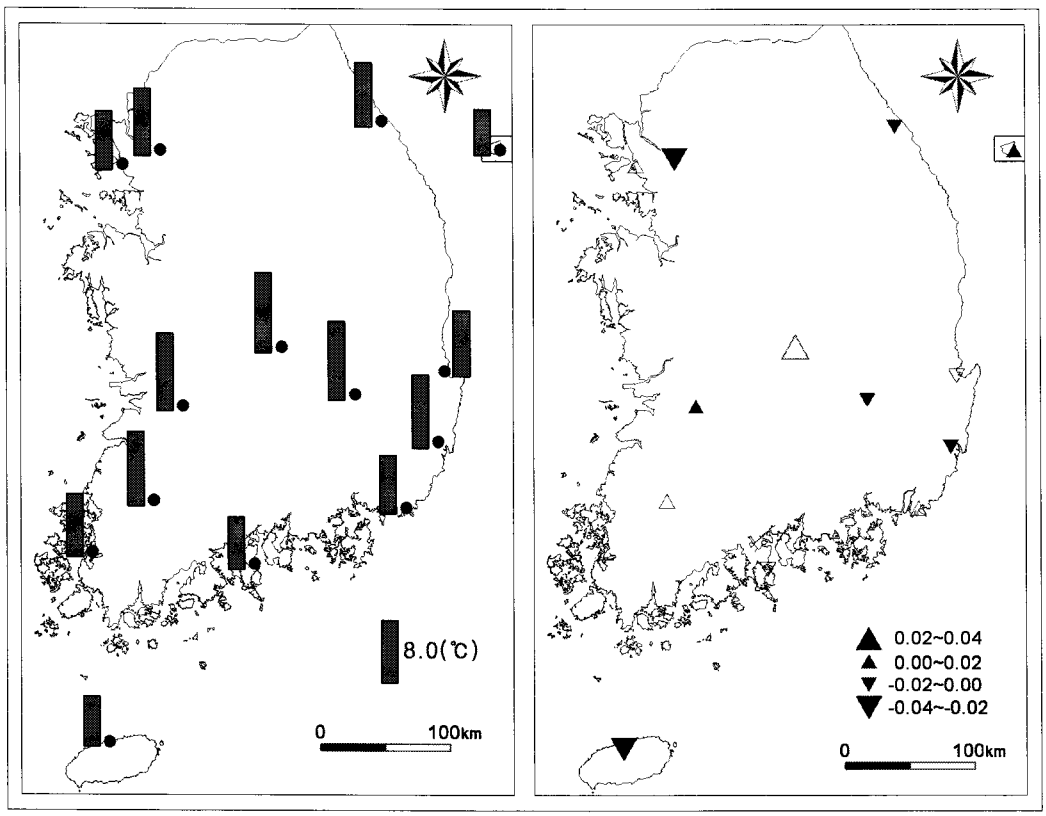

그림 3. 연평균 일교차 분포(좌)와 일교차 변동율 분포(우)
(검정 삼각형은 α=0.05에서 유의한 지역, 하얀 삼각형은 통계적으로 유의하지 않은 지역임.)

따라 그 경향이 다양하다. 우리나라의 일교차는 해안 지역보다는 내륙 지역에서 값이 높게 나타나고 중부지역보다 남부 지역에서 상대적으로 그 값이 크다(그림 3(좌)). 내륙 지역인 서울, 전주, 추풍령, 대구, 광주의 일교차 평균은 9.8℃로 해안 지역인 인천, 강릉, 목포, 여수, 포항, 부산, 울산, 제주, 울릉의 일교차 평균인 8.1℃보다 1.7℃ 높다.

우리나라의 일교차는 같은 내륙 지역과 해안 지역이라도 변화 경향이 다르다. 서울과 제주, 강릉, 대구 등에서는 모든 계절에 일교차 감소 경향이 뚜렷하다. 반면에 추풍령, 인천, 전주, 부산, 목포 등은 1954~2009년 동안 일교차가 증가하는 경향이다. 특히 추풍령은 통계적으로 유의하지는 않지만 2.6℃/100년 증가하고 있으며 울릉도 또한 0.5℃/100년 유의하게 증가하고 있다(그림 3).

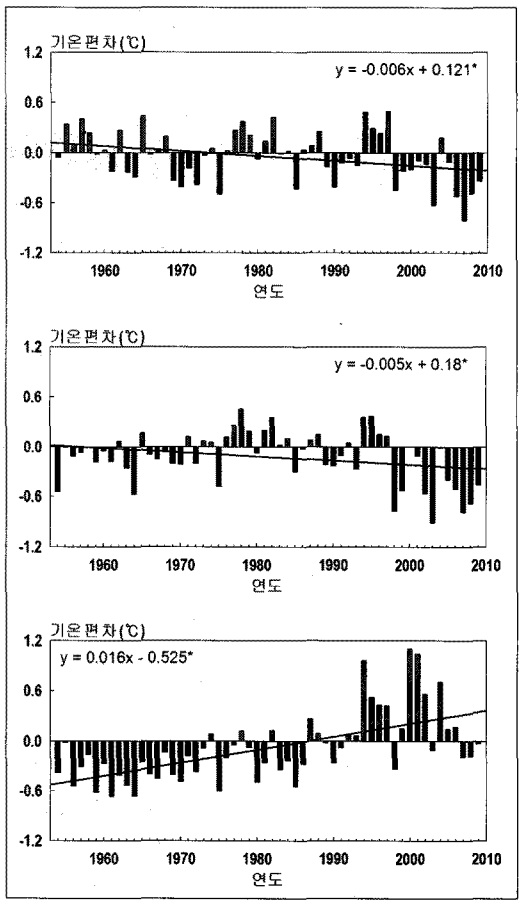

그림 4. 도시 규모별 일교차의 변동
(상: 대도시, 중: 중소도시, 하: 비도시,
*** α=0.05에서 유의함)**

〈그림 4〉는 이들 지역을 도시 규모별로 대도시와 중소도시, 비도시로 구분하여 각각의 일교차 변동율을 분석한 것이다. 대도시 지역에는 서울, 인천, 대구, 울산, 광주, 부산이 포함되고 중소도시 지역에는 전주, 포항, 제주, 여수, 목포, 강릉이 포함되었으며 비도시 지역에는 울릉과 추풍령이 포함되었다. 대도시 지역의 일교차 변동율은 평균 -0.6℃/100년이며 중소도시 지역은 -0.5℃/100년, 비도시 지역은 1.6℃/100년으로 통계적으로 유의한 값을 보인다. 도시 규모가 클수록 일교차 감소 경향이 뚜렷하고 비도시 지역의 특성을 가질수록 최고기온과 최저기온의 차이인 일교차가 증가하는 경향이다. 서명석 등(2009)의 연구에서도 1976~2005년간 서울, 포항, 울산 등의 일교차 변동율은 감소하는 경향이 강하고 합천, 추풍령, 진주, 고창 등은 증가하는 경향이 상대적으로 강하다고 하였다. 이는 도시화가 진행될수록 열섬 효과가 일출시간까지 지속되어 도시의 일최저기온을 상승시키기 때문이다. 도시화가 일교차 감소의 주요 원인이라는 Zhou *et al.*(2004)의 연구 결과와 일치한다.

대도시, 중소도시, 비도시 지역 모두 1980년대 후반부터 일교차의 변화 경향 특성이 두드러진다(그림 4). 대도시지역과 중소도시 지역의 경우 1980년대 후반부터 최근까지 평년(1971~2000년)에 비하여 감소하는 경향이 뚜렷하고 그 값도 점차 증가하고 있으며 비도시 지역 또한 1980년대 후반부터 평년에 비하여 일교차 증가 경향이 뚜렷하다. 1954~1987년과 1988~2009년으로 분석 기간을 구분하였을 때 대도시 지역은 전반기의 일교차 감소율에 비하여 후반기에 10배 이상의 일교차가 감소하였다(표 3). 중소도시 지역은 전반기에 통계적으로 유의한 증가경향을 나타내기도 하였으나 후반기에 급격하게 감소하는 경향으로 변하였다. 비도시 지역은 후반기에 다소 증가율이 감소하였으나 전후반기 모두 일교차가 지속적으로 증가하는 경향이다. 중국 동부 지역을 사례로 한 Hua *et al.*(2008)의 연구에서는 대도시와 중도시, 소도시 지역의 기온 변화를 비교하였을 때 중국의 산업화가 본격적으로 진행되기 시작한 1980년대 이후를 기점으로 도시 규모별 기온 변화가 뚜렷하였고 특히 일최고기온보다는 일최저기온 변화에 도시화 효과가 크게 나타났다고 하였다. 이는 일최저기온

표 3. 도시 규모에 의한 기간별 변동율

(단위:℃/100년)

지역 \ 기간	1954~2009년	1954~1987년	1988~2009년
대도시	-0.6*	-0.2	-2.5*
중소도시	-0.5*	0.9*	-3.4**
비도시	1.6**	0.9**	0.2

* α=0.05에서 유의함.
** α=0.01에서 유의함.

변화의 뚜렷한 도시화 효과로 인하여 일교차 변화 또한 그 영향을 받는다고 할 수 있으므로 〈표 3〉과 같이 우리나라에서도 분석 기간의 후반기 일교차 변화가 뚜렷한 것에는 도시화 효과가 영향을 미칠 수 있다고 판단한다.

그러나 같은 도시 규모이지만 대도시 지역의 내륙 지역과 해안 지역의 일교차 변화를 비교[2]해보면 〈그림 5〉와 같이 차이가 있다. 1954~2009년 동안의 대도시 중 내륙 지역인 서울과 대구, 광주의 일교차는 -1.1℃/100년이었으나 해안 지역인 인천, 부산, 울산의 일교차는 -0.2℃/100년로 내륙 지역의 감소 경향이 더 뚜렷하다. 1954~1987년 동안의 일교차 변동율도 해안 지역은 증가하지만 내륙 지역은 감소하고 1988~2009년에도 내륙 지역의 변동율이 -3.5℃/100년로 해안 지역의 -1.5℃/100년보다 3배 이상 높은 값을 보인다. 이와 같이 일교차의 변동율은 도시 규모뿐만 아니라 지리적 위치에 의한 영향도 고려해야 함을 확인할 수 있다.

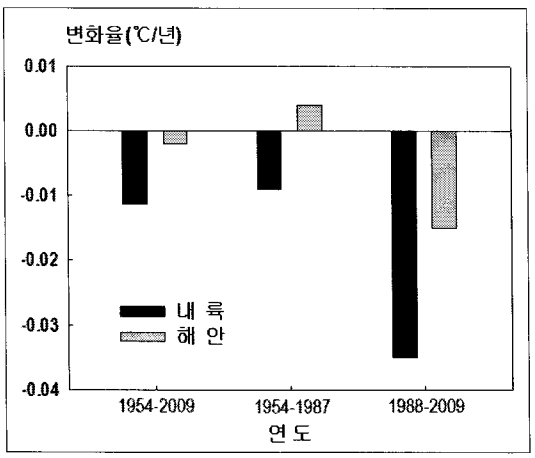

그림 5. 내륙과 해안 지역의 일교차 변동율(대도시)

지리적 위치를 고려한 일교차의 변동율 차이는 1954~1987년과 1988~2009년까지로 분석 기간을 구분하였을 때 더욱 뚜렷하다(그림 6). 서울, 강릉, 대구, 목포, 여수 등은 전반기보다 후반기의 일교차 감소율이 뚜렷한 지역이다. 서울, 대구는 전반기 후반기 모두 감소하는 경향이 뚜렷한 지역이고 강릉, 목포, 여수는 1954~1987년 동안은 증가하는 경향이었지만 1988~2009년 동안 일교차의 급격한 감소가 진행되었다. 특히 강릉과 여수, 목포는 후반기에 각각 5.3℃/100년, 6.1℃/100년, 9.3℃/100년씩 일교차가 감소하며 기온의 변화가 뚜렷하였다. 포항과 울릉, 부산, 울산 등의 지역도 전반기에는 거의 변화가 없거나 약간의 증가 경향을 보이던 것이 후반기에는 일교차가 감소하는 경향을 나타냈다. 추풍령은 전후반기 모두 증가하는 경향이다.

1954~1987년과 1988~2009년간의 일교차 변동율을 비교하였을 때 전반적으로 점차 감소하는 경향이 뚜렷하다. 그 중 내륙지역인 서울, 대구는 전반기에도 일교차 변화가 감소하는 경향이었고 후반기에는 더욱 그 감소율이 증가하였다. 반면에 전반기에는 일교차의 변화가 다소 증가하는 경향이었으나 후반기에 급격하게 감소하는 경향이 나타나는 강릉, 여수, 목포와 후반기에 감소하는 값이 크지는 않지만 전반기의 증가 경향에서 후반기에 감소 경향으로 전환된 포항, 울릉, 부산 울산 등은 모두 해안 지역이라는 특징을 발견할 수 있다. 이는 해안 지역의 지리적 특성 상 내륙 지역에 비하여 수증기양이 더 많이 포함되어 있기 때문에 기온의 변화에 미치는 영향이 완화되어 지속적인 감소 경향이 나타나는 내륙 지역에 비하여 분석 기간의 후반기에 일교차 감소가 진행될 수 있다고 생각한다. 이러한 지역에 따른 시기별 수

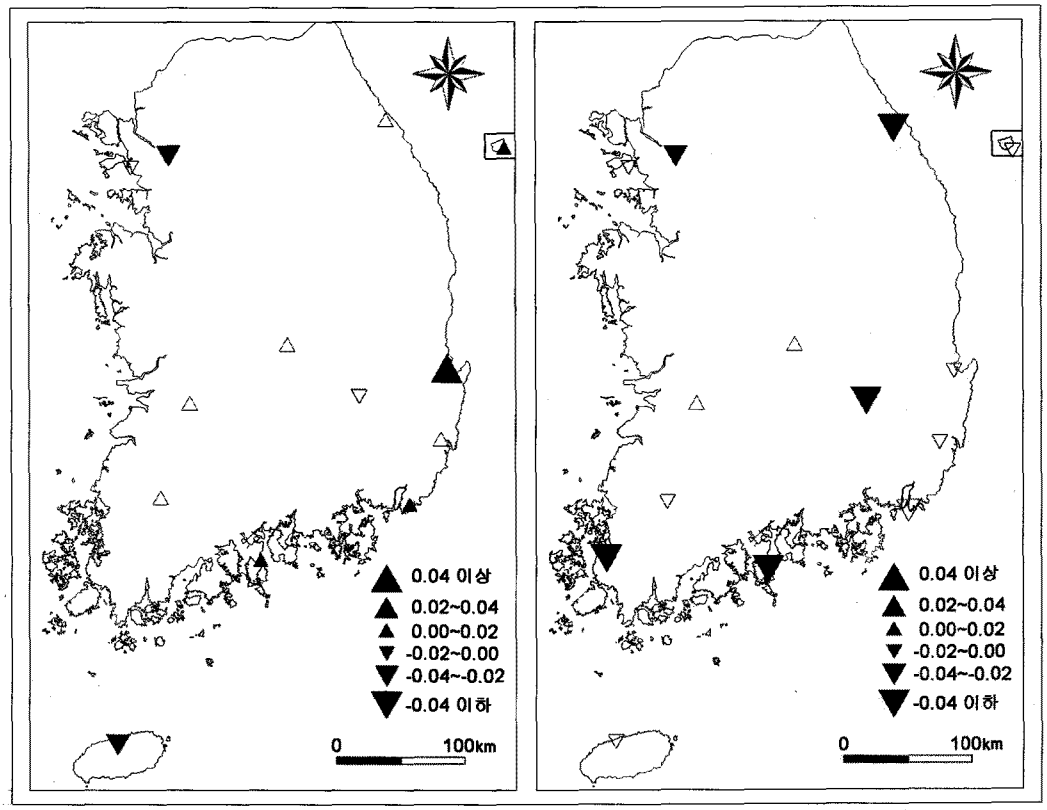

그림 6. 시기별 일교차 변동율 분포(좌: 1954~1987년, 우: 1988~2009년, 검정 삼각형은 α=0.05에서 통계적으로 유의한 지역, 하얀 삼각형은 통계적으로 유의하지 않은 지역)

증기양과 일교차 변화의 관련성은 향후 심도있게 연구되어야 할 것이다.

4) 도시 규모별 일교차 변화에 영향을 미치는 원인

계절별 일교차의 변동율을 살펴보면 우리나라는 가을철에 -0.8℃/100년로 감소하는 경향이 가장 크고 여름, 겨울 순으로 감소한다. 봄철은 1954~2009년 동안의 일교차 변동율을 분석하였을 때 0.5℃/100년로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 일교차는 계절에 따라서 또는 시기에 따라서 그 값의 크고 작음이 식물생장 또는 인류 건강 등에 미치는 영향이 크므로 가을철의 뚜렷한 일교차 감소와 봄철의 일교차 증가 경향은 그 차이를 야기시키는 원인이 무엇인지를 분석할 필요가 있다.

일교차 변동율은 도시 규모와 지리적 위치에 의해서도 그 차이가 발생하였다. 계절별 일교차 변동율을 도시 규모로 구분하면 〈표 4〉와 같다. 가을철과 겨울철의 일교차 변동율이 대도시 지역에서 각각 -1.3℃/100년, -0.5℃/100년로 감소하는 경향이 크고 중소도시에서는 감소하는 값이 작아지고 비도시 지역에서는 증가하는 경향이 뚜렷하

표 4. 도시 규모별 계절별 일교차 변동율

(단위:℃/100년)

	봄	여름	가을	겨울
대도시	0.1	-0.7	-1.3**	-0.5
중소도시	0.2	-1.0**	-1.1**	-0.2
비도시	2.8**	0.7	1.4**	1.3**

** α=0.01에서 유의함.

표 5. 계절별 일교차와 기후요소와의 상관관계

계절 \ 기후요소 / 규모		일최고기온	일최저기온	운량	강수량	강수일수	일조시간
봄	대도시	0.401**	-0.078**	-0.672**	-0.323**	-0.584**	0.750**
	중소도시	0.403**	-0.061**	-0.686**	-0.381**	-0.644**	0.727**
	비도시	0.533**	-0.060**	-0.620**	-0.304**	-0.613**	0.694**
가을	대도시	0.063**	-0.337**	-0.708**	-0.688**	-0.819**	0.721**
	중소도시	0.051**	-0.334**	-0.738**	-0.641**	-0.807**	0.712**
	비도시	0.236**	-0.213**	-0.693**	-0.592**	-0.721**	0.711**

** α=0.01에서 유의함.

다. 봄철에는 모든 지역에서 증가하는 경향이고 도시 규모가 작아질수록 일교차 증가 경향이 뚜렷하다. 여름철에는 대도시보다 중소도시의 일교차 감소 경향이 뚜렷하다. 가을철을 제외하고 모든 지역에서 일교차 변화가 통계적으로 유의하지는 않지만 봄철의 경우 증가 경향이 특징적이다. 〈표 4〉와 같이 도시 규모별로 봄철에는 일교차가 증가하고 가을철과 겨울철은 일교차가 감소 또는 증가하는 것은 계절별로 일교차에 영향을 미치는 요인과 그 영향력의 차이가 발생할 수 있다는 것을 추론할 수 있다.

〈표 5〉는 일교차 변동이 특징적인 봄과 가을철의 일교차와 각종 기후요소와의 관계를 파악하기 위하여 상관계수를 표현한 것이다. 일교차의 증가 경향이 나타나기도 하는 봄철은 일최저기온보다는 일최고기온과의 상관관계가 더 높다. 특히 대도시와 중소도시에 비하여 비도시에서 상관계수 r=0.518로 그 값이 높은 양의 상관관계이며 일최저기온보다 일최고기온과의 높은 상관성을 확인할 수 있다. 가을철은 일최고기온보다 일최저기온과의 상관관계가 더 높다. 가을철 일교차는 일최저기온과 음의 관계를 갖는다. 비도시 지역은 상관계수의 값 차이가 크지 않지만 봄철의 경우와 같이 일최저기온보다는 일최고기온과의 상관관계가 더 높다.

일교차에 영향을 미칠 수 있는 운량, 강수량, 강수일수, 일조시간 등의 기후요소와의 관계에서는 봄철의 경우 한 낮의 일최고기온에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 일조시간과 가장 높은 상관관계이다. 대도시 지역에서는 일교차와 일조시간의 상관관계가 r=0.750으로 가장 높고 중소도시와 비도시도 각각 r=0.727, r=0.694로 높은 값을 나타낸다. 또한 봄철의 일교차와 운량과의 관계도 대도시 지역과 중소도시 지역에서는 각각 r=0.672, r=0.686으로 양의 상관관계가 높다. 가을철의 일교차는 운량, 강수량, 강수일수, 일조시간 등 모든 기후요소와 높은 상관관계를 나타내지만 그 중에서도 강수일수와 가장 상관관계가 높다. 가을철 일교차와 강수일수와의 관계를 살펴보면 대도시 지역, 중소도시 지역, 비도시 지역은 각각 r=-0.819, r=-0.807, r=-0.721로 높은 음의 상관관계이다. 즉 봄철의 일교차 증가는 분석기간동안의 봄철 일조시간이 증가하면서 영향을 미치는 것이고 가을철의 일교차 감소는 가을철 강수일수가 증가하면서 영향을 미치는 것이라 추정된다.

그러나 〈표 6〉에서와 같이 1954~2009년의 가을철 강수일수는 전 지역에서 감소하는 경향으로 가을철 일교차 감소 경향을 설명하기에 어려움이 있다. 오히려 대도시와 중소도시의 일교차 감소율

표 6. 도시 규모별 봄과 가을철 기후요소의 변동율

(단위:100년당)

	봄철 운량	봄철 일조시간	가을철 운량	가을철 강수일수	가을철 일조시간
대도시	-2.0**	-0.3	-0.9**	-1.2	-0.8**
중소도시	-2.0**	0.0	-0.8**	-1.6	-0.9**
비도시	-1.9**	0.1	-1.1**	-2.8	-1.0

** α=0.01에서 유의함.

증가는 가을철 강수일수보다는 가을철 일조시간의 영향이 상대적으로 클 것이라 생각된다. 가을철 운량도 강수일수의 변화와 같이 전 지역에서 감소하는 경향이다. 일조시간이 감소하고 있는 비도시 지역의 가을철 일교차 증가는 대도시와 중소도시 지역과 같이 일조시간으로 일교차 변동을 설명하기에 무리가 있다. 비도시 지역의 가을철 일교차는 가을철 운량과 강수일수의 감소에 의해 영향을 받고 있음이 설명 가능하다. 봄철은 지역에 따라 일최고기온에 직접적인 영향을 미치는 운량의 감소와 일조시간의 증가 경향이 일교차 증가를 설명해줄 수 있다(표 6). 봄철 운량의 감소 경향은 모든 지역의 일교차 증가와 유사한 경향이다. 일교차와 양의 상관관계인 봄철 일조시간은 비도시 지역에서만 증가하는 경향으로 봄철 비도시 지역의 일교차 증가와 같은 경향이다. 따라서 봄철의 일교차 변동에 영향을 미치는 요인은 일조시간보다는 운량과의 관계를 고려해야 할 것이다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 일최고기온, 일최저기온, 일교차의 계절별 변화와 지역별 분포에 따른 그 변화 경향을 파악하기 위하여 1954~2009년까지의 분석 기간을 1954~1987년과 1988~2009년으로 구분하여 도시 지역과 비도시 지역 그리고 해안 지역과 내륙 지역을 구분하여 계절별 기온 변화 경향을 분석하였다.

기온 상승은 전반기와 후반기 기온 변동율에서 차이가 있다. 일최고기온의 기온 상승 경향은 전반기와 후반기 같은 값을 나타낸다. 그러나 일최저기온은 전반기 보다 후반기에 15배 이상 상승하였다. 따라서 일교차의 변동율은 전반기에는 상승하는 경향이었으나 후반기에는 감소하는 경향이 뚜렷하다. 이로 인하여 분석 기간인 1954~2009년간의 일교차는 -0.2℃/100년 감소하는 경향이다.

계절별로 기온의 변화를 분석하였을 때 겨울철과 여름철은 일최고기온의 감소가 일교차 감소에 영향을 미친다. 1988~2009년 동안의 겨울철은 특히 급격한 일최고기온의 감소가 나타나고 있는 반면에 여름철은 최근의 일최저기온의 상승 경향도 뚜렷하다. 봄철과 가을철은 전반기에 비하여 후반기에 기온 변동율 상승 폭이 크다. 특히 일최고기온보다 일최저기온의 상승 경향이 뚜렷하다. 가을철의 경우 일최저기온의 변동율이 전반기보다 후반기에 20배 정도 증가하였다.

일교차 변화의 지역별 분포 차이는 도시 규모와 지리적 위치에 의하여 설명할 수 있다. 도시 규모가 클수록 일교차 감소 경향이 뚜렷하고 비도시 지역의 특성을 가질수록 일교차가 증가하는 경향이다. 특히 대도시, 중소도시, 비도시 지역 모두 1980년대 후반부터 일교차의 변화 경향 특성이 두드러진다. 1954~1987년과 1988~2009년으로 분석 기간을 구분하였을 때 대도시 지역은 전반기의 일교차 감소율에 비하여 후반기에 10배 이상의 일교차가 감소하였고 중소도시 지역도 전반기에 통계적으로 유의한 증가경향을 나타내기도 하였으나 후반기에 급격하게 감소하는 경향으로 변하였다. 비도시 지역은 후반기에 다소 증가율이 감소하였으나 전후반기 모두 일교차가 지속적으로 증가하는 경향이다. 대도시 지역을 내륙 지역과 해안 지역으로 구분하여 일교차 변화를 비교하였을 때 내륙 지역의 일교차는 해안 지역보다 감소하는 경향이 더 뚜렷하다. 또한 내륙 지역에서는 분석 기간의 전후반기 모두 일교차 감소 경향이 뚜렷하였으나 해안 지역은 후반기에 일교차가 감소하는 경향이 뚜렷한 것으로 보아 수증기가 풍부한 해안 지역에서 기온의 변화가 더 완화되었다는 것을 판단할 수 있다.

우리나라의 일교차는 계절별로 봄철의 약한 증가 경향과 가을철의 뚜렷한 감소 경향이 특징적이다. 일교차 변화에 영향을 미치는 주요 원인은 대도시와 중소도시 지역의 경우 봄철의 운량, 가을철에는 일조시간을 들 수 있다. 비도시 지역은 봄철에는 운량과 일조시간, 가을철에는 운량과 강수일수의 영향이 크다. 가을철은 일최저기온과 상관관계가 높아 일조시간보다는 강수일수와의 상관관계가 높았지만 분석기간 동안 강수일수의 감소 경향은 가을철 일교차 감소를 설명하기에 어려움이 있으므로 관련 기후 요소 중에서는 일조시간의 감소와의 관련성을 고려해야 할 것이다. 그러나 일교차 변화와 강수 현상과의 관계는 상관관계가 높으므로 추후 야간과 주간의 강수현상일의 변화와 강수 시 동반되는 구름의 특성을 심도 있게 연구

하여 강수 시스템의 변화와 일교차의 변화를 명확하게 이해해야 할 것이다.

일교차 변화는 해안 지역보다는 내륙 지역에서 변화 경향이 뚜렷하다. 특히 대도시 지역의 서울과 대구는 봄철과 가을철 모두 일교차 감소 경향이 뚜렷하다. 이는 환절기의 일교차 감소로 대도시 호흡기 질환 환자들에게는 긍정적인 반응을 불러일으킬 수 있을 것이다. 그러나 사과의 주요 재배지인 대구를 고려하였을 때 수확기인 가을철의 일교차 감소는 사과의 색상과 당도 등 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로 그 영향을 심도 있게 고려해봐야 할 것이다. 반면에 비도시 지역인 내륙의 추풍령은 전 계절에 일교차가 증가하는 경향이므로 주민들의 건강에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며 과수원 수정·발아 시기인 봄철의 일교차 증가는 과수의 생산량에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 발아수를 감소시킬 수 있으므로 경제적인 생산성을 고려할 때 그 대응방안을 조속한 시일 내에 마련해야 할 것이다. 일교차는 해안 지역보다 내륙 지역에서 그 값이 크기 때문에 내륙 지역에서의 뚜렷한 일교차 변화는 해안 지역보다 각 지역 주민들에게 미치는 영향이 더 클 것이다.

본 연구는 장기간 관측 자료를 이용하기 위하여 14개 지점의 자료만을 이용하였으므로 도시규모별 일교차의 변화를 비교 분석할 때 중소도시와 비도시 지역의 경우 지역별 편중성과 사례 지점의 양적 제한점이 제기될 수 있다. 이는 향후 장기간 자료를 보완할 수 있는 단기간 자료 분석을 통하여 일교차 변화에 미치는 도시화 효과를 보완 설명하는 연구가 수행되어야 할 것이고 일교차에 영향을 미치는 요인에 관한 분석도 전 계절을 대상으로 심도 있는 연구가 필요할 것이다.

주

1) choi *et al.*(2009)의 논문에서도 일최고기온과 일최저기온의 특성을 분석하고자 할 때 1973~1987년과 1988~2007년으로 구분하여 비교하였다.
2) 중소도시와 비도시 지역은 해안 지역과 내륙 지역으로 구분하였을 때 1개 지점이 대표되는 사례가 발생하여 지역 구분에 어려움이 발생하여 본 내용에는 언급하지 않았다.

문 헌

구교숙·부경온·권원태, 2007, 최고, 최저기온을 이용한 우리나라 기온변화에서의 도시화 효과 분석, 대기, 17(2), 185-193.

서명석·홍성근·강전호, 2009, 우리나라에서 계절별 일교차의 분포 특성과 그 원인, 19(2), 155-168.

윤진일, 1990, 대기중 이산화탄소 배증 조건하의 기후시나리오에 의한 국내 쌀 생산 추정, 한국기상학회지, 26(4), 263-274.

이승호·김선영, 2008, 기후변화가 태백산지 고랭지 농업의 생육상태와 병충해에 미치는 영향, 지리학연구, 42(4), 621-633.

이승호·허인혜·이경미·김선영·이윤선·권원태, 2008, 기후변화가 농업생태에 미치는 영향 -나주지역을 사례로-, 대한지리학회지, 43(1), 20-35.

조하만·조천호·정귀원, 1988, 서울의 도시화에 따른 기온의 변화, 한국기상학회지, 24, 27-37.

최병철·김지영·이대근·Jan Kysely, 2007, 한국의 주요 대도시에 대한 일 최고 및 최저 기온의 장기변동 경향과 건강에 미치는 영향 전망, 17(2), 171-183.

하경자·하은호·류철상·전은희, 2004, 1909년 이후의 우리나라 4대 도시의 기온 경향과 극한기후, 한국기상학회지, 40(1), 1-16.

허인혜·권원태·전영문·이승호, 2006, 우리나라에서 기온 상승이 식생 분포에 미치는 영향 -대나무와 마늘을 중심으로-, 환경영향평가, 15(1), 67-78.

허창회, 2006, 서울에서 1954~2005년 동안 관측된 설날 귀성에 따른 일교차의 변화, 대기, 16, 49-53.

Braganza, K.J., Karoly, D.J., and Arblaster, J.M., 2004, Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13217, doi: 10.1029/2004GL019998.

Campbell, G.G. and Vonder Haar, T.H., 1997, Comparison of surface temperature minimum and maximum and satellite measured cloudiness

and radiation budget, *J. Geophys. Res.*, 102, 16639-16645.

Cao, H.X., Mitchell, J.F.B., and Lavery, J.R., 1992, Simulated diurnal range and variability of surface temperature in a global climate model for present and doubled CO_2 climates, *J. Climate*, 5(9), 920-943.

Choi, G.Y., Kwon, W.T., Boo, K.O., and Cha, Y.M., 2008, Recent Spatial and Temporal Changes in Means and Extreme Events of Temperature and Precipitation across the Republic of Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 43(5), 681-700.

Dai, A.K., Trenberth, E., and Karl, T.R., 1999, Effect of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapor on diurnal temperature range, *J. Climate*, 12, 2451-2473.

David, B.L., 2007, Changes in diurnal temperature range and national cereal yields, *Agricultural and Forest Meteorology*, 145, 229~238.

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., and Folland, C.K., 1997, Maximum and minimum temperature trends for the globe, *Science*, 277, 364-367.

Gong, D.Y., Guo, D., and Ho, C.H., 2006, Weekend effect in diurnal temperature range in China : opposite signal between winter and summer, *J. Geophys. Res.*, 111, D18113.

Gong, D.Y. and Ho, C.H., 2002, The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia, *Theoretical and Applied Climatology*, 72, 1-9.

Hua, L.J., Ma, Z.G., and Guo, W.D., 2008, The impact of urbanization on air temperature across China, *Theoretical and Applied Climatology*, 93, 179-194.

IPCC, 2001, *Climate change 2001: The Scientific basis*, Intergovernmental Panel on Climate change [Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C.A. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge and New York.

IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., and Miller, H.L. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge and New York.

Karl, T.K., Jones, P.D., Knight, R.W., Kukla, G., Plummer, N., Lindseay, J., Charlson, R.J., and 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.

Liu, B., Xu, M., Henderson, M., Qi, Y., and 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., and Ohmura, A., 2008, Diurnal temperature range over Europe between 1950 and 2005, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 8, 7051-7084.

Sun, D., Pinker, R.T., and Kafatos, M., 2006, Diurnal temperature range over the United States : A satellite view, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L05705, doi:10.1029/2005GL024780.

Zhou, L., Dai, A., Dai, Y., Vose, R.S., Zou, C.Z., and Chen, H., 2009, Spatial dependence of diurnal temperature range trends on precipitation from 1950 to 2004, *Clim. Dyn.*, 32, 429-440.

• **교신** : 이승호(건국대학교 지리학과 교수, leesh@konkuk.ac.kr, 전화: 02-450-3380)

Correspondence : Lee, Seungho (Professor, Department of Geography, Konkuk university, leesh@konkuk.ac.kr, phone: 02-450-3380)

(접수: 2011.2.17, 수정: 2011.3.15, 채택: 2011.4.14)