

한반도 절기 기온의 기후적 변화와 지리적 특성*

박선엽^{1*} · 이수경²

Climatic Changes and Geographical Characteristics of Solar Term Temperatures in the Korean Peninsula*

Sun-Yurp PARK^{1*} · Su-Kyung LEE²

요 약

24절기는 연중 계절 변화를 기술하기 위해 만들어진 중국의 전통적인 천문학적 구분 방식이다. 본 연구는 지난 40년간의 기상 자료 분석을 통해 한반도 절기 기온이 전반적으로 상승했음을 보여주었다. 북한의 경우 청명, 소설, 대설을 제외한 21개 절기 기온이 모두 상승했으며, 계절별로 봄, 여름, 가을, 겨울에 해당하는 절기의 평균기온은 각각 0.87℃, 1.19℃, 1.45℃, 0.64℃ 상승했다. 가을철 기온 상승의 폭이 커진 결과 여름의 지속 기간이 길어졌고, 겨울에 비해 상대적으로 여름의 기온이 더 큰 폭으로 상승하였다. 남한의 경우, 18개 절기의 기온이 상승했는데, 계절적으로는 가을과 겨울철을 중심으로 상승하였다. 다른 절기에 비해 대설은 기온 하강 폭이 현저히 크게 나타났는데, 이러한 경향은 남북한 차이 없이 공통적인 특징으로 조사되었다. 연중 가장 추운 절기를 나타내는 대한의 기온은 연구 기간 동안 현저한 증가 추세(3.08℃)를 보인 반면, 여름 절기인 소서의 기온 증가 폭은 0.29℃에 그쳐 상대적으로 미미하였다. 최근 연중 극서일과 첫서리일 발생은 남북한 지역 전체적으로 과거에 비해 대서와 상강 절기보다 각각 늦어지는 경향을 보인 반면, 극한일의 발생은 대한 절기보다 일찍 나타나는 추세를 보였다. 연구 기간 동안의 절기별 기온 변화를 분석한 결과, 대서와 상강의 절기 부합도는 북한 지역에서, 대한의 절기 부합도는 남한 지역에서 각각 더 높게 조사되었다.

주요어 : 절기, 계절 변화, 한반도, 절기 부합도

2019년 08월 30일 접수 Received on August 30, 2019 / 2019년 09월 25일 수정 Revised on September 25, 2019 / 2019년 09월 25일 심사완료 Accepted on September 25, 2019

* 이 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2018S1A5A2A03031956)

1 부산대학교 지리교육과, Dept. of Geography Education, Pusan National University

2 부산대학교 대학원, 사회교육학과 지리교육학 전공, The Geography Education Major, Department of Social Studies Education, The Graduate School of Pusan National University

※ Corresponding Author E-Mail : spark@pusan.ac.kr

ABSTRACT

The twenty-four Solar Terms are Chinese traditional astronomical divisions that describe seasonal cycles of the year. Based on the analyses of meteorological data during 1979~2018, study results showed that the temperatures of the Solar Terms had increased in general in the Korean Peninsula. In North Korea, temperature increases were observed on 21 Solar Terms, and their seasonal mean temperatures were increased by 0.87°C, 1.19°C, 1.45°C, and 0.64°C on average in spring, summer, fall, and winter, respectively. The duration of summer has lengthened due to the temperature rise in fall, and the magnitude of temperature change was greater in summer compared to winter. As for South Korea, increases in temperature were observed on 18 Solar Terms, and the temperature changes were more pronounced in fall and winter than spring and summer. The Great Snow temperature decreased more than any other Solar Terms during the study period, and this temperature change was observed both in North and South Korea. The Great Cold, which represents the coldest day of the year, showed a significant temperature increase of 3.08°C, while the Slight Heat had a marginal temperature increase of 0.29°C. The hottest day and the first day of frost tended to come later than the Great Heat and the Frost's Decent. By contrast, the coldest day tended to occur later than the Great Cold in the study area. On average over the entire study period, the climatic fitness of the Great Heat and the Frost's Decent was higher in North Korea, and that of the Great Cold was higher in South Korea, respectively.

KEYWORDS : *Solar Term, Seasonal Cycle, Korean Peninsula, Climatic Fitness*

서 론

동북아시아의 기후변화 속도는 지구 전체 평균을 상회하는 것으로 보고되고 있으며, 우리나라의 온난화 추세 역시 장기 기온 자료를 통해 확인되고 있다(Jung *et al.*, 2002; Choi, 2004; Choi *et al.*, 2008). 여름과 겨울 간의 기온 차이가 현저히 감소하고, 식물의 개엽 시기가 앞당겨지며, 몬순의 패턴이 변화하는 등 지역적 기후변화의 추세에 따라 계절의 시작과 지속 기간, 최난일이나 최한일과 같은 극한 사상의 발생도 사공간적으로 변화하고 있다(Choi *et al.*, 2006; Ho *et al.*, 2006; Linderholm, 2006; Schwartz *et al.*, 2006; Yun, 2006; Choi *et al.*, 2008; Jo and Ahn, 2008; National Institute of Meteorological Sciences, 2009;

Jang, 2012; Hartmann *et al.*, 2013). 중위도 이상 지역에서 연중 최고기온을 나타내는 극서기 중심이 1950년대 이후 시기적으로 일찍 관측될 뿐만 아니라 지리적 특성에 따라서도 상이한 변화상을 보이고 있다는 사실은 국내외 다수의 장기 기후자료 분석 결과를 통해 보고되었다(Lee, 1979; Thomson, 1995; Choi, 2004; Stine *et al.*, 2009). 이러한 계절 변화에 대한 분석 결과들은 자연계절과 같은 통상적인 사계절 구분에 의거한 것이기 때문에, 계절 구분에 대한 기후학적 훈련을 받지 않은 일반인의 판단 기준에서는 계절의 시작과 끝, 계절의 지속기간, 극한 기온의 발생과 빈도와 같은 기상 현상의 통계 분석값이 자신이 체감하거나 인식하는 바와 부합하지 않을 개연성이 크다. 특정 계절이 과거에 비해 현저히 짧아지거나 길어졌다고 느끼는 일반인들의 인식은 기상학적 계절 또는 자

연계절적 구분을 위한 기준에 근거한 판단과는 거리가 있는 것이기에, 일정 기간 연속되는 계절적 단위보다는 특정 시점을 기준으로 한 기후 변화상을 제시하는 것이 기후변화에 대한 대중의 이해를 돕는 보다 직관적이고 합리적인 방법이 될 수 있다.

현실적으로 일정 시기의 기상 또는 기후 현상을 특징적으로 표현함으로써 일반인들이 계절변화를 판단하게 하는 기준 역할을 하는 것은 절기이다. 절기는 연중 태양이 움직이는 궤적인 천구상의 황도를 15° 간격으로 24등분하여 태양이 각 등분점을 지나는 시점으로 정의되며, 우리나라와 중국, 일본, 베트남에서 사용되고 있다. 24절기는 각각 현실생활과 직·간접적으로 연관된 특징적인 의미를 담고 있으며, 계절 변화, 기후, 그리고 농업과 자연현상을 나타내는 절기 등 3가지 유형으로 구분할 수 있다(Ahn and Kang, 2001). 과거 농업 기반 사회와 밀접하게 연관된 절기 구분은 계절의 전환뿐만 아니라 식물계절학이나 농작물의 생육 과정을 구체적으로 제시함으로써 해서 전통 농업 발전에 많은 도움을 주었다(Qian *et al.*, 2012). 중국 동북부 지역에 그 연원을 두고 있는 절기 구분은 지리적인 차이로 인한 기후적인 불일치에도 불구하고 우리나라에서 일반적으로 널리 사용되어 왔다(표 1). 즉, 계절적인 변화 과정이나 혹서와 혹한과 같은 특징적인 기상 현상들은 절기 구분 속에 반영되어 일반인의 계절적 인식 개념으로 기능해 왔다. 개별 절기와 해당 절기의 특징적 기상 현상이 실질적으로 부합하지 못하는 점에도 불구하고 절기법은 현실적으로 일기예보와 같은 대중매체를 통해 일상생활 속에서 여전히 계절변화에 대한 인식 도구로 사용되고 있다.

우리나라 계절구분에 관한 초기 연구는 서울, 부산, 목포, 제주 기상자료를 기초로 한 Lee (1979)에 의해 시작된 바 있으며, 그의 계절구분 기준은 지금도 광범위하게 적용되고 있다. 1980~90년대 들어와서는 상층 기압배치의 영향에 따른 중관기후학적 계절구분이 다수의 연구를 통해 수행되었다(Moon and Um, 1980; Lee, 1995). Moon and Um(1980)의 연구는

한반도를 중심으로 한 기압배치형의 출현 빈도에 따라 모두 11개의 계절을 구분하였는데, 각 계절마다 특징적인 기압배치형이 연속적으로 일정 비율 이상 나타남을 보고하였다. 계절의 개시일과 지속기간에 관한 계절변화상 연구도 2000년대에 꾸준히 이어졌다. 전반적인 연구 결과들은 평균기온 상승에 따른 자연계절의 주기 또는 지속 기간이 장기적으로 변화하고 있으며, 이러한 계절변화의 양상은 대도시 지역뿐 아니라 공간적으로 광범위한 수준에서 차별적으로 나타나는 추세를 반영하였다(Yoo and Kang, 2002; Choi *et al.*, 2006;). 최근 국립기상과학원(2018)은 우리나라를 대상으로 지난 106년(1912~2017년) 간 기온과 강수량 및 계절의 변화를 분석하였다. 연구 결과에 따르면, 최근 30년(1988~2017년) 평균기온과 강수량은 20세기 초(1912~1941년)보다 각각 1.4℃, 124mm 증가했으나 강수일수는 변화가 없었으며, 여름은 19일 길어졌고 겨울은 18일 짧아진 것으로 나타났다. 우리나라 남부를 대상으로 한 지역적 기후 변화 분석에서도 여름철을 제외한 계절 평균기온이 통계적으로 유의한 수준에서 상승한 것으로 나타났다. 특히, 1980년대에서 1990년대 겨울철의 기온 상승이 뚜렷하게 나타났다(Busan Regional Meteorological Administration, 2011; Park, 2011; Park and Tak, 2013).

기상청 국립기상연구소(2010)는 지난 1919~2008년 기간 동안에 관측된 절기 기온을 분석한 결과, 계절적으로 여름철 절기보다 겨울철 절기 기온의 상승이 두드러지게 나타남을 보고하였다. 보다 구체적으로, 우수부터 대서까지의 절기별 평균기온은 분석기간 동안 평균적으로 0.3~3.3℃ 증가한 반면, 기온 하강기에 해당하는 입추부터 대설까지 절기에는 평균기온이 0.5~2.1℃ 상승하여 분석 기간의 절기별 평균기온에 도달하는 시기가 4~8일 가량 늦어졌다. 특히, 소한, 대한, 입춘 절기의 경우, 과거에 비해 평균기온이 2.0~2.8℃ 상승한 결과 최근에는 해당 절기에 해당하는 기존 평균기온이 나타나지 않았다. Jin and Park(2015)은 남한을 대상으로 24절기 기온변화의 시계열 특성과 절기

TABLE 1. The 24 Solar Terms over the year and their traditional meanings

Seasons	Solar Terms	Acronyms	Date	Meaning
Spring	Beginning of Spring	BS1	February 3–5	Spring begins.
	Rain Water	RW	February 18–20	Snow and ice melt to water.
	Waking of Insects	WI	March 5–7	Hibernation ends.
	Spring Equinox	SE	March 20–21	Day and night periods are equal.
	Pure Brightness	PB	April 4–6	Weather becomes bright and clear.
	Grain Rain	GR	April 19–21	Spring rain falls.
Summer	Beginning of Summer	BS2	May 5–7	Summer begins.
	Grain Full	GF	May 20–22	Rain brings up the growth of hundreds of grains.
	Grain in Ear	GE	June 5–7	Wheat should be harvested and rice can be planted.
	Summer Solstice	SS	June 22–24	The subsolar point migrates to the Tropic of Cancer.
	Slight Heat	SH	July 6–8	The weather is hot, but not hottest.
	Great Heat	GH	July 22–24	The time of the hottest weather.
Fall	Beginning of Autumn	BA	August 7–9	Autumn begins.
	Limit of Heat	LH	August 22–24	The hot weather is fading away.
	White Dew	WD	September 7–9	The temperature declines and vapours condenses into white dew.
	Autumnal Equinox	AE	September 22–24	Day and night periods are equal.
	Cold Dew	CD	October 8–9	The temperature declines and the dew becomes colder.
	Frost's Decent	FD	October 23–24	The frost begins to appear.
Winter	Beginning of Winter	BW	November 7–8	Winter begins.
	Light Snow	LS	November 22–23	It starts to snow.
	Great Snow	GS	December 6–8	Snow becomes heavy and accumulates on the ground.
	Winter Solstice	WS	December 21–23	The subsolar point migrates to the Tropic of Capricorn.
	Slight Cold	SC	January 5–7	The weather is cold, but not coldest.
	Great Cold	GC	January 20–21	The time of the coldest weather.

별 실제 기상 현상과의 시·공간적 부합도를 분석하였다. 연구 결과에 따르면, 전반적인 절기 기온이 상승하여 기후 절기에 해당하는 기상 현상의 발생일은 시기적으로 해당 절기와 적지 않은 차이를 나타냈다. 지역별 연평균기온 증가와 함께 극서기는 대서에서 멀어지고 입추와 가까워지는 경향이 나타났으며, 첫서리 발생일도 상강에서 멀어져 계절의 변화가 있음을 확인하였다. 최근 Park(2018)은 서울, 부산, 대구, 대전, 광주, 목포 등 6개 주요 도시를 대상으로 이동평균법을 이용하여 1960~2013년 기간 동안의 24절기 기온 변화를 분석하였는데, 초기 10년에 비해 최근 10년 평균기온이 모든 절기에서 상승했음을 보고하였다. 해외 연구 사례의 경우, Qian *et al.*(2012)은 중국에 분포한 549개 관측소 기상자료를 이용하여 24절기에 대한 계절적 변동을 광범위하게 분석하였다. 연구진에 따르면, 봄철을 중심으로 한 기온 상승기간 내 절

기의 경우, 1960년대에 비해 해당 절기의 평균기온이 6일 이상 앞당겨졌으며, 가을철 기온 하강기간 내 절기의 경우 반대로 5~6일 가량 늦어졌다. 이러한 결과는 전반적인 기후 온난화로 인해 발생하는 계절적 전이에 기인하며, 봄철과 가을철 절기의 경우 상대적으로 더 큰 영향을 받은 것으로 조사되었다. 경칩, 청명, 곡우, 망종과 같이 식물계절과 관련된 절기의 경우 거의 모든 지역에서 온난화의 영향을 받았고, 기후 지역과 절기에 따라 4~16일 정도의 계절적 변동이 나타났다. 무더위, 첫서리, 폭설, 강추위 등 특징적 기상현상의 발생이 이와 관련된 절기와 시기적으로 부합하는 정도가 낮아지는 것은 계절변화를 지시하는 절기의 유용성이 낮아짐을 의미함과 동시에 기후변화의 양상이 구체적인 계절적 특징과 관련되어 나타난다는 측면에서, 한반도의 기후변화에 미치는 지리적, 지형적, 기후적 조건의 영향을 구체적으로 평가할 수 있는

기회를 제공한다(Choi, 1990). 본 연구는 남한을 대상으로 기온에 수행한 1981~2010년 기간 동안의 기후절기 기온 변화 연구 성과(Jin and Park, 2015)를 시공간적으로 확장하였다. 남한과 북한 지역을 포함한 한반도 전체를 대상으로, 최근 40년 동안 나타난 절기별 기온 변화 특징을 파악하고, 극서와 극한, 첫서리 발생과 관련된 기후 절기의 부합도를 비교·분석하는 것이 본 연구의 목적이다.

연구 방법

1. 연구 지역

연구 지역은 남한과 북한을 포함한 한반도 전체이다. 한반도는 지리적으로 위도 33° 06′ 4

3″ N~43° 00′ 42″ N 범위, 경도 124° 11′ 04″ E~131° 52′ 22″ E 범위에 위치해 있으며, 뚜렷한 계절적 특징을 가지고 있다(그림 1). 연구 기간(1979~2018)을 기준으로, 연평균기온은 0.7°C에서 16.6°C에 걸쳐 분포하며, 위도, 고도, 해양의 영향 등 국지적 요인에 따라 영향 받는다. 연평균 강수량 역시 지리적인 차이를 보이는데, 한반도 북부 내륙에서 남부 해양 지역에 걸쳐 567mm~1,980mm 범위의 분포를 나타낸다. 한반도는 동아시아 몬순의 영향을 크게 받아 강수량의 계절적 차이가 큰 편이다. 태평양과 동중국해로부터의 고온다습한 기단의 영향으로 여름은 매우 덥고 습하다. 몬순 기단 시스템과 태풍의 영향으로 연강수량의 60% 이상은 6월과 9월 사이에 발생한다. 겨울철 기후는 시베리아 기단의 지배적인 영향으로 차가운 북서풍

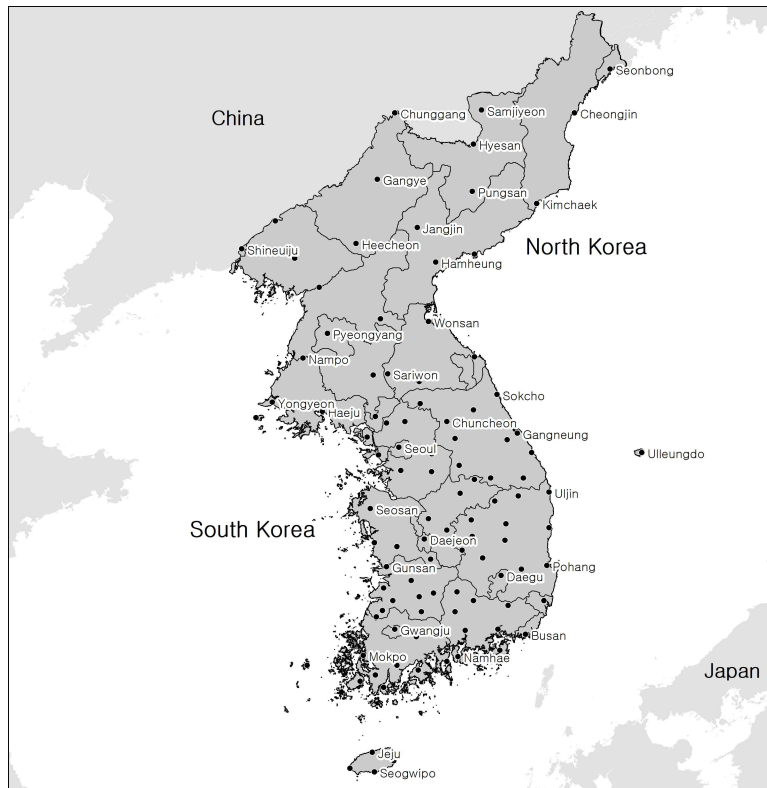


FIGURE 1. The study area. Locations of 87 weather stations are represented by solid dots

의 영향권에 놓이게 되며 강수량은 현저히 감소하여 연강수량의 10%를 넘지 않는다(Lee, 2000; National Geographic Information Institute, 2010).

2. 분석 자료와 방법

본 연구는 한반도 전체를 대상으로 한 절기 기온 분석을 위해 남한과 북한 지역의 87개 관측소 자료를 이용하였다. 남한 지역의 기온 자료는 지난 40년(1979~2018) 기간에 대해 우리나라 기상청 종관기상관측시스템(<http://data.kma.go.kr/>)의 60개 관측소로부터 수집하였고, 같은 기간 동안의 북한 지역 자료는 미국 국가환경정보센터(National Centers for Environmental Information; <http://ncdc.noaa.gov/>)를 통한 27개 관측소 자료를 사용하였다. 두 자료 모두 일평균, 최고 및 최저기온을 포함하는데, 북한 자료에는 시기에 따라 기온 누락치가 존재하였다. 남한 지역에 비해 관측소 수가 적은 북한 지역에 대해서는 수집된 27개 관측 지점 자료를 모두 사용하기 위해 일자료 누락치가 발생한 경우에는 자료 누락일의 전날과 다음날 관측치를 산술 평균하여 내삽하였다. 자료 누락일의 전날 또는 다음날 관측값이 존재하지 않는 경우에는 결측으로 처리하였다.

24개 절기별 기온 변화를 파악하기 위해 연구 기간을 10년 단위의 시기별로 구분한 다음 연구 기간 초반 10년(1979~1988)과 최근 10년(2009~2018) 평균값을 상호 비교하였다. 한반도 전체에 대한 시기별 절기 기온 비교와 더불어 지역적 비교를 위해 남한과 북한 지역에서 각각 나타난 절기 기온 변화상을 분석하였다. 기온의 계절별 주기 변화를 정량적으로 단순화하기 위해 연중 일최고기온 발생일을 '극서일(the hottest day)'로, 일최저기온 발생일을 '극한일(the coldest day)'로 각각 정의하고, 매년 여름철 극서일에서 겨울철 극한일까지의 기간과 극한일에서 다음 극서일까지의 기간을 각각 '기온하강기간(temperature descending period)'과 '기온상승기간(temperature ascending

period)'으로 설정하였다. 개별 절기와 해당 절기가 나타내는 기상 현상과의 부합도를 정량적으로 산출하기 위해 본 연구의 대상으로 삼은 기후 절기는 대서, 상강, 대한 등 3개 절기이다. 이들 절기는 연중 더위가 가장 심한 시기, 서리가 내리기 시작하는 시기, 추위가 가장 심한 시기를 나타내기 때문에, 각각 연중 일최고기온, 첫 영하 일최저기온, 연중 일최저기온과 같은 기상 관측값과 정량적으로 상호 비교할 수 있을 것으로 판단하였다(표 1). 산출된 절기별 부합도는 각각의 관측지점별로 ESRI ArcGIS 소프트웨어 프로그램 version 10.5를 사용하여 도형표현도로 지도화하였다.

결과 및 논의

1. 절기별 기온 변화

연구 기간 동안 남북한 전체를 대상으로 한 일평균기온 분석 결과, 최고기온은 입추(25.1°C)에서, 최저기온은 대한(-2.9°C)에서 각각 나타났다(표 2, 그림 2). 극서기 절기에 해당하는 대서(24.6°C)에 비해 다소 높은 기온을 기록한 입추는 지역적으로 제주(27.5°C)에서 최고를 나타냈으며, 북한 삼지연(17.3°C) 관측소에서 최저를 보였다. 대한 절기의 경우, 지역적으로는 서귀포(6.8°C)에서 최고기온을, 삼지연에서(-17.9°C) 최저기온을 기록했다.

연구 기간 중 초반 10년(1979~1988)과 최근 10년(2009~2018)을 나누어 평균기온을 비교해 볼 때, 과거에 비해 절기별로 기온 변화량은 -1.8°C~3.1°C 범위로 조사되었다. 기온 상승과 하강 폭이 가장 큰 절기는 각각 대한(3.1°C)과 대설(-1.8°C)로 나타났다. 24개 절기를 계절별로 평균하여 비교한 결과, 한반도 전체로 볼 때 가을(1.48°C)>겨울(1.01°C)>여름(0.99°C)>봄(0.86°C)의 순으로 기온 변화 양상이 나타났다. 흥미로운 점은, 초반 10년과 최근 10년 평균기온을 비교했을 때, 남한과 북한에서 관측된 계절별 절기의 평균기온 변화 폭이 서로 상이하게 나타난 것이다. 즉, 남한의 경우, 계절

TABLE 2. The mean temperatures(°C) during the first decade(1979~1988), recent decade(2009~2018), and all period(1979~2018) for each solar term

Solar Terms	North Korea				South Korea				Both			
	1979~1988	2009~2018	change	1979~2018	1979~1988	2009~2018	change	1979~2018	1979~1988	2009~2018	change	1979~2018
BS1	-8.7	-6.4	2.3	-7.1	-2.8	0.0	0.7	-0.8	-4.6	-2.0	2.6	-2.7
RW	-4.2	-4.1	0.1	-3.3	1.5	1.4	-0.1	2.0	-0.3	-0.4	-0.1	0.4
WI	-2.7	-0.3	2.4	-0.9	2.4	5.4	3.0	4.0	0.9	3.7	2.8	2.5
SE	2.5	2.6	0.1	2.7	7.6	6.9	-0.7	7.3	6.1	5.6	-0.5	5.9
PB	7.4	6.3	-1.1	7.1	10.8	10.3	-0.5	10.5	9.7	9.1	-0.7	9.5
GR	8.9	10.4	1.5	10.1	12.2	13.0	0.8	13.0	11.2	12.2	1.0	12.1
BS2	11.7	13.9	2.2	13.2	15.6	16.9	1.3	16.2	14.4	16.0	1.6	15.3
GF	15.6	16.4	0.8	15.7	17.8	18.5	0.7	18.2	17.1	17.9	0.8	17.4
GE	17.9	18.6	0.7	18.3	20.8	21.2	0.4	20.6	19.9	20.4	0.5	19.9
SS	19.7	20.6	0.9	20.0	21.9	23.1	1.3	22.2	21.2	22.3	1.1	21.5
SH	20.7	22.0	1.3	21.6	23.3	23.2	-0.2	23.3	22.5	22.8	0.3	22.8
GH	21.8	23.1	1.3	22.9	24.1	26.0	1.9	25.4	23.4	25.1	1.7	24.6
BA	22.6	24.4	1.9	23.4	25.2	27.0	1.8	25.9	24.4	26.2	1.8	25.1
LH	21.5	22.3	0.9	21.8	23.7	25.3	1.6	24.4	23.0	24.4	1.4	23.6
WD	18.3	19.4	1.1	19.3	21.0	21.7	0.7	22.0	20.2	21.0	0.8	21.1
AE	15.2	16.3	1.1	15.9	18.7	19.5	0.8	19.0	17.6	18.5	0.9	18.1
CD	13.1	13.9	0.8	13.0	16.5	17.6	1.1	16.5	15.4	16.4	1.0	15.4
FD	7.0	10.0	3.0	9.0	11.1	14.0	2.9	12.8	9.8	12.7	3.0	11.6
BW	5.1	7.9	2.7	5.8	10.2	12.9	2.7	10.8	8.6	11.3	2.7	9.3
LS	1.4	0.3	-1.1	0.8	6.9	6.6	-0.3	6.3	5.2	4.7	-0.5	4.6
GS	-2.7	-5.2	-2.5	-3.0	2.8	1.4	-1.4	2.8	1.1	-0.6	-1.8	1.0
WS	-5.0	-3.7	1.3	-4.4	0.9	2.6	1.6	1.9	0.9	0.6	1.5	0.0
SC	-8.7	-8.2	0.5	-7.6	-2.2	-0.9	1.3	-0.8	-4.2	-3.1	1.1	-2.9
GC	-9.2	-6.3	2.9	-7.7	-2.3	0.9	3.2	-0.7	-4.4	-1.3	3.1	-2.9

별 절기 기온 변화의 크기가 남북한 전체 평균과 같은 순(가을>겨울>여름>봄)으로 나타난 반면, 북한의 경우에는 겨울철의 기온 상승 폭이 상대적으로 낮게 나타난 결과, 가을(1.45°C)>여름(1.19°C)>봄(0.87°C)>겨울(0.64°C) 순으로 조사되었다. 전반적으로 계절별 절기 기온은 뚜렷한 상승 경향을 보였지만, 절기별로 분석했을 때, 춘분(-0.48°C), 청명(-0.67°C), 소설(-0.52°C), 대설(-1.77°C) 등의 절기에서는 과거에 비해 평균기온이 오히려 감소하였다. 특히, 다른 절기에 비해 대설의 기온 하강 폭은 현저히 크게 나타났다. 이러한 경향은 남북한 차이 없이 공통적인 특징으로 조사되었고, 남한(-1.42°C)에 비해 북한(-2.53°C) 지역의 기온 변화량이 상대적으로 크게 나타났다. 반면, 대부

분의 절기에서는 평균기온이 상승했는데, 연구기간 동안 기온 상승 폭이 큰 절기는 대한(3.08°C)>상강(2.95°C)>경칩(2.80°C)>입동(2.69°C)>입춘(2.57°C) 등의 순으로 조사되었고, 곡우(0.99°C), 소만(0.76°C), 망종(0.50°C), 소서(0.29°C) 등의 절기는 기온 상승 폭이 상대적으로 작은 절기로 나타났다(그림 3). 이러한 절기별 평균기온 변동은 분석 기간이나 지역에 따라 통계적으로 상이하게 나타날 수 있을 것으로 판단된다. 예를 들어, 지난 54년(1960~2013) 동안의 절기 기온 변화를 분석한 Park(2018)의 최근 연구 결과에 따르면, 1960년대에 비해 최근 10년(2004~2013) 평균기온이 봄철을 중심으로 상승하였다. 특히, 분석 대상 6개 도시(서울, 부산, 대구, 대전, 광주, 목포) 모두에서 봄

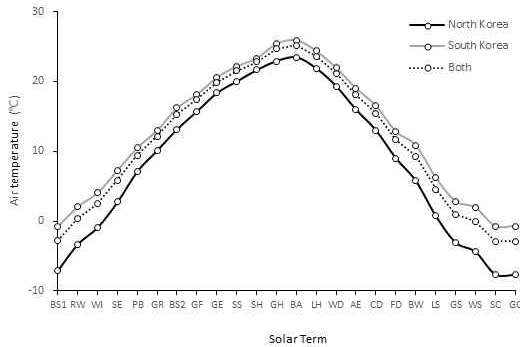


FIGURE 2. Mean temperatures of the 24 solar terms(1979~2018)

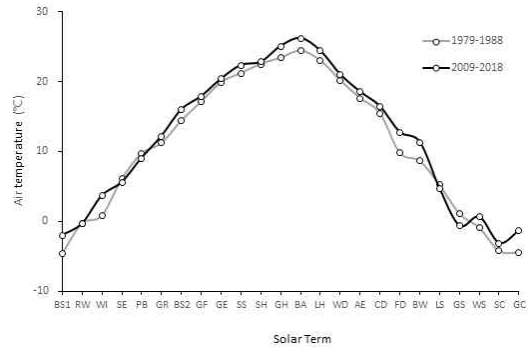


FIGURE 3. Comparison of the mean temperatures of 24 solar terms between the early decade(1979~1988) and the recent decade(2009~2018)

철 절기인 우수의 평균기온이 가장 큰 폭으로 (범위 1.1~2.7℃) 상승한 것으로 나타났다. 하지만, 본 연구에서는 전체 87개 지점 관측소 중 과거 10년(1979~1988)에 비해 최근 10년(2009~2018)간의 우수 절기 평균기온이 상승한 곳은 39개 지점(44.8%)에 불과했고, 이외 지점에서는 오히려 기온 감소 현상이 관측되어 전체 평균으로 보아 우수 절기 기온 변화 폭은 미미하였다(-0.06℃).

연구 기간 전체를 대상으로 한 10년 당 기온 변화율을 살펴보면, 상강과 대한 절기가 높은 증가율(각각 0.96℃/10년, 0.93℃/10년)을 보인 반면, 대설은 큰 폭의 기온 감소를 보였고 변화율은 -0.78℃/10년(남한=-0.66℃, 북한=-1.03℃)으로 관측되었다. 기온 감소율이 크게 나타난 상위 10개 지점은 모두 북한 지역 관측소(풍산, 삼지연, 중강, 사리원, 선봉, 강계, 장진, 용연, 개성, 청진)로 분석되었고, 남한 지역에서는 속초, 추풍령, 서울, 문경, 대관령, 춘천, 울릉도, 제천, 인제, 완도 등의 순위로 나타났다. 통계 분석 결과, 대설 절기에서의 기온 감소는 전체적으로 평균기온이 낮은 지점일수록 크게 나타났다($r=0.706$, $p<0.01$). 우수(0.06℃/10년)와 춘분(-0.07℃/10년) 절기의 기온 변화는 상대적으로 미미하게 나타나 지난 40년

간 평균기온 변화는 크지 않았다.

2. 절기 기온의 남북한 비교

절기별 기온을 남한과 북한으로 나누어 비교해보면, 전반적으로 두 지역 모두에서 과거 기온과 비교해 최근 기온이 상승한 것을 알 수 있다. 북한은 청명, 소설, 대설 절기를 제외한 21개 절기에서 기온이 상승했는데, 계절별로는 가을(1.45℃)>여름(1.19℃)>봄(0.87℃)>겨울(0.64℃)의 순으로 나타났다(그림 4-a). 계절 변화의 기준이 되는 평균기온 20℃ 이상의 절기가 과거 소서에서 최근에는 하지로 앞당겨져 여름의 시작이 빨라졌음을 알 수 있다. 과거와 최근 기간 모두에서 가장 높은 평균기온을 가진 절기는 입추이며, 최근 10년(2009~2018) 기간 동안의 평균기온은 초반(1979~1988)와 비교하여 1.87℃ 상승하였다. 초반 10년에 비해 최근 10년 기간 동안 기온 상승이 가장 컸던 절기는 상강(2.97℃)으로 나타난 반면 가장 작았던 절기는 우수(0.08℃)로 조사되었다. 따라서 기온 상승 폭은 절기별로 비교적 큰 차이를 보여주었다. 과거 가장 낮은 평균기온을 보인 절기는 대한(-9.2℃)이었으나, 최근에는 소한 절기(-8.2℃)로 앞당겨진 결과를 보였다. 이는 대한 절기(2.91℃)의 기온 상승 폭이 소한 절기

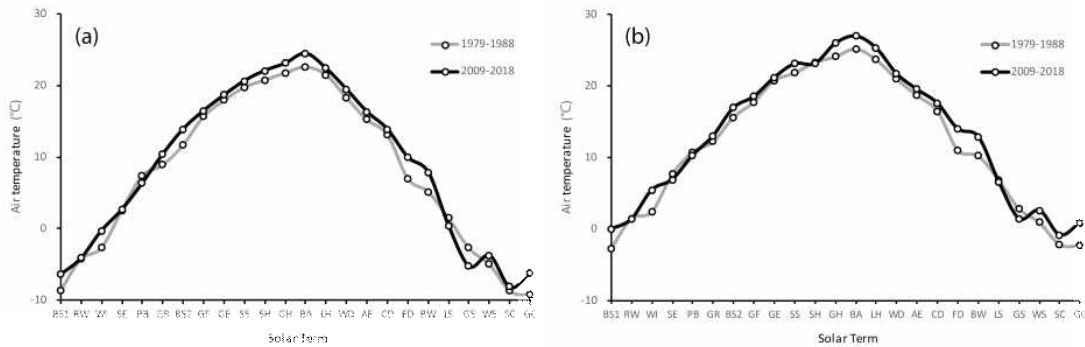


FIGURE 4. Mean temperatures of 24 solar terms in North(a) and South(b) Korea over the two different decades

(0.53℃)에 비해 현저히 컸던 결과로 풀이된다. 평균기온이 크게 하강한 절기는 소설(-1.08℃)과 대설(-2.53℃)이었고, 이는 남북한이 동일한 경향을 보였다.

남한은 우수, 춘분, 청명, 소서, 소설, 대설을 제외한 18개 절기의 기온이 상승했다(그림 4-b). 계절별 기온 상승 폭은 가을(1.49℃)>겨울(1.18℃)>여름(0.90℃)>봄(0.86℃)의 순으로 나타나 북한 지역 절기의 계절별 기온 변화와는 다른 양상을 보여주었다. 즉, 북한 지역의 기온 상승이 여름과 가을철에서 높게 나타난 반면, 남한 지역의 기온 상승은 가을과 겨울을 중심으로 이루어졌다. 또, 평균기온 20℃를 넘어서는 절기는 초반과 최근 기간 모두에서 망중으로 나타나 북한 지역에 비해 남한 지역의 여름철 시작 시기는 상대적으로 변화가 적었다. 북한 지역(하지)에 비해 남한(망중)의 여름은 절기상 일찍 시작되지만 연중 극서기는 남북한 모두 입추 절기(2009~2018 기간 평균, 남한=27.0℃, 북한=24.4℃)에서 관측되었고, 과거 기간에 대한 입추 절기의 기온변화 폭도 유사하였다(남한=1.78℃, 북한=1.87℃). 가장 낮은 평균기온을 가진 절기는 과거 입춘(-2.8℃)에서 최근 소한(-0.9℃)으로 나타나 북한 지역에 비해 겨울철 극한기의 발생 시기가 상대적으로 크게 앞당겨졌다. 특히, 남한 지역의 경우 24개 절기 중 평균기온이 영하에 머물렀던 절기는 과거에 입춘(-2.8℃), 소한(-2.2℃), 대한(-2.

3℃) 등 3개였던 반면, 최근에는 소한(-0.9℃) 절기에서 유일하게 영하의 평균기온을 나타냈다. 평균기온이 가장 많이 상승하거나 하강한 절기는 각각 대한(3.16℃)과 대설(-1.42℃)이었고, 기온 변화가 미미했던 절기로는 우수(-0.12℃)와 소서(-0.15℃)로 조사되었다.

3. 주요 기후 절기의 부합도

남한 지역을 대상으로 한 최근의 절기 기온 분석 결과는, 무더위와 강추위, 그리고 첫서리 발생일이 이와 관련된 절기 즉, 대서, 대한, 상강과 시기적으로 부합하지 않아 계절 변화상을 지시하는 절기의 현실적 유용성이 전체적으로 높지 않음을 보여주었다(Jin and Park, 2015). 한반도 전체를 과거(1979~1988년) 10년과 최근 10년(2009~2018년)으로 나누어 비교해 보았을 때, 무더위와 첫서리 발생을 나타내는 대서와 상강 절기에 비교하여 해당 기상 현상의 발생은 과거에 비해 최근에 와서 큰 폭으로 늦어지는 경향을 보였다. 과거 극서일은 대부분 지역(71.3%)에서 대서 절기 ±1주 이내에 발생했지만, 최근에는 그 부합도가 32.2%로 떨어졌고, 극서일이 대서보다 2주 이상 늦게 나타나는 비율은 과거 16.1%에서 최근 58.6%로 증가하였다(그림 5-a). 따라서 연중 극서일의 발생은 대서 절기를 벗어나 입추 쪽으로 이동했음을 알 수 있다.

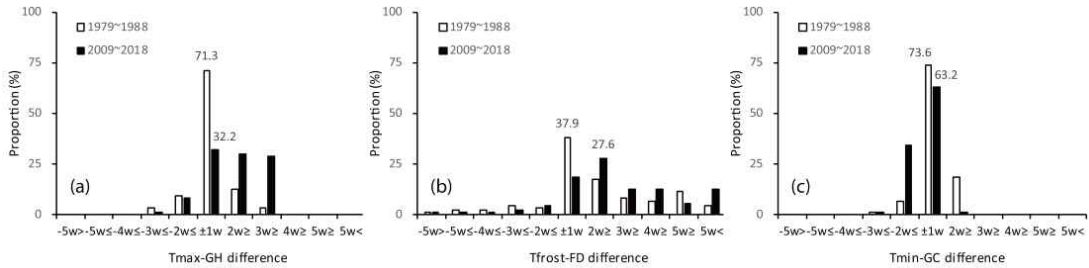


FIGURE 5. Climatic fitness of the Great Heat(a), Frost's Decent(b), and Great Cold(c) during the early(1979~1988) and recent(2009~2018) decades. Deviations of maximum temperature(Tmax), first frost(Tfrost), and minimum temperature(Tmin) about Great Heat(GH), Frost's Decent(FD), and Great Cold(GC) are represented respectively in days.

첫서리 현상은 과거 상강 절기 주위 1주 이내 시기에서 발생하는 비율이 37.9%였으나, 최근에는 그 비율이 18.4%로 감소하였고, 2주 이상 늦어진 비율은 과거 48.3%에서 최근 71.3%로 증가하였다(그림 5-b). 특히, 상강 절기보다 첫서리 발생이 3주 이상 늦어지는 지역이 전체의 31%에서 최근 43.7%로 크게 높아진 점으로 볼 때, 최근의 온난화로 인한 여름지속 기간이 늘어남으로 인해 첫서리일의 발생이 크게 영향 받고 있음을 알 수 있다.

대한 절기는 다른 절기에 비해 최한일의 발생과 상대적으로 잘 부합하는 결과를 보였지만, 시기별로 부합도의 변화가 관측되었다. 즉, 과거에는 극한일이 대한 절기 주위 ±1주 이내에 발생하는 경우가 전체의 73.6%에 달했지만, 최근

에는 그 비율이 63.2%로 떨어진 반면, 2주 이상 앞당겨진 지역이 35.6%를 차지하였다(그림 5-c). 또, 대한 절기에 비해 극한일 발생이 2주 이상 늦어지는 경우는 과거 18.4%에서 최근 1.1%로 현격하게 줄어들었다. 이것은 한반도 전체로 보아 극한일의 발생이 과거에 비해 시기적으로 앞당겨지는 곳이 증가함을 보여준다. 지난 40년 동안 한반도에서 관측된 극서일과 극한일의 발생을 평균하여 비교한 결과, 극서일은 10년 당 1.6일이 늦어졌고, 극한일은 2.8일 가량 빨라지는 상반된 결과를 보였다(그림 6-a; 극한일 발생의 경우 당해 연도에 이듬해를 연장하여 julian 일수를 표시함). 따라서 극한일에서 극서일까지의 기온 상승기간(ascending period)은 평균적으로 증가 추세를 나타냈고, 극서일에

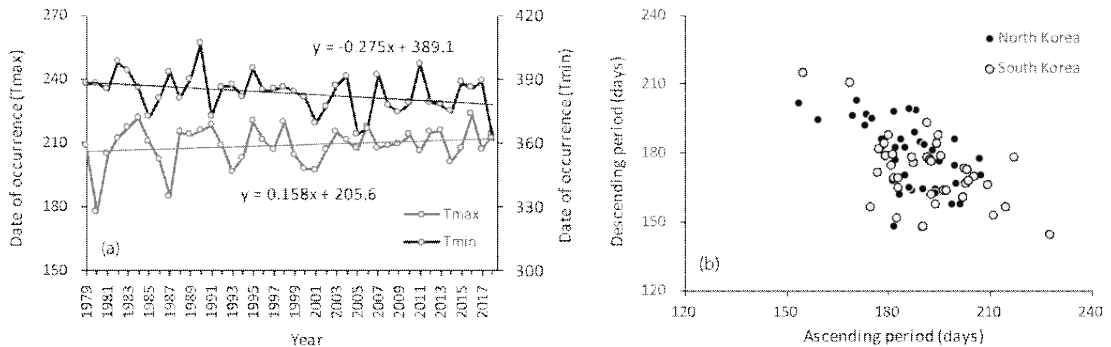


FIGURE 6. Julian days of the highest(Tmax) and lowest(Tmin) daily temperatures(a) and the duration of temperature ascending and descending periods(days)(b)

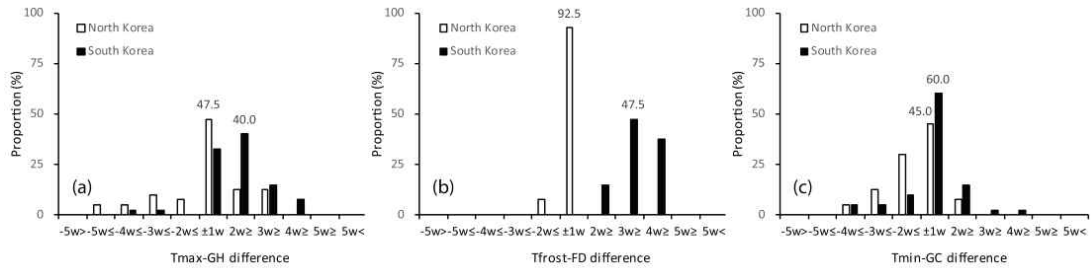


FIGURE 7. Temporal offset of the hottest day(Tmax), coldest day(Tmin), and first frost day(Tfrost) from the Great Heat(GH; a), Frost's Decent(FD; b), and Great Cold(GC; c) in North and South Korea

서 극한일까지의 기온 하강 기간(descending period)은 상대적으로 감소하는 경향이 남한과 북한 지역 모두에서 관측되었다(그림 6-b). 우리나라 극한 사상의 변화를 다룬 Choi *et al.*(2008)의 연구 결과에서도 시계열적으로 여름철 더위 발생 빈도 증가율이 겨울철 추위 발생 빈도의 감소율보다 더 높게 나타나 극한 사상의 변화가 계절적으로 비대칭적으로 관측된 점을 보고하였다. 즉, 기온의 상승 기간의 증가로 인해 기온 하강 기간이 상대적으로 줄어들면서 기후 온난화에 따른 무더위의 발생 빈도는 늘어나고 강추위의 발생 빈도는 줄어드는 상호 연관성을 보여준 것으로 판단된다.

지난 40년 동안 남한과 북한 지역에서 관측된 기후 절기별 평균기온을 비교하여 살펴보면, 연중 극서일 발생이 가장 빈번했던 시기는 북한의 경우 대서 절기 주위 ±1주 이내 기간으로 그 발생 비율은 47.5%로 나타났다. 남한 지역의 경우, 극서일 발생 빈도가 가장 높았던 시기는 대서 절기 2주 이상 3주 미만 기간으로 전체 기간의 40.0%로 조사되었다. 남한 지역에서 극서일이 전체적으로 늦게 나타나는 것은 북한에 비해 여름철이 길어, 극서일의 발생이 대서 절기에 비해 늦게 나타날 개연성이 높아지기 때문으로 판단된다. 극한일 발생은 남한과 북한 지역 모두에서 대한 절기 ±1주 이내에 나타난 비율이 가장 높았는데, 북한(45.0%)에 비해 상대적으로 남한(60.0%) 지역의 절기 부합도가 높았다. 첫서리 발생일과 상강 절기를 상호 비

교한 결과, 북한 지역에서는 상강 1주 이내에 첫서리가 발생하는 비율은 92.5%로 나타나 절기 부합도가 매우 높았다. 남한 지역에서는 이와 다른 결과가 나타났는데, 첫서리 발생일이 상강 절기보다 2주~4주가량 늦게 나타났으며, 주 단위로 보아 상강 절기보다 3주 이상 4주 미만 늦어진 기간에 발생한 비율(47.5%)이 가장 높았다(그림 7). 이는 평균기온이 20℃ 미만으로 떨어지는 절기를 대상으로 할 때, 북한 지역은 백로(9월 7~9일) 절기에, 남한 지역은 추분(9월 22~24일) 절기에 각각 해당되어, 북한 지역에 비해 남한 지역의 가을이 늦게 시작되는 지리적 차이가 그대로 반영된 결과이다.

연구 기간(1979~2018) 동안의 절기 부합도를 관측소별로 평균하여 그 지리적 분포를 나타내면 그림 8과 같다. 북한 지역의 극서일은 대서 절기보다 일찍 관측되는 것으로 나타났는데, 일부 내륙 지역을 제외하고는 전반적으로 대서 절기와 극서일 발생일 간의 부합도는 높게 조사되었다. 남한 지역의 극서일은 대부분 대서보다 늦게 발생했음을 파악할 수 있고, 중부 내륙, 서해안 및 남해안 지역에서 절기 부합도는 상대적으로 낮았다. 그림 9-a는 대서 절기에 대한 극서일의 편차 절대값(대서를 기준으로 극서일이 먼저 또는 나중에 발생하는 것을 고려하지 않은, 절기에 대한 절대적 일차)을 4분위(quantiles) 구분하여 나타낸 것인데, 절기 부합도는 북한 내륙 일부, 남한 중부 내륙, 서해안 및 남해안 지역에서 상대적으로 낮게 나타났다.

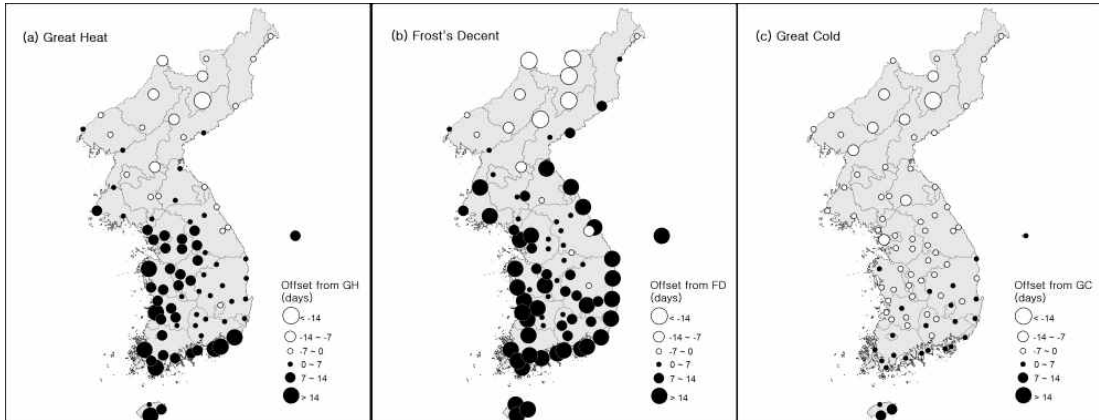


FIGURE 8. Geographical distributions of climatic fitness of the Great Heat(GH; a), Frost's Decent(FD; b), and Great Cold(GC; c) during the study period(1979~2018)

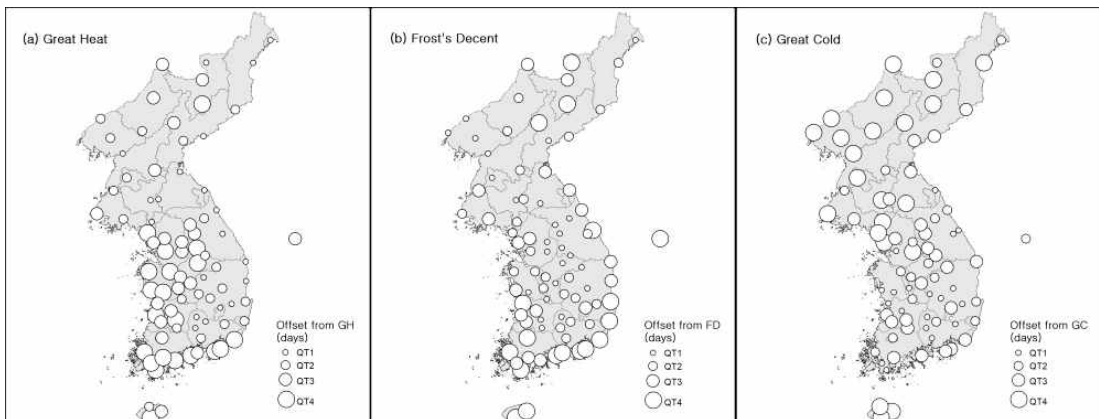


FIGURE 9. Quantiles of the absolute deviations (or offset) of the hottest, coldest, and first frost days about the three climatic solar terms (Great Heat (GH; a), Frost's Decent (FD; b), and Great Cold (GC; c))

상강 절기에 대한 북한 지역의 첫서리 발생일은 일부 해안 지역을 제외하고 대부분 절기에 앞서 나타났다. 특히, 내륙 산악 지역의 첫서리 발생은 상강에 비해 현저히 앞서는 것으로 조사되었다. 한반도 전체로 볼 때, 해안 지역을 따라 첫서리 발생은 상강보다 늦게 나타나는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 상강에 대한 첫서리일의 편차 절대값 분포(그림 8-b, 그림 9-b)에서도 절기 부합도가 낮게 나타난 지역은 북한 내륙 산악 지역을 제외하고는 대부분 해안을 따라 집중된 패턴

을 보였다. 앞서 논의한 바와 같이, 연중 극한일은 그 발생 시기가 점차 앞당겨지는 추세를 나타냈기 때문에, 절기 부합도 분포에서도 남한의 남부를 제외한 한반도 전역에 걸쳐 대한과 극한일 간의 편차는 음의 값을 보였다(그림 8-c). 대한 절기에 대한 극한일의 편차 절대값을 기준으로 절기 부합도를 평가해 보면, 한반도 남부에서 북부 지역으로 갈수록 절기 부합도가 감소했다. 북한 지역의 극한일은 대부분 대한 절기보다 앞서 발생하는 경향이 연구 지역

평균에 비해 상대적으로 큰 반면, 남한 지역의 절기 부합도는 제주 지역과 일부 주요 도시 지역 이외의 지역에서 비교적 높게 나타났다(그림 9-c).

결론

24절기는 중국 화북 지방을 기준으로 만들어져 다양한 기후 현상과 계절 변화를 현실에서 인식하고 농업 활동에 적용하는 데에 유용하게 사용되어온 전통적인 천문학적 구분 방식이다. 이는 우리나라와 중국 등 일부 국가에서 제한적으로 사용되는 계절 구분법이지만, 각 절기의 의미는 일상적인 기상 정보의 전달과 소통에 일반적으로 활용되고 있다. 한반도를 포함한 동북아시아의 온난화 속도는 세계 평균치를 상회하고 있고 계절적 차별성이 뚜렷하게 나타나고 있음을 감안할 때 계절의 시작, 극서기와 극한기의 시작과 지속기간 등 기후변화와 관련된 절기 기온의 변화가 갖는 자연환경적, 사회경제적 영향은 점차 커질 것으로 전망된다(Regonda *et al.*, 2005; Zheng *et al.*, 2006; Hamilton *et al.*, 2007). 특히, 봄의 시작이 앞당겨지고 겨울 기온의 상승하면서 적설량 감소에 따른 지표의 건조화가 발생하고 계절적인 가뭄과 산불 발생 등 재해로 이어질 가능성이 높아지고 있다. 따라서 지역적으로 상이하게 나타나는 기온 변화상을 시기적으로 세분화된 절기 단위로 파악하는 일은 절기 현상의 현실적 부합도를 평가하는 것 이상의 중요성을 갖는다(Gao *et al.*, 2006; Westerling *et al.*, 2006; Trenberth *et al.*, 2007; Choi and Kwon, 2008; Lee and Choi, 2013; Cooper *et al.*, 2016).

지난 40년간의 기상 자료 분석 결과에 따르면, 일부 절기를 제외한 한반도 절기 기온은 전반적으로 상승하였다. 기온 상승 경향을 보인 절기의 수는 남한(18개)에 비해 북한(21개) 지역에서 높게 나타났다. 한 가지 특징적인 결과는, 24절기를 계절별로 구분하여 비교한 결과 북한 지역에서는 여름과 가을을 중심으로 평균 기온이 상승한 반면 남한 지역에서는 상대적으로

로 가을과 겨울의 기온 상승 폭이 높게 나타났다. 절기로 볼 때, 남한과 북한 지역 모두에서 최고기온이 관측된 절기는 입추로 나타났다. 연구 기간 중 최저기온을 나타낸 절기는 지역별로 변동이 있었는데, 남한 지역에서는 입춘에서 소한으로, 북한 지역에서는 대한에서 소한으로 각각 앞당겨졌다. 절기상 가장 추운 시기를 나타내는 대한의 기온은 뚜렷한 증가 추세를 보인 반면, 한여름 절기인 소서의 기온 증가 폭은 상대적으로 미미하였다. 반대로 몇몇 절기에서는 평균기온이 하강한 것으로 나타났는데, 남북한 공통적으로 평균기온이 하강한 절기는 청명, 소설, 대설 등 세 절기로 조사되었다. 특히, 대설은 다른 절기에 비해 기온 하강 폭이 현저히 크게 나타났다(남한=-1.42℃, 북한=-2.53℃). 하지만, 기온 상승 폭이 매우 컸던 상강(남한=2.94℃, 북한=2.97℃)이나 대한(남한=3.16℃, 북한=2.91℃) 절기에서의 기온 변동에 비해 대설 절기의 기온 변동 폭은 상대적으로 작았다.

평균적으로 극서일은 10년당 1.6일 늦어지고 극한일은 10년당 2.8일이 앞당겨진 점으로 볼 때, 한반도의 온난화로 인한 여름철 지속 기간의 증가와 겨울철 지속 기간의 감소 추세가 이어져 더위의 발생 빈도는 증가한 반면 추위의 발생 빈도는 낮아진 것으로 판단된다. 남북한 지역에 걸친 온난화의 영향으로 연중 극서일과 첫서리 발생일은 과거에 비해 늦어져 대서-극서일 간, 상강-첫서리일 간의 부합도는 높지 않았다. 극한일과 대한 절기 간의 부합도는 상대적으로 높게 나타났으나, 극한일이 대한 절기보다 일찍 발생하는 비율은 과거에 비해 높아졌다. 또, 남한과 북한의 절기별 평균기온 변화를 분석한 결과, 대서와 상강 절기의 부합도는 북한 지역에서, 대한 절기의 부합도는 남한 지역에서 각각 더 높게 조사되었다. 이러한 한반도 지역의 절기 기온 변화상은 분석 대상 지역과 분석 기간에 따라 서로 차이를 보일 수 있다는 사실을 감안할 필요가 있다. 이는 위도, 고도, 해양의 영향 등 기온 변화에 영향을 주는 요소에 따라 지역적으로 기온 상승 또는 하강의 추세와 속도가 차별적으로 나타나기 때문이다. 본

연구에서 분석된 주요 기후 절기의 부합도는 과거에 비해 전반적으로 낮아지는 경향을 보여, 실생활에서 개별 절기의 특징과 의미를 해당 기상 현상의 발생 가능성에 직접적으로 적용하기는 어렵다고 판단된다. 다만, 각 절기 기온이 과거의 평균기온에 이르는 시점이 절기에 따라 점차 앞당겨지거나 늦어지고 있고, 이러한 경향은 위도, 지형, 대륙도 등 지리적 조건별로 차이를 보이기 때문에, 이러한 지역적 특성을 고려하여 적용한다면 일상생활뿐만 아니라 농업과 관광 등 다양한 인간 활동을 위한 현실적인 유용성을 가진 정보로서 절기 사용이 유의미하게 기능할 수 있을 것이다. **KAGIS**

REFERENCES

- Ahn, J.E. and J.S. Kang. 2001. Study on the 24 seasonal divisions. *Journal of Physiology & Pathology in Korean Medicine* 15(5):669-676 (안중은, 강정수. 2001. 24절기에 관한 연구. *동의생리병리학회지* 15(5):669-676).
- Busan Regional Meteorological Administration. 2011. Reports on Regional Climate Changes. Korea Meteorological Administration (부산지방기상청. 2011. 지역기후변화보고서. 기상청).
- Choi, G. and W.-T. Kwon. 2008. Current and future changes in the type of wintertime precipitation in South Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* 43(1):1-19 (최광용, 권원태. 2008. 현재와 미래 우리나라 겨울철 강수형태 변화. *대한지리학회지* 43(1):1-19).
- Choi, G., W. Kwon, K. Boo, and Y. Cha. 2008. Recent spatial and temporal changes in means and extreme events of temperature and precipitation across the Republic of Korea. *Journal of Korean Geographical Society* 43(5):681-700 (최광용, 권원태, 부경은, 차유미. 2008. 최근 우리나라 기온 및 강수 평균과 극한 사상의 시·공간적 변화. *대한지리학회지* 43(5):681-700).
- Choi, G., W.-T. Kwon, and D.A. Robinson. 2006. Seasonal onset and duration in South Korea. *Journal of Korean Geographical Society* 41(4):681-700 (최광용, 권원태, D.A. Robinson. 2006. 우리나라 사계절의 개시일과 지속기간. *대한지리학회지* 41(4):435-456).
- Choi, J.S. 1990. The classification of snowfall area and its regional characteristics of South Korea. *Journal of Korean Geographical Society* 25(1):35-48 (최진식. 1990. 남한의 강설지역 구분과 강설의 지역적 특성. *지리학* 25(1):35-48).
- Choi, Y. 2004. Trends on temperature and precipitation extreme events in Korea. *Journal of Korean Geographical Society* 39(5):711-721 (최영은. 2004. 한국의 극한 기온 및 강수 사상의 변화 경향에 관한 연구. *대한지리학회지* 39(5):711-721).
- Cooper, M.G., A.W. Nolin, and M. Safeeq. 2016. Testing the recent snow drought as an analog for climate warming sensitivity of Cascades snowpacks. *Environmental Research Letters* 11: doi:10.1088/1748-9326/11/8/084009.
- Gao, W., Q. Lu, Z. Gao, W. Wu, B. Du, and J. Slusser. 2006. Analysis of temporal variations of surface albedo from MODIS. *Proceedings of SPIE* 6298, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability III 62981G(September 27, 2006):doi:10.1117/12.676197.

- Hamilton, L.C., C. Brown, and B.D. Keim. 2007. Ski areas, weather and climate: time series models for New England case studies. *International Journal of Climatology* 27:2113–2124.
- Hartmann, D.L., A.M.G. Klein Tank, M. Rusticucci, L.V. Alexander, S. Brönnimann, Y. Charabi, F.J. Dentener, E.J. Dlugokencky, D.R. Easterling, A. Kaplan, B.J. Soden, P.W. Thorne, M. Wild, and P.M. Zhai. 2013. Observations: Atmosphere and Surface. In: T.F. Stocker *et al.*(ed.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 187–189pp.
- Ho, C.-H., E.-J., Lee, I. Lee, and S.-J. Jeong. 2006. Earlier spring in Seoul, Korea. *International Journal of Climatology* 26:2117–2127. DOI: 10.1002/joc.1356.
- Jang, G.-S. 2012. Comparing a perspective on the leaf burst timing and leaf growth performance of major plants observed in urban forests. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 15(2):127–136 (장갑수. 2012. 도시녹지 내 주요 식물상의 개엽시기 및 잎의 성장 특성 비교. *한국환경복원기술학회지* 15(2):127–136).
- Jin, M. and S. Park. 2015. Temperature changes of climatic Solar Terms and their spatiotemporal characteristics in South Korea. *Journal of Korean Geographical Society* 50(1):23–36 (진미정, 박선엽. 2015. 우리나라 기후 절기별 기온 변화의 시공간적 특성 분석. *대한지리학회지* 50(1):23–36).
- Jo, H.K. and T.W. Ahn. 2008. Differences in phenological phases of plants subsequent to microclimate change. *Korean Journal of Environment and Ecology* 22(3):221–229 (조현길, 안태원. 2008. 미 기후 변화에 따른 식물계절 차이. *한국환경생태학회지* 22(3):221–229).
- Jung, H., Y. Choi, J. Oh, and G. Lim. 2002. Recent trends in temperature and precipitation over South Korea. *International Journal of Climatology* 22(11):1327–1337.
- Lee, B.S. 1979. A study of natural seasons in Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* 14(2):1–11 (이병설. 1979. 우리나라의 자연계절에 관한 연구. *대한지리학회지* 14(2):1–11).
- Lee, H.Y. 2000. *The Climate of Korea*. Bobmunsa, Seoul, Korea, 53–65pp (이현영. 2000. *한국의 기후학*. 법문사, 서울, 대한민국, 53–65쪽).
- Lee, S. 1995. The division of natural seasons in Korea by air pressure patterns in Korean peninsula and its surroundings. *The Geographical Journal of Korea* 26:65–78 (이승호. 1995. 한반도 주변의 기압배치형에 의한 자연 계절의 구분. *지리학연구* 26:65–78).
- Lee, S. and Y. Choi. 2013. Study on the relationship between Arctic Oscillation and temperature, precipitation and extreme climate events during spring over the Republic of Korea. *The Geographical Journal of Korea* 47(4):453–464 (이상민, 최영은. 2013. 우리나라 봄철 기온 및 강수, 극한기후의 변화와 북극진동에 관계에 대한 연구. *국토지리학회지*

- 47(4):453-464).
- Linderholm, H.W. 2006. Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology* 137:1-14.
- Moon, S.E. and H.H. Um. 1980. The division of the natural seasons of Korea. *Journal of the Korean Meteorological Society* 16(1):45-54 (문승의, 엄향희. 1980. 한국의 계절구분. *한국기상학회지* 16(1):45-54).
- National Geographic Information Institute. 2010. *The Geography of Korea*. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Suwon, Korea.
- National Institute of Meteorological Sciences. 2009. *Understanding Climate Change II*. Korea Meteorological Administration (국립기상연구소. 2009. 기후변화 이해하기 II. 기상청).
- National Institute of Meteorological Sciences. 2010. *Understanding Climate Change V*. Korea Meteorological Administration (국립기상연구소. 2010. 기후변화 이해하기 V. 기상청).
- National Institute of Meteorological Sciences. 2018. *Climate Changes in Korean Peninsula over the Past 100 Years*. Korea Meteorological Administration (국립기상과학원. 2018. 한반도 100년의 기후변화. 기상청).
- Park, B.I. 2011. The change of seasonal trend appeared in wintertime daily mean temperature of Seoul, Korea. *Journal of Korean Geographical Society* 46(2):152-167 (박병익. 2011. 서울의 겨울철 일평균 기온에 나타난 계절 추이의 변화. *대한지리학회지* 46(2):152-167).
- Park, K.B. 2018. A study on the change of precipitation and temperature with 24 season by moving average method. *Journal of Environmental Science International* 27(12):1227-1239 (박기범. 2018. 이동평균법을 이용한 24절기에 따른 강수량과 기온의 변화에 관한 연구. *한국환경과학회지* 27(12):1227-1239).
- Park, S. and H. Tak. 2013. Land use changes and climate patterns in Southeast Korea. *Journal of Korean Association of Geographic Information Studies* 16(2):47-64 (박선엽, 탁한명. 2013. 우리나라 동남부 지역의 토지 이용과 기후 패턴 변화 분석. *한국지리정보학회지* 16(2):47-64).
- Qian, C., Z.W. Yan, and C.B. Fu. 2012. Climatic changes in the twenty-four solar terms during 1960-2008. *Atmospheric Science* 57(2-3):276-286.
- Regonda, S.K., B. Rajagopalan, M. Clark, J. and J. Pitlick. 2005. Seasonal cycle shifts in hydroclimatology over the western United States. *Journal of Climate* 18:372-384.
- Stine, A.R., P. Huybers, and I.Y. Fung. 2009. Changes in the phase of the annual cycle of surface temperature. *Nature* 457(7228):435-441.
- Schwartz, M.D., R. Ahas, and A. Aasa. 2006. Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology* 12(2):43-51.
- Thomson, D.J. 1995. The seasons, global temperature, and precession. *Science* 268(5207):59-68.
- Trenberth K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M.

- Rusticucci, B. Soden, and P. Zhai. 2007. Observations: Surface and atmospheric climate change. Climate Change 2007. In: S. Solomon, *et al.*(ed.). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 235-336pp.
- Westerling, A.L., H.G., Hidalgo, D.R. Cayan, and T.W. Swetnam. 2006. Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *Science* 313:940-943.
- Yoo, J.H. and I.-S. Kang. 2002. Temperature variation related to seasonal transition and secular trend of season in Korea. *Atmosphere* 12(1):107-110 (유진호, 강인식. 2002. 계절전이와 관련된 기온변동과 계절의 장기 변화 경향. *대기* 12(1):107-110).
- Yun, K. 2006. Climate change impact on the flowering season of Japanese Cherry (*Prunus serrulata* var. *spontanea*) in Korea during 1941-2100. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 8(2):68-76 (윤진일. 2006. 기후변화에 따른 벚꽃 개화일의 시공간 변이. *한국농림기상학회지* 8(2):68-76).
- Zheng, J., Q. Ge, Z. Hao, and W.-C. Wang. 2006. Spring phenophases in recent decades over Eastern China and its possible link to climate changes. *Climate Change* 77:449-462, doi: 10.1007/s10584-005-9038-6. [KAGIS](#)