

우리나라에서 계절별 일교차의 분포 특성과 그 원인

서명석* · 홍성근 · 강전호

공주대학교 대기과학과

(2009년 3월 3일 접수; 2009년 4월 16일 승인)

Characteristics of Seasonal Mean Diurnal Temperature Range and Their Causes over South Korea

Myoung-Seok Suh*, Seong-Kun Hong and Jeon-Ho Kang

Department of Atmospheric Science, Kongju National University

(Manuscript received 3 March 2009; in final form 16 April 2009)

Abstract

Characteristics of seasonal mean diurnal temperature range (DTR) and their causes over South Korea are investigated using the 60 stations data of Korea Meteorological Administration from 1976 to 2005. In general, the seasonal mean DTR is greatest during spring (in inland area) and least during summer (urban and coastal area). The spatial and seasonal variations of DTR are closely linked with the land surface conditions (especially vegetation activity and soil moisture) and atmospheric conditions (cloud amount, precipitation, local circulation). The seasonal mean DTR shows a decreasing trend at the major urban areas and at the north-eastern part of South Korea. Whereas, it shows an increasing trend at the central area of the southern part. Decreasing and increasing trends of DTR are more significant during summer and fall, and during spring and winter. The decrease (increase) of DTR is mainly caused by the stronger increase of daily minimum (maximum) temperature than daily maximum (minimum) temperature. The negative effects of precipitation and cloud amount on the DTR are greater during spring and at the inland area than during winter and at the coastal area. And the effect of daytime precipitation on the DTR is greater than that of nighttime precipitation.

Key words: diurnal temperature range, land surface condition, atmospheric condition, precipitation effect

1. 서론

일 최고기온과 일 최저기온의 차로 정의되는 일교차(diurnal temperature range)는 기본적으로 대기 상태와 지표면 상태에 복합적으로 영향을 받는다. 따라서 일교차는 지리적 위치와 계절에 따라 그 변동성이 클 뿐만 아니라 평균기온과 함께 기후변화의 중요 지표이다 (Braganza *et al.*, 2004; Zhou *et al.*, 2008). 현재 지구는 이산화탄소와 같은 온실기체 및 에어로졸 증가에 의한 대기환경의 변화, 사막화 및 도시화로 인

한 지표면 특성의 변화로 지구온난화, 강수 특성 변화, 도시열섬, 오존홀 등 다양한 지구환경문제에 직면해 있다 (IPCC, 2001, 2007). 이러한 지구환경 문제의 정확한 원인과 해결책을 모색하기 위하여 전 세계적으로 IPCC를 구성하여 우리가 현재까지 축적한 지식들을 종합하고 불확실성을 최소화하기 위한 노력들을 진행하고 있다 (IPCC, 2001; 2007).

일교차의 변동경향 및 변동원인에 대한 연구는 주로 지상 및 위성 관측 자료를 이용한 연구와 다양한 시공간 규모의 기후모델을 이용하여 이루어지고 있다. Karl *et al.* (1993)은 북아메리카에서 일교차가 감소하는 원인을 최저기온의 상승이 최고기온의 상승보다 강하게 발생하는 비대칭적 기온 변동경향에 의함을 보였다. Gallo *et al.* (1996)은 북아메리카의 지상관측 자료를 이용하여 일교차가 관측소 주변의 환경(도시, 시골)에 크게 영향을 받음을 보였다. 또한 Dai *et al.* (1999)

*Corresponding Author: Myoung-Seok Suh, Department of Atmospheric Science, Kongju National University, 182, Shinkwan-dong, Gongju, Chungnam 314-701 Korea.
Phone: +82-41-850-8533, fax: +82-41-856-8527
E-mail: sms416@kongju.ac.kr

은 지상관측 자료와 특별관측 자료를 이용하여 구름, 토양수분, 강수 및 가강수량이 일교차에 미치는 영향을 분석하였다. 그들은 전 지구적으로 구름 및 구름에 동반되는 강수와 토양수분이 맑은 날의 일교차를 약 25~50% 감소시킬 수 있음을 제시하였다. 또한 기후 요소들이 일교차에 미치는 영향은 계절 및 지리적 위치에 따라 그 강도가 상이함도 보였다.

일교차의 변동경향과 그 원인에 대한 연구에서는 대부분의 지역에서 일교차가 감소하고 있고 그 원인으로 온실기체 증가, 운량의 증가, 토양수분, 적설면적, 도시열섬, 및 강수량의 증가 등을 제시하고 있다 (Dai *et al.*, 1999; Durre and Wallace, 2001; Braganza *et al.*, 2004; Karoly and Braganza, 2005; Gong *et al.*, 2006). 하지만 대부분의 기후모델들은 현재 관측 자료에 나타난 일교차를 적절히 모의하지 못하고 있으며 그 원인 중 하나는 대부분의 모델들이 구름을 적절히 모의하지 못하여 최고기온의 상승을 크게 모의하기 때문이다 (Stone and Weaver, 2003). Stone and Weaver (2003)는 관측 자료와 기후모델 모의를 통해 일교차 변동경향은 중위도에서 가장 크며, 구름과 토양수분 같은 강제력의 변화에 의한 직접적인 영향보다는 되먹임 과정이 중요함을 제시하고, 인위적 요인들이 구름과 지표면 과정을 변경시켜 일교차의 감소에 기여함을 제시하였다. Sun *et al.* (2006)은 위성과 지상관측 지표면 온도의 일교차를 분석하여 도시보다는 시골에서, 구름이 있을 때보다는 맑을 때, 기온보다는 지표면 온도에서 일교차가 크게 나타남을 보였다. 또한 북아메리카에서 기온의 일교차는 겨울보다 여름에 크지만 지표면 온도의 일교차는 봄과 가을에 여름과 겨울보다 큼을 보였다. 일교차의 이러한 분포는 식생에 의한 증발산과 수증기의 온실효과가 중요한 역할을 함을 제시한다. Gong *et al.* (2006)은 중국의 지상관측 자료를 이용하여 주말효과가 일교차에 미치는 영향을 분석한 결과 겨울에는 최고기온을 강하게 상승시켜 양의 영향을 미치는 반면, 여름에는 최고기온을 크게 낮추는 등 음의 영향을 주는 것으로 나타나 계절에 따라 주말효과가 상반되게 작용함을 보였다. 이것은 Forster and Solomon (2003)이 미국에서의 주말효과에 대한 연구에서 주말효과는 주로 최저기온에 영향을 준다는 결과와 대비된다. Zhou *et al.* (2004)은 중국에서의 온난화와 일교차의 감소는 구름의 증가에 의한 것이 아니고 대부분 도시열섬과 관계되었음을 제시하였다. 또한

Makowski *et al.* (2008)은 유럽에서 1950년부터 2005년까지의 일교차를 분석하여 일교차의 변동경향이 지역 및 기간에 따라 상이함을 보였다. 특히, 유럽의 대부분 지역에서 1980년대 이전에는 일교차가 감소하였으나 최근에는 일교차의 증가경향이 나타나고 있음과 이런 변화의 원인으로 황산염과 같은 에어로졸의 방출과 관련된 지표면에서의 입사 태양복사의 변화를 제시하였다.

우리나라의 경우 평균기온이나 지중온도의 변화와 그 원인에 대한 연구는 많이 이루어 졌으나 아직까지 일교차의 현황, 변동경향 및 그 원인에 대한 연구는 매우 미미한 실정이다 (류상범 등, 1993; 이명인과 강인식, 1997; 김맹기 등 1998; 김경환 등 2000; 김승옥 등 2005; Ryoo *et al.*, 2004). 조하만 등 (1988)은 최저기온의 상승경향이 최고기온의 상승경향보다 크게 나타나 기온의 일교차가 지속적으로 감소함을 제시하였다. 또한 지상관측 기온에 나타난 변동경향에서 지구온난화에 의한 것과 도시열섬의 영향을 분리해내기 위한 연구도 수행되었다 (이명인과 강인식, 1997). 동아시아 대륙의 동안에 위치한 우리나라는 도시화와 산업화의 영향으로 지표 특성의 변화, 대기 혼탁도 증가와 함께 최근에는 강수 특성에도 변화가 있는 것으로 보고되고 있다 (허창희 2006; 김찬수와 서명석, 2008). 특히 허창희 (2006)와 김병곤 등 (2007)은 서울에서 설연휴와 주말에 시민들의 사회활동 즉, 교통량 감소와 같은 인위적 요인에 의한 대기특성 변화(예: 에어로졸 감소)가 일교차를 증가시키고 있음을 제시하였다.

지금까지의 일교차 변동경향과 그 원인에 대한 연구들은 일교차의 변동경향이 지역 및 계절에 따라 상이할 뿐만 아니라 그 원인도 지역 및 계절에 따라 상이함을 제시한다. 특히, 일교차의 변동원인으로 많은 연구에서 구름, 토양수분 및 강수의 증가를 제시하지만, Collatz *et al.* (2000)은 지면피복의 변화를, Kaiser (1998)와 Zhou *et al.* (2004)은 도시화를, 그리고 Makowski *et al.* (2008)은 입사 태양단파복사의 변동을 주원인으로 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기상청의 지상관측 자료를 이용하여 우리나라에서 계절평균 일교차의 분포 특성과 변동경향 그리고 강수, 구름 등 기후 요소와의 관계에 대해 조사하고자 한다. 특히, 많은 연구에서 일교차에 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 강수현상과 일교차 변동경향사이의 관계에 대해 상세하게 조사하였다. 2절에서는 본 연구에서 사용된 자료와

연구방법 그리고 3절에서는 연구결과를 제시하였다. 4절에서는 본 연구에서 밝혀진 결과를 요약하였다.

2. 자료 및 연구 방법

본 연구에 사용된 자료는 1976년부터 2005년까지 최근 30년간 기상청 소속 60개 지점에서 관측한 일 최고/최저기온, 시간 강수량, 목측 운량 그리고 시정이다 (Fig. 1). 현재 기상청에서 운용중인 지상 관측소는 76개 지점이나 2005년을 기준으로 관측기간이 30년이 되지 않는 관측소는 분석에서 제외하였다.

일교차는 그 정의에 따라 일 최고기온에서 일 최저기온을 뺀 값이며 일교차의 계절별 및 기상조건별 분포는 단순 합성법을 이용하였다. 일교차 및 기후요소들의 선형 변동경향은 단순선형회귀 방법으로 산출하였다. 또한 강수 및 운량 등이 일교차의 변동경향에 미치는 영향은 상관계수를 이용하여 조사하였다. 강수의 경우 강수에 필연적으로 동반되는 구름과 토양수분의 증감이 일교차에 미치는 영향이 크기 때문에 강수가 발생하는 때 (여기서는 낮과 밤)가 일교차에 미치는 영향을 조사하였다. 강수의 발생 시간이 일교차에 미치는 영향을 분석하기 위하여 강수 발생시간을 낮 강수 (daytime precipitation), 밤 강수 (nighttime precipitation), 그리고 전일 강수 (previous day precipitation)로 분류하고 각 경우에 해당되는 평균 일교차를 구하여 강수

발생시점이 일교차에 미치는 영향을 조사하였다. 여기서 낮 강수는 당일 06시부터 15시까지로 정의하였으며, 밤 강수는 전일 16시부터 당일 05시까지 그리고 전일 강수는 전일 01시부터 24시까지로 정의하였다. 이는 우리나라에서 최고기온과 최저기온이 각각 주로 14~15시와 06시 경에 발생하는 특성을 고려하여, 강수 시간대가 일교차에 미치는 영향을 알아보기 위한 것이다.

우리나라의 경우 지상 및 원격탐사 기법을 이용한 에어로졸 관측 기간이 짧기 때문에 본 연구에서는 지상 관측 시정을 이용하여 간접적으로 에어로졸이 일교차에 미치는 영향을 조사하였다. 최근 기후변화에 대한 에어로졸의 직·간접 효과에 대해 많은 연구들이 수행 중이며 불확실성은 크지만 온실기체 증가에 의한 지구온난화의 강도를 완화시키는 방향으로 작용하는 것으로 알려져 있다. 특히, 에어로졸의 증가는 낮 시간 동안 태양복사의 입사를 줄여 최고기온의 상승을 억제하는 것으로 알려지고 있다 (허창희, 2006; 김병곤 등, 2007; Makowski *et al.*, 2008). 시정은 목측 자료의 특성상 오차가 어느 정도 포함되어 있을 뿐만 아니라 에어로졸 농도, 안개, 구름 및 강수 등에 복합적으로 영향을 받는 값이기 때문에 여기서는 에어로졸이 일교차에 미치는 영향을 간접적으로 추정하고자 한다.

3. 결과 및 토의

3.1 일교차의 계절 분포

계절별 일교차는 계절 및 지리적 위치에 따라 변동성이 약 3~15°C로 크게 나타나고 있다 (Fig. 2). 기온과 달리 일교차는 계절적으로 봄에 가장 크고(10~15°C) 여름에 가장 작으며 (7~10°C), 공간적으로는 내륙산악에서 크고 해안지역에서 작게 나타났다. 이러한 일교차의 계절변화는 전미대륙에서 일교차가 여름에 가장 크고 겨울에 작다는 Sun *et al.* (2006)의 연구결과와 상반되는 것으로 각 지역의 기후특성이 일교차의 변동에 중요함을 제시한다. 또한 일교차의 계절 및 공간변화는 우리나라에서의 강수와 식생의 계절변화가 복합적으로 작용한 결과로 보인다. 즉, 봄에 일교차가 상대적으로 크게 나타난 것은 대기가 상대적으로 건조한 점 (구름의 발생빈도도 낮음)과 식생의 증발산 활동이 약한 것이 복합적으로 작용한 것으로 보인다. 반면에 여름에는 동아시아 여름 몬순의 영향으로 강수 (구

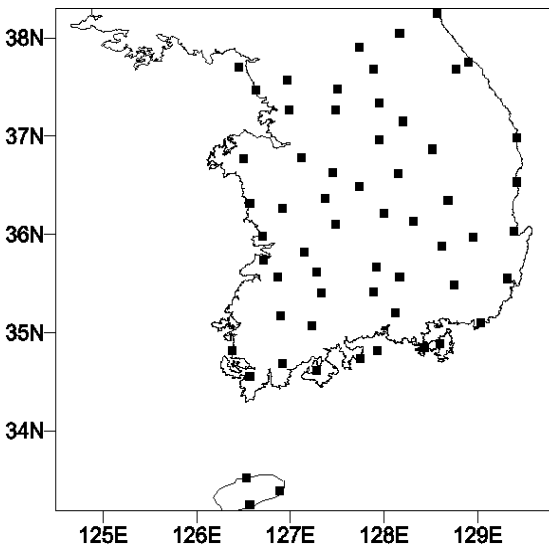


Fig. 1. Spatial distribution of 60 stations used in this study.

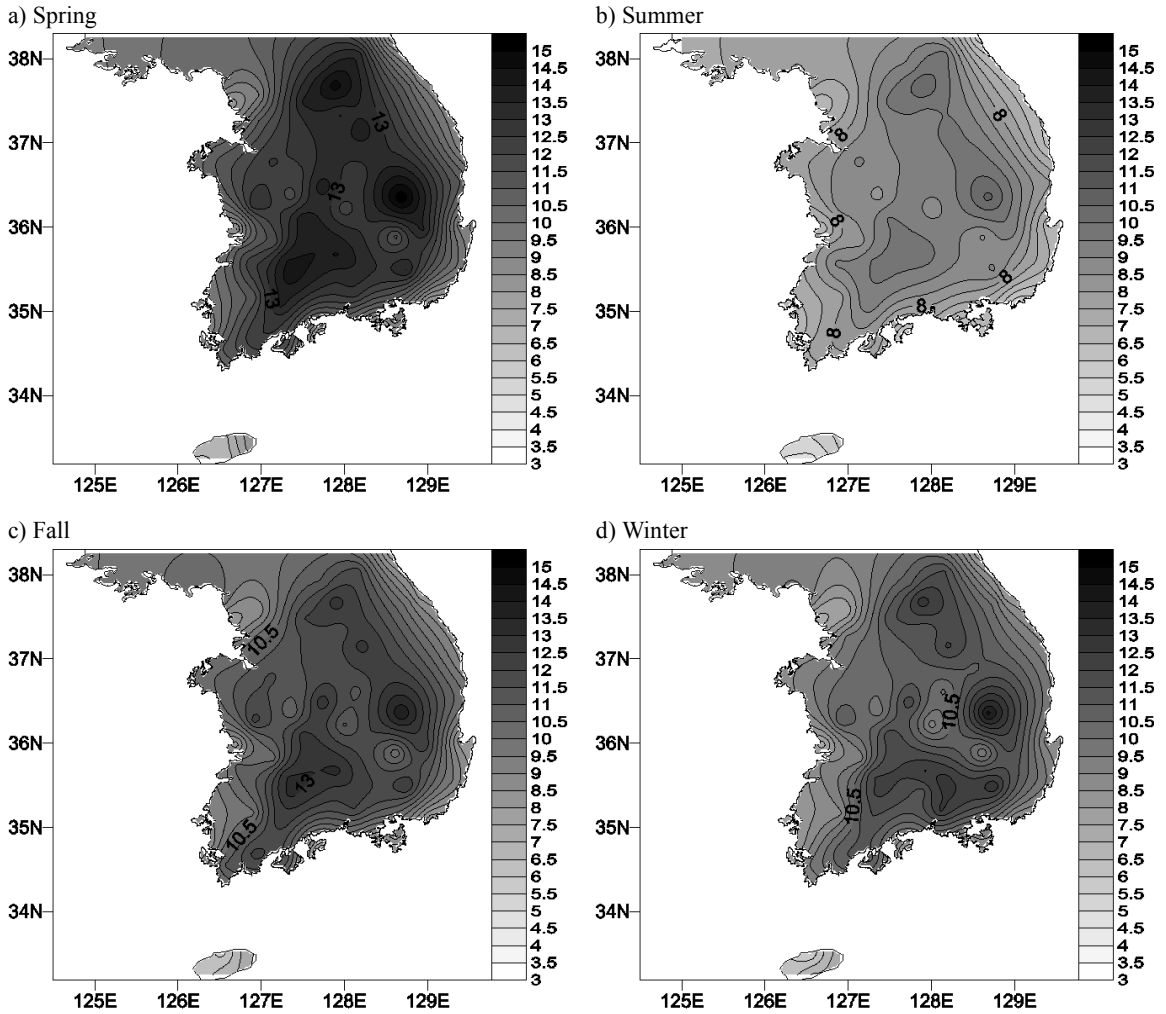


Fig. 2. Spatial distribution of diurnal temperature range (DTR: $^{\circ}\text{C}$) averaged from 1976 to 2005 for (a) spring, (b) summer, (c) fall, and (d) winter.

름)가 많아 토양수분이 증가된 점과 식생의 활발한 증발산이 복합적으로 작용한 결과로 보인다. 일교차의 공간분포는 계절에 관계없이 해안에서 작고 내륙으로 갈수록 크게 나타나고 있으며 공간변동도 봄에 가장 크고 여름에 가장 작은 값을 보이고 있다. 전체적으로 해안에서 일교차가 작은 것은 해륙풍이 해안지역에서의 기온 일 변동을 약화시킨 것과 관련된 것으로 보인다.

3.2 일교차의 변동경향

계절별 일교차의 변동경향을 분석한 결과 60개 지점 중 28개 지점에서는 감소 경향이 나타난 반면 32개 지점

에서는 증가 경향이 나타났다. 일교차가 가장 크게 감소하는 5개 지역과 증가하는 5개 지역을 Table 1에 나타내었다. 일교차가 감소하는 지역에서는 다른 연구에서와 같이 최고기온의 증가량보다 최저기온의 증가량이 큰 지역들이다 (Makowski *et al.*, 2008). 반면에 일교차가 증가하는 지역은 최고기온의 증가량이 최저기온의 증가량보다 큰 지역들로 속초를 제외하면 진주-함천-거창-추풍령 등 한반도 중부 이남의 중앙지역들이다.

계절별 일교차의 변동경향은 좁은 국토임에도 불구하고 계절 및 지역에 따라 다양하게 나타나고 있다 (Fig. 3). 일교차는 서울-경기-강원 지역, 부산-울산-포항 지역 등 대부분 대도시 지역을 중심으로 계절에 관

Table 1. Top 5 stations of decrease and increase in DTR among the 60 stations.

Trend	Station	Trend (°C/years)					
		DTR(°C)	T_MAX(°C)	T_MIN(°C)	DTR	T_MAX	T_MIN
Decrease	Suwon	9.66	16.76	6.91	-0.051	0.032	0.084
	Pohang	8.24	18.32	9.84	-0.051	0.024	0.073
	Chungju	10.50	17.70	7.02	-0.045	0.025	0.069
	Yangpyoung	11.66	17.09	5.28	-0.042	0.030	0.073
	Boryong	9.39	17.00	7.42	-0.041	0.028	0.069
Increase	Hapcheon	11.92	19.14	7.08	0.051	0.041	-0.015
	Chupoon.	10.25	16.95	6.52	0.044	0.080	-0.001
	Jinju	11.41	19.07	7.50	0.042	0.027	0.003
	Sockcho	7.20	15.65	8.22	0.042	0.043	-0.004
	Geochang	12.37	18.07	5.57	0.041	0.026	0.012

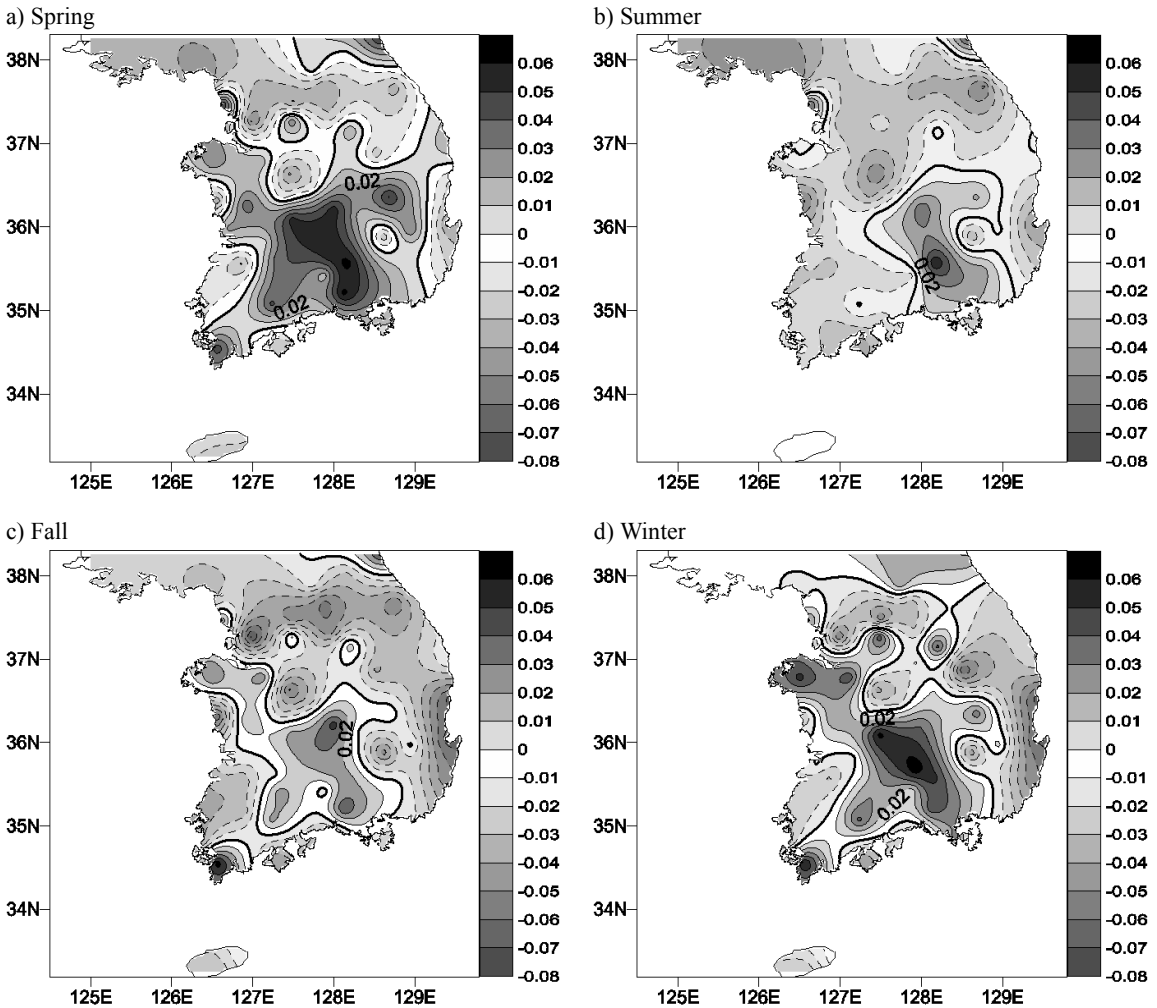


Fig. 3. Spatial distribution of DTR trend (°C/years) for (a) spring, (b) summer, (c) fall, and (d) winter.

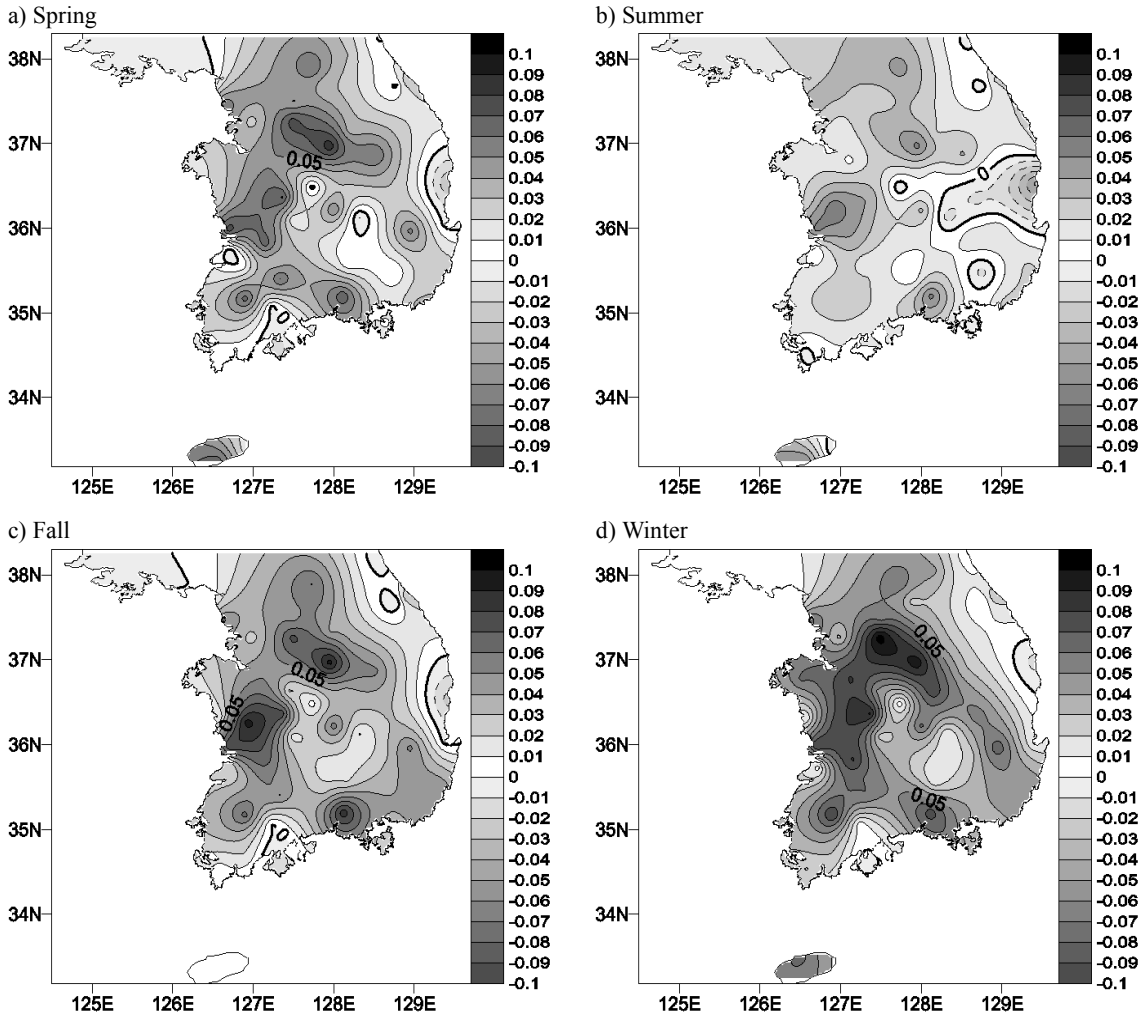


Fig. 4. Seasonal trends ($^{\circ}\text{C}/\text{years}$) of daily minimum temperature.

계없이 감소경향을 보이고 있다. 하지만 서산과 마산을 잇는 대각선의 남서부 지역에서는 증가경향이 나타나고 있다. 여름과 가을에는 대부분 지역에서 일교차가 감소경향을 보인 반면 봄과 겨울에는 증가지역이 충청 이남지역으로 넓고 강도도 강하게 나타나고 있다. F값을 이용하여 일교차 변동경향의 유의수준을 분석한 결과 계절에 따라 차이는 있지만 대부분 계절에서 60개 지점 중 30개 지점 이상에서 신뢰도 수준이 95% 이상이었다. 즉, 현재 공간분포에서 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}/\text{years}$ 이상의 변동경향을 보인 지점들은 신뢰수준이 95% 이상인 지점들이다.

일교차는 최저기온과 최고기온의 변동 패턴, 즉 변동경향의 비대칭성이나 변동경향의 상대적 크기에 따

라 변동경향이 결정된다. 많은 연구에서 보인 바와 같이 일반적으로 일교차가 감소하는 지역들은 대부분 최저기온의 상승이 최고기온보다 강하게 일어난 지역들이다 (Karl *et al.*, 1993; Easterling *et al.*, 1997). 우리나라에서 일교차의 변동경향과 최저/최고기온의 변동경향과의 관계를 보기 위하여 Figs. 4와 5에 최저기온과 최고기온의 계절별 변동경향을 나타내었다. 최저기온은 포항지역을 제외한 전 지역에서 계절에 관계없이 상승경향을 보이고 있지만 그 강도는 지역 및 계절에 따라 다르다. 계절적으로는 겨울에 상승경향이 가장 강한 반면 여름에 가장 약하다. 지리적으로는 서울을 중심으로 한 대도시의 풍하측에 위치한 충청과 경기지역에서 상승경향이 매우 강하게 발생한 반면 동해안과

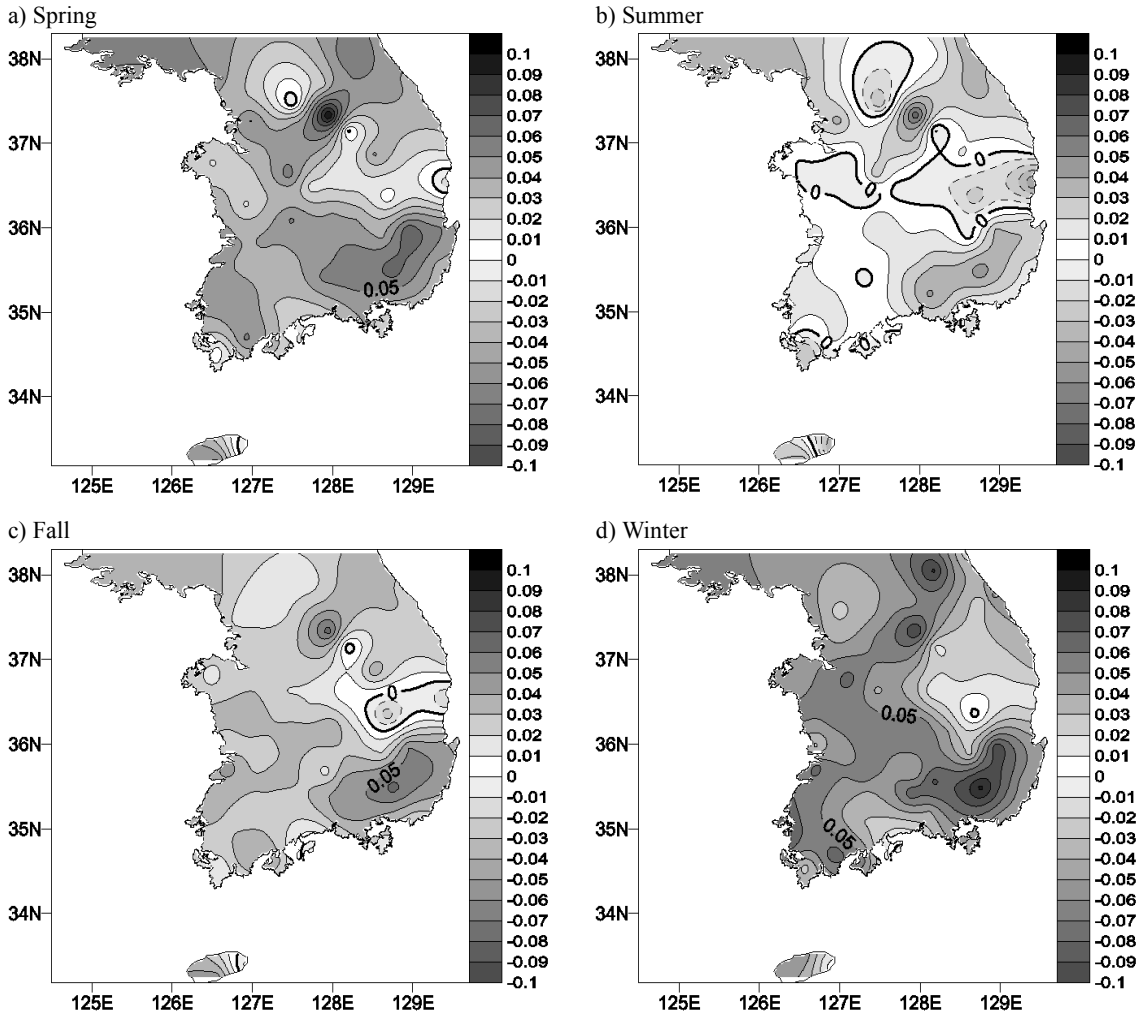


Fig. 5. Seasonal trends ($^{\circ}\text{C}/\text{years}$) of daily maximum temperature.

경남북 내륙 지역에서 가장 약하게 발생하고 있다. 즉, 일교차가 감소(증가)하는 지역들은 대부분 최저기온의 상승이 강(약)하게 발생하는 지역들이다.

최고기온도 최저기온에서와 같이 영덕, 포항 지역을 제외한 전 지역에서 계절에 관계없이 증가경향을 보이고 있으며 변동경향은 겨울과 봄에 가장 강하고 여름에 가장 약하게 나타나 최저기온과 유사한 패턴을 보이고 있다. 하지만 공간분포는 최저기온과 상이하게 주로 남동지역과 목포에서 속초를 잇는 대각선 축 지역에서 강하게 나타나고 있다. 즉, 일교차가 증가하는 지역에서는 다른 지역에 비해 최고기온의 상승경향이 강하게 나타나고 있어 일교차의 증가가 주로 최고기온의 강한 상승에 의한 것임을 제시한다.

3.3 기후요소의 일교차의 변동경향

일교차는 일반적으로 최고기온과는 양의 상관성, 최저기온과는 음의 상관성을 보이고 있으나 계절 및 지리적 위치에 따라 그 크기와 관계가 다양하게 나타나고 있다 (Fig. 6). 일교차와 최저/최고기온사이의 상관성이 계절 및 지리적 위치에 따라 변동성이 크다는 것은 일교차의 변동성에 영향을 주는 요인이 계절 및 지리적 위치에 따라 상이함을 제시한다. 일교차와 최고기온과의 상관성은 지리적으로는 남부지역에서, 계절적으로는 여름에 강하게 나타나고 있다. 이것은 남부지역과 여름의 일교차는 주로 최고기온의 변동경향에 영향을 받는 것으로 해석할 수가 있다. 특이한 것은

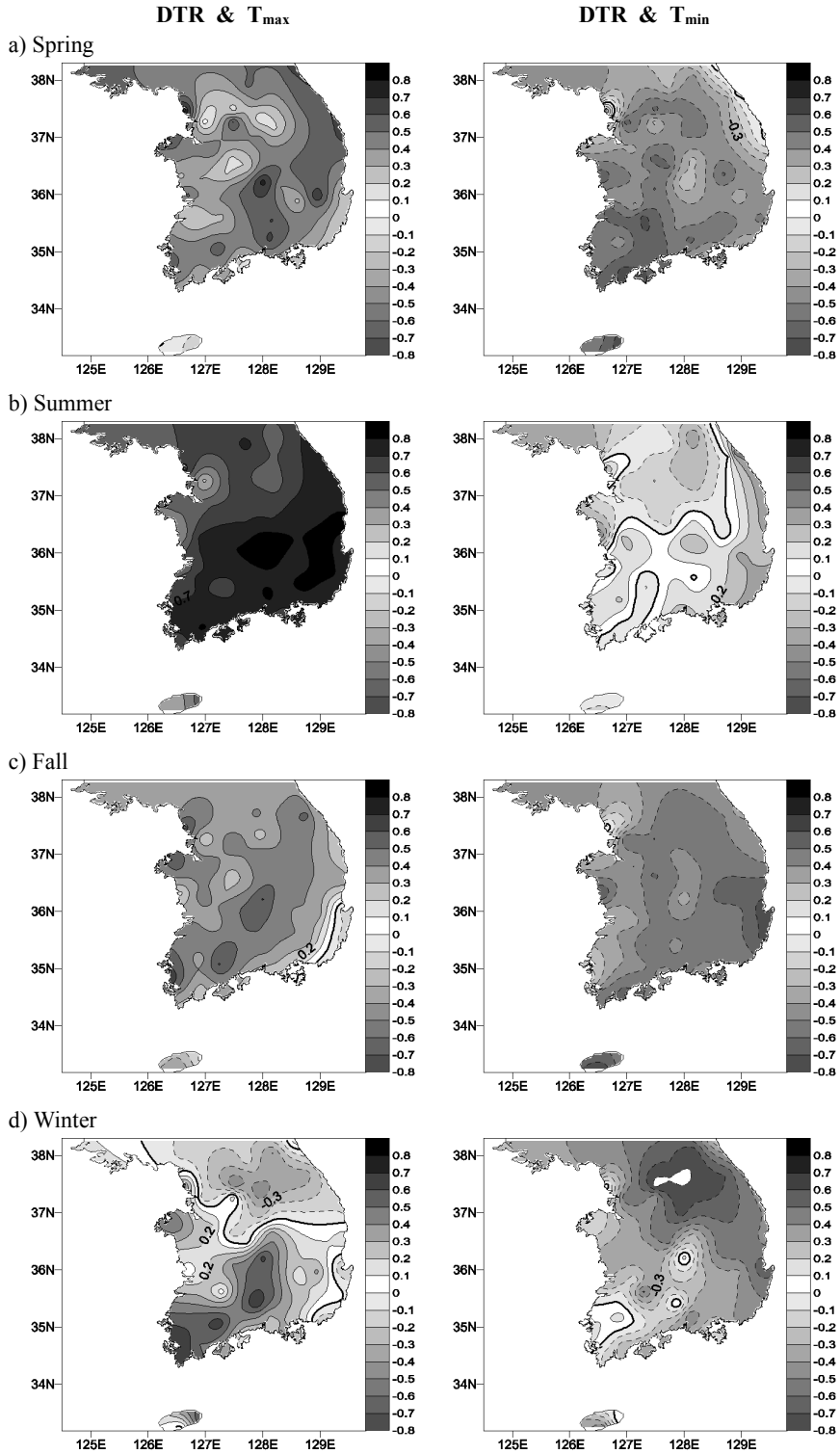


Fig. 6. Spatial distribution of correlations between DTR and daily maximum (left) and minimum temperature (right) according to the season.

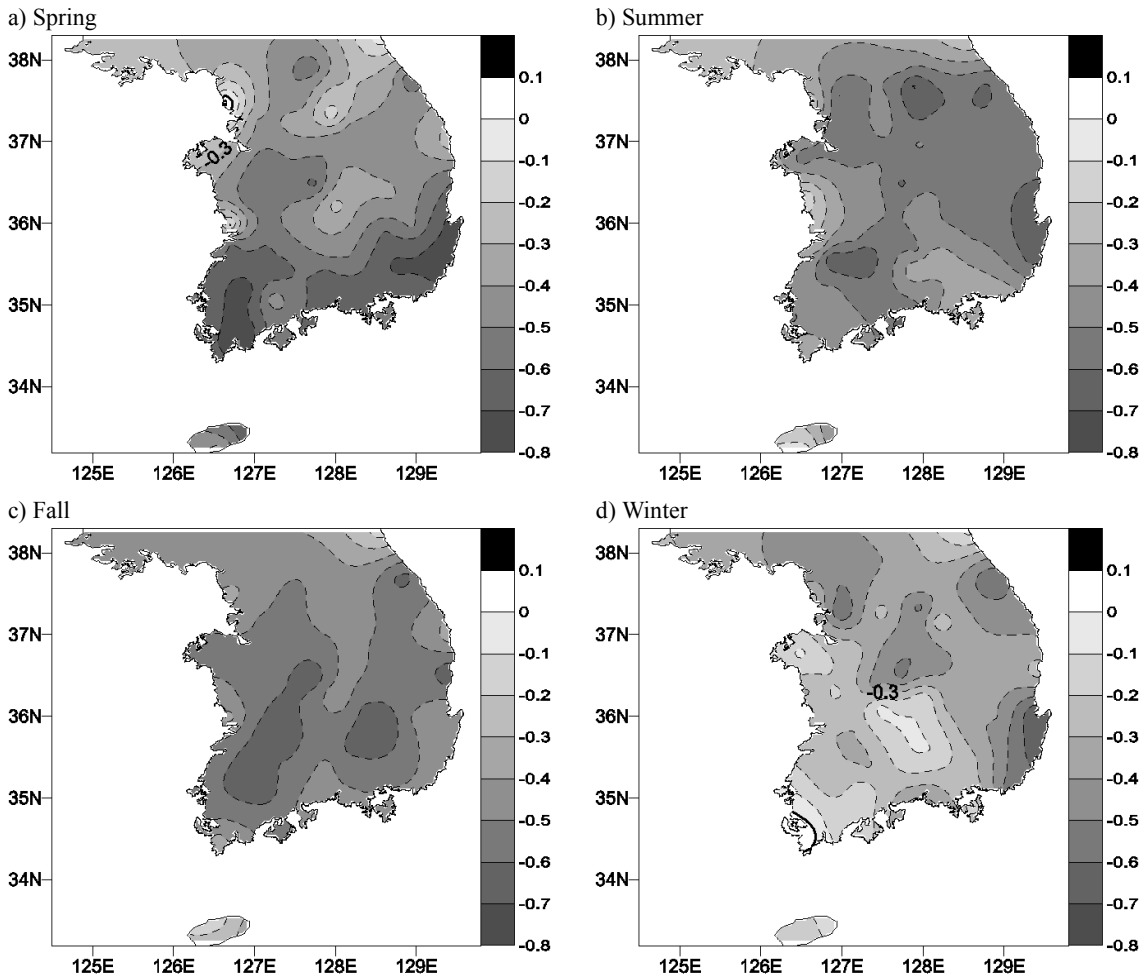


Fig. 7. Spatial distribution of correlations between DTR and precipitation amount.

Table 2. Average DTR and differences according to the existence and nonexistence of precipitation.

Precip. and Temp. Type	Daytime Precipitation			Nighttime Precipitation			Previous day Precipitation		
	No	Yes	Diff.	No	Yes	Diff.	No	Yes	Diff.
DTR (°C)	11.54	6.59	-4.95	11.29	7.46	-3.83	11.33	8.39	-2.94
Tmax (°C)	18.06	17.83	-0.23	17.76	18.73	+0.97	17.67	18.66	+0.99
Tmin (°C)	6.52	11.24	+4.72	6.48	11.27	+4.80	6.34	10.27	+3.93

겨울에 충청 이북지역에서 음의 상관성이 나타나는 것으로 이 지역에서는 겨울에 최고기온이 높아질수록 일교차가 작아짐을 의미한다. 즉, 겨울에 최고기온이 상승할 경우 최저기온의 상승이 더 강하게 (또는 하강이 약하게 일어나) 일어나 일교차가 감소됨을 의미한다. 이것은 이들 지역에서 일교차와 최저기온과의 강한 음의 상관성에 의해서도 확인되고 있다. 일교차와 최저

기온과의 상관성은 봄과 가을에 강한 음의 상관성을 보이는 반면 여름에 충청 이남지역에서는 양의 상관성을 보이고 있다. 이것은 겨울의 충청 이북지역과는 대비되는 현상으로 여름에 남부지역에서 최저기온이 상승하면 (조금 내려가면) 최고기온의 상승이 더 강하게 발생하여 일교차가 증가됨을 의미한다.

강수는 구름에 의한 태양복사 반사, 지구장파 흡수

및 방출, 토양수분의 증가, 그리고 지표면에서 순복사 속 중 잠열 비 증가(보우엔 비 감소) 등의 과정을 통해 최저와 최고 기온의 상승과 하강을 각각 억제하여 일교차의 감소 효과가 가장 큰 기후요소이다. 이러한 사실에 기초하여 강수량과 일교차의 상관성을 분석하였다 (Fig. 7). 다른 연구에서와 같이 일교차와 강수량은 계절에 관계없이 강한 음의 상관성을 보이고 있으나, 그 강도는 지리적 위치 및 계절에 따라 큰 차이가 있다 (Dai *et al.*, 1999). 봄에는 주로 남부지역에서, 여름에는 중북부 지역에서 그리고 겨울에는 호남지역을 제외한 전 지역에서 강한 음의 상관성을 보이고 있다. 봄에서 가을까지 일교차는 주로 강수량의 계절변화와 밀접하게 관련되어 있으나 겨울에는 음의 상관성이 약하게 나타나고 있다. 일교차와 강수량사이의 음의 상관성이 다른 계절에 비해 겨울에 약하게 나타나는 것은 강수와 함께 동반되는 구름의 태양복사 차단효과와 지구장파복사에 대한 온실효과의 영향이 유사한 것과 관련된 것으로 보인다.

앞에서 보인 바와 같이 일교차는 강수량과 강한 음의 상관성을 보인다 (Table 2). 강수현상의 발생 시간대가 일교차에 미치는 영향을 분석한 결과 낮 강수, 밤 강수 그리고 전일 강수 순으로 나타나고 있다. 이는 낮에 강수가 발생하면 구름과 토양수분의 증가가 각각 태양복사의 차단과 잠열의 증가를 통해 최고기온의 상승을 강하게 억제하는 것과 관련된 것으로 보인다. 또한 낮에는 대기가 불안정하여 난류혼합이 발생하고 순복사 에너지의 상당부분이 증발잠열로 사용되기 때문에 강수시간대에 관계없이 최고기온보다 최저기온에서 차가 크게 나타난다 (Zhou *et al.*, 2008).

낮과 밤 그리고 전일의 강수 유무가 일교차의 공간 분포에 미치는 영향은 계절 및 강수시간대에 관계없이 내륙에서 가장 크고 해안지역에서 가장 작게 나타나고 있다 (Fig. 8). 또한 강수 시간대가 일교차에 미치는 영향의 크기는 계절 및 지리적 위치에 관계없이 낮 강수의 유무, 밤 강수의 유무, 및 전일 강수의 유무 순으로 나타났다. 이는 강수 시간대에 따라 최고기온과 최저기온의 상승 및 하강에 미치는 영향이 다른 것에 의한 것이다. 강수가 일교차에 미치는 영향은 강수 시간대에 관계없이 공통적으로 봄과 가을에 그 영향이 가장 크고 여름에 가장 작은 것으로 나타났다. 또한 그 효과는 해안지방보다 내륙지방에서 큰 것으로 나타나고 있으며, 특히 전라도와 경기도 남쪽 지방에서 그 효과가

큰 것으로 나타나고 있다. 봄과 가을에 강수유무의 효과가 큰 이유는 우리나라 기후특성상 봄과 가을이 건조한 시기이기 때문이라고 생각된다. 이러한 결과는 구름과 강수가 일교차에 미치는 영향이 건조한 지역에서 최대가 된다는 IPCC (2007)의 결과와 일치한다. 또한 전 계절에 걸쳐서 낮 강수에 의한 일교차 감소의 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 전 지구적으로 진행되고 있는 지구온난화의 영향으로 강수의 특성(강수량, 강도, 일수, 일변동, 계절변동,...)에 많은 변화가 있는 것으로 알려지고 있으므로 이에 대한 연구도 필요하다.

일교차와 운량은 지리적 위치 및 계절에 관계없이 -0.5 이상 강한 음의 상관성을 보이나 지리적으로는 내륙에서 계절적으로는 여름과 가을에 강한 음의 상관성을 보인다. 강수에서와 같이 운량이 일교차에 미치는 영향이 해안보다 내륙에서 큰 것은 해안에서는 해륙풍에 의해 일교차가 조절되기 때문이다. 또한 다른 계절과 달리 겨울에는 운량이 기온의 일 변동에 미치는 영향이 약하기 때문에 강수에서와 같이 음의 상관성도 작게 나타나고 있다.

일교차와 시정은 계절에 따라 약간의 차이는 있지만 여름을 제외하면 일교차가 감소하는 지역에서는 양의 상관성을, 일교차가 증가하는 지역에서는 음의 상관성을 보이고 있다 (Fig. 3, Fig. 10). 시정이 에어로졸 농도를 반영한다고 가정한다면 에어로졸이 일교차에 미치는 영향이 지역에 따라, 특히 일교차의 변동 패턴에 따라 상이하게 나타난 점은 우리나라에서 에어로졸이 일교차에 미치는 영향이 크지 않음을 시사한다. 또한 일교차가 증가하는 지역에서 시정과 일교차 사이에 음의 상관성이 나타난 것으로 보아 이 지역에서는 에어로졸 외의 다른 인자들의 영향을 더 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 그림에는 나타내지 않았지만 시정과 최고/최저기온과의 상관성은 여름을 제외하면 대부분 지역과 계절에서 각각 양과 음의 상관성을 보이며 특히 최저기온과 음의 상관성이 크게 나타나고 있다. 이것은 Makowski *et al.* (2008)의 연구에서와 같이 시정(에어로졸)이 증가하면(대기가 맑아지면) 최고기온은 더 상승하고 최저기온은 더 하강하게 됨을 의미한다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 1976년부터 2005년까지의 기상청 60개 지점 지상관측 자료를 이용하여 우리나라에서 일교

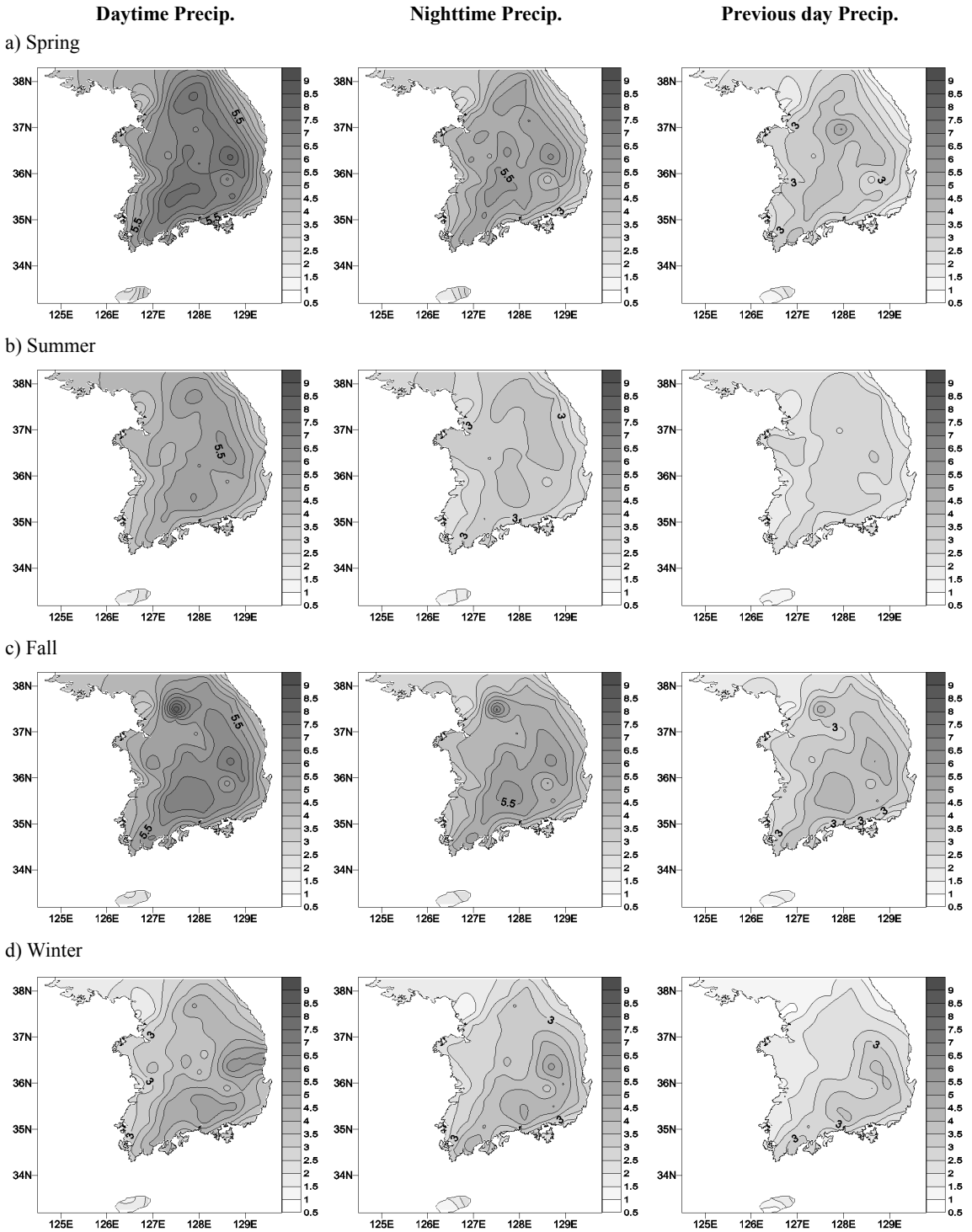


Fig. 8. Spatial distribution of DTR differences between no precipitation and precipitation according to the season and precipitation time.

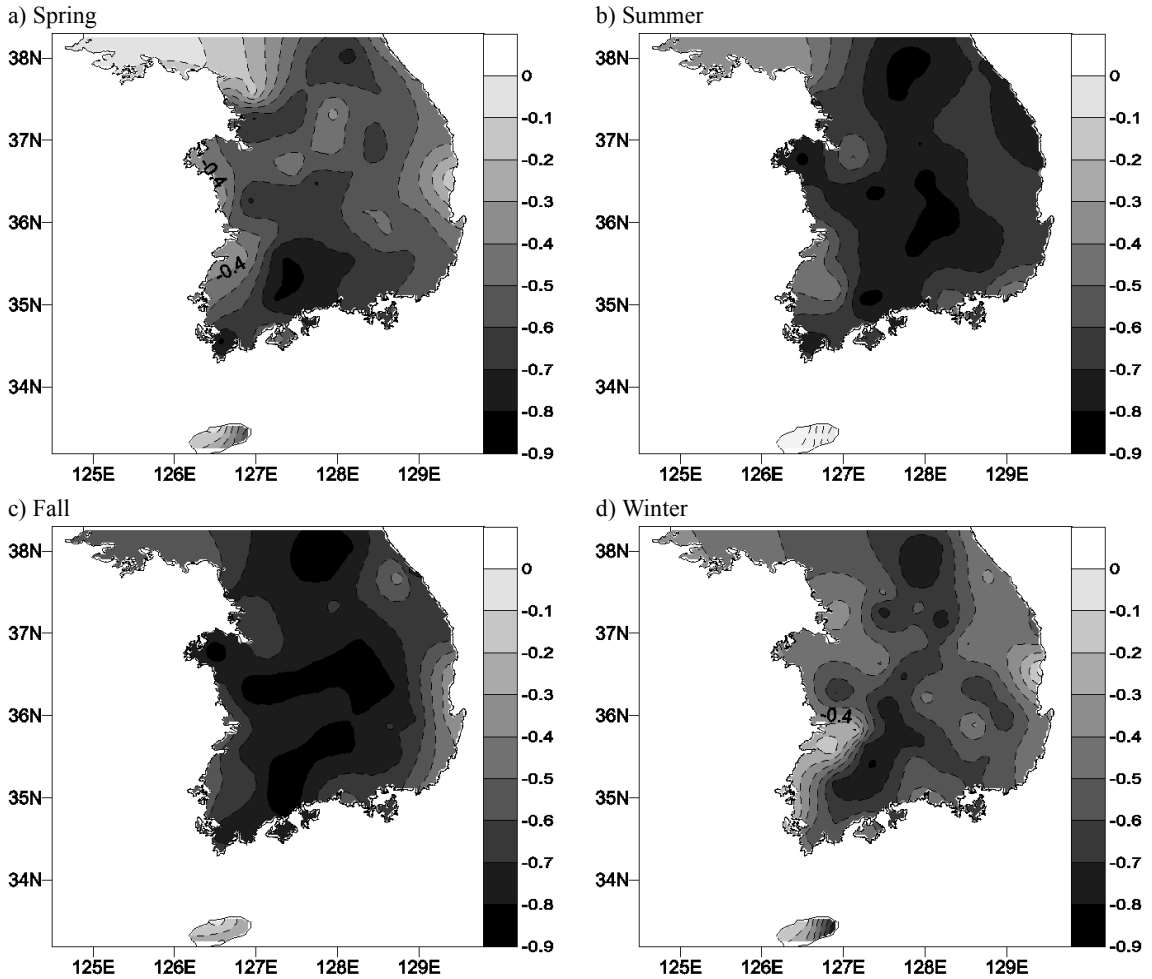


Fig. 9. Spatial distribution of correlations between DTR and cloud amount.

차의 계절별 공간분포와 변동경향 그리고 강수, 운량 등이 일교차의 변동경향에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

일교차는 대부분 지역에서 봄에 가장 크고 (10~15°C) 여름에 가장 작으며 (7~10°C), 공간적으로는 내륙에서 크고 대도시와 해안지역에서 작게 나타났다. 봄과 여름에 일교차가 상대적으로 크(작)게 나타난 것은 대기가 상대적으로 건조(습윤)한 점과 식생의 증발산 활동이 약(강)한 것이 복합적으로 작용한 결과로 보인다. 일교차가 대도시와 해안지역에서 작게 나타난 것은 도시열섬과 해륙풍이 기온의 일 변동을 약화시킨 것과 관련된 것으로 보인다. 계절에 관계없이 서울 등 대도시에서 인접 지역보다 일교차가 작게 나타난 것은 도시화가 일교차 감소의 주요 원인이라는 Zhou *et al.*

(2004)의 연구와 일치한다.

우리나라는 좁은 국토에도 불구하고 일교차의 변동경향이 계절 및 지역에 따라 다르게 나타나고 있다. 서울-경기-강원지역, 경상도 동부지역 등 대부분 대도시와 주변 지역에서는 계절에 관계없이 감소경향을 보이고 있으나 서산과 마산을 잇는 대각선의 남서부 지역에서는 증가경향이 나타나고 있다. 여름과 가을에는 대부분 지역에서 일교차가 감소경향을 보인 반면 봄과 겨울에는 증가지역이 충청이남 지역으로 확대됨과 동시에 강도도 강하게 나타나고 있다. 일교차가 감소(증가)하는 지역에서는 최고(최저)기온의 상승이 최저(최고)기온의 상승보다 작은 지역들이다. 또한 남부지역과 여름의 일교차는 주로 최고기온의 변동경향에, 중북부 지역과 봄/가을의 일교차는 주로 최저기온의 변

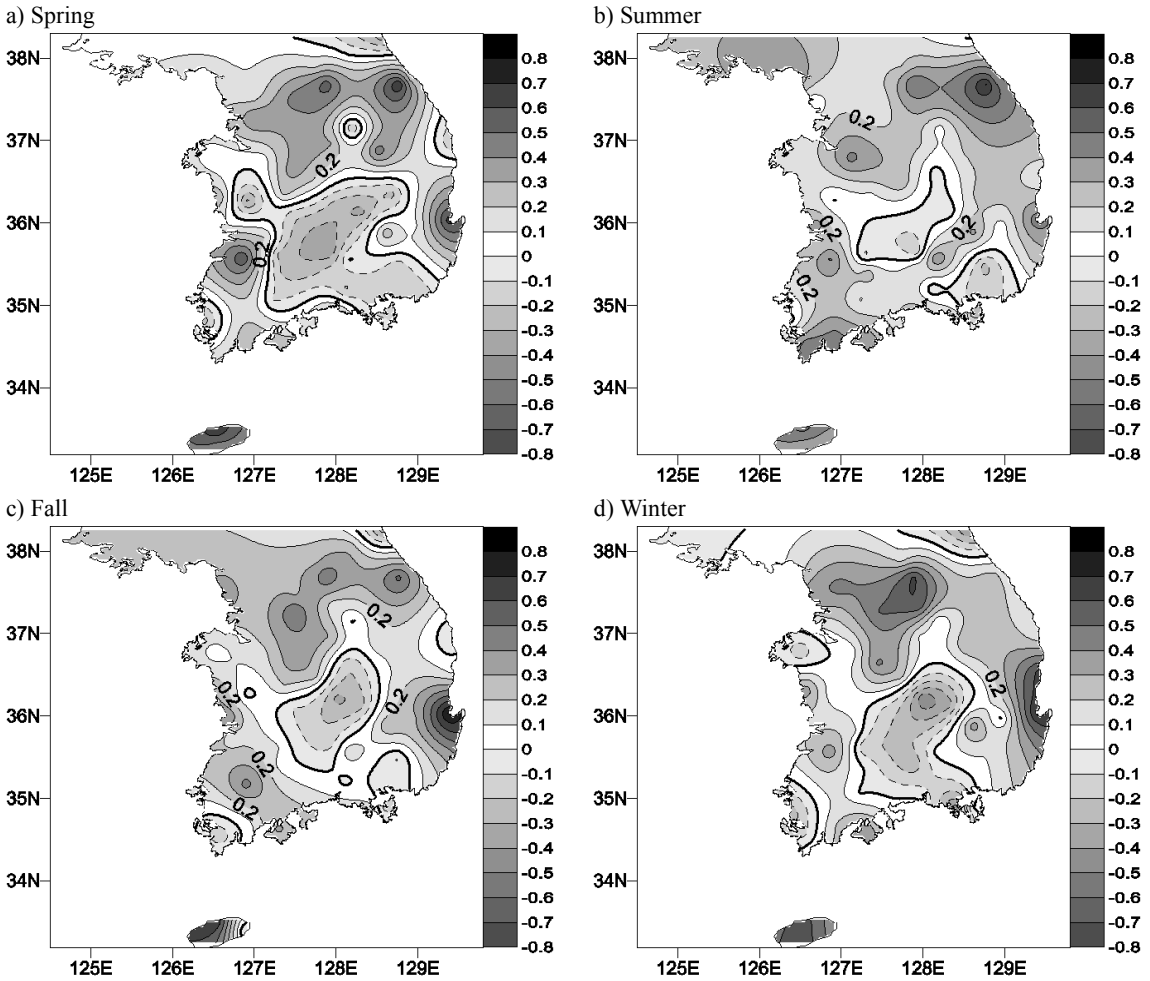


Fig. 10. Spatial distribution of correlations between DTR and visibility.

동경향에 영향을 받는 것으로 보인다.

일교차와 강수량은 계절에 관계없이 강한 음의 상관성을 보이고 있으나, 대부분 지역에서 봄과 여름에 음의 상관성이 큰 반면 겨울에는 가장 작게 나타나고 있다. 강수 시간대가 일교차에 미치는 영향의 크기는 낮 강수, 밤 강수 그리고 전일 강수 순으로 나타나고 있다. 이는 모든 시간대의 강수가 최저기온의 하강을 억제하는 작용 외에도 낮 강수가 동반하는 구름과 토양 수분의 증가가 각각 태양복사의 차단과 잠열의 증가를 통해 최고기온의 상승을 강하게 억제하는 것과 관련된 것으로 보인다. 시간별 강수 유무가 일교차의 공간(계절) 분포에 미치는 영향은 내륙(봄과 가을)에서 크고 해안(여름과 겨울)지역에서 작게 나타나고 있다.

온량도 강수와 같이 지리적 위치 및 계절에 관계없

이 일교차와 음의 상관성을 보이며 지리적으로는 내륙에서, 계절적으로는 여름과 가을에 강하다. 또한 다른 계절과 달리 겨울에는 구름이 기온의 일 변동에 미치는 영향이 약하기 때문에 음의 상관성도 나타나고 있다. 시정과 일교차는 여름을 제외하고 일교차가 감소하는 지역에서는 양의 상관성을, 일교차가 증가하는 지역에서는 음의 상관성을 보이고 있다. 일교차가 증가하는 지역에서 시정과 일교차사이에 음의 상관성이 나타난 것으로 보아 이 지역에서는 구름, 강수 특성변화 같은 다른 요인들의 영향이 더 강하게 작용하고 있음을 알 수 있다.

계절평균 일교차의 공간분포, 그리고 일교차의 변동경향과 그 원인들을 분석한 결과 우리나라에서 일교차는 주로 도시화, 토양수분 등과 같은 지면특성의 변

화와 함께 강수, 구름 등과 같은 대기특성의 변화에 복합적으로 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 따라서 우리나라에서 나타나고 있는 기후변화 특히 일교차의 변동원인을 규명하고 미래의 변동경향을 예측하기 위해서는 지면특성과 대기특성의 변화가 일교차에 미치는 영향을 정량적으로 분석하는 연구가 필요하다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2009-3114)의 지원으로 수행되었습니다. 유익한 지적을 통해 논문의 질을 향상시켜 주신 심사위원님들께 감사드립니다.

참고문헌

- 김경환, 김백조, 오재호, 권원태, 백희정, 2000: 한반도 기온 변화에 나타난 도시화 효과 검출에 관한 연구. *한국기상학회지*, **36**, 519-526.
- 김맹기, 강인식, 광종흠, 1998: 우리나라 대도시 지표기온 변동과 연관된 계절적인 요인들. *한국기상학회지*, **34**, 466-477.
- 김병근, 김유준, 은승희, 최민혁, 2007: 서울 일교차 주말효과와 에어러솔과의 연관성. *대기*, **17**, 147-157.
- 김승욱, 서명석, 광종흠, 2005: 우리나라 지중온도 변동의 기후학적 특성. *한국지구과학회지*, **26**, 93-105.
- 김찬수, 서명석, 2008: 우리나라에서 최근(1976-2005) 강수의 변화시점. *대기*, **18**, 113-122.
- 류상범, 문승의, 조병길, 1993: 남한의 도시화에 따른 기온변동. *한국기상학회지*, **29**, 99-116.
- 이명인, 강인식, 1997: 한반도 기온 변동성과 온난화. *한국기상학회지*, **33**, 429-443.
- 조하만, 조천호, 정귀원, 1988: 서울의 도시화에 따른 기온의 변화. *한국기상학회지*, **24**, 27-37.
- 허창희, 2006: 서울에서 1954-2005년 동안 관측된 설날 귀성에 따른 일교차의 변화. *대기*, **16**, 49-53.
- Braganza, K. J., D. J. Karoly, and J. M. Arblaster, 2004: Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L13217, doi:10.1029/2004GL019998.
- Collatz, G. J., L. Bounoua, S. O. Los, D. A. Randall, I. Y. Fung, and P. J. Sellers, 2000: A mechanism for the influence of vegetation on the response of the diurnal temperature range to changing climate. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 3381-3384.
- Dai, A., K. E. Trenberth, and T. R. Karl, 1999: Effect of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapor on diurnal temperature range. *J. Climate*, **12**, 2451-2473.
- Durre, I., and J. M. Wallace, 2001: The warm season dip in diurnal temperature range over the eastern United States. *J. Climate*, **14**, 354-360.
- Easterling, D. R., B. Horton, P. D. Jones, T. C. Peterson, T. R. Karl, D. E. Parker, M. J. Salinger, V. Razuvaev, N. Plummer, P. Jamason, and C. K. Folland, 1997: Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, **277**, 364-367.
- Forster, P. M. de F., and S. Solomon, 2003: Observations of a "weekend effect" in diurnal temperature range. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, **100**, 11225-11230.
- Gallo, K. P., D. R. Easterling, and T. C. Peterson, 1996: The influence of land use/land cover on climatological values of the diurnal temperature range. *J. Climate*, **9**, 2941-2944.
- Gong, D. Y., D. Guo, and C. H. Ho, 2006: Weekend effect in diurnal temperature range in China: Opposite signals between winter and summer. *J. Geophys. Res.*, **111**, D18113.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001. *IPCC Third Assessment Report*, 34 p.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The physical science basis-summary for policy makers. *IPCC WGI Fourth Assessment Report*, 21 p.
- Kaiser, D. P., 1998: Analysis of cloud amount over China, 1951-1954. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 3599-3602.
- Karl, T. R., P. D. Jones, R. W. Knight, G. Kukla, N. Plummer, V. Razuvaev, K. P. Gallo, J. Lindseay, R. J. Charison, and T. C. Peterson, 1993: A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **74**, 1007-1024.
- Karoly, D. J., and K. Braganza, 2005: Attribution of recent temperature changes in the Australian region. *J. Climate*, **18**, 457-464.
- Makowski, K., M. Wild, and A. Ohmura, 2008: Diurnal temperature range over Europe between 1950 and 2005. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **8**, 7051-7084.
- Ryoo, S. B., W. T. Kwon, and J. G. Jhun, 2004: Characteristics of wintertime daily and extreme minimum temperature over south Korea. *Int. J. Climate.*, **24**, 145-160.
- Stone, D. A., and A. J. Weaver, 2003: Factors contributing to diurnal temperature range trends in twentieth and twenty-first century simulations of the CCCma coupled model. *Clim. Dyn.*, **20**, 435-445.
- Sun, D., R. T. Pinker, and M. Kafatos, 2006: Diurnal temperature range over the United States: A satellite view. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L05705, doi:10.1029/2005GL024780.
- Zhou L., R. E. Dickinson, Y. Tian, J. Fang, Q. Li, R. K. Kaufmann, C. J. Tucker, and R. B. Muneni, 2004: Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **101**, 9540-9544.
- Zhou L., A. Dai, Y. Dai, R. S. Vose, C. Z. Zou, Y. Tian, H. Chen, 2008: Spatial dependence of diurnal temperature range trends on precipitation from 1950 to 2004. *Clim. Dyn.*, DOI 10.1007/s00382-008-0387-5.