

## 우리나라 사계절 개시일과 지속기간\*

최광용\*\* · 권원태\*\*\* · David A. Robinson\*\*\*\*

### Seasonal Onset and Duration in South Korea\*

Gwangyong Choi\*\*, Won-Tae Kwon\*\*\*, and David A. Robinson\*\*\*\*

**요약** : 본 연구에서는 일기온 자료를 바탕으로 사계절을 정의하여 지난 32년(1973-2004)동안 우리나라 장기간 평균적인 사계절의 개시일과 지속기간의 공간적 분포패턴 및 최근의 그 변화추세를 분석하였다. 공간적으로, 장기간 평균적인 봄철과 겨울철 개시일은 위도 및 해발고도의 영향을 받아 남-북(성산포-대관령)으로 각각 최고 44일과 63일의 차이를 보인다. 반면, 여름철 개시일은 위도 보다는 해양과 해발고도의 영향을 받아 한반도 내륙지역에서 여름철이 제주도보다 일찍 시작된다. 사계절 지속기간에 따라 긴 계절 부터 짧은 계절 순으로의 조합의 공간적 패턴을 살펴보면, 우리나라에는 특징적으로 5개의 계절주기 기후유형이 군집되어 나타난다. 한편, 최근 한반도에 나타난 기후변화가 계절주기에도 반영되어, 1980년대 후반 이후에 우리나라의 전체적으로 겨울철 개시일은 4일 늦어지고, 봄철 개시일은 6일 빨라져서 겨울철 길이가 10일 정도 짧아졌다. 이러한 겨울철 축소현상은 1980년 중반이후 남부 지방에서 시작되어 1990년 접어들면서 북쪽으로 확대되어 한반도 전역에 걸쳐 나타났다. 인위적으로 콘크리트화가 진행된 우리나라 대도시 지역에서는 이러한 겨울철 축소현상이 더 뚜렷하게 나타났고, 심지어 여름철 지속기간도 국지적으로 증가하는 특징을 보였다. 이러한 한반도의 겨울철 축소현상은 추운계절 동반구 극지방(0-90°E, 65-85°N)의 지오폠펌셜 고도장(925hPa) 변화와 원격상관이 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 밝혀진 우리나라 겨울철 지속기간의 감소현상은 최근 전 세계적인 기후변화의 시그널로 나타나는 겨울철 기온상승 추세와 일치하는 결과이다.

**주요어** : 계절 개시일, 계절 지속기간, 계절변화, 기후변화, 원격상관

**Abstract** : This study examines the long-term spatial patterns and recent trends of seasonal onsets and durations defined by daily temperatures in South Korea for the period 1973-2004. Spatially, spring and winter onset dates show approximately 44 day and 63 day maximum difference respectively between south and north (Seongsanpo to Daegwallryeong) attributable to the impacts of latitudes and altitudes. In contrast, summer onset, which is more affected by proximity to oceans and altitudes than by latitudes, begins earlier in interior low elevated areas than in the coastal areas but earliest at higher latitudes than Jeju Island. Five climatic types regarding the seasonal cycles in South Korea are spatially clustered according to the combination of longer seasonal durations. As a reflection of recent climate changes on seasonal cycles in South Korea, winter duration was shortened by 10 days during the post-1988 period due to a late winter onset of 4 days and an early spring onset of 6 days. The winter reduction began in the southern regions of the Korean Peninsula in the mid-1980s and spread northward during the 1990s period, ultimately

\* 본 연구는 기상청 기상연구소 “기후변화 협약 대응 지역기후 시나리오 활용 기술개발” 연구 프로젝트의 지원에 의해 진행되었다.

\*\* 럿거스 뉴저지 주립대 지리학과 박사후료 (Ph.D. Candidate, Department of Geography, Rutgers The State University of New Jersey, The United States), tribute@hanmail.net

\*\*\* 기상청 기상연구소 기후연구실장 (Director, Climate Research Laboratory, Meteorological Research Institute, Korea Meteorological Administration), wontk@metri.re.kr

\*\*\*\* 럿거스 뉴저지 주립대 지리학과 교수 (Professor, Department of Geography, Rutgers The State University of New Jersey, The United States), drobins@rci.rutgers.edu

appearing everywhere. In urbanized cities, where much of the surface is covered with asphalt or concrete, the winter reduction was intensified and summer duration was locally incremented. The reduced winter duration in recent decades shows significant teleconnections with variations of geopotential height (925hPa) in the eastern Arctic region (0-90°E, 65-85°N) during the cold season. The reduction in winter duration in South Korea agrees with results in overall global warming trends as a climate change signal.

Key Words : seasonal onset, seasonal duration, seasonality change, climate change, teleconnections

## 1. 서론

20세기 후반 전 세계적으로 중위도 및 고위도 지역을 중심으로 연평균기온이 뚜렷하게 상승하고 있다(Houghton *et al.*, 2001). 특히, 계절적으로는 겨울철에, 하루 중에서는 야간에 기온이 상승하는 추세가 가장 뚜렷하게 나타났다(Karl *et al.*, 1993). 반면, 여름철 주간의 일 최고기온은 지역에 따라 증가 혹은 감소 등 다양한 변화추세를 보였다(Easterling *et al.*, 1997). 우리나라에서도 지난 20세기에 지구온난화 및 도시화로 연평균기온이 1.5°C 상승함과 동시에(권원태, 2005), 1990년대에는 겨울철 혹한일은 감소하는 추세를 보였다(최광용 · 권원태, 2001). 지금까지 계절별 기후요소의 평균과 장기간 변화추세를 다룬 국내(류상범 외, 1993; 안중배 외, 1997; 김맹기, 1999) 및 해외(Karl *et al.*, 1993; Easterling *et al.*, 1997) 대부분의 기후변화에 대한 연구들은 흔히 계절을 고정된 3달 간격의 기간으로 간주하여 모든 지역에 동일하게 적용해 오고 있다. 가령, 극지방이나 열대지방에 상관없이, 봄은 3-5월, 여름은 6-8월, 가을은 9-11월, 겨울은 12-2월로 각각 고정된 기간으로 간주하고 3달 평균 기온이나 강수량의 장기간 평균을 분석하여 기후변화의 양상을 평가하였다. 그러나, 실제 우리가 주변에서 느끼는 계절은 이러한 수학적 계산편의를 위해 흔히 사용되고 있는 3달 간격의 계절과는 매우 다르다. 봄철을 예로 들면, 우리가 느끼는 봄은 겨울에 쌓였던 눈이 녹아 없어지고, 기온상승으로 식생의 휴지기에서 활기로 전환하면서 지표가 점차 녹색으로 바뀌는 시기를 말한다. 이러한 계절 개시일은 3달 간격으로 고정된 것이 아니라, 해마다 그리고 지역마다 달라지게 된다.

지금까지 3달 고정적인 수학적 편의에서 벗어나 해마다 그리고 지역마다 변하는 계절을 구분하고자 했던

방법은 크게 지구-태양의 연중 상대적인 위치에 따른 천문학적계절 정의방법, 상층 기압패턴의 출현에 의한 종관기후학적 계절 정의방법, 기온이나 일사량, 강수량 등 지상에서 관측한 기후요소를 사용한 계절 정의 방법 등으로 분류된다(기상연구소, 2004; Alpert *et al.*, 2004). 연중 천체 위치에 따른 태양에너지의 양의 변화를 고려한 천문학적 계절주기는 대기의 내적 피드백에 의해 지표에서 나타나는 계절주기와 반드시 일치하지는 않는다(Trenberth, 1983). 또한, 상층대기의 흐름(Kalnicky, 1987)과 기압배치(Lamb, 1950; Peilke *et al.*, 1987; Alpert *et al.*, 2004)를 고려하여 종관패턴을 분석한 경우와, 월평균기온(Trenberth, 1983), 일조시간(Inoue and Matsumoto, 2003), 일 평균기온(Ye *et al.*, 2003) 등의 지상관측자료를 이용한 경우도 각각 장·단점을 지니고 있다. 가령, 종관기후학적 계절 정의방법은 넓은 지역의 대기순환을 분석하여 계절변화의 동인을 보여줄 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 연구지역마다 계절구분에 사용되는 고·저기압의 선정과 그 접근정도를 표준화하거나 정량화하기가 쉽지 않다는 단점도 있다. 또한, 지상관측자료를 이용한 경우에도 관측주변환경의 영향을 많이 받아서 계절변화와 같이 지역적으로 일정한 공간패턴을 보이는 현상을 탐지하기가 어렵다는 단점이 있다. 반면, 전 세계적으로, 기온은 넓은 지역에 걸쳐 장기간 관측되어 자료가 축적되어 있는 가장 대표적인 기후요소로, 인간의 의복 및 주택, 농업활동 등의 기본적인 생활주기에 가장 직접적으로 영향을 주기 때문에 계절변화를 잘 반영한다.

국내에서 계절구분에 대한 연구는 이병설(1979)에 의해 서울, 목포, 제주 등 3개 지점의 기온과 강수량 등 지상관측 기후자료를 근거로 처음 시도되었고, Moon and Um(1980), 강만석(1981), 이승호(1995) 등에 의해 한반도 주변에 평균적으로 나타나는 상층기압배치형

을 바탕으로한 종관기후적 계절구분도 시도되었다. 또한, 최근에는 우리나라에서 기후가 변동하듯이 계절의 개시일이나 지속기간도 변동할 수 있다는 전제하에 장기간의 계절변화에 대한 연구들이 이루어지기 시작하였다(최광용·권원태, 2001; 유진호·강인식, 2002; Choi *et al.*, 2004). 최광용·권원태(2001)는 한반도 중부와 남부지방의 대도시 6개 지점의 장기간(1920-1999)의 기온자료를 토대로 계절을 구분하고, 처음으로 20세기 동안 우리나라 사계절 주기에 변화가 있었음을 밝혔다. 유진호·강인식(2002)도 기온자료를 바탕으로 우리나라 대도시 서울과 부산의 계절변화를 비교·분석하여 도시지역에서 계절전이가 있었음을 언급하였다. 그러나, 이러한 선행연구에서는 계절변화의 요인과 관련하여 1960년대 이후 대도시를 중심으로 본격적으로 진행된 도시화와 전지구적인 기후변화가 계절변화에 미치는 영향을 따로 구분하지는 않았다(Choi *et al.*, 2004). 또한, 계절구분 혹은 계절변화에 대한 과거 연구들은 제한된 몇 개 지역의 관측자료나 한반도 전체 종관규모 이상의 기압배치 유형의 발생빈도만을 분석하였기 때문에, 우리나라 각 지역별로 상이하게 나타나는 계절 개시일과 지속기간의 시·공간적 특징에 대해서는 분석하지 못하였다.

따라서, 본 연구에서는 인간생활과 관련하여 가장 흔히 관측되어 널리 사용되고 있는 일기온자료를 바탕으로 사계절을 구분하고, 장기간(1973-2004) 평균적인 우리나라 사계절의 개시일과 각 계절의 지속기간의 공간적인 분포특징을 분석하여 계절주기 기후지역을 구분하고자 한다. 또한, 전 세계적으로 지구온난화가 뚜렷하게 나타난 20세기 후반에 우리나라 계절 개시일과 지속기간의 공간적 분포패턴에 어떤 변화가 있었는지를 밝히고, 이러한 한반도 계절변화와 북반구 대기순환간의 잠재적인 상관성을 밝히고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에서는 우리나라 기상청에 의해 운영된 유인 관측지점 수가 현저하게 증가한 시점을 고려하여, 지난 32년(1973-2004)동안의 전국 61개 기상관측지점에

서 관측된 일 최고기온, 일 평균기온, 일 최저기온을 사용하였다(Figure 1). 일 최저기온 및 일 최고기온은 일 평균기온을 산출하는 온도계와는 다른 극값온도계를 사용하여 관측했기 때문에 일 최저기온과 일 최고기온을 평균한 결과가 반드시 일 평균기온과 일치하지 않는다. 따라서, 본 연구에서는 이병설(1979)의 연구방법과 마찬가지로 일 최고기온과 일 최저기온도 사용함으로써 일 평균기온이 보여주지 못하는 극지후의 일별 극값 특징을 반영하였다. 세 기온요소를 동시에 고려함으로써, 해양의 영향을 받아서내륙에 비해서 일기온 극값이 높게 올라가지 않는 해안지역, 열섬현상으로 일기온 극값이 주변 지역과 달라지는 도시지역, 국지적인 지형의 영향으로 일기온 극값이 상승 혹은 하강이 발생하는 내륙 분지지역 등 기후인자에 의해 일기온 극값에 나타나는 지역기후의 특성도 동시에 반영하고자 하였다. 가령, 봄철을 정의할 때 얼어있는 지표가 주야간에 상관없이 녹는 시점을 정하기 위해서는 일 평균기온 이외에 일 최저기온을 살펴봐야 할 것이다.

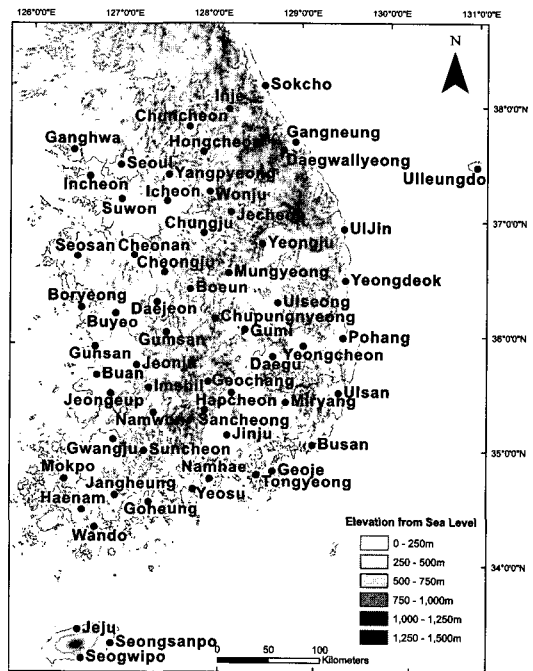


Figure 1. 61 weather stations where long-term (1973-2004) daily temperature records exist in South Korea.

Table 1. Season temperature indices used to define the onset and end of each season in South Korea. The term SDT\* denotes the seven day moving average of the combined values of daily Minimum (MinT), Mean (MeanT), and Maximum (MaxT) temperatures (Equation 1).

Seasonality	Season temperature indices	
	This study	Lee(1979)
Winter end	Last record of SDT* < 15°C	MinT ≥ 0°C and MeanT ≥ 5°C
Spring onset		
Spring end	First record of SDT* ≥ 60°C	MeanT ≥ 20°C and MaxT ≥ 25°C
Summer onset		
Summer end	Last record of SDT* ≥ 60°C	MeanT < 20°C or MaxT < 25°C
Fall onset		
Fall end	First record of SDT* < 15°C	MinT < 0°C or MeanT < 5°C
Winter onset		

사계절을 구분하기 위해서, 본 연구에서는 일별 기온자료를 바탕으로 이병설(1979)의 연구에 사용된 방법과 임계치를 참조하였다. 이병설(1979)은 일 평균기온과 일 최저기온 또는 일 평균기온과 일 최고기온 두 변수가 각각 독립적으로 연중 일정 임계치를 동시에 초과한 처음 또는 마지막 날을 각 계절의 개시일 혹은 종결일로 정의하였다. 본 연구에서는 이병설(1979)의 방법을 개선하여 일 최고기온, 일 평균기온, 일 최저기온을 모두 합한 기온의 7일 이동평균한 값이 특정 임계치를 넘은 처음 혹은 마지막 날을 계절이 구분되는 시점으로 삼았다(Table 1). 이와같이 본 연구에서 세가지 일 기온자료를 합산한 기온을 사용한 이유는, 이병설(1979)의 방법론을 그대로 이용하여 계절 변화시점을 정할 때 나타날 수 있는 세 기온 요소간의 불일치성을 줄이면서도, 지역마다 나타나는 일기온 극값의 특징을 반영하기 위함이다. 가령, 이병설(1979)의 방법을 이용하여 봄의 개시일을 정하는데 일 평균기온은 10°C 이상으로 봄날처럼 따뜻하지만, 야간의 일 최저기온이 -2°C로 어는점 이하일 경우에 이를 봄의 개시일로 정해야 하는지에 대해 결정할 때 논란이 생길 수가 있다. Figure 2에서 보는 바와 같이, 이러한 경우는 일 최저기온 혹은 일 최고기온이 일별로 증가 혹은 감소하는 정도가 일 평균기온이 일별로 증감정도와 항상 일치하는 것은 아니기 때문에 발생한다. Figure 2에서, 세 일 기온을 7일 이동평균한 굵은선은 일 평균기온을 나타

내는 가늠선과도 유사하기는 하나 자세히 살펴보면 작은 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 기온값 자체로는 매우 작지만, 특정 임계치 이상이 되는 날짜를 산출하기 위해 가로축에 수직으로 내려가어 계절 개시일을 정할 때에는 상당한 차이를 가져오게 된다. 본 연구에서는 세 기온의 이동 평균을 이용함으로써, 이와같이 약 일주일 간격으로 반복적으로 나타나는 고·저기압의 출현에 의해 기온자료에 나타나는 일시적인 상승이나 하강현상을 최대한 여과시켜, 보다 객관적인 기후학적 계절구분 시점을 정할 수 있도록 하였다. 이러한 불규칙적 일기온 진행은 가령, 봄철 초기의 삼한사온(이병설, 1985)이나 꽃샘추위(권영아 외, 2005), 그리고 전이적 계절로 인식되는 봄·가을철에 약 일주일 간격으로 강수를 동반하여 기온을 저하시키는 저기압의 출현(기상연구소, 2004)에 의해 나타난다. 따라서, 본 연구에서는 일 최저기온, 일 평균기온, 일 최고기온을 모두 합한 기온을 7일 이동 평균하여 소수점 아래 반올림한 값(SDT)을 산출하였다(Equation 1). 그 결과, Figure 2에서 보이는 것과 같이, 연중 많은 상승 및 하강을 보이는 일 최저기온(가는 파선), 일 평균기온(회색 굵은선), 일 최고기온(가는 실선)과는 대조적으로, 7일 이동평균한 세 일기온의 합산값(검은색 굵은선)은 지속적으로 상승 또는 하강하여, 특정 임계치 이상 혹은 이하인 계절변화 시점을 정하는 것이 용이하게 된다.

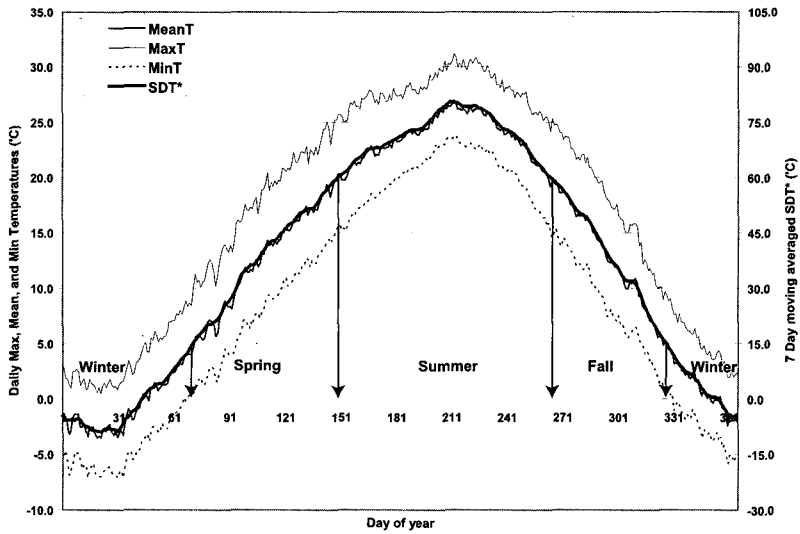


Figure 2. Annual progression of daily minimum (MinT), mean (MeanT) and maximum (MaxT) temperatures, and seven day moving average of summed daily temperatures (SDT\*) to define seasons in Seoul, Korea, 1973-2004. The term SDT\* used in this study denotes the summed values of daily minimum, mean, and maximum temperatures (Equation 1).

Summed Daily Temperature(SDT)

$$= \frac{\sum_{n=1}^{n+7} (MinT_n + MeanT_n + MaxT_n)}{7} \dots\dots\dots \text{(Equation 1)}$$

SDT: i 번째 날의 일최저 (MinT), 일평균 (MeanT), 일최고 (MaxT) 기온들의 합 7일 이동평균.

그 후, 본 연구에서는 계절구분을 위해 이병설(1979)이 사용한 두 기온(일 최저기온과 일 최고기온, 혹은 일 평균기온과 일 최고기온)의 동일한 임계치를 이용하고, 이에 덧붙여서 이병설 (1979)의 방법에서 사용되지 않았던 다른 한 기온 변수(일 최고기온 혹은 일 최저기온)의 평균 임계치까지 모두 합한 통합적 임계치를 사용하였다. 구체적으로, 겨울/봄(가을/겨울)의 구분에 사용된 조건과 임계치는, 마지막(처음)으로 7일 이동 평균하여 반올림한 일별 합산기온값(SDT)이 15℃(일 최저기온 0℃ + 일 평균기온 5℃ + 일 최고기온 10℃) 이하일 때이다. 유사하게, 봄/여름(여름/가을)을 구분하기 위한 조건과 임계치로는, 처음(마지막)으로 7일 이동평균하여 반올림한 일별 합산기온(SDT)이 60

℃(일 최저기온 15℃ + 일 평균기온 20℃ + 일 최고기온 25℃) 이상일 때이다. Figure 2에서 보는 바와 같이, 일 최고기온과 일 최저기온은 일 평균기온과 평균적으로 5℃ 간격을 보인다. 따라서, 계절을 구분하기 위한 통합적 임계치에 사용된 각 기온지수의 세부 임계치들도 5℃간격을 이루고 있다.

이러한 계절구분에 사용된 세부 임계치들은, 계절이 바뀔 때 흔히 감지할 수 있는 뚜렷한 지표피복의 변화를 잘 반영하는 대표적인 기온지수들이다(Choi et al., 2004; Choi and Robinson, 2006). 가령, 겨울/봄 구분시 이병설(1979)이 사용한 일 최저기온 0℃는 물의 녹는점과 어는점으로, 봄이 시작될 무렵에 겨울철에 쌓였던 눈이 녹아 없어지는 현상을 결정한다. 일 평균기온 5℃도 식생이 활력을 얻어 점차 잎과 꽃을 피우도록 하는 식생의 생리적 영점으로, 지표식생의 변화와 관련한 온량지수(Warmth Index)나 한랭지수(Cold Index) 그리고 식물의 성장계절기간(Growing Season Length) 산정시에도 널리 사용되는 기온지수이다(임경빈·이수옥, 1975; Menzel et al., 2003). 겨울철의 개시와 관련되어서도 이러한 임계치들은 야간에 서리가

발생하는 서릿날(Frost Day) 혹은 지표의 참겨울날(Ice Day)의 임계치와도 일치한다(최광용 · 권원태, 2001). 여름의 개시 및 종료와 관련하여 본 연구에서 사용된 일 최저기온 15℃도 목화 등과 같은 무더운 계절에만 성장하는 여름철 식생의 생리적 영점을 가리킨다(<http://amsglossary.allenpress.com//glossary/search?id=growing-degree-day1>). 또한, 여름 개시일을 결정하는데 사용된 세부 임계치인 일 최고기온 25℃도 전 세계적으로 여름날(Summer Day)을 정의하는 임계치로 널리 사용되고 있는 기온지수이다(Vincent *et al.*, 2005; Alexander *et al.*, 2006). 이병설(1979)의 연구와 본 연구에서 우리나라 계절구분을 위해 사용된 세부 임계치들은, 심지어 이웃나라 일본에서 일 최고기온 및 일 최저기온을 이용한 계절구분 연구(Maejima, 1967)에서 사용된 임계치와도 거의 일치한다. 따라서, 본 연구에서 사용된 특정 기온 임계치들(Table 1), 각 계절의 개시와 종료에 따라 나타나는 지표 환경변화를 종합적으로 잘 반영하여 계절구분에 적합한 계절 기온지수(Season Temperature Index)라고 할 수 있다. 또한, 본 연구에서는 계절에 따른 지표의 변화를 반영하는 이러한 기온들의 주요 임계치를 통합적으로 모든 지역에 공통적으로 사용함으로써, 실제 계절현상과는 거리가 먼 수학적 통계값(가령,  $\pm 2$ 표준편차 이상 또는 이하)을 사용하는 방법(유진호 · 강인식, 2002; Ye *et al.*, 2003)의 단점을 극복하고자 하였다. 또한, 우리나라가 동북아시아에 몬순체계에 속하여 전형적으로 나타나는 고온다습한 여름과 한랭건조한 겨울이 지배적인 계절이고, 두 계절을 이어주는 봄철과 가을철은 전이적인 계절로 인식되기 때문에, 본 연구에서는 겨울철과 여름철의 개시와 종료를 중심으로, 각 임계치를 만족하는 계절기온지수가 처음 또는 마지막에 발생한 날짜를 계절변화의 시점으로 정하였다.

이러한 방법을 바탕으로, 32년(1973-2004)동안 61개 각 관측지점별로 매년 합산기온의 연중 시계열 분포에서 각 계절기온지수 조건을 만족하는 계절 개시일을 산출하고, 이를 바탕으로 각 계절의 지속기간도 산출한 후, 장기간(1973-2004) 61개 전 지점의 평균이나 특히 계절주기를 보이는 연도의 분포도를 작성하였다. 각 관측지점별로 계절구분에 사용된 날짜는 모두

365(혹은 366일)의 스케일이다. 그 후, 장기간의 평균적인 사계절의 길이를 각 지점마다 긴 계절부터 짧은 계절의 순서대로 나열할때 만들어지는 조합을 고려하여, 동일한 계절길이 순서를 보이는 경우를(가령, 여름>겨울>봄>가을) 같은 계절주기 기후유형으로 구분하고 이를 지도화하여, 실제 공간적으로도 기후지역으로 군집을 이루는 지를 확인하였다. 또한, 전 세계적으로 20세기 후반에 온난화에 의해 한반도에 계절변화가 있었는지를 살펴보기 위해, 연구기간 동안의 추세선의 기울값을 조사하고, 연구기간을 전반기(1973-1984), 중반기(1985-1994) 및 후반기(1995-2004)로, 혹은 전 세계적으로 온난화가 뚜렷하게 나타나는 1980년대 후반기(Houghton *et al.*, 2001)를 기준으로 하여, 그 이전(1973-1987)과 이후(1988-2004)로 나누어, 각 기간 별로 계절 개시일과 지속기간의 편차를 지도화하여 공간적 패턴에 나타난 계절변화의 진행과정을 분석하였다. 더 나아가, 이 두 기간의 이러한 계절변화와 관련이 있을 것으로 예상되는 북반구 대기순환과 기압장에 나타나는 변화특성을 살펴보았다. 이를 위해, 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 CPC(Climatic Prediction Center)에서 제공하는(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>) 12-2월 평균 북극진동(Arctic Oscillation; AO; Thompson and Wallace, 1998) 지수의 두 기간 동안의 차이를 비교하였다. 또한, NCEP/NCAR에서 제공하는(Kalnay *et al.*, 1996) 추운 계절(12-2월) 평균 925hPa 지오폠펠설고도(Geopotential height)에 나타나는 두 기간 동안의 차이값의 분포도를 분석하였다. 이와같은 1988년 이전과 이후의 변수 평균들의 차이의 유의성을 검증하는 데에는 Mann-Whitney U검정(von Storch and Zwiers, 1999)을 이용하였다. 더 나아가, 지오폠펠설고도 분포도에서 나타난 양과 부의 편차가 뚜렷한 지역, 즉 동반구 북극해(0-90° E, 65-85° N)와 동아시아 중위도 지역(70-160° E, 30-50° N)의 추운계절(12-2월) 지역평균 지오폠펠설 고도값, AO 지수 및 한반도 평균적인(61개지점 평균) 각 계절 개시일과 지속일에 대한 32년 자료를 바탕으로, 각 변수들간의 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다.

### 3. 우리나라의 장기간 평균적인 사계절 개시일의 공간분포

장기간(1973-2004) 동안 우리나라 전체 61개 관측 지점의 개시일을 평균하여 남한 전체의 계절 개시일을 살펴보면, 봄은 3월 14일에, 여름은 5월 31일에, 가을은 9월 22일에, 겨울은 11월 28일에 시작함을 알 수 있다(Table 2). 이병설(1979)이 분석한 20세기 중반(1930-1960)의 서울, 대구, 제주의 계절 개시일을 평균하고, 이를 지난 32년(1973-2004)동안 세 지역 평균한 값과 비교하여 보면, 20세기 후반에 봄 개시일은 13일, 그리고 여름 개시일은 7일씩 앞당겨졌다(Table 2). 반면, 20세기 후반의 가을철과 겨울철 개시일은 20세기 중반에 비해 후반에 각각 10일과 12일씩 늦어졌다. 이러한 계절 개시일에 있어서의 차이는, 3달(가령, 12-2월)을 기준으로 한 계절 평균기온의 장기간 추세에 변화가 있었듯이, 계절 개시일 자체에도 변화가 있었음을 나타내는 것이다. 이와같이 두 기간 사이에 서울, 대구, 제주 지역의 계절 개시일이 변한 요인으로는 크게, 1960대 이후의 진행된 도시화와 20세기 후반에 지구온난화에 의해 한반도에서도 뚜렷하게 진행되고 있는 기온상승 경향을 들 수 있다. 구체적인 20세기 후반의 계절 시작일과 지속일의 시·공간적인 변화는 5

장에서 더 자세히 다루기로 한다.

우리나라 전역 61개 지점의 장기간(1973-2004) 평균적인 계절 개시일 공간분포도를 살펴보면, 계절별로 남-북 혹은 저지대-고지대, 해안지역-내륙지역, 도시지역-도시화가 덜 된 지역별로 다양한 대조적인 패턴을 보인다(Figure 3). 우선, 우리나라에서 봄철 개시일은 위도와 해발고도의 영향으로 도시화가 덜 진행된 지역 중에서 저위도 저지대인 성산포(33°23'; 33m)에서 2월 27일로 가장 빠르고, 상대적으로 고위도이며 해발고도가 높은 대관령(37°41'; 843m)에서 4월 12일로 가장 느리게 시작되어 최고 44일의 차이가 난다(Figure 3(a)). 또한, 봄철 개시일은 동일 위도상 해발고도 300m 이하의 영서지역에서는 3월21일 전후, 그리고 해발고도 800m 이상의 태백산맥지역으로 갈수록 4월 11일 이후(대관령 기준)로 점차 늦어지게 된다. 또한, 남북으로 좁고 길게 뻗은 영동지역에서는 동일 위도상의 영서지역에 비해 봄철 개시일이 7-10일 이상 빠르게 나타난다. 유사하게, 제주도의 경우에도 북서 계절풍의 영향을 직접적으로 받는 북쪽사면(제주시 기준)에 비해, 바람받이인 남사면(서귀포시 기준)에서 봄철 개시일이 10일 정도 빠르게 나타난다. 이러한 패턴을 종합하여 보면, 태양복사에너지의 양과 관련된 위도, 기온감률과 관련된 해발고도, 북서 계절풍과 관련된 지형 등이 한반도 봄철 개시일 분포에 영향을 주

Table 2. Long-term average of seasonal onset and duration across South Korea in this study and in Lee (1979)'s study.

Seasons		Present study		Lee(1979)	Difference(days)
Study period		1973-2004 (A)		1930-1960 (B)	(A)-(B)
Number of weather stations		61 (Figure 1)	3 (Seoul, Daegu, Jeju)	3 (Seoul, Daegu, Jeju)	3 (Seoul, Daegu, Jeju)
Onset	Spring	March 14	March 3	March 16	-13
	Summer	May 31	May 22	May 29	-7
	Fall	September 22	September 30	September 20	+10
	Winter	November 28	December 14	December 2	+12
Duration	Spring	78 days	81 days	74 days	+6
	Summer	115 days	132 days	115 days	17
	Fall	66 days	74 days	72 days	+2
	Winter	107 days	79 days	105 days	-26

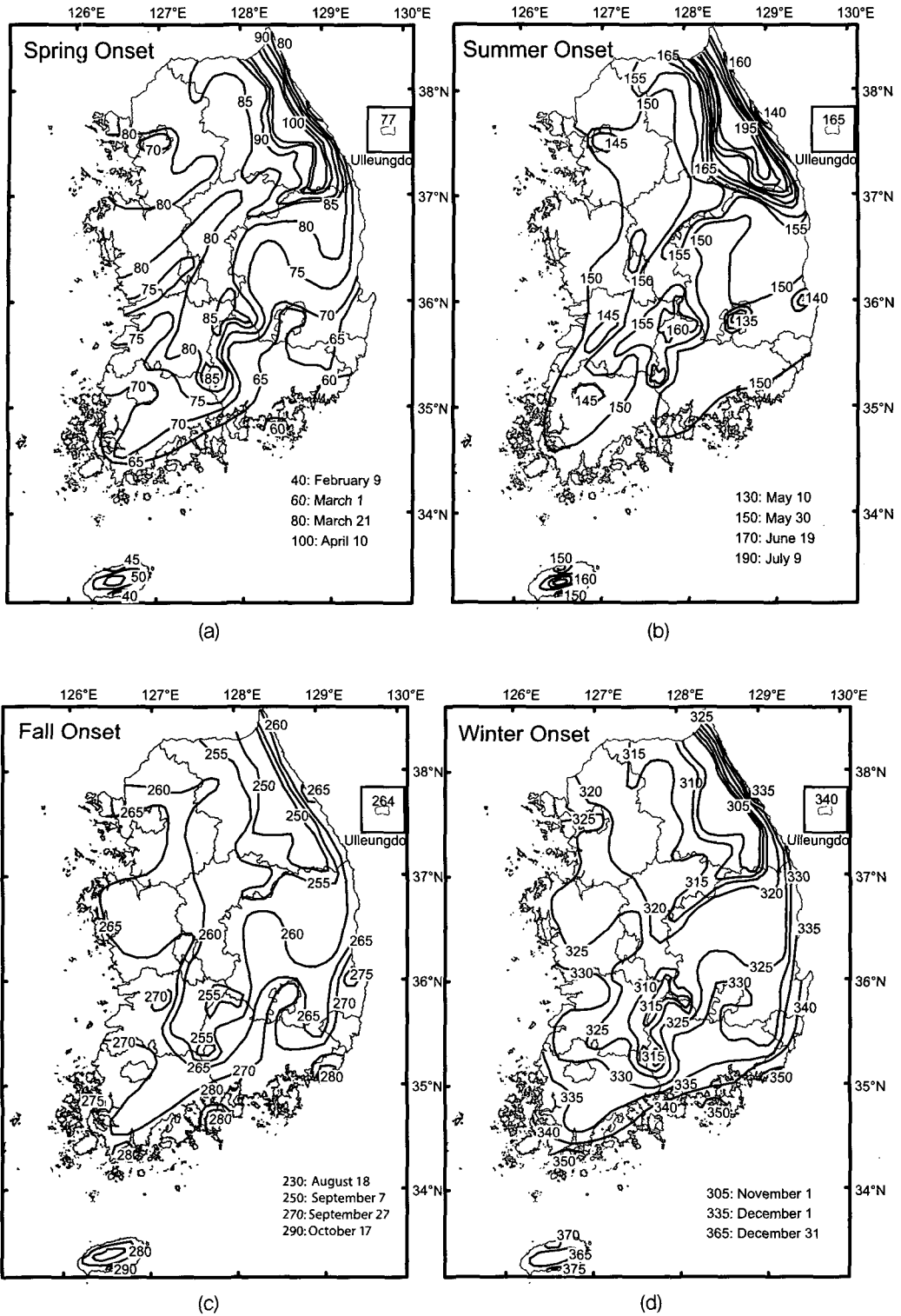


Figure 3. Long-term average seasonal onsets in South Korea. The legend converts from Julian day to calendar date.



고 있음을 알 수 있다.

이외에도, 1970년대 이후로 진행된 도시화와 산업화는 주변지역에 비해 도시지역의 봄철 개시일을 국지적으로 앞당기고 있다(Figure 3(a)). 가령, 도시화가 뚜렷하게 진행된 서울은 양평보다 7일, 대전은 서산보다 5일, 광주순천보다 5일, 대구(포항)는 영천보다 8일(10일), 부산은 거제보다 6일씩 봄철 개시일이 빠르게 나타난다. 제주도의 경우에도 도심에 관측소가 위치한 제주시와 서귀포시에서 도시화가 거의 진행되지 않은 성산포에 비하여 봄철 개시일이 9일과 19일 이상씩 빠르게 나타난다. 이것은 인위적인 도시화나 산업화가 국지적으로 계절주기에 변화를 가져올 수 있다는 사실을 잘 보여준다.

한편, 우리나라 여름철 개시일의 분포는 봄철 개시일 분포패턴과는 달리, 위도의 영향보다는 해양에서 떨어진 거리 또는 해발고도의 영향을 더 많이 받는다(Figure 3(b)). 대표적인 예로는 우리나라에서 가장 빠른 여름철 개시일이 나타나는 지역이 저위도에 위치한 제주도가 아니라 한반도 남부 내륙지역임을 들 수 있다. 이 지역은 해양으로부터 거리가 20km 이상 떨어져서 해양의 영향을 덜 받고, 해발고도 400m 이하로 기온감률의 영향이 적어서, 여름철 개시일이 5월 30일 전후한 시기에 한반도에서 가장 먼저 나타난다. 심지어, 한반도 중부 영서내륙에 위치한 홍천(37°41')의 여름철 개시일도 훨씬 남쪽에 위치한 제주도의 성산포(33°23')의 여름철 개시일보다 오히려 5일 이상 빠르다. 여름철 개시가 나타나는 지역은 날씨가 진행함에 따라 점차 내륙에서 해안지역으로, 저지대에서 고지대로 이동하는 패턴을 보인다. 특히, 대관령과 같은 해발고도 800m 이상 태백산맥의 고지대에서는 6월 말 장마기간의 강수로 인하여 봄철 기온특성이 7월 중순까지 이어지게 된다. 따라서, 태백산맥의 고지대(대관령 기준)에서는 기온변화를 바탕으로 한 여름철 개시일이 7월 13일 이후로 우리나라에서 가장 늦다. 대관령 지역의 여름철 개시일은 남부지방에 여름철 시작일이 가장 빠른 대구와 비교하여 약 59일 정도 늦게 시작된다.

국지적 도시화와 산업화는 봄철 개시일의 경우와 유사하게, 서울 및 대전, 전주, 광주, 대구 등의 내륙에 위치한 대도시의 여름철 개시일을 5일 이상 앞당긴다

(Figure 3(b)). 가령, 대구는 5월 15일에 여름철이 우리나라에서 가장 처음 시작되는 지역으로, 도시화가 거의 진행되지 않은 인접지역에 비해서 14일 여름철이 빨리 시작된다. 또한, 해안가에 위치한 포항과 같은 산업도시에서도 주변지역에 비해서 국지적으로 여름철 개시일이 9일 정도 빠르다. 이외에도, 국지적으로 강릉의 여름철 개시일이 유사한 위도상의 서해안의 인천에 비해서 13일 이상 빠르게 나타난다. 서풍에 의해 자주 발생하는 편현상(최광용·권원태, 2005)이나 따뜻한 해류의 북상(강용규, 1984) 등이 동해안 지역의 이른 여름철 개시일과 관련되어 있을 것으로 추정되는데, 이에 대해서는 차후 연구가 필요하다고 본다.

한편, 가을철과 겨울철 개시일은 봄철과 유사하게 위도와 해발고도의 영향을 많이 받지만, 봄철 개시일의 패턴과는 정반대로, 고위도 고지대에서 저위도 저지대로, 내륙에서 해안지역으로 점차 진행된다(Figures 3(c)-3(d)). 지역(성산포-대관령 기준)에 따라서는 가을철 개시일과 겨울철 개시일이 최고 48일과 63일 이상씩 차이가 난다. 고위도에서 대관령과 같이 해발고도 800m 이상인 고지대에서는 고도상승에 따른 기온감률 때문에 저지대에서 늦장마 이후에 흔히 나타나는 고온시기가 없다. 따라서, 가장 빠른 가을철 개시일은 8월 20일경에 대관령에서 나타난다. 대부분의 중부내륙과 남부내륙에 위치한 저지대에서는 9월 17일을 전후한 시기에 가을철이 시작되고, 남부 해안지역에서는 9월 27일 이후에 시작되며, 제주도에서는 10월 7일 이후로 가장 늦게 가을철이 시작된다. 겨울철 개시일도 가을철 개시일의 공간분포와 유사한 패턴을 보이는데, 태백산맥 고지대에서 11월 초를 시작으로, 한반도 중부지방의 저지대에서는 11월 20일경, 중부 해안지역 및 대부분의 남부 내륙지역에서는 12월 5일경, 남부 해안지역에서는 12월 10일경으로, 점차 저위도 저지대로 겨울철 개시일이 진행된다. 특히, 제주도의 해안 저지대의 경우에는 겨울철 개시일이 우리나라에서 가장 늦게 나타나는 지역으로, 한반도 남부지역의 겨울철 개시일에 비해서도 30일 이상씩이나 늦은 그 다음해 1월 5일경에서야 겨울철이 시작된다. 그러나, 봄철 개시일과는 달리, 제주도에서는 지형에 의한 남·북사면에서의 겨울철 개시일 차이가 뚜렷하게 나

타나지 않는다. 제주도의 경우에는 오히려, 국지적인 도시화의 영향으로 도심지역의(제주시 기준) 겨울철 개시일은 도시화가 진행되지 않은 인근 지역(성산포 기준)에 비하여 5일 이상 늦게 나타난다.

#### 4. 우리나라 평균적인 사계절 길이에 기초한 계절주기 기후유형

우리나라 61개 관측지점을 모두 평균한 남한 평균적인 계절의 지속길이를 산출하여 보면, 우리나라에서는 여름과 겨울이 각각 115일과 107일로 길고, 봄과 가을이 각각 78일과 66일로 짧은 전형적인 동북아시아 몬순 기후의 특징을 보인다(Table 2). 그러나, 관측지점별 계절 개시일이 다양한 기후인자의 영향으로 계절에 따라 다르기 때문에, 61개 관측지점별 사계절의 지속 길이도 다양한 공간패턴을 보인다(Figure 4). 일반적으로, 여름과 겨울의 지속기간의 일반적인 분포패턴을 살펴보면, 고위도로 갈수록 겨울철이 길어지고, 여름철은 짧아지는 반면, 저위도로 갈수록 여름철이 길어지지만 겨울철은 오히려 짧아지는 공간패턴을 보인다. 가령, 제주도(성산포 기준) 무더운 여름철(124일)이 추운 겨울철(54일)보다 2배 이상 오래 지속되지만, 태백산맥의 고지대(대관령 기준)은 반대로 추운 겨울철(161일)이 무더운 여름철(39일)에 비해 4배 이상 오래 지속된다. 그러나, 저위도 지역이라도 해발고도가 높은 지역은 여름철이 짧아지고, 겨울철은 반대로 길어진다. 가령, 위도 36°N 이상, 해발고도 300m이하 저지대에서는 겨울철이 여름철보다 약 10일 정도 길고, 해발고도가 높은 소백산맥지역으로 갈수록 25일 이상 겨울철이 길어지게 된다. 이외에도 지형과 해류의 영향(기상연구소, 2004)으로 동해안의 겨울철 기간이 유사한 위도상의 서해안에 비해서 10일 이상 짧게 나타나기도 한다.

이외에도, 우리나라 봄철의 지속기간은 위도와 해발고도의 영향을 많이 받아, 제주도의 저지대에서는 100일 이상으로 길게 나타나며, 위도가 점차 높아질수록 남해안 지역에서는 80일 정도, 중부 저지대에서는 70일 정도로 줄어든다(미제시). 그러나, 대관령과 같은

고지대에서는 초여름의 고온기간이 없고 바로 장마로 이어져서 봄철이 90일 이상 오래 지속된다. 반면, 가을철 지속기간은 위도에 의한 차이가 적고, 상대적으로 해발고도 변화에 따른 차이가 더욱 뚜렷하게 나타난다(미제시).

한편, 지표가 아스팔트나 콘크리트화된 대도시 지역에서는 도시화 효과로 인하여 인접지역에 비교하여 국지적으로 여름철 기간은 길지만, 반대로 겨울철 기간은 짧게 나타난다(Figure 5). 가령, 서울과 인천은 여름철이 약 120일로 주변 양평, 강화 지역에 비해 14일 정도 길고, 반대로 겨울철은 약 115일로 11일 정도 짧게 나타난다. 이와 같이 대도시에서 도시화로 인해 주변 지역에 비해 여름철 기간이 확장되고 겨울철 계절기간이 축소되는 경향은, 지역적으로 내륙에 위치한 대도시일수록 더욱 뚜렷하게 나타난다. 또한, 계절적으로는 겨울철보다는 여름철에 더욱 뚜렷하게 나타난다. 가령, 내륙 대도시인 대구는 주변에 위치한 영천보다 여름철 지속기간이 22일 길고, 겨울철은 반대로 14일이 짧다. 대조적으로, 해안 대도시 부산은 주변의 거제도에 비하여 여름철 기간이 10일이 길고, 겨울철은 반대로 13일이 짧다. 즉, 도시화에 의한 주변지역과의 차이는 내륙도시인 대구가 해안도시인 부산에 비하여 더 크고, 대구와 영천의 여름철 길이 차이가 겨울철 길이 차이보다 훨씬 더 길게 나타난다. 그 이유는, 계절적으로 여름철에 내륙지역에서는 콘크리트화된 도시피복이 많은 양의 태양복사에너지를 흡수하여 쉽게 기온을 상승시키지만, 해안지역에서는 대기 중의 수분에 의한 잠열흡수로 여름철 기온상승을 둔화시키기 때문이다. 그러나, 포항의 경우는 해안지역에 위치하고 있음에도 불구하고, 예외적으로 산업화로 인공열을 많이 발산하는 지역으로 주변지역에 비해 겨울철은 20일 이상 짧고, 반대로 여름철은 20일 이상 길게 나타나기도 한다.

한편, 이와같은 각 지역마다 다양한 사계절의 지속기간의 주기유형이 공간적으로도 같은 계절주기 기후지역으로 구분이 가능한지를 살펴보기 위하여, 각 관측지점마다 지속기간이 긴 계절부터 순서대로 배열하여 같은 사계절 순서(가령, 여름>겨울>봄>가을)를 보이는 지역을 묶어서 같은 계절주기 기후지역으로 분류하였다. 계절길이의 순서대로 4개의 계절을 배열하는 방

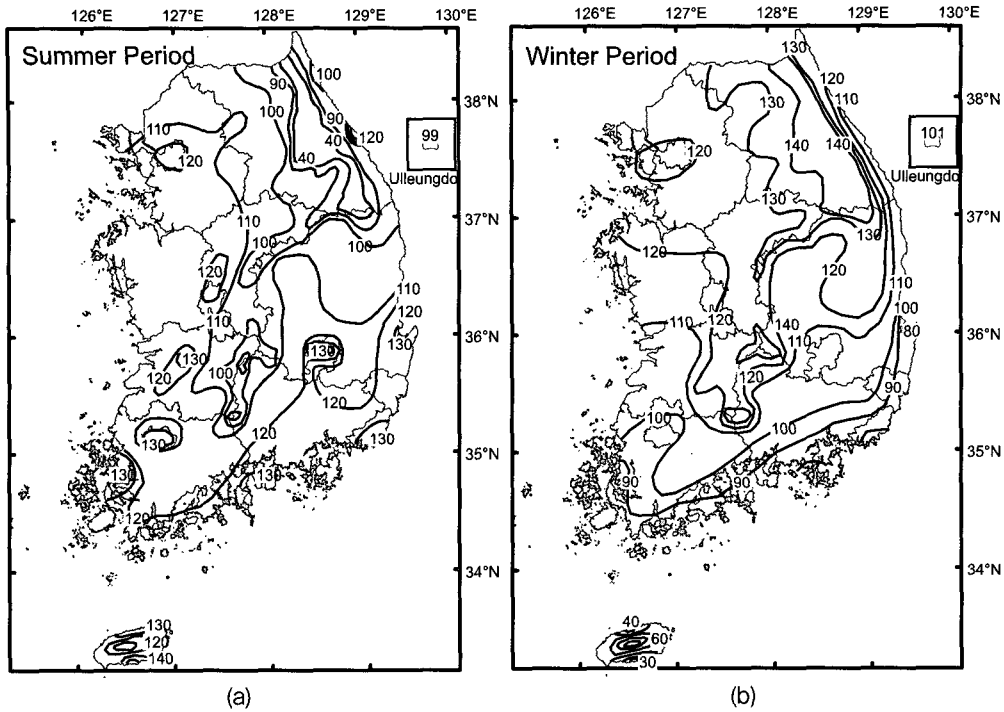
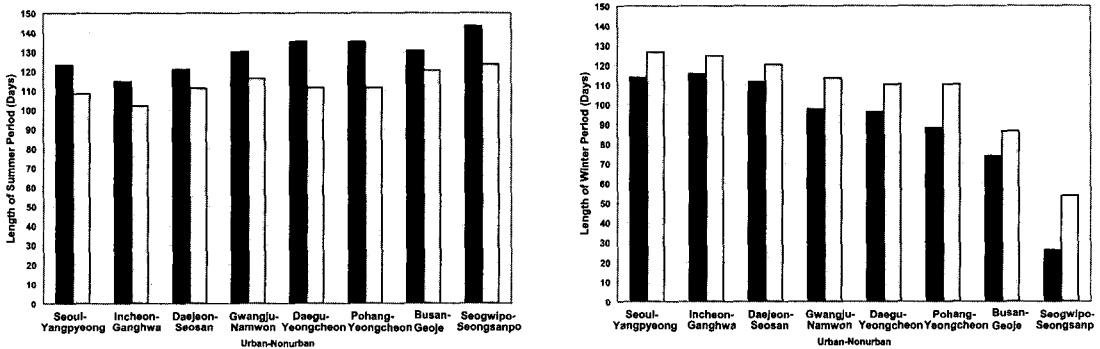


Figure 4. Long-term average summer and winter durations (days) in South Korea.



(a) Summer duration in urban vs. non-urban areas.

(b) Winter duration in urban vs. non-urban areas

Figure 5. Difference of average summer duration (a) and winter duration (b) between urban areas (dark bar) and non-urban areas (light bar) in South Korea, 1973-2004.

법을 수학적으로 고려하면 총 24개의 계절조합 유형이 가능한데, 한반도에서는 그 중 5개의 유형만이 나타난다(Tabel 3). 특히, 이러한 5개의 계절주기 기후유형은 공간적으로도 서로 군집을 이루어 기후지역을 이루는 특징을 보인다(Figure 6). 대체로 이러한 5개의 계절주기 기후유형은 위도, 해발고도 등의 영향으로 저위도에서 해발고도가 낮은 지역부터 고위도에서 해발고도

가 높은 지역으로 전개되었다. 우선, 여름과 겨울은 동북아시아 몬순의 특징을 잘 나타내는 요소이므로, 겨울과 여름이 긴 유형에는 지역명과 이러한 몬순의 특징을 반영하여 남부 여름-겨울과 중부 겨울-여름 몬순형으로 명명하였다. 나머지는 고산지대, 남해안도서 지역, 그리고 제주도 등의 지역을 중심으로 분리되어 나타나므로, 그 지역의 명칭을 기준으로 계절주기 기

Table 3. Five climatic types of seasonal cycles in South Korea identified according to the order of seasonal durations.

Types	Order of seasonal duration	Regional average of duration (Days)			
		Spring	Summer	Fall	Winter
Central Winter-Summer Monsoon Type (CWSM)	Winter>Summer>Spring>Fall	74	107	63	121
South Summer-Winter Monsoon Type (SSWM)	Summer>Winter>Spring>Fall	77	121	65	102
South Coast and Island Type (SCI)	Summer>Spring>Winter>Fall	91	126	67	81
High Land Type (HL)	Winter>Spring>Fall>Summer	93	39	72	161
Jeju Island Type (JI)	Summer>Spring>Fall>Winter	103	133	89	40

후유형을 명명하였다. 이에 따라 공간분포 범위가 넓은 계절주기 기후유형부터 순서대로 살펴보면, 중부겨울-여름몬순형(겨울>여름>봄>가을), 남부 여름-겨울몬순형(여름>겨울>봄>가을), 고산형(겨울>봄>가을>여름), 남부도서해안형(여름>봄>겨울>가을), 제주형(여름

>봄>가을>겨울) 순서대로 나열된다. 또한, 이러한 계절주기 기후유형들을 저위도부터 고위도 순서대로 나열하여 그 세부특징을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 제주형(JI; 여름>봄>가을>겨울): 우리나라 남단에 위치한 제주도 해안지역에만 나타나는 계절주기 기후유형으로, 평균적으로 지속기간은 여름철이 133일, 봄철이 103일, 가을철이 89일로 길고, 겨울철은 40일로 매우 짧다. 대체로 겨울철은 한반도에 비해서 매우 늦은 1월 초순에 시작되어 매우 이른 2월 중순에 종결되고, 여름은 5월 말 영서지방과 유사한 시기에 시작되어 10월 중순까지 오래 지속된다. 장기간 관측된 자료가 없는 해발고도가 높은 한라산 고산지대에는 이와는 다른 계절주기 기후형을 보일 것으로 사료된다.

(2) 남부 도서해안형(SCI; 여름>봄>겨울>가을): 한반도 남해안 인접 도서지방에 나타나는 계절주기 기후유형으로, 평균적으로 여름철이 126일, 봄철이 91일, 겨울철 81일로 길고, 가을철이 67일로 가장 짧다. 겨울철이 12월 초순경에 시작되고, 3월 초순경에 종료한다. 여름철은 5월말에 시작되어 9월 초순까지 오래 지속된다. 특히, 따뜻한 해양의 영향을 많이 받는 지역이다.

(3) 남부 여름-겨울 몬순형(SSWM; 여름>겨울>봄>가을): 우리나라 해발고도 200m이하의 대부분의 남부 지방에서 나타나는 계절주기 기후유형으로, 여름몬순 기간과 겨울몬순 기간이 길며, 봄철과 가을철은 상대적으로 짧은 기후지역이다. 이 지역은 평균적으로 여름

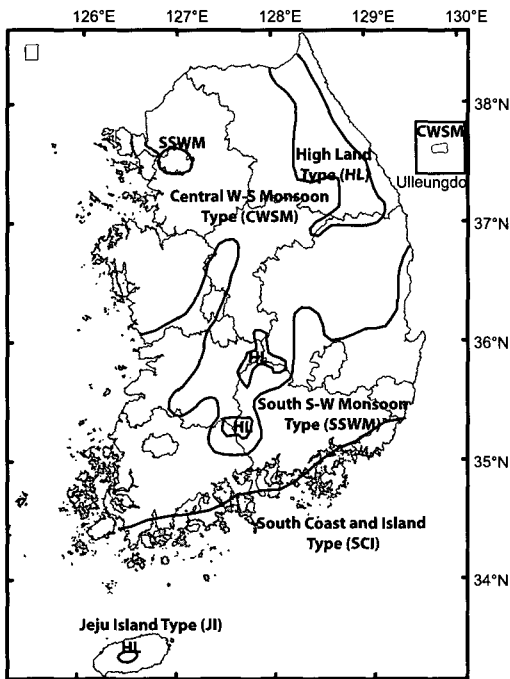


Figure 6. Five climatic zones of seasonal cycles showing the same order combinations of seasonal duration (Table 3) in South Korea.

철이 121일, 겨울철이 102일로 길고, 반면 봄철 77일, 가을철 65일로 짧은 특징을 지닌다. 겨울철은 평균적으로 11월 하순에서 12월 초순에 시작되고, 3월 초순에서 하순 사이에 종료한다. 여름철은 5월말에 주로 시작하여 9월 중순에서 말 사이에 종료한다. 특징적으로, 서울도 남부 여름-겨울 몬순형에 속하는데 이는 도시화로 인하여 여름철이 증가하고 겨울철이 줄어들어서 국지적으로 나타나는 것으로 사료된다.

(4) 중부 겨울-여름 몬순형(CWSM; 겨울>여름>봄>가을): 우리나라에서 가장 넓은 지역에 걸쳐 나타나는 계절주기 기후형으로, 남부 여름-겨울 몬순형과는 달리 겨울철이 여름철에 비하여 긴 것이 특징이다. 한반도 중부 지방의 해발고도 500m 이하 대부분의 저지대에서 나타난다. 겨울철이 121일, 여름철이 107일로 길고, 봄철은 74일 가을철은 63일로 상대적으로 짧다. 겨울철은 11월 초에서 하순 사이에 시작되어 이듬해 3월 하순에서 4월 초순 사이에 종료된다. 반면, 여름철은 중부 영서 내륙지역에서는 5월 하순경에 시작되어 9월 하순에 종료되고, 중산간지역은 6월 중순경에 시작되어 10월 초에 종료하게 된다. 이 지역은 겨울철에 한랭 건조한 북서계절풍이 불 때 가장 직접적인 영향을 받는 특징을 지닌 지역이다.

(5) 고산형(HL; 겨울>봄>가을>여름): 대부분 태백산맥과 소백산맥의 해발고도 500m이상의 고지대에서 나타나는 계절주기 기후유형으로, 높은 해발고도로 인한 기온감률의 효과로 겨울철이 161일로 길게 나타나며, 봄철 93일, 가을철이 72일로 나타나고, 특히 여름철이 39일로 짧은 것이 특징적이다. 겨울은 11월초 이전에 나타나고, 4월 중순 이후까지 오래 지속된다. 반면, 초여름장마 이전과 늦장마 이후 고온기간이 없기 때문에, 고온기간이 7월 중순경에 시작되고 8월 하순 이전에 종료하여 여름철 지속기간이 다른 계절에 비해 짧다. 그 이유는 해발고도가 높은 고지대에서는 항상 강한 상층풍이 불고, 기온감률에 의해서 해발고도 상승에 따라 기온이 많이 떨어지기 때문이다.

이러한 5가지 유형 이외에도 강릉에서는 국지적으로 계절의 길이가 여름>겨울>가을>봄 순으로 나타난다. 이 지역 계절주기 특이성에 영향을 줄 것으로 예상

되는 태백산맥의 지형효과에 의한 편향상이나 해수의 연변동 등의 기후인자들과의 관련성에 대해서 차후 국지기후 접근방법을 이용한 연구가 필요하다.

## 5. 최근 우리나라 사계절 개시일과 지속기간의 변화

최근 한반도에서도 온난화현상이 뚜렷하게 나타나고 있으며, 특히 추운계절(12월-3월)을 중심으로 그 평균기온의 증가율이 다른 계절에 비해 높게 나타난다(최광용·권원태, 2001). 이러한 한반도의 온난화의 영향은 우리나라 계절길이 변화에도 뚜렷하게 나타나고 있다(Figure 7). 연구기간(1973-2004) 동안 61개 관측 지점의 봄 및 여름, 가을의 평균 지속길이는 증가하고 있으나, 그 변화율은 통계적으로 유의하지는 않다. 반면, 겨울철 지속길이는 연구기간 동안 뚜렷한 감소추세를 보였는데, 감소율은 -5days/10years로 통계적으로도 유의미하다. 이와 같이 연구기간 동안 10일 정도의 겨울철이 축소된 현상은 겨울철 개시일이 4일 늦어지고, 반대로 봄의 개시일은 6일 빨라져서 나타난 것이다. Figure 7에서 나타나듯이, 한반도에서 겨울철 축소현상이 가장 뚜렷하게 나타나기 시작한 시점은 1980년대 후반으로, 전세계적으로 겨울철을 중심으로 뚜렷한 기온상승이 나타난 시점(Houghton *et al.*, 2001)과도 일치한다. 특히, 전 세계적으로 1980년대 후반 이후 고위도를 중심으로 겨울철 야간기온이 뚜렷하게 상승하는 경향을 보였다(Easterling *et al.*, 1997). 지표의 기온 변화 이외에도 북반구 대기순환과 관련하여, 1980년대 후반 이후로 극진동(Arctic Oscillation; AO) 혹은 북대서양 진동(North Atlantic Oscillation; NAO)이 장기간 평균에 비하여 뚜렷한 양의 편차를 보였다(Thompson *et al.*, 2000). 1980년대 후반 이후에는 북반구를 덮고 있는 눈과 얼음 피복의 총 넓이도 따뜻한 계절을 중심으로 뚜렷하게 줄어들었다(Robinson *et al.*, 1995; Chapman and Walsh, 1993; Choi *et al.*, 2005). 또한, 계절변화와 관련하여서는 최근 북반구 북반구 눈피복과 기온을 바탕으로 봄철 개시일을 정의하여 살펴본

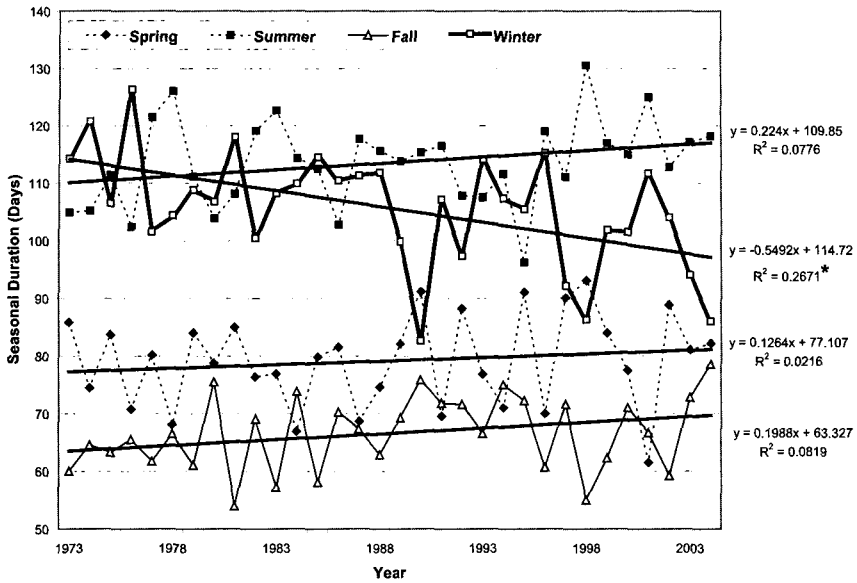


Figure 7. Trends of seasonal duration in South Korea, 1973–2004

\* 95% significance level

결과, 1980년대 후반 이후 봄철 개시일이 북반구 대륙의 여러지역에서 뚜렷하게 빨라지고 있다(Choi and Robinson, 2006). 따라서, 한반도의 겨울철 축소 현상은 전 지구적으로 나타나는 기후변화 추세와도 일치하는 결과라고 할 수 있다.

한반도에 나타난 계절변화가 진행된 과정을 보다 세부적으로 살펴보기 위해, 연구기간을 크게 전반기

(1973–1984), 중반기(1985–1994), 후반기(1995–2004)로 나누어, 계절 개시일과 지속기간의 장기간 평균으로부터의 편차를 살펴보았다(Table 4). 우선, 61개 전 관측지점의 계절 개시일을 평균하여, 매년의 남한전체 평균적인 각 기간별 계절 개시일을 살펴 본 결과, 전반기(1973–1984) 평균 봄은 3월 16일에, 여름은 6월 1일에, 가을은 9월 22일에, 겨울은 11월 25일에 시작하였

Table 4. Changes in average seasonal onset and duration across 61 weather stations in South Korea

Seasonality	Periods	Spring	Summer	Fall	Winter
Seasonal Onset	1973-1984 (A)	75	152	265	329
	1985-1994 (B)	74	152	265	333
	1995-2004 (C)	68	149	266	332
	Difference (C-A)	-7 days	-3 days	+1 day	+3 days
Seasonal Duration	1973-1984 (A)	77 days	113 days	64 days	111 days
	1985-1994 (B)	78 days	113 days	68 days	106 days
	1995-2004 (C)	81 days	117 days	66 days	101 days
	Difference (C-A)	+4 days	+4 days	+2 days	- 10 days**

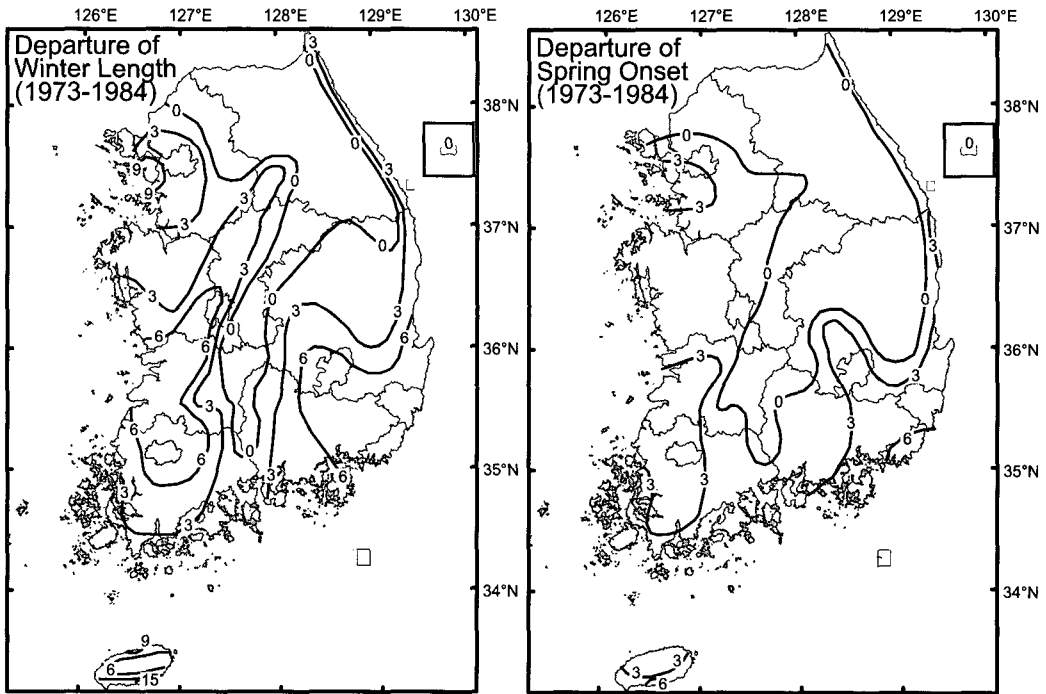
\* 70: March 11, 150: May 30, 260: September 17, 330: November 26

\*\* 99% of significance in Mann-Whitney U test.

다. 중반기(1985-1994)에는 여름과 가을철 개시일과 지속기간에는 변화가 거의 없었지만, 겨울철 지속기간은 5일정도 줄어들었다. 후반기(1995-2004)에는 전반기에 비해, 봄철과 여름철 개시일이 각각 7일과 3일씩 빨라졌으나, 반대로 가을철과 겨울철 개시일은 1일과 3일씩 늦어졌고, 그 결과 후반기에는 전반기에 비하여, 겨울철은 10일 감소하고, 봄, 여름, 가을철은 각각 지속기간이 4일 및 4일, 2일씩 각각 증가하였다.

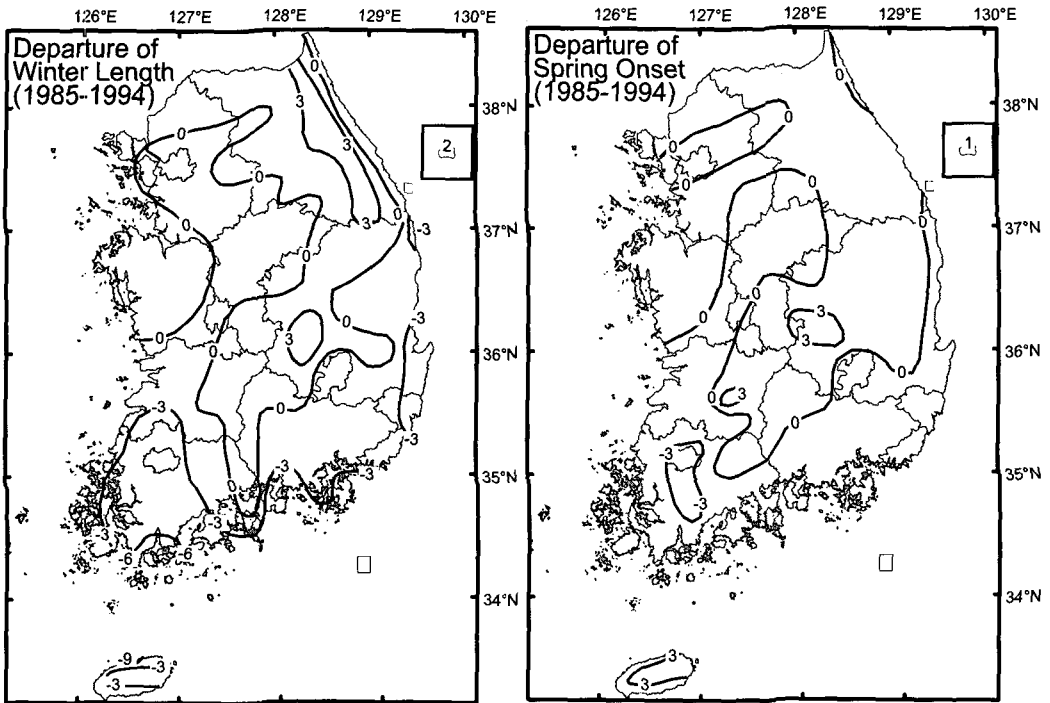
이와같은 한반도 평균적인 계절주기의 변화, 특히 겨울철이 축소하고 봄철 개시일이 빨라지는 현상은 20세기 후반에 시간의 진행에 따라 남부지역에서 차차 북부지역으로 확장하여 전 지역에 나타나는 공간진행 패턴을 보였다(Figure 8). Figure 8은 전·중·후반기 동안의 관측지점별 겨울철 지속일과 봄철 개시일을 32년 평균과 비교하여 산출한 편차를 지도화한 것이다. 우선, 전반기(1973-1984)에는 평년(1973-2004)에 비하여 해발고도가 낮은 지역을 중심으로, 봄은 3-6일 늦게 시작하였고, 겨울철 기간은 오히려 3-15일 정도

더 길게 나타났다(Figure 8(a)). 그러나, 중반기(1985-1994)에 접어들어 한반도 제주도와 한반도 남부지방을 중심으로 봄철 개시일이 0-3일 앞당겨졌고, 겨울철 지속일은 0-9일 이상씩 줄어들었다(Figure 8(b)). 후반기(1995-2004)에는 우리나라 전역에 걸쳐 32년 평균에 비해, 3-15일 빨라지고, 겨울철은 3-12일 정도 줄어들었다(Figure 8(c)). 1990년대 이후 봄철이 빨라지고 겨울철이 줄어드는 정도는 저위도일수록, 해발고도가 낮은 지역일수록, 그리고 내륙의 대도시일수록 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이와같은 세 기간 동안 점차 겨울철 지속기간 축소현상이 남부에서 북부로 확장된 공간 분포 변화는 대기대순환이 과거에 비해 최근에 연중 봄철 이른 시기에 북쪽으로 이동하기 때문에 나타나는 현상일 것으로 사료된다. 특히, 이러한 결과는 시간적으로 최근 우리나라 봄철 개화시기가 3-7일 앞당겨졌다거나(이승범 외, 2003; 최광용·권원태, 2003; 이승호·이경미, 2003; Choi *et al.*, 2004; Ho *et al.*, 2006), 공간적으로 보리의 재배 가능범위(심교문 외, 2004)나

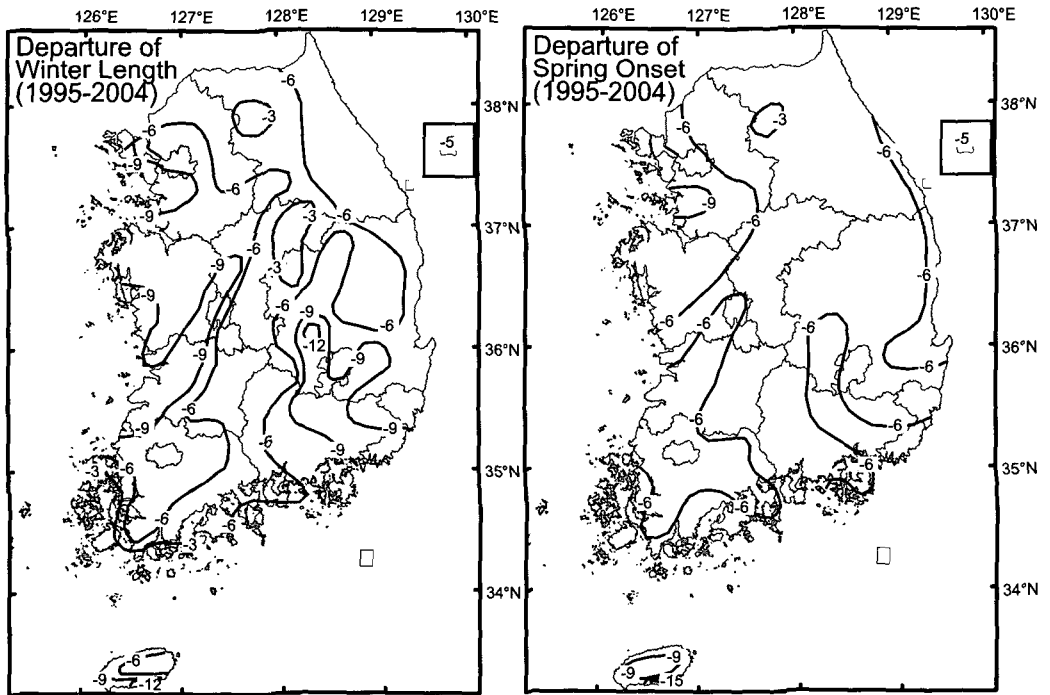


(a) The first period (1973-1984)

Figure 8. Departures (days) of winter duration and spring onset from long-term average (1973-2004) during the first period (1973-1984) (a), the second period (1985-1994) (b), and the third period (1995-2004) (c).



(b) The second period (1985-1994)



(c) The third period (1995-2004)

Figure 8. Departures (days) of winter duration and spring onset from long-term average (1973-2004) during the first period (1973-1984) (a), the second period (1985-1994) (b), and the third period (1995-2004) (c).



Table 5. Changes in average geopotential heights at 925hPa in the midlatitude region (70–160° E, 30–50° N) (Mid\_GPH) and in the Arctic region (0–90° E, 65–85° N) (Arc\_GPH), and the difference of geopotential heights between the midlatitude and Arctic regions (Diff\_GPH), the Arctic Oscillation index (AO index) during the cold period (December–March), and winter length in South Korea between the former period (1973–1987; B) and the latter period (1988–2004; A).

Periods	Variables	1973-1987 (B)	1988-2004 (A)	Difference (A-B)	Mann-Whitney U
Spring	Onset	76	70	-6days	0.082
Winter	Duration	112	102	-10days	0.009**
December-March	Mid_GPH	797m	802m	5m	0.020*
	Arc_GPH	688m	665m	-22m	0.037*
	Diff_GPH	109m	136m	27m	0.027*
	AO index	-0.4	0.3	0.7	0.044*
	Siberia High	822m	823m	+1m	0.925

\* 95% significance level

\*\* 99% significance level

또는 마늘 재배지역 및 대나무 자연군락지역(기상연구소 2002; 허인혜 외 2006)이 북상하고 있다는 결과와도 일치한다.

한편, Figure 7의 시계열에서도 나타났듯이, 한반도의 계절변화는 1980년 후반 이후에 봄철 개시일이 빨라져서 겨울철 지속기간이 뚜렷하게 줄어들기 시작하였다. 1988년 이전과 이후의 봄철 개시일과의 차이를 비교해 보면, 우리나라 61개지점 전체 평균한 봄철 개시일은 1988년 이전에는 3월 17일이었으나, 1988년 이후에는 3월 11일로 6일정도 앞당겨졌다(Table 5). 또한, 겨울철 개시일도 우리나라 평균적으로 1988년 이전에 11월 26일에 시작하였으나, 1988년 이후에는 11월 30일로 4일 늦어져서, 겨울철 지속기간이 1988년 이후에 10일 정도 짧아졌다. 공간적으로, 1988년 이후의 겨울철 기간이 축소하고 봄철 개시일이 빨라지는 현상은 특정지역에만 국한되어 발생한 것이 아니라 한반도 전지역에 걸쳐 나타났다(Figure 9). 국지적으로 도시화가 많이 진행된 서울, 대전, 전주, 광주, 대구, 부산과 같은 대도시나 포항과 같은 산업도시에서는 이와같이 봄철 개시일이 빨라지고 겨울철 기간이 줄어드는 현상이 도시화가 덜 진행된 인접지역에 비교하여 더욱 뚜렷하게 나타났다. 반면, 겨울철 시작과 종료일 그리고 지속기간 이외의 다른 계절의 개시일과 종료일

그리고 계절 지속기간에는 연구기간 동안 변화가 뚜렷하지 않다. 예외적으로 도시화가 많이 진행된 지역에서는 국지적으로 여름철이 길어지는 특징을 나타내기도 하지만, 이는 인위적인 도시피복 변화에 따른 매우 제한된 지역에서만 나타나는 현상이다. 그러나, 봄철 시작일이 빨라지고 겨울철 기간이 줄어드는 현상은 전세계적으로 나타난 기온의 상승의 뚜렷해지는 시기(Houghton *et al.*, 2001), 봄철 눈피복이 뚜렷하게 줄어드는 시기(Robinson *et al.*, 1995) 등과도 일치하여 실제 한반도 지역기후 변화의 한 단면으로써 발생하는 현상임을 알 수 있다.

이와같이, 1980년대 후반 이후에 한반도에 나타나는 겨울철 지속기간과 봄철 개시일의 뚜렷한 변화와 북반구 대기순환장의 변화의 잠재적인 상관성을 살펴보기 위해, 1988년을 기준으로 전반기(1973–1987)와 후반기(1988–2004)의 추운 계절(12–3월)에 대한 북반구 925hPa면의 지오폠펜셀고도(Geopotential height), 북극진동(AO) 지수와 같은 요소들의 차이를 구하였다(Table 5). 두 시기의 공간분포적 차이를 살펴보면, 북반구 기압장의 변화가 가장 뚜렷하게 나타난 지역은 서반구 중에서 유럽의 북쪽에 위치한 극지방(0–90° E, 65–85° N)이다(미제시). 이 동반구 극지방(0–90° E, 65–85° N)의 925hPa면의 지오폠펜셀고도의 두 기간

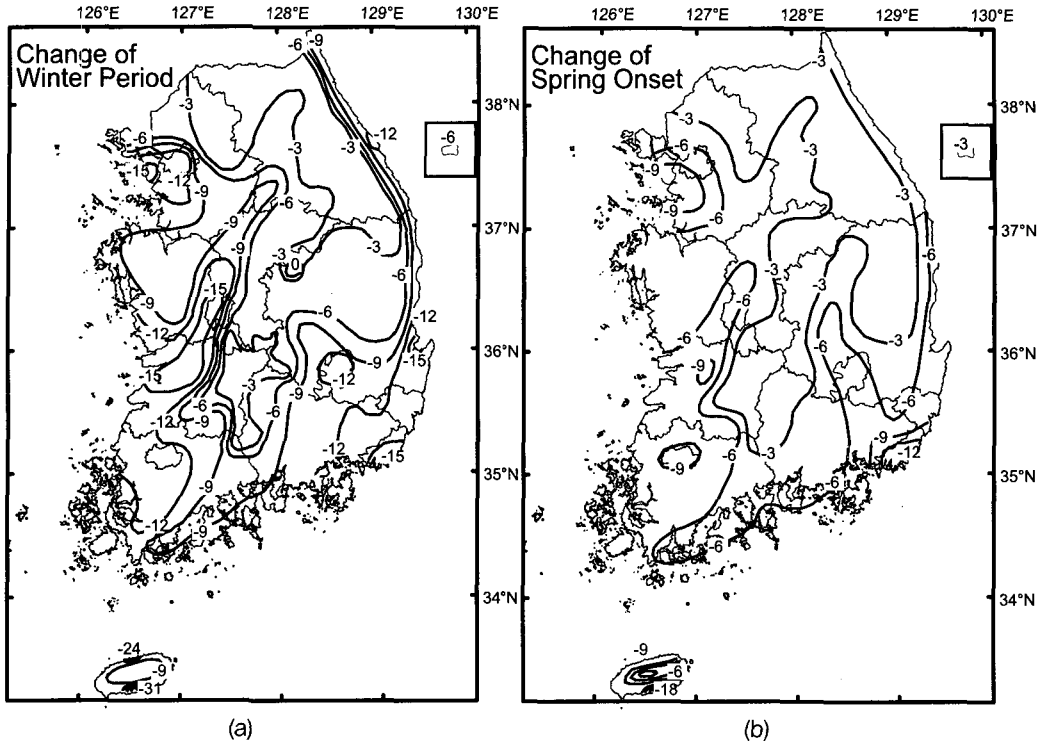


Figure 9. Recent (1988–2004) shortening (days) of winter durations (a) and advance of spring onsets (b) in South Korea compared with the past (1973–1987).

동안의 차이를 살펴보면, 후반기에 22m 정도 낮아졌다. 반면, 한반도를 포함하는 중위도 동아시아 지역(70–160° E, 30–50° N)에서는 925hPa면의 지오폠펠설고도는 후반기에 약 5m 증가하였다. 또한, 후반기에 북극진동(AO) 지수도 전반기에 비하여 0.7 정도 증가하였다. 이러한 두 기간 사이의 지오폠펠설고도와 북극진동(AO) 지수 평균의 차이는 Mann–Whitney U검정 결과 모두 유의미함을 알 수 있다. 반면, 한반도 겨울철 기온진동과 관련되어 있을 것으로 예상되었던 시베리아 고기압 지역(80–120° E, 40–60° N)의 추운기간(12–3월) 평균 중심기압은 1988년 이전과 이후 두 기간에 변화가 뚜렷하지 않았다.

이러한 결과를 바탕으로, 지난 32년간 매년의 우리나라 공간평균 계절 개시일 및 지속기간과 추운기간(12–3월)동안의 평균적인 동반구 극지방, 시베리아 고기압 지역, 한반도 주변의 중위도 지역(70–160° E, 30–50° N)의 지오폠펠설고도 평균과 북극진동(AO)

지수 등의 대기순환 관련 요소들과의 피어슨 상관관계를 구하여 보았다(Table 6). 그 결과, 지난 32년간 동반구 극지방(0–90° E, 65–85° N)의 925hPa면의 지오폠펠설고도의 변화가 한반도 겨울철 지속기간과 봄철의 개시일과 통계적으로 유의미한 상관관계를 나타냈다. 또한, 추운 계절(12–3월) 북극진동(AO) 지수는 오히려 우리나라의 여름철 지속기간과 통계적으로 유의미한 상관관계를 나타내었다. 그러나, 연구기간 동안 추운 계절(12–3월)의 시베리아 고기압의 변화와 봄철 개시일간의 상관관계는 통계적으로 유의미하지 않았다. 북반구에서 1980년대 후반 이후에는 극지방의 기온은 낮아지고 반대로 중위도 지역의 기온은 높아지는 진동성을 보이고 있다(Choi *et al.*, 2005). 즉, 최근 우리나라의 겨울철 기간이 줄어드는 현상은, 단순히 우리나라 겨울철 한파와 관련이 있는 시베리아 고기압 지역의 기압변동에 의해서 나타나는 것이 아니라, 북반구 고위도와 중위도 간의 진동하는 대기순환과 원격상관관

Table 6. Pearson correlation coefficients between the average geopotential heights at 925hPa in the midlatitude region (70–160° E, 30–50° N) (Mid-GPH) or in the Arctic region (0–90° E, 65–85° N) (Arc-GPH) or the difference of geopotential heights between the midlatitude and Arctic regions (Diff-GPH) or the Arctic Oscillation (AO) index during the cold period (December–March), and seasonal onsets or lengths in South Korea (1973–2004).

X-Y variables	R-value	Significance
Arc_GHP - Spring onset	0.395	0.025*
Arc_GHP - Winter length	-0.447	0.010**
AO index - Summer length	-0.359	0.044*
Diff_GPH - Spring length	0.427	0.015*
Siberian High - Spring onset	0.075	0.683

\* 95% significance level

\*\* 99% significance level

계(teleconnections)를 통해서 나타나고 있다는 것을 알 수 있다.

## 6. 요약 및 결론

본 연구는 일 최고기온, 일 평균기온, 일 최저기온을 이용하여 계절을 정의하고, 지난 32년 (1973–2004) 동안 우리나라의 전국 61개 관측지점의 계절 개시일과 지속기간을 산출하여, 장기간 평균적인 사계절 주기의 공간분포 패턴을 분석하고, 그 특성에 따라 계절주기 기후지역을 구분하였다. 또한, 1980년대 후반 이후에 뚜렷하게 가시화되고 있는 한반도 온난화가 한반도 계절변화에 어떠한 영향을 주는지에 대해서, 계절 개시일과 지속기간에 나타난 시·공간적 변화 추세를 살펴보고, 우리나라 겨울철 계절변화와 북반구 대기순환장과의 잠재적인 관련성을 살펴보았다. 그 결과, 밝혀진 주요 내용들은 다음과 같다.

첫째, 한반도 봄철 및 가을철, 겨울철 개시일은 주로 위도와 해발고도의 영향을 받아 저위도 저지대와 고위

도 고지대 사이(성산포-대관령 기준)에 각각 최대 44일 및 48일, 63일의 차이를 보인다. 반면, 여름철 개시일은 위도보다는 해양의 영향을 얼마나 덜 받는가에 따라 제주도보다는 오히려 한반도 내륙지역의 도시화된 지역에서 더 빨리 시작되고, 점차 해발고도가 높거나 해양과 가까운 지역으로 차차 진행된다. 그 결과 여름철 개시일은 대구-대관령 기준 최대 59일 차이가 난다.

둘째, 한반도는 일반적으로 여름과 겨울이 길고 전이적인 봄과 가을철은 짧은, 몬순이 지배적인 계절 주기를 보이나, 지역적으로는 다양한 기후인자의 영향으로 차이를 보인다. 가령, 저위도에 위치한 제주도(성산포 기준) 무더운 여름철(124일)이 추운 겨울철(54일)보다 2배 이상으로 오래 지속되고, 대조적으로 한반도 중부지방의 태백산맥의 고지대에 위치한 대관령은 추운 겨울철(161일)이 무더운 여름철(39일)에 비해 4배 이상 기간이 오래 지속되는 상반된 특징을 보인다.

셋째, 사계절 지속기간에 따라 긴 계절부터 짧은 계절 순으로의 조합의 공간적 특징을 살펴보면, 우리나라에는 특징적으로 5개의 계절주기 기후유형이 군집되어 나타난다.: 중부 겨울-여름몬순형(겨울>여름>봄>가을), 남부 여름-겨울 몬순형(여름>겨울>봄>가을), 고산형(겨울>봄>가을>여름), 남부 도서해안형(여름>봄>겨울>가을), 제주도형(여름>봄>가을>겨울).

넷째, 전 지구적인 지구온난화 추세는 20세기 후반 우리나라 계절주기에도 변화를 가져와, 겨울철 지속기간을 축소시켰다. 특히, 최근 30년 중 1980년대 후반 이후 평균적으로 겨울철 개시일이 4일 늦어지고, 봄철 개시일이 6일 빨라져 겨울철 지속기간이 10일 줄어들었다. 이러한 현상은 공간적으로 1980년대 중반부터 저위도에 위치한 제주도와 남해안 지방에서 시작되어, 점차 1990년 중반 이후에는 북쪽으로 확대되어 전국적으로 뚜렷하게 나타났다.

다섯째, 우리나라에서 최근 겨울철 지속기간이 짧아지는 현상은 동반구 극지방(0–90° E, 65–85° N) 925hPa의 추운계절(12–3월) 지오포텐셜고도장의 변화와 통계적으로 유의미한 원격상관관계(teleconnections)가 있는 것으로 나타났다. 반면, 시베리아 고기압과 겨울철 계절변화와의 관계는 뚜렷하지 않았다.

여섯째, 20세기 후반에 도시화가 급속하게 진행된 지역에서는 인접지역에 비해 겨울철 개시일이 늦어지고, 종료일은 빨라져서 겨울철 축소현상을 더욱 강화되어, 도시화가 덜 진행된 주변지역에 비해 2배 이상 더 짧아졌다. 또한, 한반도 전체적으로는 여름철 기간에 동일한 변화는 감지되지 않았으나, 도시화가 진행된 지역에서만 국지적으로 주변지역에 비해 여름철 개시일은 빨라지고, 오히려 종료일은 늦어져서 여름철 지속기간이 약 10-24일 정도 늘어났다. 특히, 인위적인 도시화에 의해 국지적으로 여름철 지속기간이 증가하는 현상은 해안도시보다는 내륙도시에서 더욱 뚜렷하게 나타났다.

본 연구에서 밝혀진 우리나라 장기간 평균적인 계절 개시일 및 지속기간의 공간적인 분포특징과 최근의 한반도 온난화와 도시화에 의한 나타난 계절주기의 시·공간적 변화에 대한 결과들은 한반도의 동식물 연중 이동과 생리주기를 파악하거나, 연중 농업활동 및 에너지사용과 관련된 다양한 인간생활주기의 조절하는데 유용한 기초자료가 될 수 있을 것으로 생각된다. 특히, 기후변화적 관점에서, 본 연구에서 밝혀진 우리나라 계절 개시일과 지속기간에 대한 시·공간적 변화에 대한 내용들은, 한반도 기후변화에 따른 대응정책을 마련하는데 기초자료로도 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 차후에는 북반구 대기순환이 봄철 개시일이 빨라지고, 겨울철 지속기간이 줄어드는 우리나라 계절변화에 미치는 대기역학 매커니즘에 대한 종관기후학적 연구가 필요하다고 생각된다. 가령, 본 연구에서 마지막 장에 간단하게 소개된 북극진동(AO) 지수나 극지방의 기압장과 우리나라의 계절주기의 lead/lag 원격상관관계를 보다 자세하게 밝힘으로써, 계절주기를 예측할 수 있는 모델을 개발한다면, 우리생활에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 이외에도, 대도시에서의 인간 경제활동이 계절 개시일과 지속기간에 미치는 영향을 정량화하여, 더욱 심화되는 도시화에 의한 극지기후의 변화에 대비할 필요성이 있다고 생각한다.

## 謝辭

본 연구는 한국기상청 기상연구소 사업 “기후변화 협약 대응 지역기후 시나리오 활용 기술개발”의 일환으로 기후자료 제공과 연구비 지원에 의해 이루어진 것으로, 이에 대해 진심으로 한국기상청 기상연구소에 감사드린다. 또한, 논문에 사용된 기압장 자료와 AO지수를 제공한 NCEP/NCAR와 NOAA CPC와 논문의 향상에 조언을 아끼지 않은 익명의 심사자 분들, 논문 초고의 교정에 도움을 준 미국 럿거스 뉴저지 주립대 언어학과 박사과정 이승훈 군에게도 감사드린다.

## 註

- 1) 북반구 극지방과 중위도 지역사이의 기압장이 정편차 부편차로 바뀌는 지구적 규모의 기후변동을 보여준다. Annular mode라고도 하며, 미국 워싱턴대 기상학과에서 석·박사학위를 받고 현재 콜로라도 주립대 기상학과에서 조교수로 있는 Thompson박사와 그의 지도교수였던 Wallace 박사가 1998년 처음으로 제안하였다. 북극진동(AO)은 엘니뇨-남방진동(El Niño Southern Oscillation; ENSO)과 더불어 전 세계적인 기후패턴에 많은 영향을 주는 것으로 보고되고 있다. 일부 기후학자들은 북극진동(AO)이 북대서양 진동(North Atlantic Oscillation)을 북반구 전체로 확장해서 볼 때 나타나는 동일한 기압진동 패턴이라고 논쟁하기도 한다. 자세한 수학적 지수산출 과정은 Thompson and Wallace(1998)를 참고하기 바란다.

## 文獻

- 강만석, 1981, 한국의 자연 계절구분에 관한 종관 기후학적 연구, 경희대학교 박사학위논문.
- 강용규, 1984, “한국 주변 해양 표면 수온의 계절적 변화,” 한국해양학회지, 19(1), 31-35.
- 권영아 · 김지연 · 이승호, 2005, “꽃샘추위의 발생 분포와 변화 경향,” 대한지리학회지, 40(3), 285-295.
- 권원태, 2005, “기후변화의 과학적 현황과 전망,” 한국기상학회지, 41(2), 325-336.
- 기상연구소, 2002, 기후변화 협약 대응 지역 기후 시나리오 산출 개발 (I).
- 기상연구소, 2004, 한국의 기후, MR044C30.

- 김맹기, 1999, "상층 운량이 지상 기온의 계절적 변동에 미치는 영향," 한국기상학회지, 35(4), 475-490.
- 류상범 · 문승의 · 조병길, 1993, "남한의 도시화에 따른 기온변동," 한국기상학회지, 29(2), 99-116.
- 심교문 · 이정택 · 이양수 · 김건엽, 2004, "최근의 기후변화를 고려한 가을보리 안전재배시대 구분," 한국농림기상학회지, 6(4), 218-234.
- 안중배 · 류정희 · 조익현 · 박주영 · 류상범, 1997, "한반도 기온 및 강수량과 적도 태평양 해면 온도와의 상관관계에 대한 연구," 한국기상학회지, 33(3), 487-495.
- 유진호 · 강인식, 2002, "계절전이와 관련된 기온변동과 계절의 장기 변화 경향," 대기, 12(1), 107-110.
- 이병설, 1979, "우리나라의 자연계절에 관한 연구," 지리학, 14(2), 1-11.
- 이병설, 1985, "삼한사온과 기온특이일," 한국기상학회지, 21(1), 34-45.
- 이승범 · 신경섭 · 조영순 · 손승희, 2003, "식물계절에 나타난 한반도 기후변화 영향," 대기, 13(1), 468-471.
- 이승호, 1995, "한반도 주변의 기압배치형에 의한 자연 계절의 구분," 지리학연구, 26, 65-78.
- 이승호 · 이경미, 2003, "기온변화에 따른 벚꽃 개화시기의 변화 경향," 환경영향평가, 12(1), 45-54.
- 임경빈 · 이수옥, 1975, "조립학적으로 본 온도지수-온량 지수와 한랭지수를 중심으로-," 한국임학회지, 25, 1-12.
- 최광용 · 권원태, 2001, "20세기 우리나라 자연계절 전이와 생활기온지수의 변화," 지리교육논집, 45, 14-25.
- 최광용 · 권원태, 2003, "남한의 식물기후 주기변화," 2003년 대한지리학회 춘계대회 초록집, 75-78.
- 최광용 · 권원태, 2005, "최근 우리나라 열대야 현상 발생의 시 · 공간적 특징과 그 변화," 대한지리학회지, 40(6), 730-747.
- 허인혜 · 권원태 · 전영문 · 이승호, 2006, "우리나라에서 기온 상승이 식생 분포에 미치는 영향-대나무와 마늘을 중심으로," 환경영향평가, 15(1), 67-78.
- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D.B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., and Vazquez-Aguirre, J.L., 2006, Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Journal of Geophysical Research*, 111, 1-22.
- Alpert, P., Osetinsky, I., Ziv, B., and Shafir, H., 2004, A new seasons definition based on classified daily synoptic systems: an example for the eastern Mediterranean, *International Journal of Climatology*, 24, 1013-1021.
- Chapman, W.L. and Walsh, J.E., 1993, Recent variations of sea ice and air temperature in high latitudes, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74, 33-47.
- Choi, G., Kim, J., and Robinson, D.A., 2005, Potential linkages between spring snow cover and atmospheric circulation in the Northern Hemisphere, 1967-2004, *Eos Trans. American Geophysical Union*, 86(52), Fall Meeting Supplements, Abstract C11C-06.
- Choi, G., Kwon, W.-T., and Robinson, D.A., 2004, Changes of seasonality in South Korea, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(4), 504.
- Choi, G. and Robinson, D.A., 2006, Recent spring onset in the Northern Hemisphere, *Proceedings of the 2006 Annual Meeting of the American Association of Geographers*, 105.
- 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.
- Ho, C.-H., Lee, E.-J., Lee, I., and Jeong, S.-J., 2006, Earlier spring in Seoul, Korea, *International Journal of Climatology* (in press).
- Houghton, J.T., Ding, T., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C.A. (eds.), 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis, Summary for Policy Makers - Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Inoue, T. and Matsumoto, J., 2003, Seasonal and secular

- variations of sunshine duration and natural seasons in Japan, *International Journal of Climatology*, 23, 1219-1234.
- Kalnicky, R.A., 1987, Seasons, singularities, and climatic changes over the midlatitudes of the Northern Hemisphere during 1899-1969, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 1496-1510.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., and Joseph, D., 1996, The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437-471.
- Karl, T.R., Jones, P.D., Knight, R.W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V., Galle, K.P., Lindsey, J., Charlson, R.J., and Peterson, T.C., 1993, A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74, 1007-1023.
- Lamb, H.H., 1950, Types and spells of weather around the year in the British Isles, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 76, 393-438.
- Maejima, I., 1967, Natural seasons and weather singularities in Japan, *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, 2, 77-103.
- Menzel, A., Jakobi, G., Ahas, R., Scheifinger, H., and Estrella, N., 2003, Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared with other countries, *International Journal of Climatology*, 23(7), 793-812.
- Moon, S.E. and Um, H.H., 1980, The divisions of the natural seasons of Korea, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 16(1), 45-54.
- Pielke, R.A., Garstang, M., Lindsey, C., and Gusdorf, J., 1987, Use of a synoptic classification scheme to define seasons, *Theoretical and Applied Climatology*, 38, 57-68.
- Robinson, D.A., Frei, A., and Serreze, M.C., 1995, Recent variations and regional relationships in Northern Hemisphere snow cover, *Annals of Glaciology*, 21, 71-76.
- Thompson, D.W.J. and Wallace, J.M., 1998, The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophysical Research Letters*, 25, 1297-1300.
- Thompson, D.W.J., Wallace, J.M., and Hegerl, G.C., 2000, Annular modes in the extratropical circulation part II: trends, *Journal of Climate*, 13, 1018-1036.
- Trenberth, K.E., 1983, What are the seasons?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64, 1276-1282.
- Vincent, L.A., Peterson, T.C., Barros, V.R., Marino, M.B., Rusticucci, M., Carrasco, G., Ramirez, E., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Berlato, M.A., Grimm, A.M., Marengo, J.A., Mollion, L., Moncunill, D.F., Rebello, E., Anunciação, Y.M.T., Quintana, J., Santos, J.L., Baez, J., Coronel, G., Garcia, J., Trebejo, I., Bidegain, M., Haylock, M.R., and Karoly, D., 2005, Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000, *Journal of Climate*, 18(23), 5011-5023.
- von Storch, H. and Zwiers, F.W., 1999, *Statistical Analysis in Climate Research*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Ye, D., Jiang, Y., and Dong, W., 2003, The northward shift of climatic belts in China during the last 50 years and the corresponding seasonal Responses, *Advances in Atmospheric Sciences*, 20, 959-967.
- <http://amsglossary.allenpress.com//glossary/search?id=growing-degree-day1>
- <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>
- 교신: 최광용, 럿거스 뉴저지 주립대학교 지리학과 (이메일 : [tribute@hanmail.net](mailto:tribute@hanmail.net))
- Correspondence : Gwangyong Choi, Rutgers The State University of New Jersey, 54 Joyce Kilmer Ave., Piscataway, NJ, 08854, The United States (e-mail: [tribute@hanmail.net](mailto:tribute@hanmail.net))