

서울의 겨울철 일평균 기온에 나타난 계절 추이의 변화

박병익*

The Change of Seasonal Trend Appeared in Wintertime Daily Mean Temperature of Seoul, Korea

Byong Ik Park*

요약 : 이 연구에서는 서울의 1941~1970년(가 기간)과 1971~2000년(나 기간)의 일 평균 기온에 조화분석을 적용하여 계절 추이를 산출, 이의 변화 양상을 살펴보고, 계절 추이의 변화에 영향을 미치는 요인을 조사하였다. 그 결과 겨울철의 가장 낮은 기온이 가 기간에는 1월 초·중순에 나타났으나 나 기간에는 1월 하순~2월 초순에 나타나 계절 추이가 변화되었음을 나타냈다. 이러한 변화는 12월 27일~1월 20일(전기)의 기온이 보다 많이 상승한 반면 1월 21일~2월 9일(후기)의 기온이 보다 적게 상승하였기 때문에 나타났다. 가 기간의 일 평균값에 대한 전기와 후기의 기온 편차는 1970년 이전에는 큰 차이가 없었으나 1971년 이후에 차이가 컸다. 전기의 경우 시베리아 고기압이 근래에 뚜렷하게 약화되면서 우리나라 부근의 북풍이 약화되어 서울의 기온이 많이 상승하였다. 반면 후기의 경우 시베리아 고기압이 근래에 약화되었으나 알류산 저기압이 발달하여 우리나라 부근의 북풍은 크게 약화되지 않아 서울 기온이 많이 상승하지 않았다.

주요어 : 계절 추이, 계절 추이의 변화, 시베리아 고기압, 알류산 저기압

Abstract : This study aims to investigate the change of seasonal trend appeared in the daily normals of wintertime daily mean temperature of Seoul for 1941~1970 and 1971~2000 and the factors to affect it. The lowest temperature in wintertime is appeared in the period of the first and second ten-days of January in the daily normals for 1941~1970 and in the third ten-days of January and the first ten-days of February for 1971~2000. This means seasonal trend was changed. This change is due to the fact average temperature from 27 December to 20 January is rising much more than the wintertime mean temperature and average temperature from 21 January to 9 February less than that for two daily normals. This features are notable after 1971. The Siberian high and norther wind around the Korean Peninsula are weakened remarkably recently, so mean temperature of Seoul from 27 December to 20 January is warming much more. On the other hand, the Siberian high from 21 January to 9 February is weakened and the Aleutian low is strengthened recently and northerly is not change obviously, so temperature of Seoul is not warming so much.

Key Words : seasonal trend, change of seasonal trend, Siberian high, Aleutian low

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

1. 서론

지난 100년 동안 지구 전체의 연평균기온은 0.74°C 상승하였으나(PCC, 2007), 우리나라는 이보다 더 많이 상승한 것으로 알려졌다. 가령 1999년까지의 40~50년 동안 우리나라 12개 관측지점의 평균 기온은 $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 변화율로 상승한 것으로 나타났는데(Jung *et al.*, 2002), 지구 전체 평균 기온이 $0.07^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 변화율로 상승한 것에 비해 약 3배나 빨리 기온이 상승한 셈이 된다. 물론 위의 12개 지점은 추풍령을 제외하면 모두 도시 지역이므로 도시화에 의한 기온 상승의 영향이 클 것으로 보인다. 우리나라에서도 도시화로 인한 뚜렷한 기온 상승을 확인할 수 있으며(Rho, 1973; Lee, 1978; Cho *et al.*, 1988; Ryoo *et al.*, 1993; Ha *et al.*, 2004; Seo *et al.*, 2010), 다양한 방법으로 도시화로 인한 기온 상승을 추정하고 있다(Lee and Kang, 1997; Kim *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2000; Choi *et al.*, 2003; Choi *et al.*, 2003).

계절별로 보았을 때 여름철 기온보다 겨울철 기온이 더 빠르게 상승하고 있다(Jung *et al.*, 2002; Ryoo *et al.*, 2004; Choi *et al.*, 2008). 이 때문에 기온 연교차가 점차 감소하고 있다. 또한 많은 지점에서 겨울철의 일 최저기온은 일 최고기온보다 더 빠르게 상승하므로 기온 일교차가 점차 감소하고 있는 점도 확인되고 있다(Jung *et al.*, 2002; Choi *et al.*, 2008).

1년을 주기로 하는 기온 변화를 계절 주기(seasonal cycle) 혹은 연주기(annual cycle)라고 하는데, 이 주기의 위상각에 현저한 변화가 1940년 경 이후에 나타나고 있다고 한다(Thomson, 1995). 그런데 1954~2007년의 기간에 대해 평균한 계절 주기 위상각의 변화를 보면(Stine *et al.*, 2009) 육지에서는 계절이 빠르게, 해양에서 늦어지는 방향으로 위상각의 변화가 나타난다. 이러한 계절 주기 위상각의 변화에 영향을 미치는 요인들로는 지구 자전축의 세차운동(Thomson, 1995), 토양 수분의 변화(Stine *et al.*, 2009) 등이 있으며, 온실기체의 증가 등은 연교차에는 영향을 미치나 위상각의 변화에는 거의 영향을 주지 않는다고 한다(Stine *et al.*, 2009).

이러한 기온 상승과 계절 주기 위상각의 변화로 인하여 계절의 시작일과 지속 기간에 변화가 나타나고 있다. 우리나라의 경우 겨울 시작은 늦어지고 겨울의 끝은 빨라지고 있어 결과적으로 겨울의 지속 기간이 감소하고 있는 것이 확인되고 있으며(Choi *et al.*, 2006; Kwon *et al.*, 2007 등), 미래 기후의 전망자료에서도 이런 경향은 계속되고 있다. 이러한 경향은 다른 지역에서도 나타나는 것으로 보인다. 중국 베이징의 경우 1955~2003년의 일평균 자료에서 구한 바로는 봄철의 시작이 10년에 2.98일 정도 빨라지고 있는데, 이중 약 1.85일은 계절 주기로 인하여, 1.13일은 장기 경향성에 의해 나타나는 것으로 보고되었다(Qian *et al.*, 2011).

계절 주기의 위상각이 변화된다는 것은 겨울철 가장 낮은 기온이 나타나는 시기가 변화된다는 것을 의미한다. 그러므로 기온 상승과 함께 계절 주기의 위상각 변화에 의해, 계절 주기와 다른 주기들의 변동이 포함된 겨울철 기온의 계절 추이에 어떤 변화가 나타나고 있는지를 살펴볼 필요가 있다.

서울의 경우 1941~1970년의 30년 평균 기온에서 구한 계절 추이(평활곡선)를 보면(Lee, 1979), 1월 중순경에 연중 가장 낮은 기온이 나타나는 것으로 보인다. 이는 대구, 제주 등 다른 지점에서도 유사한 것으로 나타난다(Lee, 1979). 또한 1941~1970년 평균 기온으로 구한 자연계절에서는 서울과 대구에서 추운 겨울인 엄동¹⁾이 나타나지만 제주에서는 엄동이 나타나지 않으며, 서울과 대구를 비교할 경우 대구의 엄동이 더 늦게 시작하고 더 일찍 끝난다(Lee, 1979). 따라서 지구온난화와 도시화로 인하여 기온이 빠르게 상승할 경우 겨울 기간이 짧아지고 엄동이 사라질 수도 있겠다. 그런데, 겨울철 기온이 고르게 상승하고 있는지가 의문이다. 1973~2004년에 대해 평균한 서울의 일 최고기온, 일 평균 기온, 일 최저기온의 그래프를 보면(Choi *et al.*, 2006) 1월 하순 경에 기온이 가장 낮은 것으로 나타난다. 이는 연중 가장 낮은 기온이 나타나는 시기가 변화되었다는 것을 의미한다.

이 연구의 목적은 1941~1970년과 1971~2000년에 대해 평균한 서울의 일평균 기온에서 구한 계절 추이에 변화가 나타나는지, 변화가 있었다면 어떤 양상을

나타내는지를 살펴보고, 이러한 계절 추이의 변화에 영향을 주는 요인을 시베리아 고기압과 우리나라 부근의 남북성분 풍속을 중심으로 살펴보는 것이다. 이 연구가 성공적으로 수행된다면 우리나라 계절 추이의 변화 양상을 보다 잘 이해할 수 있을 것이다.

2. 연구 자료 및 방법

이 연구에서 사용한 자료는 다음과 같다. 1941년 1월 1일부터 2010년 12월 31일까지의 서울의 일평균 기온 자료를 이용하였다. 또한 같은 기간의 기온 관측 자료가 있는 9개 지점(강릉, 인천, 울릉도, 대구, 전주, 광주, 부산, 목포, 제주)의 것도 이용하였다. 또한 해면기압(SLP)과 925hPa 면의 바람자료는 NCEP/NCAR의 재분석자료(reanalysis data)에서 구하였다.²⁾ 1948년에서 2010년까지 이용할 수 있는 재분석자료는 경위도 2.5도의 해상도를 가진다. 본 연구에서는 일평균 값을 사용하였다.

연구 방법은 다음과 같다. 먼저 연이은 30년 기간인 1941~1970년과 1971~2000년에 대해 서울의 일평균 기온의 평년값을 각각 계산하였다. 다음에 각각의 평년값을 8월 1일에서 7월 31일까지의 365일 시계열 자료로 만들어 여기에 조화분석(harmonic analysis)을 실시하였다.

조화분석에서는 하나의 시계열 자료를 다음과 같이 여러 주기를 갖는 삼각함수의 합으로 표현하며, 각 주기의 삼각함수를 조화파(harmonic wave)라고 한다 (Lee, 1969; Wilks, 2006).

$$y_t = \bar{y} + \sum_{k=1}^{n/2} C_k \cos \left[\frac{2\pi kt}{n} - \phi_k \right]$$

$$= \bar{y} + \sum_{k=1}^{n/2} \left[A_k \cos \frac{2\pi kt}{n} + B_k \sin \frac{2\pi kt}{n} \right]$$

여기에서 n은 시계열 자료의 수이고, t는 시간 단위로 1, 2, ..., n의 값을 갖는다. y_t 는 시간 t에서의 자료 값, \bar{y} 는 자료의 평균, C_k 는 k차 조화파의 진폭, ϕ_k 는 k

차 조화파의 위상각이다. 보통 자료에서 계수 A_k , B_k 를 계산한 후 이를 이용하여 진폭과 위상각을 다음과 같이 구한다.

$$C_k = [A_k^2 + B_k^2]^{1/2}$$

$$\phi_k = \begin{cases} \tan^{-1} \frac{B_k}{A_k}, & A_k > 0 \\ \tan^{-1} \frac{B_k}{A_k} \pm \pi, & A_k < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & A_k = 0 \end{cases}$$

제1 조화파는 전체 시계열을 하나의 주기로 하며, 제k 조화파의 주기는 n/k이다. 이 연구에서는 365일의 자료를 이용하였으므로 제1 조화파의 주기는 1년, 제2 조화파는 반년의 주기, 제3 조화파는 약 120일의 주기를 갖는다. 보통 몇 개의 조화파를 합성하여 사용하는데, 연구 목적과 자료의 특성에 따라 합성하는 조화파의 수는 달라진다(Lee, 1969; Murakami and Matsumoto, 1994; Wang and LinHo, 2002).

계절의 시작과 끝을 구하거나 기온 특이일을 구할 경우 짧은 주기의 변동을 제거하여 계절의 추이를 보다 명료하게 나타내는 시계열 자료가 필요하다. 이러한 계절 추이는 다양한 방법으로 구해진다. Lee(1979)는 반순 평균 기온의 3 반순 이동평균과 내삽으로 구한 평활곡선을 계절 추이로 보고 이를 이용하여 계절 구분과 기온 특이일을 구하였다. Choi *et al.*(2006)은 일 최고기온, 일평균 기온, 일 최저기온의 합에 7일 이동평균을 적용하여 계절 추이를 구한 후 계절의 개시일과 지속기간을 구하였다. Wang and LinHo(2002)는 반순 평균 강수강도(mm/day)의 조화분석에서 얻어진 제1~제12 조화파의 합성파를 계절 추이로 보고 우기를 구하였다.

이 연구에서는 서울의 일평균 기온의 조화분석에서 얻어진 제1~제36³⁾ 조화파의 합성파를 계절 추이로 간주하였다. 이 연구에서는 겨울철의 계절 추이를 살펴보는 것이 목적이므로 11월 1일에서 3월 31일까지의 기간에 대해 1941~1970년과 1971~2000년 평균값에 대해 구한 평년값과 합성파를 표시하여(Figure 1) 계절 추이의 변화를 살펴보았다. 다음으로 이들 평년값

들의 차이, 합성파들의 차이를 구하고, 이 차이에서 겨울철 동안 근래에 기온이 많이 상승한 기간과 적게 상승한 기간을 구하였다. 이렇게 구한 기간들에 대해 1941년부터 2010년까지의 매해 겨울에 대해 1941~1970년 평년값에 대한 기온 편차⁴⁾를 계산하여 이들의 변화 추세를 살펴보았다.⁵⁾ 다음으로 매해 겨울의 기온 편차와 해면기압, 925hPa 면의 남북성분 풍속(v925)⁶⁾의 관련성을 살펴보았다. 먼저 상관계수가 큰 지역의 지역 평균 SLP와 v925의 경년변화를 조사하여 기온 편차와의 관련성을 조사하였다. 다음으로 매해 겨울 기온편차의 경년 변화 양상에 의해 1941~1970년과 1971~2010년의 2개의 기간으로 구분, 각 기간의 평균 SLP, 925hPa 면 바람의 합성도를 작성하여 기온 편차와의 관계를 살펴보았다.

3. 30년 평균 기온에 나타난 계절 추이의 변화

Figure 1은 1941~1970년(가 기간), 1971~2000년(나 기간)에 대한 일 평년값과 이에 대한 1~36 조화파의 합성파(계절 추이)를 함께 나타낸 것이다. 가와 나 기간의 계절 추이를 비교하면 나 기간에서 기온 상승이 뚜렷하게 나타난다는 점, 그런데 기온 상승이 매우 큰 시기와 그렇지 않은 시기가 나타난다는 점, 가 기간의 계절 추이에서는 겨울에 가장 추운 시기가 1월 초순에서 중순까지인데 비해 나 기간에서는 1월 말~2월 초에 나타난다는 점 등을 알 수 있다.

가와 나 기간의 기온 상승이 시기별로 달라지는 것

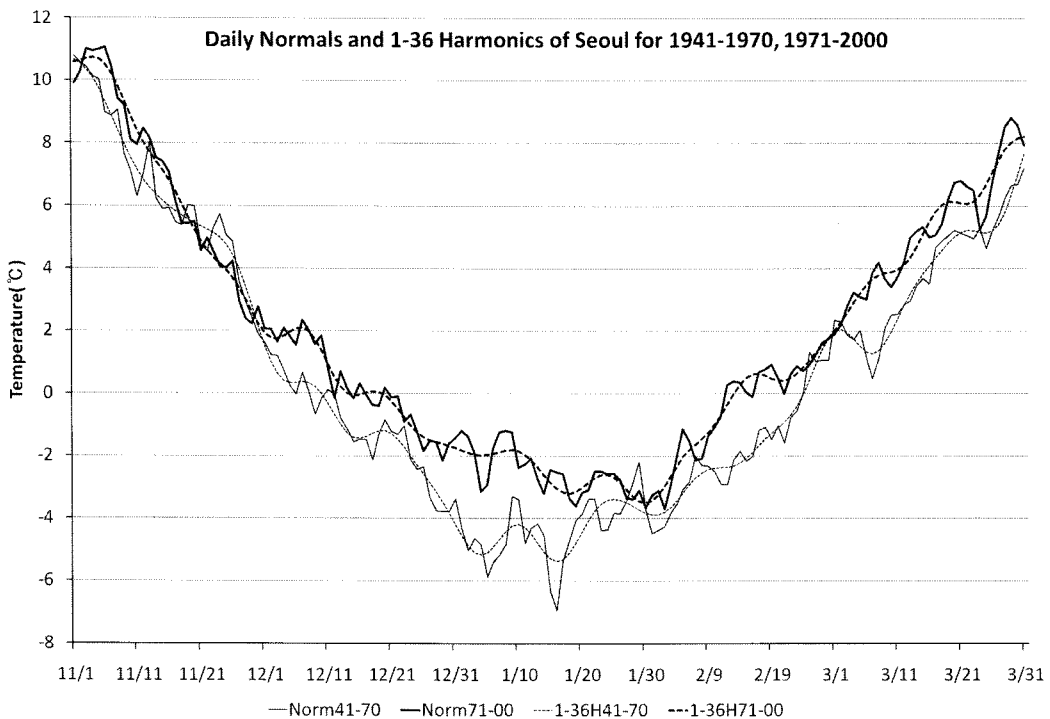


Figure 1. Daily normals of daily mean temperature of Seoul for 1941~1970 (thin solid line), 1971~2000 (thick solid line) and synthesized waves of 1~36 harmonics for each daily normal. Thin and thick dashed lines are synthesized waves for normals of 1941~1970 and 1971~2000 respectively. In this paper the synthesized waves are regarded as the seasonal trend. The harmonic waves are computed for 1 years from 1 Aug. to 31 Jul. 서울의 일평균 기온에 대한 1941~1970년과 1971~2000년 각각의 일 평년값(가는 실선과 굵은 실선)과 1~36 조화파의 합성파(가는 파선과 굵은 파선)

Table 1. Average wintertime (1 Nov.-31 Mar.) warming of daily normals for 1971~2000 with comparison to those for 1941~1970 and major periods with more/less warming than average for 10 stations of Korea.

한국의 10개 지점에서 구한 가, 나 기간의 겨울철 평균 승온, 평균보다 많이(적게) 기온 상승이 나타난 기간

Station	Average warming(°C)	Period with more warming than average	Period with less warming than average
Gangneung	0.77	12/25~1/18	1/19~2/9
Seoul	1.25	12/27~1/20	1/21~2/9
Incheon	0.80	12/26~1/20	1/21~2/3
Ulleungdo	0.54	12/25~1/20	1/21~2/10
Daegu	1.20	12/28~1/20	1/21~2/2
Jeonju	0.44	12/28~1/23	1/24~2/3
Gwangju	0.72	12/29~1/22	1/23~2/10
Busan	0.71	12/26~1/19	1/20~2/3
Mokpo	0.37	12/28~1/23	1/24~2/9
Jeju	0.56	12/27~1/22	1/23~2/10

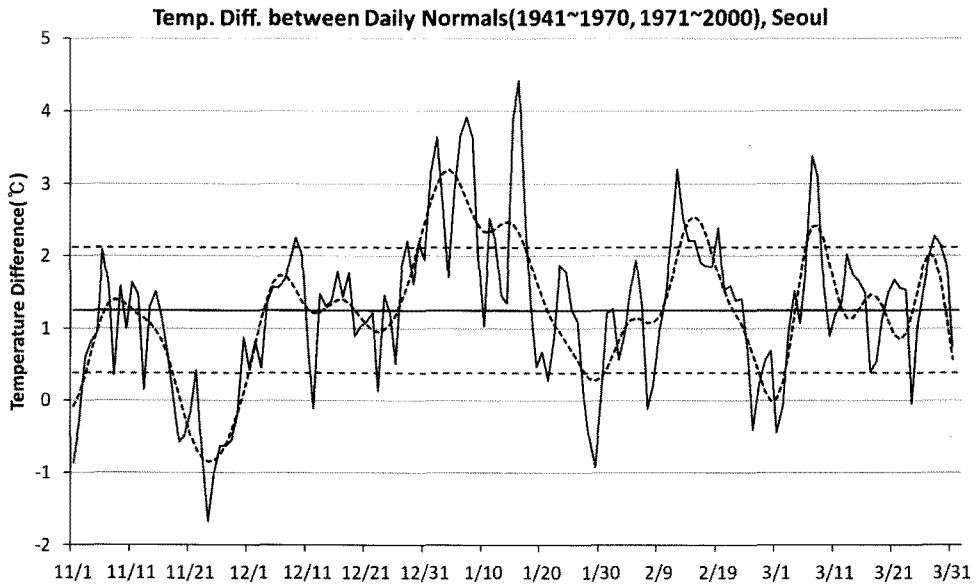


Figure 2. Temperature differences between two daily normals (solid line) and synthesized harmonics (dashed line) for 1941~1970 and 1971~2000. Linear solid line denote average of temperature differences of synthesized harmonics for the period from 1 Nov. to 31 Mar. and two linear dashed lines show average ± 1 standard deviation. 1941~1970년과 1971~2000년 일 평년기온의 차이(실선)와 합성 조화파의 차이(파선)

을 보다 명확하게 살펴보기 위해 이 두 기간의 일 평년 값과 합성파의 차이를 구하였다(Figure 2). Figure 2에서 실선의 수평선은 합성파 차이의 11월 1일에서 3월 31일까지의 평균(1.25°C)을 나타내며, 이에 평행한 두

개의 파선은 이 평균에 같은 자료의 표준편차(SD)를 더하고 뺀 값을 나타낸다. Figure 2에서 보면 겨울철 평균보다 더 많이 상승한 시기와 덜 상승한 시기가 거의 교대로 나타나는데, 특히 12월 27일에서 1월 20일

까지의 시기에 기온 상승이 탁월하게 나타나며 11월 하순경에는 오히려 기온이 하강하고 있다. 또한 1월 21일에서 2월 9일까지의 시기에도 겨울철 평균보다 적은 기온 상승이 나타나고 있다. 이러한 1월 초순, 중순의 큰 기온 상승과 1월 하순, 2월 초순의 적은 기온 상승으로 가 기간과 나 기간의 계절 추이에 변화가 나타난 것으로 판단된다. 이하에서는 12월 27일에서 1월 20일까지의 시기를 전기(Pre-period), 1월 21일에서 2월 9일까지의 시기를 후기(Post-period)로 부르기로 한다.

Table 1은 한국의 10개 지점에 대해 가, 나 기간의 일 평년값, 1~36 조화파의 합성파를 구한 후 겨울철 평균 기온 상승보다 많이 혹은 적게 상승한 시기를 구한 것이다. 지점별로 약간의 차이는 있으나 전기는 대략 12월 27일 전후에서 1월 20일 전후의 시기, 후기는 1월 20일 전후에서 2월 10일 전후의 시기로 나타났다. 이런 전기와 후기의 승온량의 차이로 계절 추이의 변화가 10개 지점 모두에서 나타났다(그림 생략).

가 기간(1941~1970)의 일 평년값에 대한 서울 일평균 기온 편차의 전기와 후기 평균을 1940년 12월부터

2010년 2월까지의 기간에 대해 대해 계산하였다. 이의 경년변화를 보인 것이 Figure 3이다. Figure 3에서 실선과 파선은 전기, 후기의 평균 기온 편차의 5년 이동 평균을 보인 것이고, 가늘고 굵은 직선은 각각 전기, 후기 평균 기온 편차의 회귀직선이다. 기온 편차는 점차 증가하고 있어 기온 상승 경향을 나타내고 있다. 그런데, 후기 기온 편차보다 전기 기온 편차가 더 빠르게 상승하고 있으므로 계절 추이의 변화는 근래 더 크게 나타나는 경향임을 나타낸다.

Figure 4는 Figure 3에서 보인 전기와 후기의 5년 이동평균 기온 편차의 차이와 이 차이의 5년 이동평균을 보인 것이다. 이 차이가 0℃ 이상이면 전기의 기온 상승이 후기보다 더 크다는 것을 의미한다. Figure 4에서 보면 전체적으로 이 차이가 증가하고 있으나, 이동평균을 자세히 살펴보면 1970년 이전에는 이동평균이 0℃를 중심으로 변동하고 있는 것으로 판단되며 그 이후에는 1.25℃를 중심으로 변동하고 있는 것으로 보인다. 즉, 전기와 후기의 기온 편차의 차이는 1970년을 기준으로 그 이전과 그 이후로 구분될 수 있다는 것을

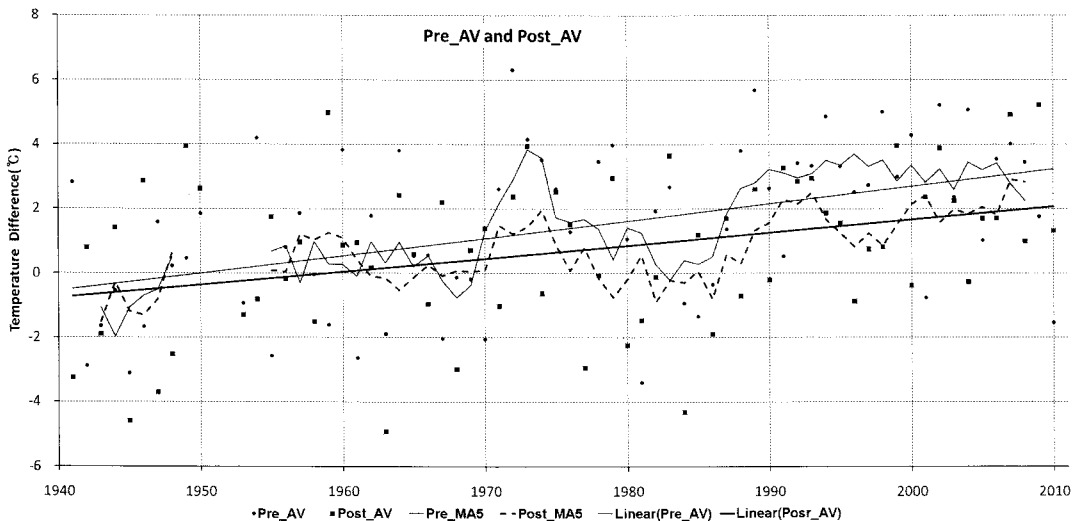


Figure 3. Changes of average departure of pre-period (12/27~1/20, Pre_AV) and post-period (1/21~2/9, Post_AV) from the daily normals of 1941~1970 for Seoul. The pre-period and post-period of Seoul are referred to Table 1. Closed circles and squares are Pre_AV and Post_AV respectively. Thin solid line and dashed line are moving averages with 5 term of Pre_AV (Pre_MA5) and Post_AV (Post_MA5) respectively. Thin and thick linear lines are simple regression line of Pre_AV and Post_AV respectively.

서울의 가 기간 일 평년값에 대한 전기와 후기의 평균 기온 편차의 변화

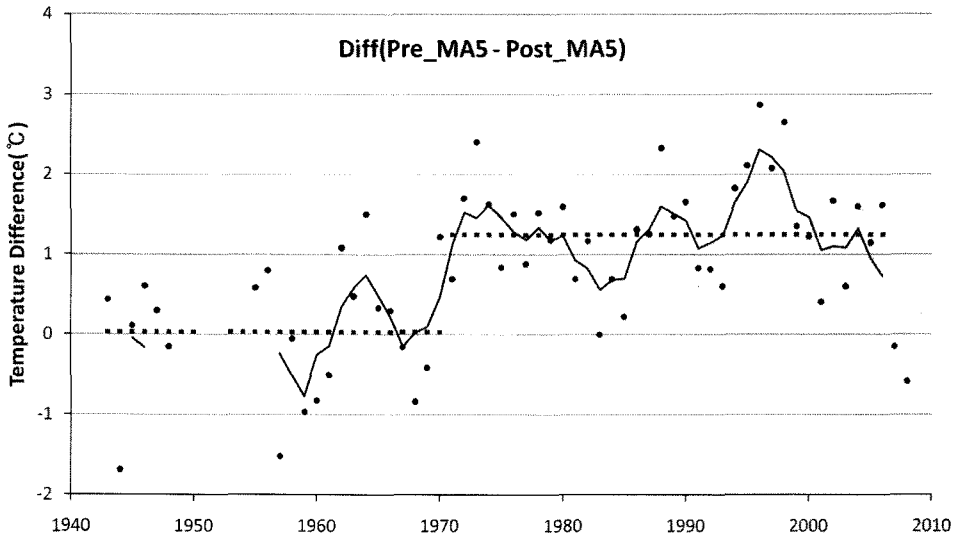


Figure 4. Change of difference of Pre_MA5 and Post_MA5. Closed circle is difference of Pre_MA5 and Post MA5, solid line is moving average with 5 term of the difference, lines with closed square mark are averages of the difference for 1941~1970 (low average) and 1971~2010 (large average). Abbreviations are referred to Figure 3. 전기, 후기 평균 기온편차의 5년 이동 평균(Pre_MA5, Post_MA5) 간 차이의 변화

알 수 있다.

그런데 한국의 14개 지점에 대해 평균한, 12월 1일에서 2월 28일까지의 겨울철 평균 일 최저기온의 변화를 보면(Ryoo *et al.*, 2004) 1985~1986년 겨울 이전과 1986~1987년 겨울 이후에 뚜렷한 변화가 나타나며, 이는 이 두 시기의 일 최저기온의 상대도수 분포에서도 잘 나타난다. 그리고 본 연구에서 구한 매해의 일평균 기온의 편차를 11월 1일에서 3월 31일까지 평균한 것의 시계열에서도 1989년을 기준으로 변화가 나타났다(그림 생략). 따라서 겨울철 전체의 경년변화와 본 연구의 전기, 후기의 기온편차의 경년변화가 다를 수 있으며, 이에 대한 자세한 연구가 필요하다고 판단된다.

4. 계절 추이의 변화에 영향을 준 요인

겨울철 우리나라의 기온 변동은 시베리아 고기압의 변동과 동아시아 동안의 북풍 성분의 문순바람과 깊은

관련을 맺고 있고 있는 것으로 알려졌다(Kang, 1988; Ryoo *et al.*, 2002). 그러므로 여기에서는 전기와 후기의 기온 편차의 변동과 해면기압, 925hPa 면의 바람과의 관련성을 살펴보기로 한다.

Figure 5는 1949~2010년에 대해 구한 전기와 후기의 기온 편차와 해면기압의 상관계수의 분포를 나타낸 것이다. 기온 편차와 해면기압은 각각 전기와 후기의 평균값이다. 상관계수 분포를 보면 바이칼 호 부근의 넓은 지역에서 큰 음의 상관계수(-0.6보다 작은)가 나타나며 우리나라의 동쪽에서 큰 양의 상관계수(0.4 이상) 지역이 나타난다. 평균적인 시베리아 고기압의 중심지역은 바이칼 호의 서쪽에서 호수의 남동쪽에 이르는 넓은 지역이다(Zhang *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 2005). 따라서 바이칼 호 부근의 음의 상관계수가 큰 지역을 시베리아 고기압의 중심으로 볼 수 있어 서울의 기온 편차는 시베리아 고기압의 변동에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 전기와 후기의 상관계수 분포는 대체로 유사하나 우리나라 부근의 등치선의 방향, 우리나라 동쪽의 양의 상관계수 지역 등에서 차이가 나타난다.

Figure 5에서 음의 상관계수가 큰 지역(90~110°E, 52.5~60°N; 실선으로 표시한 영역)에 대해 구한 전기, 후기의 지역 평균 해면기압의 시계열과 회귀직선을 나타낸 것이 Figure 6이다. 회귀직선의 유의성 검정에서 p 값은 전기와 후기에서 각각 0.039와 0.831로서 전기

해면기압의 회귀직선은 유의수준 0.05에서 유의하다. Figure 6에서 해면기압의 변동이 상당히 크지만 전기와 후기 모두 기압이 낮아지는 경향성이 나타난다. 특히 전기의 해면기압이 후기의 해면기압보다 더 빨리 하강하고 있다. 12월에서 2월까지의 월별 평균 시베리

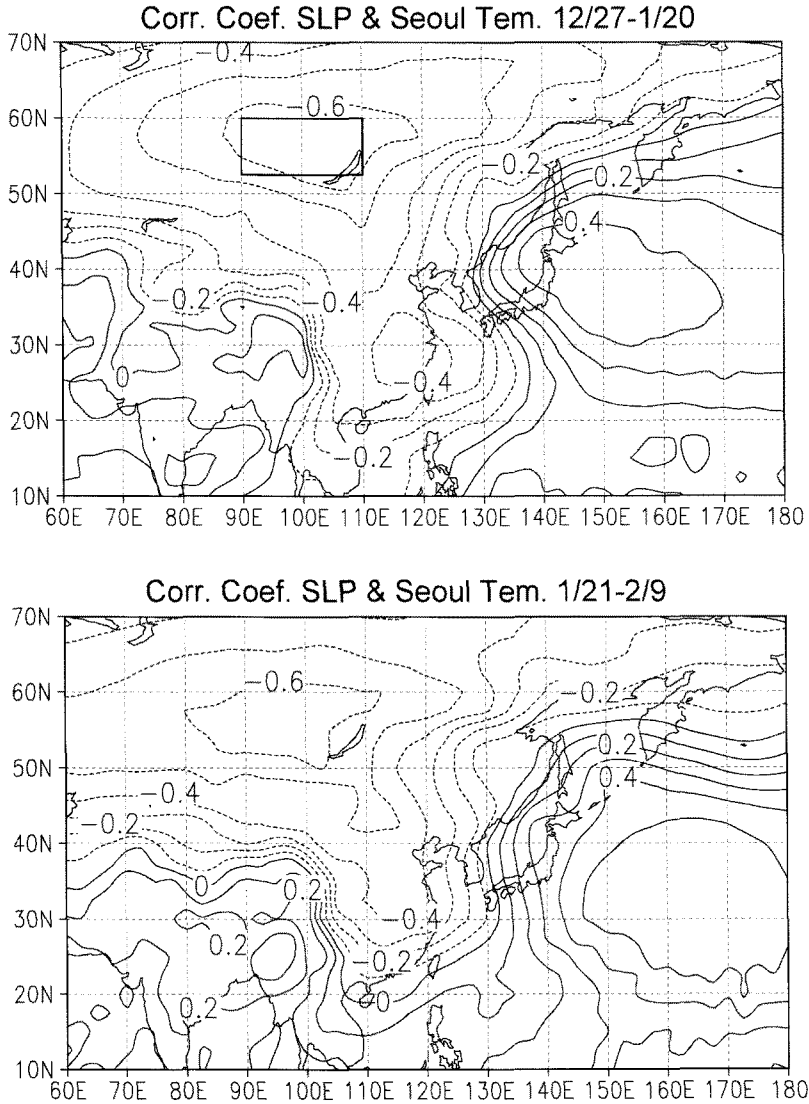


Figure 5. Distributions of the correlation coefficients between the time series of Pre_AV (upper panel) and Post_AV (lower panel) and the corresponding period average of sea level pressure (SLP) for 1949~2010. Negative values are denoted by dotted lines. The subarea in the upper panel is indicated by thick solid line to compute areal average SLP (see Figure 6). 1949~2010년에 대해 구한 전기(위)와 후기(아래)의 기온편차와 해면기압의 상관계수 분포도

아 고기압의 중심기압은 모두 하강하는 경향성이 탁월한데(Kim *et al.*, 2005), 12, 1, 2월의 회귀직선의 기울기는 각각 -0.0331 , -0.0473 과 -0.0641 이다. 본 연구의 전기 해면기압의 회귀직선의 기울기인 -0.066 은 2월 평균 회귀직선의 기울기와 유사하다. 이런 하강 경향으로 전기에 시베리아 고기압의 중심기압은 10년에 0.7hPa 정도씩 낮아지고 있다고 할 수 있다. 그런데 후기의 경우 시베리아 고기압의 중심기압은 거의 일정하다고 볼 수 있는데(기울기 -0.0075), Kim *et al.*(2005)에서 나타난 2월로 가면서 하강하는 경향이 더 커지는 것과는 상반된다. Kim *et al.*(2005)은 월평균 자료를 이용한 반면 이 연구에서는 1월과 2월에 걸친 20일 평균 자료를 이용하여서 이런 차이가 나타난 것으로 보인다. 따라서 겨울의 시기에 따라 시베리아 고기압의 변화 경향이 달라질 수 있다는 가능성이 있으므로 보다 심도 있는 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

위에서 전기와 후기의 시베리아 고기압 중심기압의 변화 경향을 살펴본 결과 근래로 오면서 전기의 시베리아 고기압은 뚜렷하게 약화되고 있으나 후기의 시베리아 고기압의 중심기압은 크게 약화되지 않으며, 이는 전기의 기온 편차는 많이 상승하는 것으로, 후기의 기온 편차는 적게 상승하는 결과로 이어진다고 할 수 있다.

Figure 7은 전기와 후기 평균 925hPa 면의 남북성분 풍속(v_{925})과 서울 기온 편차의 상관계수 분포도이다. 오호츠크 해 서안지역에서 우리나라를 지나 동중국해 부근까지 북동에서 남서로 큰 음의 상관계수 지역이 나타나며 티베트 고원 북쪽에서 발하슈 호 부근을 지나 바이칼 호 서쪽의 지역까지 큰 양의 상관계수가 나타난다. 따라서 우리나라 부근에서 북풍이 강하면 서울의 기온 편차가 낮아진다고 할 수 있다. 이는 기존 연구 결과와 일치한다(Kang, 1988; Ryoo *et al.*, 2002).

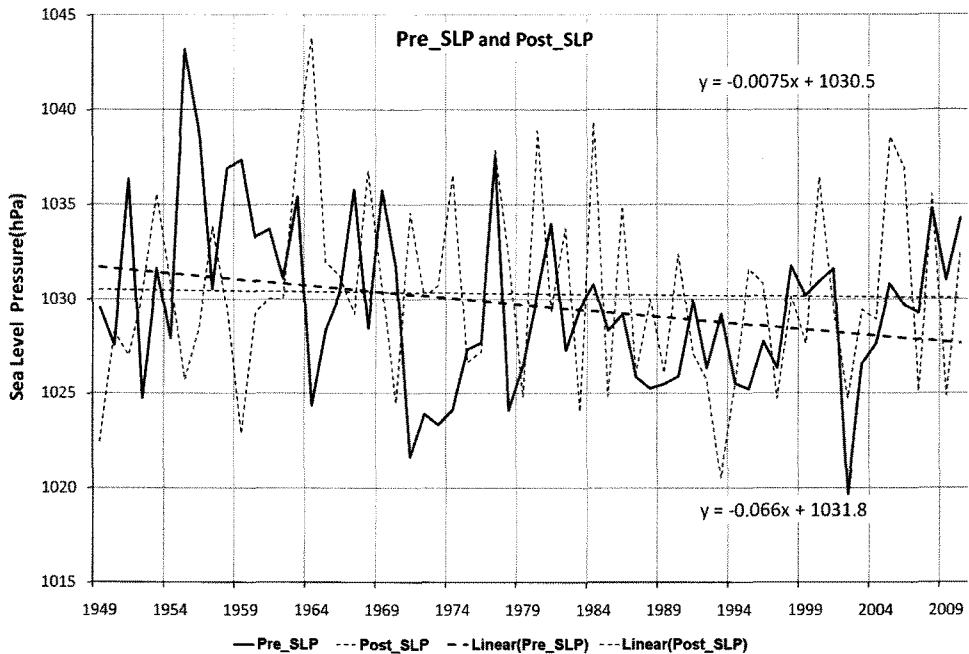


Figure 6. Time series of the areal averages of pre-period (solid line, Pre_SLP) and post-period (dashed line, Post_SLP) mean SLP and simple regression lines for Pre_SLP (thick dashed line) and Post_SLP (thin dashed line). The target area is denoted in Figure 5 and lower and upper regression line equations are computed for pre_SLP and Post_SLP respectively. The regression of Pre_SLP is significant at the 0.05 level.
전기과 후기 평균 해면기압의 지역평균값의 시계열과 회귀직선

Figure 8은 전기와 후기에 대해 우리나라 부근 영역 (120~130°E, 30~40°N)의 평균 v925의 시계열과 회귀 직선을 나타낸 것이다. 회귀직선의 유의성 검정에서 p 값은 전기와 후기에 대해 각각 0.008과 0.247로서 전기 v925의 회귀직선은 유의수준 0.01에서 유의하다. 바람은 모두 북풍으로서 평균 풍속이 약화되는 경향성을 보인다. 그런데 전기의 풍속이 보다 빨리 약해지며(기울기 0.0197, 따라서 10년에 약 0.2ms⁻¹의 비율로 풍

속이 감소) 후기 풍속은 보다 완만하게 감소한다(10년에 약 0.1ms⁻¹의 비율로 풍속 감소). 따라서 전기의 경우 근래에 시베리아 고기압이 약화되면서 우리나라 부근의 북풍도 약해지고 이로 인해 서울의 기온이 보다 빨리 상승하고 있다고 할 수 있다. 이에 비해 후기의 경우 시베리아 고기압이 근래에 거의 약화되지 않으면서 우리나라 부근의 북풍도 과거와 유사한 강도를 유지, 서울의 기온이 많이 상승하지 않는다고 할 수 있

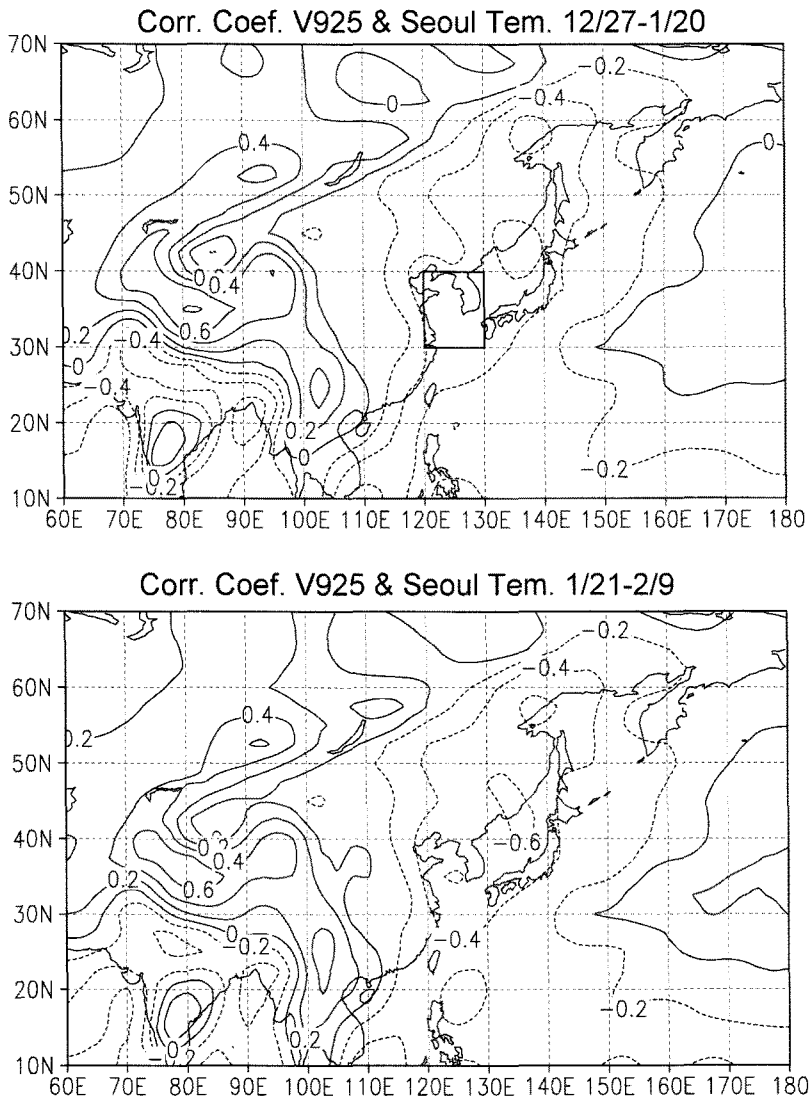


Figure 7. Same as Figure 5, except for v925 (north-south wind speed at 925hPa surface). 전기(위)와 후기(아래)의 기온편차와 925hPa 남북성분 풍속의 상관계수 분포도

다.

서울의 전기와 후기 기온 편차의 차이에서 1970년을 기준으로 전과 후의 기간에 뚜렷한 차가 나타났으므로 (Figure 4) 1949~1970년과 1971~2010년의 기간에 대해 해면기압과 925hPa 면 바람의 전기와 후기 평균을 각각 구하여 전기와 후기의 차이, 1970년 전후 기간의 차이 등을 살펴보았다.

Figure 9는 각각의 기간에 대해 전기의 평균 해면기압과 바람벡터, 이들의 전기와 후기의 차이를 나타낸 것이다. 전기 평균 해면기압(Figure 9a, c)을 보면 시베리아 고기압과 알류산 저기압이 잘 나타나고 있으며 우리나라 부근에 북서풍이 강하게 불고 있다. 그런데 시베리아 고기압은 1970년 이전이 그 이후보다 더 강한 반면 알류산 저기압은 그 이후에 더 발달하고 있다. 따라서 우리나라 부근에서 하층의 서풍 풍속에서 이 두 기간 사이에 큰 차이가 나타나지 않을 것으로 보인다.

전기와 후기의 차이(Figure 9b, d)를 보면 1970년 이전에는 전기에 시베리아 고기압이 더 강하고 알류산 저기압은 더 약한 반면 후기에는 시베리아 고기압은

약해졌으나 알류산 저기압이 발달하여 우리나라 부근에서 큰 풍속 차이가 나타나지 않는다. 중국 동해안 지역에 북풍이 뚜렷하게 나타나고, 동남아시아에 강한 북동풍이 나타난다. 또한 우리나라 부근에서는 약한 서북서풍이 나타나며, 이는 전기와 후기에 북풍 성분의 차가 크지 않음을 나타낸다. 이에 비해 1971년 이후에는 바이칼 호 북쪽과 서쪽에서 기압 차이가 음의 값을 나타내어 후기에 시베리아 고기압이 더 강하다는 것을 의미하며 일본 동쪽에 양의 기압 차이가 나타나 후기에 알류산 저기압이 더 강하다는 것을 나타낸다. 우리나라 부근에서는 약하지만 남풍 계열의 바람이 나타난다. 이는 전기에 비해 후기의 북풍 성분이 더 크다는 것을 의미하며, 시베리아 고기압 못지않게 알류산 저기압도 우리나라의 기온 변동에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다(Kang, 1988; Ryoo *et al.*, 2002 등).

Figure 10은 전기와 후기의 각각에 대해 1970년 이전 시기와 이후 시기의 장기 평균 해면기압과 925hPa 면 바람의 차이를 보인 것이다. 전기의 경우(Figure 10a) 1970년 이후에 바이칼 호 부근을 중심으로 기압이 점차 낮아지고, 우리나라 동쪽의 넓은 지역에서 기

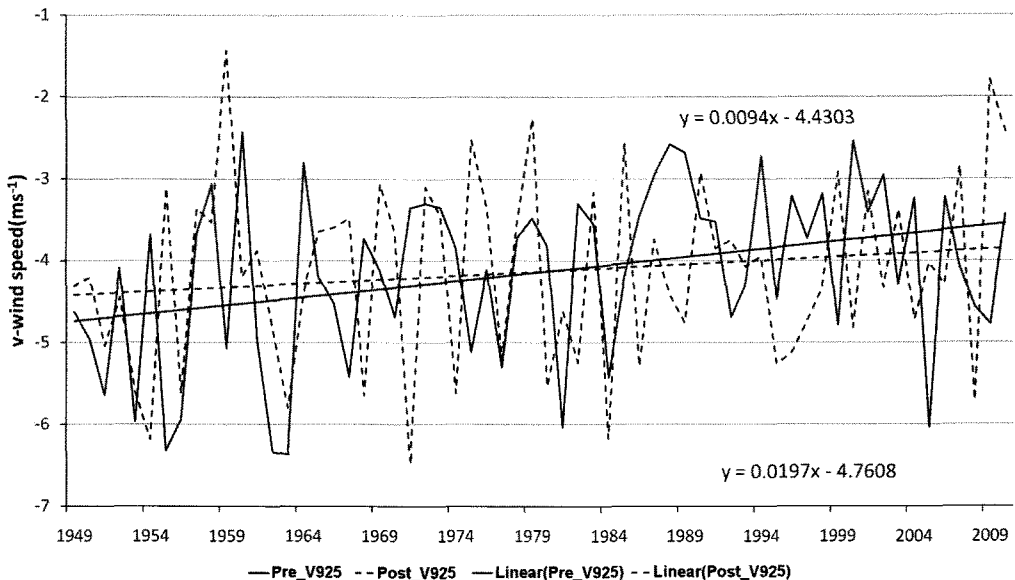


Figure 8. Same as Figure 6, except for v925. The target area is indicated in Figure 7. The regression of Pre_V925 is significant at the 0.01 level. 전기와 후기 평균 v925의 지역평균값의 시계열과 회귀직선

압이 높아졌다. 이런 기압 차이에 반응하여 바이칼 호 부근을 중심으로 강한 저기압성 회전이, 일본의 중앙 부를 중심으로 고기압성 회전이 나타난다. 또한 동남 아시아에서 중국의 동안을 따라 남풍 계열의 바람이 오호츠크 해 서부를 지나 고위도로 이동하고 있다. 이와 같은 기압, 바람 벡터 분포는 근래에 시베리아 고기압과 알류산 저기압이 모두 약화되어 우리나라 부근에서 북서풍이 약해졌다는 것을 의미한다. 또한 시베리아 고기압의 약화로 동남아시아의 북동 계절풍도 근래에 약해졌다는 것을 알 수 있다.

후기의 경우(Figure 10b) 시베리아 고기압의 중심 기압이 약화되었고, 우리나라를 포함하는 매우 넓은 지역에서 기압이 높아졌으며 일본 홋카이도 동쪽에서 저기압이 발달하였다. 기압 상승의 중심이 황해 남부

에서 우리나라 남부지방을 경유하여 동해의 동부까지 대상으로 나타난다. 이 지역을 중심으로 고기압성 회전이 나타나므로, 우리나라 부근에서는 1970년 전후의 풍속 차이가 매우 작다는 것을 알 수 있다. 그러므로 시베리아 고기압의 약화와 우리나라 부근의 기압 상승으로 중국 동안 지역의 북풍은 약해졌으나 알류산 저기압의 발달로 우리나라 부근의 바람은 크게 달라지지 않았다고 할 수 있다.

전기와 후기를 비교하면(Figure 10a, b) 바이칼 호 부근의 시베리아 고기압의 중심기압이 후기(약 4hPa)에 비해 전기(약 7hPa)에서 더 많이 약해졌다. 이에 비해 우리나라 동쪽의 기압은 큰 차이를 보이지 않는다. 이 결과로 우리나라 부근의 바람은 전기에서 근래에 더 많이 약화되었다.

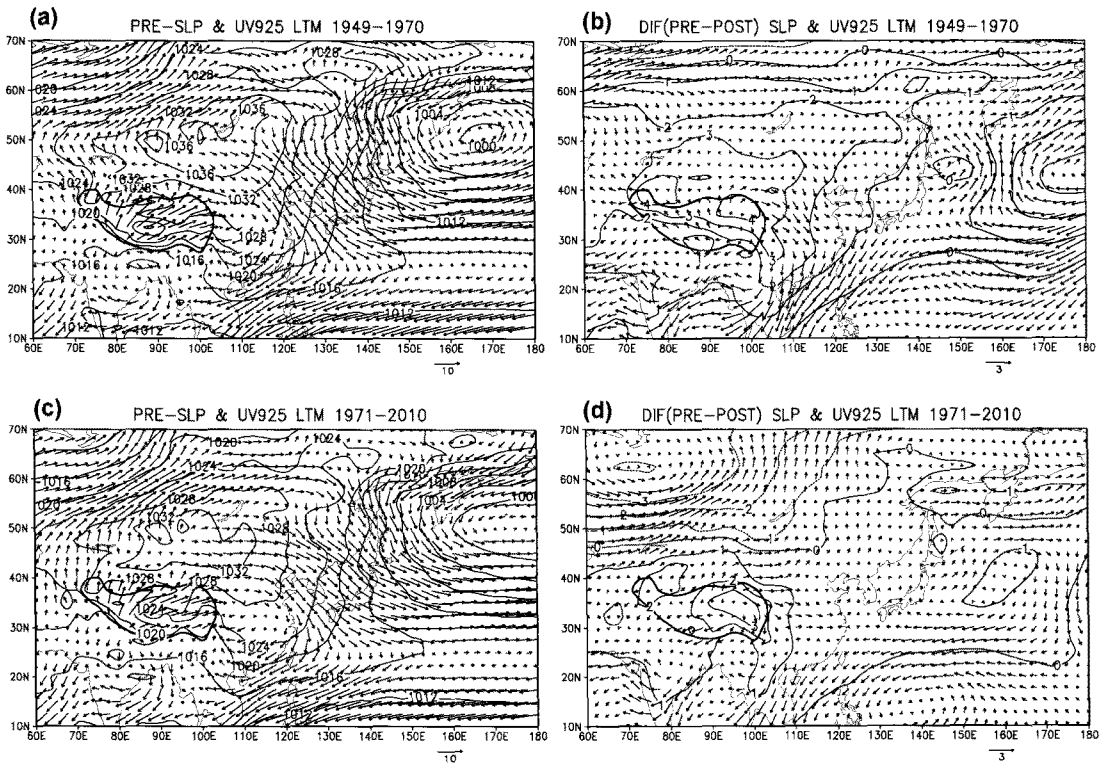


Figure 9. (a) Long term mean (LTM) SLP and 925hPa wind vector of pre-period for 1949-1970, (b) difference between pre-period LTM and post-period LTM of SLP and wind vector for 1949-1970, (c), (d) same as (a), (b) except for 1971-2000 respectively. Thick solid line denotes the Tibet Plateau. (a) 전기의 해면기압과 925hPa 바람의 1949~1970년 장기 평균, (b) 1949~1970년 장기 평균 해면기압과 바람의 전기, 후기의 차이, (c) 전기의 해면기압과 바람의 1971~2000년 장기 평균, (d) 1971~2000년 장기 평균 해면기압과 바람의 전기, 후기의 차이

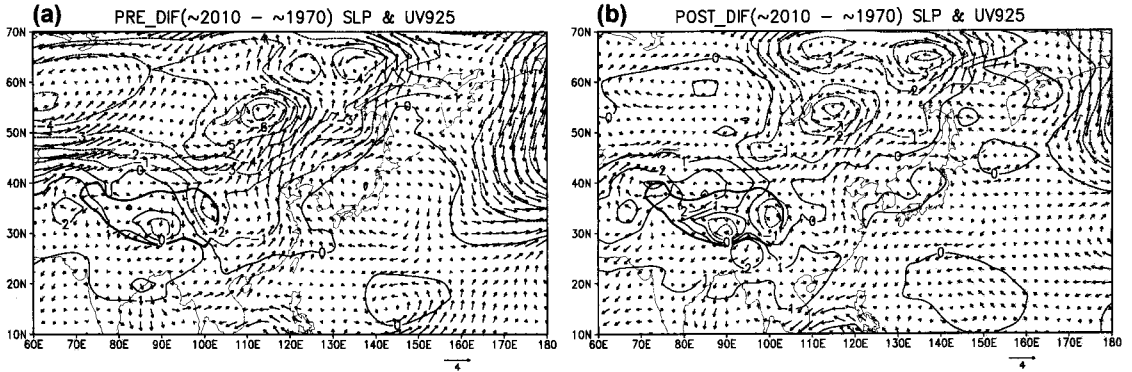


Figure 10. Difference between LTMs of SLP and wind vector over 1971~2000 and 1949~1970 for pre-period (a) and post-period (b). Thick solid line denotes the Tibet Plateau.

전기(a)와 후기(b)의 해면기압과 바람의 1971~2000년과 1949~1970년 장기 평균의 차이

이상으로 서울의 전기, 후기의 기온 편차와 해면기압, 925hPa 면의 바람과의 관련성을 살펴보았다. 그 결과 전기에서 근래로 오면서 시베리아 고기압의 뚜렷한 약화가 나타났고, 이로 인해 우리나라 부근에서 북풍이 약화되었다. 이는 전기의 기온 편차가 뚜렷하게 상승하게 하는데 기여하였다고 판단된다. 이에 비해 후기에서는 시베리아 고기압이 근래에 약화되었으나 알류산 저기압이 발달하여 우리나라 부근에서 풍속 차이가 거의 나타나지 않았으며, 이는 후기의 기온 편차를 적게 상승하게 하였다고 판단된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 서울의 일평균 기온 자료에서 구한 1941~1970년(가 기간)과 1971~2000년(나 기간)의 일평년값에 조화분석을 적용하여 1~36 조화파의 합성파로서 계절 추이를 계산한 후 계절 추이의 변화 양상을 살폈다. 그리고 이 계절 추이의 변화에 영향을 미치는 요인을 해면기압과 925hPa 면의 바람 자료를 이용하여 조사하였다. 얻어진 결과들은 다음과 같다.

계절 추이에서 보았을 때 겨울철 가장 추운 시기가 가 기간에는 1월 초~중순이었는데 비해 나 기간에는 1월 하순~2월 초순으로 나타나 뚜렷한 계절 추이의 변

화가 나타났다. 이러한 변화는 12월 27일~1월 20일의 시기(전기)에는 11월 1일~3월 31일에 대한 가 기간과 나 기간의 기온 차이의 평균보다 많은 기온상승이, 1월 21일~2월 9일(후기)에는 평균보다 적은 기온 상승이 있었기에 나타난 것으로 판단된다. 우리나라의 다른 9개 지점에서도 기온이 많이 상승한 전기와 덜 상승한 후기가 나타났으며, 전기와 후기의 기간에 큰 차이가 없었다.

1941~2010년의 매해에 대해 1941~1970년 일평년값에 대한 전기와 후기의 기온 편차 평균을 구하여 이의 경년변화를 살펴보았다. 그 결과 두 기온편차는 점차 양의 큰 값으로 증가하는 경향을 보였다. 또한 전기의 기온편차가 후기의 기온편차보다 더 빨리 상승하고 있어 계절 추이의 변화가 앞으로 계속 이어질 것으로 판단된다. 그런데 전기와 후기의 기온 편차의 차이를 보면 1941~1970년의 기간에는 해에 따른 변동은 크나 그 차이가 평균적으로 약 0°C의 값을 중심으로 변동하고 있었으나 1971년 이후에는 1.25°C를 중심으로 변동하고 있어서 1970년을 기준으로 전후의 차이가 뚜렷하게 나타났다.

서울의 전기와 후기 기온 편차는 시베리아 고기압과 큰 관련성을 보였다. 기온 편차와 바이칼 호 부근의 해면기압 사이에 매우 큰 음의 상관계수가 나타나, 시베리아 고기압이 강할 때 서울의 기온이 낮아진다(음의 기온 편차)는 것을 알 수 있다. 전기, 후기에 대해 시베

리아 고기압의 중심인 바이칼 호 부근 지역의 지역 평균 해면기압의 경년 변화를 보면 전기의 시베리아 고기압은 뚜렷하게 약화되고 있으나 후기의 경우 크게 약화되지 않았다.

925hPa 면의 남북 성분 풍속(v925)도 기온 편차와 깊은 관련성을 보인다. 기온과 v925 사이의 상관계수 분포도를 보면 우리나라 부근에서 큰 음의 상관계수가 나타났다. 이는 북풍이 강할 때 기온이 낮아진다는 것을 의미한다. 전기, 후기에 대해 우리나라 부근의 지역 평균 v925의 경년변화를 보면 전기에서는 북풍이 빠르게 약화되고 있는 반면 후기에서는 보다 완만하게 약화되고 있다. 따라서 전기에 시베리아 고기압이 빠르게 약화되면서 우리나라 부근의 북풍도 약화되고 이에 따라 기온이 빠르게 상승하였다는 점, 후기에는 시베리아 고기압이 근래에 거의 약화되지 않고 우리나라 부근 북풍의 풍속도 크게 약화되지 않아 기온이 많이 상승하지 않았다는 점을 알 수 있다.

1970년 전후의 기간에 대해 평균한 전기와 후기의 해면기압과 925hPa 면의 풍속을 보면, 1970년 이전 기간에는 전기에 비해 후기에는 시베리아 고기압은 더 약해졌으나 알류산 저기압이 더 강화되어 우리나라 부근의 북풍에 큰 차이가 나타나지 않았다. 그러나 1971년 이후에는 후기에 시베리아 고기압과 알류산 저기압이 전기보다 강화되므로 우리나라 부근에서 후기에 북풍이 더 강한 것으로 나타났다. 또한 1970년 전후의 차이를 보면 전기에는 1971년 이후에 시베리아 고기압의 뚜렷한 약화, 알류산 저기압의 완만한 강화로 인해 우리나라 부근에서 북풍이 약화된 반면 후기에는 시베리아 고기압의 완만한 약화와 알류산 저기압의 완만한 발달로 우리나라 부근의 북풍이 크게 약화되지 않았다.

이상으로 1941~1970년과 1971~2000년의 일 평년 값에서 구한 계절 추이에 변화가 나타났다는 점, 1월 초·중순에 기온이 많이 상승한 반면 1월 하순~2월 초순에 기온이 적게 상승하여 이러한 계절 추이의 변화가 나타난 점, 이러한 변화는 시베리아 고기압과 우리나라 동쪽의 해면기압의 변화, 그리고 이로 인한 우리나라 부근의 북풍의 변화와 깊은 연관이 있다는 점 등이 밝혀졌다.

이 연구에서는 시베리아 고기압의 중심기압이 시기 별로 뚜렷하게 다른 경년변동을 나타내었는데, 월별 경년변동과 어떻게 다른지를 보다 심도 있게 연구할 필요가 있다. 또한 알류산 저기압과 서울의 기온 편차의 관련성도 자세한 연구가 있어야 할 것으로 보인다. 그리고 우리나라 기온의 경년변동에 영향을 미치는 것으로 보이는 북반구의 여러 순환특성과의 관련성도 흥미 있는 주제로 보인다. 또한 계절 추이의 변화와 북반구 상층의 다른 순환특성, 저위도의 순환특성과 해면수온 등과의 연관에 대해서도 깊이 조사할 필요가 있을 것이다.

주

- 1) 엄동은 매우 추운 겨울을 의미하며, Lee(1979)는 일평균 기온 0℃ 이하, 일 최저기온 -5℃ 이하가 나타나는 기간을 엄동으로 정하였다.
- 2) 재분석자료(reanalysis data)는 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).
- 3) Lee(1979)에서는 평활곡선을 계절 추이로 보았는데, 제1~제12 조화파의 합성파가 대체로 평활곡선과 매우 유사하였다(그림 생략). 그런데, 제12 조화파의 경우 주기가 약 30일 이어서 이보다 단주기의 현상은 반영을 할 수 없다. 우리나라에서 약 7일 주기의 기온 변동이 매우 탁월하게 나타나나(Kim and Roh, 2010), 이보다 긴 주기의 기온 변동도 상당히 큰 것으로 보인다(Kim and Roh, 2010의 Fig. 11; Lee, 1971, 1985). 이들 연구들에 의하면 약 10일과 약 12일의 주기가 뚜렷하게 나타난다. 따라서 약 10일 주기보다 장주기의 기온 변동을 반영하기 위해 제36 조화파까지를 합성하였다.
- 4) 기온편차는 보통 최근의 30년(1981~2010) 평균에 대한 편차를 많이 사용하고 있는데, 이 연구에서처럼 1941년부터 2010년까지 기온 편차를 계산하면 대부분의 해에서 음의 편차가 나타나며, 1941~1970년 평균에 대한 편차를 구하면 대부분의 경우 양의 값을 갖는다. 물론 음 편차로도 기온 상승을 표현할 수 있으나 표현상의 불편함이 있어 양의 값으로 기온 상승을 나타내는 것이 더 좋다고 판단하였다.
- 5) 본 연구의 초점이 1월의 기온 변화이므로 매해 겨울을 1월의 연도로 표시하였다. 즉, 2009년 11월에서 2010년 3월까지

지의 겨울을 2010년 겨울로 표시하였다.

- ⑥ 925hPa 면은 바다에서 평균적인 고도가 약 800m이다. 이 고도는 해양에서는 거의 자유 대기에 속하며 육지의 평야에서는 경계층의 상부에 해당하여 풍속이 지상 10m의 풍속보다 더 크다. 따라서 일반적으로 대기 하층의 바람을 살펴보기에 적절한 등압면이다.

참고문헌

- Cho, H. M., Cho, C. H., and Chung, K. W., 1988, Air temperature changes due to urbanization in Seoul area, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 24(1), 27-37 (in Korean).
- Choi, G. Y., Kwon, W. T., Boo, K. O., and Cha, Y. M., 2008, Recent spatial and temporal changes in means and extreme events of temperature and precipitation across the Republic of Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 43, 681-700.
- Choi, G. Y., Kwon, W. T., and Robinson, D. A., 2006, Seasonal onset and duration in South Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 41, 435-456 (in Korean).
- Choi, J. Y., Chung, U., and Yun, J. I., 2003, Urban-effect correction to improve accuracy of spatially interpolated temperature estimates in Korea, *Journal of Applied Meteorology*, 42, 1711-1719.
- Choi, Y. E., Jung, H. S., Nam, K. Y., and Kwon, W. T., 2003, Adjusting urban bias in the regional mean surface temperature series of South Korea, 1968-99, *International Journal of Climatology*, 23, 577-591, doi: 10.1002/joc.881.
- Ha, K. J., Ha, E. H., Yoo, C. S., and Jeon, E. H., 2004, Temperature trends and extreme climate since 1909 at big four cities of Korea, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 40, 1-16 (in Korean).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L. (eds.)], Cambridge University Press.
- Jung, H. S., Choi, Y. E., Oh, J. H., and Lim, G. H., 2002, Recent trends in temperature and precipitation over South Korea, *International Journal of Climatology*, 22, 1327-1337, doi: 10.1002/joc.797.
- Kang, I. S., 1988, Recurrent tropospheric circulation anomalies in the Northern Hemisphere associated with fluctuations of winter-mean temperature in Korea, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 24(2), 1-15.
- Kwon, Y. A., Kwon, W. T., and Boo, K. O., 2007, Future projections on the change of onset and duration of natural seasons using A1B data in South Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 42, 835-850 (in Korean).
- Kim, D. W., Byun, H. R., and 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. H., Kim, B. J., Oh, J. H., Kwon, W. T., and Baek, H. J., 2000, Detection of urbanization effect in air temperature change of Korea, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 36, 519-526 (in Korean).
- 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.
- Kim, M. K., Kang, I. S., and Kwak, C. H., 1999, The estimation of urban warming amounts due to urbanization in Korea for the recent 40 years, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 35, 118-126 (in Korean).
- Lee, B. S., 1969, Harmonic analysis of the temperature distribution in Korea, *Journal of the Korean*

- Geographical Society*, 4(1), 17-25 (in Korean).
- Lee, B. S., 1971, On the winter temperature surges in Seoul area, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 7, 41-46 (in Korean).
- Lee, B. S., 1979, A study of natural seasons in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 14(2), 1-11 (in Korean).
- Lee, B. S., 1985, Regular temperature fluctuations and the singularity in winter Seoul, Korea, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 21(1), 34-45 (in Korean).
- Lee, C. B., 1978, On the secular variation of air temperature in Seoul, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 14, 29-35 (in Korean).
- Lee, M. I. and Kang, I. S., 1997, Temperature variability and warming trend in Korea associated with global warming, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 33, 429-443 (in Korean).
- Murakami, T. and Matsumoto, J., 1994, Summer monsoon over the Asian continent and western North Pacific, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 72, 719-745.
- 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.
- Rho, C. S., 1973, On the rising trend of air temperature in Seoul area, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 9, 49-58 (in Korean).
- Ryoo, S. B., Jhun, J. G., Kwon, W. T., and Min, S. K., 2002, Climatological aspects of warm and cold winters in South Korea, *Korean Journal of Atmospheric Sciences*, 5, 29-37.
- Ryoo, S. B., Kwon, W. T., and Jhun, J. G., 2004, Characteristics of wintertime daily and extreme minimum temperature over South Korea, *International Journal of Climatology*, 24, 145-160, doi: 10.1002/joc.990.
- Ryoo, S. B., Moon, S. E., and Cho, B. G., 1993, Air temperature change due to urbanization in South Korea, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 29, 99-116 (in Korean).
- Seo, Y. W., Lee, S. S., and Ha, K. J., 2010, Changes in temperature and relative humidity in three major cities in Korea, *Journal of Climate Research*, 5, 175-188.
- Stine, A. R., Huybers, P., and Fung, I. Y., 2009, Changes in the phase of the annual cycle of surface temperature, *Nature*, 457, 435-440, doi:10.1038/nature07675.
- Thomson, D. J., 1995, The seasons, global temperature, and precession, *Science*, 268, 59-68.
- Wang, B., and LinHo, 2002, Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon, *Journal of Climate*, 15, 386-398.
- Wilks, D. S., 2006, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, 2nd. ed., Academic Press.
- Zhang, Y., Sperber, K. R., and 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.
- 교신: 박병익, 151-742, 서울시 관악구 관악로 599, 서울대학교 사범대학 지리교육과(이메일: fbipark@snu.ac.kr, 전화: 02-880-9029)
- Correspondence: Byong Ik Park, Department of Geography Education, College of Education, Seoul National University, Gwanak-ro 599, Gwanak-gu, Seoul, 151-742, Korea (e-mail: fbipark@snu.ac.kr, phone: +82-2-880-9029)
- 최초투고일 2011. 4. 1
수정일 2011. 4. 14
최종접수일 2011. 4. 22