

서울의 늦가을에 나타나는 온난기와 한랭기 기온변화의 종관 특성

박병익*

Synoptic Characteristics of Temperature Change of the Warm and Cold periods appeared at Late Autumn of Seoul

Byong Ik Park*

요약 : 이 연구에서는 서울의 1941~1970년과 1971~2000년의 평균 일최저기온의 차이와 이의 조화파 합성에서 11월 중순의 기온 상승기(온난기)와 11월 하순의 기온 정체기(한랭기)를 설정하고, 온난기와 한랭기의 평균 기온의 경년변화와 이에 영향을 미치는 종관장의 특성을 조사하였다. 온난기에는 시베리아 고기압, 주변 해면 기압과 925hPa 면의 바람장 등에 기온 상승에 상응하는 경년변화가 나타나지 않는다. 온난기 기온이 높은 시기(1972~1979)에는 우리나라 북부를 중심으로 고기압 편차와 고기압성 회전 편차가 나타나 겨울철 계절풍이 약화되어 기온이 상승하는 온난기가 나타나는 것으로 판단된다. 한랭기에는 시베리아 고기압은 약화되고 있으나 홋카이도 동쪽 저기압이 강화되고 우리나라 부근의 서풍이 강화되어 우리나라의 기온 상승이 억제되거나 하강하는 것으로 나타났다.

주요어 : 온난기, 한랭기, 늦가을, 시베리아 고기압, 홋카이도 동쪽 저기압

Abstract : This study aims to identify the warm and cold periods(WP, CP) of November appeared in the daily normals of daily minimum temperature of Seoul for 1941-1970 and 1971-2000 and to investigate synoptic characteristics of the temperature changes of WP and CP. The WP temperatures are increased clearly(p value 0.000), the CP temperatures are also warming but not significant statistically. In WP, there are not apparent trends corresponding the warming of WP temperature, in the Siberian High, Sea Level Pressure(SLP), 925hPa surface wind(U925, V925) around the Korean peninsula. In high period(1972-1979) of WP temperature, there are positive SLP anomaly and anomalous anticyclonic circulation pattern of 925hPa wind field over the Korean peninsula then the winter monsoon is weakened and the WP temperature is ascending. In CP, the Siberian high are weakening, the Hokkaido eastern low are strengthening and the westerlies(U925) over the Korean Peninsula are enlarging. So CP temperature are suppressed in rising trend or shows weak descent.

Key Words : warm period, cold period, late Autumn, Siberian high, Hokkaido eastern low

* 서울대학교 사범대학 부교수(Associate Professor, Department of Geography Education, Seoul National University), fbipark@snu.ac.kr

1. 서론

지구의 평균기온은 20세기 후반에 뚜렷하게 상승하였고(기상청, 2008), 1998~2012년의 15년에 상승 속도가 약간 작아졌으나(기상청, 2015) 2014~16년의 최근 3년간 다시 커지고 있다(<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs>). 한반도의 기온상승은 지구평균보다 더 크게 나타나고 있으며(1981~2010년의 30년에 대해 한반도 평균기온은 0.41℃/10년의 상승률을, 지구평균 기온은 1951~2012년 평균 0.12℃/10년의 상승률을 보임), 계절별로는 겨울과 가을의 기온상승이 뚜렷하게 나타난다(기상청, 2012; 2015).

이러한 기온 상승에 따라서 우리나라 자연계절의 시작일과 지속기간에 뚜렷한 변화가 나타난다. 대체로 겨울철 기온 상승으로 봄의 시작일이 빨라지고(권재일·최영은, 2014; Qian *et al.*, 2011) 겨울의 시작일이 늦어지며, 여름철 기온 상승으로 여름 시작일이 빨라지고 가을 시작일이 늦어진다(최광용 등, 2006; 권영아 등, 2007; 구희성·김경현, 2007). 이로 인해 여름 기간은 길어지고 겨울 기간은 짧아지고 있으며, 미래의 기후 시나리오를 상정한 전망 자료에서도 같은 경향이 나타난다(권영아 등, 2007).

춘분, 추분, 입동(11월 7일경)과 같이 친근하게 쓰이는 특정 시기의 기온 변화를 살펴보면 기후변화의 특성을 보다 잘 파악할 수 있을 것이다. 근래에 24절기의 기온변화에 대한 연구가 이어지고 있는데(기상청, 2009; 진미정·박선엽, 2015; Qian *et al.*, 2012 등), 중국의 경우(Qian *et al.*, 2012)와 우리나라의 경우(기상청, 2009; 진미정·박선엽, 2015)는 직접 비교하기가 어렵다. 우리나라 24절기에서의 기온변화를 보면 대부분의 절기에서 기온이 상승하였으나 처서(8월 23일경, 기상청, 2009), 춘분, 망종(6월 6일경), 소설(11월 22일경), 대설(12월 7일경, 진미정·박선엽, 2015)에서 기온이 하강하였다. 이중 망종, 소설과 대설의 기온은 하강 경향이 나타났는데, 기상청(2009)의 분석에서는 위 3절기에서 모두 기온이 상승하고 있다. 진미정·박선엽(2015)의 연구는 1981~2010년의 30년 자료를 사용하고 있고, 기상청(2009)의 분석에서는

1919~2008년의 자료를 사용하고 있으나 소설, 대설의 기온변화 차이는 이해하기가 어렵다.

1941~1970년과 1971~2000년에 대해 계산한 서울의 일평균기온 차이를 보면 11월 초·중순의 기온상승과 하순의 뚜렷한 기온 하강이 나타난다(박병익, 2011). 우리나라에서 60년 이상의 관측 자료가 있는 10개 지점에 대해 유사한 계산을 한 결과 11월 하순의 기온하강과 11월 초·중순의 기온상승이 공통적으로 나타났다. 24절기와 관련하여 보면 11월 초·중순은 입동을 포함하고 있고, 11월 하순은 소설을 포함하고 있다. 그러므로 이 두 시기의 기온변화 특성을 종관기후학적으로 살펴보는 것은 의미가 있다.

우리나라의 겨울철과 여름철 기후에 관한 연구는 매우 많으나(조창현 등, 2012; 최광용·김준수, 2015 등) 봄·가을의 기후에 관한 연구는 비교적 적다. 봄의 시작일에 대한 연구(권재일·최영은, 2014 등), 꽃샘추위에 대한 연구(권영아 등, 2005 등), 춘계한발에 대한 연구(양진석, 1998 등), 황사에 대한 연구(김선영·이승호, 2009, 2013 등) 등이 있고, 벚꽃의 개화일에 대한 연구(윤진일, 2006 등) 등 생물기후에 관한 연구도 있다. 이에 비해 가을철 기후에 관한 연구는 양진석(2000)의 추계 한발에 관한 연구 등 소수의 연구가 있다.

이 연구의 목적은 11월 초·중순에 나타나는 기온상승시기와 11월 하순의 기온하강시기의 기온 변화 특성을 살펴보고, 그 종관특성을 살펴보는 것이다.

2. 연구자료 및 방법

이 연구에서 사용한 자료는 다음과 같다. 1940년 1월 1일부터 2013년 12월 31일까지 서울, 강릉, 인천, 울릉도, 대구, 전주, 광주, 부산, 목포, 제주의 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온 자료를 이용하였다. 해면기압과 925hPa 면의 바람자료는 NCEP/NCAR의 재분석자료(reanalysis data)에서 구하였다.¹⁾ 재분석자료는 1948년 1월 1일부터 이용할 수 있으며, 경위도 2.5도 간격의 해상도를 가진다.

연구방법은 다음과 같다. 먼저 서울을 비롯한 10개 지점의 일별 기온자료(일최고, 일평균, 일최저)에서 1941~1970년과 1971~2000년의 각 30년 평균²⁾을 구한 뒤 이 연간 일평균 자료들에 조화분석을 적용(조화분석에 대해서는 박병익, 2011; 진미정·박선엽, 2015 참조), 제1~제36³⁾ 조화파의 합성파를 구하였다. 1971~2000년 일 평균값과 합성파에서 1941~1970년 일 평균값과 합성파를 뺀 값들을 10월 1일에서 12월 31일에 대해 조사하였다.

10개 지점에 대해 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온의 각각에 대해 살펴본 결과 일최저기온에서 11월 중순 경의 온난기, 11월 하순경의 한랭기가 가장 뚜렷하게 나타난다. 그림 1은 서울의 일최저기온의 사례이다. 10~12월의 평균 기온상승값보다 기온이 더 상승한 기간들은 합성파 기준으로 10월 초·중순, 11월 초·중순, 12월에 나타나나 이중 기온이 가장 크게 상승한 기간은 11월 5일에서 17일까지의 기간이다. 마찬가지로 기온변화가 3개월 평균값보다 크게 낮은 기간은 11월 18일에서 12월 2일까지이다. 같은 방식으로 다른 지역들의 기온 상승기와 하강기를 조사한 결과 울릉도와 광주를 제외하면 기온 상승기와 하강기가 대체로 1~2일의 차이를 갖는 비슷한 기간에서 나타난다. 기온 상승 경향이 뚜렷한 날들을 살

펴보니(각 날의 기온에 선형회귀분석을 적용, 회귀계수가 유의수준 5%에서 유의한 날들) 11월 6일에서 12일로 나타났다. 이하 이 기간을 온난기(warm period, WP)로 부르기로 한다. 또한 회귀계수가 음수이거나 매우 작은 시기를 조사하니 11월 19일에서 26일로 나타났다. 이 시기에 기온이 뚜렷하게 하강하는 것은 아니나 3개월 평균 기온 상승에 비해 기온이 크게 낮아진 시기이므로 이하 이 시기를 한랭기(cold period, CP)로 명명하기로 한다.⁴⁾

이렇게 구한 온난기와 한랭기의 평균 기온의 경년변화를 살펴 기온 변화 특성을 조사한다. 다음에 이들 자료와 해면기압(SLP, 925hPa 면⁵⁾ 바람의 동서 성분(U925)과 남북성분(V925)과의 상관관계 분포를 계산, 요소별로 기온 변화에 영향이 큰 지역을 조사하여 이들 지역의 평균값의 경년변화를 살펴본다. 그리고 WP가 높은 반면 CP가 낮은 시기의 SLP, U925, V925에 대해 1981~2010년 평균값에 대한 편차분포를 조사하여 온난기와 한랭기의 기온변화의 종관 특성을 살펴본다.

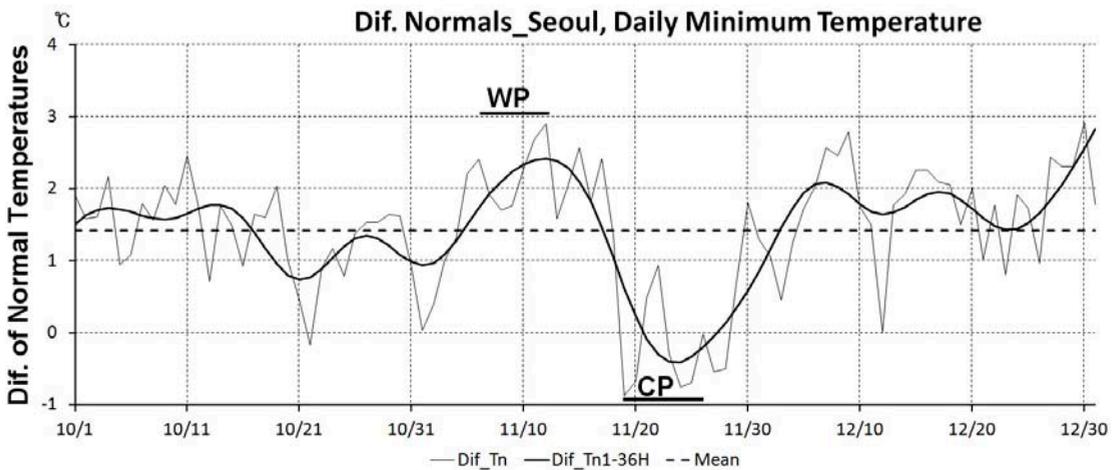


그림 1. 서울의 일최저기온의 평년값 차이(1971~2000년 평균 - 1941~1970년 평균)와 이의 제1~36 조화파의 합성파. 굵은 파선은 10월1일에서 12월 31일까지의 평균이고, WP는 온난기(Warm period), CP는 한랭기(Cold period)를 의미함.

표 1. 우리나라 10개 지점의 늦가을 온난기와 한랭기

	온난기	한랭기
강릉	11/7~12	11/19~25
서울	11/6~12	11/19~26
인천	11/8~12	11/19~26
울릉도	11/12~17	11/18~25
대구	11/6~15	11/21~24
전주	11/6~12	11/19~25
광주	11/5~12	11/19~24
부산	11/7~10	11/17~25
목포	11/7~12	11/17~25
제주	11/6~12	11/20~24

3. 온난기와 한랭기의 기온변화 특성

그림 1은 서울의 일최저기온에 나타난 늦가을의 온난기(11/6~12)와 한랭기(11/19~26)를 나타낸다. 다른 지점의 온난기와 한랭기는 표 1과 같다. 온난기에서는 울릉도와 대구를 제외하면 서울과 다른 지점들 사이에 최대 2일 이내의 차이가 나타난다. 한랭기에서는 서울과 다른 지점들 사이의 차이가 2일 이내로 나타난다. 이는 한랭기가 서울에서 제주까지 거의 동시에 나타난다는 것을 의미한다.

입동(11월 7일 경)은 온난기의 시작 부근에 나타나는데, 11월 7일 전후 2일의 5일간의 평균기온으로 입동 기온 변화를 살핀 결과(기상연구소, 2009) 일최저기온은 1919~2008년의 90년 간 0.29℃/10년의 기온 상승률을 보이며 이는 유의수준 5%에서 유의하다. 11월 7~8일의 평균기온으로 본 입동의 기온변화도 역시 상승하고 있으며 서울의 경우 유의수준 5%에서 유의하다(진미정·박선엽, 2015). 소설(11월 22일경)은 한랭기 안에 포함되는데, 기상연구소(2009)의 연구에서는 90년 동안에 0.14℃/10년의 비율로 기온이 상승하고 있으나 11월 22~23일의 평균기온에서는 하강하고 있다(진미정·박선엽, 2015). 이들 모두의 변화 경향은 유의수준 5%에서 유의하지 않다. 이들 두 연구는 연구대상이 2일과 5일 평균으로 다르며, 자료의 관측기간이 달라 직접 비교할 수는 없으나 소설 부근

의 기온 변화를 조사할 필요는 있다.

우리나라의 자연계절에 관한 연구는 상당수 있다(이병설, 1979; 최광용 등, 2006; 권영아 등, 2007; 구희성·김경현, 2007 등). 서울에서 겨울의 시작은 이병설(1979, 1941~1970년 자료)은 11월 26일로, 최광용 등(2006, 1973~2004년 자료)은 명시적으로 제시하지는 않았으나 11월 하순으로, 구희성·김경현(2007, 1975~2004년 자료)은 전반기 11월 22일, 후반기 11월 27일로 제시하였고, 권영아 등(2007)은 1921년부터 2000년까지의 기간을 10년 단위로 구분, 자연계절을 제시하고 있는데, 겨울의 시작은 1920년대의 11월 20일부터 1990년대의 11월 29일까지 순차적으로 늦어지고 있다. 위 연구들은 특정 기온을 기준으로 계절을 구분하고 있는데, 서울의 경우 지구온난화 외에 도시화에 의해 기온이 상승하면서 자연계절도 늦어지거나 빨라지고 있다. 대체로 서울의 겨울은 한랭기 이후에 시작하는 것으로 나타나고 있다.

동아시아 대부분의 지역에서 한파(cold surge)는 11월에 가장 많이 나타나며(Zhang *et al.*, 1997; Ding *et al.*, 2009 등) 시베리아 고기압의 중심기압이 1050hPa 이상이 되는 빈도도 10월에 비해 11월에 크게 증가한다(Zhang *et al.*, 1997). 이는 11월에 겨울 몬순이 크게 강화되어 겨울이 시작되는 것을 의미한다. 또한 한반도 주변의 기압배치 유형을 구분하여 자연계절을 구분한 연구들도 있는데(Moon and Um, 1980; 이승호, 1995 등), Moon and Um(1980)은 10년(1968~1977년)의 일기도를 분류하여 겨울의 시작을 11월 27일로 제시하였고, 이승호(1995)는 30년(1961~1990년)의 일기도를 분류, 겨울의 시작을 11월 21~23일로 제시하였다. 이들 연구의 결과로 종관장에서의 겨울은 11월 하순에 시작되고 있음을 알 수 있다. 따라서 한랭기는 종관적인 겨울의 시작이 될 수도 있고, 10개 지점에서 거의 동시에 시작하는 것도 그 증거의 하나가 될 수 있다.

그림 2는 서울의 온난기와 한랭기 일최저기온 평균의 경년변화를 나타낸 것이다. 온난기의 기온은 뚜렷하게 상승하고 있으며 한랭기의 기온도 약하지만 상승하는 경향이다. 온난기 기온의 상승률은 0.64℃/10년으로 통계적으로 유의하나(유의확률 0.000),⁶⁾ 한랭

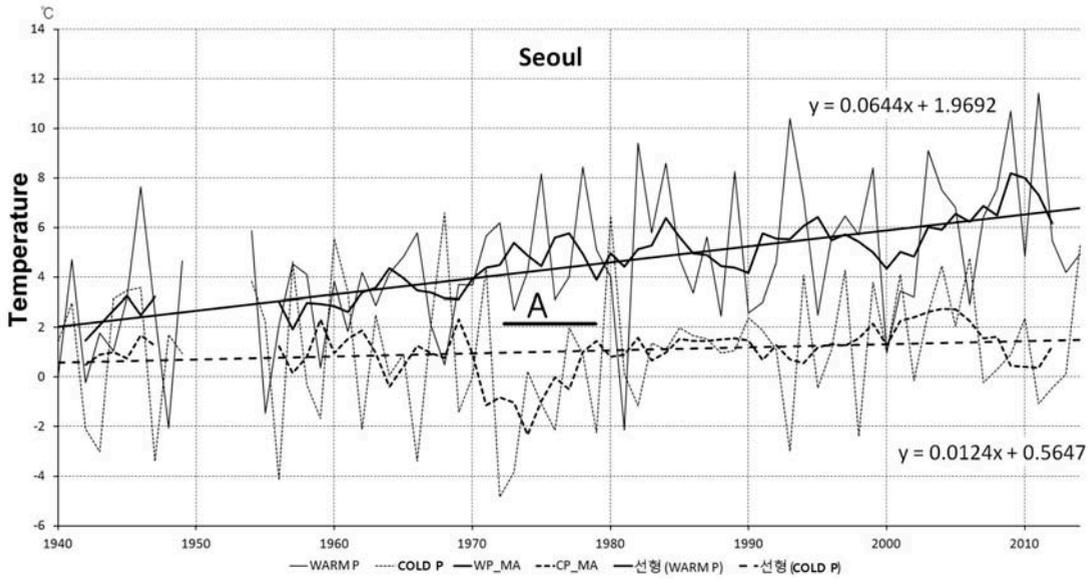


그림 2. 서울의 온난기와 한랭기 일최저기온 평균의 경년변화. 가는 실선과 점선은 각각 온난기와 한랭기의 평균기온, 굵은 실선과 파선은 이들의 5년 이동평균, 굵은 실선과 파선의 직선은 선형회귀선임. 1972~1979년의 A 시기는 온난기의 기온이 높고 한랭기의 기온이 낮은 시기임.

기 기온의 상승률 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 은 통계적으로 유의하지 않다(유의확률 0.401).

온난기와 한랭기의 기온에는 짧은 주기의 변동성이 잘 나타난다. 어떤 해에는 한랭기의 기온이 크게 상승하여 온난기 기온보다 높아진 반면 그 반대로 온난기의 기온이 크게 낮아진 해도 나타난다. 그리고 1972~1979년(그림 2의 A 시기)에는 온난기와 한랭기의 기온 차이가 크게 나타나고 있어 이때의 종관특성을 다음 절에서 살펴본다.

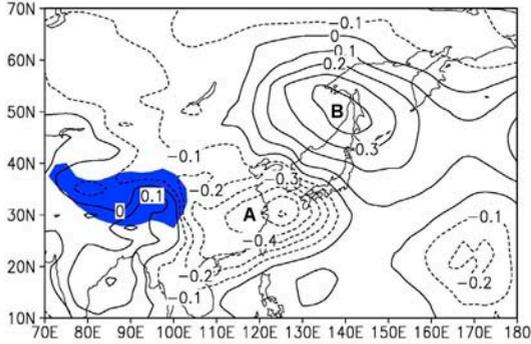
4. 온난기와 한랭기 기온변화의 종관특성

온난기와 한랭기의 기온변화에 영향을 주는 종관장의 특성을 살펴보기 위해, 1948~2013년의 기간에 대해 이들 기온과 해면기압(SLP, 그림 3), 925hPa 면의 동서풍(U925)과 남북풍(V925)과의 상관계수(그림 4) 분포도를 작성하였다. 온난기의 기온이 높은 경우

는 우리나라 남쪽 A지역의 기압이 낮고 연해주 부근 지역(B 지역)의 기압이 높을 때(그림 3 a)로서 우리나라에는 남동풍이 불어올 것으로 보인다. 온난기의 기온이 높은 경우 우리나라에 동풍(그림 4의 a)과 남풍(그림 4의 c)이 불 것으로 예상되므로 그림 3의 예상과 부합된다. 온난기의 기온이 하강할 때 그림 3의 A 지역 기압이 상승하고 B 지역 기압이 하강하여 우리나라 부근에 북서풍을 강화시키는 작용을 한다(그림 4의 a, c 참조). 한랭기의 상관계수 분포는 온난기의 상관계수 분포도와 대체로 유사하나 상관계수가 큰 지역들(A, B)이 약간 이동하였고 이 지역의 최대 상관계수가 V925를 제외하고 감소하였다. 따라서 한랭기의 기온이 상승할 때 중국 화중지방(A 지역)의 기압이 하강하고 일본 홋카이도 동쪽 기압이 높아져(그림 3b) 우리나라에 남풍이 불어올 것이(그림 4d) 예상된다. 한랭기 기온이 하강할 때에는 중국 화중지방 기압 상승, 홋카이도 동쪽 기압 하강으로(그림 3b) 우리나라 부근에 북서풍이 불 것(그림 4b, d)으로 예상된다.

그림 3의 A, B 지역에서 해면기압의 경년변화를 보면 온난기 때에는 모두 감소하는 경향이고(그림 생

a) SCC SLPDM Warm P.



b) SCC SLPDM Cold P.

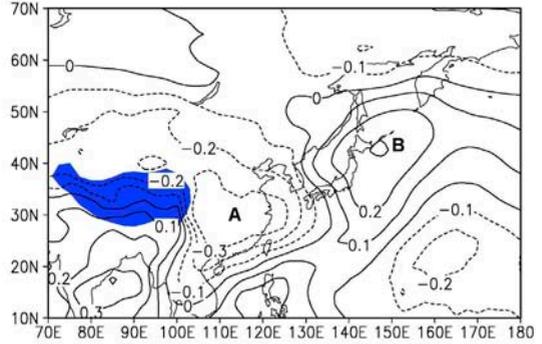
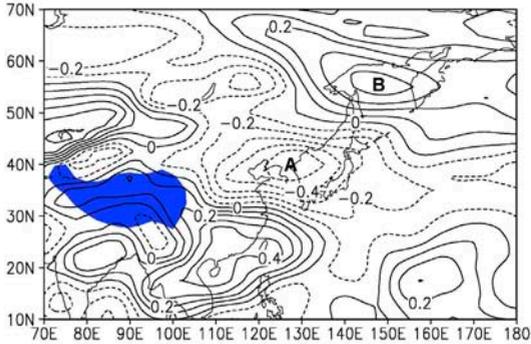
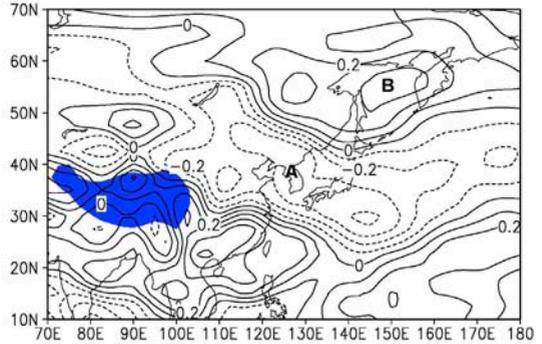


그림 3. 온난기(a)와 한랭기(b)의 기온과 해면기압과의 상관계수 분포도. 상관계수가 높은 지역을 함(A, B). 상관계수 0.3 이상, 혹은 -0.3 이하는 유의수준 5%에서 유의함.

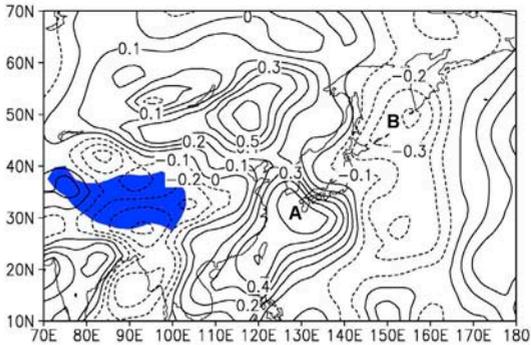
a) SCC U925 00Z WP



b) SCC U925 00Z CP



c) SCC V925 00Z WP



d) SCC V925 00Z CP

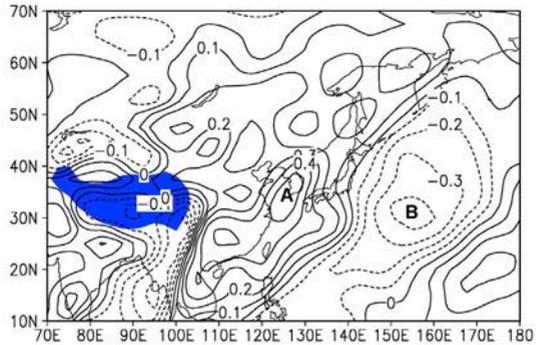


그림 4. 온난기(a, c)와 한랭기(b, d)의 기온과 U925(a, b), V925(s, d)의 상관계수 분포도. 상관계수가 높은 지역들에 표시를 함(A, B). U925에서 서풍이 +값을, V925에서는 남풍이 +값을 갖는다.

략) 통계적으로 유의하지 않으며, 한랭기 때에도 감소하는 경향을 보인다(그림 5). 일본 홋카이도 동쪽 B 지역의 해면기압 감소 경향이 잘 나타나며 유의수

준 10%에서 유의하다. 이 결과 한랭기에 우리나라 부근의 925hPa 면 서풍이 강해지는 경향이 잘 나타나며(그림 6) 유의수준 1%에서 유의하다. 온난기 때의

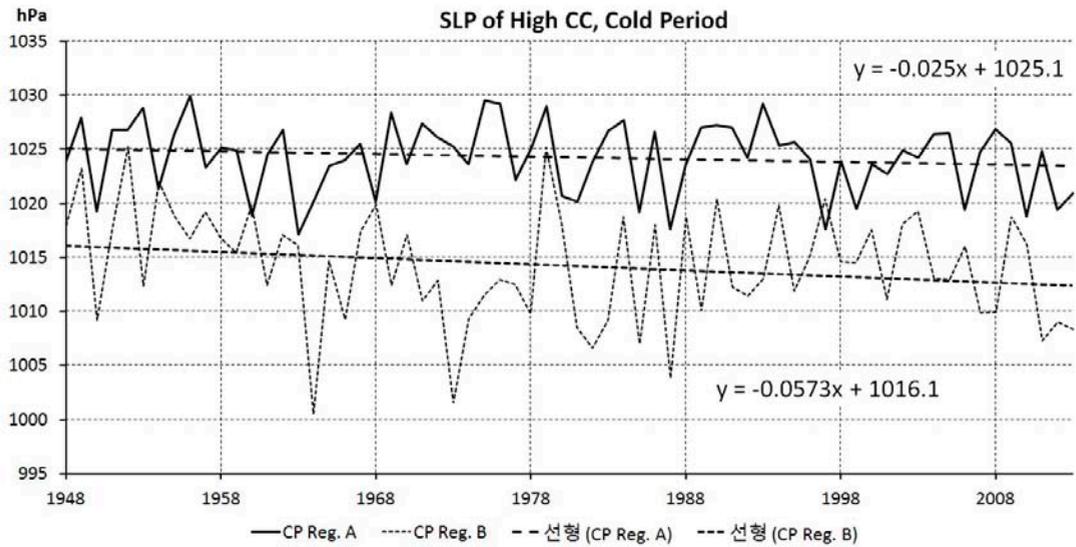


그림 5. 한랭기 기온과 해면기압과의 상관계수가 높은 지역의 해면기압 경년변화. 실선이 A 지역(중국 화중지방), 점선이 B 지역(일본 홋카이도 동쪽)의 해면기압임(그림 3 b 참조). B 지역의 해면기압 회귀계수의 유의확률은 0.090임.

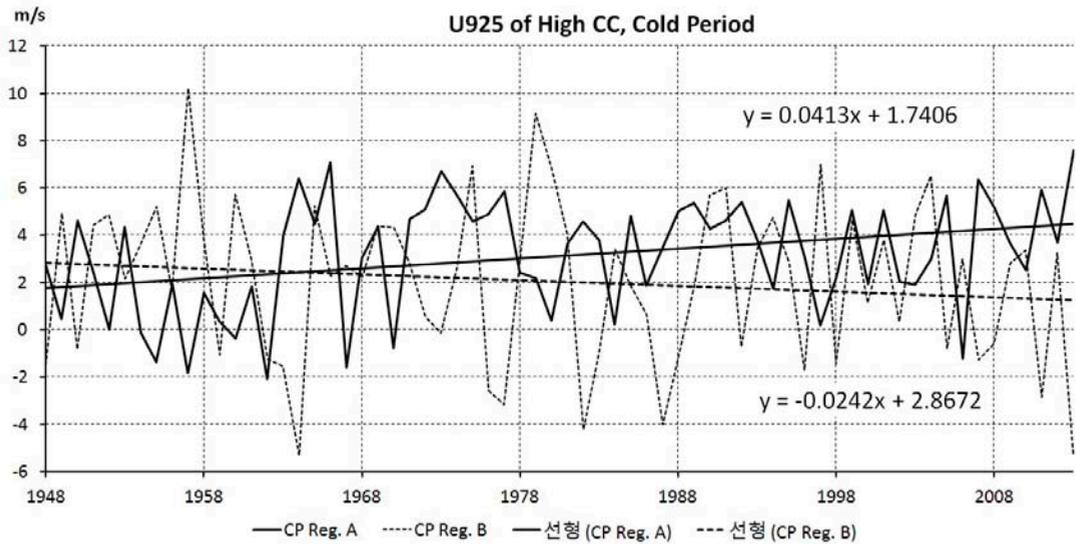


그림 6. 한랭기 기온과 U925와 상관계수 높은 곳의 동서풍속 경년변화. 실선이 A 지역(한반도 지역), 점선이 B 지역(오호츠크 해)의 동서풍속임(그림 4 b 참조). A 지역 풍속의 상승경향에 대한 유의확률은 0.007임.

U925와의 상관계수 높은 곳의 동서풍속은 거의 변화 경향이 없고 V925와의 상관계수 높은 곳의 남북풍도 변화경향이 거의 없거나 매우 약하여(그림 생략) 통계적으로 유의하지 않다.

이상을 종합하면 온난기 때에는 우리나라 남쪽에

저기압이, 우리나라 북동쪽에 고기압이 발달하여 우리나라에 남동풍이 나타날 때 기온이 상승하며, 유의하지는 않으나 우리나라 남쪽 해면기압의 하강 경향으로 온난기의 기온 상승을 설명할 수 있을 것이다. 한랭기 때에는 홋카이도 동쪽의 기압이 낮아져 우리

나라 부근의 서풍이 강해지는 경향이 나타나므로 북풍 성분에는 경년변화가 없어도 북서풍이 강해진 것이므로 우리나라의 기온이 하강하는 것으로 볼 수 있다. 그런데 온난기 때의 기온 상승이 우리나라 남쪽의 저기압 출현 외에 이동성고기압이 우리나라를 지배할 때에도 나타나므로(이병설, 1979 등) 사례조사를 할 필요가 있다.

그림 2에서 온난기의 기온이 높고 한랭기의 기온이 낮아 그 차이가 뚜렷한 시기가 1970년대와 2010년 전후에 나타난다. 이중 1972~1979년의 시기(그림 2의 A 시기)에 대해 해면기압, 925hPa 면의 바람의 평년편차를 구하였다(그림 7). 그리고 11월 전체에 대한 해면기압과 925hPa 면 바람의 평년값을 그림 8에 제시한다. 온난기 때에는 한반도 북부지역과 그 북쪽 지

역에 양의 기압편차가 나타나고 우리나라 남쪽에 약한 음의 기압편차 지역이 나타난다(그림 7a). 이로 인해 한반도 북부를 중심으로 고기압성 회전이 나타나 우리나라에는 편차로서 동풍이 나타난다. 또한 오호츠크 해 부근에는 고위도에서 편차로서의 북풍이 불어오고 있어 오호츠크 해 서부에 평균적으로 나타나는 북풍이 더 강화된다. 이는 고위도의 찬 공기가 우리나라보다 더 동쪽으로 남하하는 것을 의미한다. 한랭기 때에는 중국의 화중, 화남지방에 양의 기압편차가, 동해에 음의 기압편차가 나타나 우리나라 부근에 북서풍이 강화되고 있다(그림 7의 b, d). 또한 캄차카 반도 남쪽과 더 남쪽의 태평양에 양의 기압편차가 나타나고 이로 인해 남풍계열의 바람이 편차로서 고위도 지역까지 이어진다. 이는 오호츠크 해 서쪽의 북풍

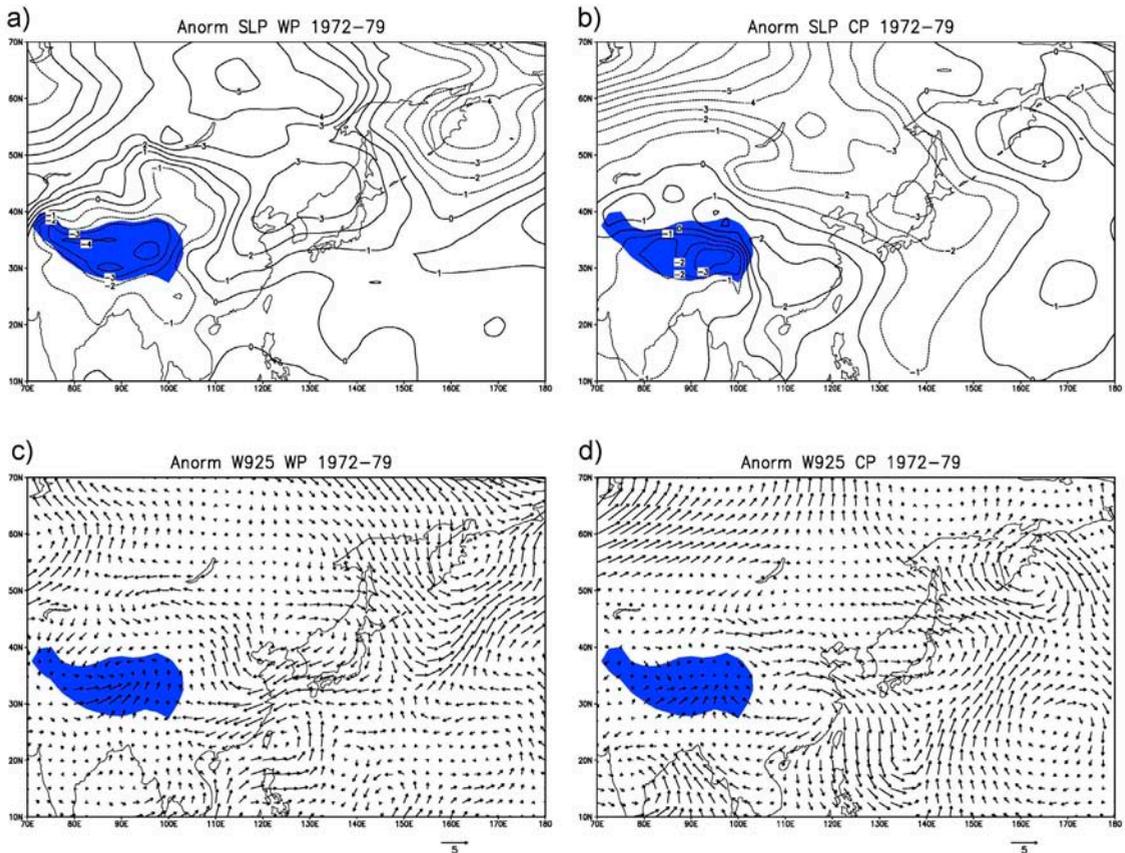


그림 7. 1972~1979년에 대해 온난기 해면기압 평년편차(a), 한랭기 해면기압 평년편차(b), 온난기 925hPa 면의 바람 평년편차(c), 한랭기 925hPa 면의 바람 평년편차(d). 평년값은 1981~2010년 평균값임.

이 약화되어 이 지역으로의 한기 유입이 약해지는 것으로 보인다.

1972~1979년의 온난기와 한랭기 때에 지상일기도(일본기상협회, 1976, 1982)를 살펴보니(이승호, 1995; 정영근, 2012 참조) 온난기 때에는 이동성고기압형이 가장 많이 나타났고(전체의 45% 정도), 다음으로 북고남저형(전체의 21%), 서고동저형(전체의 20%), 저기압형(전체의 14%)이 나타났다. 여기서 북고남저형은 우리나라 중부지방에 등압선이 동서로 달리고 동풍 계열의 바람이 부는 경우이다. 이 기압배치형은 가을과 늦겨울에 많이 나타난다고 한다(정영근, 2012). 이와 같이 온난기의 기온 상승을 일으키는 요인으로는 이동성고기압 외에 북고남저의 기압배치형이 있고, 서고동저형은 기온을 하강시키는 요인으로 작용한다. 한편 한랭기 때에는 서고동저형과 이동성고기압형이 많이 나타났으며(각각 36%와 34%), 저기압형이 25% 나타났다. 북고남저형은 많이 나타나지 않았다(전체의 약 5%). 그러므로 한랭기의 기온은

서고동저형일 때 많이 하강하고, 이동성고기압이나 저기압이 접근할 때 상승하게 되는데, 서고동저형의 영향이 더 컸으므로 이 시기의 한랭기 기온이 낮았다고 판단된다.

동아시아 겨울문순에서 시베리아 고기압은 매우 중요한 역할을 담당한다(Zhang *et al.*, 1997; Jhun and Lee, 2004; Wang and Chen, 2014 등). 11월에 평균적으로는 시베리아 고기압이 발달하여 우리나라 부근에는 북서풍이 잘 나타난다(그림 8). 그럼에도 온난기, 한랭기의 기온과 해면기압과의 상관계수에서 시베리아 고기압 중심부의 상관계수가 낮았는데, 이는 시베리아 고기압의 영향이 없다는 것을 의미하지는 않을 것이다. 이를 살펴보기 위해 시베리아 고기압의 중심부근(그림 8의 A 지역, 45~52.5°N, 85~105°E)의 평균기압의 경년변화를 조사하였다(그림 9). 온난기의 시베리아 고기압 중심기압은 단주기의 변동은 보이나 전체적인 변화경향은 나타나지 않았다. 온난기의 기온이 상승하는 경향은 시베리아 고기압의

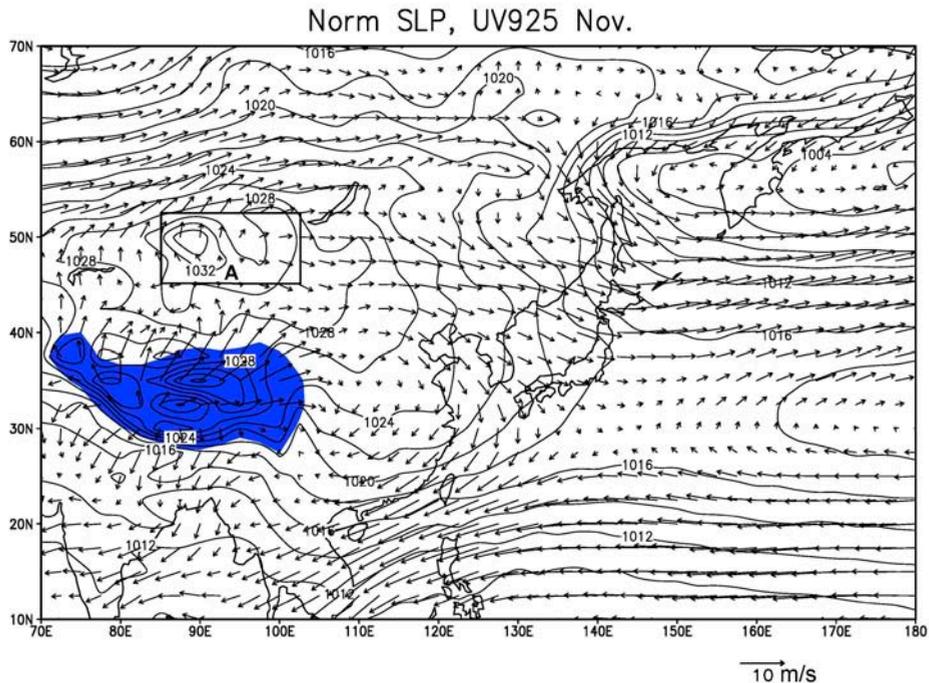


그림 8. 해면기압과 925hPa 면 바람의 11월 평년값 분포. 평년값은 1981-2010년 평균임. 시베리아 고기압의 중심지역을 A로 표시함.

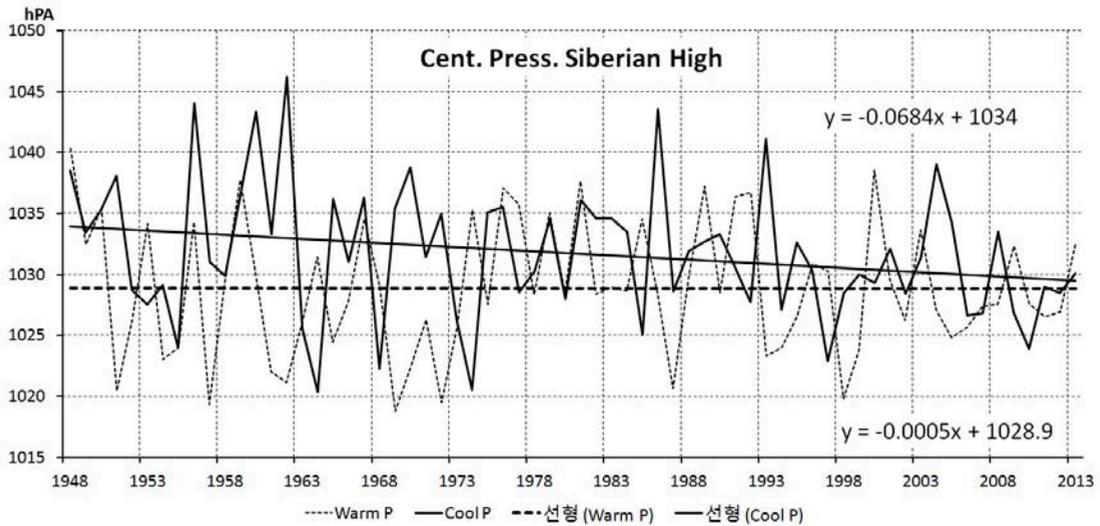


그림 9. 11월의 시베리아 고기압 중심지역(그림 8의 A 지역)의 기압 경년변화. 실선은 한랭기, 파선은 온난기의 중심기압임. 한랭기 기압의 하강경향에 대한 유의확률은 0.056임.

변화와는 무관한 종관장, 즉 이동성고기압형, 저기압형, 시베리아 고기압이 약화될 때 나타나는 북고남저형 등과 관련이 있는 것으로 판단된다. 한랭기의 시베리아 고기압 중심기압은 하강경향을 보이며, 이는 유의수준 10%에서 유의하다. 그러므로 한랭기에 시베리아 고기압이 약화됨에도 불구하고 우리나라 동쪽의 저기압이 강화되고(그림 5) 이로 인해 우리나라 부근의 서풍이 강화되어(그림 6) 기온 상승을 억제하는 것이라고 판단된다.

지난 30년(1981~2010년) 동안 우리나라 기온은 겨울철과 가을철에 크게 상승하였는데(기상청, 2012), 가을철의 기온상승률은 봄철 상승률의 거의 2배에 가깝다. 이렇게 상승하는 가을철 기온 중에 온난기의 기온이 더 상승한 반면 한랭기의 기온은 거의 불변에 가까웠기 때문에 온난기와 기온 차이가 두드러지게 나타난 것이라고 볼 수 있다.

5. 요약 및 결론

이 연구에서는 서울의 일최저기온에서 구한

1941~1970년과 1971~2000년의 일평년값에 조화분석을 적용하여 1~36 조화파의 합성파로서 늦가을의 기온상승시기(온난기)와 기온하강기 혹은 정체기(한랭기)를 설정하고 온난기와 한랭기의 기온변화 경향, 또 이 변화에 영향을 주는 종관장의 특성을 조사하였다. 얻어진 결과들은 다음과 같다.

서울의 늦가을 일최저기온이 10~12월 평균보다 더 상승한 온난기(11월 6~12일)와 평균보다 하강한 한랭기(11월 19~26일)가 나타나며, 이는 울릉도 등 일부 지점을 제외하고 다른 10개 지점에서 나타나 전국에 거의 동시에 나타나는 것으로 보인다. 온난기의 평균기온은 1940~2013년 동안 상승하는 경향이 뚜렷하나(유의확률 0.000) 한랭기의 평균기온은 상승하는 경향은 있으나 통계적으로 유의하지 않다(유의확률 0.401).

온난기에는 시베리아 고기압, 우리나라 중부지방을 중심으로 하는 지역의 925hPa 면의 동서풍속(U925)과 남북풍속(V925)에 통계적으로 유의한 변화 경향이 나타나지 않는다. 또한 우리나라 남쪽의 해면기압(SLP)에서도 약간의 하강 경향은 나타나나 통계적 유의성은 없다. 또한 1972~1979년의 SLP, U925,

V925의 편차 분포에서는 한반도를 중심으로 양의 기압 편차와 고기압성 회전이 나타나 11월에 평균적으로 나타나는 북서계절풍이 약화되는 것을 알 수 있다. 이 시기의 일기도를 살펴보니 주로 이동성고기압형과 북고남저형의 기압배치가 주로 나타나 위의 논의를 뒷받침한다.

한랭기에는 시베리아 고기압은 약화되고 있으나 한반도 동쪽 홋카이도 부근을 중심으로 하는 지역의 저기압이 강화되고 우리나라 중심의 서풍(U925)이 증가하는 것으로 나타난다. 이는 11월의 북서풍을 강화하는 작용을 하므로 한랭기의 기온을 하강시키거나 정체시키는 것으로 보인다. 또한 이 시기에 기압배치로 본 겨울철이 시작된다(이승호, 1995).

이상으로 1941~1970년과 1971~2000년 일최저기온의 평년값에서 11월에 온난기와 한랭기가 서울을 비롯한 여러 지점에서 나타난다는 점, 온난기의 기온 상승 경향이 현저하나 한랭기에는 그 경향이 약한 점, 온난기에는 이동성고기압형, 북고남저형 등의 출현으로 기온 상승이 이루어진 반면 한랭기에는 한반도 동쪽 저기압의 강화로 우리나라 부근의 하층 서풍이 강화되어 전반적인 온난화경향 속에서도 기온이 정체 혹은 하강하고 있다는 점 등이 밝혀졌다.

늦가을의 기온특이일(이병설, 1979, 1985)이 이 연구의 기온변동에서는 잘 나타나지 않았는데, 특이일의 경년변화를 포함하여 그 특성을 조사할 필요가 있다. 또한 시베리아 고기압의 강도가 대체로 약화되는 경향이 있다고 알려졌는데(Kim *et al.*, 2005; Panagiotopoulos *et al.*, 2005 등) 근래에 다시 회복되었다는 보고도 있다(Jeong *et al.*, 2011). 그러므로 시베리아 고기압 강도의 변화를 보다 자세히 살펴보는 것이 우리나라 기후의 설명에 도움이 될 것이다. 또한 북극진동 등 대규모 지수들과의 관련성도 흥미 있는 주제가 될 것이다.

주

- 1) 재분석자료는 NOAA Earth System Research Laboratory의 Physical Sciences Division(PSD)의 웹 사이트 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>에서 내려받았다(download). 자료 제공에 감사드린다(Thanks for data).

- 2) 30년 평균은 평균값 사이의 변동이 매우 적은 것으로서 예로부터 기후특성의 기술에 사용되어 왔다. 여기서는 기온변화를 탐색하기 위한 수단으로 30년 평균을 사용하였다.
- 3) 제36 조화파는 약 10일의 주기를 가지므로 10일 이상의 주기를 갖는 변동을 반영할 수 있다. 우리나라 겨울철에 약 7일 주기의 변동이 매우 탁월하게 나타나므로(Kim and Roh, 2010) 이의 영향을 제거하기 위해서 제36 조화파까지의 합성을 이용하였다.
- 4) 이 시기에는 기온이 뚜렷하게 하강하는 것은 아니나 10월에서 12월까지의 기온상승 평균에 비해 크게 낮은 시기이므로 한랭기라고 명명하였다. 일별 기온의 회귀계수가 11월 19, 20일에 음수이고, 이후 작은 값을 유지하다가 26일 0.02에서 27일 0.04로 증가하여 26일까지를 한랭기로 정하였다.
- 5) 925hPa 면은 바다에서 약 800m의 고도에 나타난다. 이 고도는 해양에서는 거의 자유 대기에 속하며 육지의 평야에서는 경계층의 상부에 해당하므로 대기 하층의 바람을 살펴보기에 적절하다.
- 6) 울릉도를 제외하면 모든 지점에서 온난기 기온의 상승은 유의수준 5%에서 유의하며, 한랭기 기온의 변화는 모든 지점에서 유의수준 10%에서도 통계적으로 유의하지 않다.

참고문헌

- 구희성·김경현, 2007, “우리나라 자연 계절의 분포 특성과 변화 경향,” *기후연구*, 2, 105-117.
- 권영아·권원태·부경은, 2007, “A1B 시나리오 자료를 이용한 우리나라 자연 계절 시작일 및 지속기간 변화 전망,” *대한지리학회지*, 42, 835-850.
- 권영아·김지연·이승호, 2005, “꽃샘추위의 발생 분포와 변화 경향,” *대한지리학회지*, 40, 285-295.
- 권재일·최영은, 2014, “양상불 경험적 모드 분해법을 이용한 우리나라 봄 시작일에 관한 연구,” *대한지리학회지*, 49, 675-689.
- 기상연구소, 2009, *기후변화 이해하기 V-입춘에서 대한까지*, 기상청.
- 기상청 번역, 2008, *기후변화 2007 -과학적 근거-*, 기상청(IPCC, 2007, *Climatic Change 2007 - The Physical Science Basis -*, Cambridge Univ. Press).
- 기상청, 2012, *한반도 기후변화 전망보고서*.

- 기상청 번역, 2015, 기후변화 2014 -종합보고서-, 기상청(IPCC, 2014, Climatic Change 2014 -Synthesis Report-, IPCC).
- 김선영·이승호, 2009, “한국의 황사 출현에 영향을 미치는 요인에 관한 연구,” *대한지리학회지*, 44, 675-690.
- 김선영·이승호, 2013, “한국에 출현한 황사의 발원지별 기상 특성 분석,” *대한지리학회지*, 48, 167-183.
- 박병익, 2011, “서울의 겨울철 일평균 기온에 나타난 계절 추이의 변화,” *대한지리학회지*, 46, 152-167.
- 양진석, 1998, “한국의 춘계한발의 중관기후학적 특성,” *한국지역지리학회지*, 4(1), 43-56.
- 양진석, 2000, “한국의 추계한발의 중관기후학적 특성,” *한국지역지리학회지*, 6(2), 57-69.
- 윤진일, 2006, “기후변화에 따른 빗꽃 개화일의 시공간 변이,” *한국농림기상학회지*, 8, 68-76.
- 이병설, 1979, “우리나라의 자연계절에 관한 연구,” *지리학*, 14(2), 1-11.
- 이병설, 1985, “삼한사온과 기온특이일,” *한국기상학회지*, 21(1), 34-45.
- 이승호, 1995, “한반도 주변의 기압배치형에 의한 자연계절의 구분,” *지리학연구*, 26, 65-78.
- 정영근, 2012, “한반도 주변 1000-hPa 고도장의 군집분석,” *한국지구과학회지*, 33, 337-349.
- 조창현·이승호·장동호, 2012, “극한기후 지수 설정에 관한 고찰,” *기후연구*, 7, 136-145.
- 진미정·박선엽, 2015, “우리나라 기후 절기별 기온 변화의 시공간적 특성 분석,” *대한지리학회지*, 50, 23-36.
- 최광용·권원태·D. A. Robinson, 2006, “우리나라 사계절 개시일과 지속기간,” *대한지리학회지*, 41, 435-456.
- 최광용·김준수, 2015, “우리나라 겨울철 극한저온현상 발생 시 중관 기후 패턴,” *대한지리학회지*, 50, 1-21.
- Ding, T., Qian, W. H., and Yan, Z. W., 2009, Characteristics and changes of cold surge event over China during 1960-2007, *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2, 339-344, doi: 10.1080/16742834.2009.11446823.
- Jeong, J. H., Ou, T., Linderholm, H. W., Kim, B. M., Kim, S. J., Kug, J. S., Chen, D., 2011, Recent recovery of the Siberian High intensity, *Journal of Geophysical Research*, 116, D23102, doi: 10.1029/1022.JD015904.
- Jhun, J. G. and Lee, E. J., 2004, A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon, *Journal of Climate*, 17, 711-726.
- Kim, D. W., Byun, H. R., Lee, Y. I., 2005, The long-term changes of Siberian high and winter climate over the northern hemisphere, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 41, 275-283.
- Kim, K. Y. and Roh, J. W., 2010, Physical mechanisms of the wintertime surface air temperature variability in South Korea and the near-7-day oscillation, *Journal of Climate*, 23, 2197-2212, doi: 10.1175/2009JCLI3348.1.
- 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.
- Panagiotopoulos, F., Shahgedanova, M., Hannachi, A., Stephenson, D. B., 2005, Observed trends and teleconnections of the Siberian High: A recently declining center of action, *Journal of Climate*, 18, 1411-1422.
- Qian, C., Fu, C., Wu, Z. and Yan, Z., 2011, The role of changes in the annual cycle in earlier onset of climatic spring in Northern China, *Advances in Atmospheric Sciences*, 28, 284-296.
- Qian, C., Yan, Z. W. and Fu, C. B., 2012, Climatic changes in the twenty-four solar terms during 1960-2008, *Chinese Science Bulletin*, 57, 276-286, doi: 10.1007/s11434-011-4724-4.
- Wang, L. and Chen, W., 2014, An intensity index for the East Asian winter monsoon, *Journal of Climate*, 27, 2361-2374.
- Zhang, Y., Sperber, K. R., Boyle, J. S., 1997, Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979-95 NCEP/NCAR reanalysis, *Monthly Weather Review*, 125, 2605-2619.
- 日本氣象協會, 1976, 1971~'75 天氣圖集成.
- 日本氣象協會, 1982, 1976~'80 天氣圖集成.

NASA GISS 연구소, 전구평균기온, <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>.

최초투고일 2017. 1. 26

수정일 2017. 2. 15

최종접수일 2017. 2. 22

교신: 박병익, 151-742, 서울시 관악구 관악로 599, 서울
대학교 사범대학 지리교육과(이메일: fbipark@snu.ac.kr)
Correspondence: Byong Ik Park, Department of Geog-
raphy Education, College of Education, Seoul National
University, Gwanak-ro 599, Gwanak-gu, Seoul, 151-742,
Korea (e-mail: fbipark@snu.ac.kr)