

제주의 여름철 기온이 25°C 이상인 날수의 장기변화 분석

최재원[†] · 차유미 · 김정윤 · 박철홍

국립기상과학원

Analysis of Long-term Changes of Days with 25°C or Higher Air Temperatures in Jeju

Choi, Jae-Won[†], Cha, Yumi, Kim, Jeoung-Yun and Park, Cheol-Hong

National Institute of Meteorological Sciences, Jeju, Korea

ABSTRACT

In this study, the time series of the number of days with 25°C or higher temperatures in the Jeju region were analyzed and they showed a strong trend of increase until recently. To determine the existence of a climate regime shift in this time series, the statistical change-point analysis was applied and it was found that the number of days with 25°C or higher temperatures in the Jeju region increased sharply since 1993. Therefore, in order to examine the cause of the sharp increase of the days with 25°C or higher temperatures in the Jeju region, the differences between the averages of 1994~2013 and the averages of 1974~1993 were analyzed for the large-scale environment. In the Korean Peninsula including the Jeju region, precipitable water and total cloud cover decreased recently due to the intensification of strong anomalous anticyclones near the Korean Peninsula in the top, middle and bottom layers of the troposphere. As a result of this, the number of days with 25°C or higher temperatures in the Jeju region could increase sharply in recent years. Furthermore, in the analysis of sensible heat net flux and daily maximum temperatures at 2 m, which is the height that can be felt by people, the Korean Peninsula was included in the positive anomaly region. In addition, the frequency of typhoons affecting the Korean Peninsula decreased recently, which reduced the opportunities for air temperature drops in the Jeju region.

Key words : Jeju, Climate Regime Shift, Statistical Change-Point Analysis

1. 서 론

전 지구적으로 기온상승의 예측이 보고되면서, 이에 대한 관심이 끊이지 않고 있다. 한반도 또한 예외 없이 지구온난화로 인한 기온상승이 나타나고 있으며, 이로 인한 이상기후현상이 보고되고 있다. 일례로 기상청에서 발간한 2013 이상기후보고서(KMA, 2014)에 따르면, 2013년 1월에는 한파로 인해 전국 평균 최저기온이 -11.1°C로 평년보다 5.8°C 낮아 1973년 이후 가장 낮은 기록을 보였으며, 같은 해 여름철에는 열대야 일수가 남부지방에서 18.7일, 제주도에서 52.5일로 1973년 이후 가장 많은 일수를 기록했다. 뿐만 아니라 장기간 관측에 있어서도 열대야 일수가 증가하는 등 이상기후 사례

가 빈발하고 있으며(Park and Suh, 2011), 한반도 대부분 지역에서 온난화 경향은 점점 가속하고 있다고 알려졌다(Lee and Kang, 1997).

이러한 경향은 특히 1980년대 후반 이후에 두드러진다고 보고되었다(Lee *et al.*, 2011). 그러나 이와는 반대로 IPCC 5차 보고서를 비롯한 최근의 연구에서는 전 지구적인 기온상승이 최근 10~20년간 정지 혹은 약화되거나, 겨울철 기온의 경우 오히려 감소하고 있다는 연구결과도 있다(Kosaka and Xie, 2013; IPCC, 2013). 즉, 기온의 장기변동은 선형추세만으로 설명할 수 없으며, 비선형성도 고려되어야 한다. 특히 이러한 결과는 지구온난화 경향이 준 선형적으로 가속될 것이라고 예측했던 기후모델들의 결과와 상충하고 있다. 한반도 기

[†] Corresponding author : choikiseon@korea.kr

Received December 14, 2015 / Revised January 8, 2016(1st), January 22, 2016(2nd) / Accepted February 5, 2016

온변동에 대한 연구는 주로 온난화 강도와 지역별 특성에 대한 논의를 중심으로 이루어졌다(Koo *et al.*, 2007; Heo and Lee, 2011; Lee and Heo, 2011). 특히 선행 연구들은 지난 세기 한반도 기온상승이 인위적인 온실가스 배출에 큰 영향을 받았음을 확인했다. 뿐만 아니라, 계절에 따라 겨울철 기온의 증가($0.5 \sim 0.7^\circ\text{C dec}^{-1}$)가 여름철($0.2^\circ\text{C dec}^{-1}$)에 비해 강하게 나타났고(Koo *et al.*, 2007; Heo and Lee, 2011), 최저기온의 증가율($0.25^\circ\text{C decade}^{-1}$)이 최고기온의 증가율($0.23^\circ\text{C decade}^{-1}$)에 비해 오차범위 내에서 다소 크게 나타나는 경향을 보였다(Heo and Lee, 2011). 이로 인해 1980년대 후반까지 증가하던 일교차가 최근 감소 추세로 변화했다. 또한 1954년부터 2010년까지 이러한 기온변동 추세의 변화는 극한기온 지수의 변화로 이어져 열파 및 열대야가 증가된 반면, 한파나 한랭야 일수는 감소하는 것으로 보고되었다(Lee and Heo, 2011).

최근의 여러 연구에서 전지구의 평균 기온이 19세기 후반 이래로 현재까지 100년간 약 $0.3 \sim 0.6^\circ\text{C}$ 정도 상승하고 있다고 밝히고 있다(Jones, 1988; IPCC, 1995; IPCC, 2001). 이러한 지구의 평균 기온에 나타나는 가장 뚜렷한 변화는 앞서 언급한 것처럼 1980년대 이후 나타나는 지속적인 온난화 현상이다. 우리나라 역시 기온의 증가 경향이 뚜렷하게 나타나고 있으며(Lee and Kang, 1997), 이에 도시화 영향이 크게 나타나고 있다(Um *et al.* 1997). 기후변화가 점차 심화되면서 인구가 밀집한 도시지역에서는 냉방사용 등으로 인해 여름철 에너지 사용량이 많아져, 도시열섬현상이 더욱 심각한 문제가 되고 있는 실정이다(Makhlouf, 2009). Kim *et al.*(1999)은 도시화 효과와 온실효과에 의한 기온 증가량을 도시별로 추정하였다. 그 동안 우리나라에서의 기온상승에 관련된 연구에서, Ryoo *et al.*(1993)은 기온의 지역변동성을 통계학적으로 추정하여 기온이 해양의 영향, 도시의 규모, 지리적 특성 및 도시의 발달 형태에 영향을 받음을 분석하였고, Lee(1978)은 추풍령을 기준으로 하여 서울 지역의 도시화에 의한 기온 변동성을 조사한 바 있다. Kang and Rho(1985)는 1954~1983년 30년간 우리나라 14개 지점의 기온 증가율을 산출하였고, Jhun and Lee(1992)는 기온 증가 추세가 지역별로 차이가 있고, 서울이 가장 높다고 하였다. 그러나 관측된 기온 증가 경향에는 지구 온난화에 동반되는 우리나라 온난화 이외에도 각 관측점의 지역적인 상승 경향이 내포되어 있다고 본다. 또한, 온난화의 추세와 극한 기후 발생 증가가 최근 세계 각지에서 보고되고 있다(IPCC, 2001). 2003년 유럽 폭염으로 인한 사망자는 노약자를 포함하여 약 3만 5천명에 이르고, 산불에 의하여 넓은 면적의 산림이 파괴되었으며, 수중 생태계와 빙하에도 많은 영향이 나타났다. 또한 전력 중단, 운송 제약, 농업 생산성 감

소 등 경제적 피해액이 130억 유로에 달한 것으로 보고되었다(Ross and Lott, 2003).

이 연구는 제주 지역에서 일 최고기온이 25°C 이상인 날의 장기변동성을 찾고 장기변동의 원인이 되는 종관환경요소를 분석하고자 한다. 일 최고기온이 25°C 이상인 시간이 야간에 나타날 경우, 이를 열대야라 하며, 이는 인간의 건강과 직결될 수 있는 중요한 기온 기준이 될 수 있다. 그리고 제주는 우리나라의 제일 남쪽에 위치해 있으며, 기후변화의 영향(아열대화)을 제일 받기 쉬운 곳으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 1999).

2. 자료 및 분석방법

2.1 자료

이 연구는 지난 40년(1974~2013년) 동안 우리나라 제주 지역에서 관측된 기온이 25°C 이상인 날의 자료를 기상청(Korea Meteorological Administration)으로부터 제공받아 사용하였다.

또한 이 연구는 미국 국립환경예측센터-국립대기과학연구소(National Center for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research, NCEP-NCAR)에서 제공하는 다음과 같은 변수를 가진 재분석 자료를 사용하였다(Kalnay *et al.*, 1996; Kistler *et al.*, 2001). 지위고도(gpm), 수평바람(m s^{-1}), 기온($^\circ\text{C}$), 상대습도(%), 전운량(%), 현열(Wm^{-2}), 속도포텐셜($\text{m}^2\text{s}^{-1}10^{-6}$). 이 자료는 위·경도 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 및 연직 17층(상대 습도는 8층)의 공간해상도로 구성되어 있다. 이 자료들은 1948년부터 현재까지 사용 가능하다. 위의 재분석 자료들은 모두 NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center(CDC)에서 이용 가능하다.

태풍자료는 지역특별기상센터-동경 태풍센터(Regional Specialized Meteorological Center(RSMC)-Tokyo Typhoon Center)에서 제공하는 태풍의 최적경로(best-track) 자료로부터 획득되었다. 이 자료는 1974~2013년 동안 매 6시간 간격으로 관측된 태풍 이름, 위경도 위치, 중심기압, 중심 최대풍속의 정보로 구성된다. 태풍은 일반적으로 중심 최대풍속을 기준으로 다음의 네 등급으로 나뉘어진다. 열대 저압부(Tropical Depression, 중심최대풍속 $< 17 \text{ m s}^{-1}$), 열대폭풍(Tropical Storm, $17 \text{ m s}^{-1} \leq$ 중심최대풍속 $\leq 24 \text{ m s}^{-1}$), 격렬한 열대폭풍(Severe Tropical Storm, $25 \text{ m s}^{-1} \leq$ 중심최대풍속 $\leq 32 \text{ m s}^{-1}$), 태풍(Typhoon, 중심최대풍속 $\geq 33 \text{ m s}^{-1}$). 위의 네 등급에 더하여 이 연구에서는 태풍으로부터 변형된 온대저기압(extratropical cyclone)도 분석에 포함시켰다. 이는 이러한 온대저기압도 동아시아 중위도 지역에서 많은 재산과 인명피해를 입히기 때문이다. 이 연구에서 태풍은 이 다섯 등급을 모두 포함하는 것

으로 정의된다.

2.2 분석방법

이 연구에서 두 평균 사이의 유의성 비교는 독립표본 *t*-검정(independent two-sample *t*-test)을 사용하였다. 두 독립변수의 시계열이 *t*-분포를 따르고, 표본의 평균이 각각 \bar{X}_1 , \bar{X}_2 로 정의될 경우, *t*-test의 식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{X_1, X_2} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (1)$$

여기서 S_{X_1} , S_{X_2} 는 표준편차이고, n_1 , n_2 는 두 시계열에서 총 개수이다. 만약 위의 식으로부터 *t*의 절대값이 유의수준의 문턱값보다 크게 산출되면, 귀무가설(null hypothesis)은 $\alpha(\times 100)$ %의 신뢰수준에서 기각되어 낮은 신뢰수준을 보이며, 기각되지 않으면 높은 신뢰수준을 보이는 것으로 정의된다(Wilks, 1995).

또한 본 연구에서 주어진 시계열에 대해 통계적 시점변화 분석(statistical change-point analysis)을 적용하였다. 이 분석 방법을 적용하게 되면 *t*값이 산출되는데, *t*의 절대값이 가장 큰 해에 기후레짐이동이 존재한다는 것을 의미한다. 이 분석에 대한 좀 더 자세한 내용은 Elsner *et al.*(2000), Chu(2002), Ho *et al.*(2004)의 연구를 참고하기 바란다.

본 연구에서는 제주 지역에서 기온이 25°C 이상인 날의 증가세 원인을 파악하기 위해 6~9월 동안 대기환경에 대한 종관상태를 분석하였다.

3. 제주 지역에서 기온이 25°C 이상의 날의 시계열 분석

Fig. 1(a)는 제주 지역에서 기온이 25°C 이상인 날의 시계열을 나타낸다. 전체적으로 날 수가 급격하게 증가하는 경향을 보이며, 이 증가 경향은 99% 신뢰수준에서 유의하다(굵은 실선). 이 시계열에서 기후레짐이동이 있는지를 알아보기 위해 통계적 시점변화 분석을 이 시계열에 적용하였다(점선). 그 결과, 1993년에 가장 큰 *t*값이 존재하였으며, 따라서 총 40년의 분석기간은 1974~1993년의 소빈도 기간과 1994~2013년의 다빈도 기간으로 나뉘어질 수 있었다. 다음에 서술되는 날 수는 모두 기온이 25°C 이상인 날 수를 의미한다. 40년 기후학적 평균 날 수는 19.6일로서(파선), 1974~1993년 기간 동

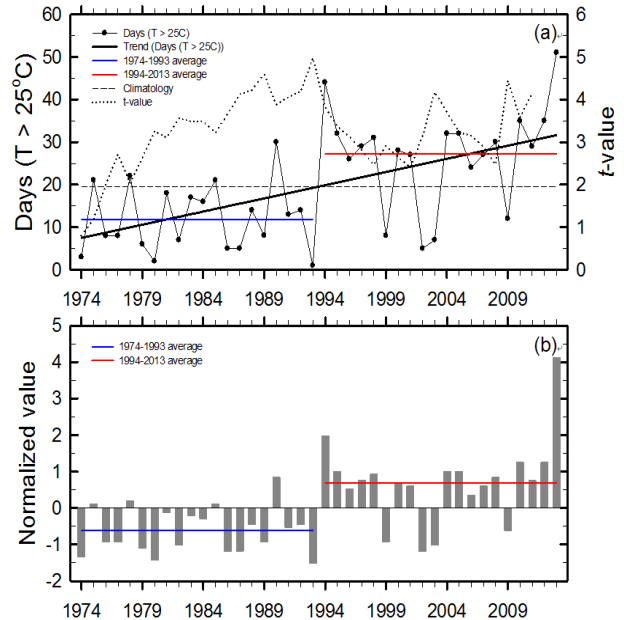


Fig. 1. Time series of (a) days that are greater than 25°C for June-August in Jeju and *t*-value through statistical change-point analysis (dotted line) and (b) normalized value of days that are greater than 25°C for June-August.

안에 기후학적 평균 날 수를 넘는 해는 단 4년(1975, 1978, 1985, 1990년)뿐이며, 1994~2013년 기간 동안에 기후학적 평균 날 수보다 적은 해는 단지 4년(1999, 2002, 2003, 2009년)밖에 되지 않는다. 따라서 1974~1993년 기간 평균 제주 지역에서 기온이 25°C 이상인 날의 수는 11.9일이며(파란선), 1994~2013년 기간 평균 날 수는 27.2일로(붉은선) 후자기간의 평균 날 수가 전자기간의 평균 날 수의 2배를 넘는다. 두 기간 사이에 제주 지역에서 기온이 25°C 이상인 날 수의 평균차는 95% 신뢰수준에서 유의하다.

이러한 제주 지역에서 기온이 25°C 이상인 날 수의 십년간 변동특성은 Fig. 1(a)의 시계열을 표준화 한 시계열에서 더욱 뚜렷하게 확인할 수 있다(Fig. 1b). 1974~1993년 동안에는 거의 모든 해에서 0 이하의 값을 나타내는 반면, 1994~2013년 기간 동안에는 몇 해를 제외하고, 0 이상의 값을 가진다. 따라서 1974~1993년 평균 표준화 된 값은 -0.62이며(파란선), 1994~2013년 평균 표준화 된 값은 0.7로(붉은선) 두 기간 사이에는 거의 1.3 이상의 큰 차이를 나타낸다. 따라서 이 연구는 최근에 제주 지역에서 기온이 25°C 이상인 날 수가 급격하게 증가한 원인을 알아보기 위해 대기환경에 대해 1994~2013년 평균과 1974~1993년 평균 사이에 차를 분석한다.

4. 1994~2013년 평균과 1974~1993년 평균 사이의 차

Fig. 2(a)는 가강수량에 대한 두 기간 사이의 차를 나타낸다. 20~30°N에는 양의 아노말리를 보이는 반면, 30~40°N에는 음의 아노말리를 나타낸다. 특히 음의 아노말리의 중심은 한반도에 위치해 있다. 이는 최근에 제주 지역을 포함한 한반도에 강수가 형성될 가능성이 낮음을 의미한다.

전운량에 대한 두 기간 사이의 차 분석결과에서는 바이칼호 남쪽을 제외하고, 음의 아노말리의 중심이 중국 남부지역

으로부터 동중국해를 지나 일본 남서쪽 방향으로 이어져 있다. 따라서 이 두 결과로부터 최근에 제주지역을 비롯한 한반도에 여름 강수 형성의 가능성이 낮아, 기온이 25°C 이상인 날의 수가 많아질 수 있음을 알 수 있다.

최근에 제주 지역을 포함한 한반도에 맑은 날의 수가 많아진 이유를 알아보기 위해 850 hPa 유선에 대해 두 기간 사이의 차를 분석하였다(Fig. 3a). 열대 및 아열대 서태평양에 거대한 고기압성 아노말리가 강화되어 있고, 일본 남서지역에 강한 고기압 아노말리의 중심이 형성되어 있다. 따라서 이 고기압 아노말리의 영향으로 인해 제주를 포함한 한반도는 최근에 맑은 날이 더 많을 수 있음을 알 수 있다. 더욱이 한반도는 일본 남서쪽에 중심을 둔 고기압 아노말리의 서쪽 연변을 따라 덥고 습한 남서류의 영향을 받고 있다. 따라서 최근에 기온이 25°C 이상인 날의 수가 많아질 수 있음을 알 수 있다.

500 hPa과 200 hPa 유선에 대한 두 기간 사이에 차의 분석 결과에서도 한반도 부근에 강한 고기압의 아노말리가 위치해 있음을 볼 수 있다(Fig. 3b and 3c). 일반적으로 고기압의 영향을 받는 지역에서는 맑은 날씨를 보이게 된다. 따라서 최근에 제주를 포함한 한반도는 맑은 날이 더 많아, 기온이 25°C 이상인 날의 수가 많아질 수 있다.

최근에 열대 및 아열대 서태평양에 거대한 고기압성 순환의 강화와 함께 한반도 부근에 고기압 아노말리가 형성된 것은 북태평양 고기압이 과거보다 더 강화되어 있음을 의미할 수도 있다. 따라서 두 기간에 대해 북태평양 고기압의 서쪽으로 확장 정도를 살펴보았다(Fig. 4). 최근에 북태평양 고기압이 과거보다 서쪽으로 강화되어 있을 뿐만 아니라, 남북방향으로도 더 확장되어 있다. 따라서 제주를 포함한 한반도는 맑은 날이 더 많아 질 수 있다. 또한 앞서 설명하였듯이, 고기압의 서쪽 연변을 따라 온난 다습한 남서류가 한반도로 공급됨에 따라 최근에 기온이 25°C 이상인 날의 수가 많아질 수 있음을 알 수 있다.

실제로 최근에 제주 지역을 포함한 한반도 부근에서 기온이 더 올라갔는지를 알아보기 위해 850 hPa 기온에 대해 두 기간 사이의 차를 분석하였다(Fig. 5a). 그 결과, 일부 지역을 제외하고 분석영역 대부분의 지역에서 온난 아노말리가 나타났다. 특히, 온난 아노말리의 중심은 중국 중부지역으로부터 한반도를 지나 동해까지 이어져 있다. 따라서 최근에 제주 지역을 포함한 한반도에서 기온이 25°C 이상인 날의 수가 많아질 수 있음을 알 수 있다.

500 hPa 기온에 대한 두 기간 사이에 차의 분석결과에서도 온난 아노말리의 중심이 한반도 부근에 위치해 있으며(Fig. 5b), 200 hPa에서도 한반도는 온난 아노말리의 지역에 속해

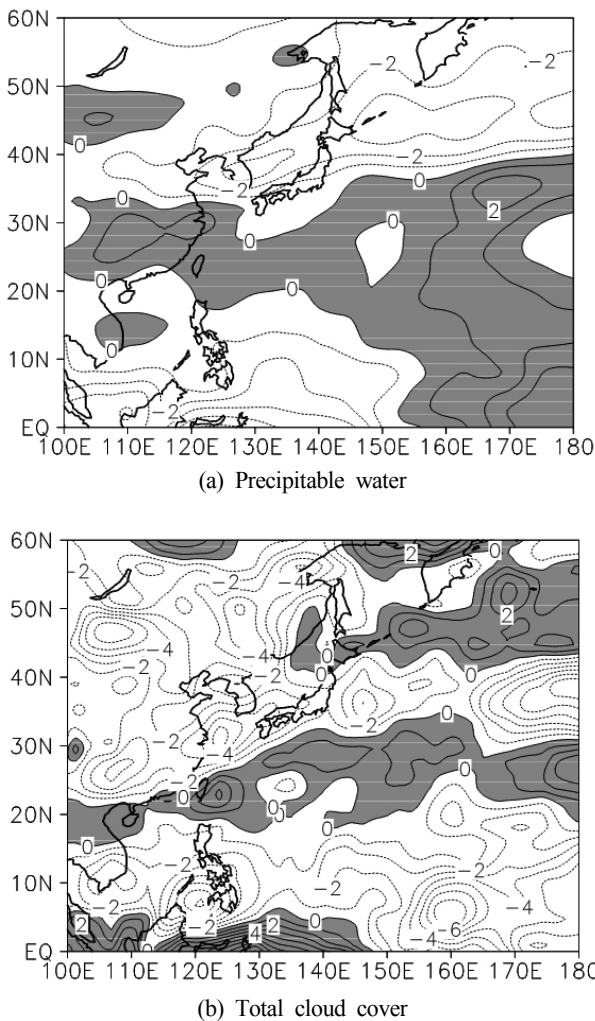
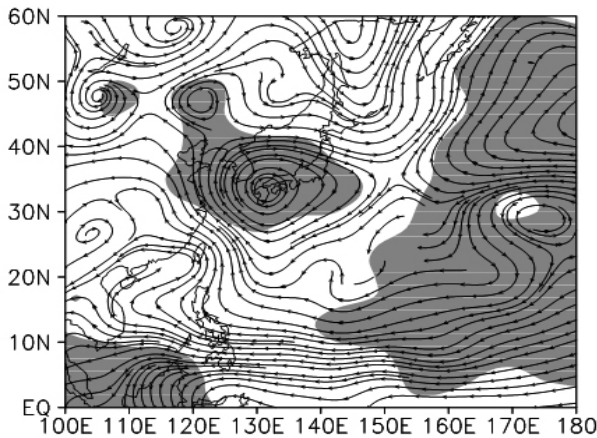
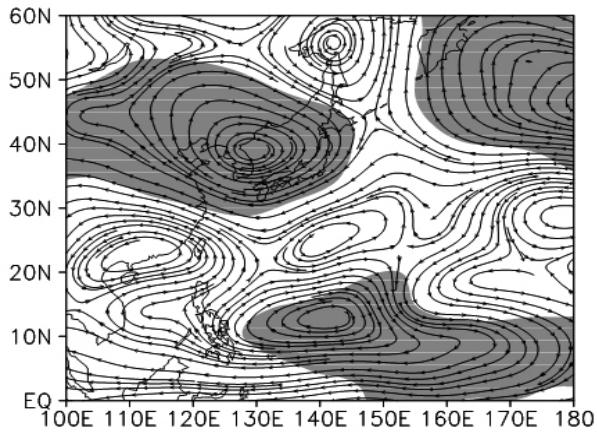


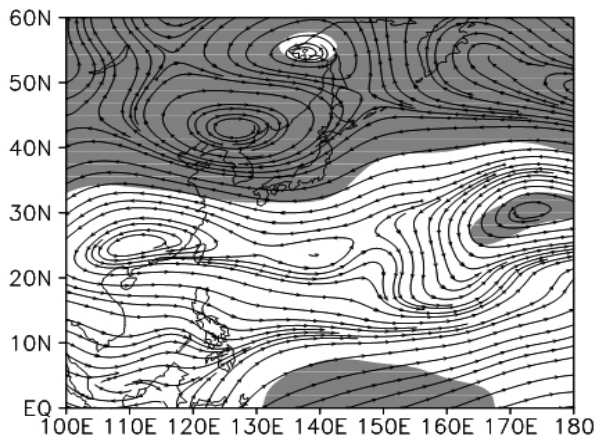
Fig. 2. Differences in (a) precipitable water and (b) total cloud cover between 1994~2013 and 1974~1993. Contour intervals are 2 kg m⁻² for precipitable water and 1% for total cloud cover. Shaded are as indicate positive values.



(a) 850 hPa



(b) 500 hPa



(c) 200 hPa

Fig. 3. Same as in Fig. 2, but for (a) 850 hPa, (b) 500 hPa, and (c) 200 hPa stream flows. Shaded areas are significant at the 95% confidence level.

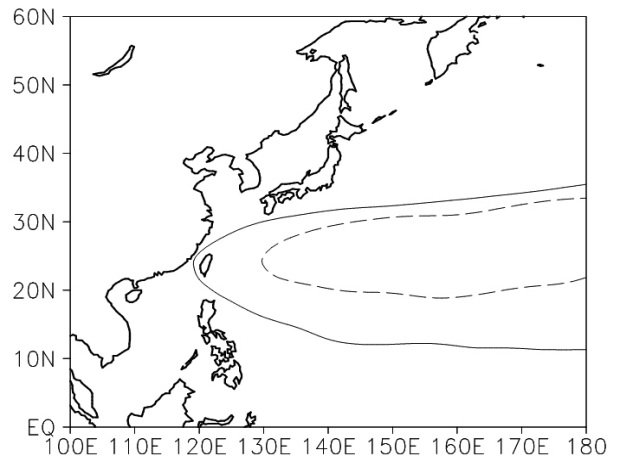


Fig. 4. Distribution of western North Pacific subtropical high (WNPSH) in 1994~2013 (solid line) and 1974~1993 (dashed line). Here, the WNPSH is defined as areas that 500 hPa geopotential height is greater than 5,875 gpm.

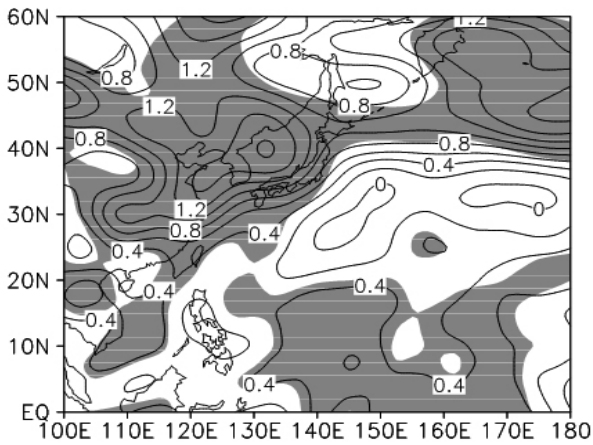
있다(Fig. 5c). 따라서 제주 지역을 포함한 한반도는 대류권 하층으로부터 상층까지 온난 아노말리가 형성되어 있음을 알 수 있다.

실제로 최근에 제주 지역을 포함한 한반도에 북태평양 고기압의 발달로 인해 습한 공기가 유입되었는지를 알아보기 위해 상대습도에 대해 두 기간 사이의 차를 분석하였다(Fig. 6). 한반도는 대류권 하층에서부터 상층까지 양의 아노말리가 나타났다. 특히, 양의 아노말리는 대류권 중상층에서 더 큰 값을 나타냈다.

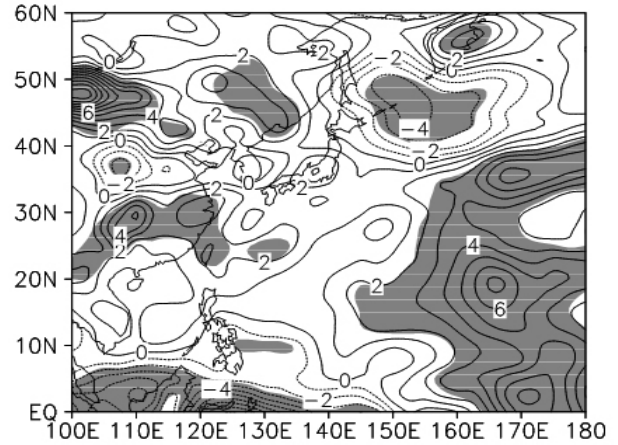
태양복사에 의해 지표면의 가열 정도를 알아보기 위해 현열에 대해 두 기간 사이에 차를 분석하였다(Fig. 7a). 동아시아 내륙지역은 음의 아노말리를 보이는 반면, 동아시아 해안지역을 따라서 양의 아노말리가 나타났다. 따라서 최근에 제주 지역을 포함한 한반도에서는 25°C 이상인 날의 수가 많아질 수 있음을 알 수 있다.

실제로 사람이 느낄 수 있는 높이인 2 m에서의 일 최대 기온을 알아보기 위해 대해 두 기간 사이에 차를 분석한 결과, 일부 지역을 제외한 분석영역 대부분의 지역에서 양의 아노말리가 나타났다(Fig. 7b). 한반도도 비교적 높은 양의 아노말리의 지역에 포함되어 있음을 확인할 수 있다.

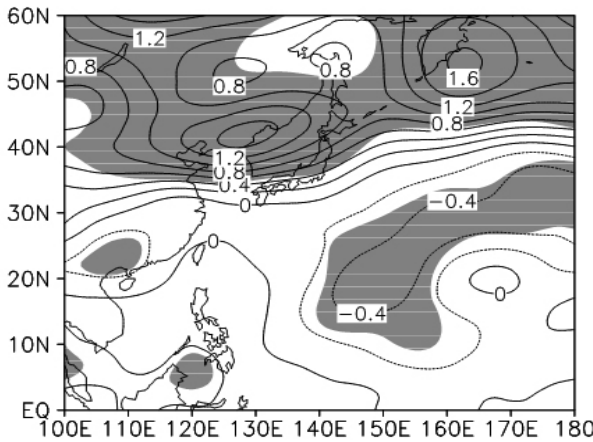
기온은 태풍에 동반되는 비와 바람에 일시적으로 하강할 수 있다. 이에 두 기간 사이에 태풍의 이동빈도에 대한 차를 분석하였다(Fig. 8). 1994~2013년 기간 동안에 태풍은 주로 필리핀으로부터 중국 동부지역을 지나 만주지역으로 이동하



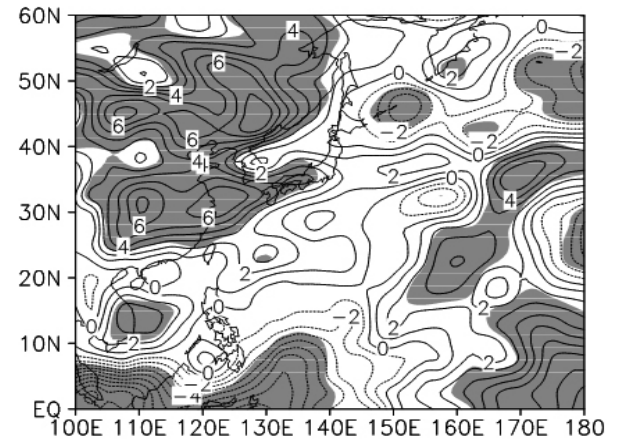
(a) 850 hPa



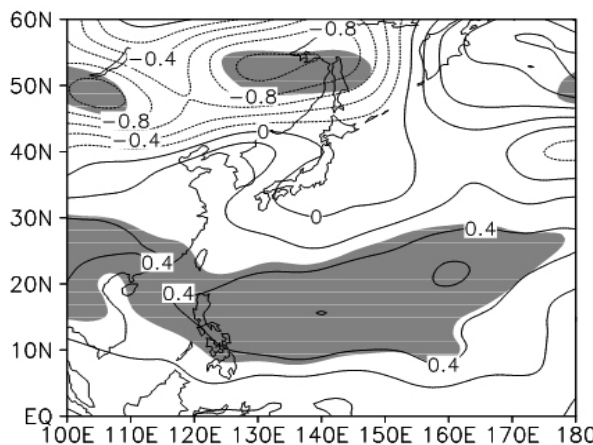
(a) 850 hPa



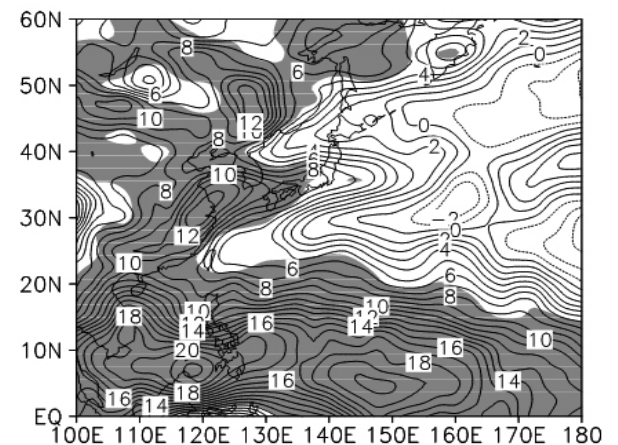
(b) 500 hPa



(b) 500 hPa



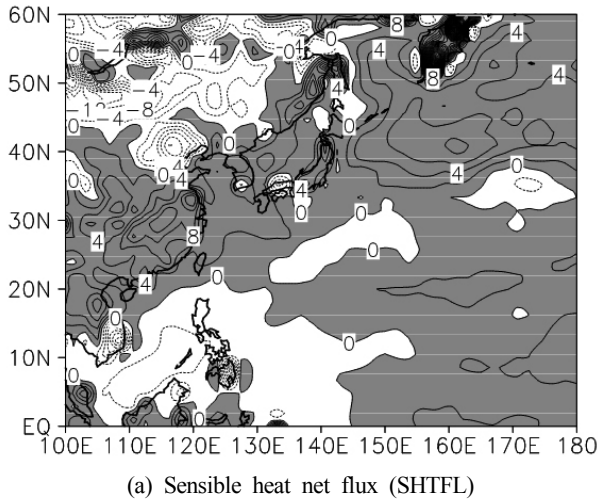
(c) 200 hPa



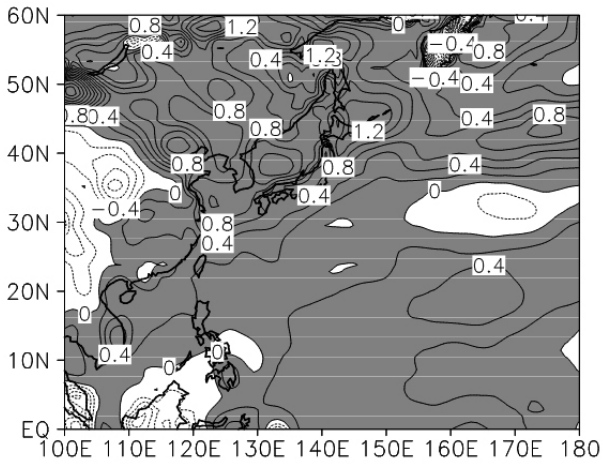
(c) 300 hPa

Fig. 5. Same as in Fig. 3, but for air temperature. Contour interval is 0.2°C. Shaded areas are significant at the 95% confidence level.

Fig. 6. Same as in Fig. 3, but for relative humidity. Contour interval is 1%. Shaded areas are significant at the 95% confidence level.



(a) Sensible heat net flux (SHTFL)



(b) 2 m maximum air temperature

Fig. 7. Same as in Fig. 2, but for (a) sensible heat net flux (SHTFL) and (b) 2 m maximum air temperature. Contour intervals are 2 Wm^{-2} for SHTFL and 0.2°C for 2m maximum air temperature. Shaded areas are positive values.

였다. 반면, 1974~1993년 기간 동안에는 필리핀 먼 동쪽해상으로부터 한반도를 향해 북진하는 경향이 있다. 그 결과, 최근에 한반도는 태풍의 영향 빈도가 감소하였다. 이 결과로부터 최근에 한반도에서의 감소한 태풍 영향 빈도로 인해 기온이 25°C 이상인 날의 수가 많아질 수 있음을 알 수 있었다.

두 기간 사이의 대규모 대기대순환의 특징을 알아보기 위하여 850 hPa과 200 hPa 발산 바람에 대해 차를 분석하였다 (Fig. 9a and 9b). 먼저 850 hPa에서 150°E의 서쪽지역에서 발산한 공기가 적도 중앙태평양에서 수렴함을 볼 수 있다(Fig. 9a). 200 hPa에서는 적도 중앙태평양에서 발산한 공기가 150°E

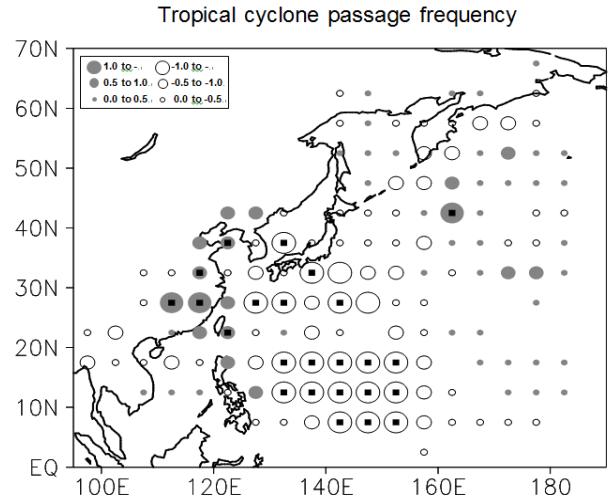


Fig. 8. Differences in the mean TC passage frequencies between 1994~2013 and 1974~1993 for June-August within each $5^\circ \times 5^\circ$ latitude-longitude grid box. Small solid rectangles indicate that the differences are significant at the 95% confidence level.

의 서쪽지역에서 수렴한다. 이 결과는 적도 중앙태평양에서 수렴하여 상승한 기류가 150°E의 서쪽지역에서 수렴하여 하강함을 의미한다. 특히 150°E의 서쪽지역에서 하강기류가 발달함은 앞서 분석되었듯이, 최근에 북태평양 고기압이 발달하였음을 의미한다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서 제주 지역에서 기온이 25°C 이상인 날 수의 시계열을 분석한 결과, 최근까지 강하게 증가하는 경향을 보였다. 이 시계열에서 기후레짐이동이 존재하는지를 알아보기 위해 통계적 시점변화 분석을 실시하였다. 그 결과, 가장 큰 변화는 1993년에 나타났으며, 1993년 이후로 제주 지역에서 기온이 25°C 이상인 날 수가 급격하게 증가하였다. 이 원인을 해석하기 위하여 6~9월 동안 1994~2013년 평균과 1974~1993년 평균 사이의 대기환경의 차를 분석하였다.

제주 지역을 포함한 한반도는 최근에 가장수량과 전운량이 감소하였으며, 이는 대류권 상·중·하층에서 한반도 부근지역에 강한 고기압 아노말리가 강화되었기 때문이었다. 따라서 제주 지역을 포함한 한반도는 최근에 맑은 날 수가 많을 가능성이 있음을 보였다. 한반도 부근지역에 고기압 아노말리의 강화는 최근에 북태평양 고기압이 한반도 쪽으로 강화됨과 연관되었으며, 북태평양 고기압의 서쪽 연변을 따라 온난 다습한

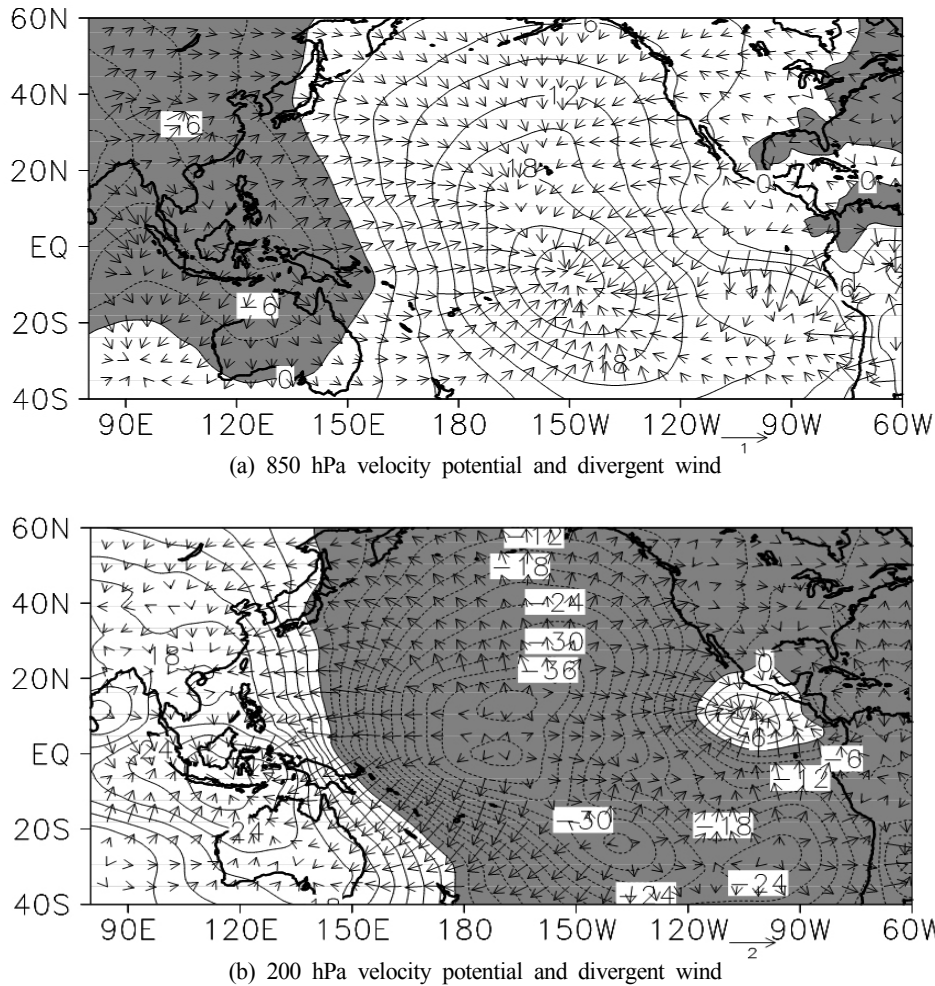


Fig. 9. Same as in Fig. 2, but for (a) 850 hPa velocity potential and divergent wind) and (b) 200 hPa velocity potential and divergent wind. Shaded areas denote negative anomalies. Contour interval is $3 \text{ m}^2\text{s}^{-1}10^{-6}$.

공기가 한반도에 유입될 수 있었다. 이는 기온 및 상대습도 분석을 통해 대류권 전 층에서 한반도 부근지역에는 덥고 습한 공기가 최근에 강화되고 있음으로부터 확인되었다. 이러한 원인으로 인해 제주 지역에서 최근에 기온이 25°C 이상인 날 수가 급격하게 증가할 수 있었다.

사 사

본 연구는 국립기상과학원 주요 사업 “예보기술지원활용연구”의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Chu PS. 2002. Large-scale circulation features associated

with decadal variations of tropical cyclone activity over the central North Pacific. *J Climate* 15:2678-2689.

Elsner JB, Jagger T, Niu XF. 2000. Changes in the rates of North Atlantic major hurricane activity during the 20th century. *Geophys Res Lett* 27:1743-1746.

Heo I, Lee S. 2011. The change of diurnal temperature range in South Korea. *Korean Geogr Soc* 17:167-180.

Ho CH, Baik JJ, Kim JH, Gong DY. 2004. Interdecadal changes in summertime typhoon tracks. *J Climate* 17: 1767-1776.

IPCC. 1995. *Climate change 1995, The science of climate change*. Eds. I. T. Houghton, Cambridge Univ. press, 531pp.

IPCC. 2001. *기후변화 2001. 기상청*, 991pp.

- IPCC. 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jhun JG, Lee GH. 1992. Study on the variations of air temperature and precipitation in South Korea. Proc Coll Natur Sci, SNU, 17(1-2):45-65.
- Jones PD. 1988. Hemisphere surface air temperature variations. Recent trends and an update to 1987. J Climate 1: 654-660.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Grandin L, Iredell M, Saha S, White G, Woollen J, Zhu Y, Leetmaa A, Reynolds R, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak J, Mo KC, Ropelewsk C, Wang J, Jenne R, Joseph D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull Amer Meteor Soc 77:437-471.
- Kang YQ, Rho CS. 1985. Annual and interannual fluctuations of air temperature in Korea during the past 30 years (1954-1983). J Korean Meteor Soc 21:1-10.
- Kim MK, Kang IS, Kwak CH. 1999. The estimation of urban warming amounts due to urbanization in Korea for the recent 40 years. J Korean Meteor Soc 35:118-126.
- Kistler R, Collins W, Saha S, White G, Woollen J, Kalnay E, Chelliah M, Ebisuzaki W, Kanamitsu M, Kausky V, Dool H, Jenne R, Fiorina M. 2001. The NCEP - NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. Bull Amer Meteor Soc 82:247-267.
- Koo GS, Boo KO, Kwon WT. 2007. The estimation of urbanization effect in global warming over Korea using daily maximum and minimum temperature. Atmosphere 17: 185-193.
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2014. 2013 Abnormal Climate Report, KMA, 163 pp.
- Kosaka Y, Xie SP. 2013. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. Nature 501:403-407.
- Lee CB. 1978. On the secular variation of air temperature in Seoul. 14:29-35.
- Lee K, Sung JH, Kim YO, Lee S. 2011. Change-point analysis of mean temperature and extreme temperature in the Republic of Korea. J Korean Geogr Soc 46:583-596.
- Lee MI, Kang IS. 1997. Temperature variability and warming trend in Korea associated with global warming. 33:429-443.
- Lee S, Heo I. 2011. The impact of urbanization on change of extreme event of air temperature in South Korea. J Korean Geogr Soc 46:257-276.
- Makhelouf A. 2009. The effect of green spaces on urban climate and pollution. Iran J Environ Health Sci Eng 6: 35-40.
- Park WS, Suh MS. 2011. Characteristics and trends of tropical night occurrence in the South Korea for recent 50 years (1958~2007). Atmosphere 21:361-371.
- Ross T, Lott N. 2003. A climatology of 1980~2003 extreme weather and climate events. National Climatic Data Center Technical Report 2003-01. 14 pp.
- Ryoo SB, Moon SE, Cho BG. 1993. Air temperature change due to urbanization in South Korea. 29:99-116.
- Um HH, Ha KJ, Moon SE. 1997. The urban effect on the change of relative humidity in Seoul. 33:127-135.
- Wilks DS. 1995. Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press, 467.