

제주도 지역 체감온도의 시·공간적 분포 특징과 장기간 변화 경향*

최광용**

Spatio-temporal Patterns and Long-term Trends of Apparent Temperature in Jeju Island, Korea*

Gwangyong Choi**

요약 : 본 연구에서는 기상청 산하 기후관측소의 장기간 기후 자료에서 제주도 지역별 일별 체감온도(열지수, 바람냉각지수, 보통체감온도 지수) 자료를 구축하여 사계절 체감온도의 시공간적 패턴의 특징과 동아시아 몬순 시스템과의 관련성 및 장기간 변화 추세 특징을 밝히고자 하였다. 장기간(1988~2017년) 평균 연중 시계열 자료에 의하면 여름철 이외의 계절에는 제주도의 풍부한 바람의 영향에 의한 바람냉각 효과로 체감온도가 기온보다 더 낮아지는데, 특히 한겨울에는 체감온도가 기온보다 장기간 평균적으로 2.3~5.8°C 이상 낮아짐을 알 수 있다. 제주도 겨울철 체감온도는 시베리아 고기압의 강도 지수와 유의미한 음(-)의 상관성을 보였다. 반면 여름철 체감온도를 나타내는 열지수는 여름몬순에 의한 수증기 유입으로 한여름철에 공기온도보다 평균적으로 3.6~4.6°C 정도 더 높아짐을 알 수 있다. 장기간 시계열 자료는 사계절 모두 제주도 체감온도 상승이 기온의 상승 경향보다 더 빠르게 진행되고 있음을 보여준다. 이러한 결과들은 특히 21세기 온난화에 의해 발생 가능한 재난 수준의 열파로부터 많은 제주 관광객들을 보호하기 위하여 여름철 체감온도에 대한 지속적인 모니터링을 해야 할 필요성이 있음을 가리킨다.

주요어 : 체감온도, 열지수, 바람냉각, 기후변화, 제주도

Abstract : In the present study, spatio-temporal patterns of seasonal apparent temperatures in Jeju Island, Korea and their associations with East Asian monsoon systems as well as their long-term changes were examined. To do this, daily apparent data sets consisting of heat index, windchill index and universal apparent temperature were reconstructed from long-term climate data sets archived by the Korea Meteorological Administration. According to the long-term (1988~2017) average annual time-series data, the apparent temperature is lower than air the temperature due to the wind chill effect by the affluent wind of Jeju Island in the seasons other than the summer. In mid-wintertime, the climatological average of apparent temperature is lower than the temperature by 2.3~5.8°C. The apparent temperature in winter in Jeju Island shows a significant negative correlation with the intensity of Siberia high pressure index. On the other hand, the climatological average of the apparent temperature in mid-summer becomes higher up to 3.6~4.6°C than air temperature due to the inflow of moisture by summer monsoon. Long-term time series data show that the apparent temperature increase in Jeju Island has progressed faster than the air temperature rise trend. Overall, these results indicate that there is a need to constantly monitor the summer apparent temperature in order to protect a large number of Jeju tourists from the heat waves of disaster level that can occur in the warmer 21st century.

Key Words : Apparent temperature, Heat index, Wind chill, Climate change, Jeju Island

*본 연구는 기상청 기후변화감시예측 및 국가정책지원강화 사업(KMIPA 2015-2050)의 지원으로 수행되었음.

**제주대학교 지리교육전공 부교수(Associate Professor, Major of Geography Education, Jeju National University, tribute@hanmail.net) 겸 컬럼비아대학교 라몬 도허티 지구 관측소 방문 교수(Visiting Professor, Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University, USA)

I. 서론

제주도는 한반도 남쪽에 위치하여 있고, 사면이 바다로 둘러싸여 우리나라에서 아열대 해양성 기후특성이 나타나는 대표적인 도서 지역에 속한다. 제주도는 여름철에 한반도 내륙지역에 비해 습하기 때문에 불쾌한 경우도 많으며, 겨울철을 포함한 늦가을에서 봄철까지는 강한 바람이 자주 불어 바람냉각 현상에 의해 더 춥게 느껴지는 지역이다. 또한, 섬의 중심에는 해발고도 약 1,950m의 한라산이 자리 잡아 정상으로 갈수록 온대 기후대 및 아고산대 기후대 등의 기후특성이 나타난다. 제주도는 계절별에 따라 한라산 사면별로 이동하는 기류의 양이 상이하여 섬의 크기에 비하여 지역별 기온감률, 극한강수발생 빈도 등 기후특성이 매우 달라(최광용, 2011; 2013), 체감하는 온도도 계절마다 지역마다 상당히 차이가 날 것으로 추정된다. 가령, 여름철 한라산 기준 남부지역에서는 흐리고 비가 내리지만 반대 사면 북부 지역에서는 편현상이 자주 발생하는데(최광용, 2016) 이때 북부지역의 체감온도는 더 높게 나타날 수 있다. 겨울철 해안지역은 대체로 영상의 기온을 유지하지만 한라산 중산간 및 산간 지역에서는 저온에 강풍이 자주 불기도 한다(제주지방기상청, 2017). 겨울철에 기온이 체온(약 36.7°C)보다 낮은 상태에서 강한 바람이 불게 되면 인체 표면에 형성된 열층을 파괴하여 대기 중 현열과 잠열 손실 과정을 강화시키기 때문에 체감온도는 기온보다 훨씬 더 낮아지게 된다(Tromp, 1980).

최근 제주도에서는 관광업의 활성화로 인하여 인체의 체감온도를 포함한 관광기후에 관한 정보가 더욱 중요하게 되었다(제주지방기상청, 2015). 전국적인 인구감소 추세와는 달리 제주도의 전입 인구는 매달 1,000명 정도로 인구가 증가하여 2017년 말 기준 전체 인구는 678,722명에 달하고 있고, 최근 제주도를 찾는 관광객의 수도 2000년 대비 약 6배 정도 급증하여 2017년 말 기준 약 14,753,000명 정도에 이르게 되었다(제주특별자치도 홈페이지). 이와 같이 제주도는 유네스코가 인증한 생물보전지역(2002년), 세계자연유산(2007년), 세계지오파크(2010년) 등을 기반으로 하여 많은 국내외 관광객이 방문하는 우리나라 대표적인 관광지역임에도 불구하고 사계절 체감온도에 관한 정보가 제공되지 않아 관광업에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 가령, 제주도는 해안지역을 중심으로 연중 야간 기온이 높아 잠을 이루지 못하는 열대야

현상의 발생빈도가 높은 지역 곳으로(최광용·권원태, 2005; 김진아 등, 2015) 늦여름에는 방문하기에는 다소 적합하지 않음에도 많은 제주도 방문 관광객이 하계 휴가철에 집중하는 경향이 있다. 반면 겨울철 제주도 기온은 0°C이하로 잘 떨어지지 않지만 바람이 강하게 불어 잠열과 현열의 손실이 커져서 체감온도는 기온보다 훨씬 더 낮아질 수 있는 지역이기 때문에 한라산 등반 시에는 방한복을 준비하는 것도 필요하다. 그러나 지금까지 대부분의 제주도 기후에 관한 연구는 주로 기온, 강수 등의 기후 요소 자체에만 한정되어 왔고 체감온도에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 더욱이 최근 전 지구 온난화에 의해 기후 요소들의 변화 방향과 규모가 상이해짐에 따라 우리나라 대표적인 관광지의 관광기후와 관련된 체감온도가 어떻게 변화해 나가고 있는지에 관한 정보가 절실하게 요구되고 있으나 이에 관한 연구는 전무한 실정이다.

지금까지 우리나라의 체감온도에 관한 연구는 주로 한반도 전체 지역 규모로 이루어져 왔다. 이들 연구는 한반도 전체 지역의 장기간 자료를 바탕으로 연중(강철성, 1997; 1998; 허인혜 등, 2004; 박종길 등, 2007) 또는 여름철(최광용 등, 2002; 강철성, 2005; Choi, 2006)과 겨울철(전경은, 1971; 1974; 강철성, 1998; 최광용·강철성, 2002)의 체감온도 지수의 분포에 대한 정보를 제공하고 있다. 최근 일부 연구들에서는 서울(예: 최광용, 2010), 대구(예: 김지혜·김해동, 2017) 등 대도시를 중심으로 여름철 폭염과 사망자 발생 현상에 대해 연구한 바 있지만 지역규모 관광지를 대상으로 한 체감온도에 관한 정보는 부족한 편이다. 특히 상세 지역별로는 장기간 누적된 기후 자료가 가용하지 않아 해양, 지형 등의 기후 인자에 의해 소규모 지역의 체감온도가 어떻게 달라지는지에 대해서는 거의 알려진 바가 없다. 또한 동아시아 문순 시스템과 우리나라 체감온도가 관련성이 크기 때문에 예측 지수를 개발하는데 도움이 될 것으로 판단되나 이에 관한 기초 연구 결과도 전무한 실정이다.

본 연구에서는 기상청 산하 한라산 주변 지역의 기후 관측 자료를 바탕으로 일별 체감온도의 자료를 구축하여 제주도 지역의 연평균 또는 계절별 체감온도의 지역별 분포와 최근 변화 양상을 기온, 습도, 풍속 등의 기후 요소의 변화와 비교하여 그 특징을 밝히고자 한다. 또한, 제주 지역의 여름철과 겨울철 체감온도와 동아시아 문순 시스템이 어떤 관련성이 있는지 상관성을 밝히고자 한다.

II. 연구 자료 및 연구 방법

본 연구에서는 한라산을 포함한 제주도의 지역별 체감온도 분포를 파악하기 위해 제주지방기상청 산하 30년 이상 동안에 운영된 4개의 종관기상관측소(Automatic Synoptic Observational System: ASOS) 및 10년 이상 운영된 약 20여 개의 자동기상관측소(Automatic Weather Station: AWS)의 일별 기후 자료를 분석하였다(그림 1). 4개의 ASOS 관측소(성산, 고산, 서귀포, 제주)는 동서남북 해안 지역에 각각 위치해 있고, 일별 기후 자료가 누적된 기간은 제주(1920년), 서귀포(1961년), 성산(1973년), 고산(1988년) 등 4개 관측소별로 상이하다. 본 연구에서는 4개의 ASOS 관측소 간 비교를 하기 위해 기후값을 산정하는데 최근 30년(1988~2017) 평균을 기준으로 하였다. 제주도 중심에 자리 잡은 한라산 지역의 체감온도 분포 특성을 파악하기 위해서는 ASOS 관측소보다 상대적으로 관측기간은 짧지만 한라산 지역에 위치한 약 20여개의 AWS 관측소의 최근 10년(2008~2017) 자료를 부가적으로 분석하였다.

우리나라가 위치한 동아시아 지역은 여름철과 겨울철

몬순 기후 체계 영향으로 사계절마다 기온뿐만 아니라 강수, 습도, 바람 등 기후 요소가 뚜렷하게 달라진다. 인체가 체감하는 온도는 여름철에는 습도의 영향에 의해 기온보다 높아지고, 겨울철에는 바람의 영향에 의해 기온보다 낮아지므로 이러한 기온 이외의 기후 요소의 영향을 고려한 체감온도 지수를 사용하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 제주도 개별 기상 관측소의 일별 자료를 활용하여 연중 연속된 일별 체감온도 자료를 구축하기 위하여 고온 체감온도, 저온 체감온도 그리고 일반적인 체감온도 산출에 적합한 공식을 사용하였다. 고온 체감온도 지수로는 Steadman(1979)이 개발한 지수에서 기온(T : $^{\circ}\text{C}$)과 습도(RH : $\%$)를 사용하여 고온 부분을 상세화한 열지수(Heat Index; HI)를 활용하였고(Rothfus, 1990: 식 (1)), 저온 체감온도 지수로는 2001년 캐나다와 미국의 Joint Action Group for Temperature Indices (JAG/TI)에서 기온(T : $^{\circ}\text{C}$)과 풍속(V : km/h)을 사용하여 개발한 바람냉각지수(Wind Chill Index: WCI)를 사용하였다(Tikuiss and Oszczewski, 2003; Oszczewski and Bluestein, 2005: 식 (2)). 그리고 고온과 저온 구간 이외의 일반적인 체감온도 지수는 Steadman(1984)이 기온

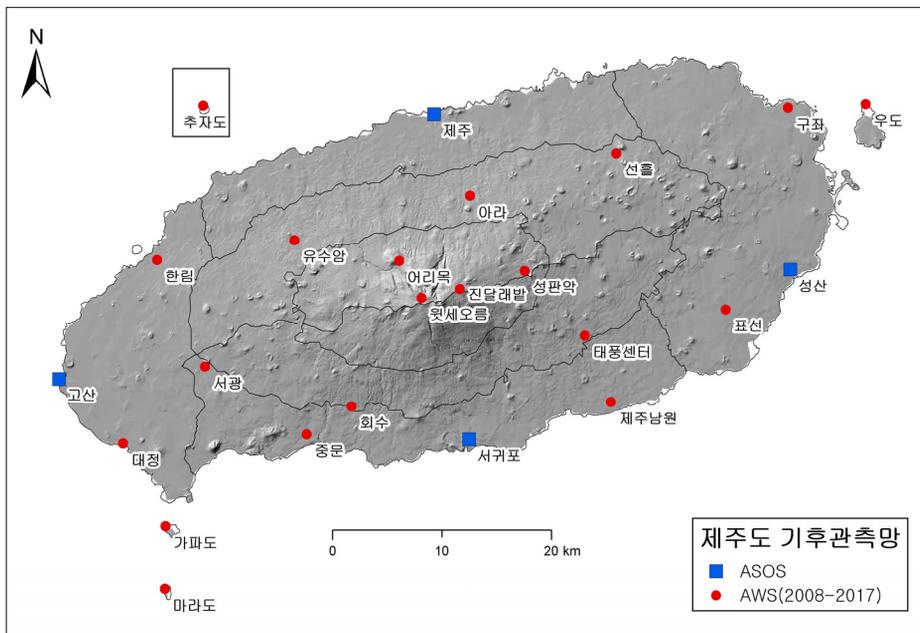


그림 1. 본 연구에 사용된 기상청 산하 제주 지역의 기후자료 관측소

* ASOS(종관기상관측소); AWS(자동기상관측소).

(T: °C), 수증기압(P: kPa), 풍속(v: m/s)을 결합하여 개발한 보통체감온도(Universal Apparent Temperature: UAT)을 활용하였다(식 (3)). 이 3가지 지수를 결합하여 사용하는 방법은 최근의 연구들(예: Li *et al.*, 2018)에서 사용되기 시작하였다.

$$HI = -8.7847 + 1.6114 \times T - 0.012308 \times T^2 + RH \times (2.3385 - 0.14612 \times T + 2.2117 \times 10^{-3} \times T^2) + RH^2 \times (-0.016425 + 7.2546 \times 10^{-4} \times T - 3.582 \times 10^{-6} \times T^2) \quad (1)$$

$$WCI = 13.12 + 0.6215 \times T - 11.37 \times v^{0.16} + 0.3965 \times T \times v^{0.16} \quad (2)$$

$$UAT = -2.7 + 1.04 \times T + 2 \times P - 0.65 \times v \quad (3)$$

열지수(HI)는 기온뿐만 아니라 여름철 습도도 고려하여 땀의 증발에 의한 잠열 열 교환 과정도 고려하고, 바람냉각지수(WCI)는 바람에 의한 잠열 및 현열의 손실 메커니즘도 고려하여 체감온도를 산출한다. 열지수는 고온의 체감온도 경우에만 유효하므로 일평균기온과 상대습도 자료를 바탕으로 기온이 25°C 이상이며, 열지수가 26.67°C 이상인 경우에만 산출하였다(Rothfus, 1990). 또한, 열지수는 습도가 15% 미만이거나 85% 이상인 경우에는 NOAA의 권고사항에 따라 보정하였다(WPC). 바람냉각지수는 풍속이 4.8km/hour이고 냉각지수가 10°C 이하인 경우에만 산출하였다(NWS). 보통체감온도 지수 산출 시 바람은 10m 높이의 값의 2/3의 값을 사용하여 실제 인체 높이로 보정하였다. 이 세 가지 체감온도 지수는 모두 인체가 그늘에 있는 것을 가정으로 한 것이며, 단위는 °C로 기온과 동일하다.

이와 같이 구축한 일별 체감온도 자료를 바탕으로 3개월 단위 기상학적 계절별(예: 봄철 3~5월) 체감온도의 평균값을 산출하여 장기간 시계열에 나타난 경년변동성과 변화 추세를 분석하였다. 장기간 변화 분석 시에는 시계열에 나타난 일차 추세선의 기울기 값(°C/10년)을 사용하였다. 일차 추세선의 통계적 유의성은 student's t-test를 수행하여 그 유의수준이 95% 이상일 때(p-value가 0.05이하)를 통계적으로 유의미한 변화가 있었던 것으로 간주하였다. 또한 최근 기후 평균적인 연중 체감온도에 영향을 미치는 습도, 바람 등 주요 기후요소와의

관련성을 살펴보기 위해 30년(1988~2017년) 평균 일별 체감온도와 기온의 그래프를 비교하였다. 또한 30년 이상의 장기간 자료가 가용한 관측지점의 경우에는 과거 30년(예: 1931~1960년) 평균 자료와 연중 분포 패턴을 비교하였다.

부가적으로 한라산 주변의 해발고도에 따른 기후학적 분포 패턴을 살펴보기 위하여 20여 개의 AWS 관측소의 최근 10년(2008~2017년)간 일별 기온, 및 풍속 자료에서 바람냉각지수를 산출하여 제주도 지역 전반에 걸친 겨울철 체감온도 분포도를 작성하였다. 반면 여름철 체감온도와 관련하여 일부 제한된 AWS 관측소에서 2009년 이후에 열지수 산출에 필요한 상대습도 자료를 관측해 오고 있으나 내부 분석용으로만 사용하고 연구자들에게는 제공되지 않고 있다. 또한 겨울철 이외의 체감온도 산출에 필요한 수증기압은 이들 관측소에서는 전혀 관측하지 않고 있어 여름철 체감온도 분포는 파악하기 어려운 실정이어서 본 연구에서는 겨울철 체감온도의 극한현상의 경우에만 분포도를 작성하였다.

동아시아 몬순 강도와와의 관련성을 살펴보기 위해 약 70년 동안(1948~2017년) 동안의 장기간 자료가 가용한 북부해안 제주(184) 관측지점의 겨울철 체감온도 평균과 NCEP NCAR reanalysis I 자료(Kanlay *et al.*, 1996)에서 추출한 시베리아 고기압 활동 지역(80~120°E, 40~60°N) 또는 북서태평양 고기압 활동 지역(100~140°E, 15~3°N)의 겨울철(12~2월)과 여름철(6~8월)의 평균적인 해수면기압(Sea Level Pressure: SLP)의 지역 평균값(각각, 시베리아 고기압 강도 지수, 북서태평양 고기압 지수)과 비교해 보았다. 이를 위해 두 요소 간의 산포도를 작성하고 회귀식을 산출하였으며, 시계열에 나타난 추세선과 변동성을 비교 분석하였다. 이때 앞에서와 마찬가지로 모든 통계적 유의성은 student's t-test의 95% 유의수준을 기준으로 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 제주도 지역별 연중 체감온도의 기후학적 분포 특징

제주도에서 30년(1988~2017년) 이상 관측자료가 존재하는 4개의 ASOS 관측지점의 날짜별 평균 연중 체감온

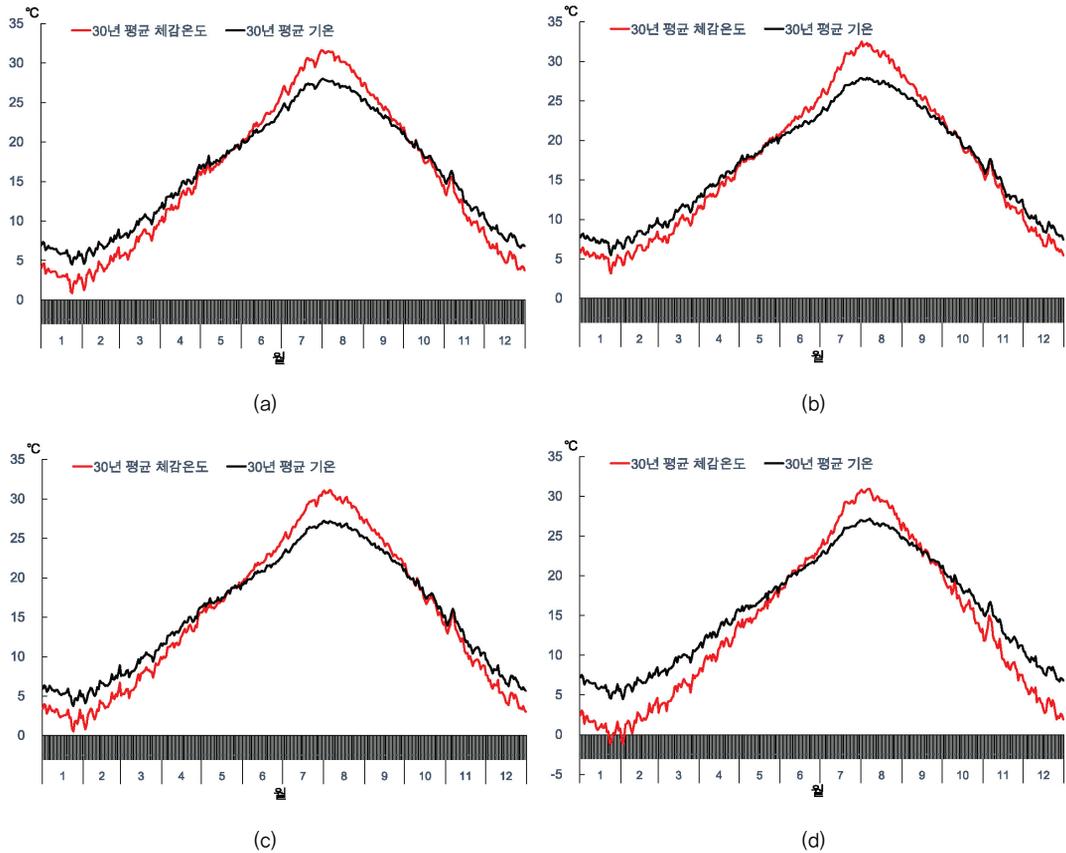


그림 2. 제주도 해안지역((a): 북부(제주), (b): 남부(서귀포), (c) 동부(성산), (d): 서부(고산))의 장기간(1988~2017년) 평균적인 체감온도와 기온의 연중 변화

도와 기온 변화 그래프를 비교해 보면 계절 간 변화 폭은 체감온도가 기온보다 더 크게 남을 알 수 있다(그림 2). 그 결과, 여름철에는 체감온도가 기온보다 훨씬 더 높게 나타나고, 그 외의 계절에는 체감온도가 기온보다 낮게 나타난다. 이러한 계절별 차이는 제주의 지리적 위치와 동아시아 몬순과 관련성이 크다고 판단된다. 제주도가 속한 동아시아에서는 여름철 몬순에 의한 높은 습도는 땀의 증발에 의한 잉여열 방출 과정을 저해하여 체감온도를 상승시킬 수 있기 때문이다. 실제로 최근 30년(1981~2010년) 제주의 평균 여름철 상대습도는 77%로, 우리나라에서 극은지로 알려진 대구(71%)에 비하여 높다. 반면 제주도와 같은 도서 지역에서는 겨울철에는 계절풍이나 해륙풍 등 바람이 불어올 때 마찰이 적어 바람 냉각에 의한 체감온도 하강 현상이 뚜렷하게 나타나게 된다. 과거부터 제주도는 바람이 많은 곳으로 알려져 있으며

(이병설, 1979; 이승호, 1996). 최근 30년간(1981~2010) 서울, 대구, 제주의 겨울철 평균 풍속을 비교해 보면 각각 2.4㎞/h, 2.8㎞/h, 4.3㎞/h로 제주가 다른 두 지역에 비하여 약 1.7배가량 풍속이 강하게 불고 있음을 알 수 있다(기상청, 2011).

좀 더 세부적으로 제주도 해안지역의 체감온도 및 체감온도-기온 간의 차의 연중 주기를 비교해 보면 한라산의 동서남북 지역별로도 차이가 있음을 알 수 있다(그림 2). 북부해안 제주 관측지점의 체감온도는 1월 24일 0.9°C로 연중 가장 낮게 나타나고, 5월 23일을 경계로 체감온도가 기온보다 높아지기 시작하여 7월 31일에 31.7°C로 기온보다 무려 3.6°C까지 높은 값을 보이게 된다. 그 이후에 체감온도와 기온과의 점차 줄어들다가 10월 5일부터는 체감온도가 오히려 기온보다 낮아지고, 한겨울에 최대 3.7°C의 차를 나타낸다. 반면, 남부해안 서귀포 관측

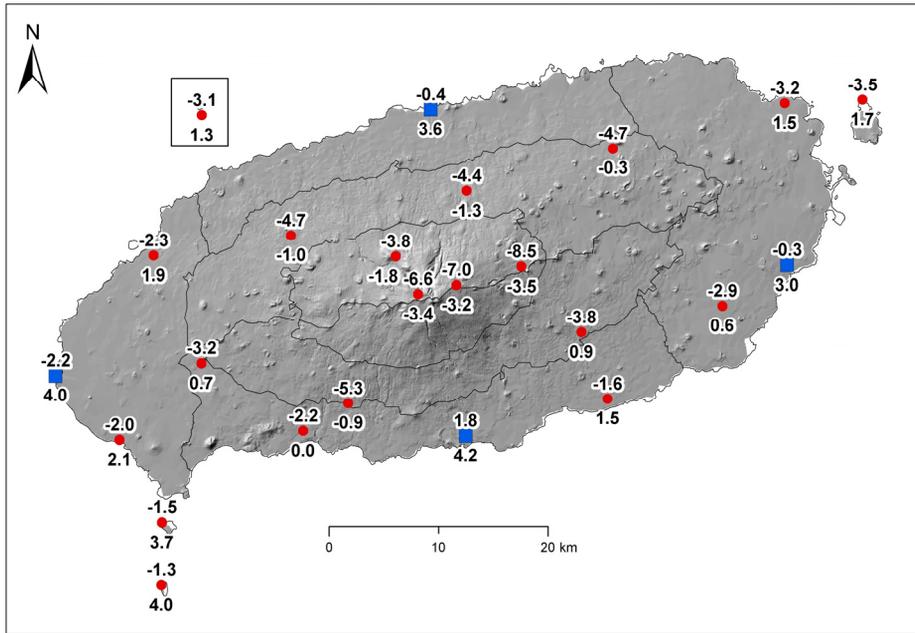


그림 3. 최근 10년(2008~2017년) 평균 한라산 기후 관측지점의 한겨울(1월 24일 기준) 체감온도(위 숫자)와 기온(아래 숫자) 분포

지점의 연중 체감온도와 기온의 변화를 살펴보면, 체감 온도의 연중 최소값(3.1°C)은 2.2°C로 타 제주 지역보다 더 높는데 이는 기온의 계절 극값 차이보다 더 크다. 반면 서귀포 체감온도의 연중 최대값(32.5°C)은 그 극대값 뿐만 아니라 나타나는 시기(8월 1일)면에 있어서 북부 해안지역과 유사하다. 서귀포의 체감온도-기온 간 차이는 한겨울에 최대 2.3°C로 북부 해안보다 크지 않지만, 연중 5월 15일~10월 15일은 체감온도가 기온보다 높게 나타나고 한여름에 체감온도-기온 간 차이(4.6°C)는 북부지역보다 더 커지게 된다. 동부 해안 성산의 경우에는 체감온도가 1월 24일에 0.5°C로 가장 낮고, 8월 6~7일에 31.1°C로 가장 높게 나타난다. 기온과의 차이는 한여름에 4.0°C, 한겨울에 3.2°C를 나타내고, 5월 21일과 10월 5일경을 경계로 달라진다. 서부해안 고산 관측지점에서의 체감온도 연중 최소값(-1.1°C)은 1월 24일에 나타나고, 최대값(30.9°C)은 8월 7일로 제주와 서귀포보다 늦게 나타난다. 이때 체감온도와 기온간의 차이는 각각 약 5.8°C와 3.9°C로 최대를 이룬다. 고산 지역은 제주도 서부지역에 위치하여 겨울철 몬순의 영향을 가장 직접적으로 받아 체감온도가 기온보다 높은 기간도 6월 8일~9월 16일로 다른 지역에 비해 짧은 편이다.

20여 개 관측지점의 자료는 최근 10년간(2008~2017년)으로 한정되어 있지만 연중 체감온도의 최소값이 나타나는 한겨울(1월 24일)을 기준으로 4개의 종관기상관측소 및 약 20여 개의 자동기상관측소를 기준으로 한라산 지역의 동 기간 평균 체감온도 분포를 살펴보면 한라산 사면별로 상이하게 나타남을 알 수 있다(그림 3). 한라산의 서사면의 해발고도가 가장 높은 윗세오름(1,668m)의 10년 평균 체감온도는 -6.6°C로 풍속이 강하게 불어 기온에 비하여 약 3.2°C도 더 낮게 나타난다. 한라산 동사면의 진달래밭(1,488m)의 체감온도도 -7.0°C로 바람냉각 효과로 기온 -3.2°C에 비하여 3.8°C 더 낮게 나타난다. 해발고도가 더 낮은 동사면의 성판악(760m)의 경우에는 한겨울 평균적인 체감온도(-8.5°C)가 기온에 비하여 무려 5°C 더 낮게 나타남을 알 수 있다. 이는 윗세오름과 진달래밭 관측지점 자료에서는 10년 중 기온이 상대적으로 낮았던 2007년 바람냉각지수 자료가 관측누락으로 존재하지 않기 때문이다. 만약 이들 관측지점에 2007년에 자료가 관측되었다면 성판악 지점보다 더 낮게 나타났을 것으로 추정된다.

한편, 해안지역의 경우에는 기온과 체감온도 차이가 크게 나타나는데 북서부 지역(예: 고산, 한림, 제주 등)

표 1. 제주도 해안지역 관측지점의 사계절 장기간(1988~2017년) 평균 체감온도(AT)-기온(T) 간 차이

30년 평균 (1988~2017년)	변수(°C)	봄철 (3~5월)	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)	겨울철 (12~2월)
북부해안(제주)	AT	12.7	27.2	18.0	4.3
	T	14.0	25.0	18.3	7.0
	AT-T	-1.3	2.2	-0.3	-2.7
남부해안(서귀포)	AT	13.9	27.7	19.5	6.3
	T	14.9	25.0	19.4	8.2
	AT-T	-1.0	2.7	0.1	-1.9
동부해안(성산)	AT	12.4	26.6	17.8	3.8
	T	13.6	24.2	18.0	6.4
	AT-T	-1.2	2.4	-0.2	-2.6
서부해안(고산)	AT	10.6	25.9	16.8	2.4
	T	13.1	24.0	18.3	7.0
	AT-T	-2.5	1.9	-1.5	-4.6

이 4.0~6.2°C정도로 남서부 지역(예: 서귀포, 제주남원, 성산 등)의 2.4~3.5°C보다 더 큰 차이를 보인다(그림 3). 이는 북동부 지역은 마찰 없이 북서계절풍의 영향을 직접 받지만 남동부 지역은 한라산에 의해 바람의지 지역에 속하기 때문에 바람냉각에 의한 체감온도 하강 현상이 다소 덜 받는 것으로 판단된다. 유사하게 중산간-산간 지역의 해발고도 상승에 따른 체감온도 감률을 산출해 보면 사면마다 달라짐을 알 수 있다. 북서 사면(유수암-윗세오름), 남서 사면(회수-윗세오름), 북동 사면(선홀-진달래밭)의 고도 상승에 따른 체감온도 감률은 남동 사면(태풍센터-진달래밭)의 값에 비하여 훨씬 더 높음을 알 수 있다. 이는 북서계절풍의 영향을 받아 바람이 강하게 부는 바람받이 사면의 경우에는 체감온도가 고도 상승에 따라 더 뚜렷하게 낮아짐을 가리킨다.

이러한 제주도의 지역별 체감온도-기온 간의 차이는 한겨울에 한정되어 나타나는 것이 아니라 사계절 전체에 걸쳐서 더욱 뚜렷하게 나타난다(표 1). 장기간(1988~2017년) 자료가 가용한 4개 종관기상관측소의 연평균 및 계절별 체감온도와 기온 간의 차이를 비교해 보면 대체로 모든 계절에 걸쳐 서부해안의 체감온도는 동부해안 지역에 비하여 낮고, 체감온도-기온간의 차이도 더 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 서부해안에 위치한 고산의 경우에는 겨울철 시베리아 고기압에서 불어오는 북서계절풍의 영향을 직접적으로 받아 체감온도가 연평균 기온보다 2°C 정도 더 낮고, 계절별로도 여름을 제외하

봄(-2.5도), 가을(-1.5도), 겨울 (-4.6)에 다른 지역에 비하여 큰 차이를 보이고 있다. 북부해안의 제주에서도 장기간 평균 연평균 체감온도는 기온보다 1.6°C 더 낮지만, 봄철을 제외한 모든 다른 계절에 걸쳐 체감온도-기온 간 차이는 오히려 남부해안의 서귀포에서 약간 더 큰 값을 보인다. 특히 서귀포의 경우에는 한라산의 남쪽에 위치하여 겨울철에 한랭건조한 시베리아 고기압의 영향을 덜 받아 기온이 북부에 비하여 훨씬 더 큰 차이를 보이기 때문인 것으로 사료된다.

2. 제주도 지역별 체감온도의 장기간 변화

기후변화 측면에서 4개 종관 관측지점의 시계열 자료에 나타난 장기간 변화 추세를 비교해 보면 지구 온난화에 의해 제주도에서는 연평균 기온 상승뿐만 아니라 연평균 체감온도가 더욱 빠르게 상승함을 관찰할 수 있다(그림 4). 연평균 체감온도는 기온보다 낮지만 1920년대 이래로 제주 북부해안의 기온은 0.23°C/10년의 비율로 상승하고 있으나 동일기간 체감온도는 0.37°C/10년의 비율로 더 가파르게 상승하는 추세를 보이고 있다. 제주의 연평균 체감온도 상승 추세는 세부적으로 1960년대 이전, 1960년대~1980년대 중반, 1980년대 후반 이후 등으로 나누어 볼 수 있다. 제주의 체감온도는 1960년대 초반과 1980년대 후반에 각각 전 시기보다 눈에 띄게 상승하는 추세를 보이면서 1980년대 후반에는 기온과 체

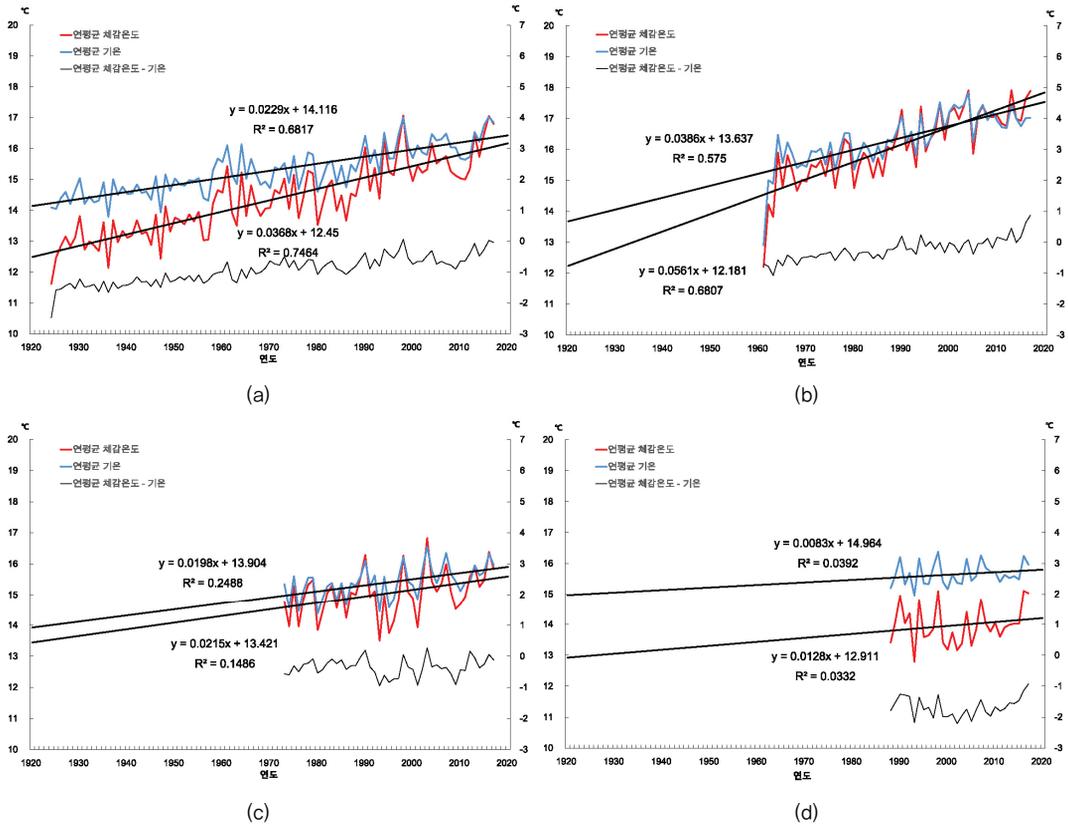


그림 4. 제주도 해안지역((a): 북부(제주), (b): 남부(서귀포), (c) 동부(성산), (d): 서부(고산)의 장기간 연평균 체감온도 및 기온의 변화 (연평균 체감온도-기온 간 차이는 Y축 오른쪽 참조)

감온도 차이가 거의 없는 해가 자주 관찰된다. 관측지점마다 자료 관측 기간이 상이하어 상승률의 직접적인 비교는 힘들지만 남부해안의 서귀포 관측지점의 경우에도 1980년대 중반까지는 기온이 체감온도보다 약간 더 높았으나, 그 이후에는 차이가 거의 없어지는 패턴을 보인다. 심지어 서귀포에서는 2010년대에 접어들어서 체감온도가 기온보다 더 높게 나타나는 해가 기록되기도 하였다. 이러한 체감온도 상승 추세는 도시화의 영향이 거의 없는 동부해안의 성산과 서부해안의 고산 관측지점의 자료에도 나타난다. 성산의 체감온도는 경우에는 1970년대 초반 이래로 약 $0.21^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, 고산은 $0.13^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 비율로 상승하여 기온보다 약간 더 높은 상승률을 보임을 알 수 있다. 이러한 결과들은 체감온도가 기온보다 빠르게 상승하는 추세의 규모는 일부 국지적인 도시화 요인의 영향도 받지만 변화 추세 자체는 근본적으로 인위적 기후변화에 의해 나타나는 현상임을 가리킨다.

기상학적 계절별로 나누어 4개 관측지점 중 90년 이상의 장기간 관측 자료가 존재하는 제주(184)의 체감온도의 변화 추세를 살펴보면, 모든 계절에 걸쳐 체감온도의 상승률은 기온의 상승률보다 더 크게 나타난다(그림 5). 봄철과 가을철의 체감온도 상승률은 각각 $4.3^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, $3.7^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 기온의 상승률 $0.30^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, $2.4^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 보다 더 높게 나타났다. 체감온도 상승률만으로 비교해보면 사계절 중 봄철의 상승률이 가장 높지만, 계절별 기온 상승률과의 차이는 겨울철에 가장 크게 나타난다. 이러한 추세는 서귀포 관측지점에서도 동일하게 나타난다(그림 자료 제시하지 않음). 겨울철 체감온도의 상승률은 $3.6^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 기온의 상승률 $1.8^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 과 비교하여 2배 이상 높다. 여름철에는 그 차이가 줄어들지만 체감온도 상승률은 $3.2^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 여전히 기온 상승률 $1.9^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 에 비하여 더 높은 값을 보인다. 체감온도가 기온보다 상승률이 높아져서 연중 체감온도가 기온이

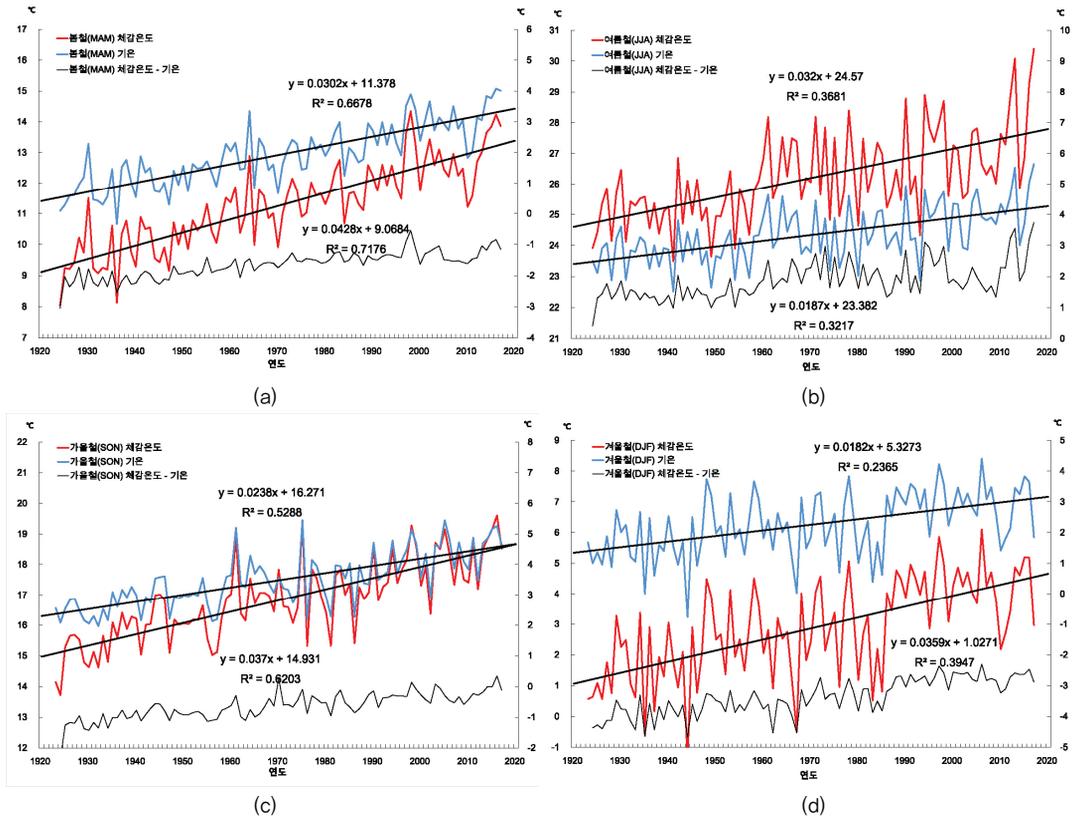


그림 5. 제주도 북부 해안 제주(184) 관측지점의 장기간 기상학적 계절 평균 체감온도 및 연평균 체감온도의 변화 (연평균 체감온도-기온 간 차이는 Y축 오른쪽 참조 바람)

교차하는 시기도 달라졌다. 가령, 연중 전반기에 체감온도가 기온보다 높아지는 시기는 1921~1950년대에는 6월 13일이었으나, 1951~1980년대에는 6월 1일, 1981~2010년대에는 5월 23일로 점차 앞당겨졌다. 반대로 후반기에 체감온도가 기온보다 처음 낮아지는 시기는 1921~1950년대에는 9월 26일이었으나, 1951~1980년대에는 10월 4일, 1981~2010년대에는 10월 5일로 점차 늦어졌다. 그 결과 연중 체감온도가 기온보다 높은 기간이 1921~1950년대에 비하여 1981~2010년대에는 약 50일 정도 늘어났다.

3. 제주도 여름철과 겨울철 체감온도 변화와 동아시아 몬순 강도 변화의 관련성

앞서 살펴본 바와 같이 모든 계절에 걸쳐 체감온도가 상승률은 기온 상승률에 비해 높게 나타나는데, 특히 여

름철과 겨울철 체감온도의 변화는 우리 생활에 큰 영향을 미친다. 가령, 겨울철 체감온도의 상승 요인은 기온 뿐만 아니라 풍속이 감소와도 관련성이 있을 것이며, 여름철 체감온도의 상승도 습도의 상승과 관련성이 깊을 것으로 사료 된다. 동아시아에서는 겨울철에는 시베리아 고기압, 여름철에는 북태평양 고기압과 동아시아 몬순 전선에 나타난 변화가 동아시아 지역에 속한 제주도의 체감온도 장기간 변화와 경년변동 패턴에 중요한 영향을 미칠 것으로 사료된다.

우선, 제주도 겨울철 체감온도와 동아시아 겨울 몬순 강도와의 관련성을 살펴보기 위해 약 70년 동안(1948~2017년) 동안의 북부해안 제주(184) 관측지점의 겨울철 체감온도 평균과 NCEP NCAR reanalysis I 자료에서 추출한 시베리아 고기압 지역(80~120°E, 40~60°N) 평균적인 해수면기압(SLP) 간의 산포도에 나타난 회귀선을 살펴보면 통계적으로 유의미한 음(-)의 상관관계가 관찰

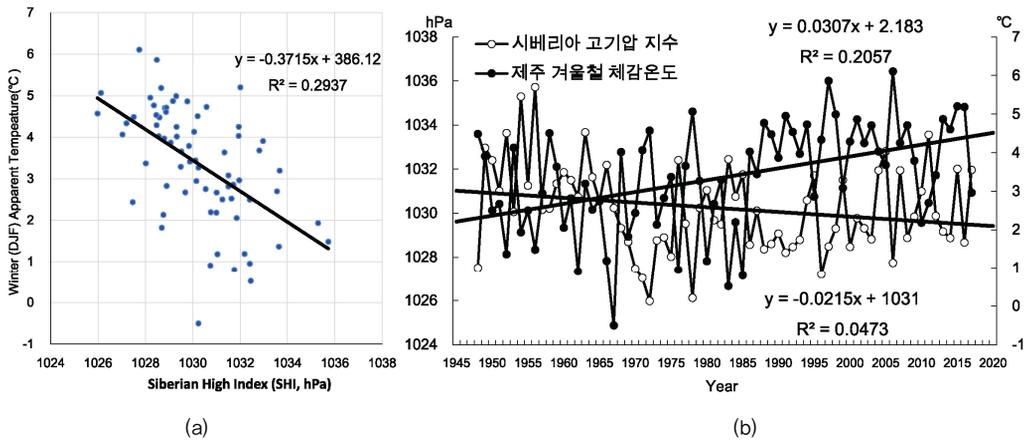


그림 6. 겨울철(12~2월) 시베리아 고기압 지수(80~120°E, 40~60°N 지역 해수면기압 평균)- 제주 체감온도 간의 산포도(a)와 장기간 시계열(b), 1948~2017년

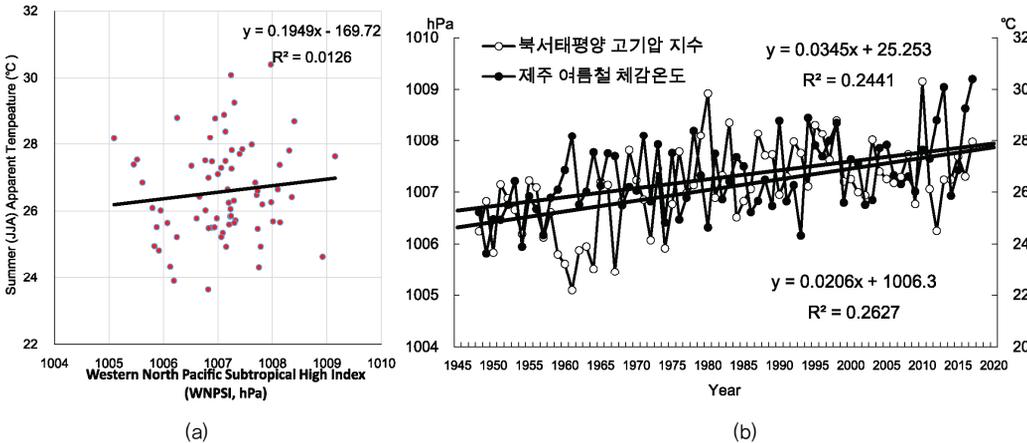


그림 7. 여름철(6~8월) 북서태평양 아열대 고기압 지수(100~140°E, 15~35°N 지역 해수면 기압 평균)- 제주 체감온도 간의 산포도(a)와 장기간 시계열(b), 1948~2017년

된다(그림 6의 (a)). 회귀선의 기울기 값에 따르면 겨울철 평균 시베리아 고기압이 10hPa 약해지면 제주의 겨울철 평균 체감온도는 3.7°C 상승할 것으로 추정된다. 두 요소의 시계열을 자료에 나타난 장기간 변화 추세와 경년 변동성을 비교해 보면 겨울철 제주 지역의 체감온도는 통계적으로 유의미한 지속적인 상승 경향을 보이지만, 겨울철 시베리아 고기압의 강도는 통계적으로는 유의하지 않은 약한 감소 추세를 보이는 차이를 보인다(그림 6의 (b)). 시베리아 고기압지수에 나타난 겨울철 몬순 강도는 1960년대 후반에 약화되었다가 1970년대에 약간 강화되다가 1990년대 약간 감소 경향을 보이고, 다

시 2000년대 후반 이후는 다시 여러 해에 걸쳐 고기압이 강화된 경우가 자주 관찰되고 있다. 이러한 결과는 겨울 몬순 약화 이외에도 도시화에 의한 건물 높이 상승 등의 제주 관측지점 주변의 국지적인 관측 환경 변화 또한 풍속 감소에 영향을 주어 제주의 체감온도 상승에 영향을 미쳤음을 가리킨다. 실제 1990년대 이후에 동문 지하상가가 개발되면서 제주지방기상청이 위치한 제주 건입동 관측지점 주변에 많은 건물들이 들어서게 되었다(국토지리정보원, 2012).

반면, 여름철 제주의 체감온도와 북서태평양 고기압(100~140°E, 15~35°N)의 평균적인 해수면기압(SLP)으

로 정량화된 북서태평양 고기압지수와의 상관관계를 살펴보면 통계적으로 유의미한 상관관계가 관찰되지 않는다(그림 7의 (a)). 반면 제주의 체감온도 시계열과 북서태평양 고기압 지수는 모두 통계적으로 유의미한 상승 경향을 보인다(그림 7의 (b)). 이는 북서태평양 고기압이 점차 강화되면서 기온을 상승시키기 때문에 체감온도도 상승하는 것임을 가리킨다. 그러나 경년변동성을 비교해 보면 일치하지 않는 경우도 많아 두 변수가 상관계수의 통계적 유의성이 낮게 나타난 것이다. 이는 여름철에 제주도를 포함한 동아시아 지역에서는 고온다습한 기후 환경을 조성하는 아열대 북태평양 고기압 이외에도 강수를 동반하면서 기온 상승을 저해하는 동아시아 여름 몬순 전선도 습도를 증가시켜 여름철 체감온도에 영향을 주고 있기 때문일 것으로 사료된다. 북태평양 고기압이 북서태평양으로 확장하는 시기는 주로 여름 몬순 전선이 동아시아 북쪽으로 북상하는 한여름 이후이기 때문이다. 여름철 동아시아에서는 남서 기류들이 유입되면서 체감온도를 상승시키게 된다. 여름철 대기 중 습도가 체감온도에 미치는 영향을 살펴보기 위해 동아시아 여름 몬순 영역(100~140°E, 15~35°N)의 하층 대기(850hPa)의 비습(specific humidity)의 산포도에 나타난 상관관계를 살펴보면 통계적으로 유의미한 양(+)의 상관관계를 보인다(그림 자료 제시하지 않음). 여름철에는 온난화에 의해 해양으로부터 대기 중으로 증발이 늘어나 절대 습도가 1g/kg 상승하면 제주의 체감온도는 약 2.4°C 정도 높아질 것으로 예상된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 아열대 기후대에 속하며 섬의 중심에 한라산이 있어서 온대 및 아고산대 기후 등 다양한 기후를 보이는 우리나라의 대표적인 관광지인 제주 지역 체감온도의 시공간적 분포와 장기간 변화 및 여름철과 겨울철 체감온도 분포에 영향을 미치는 동아시아 몬순 기후 시스템과의 관련성을 분석하였다. 주요한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 제주도 동서남북 해안지역에 위치한 4개 종관기상관측소의 장기간(1988~2017년) 평균적인 연중 일별 체감온도와 기온의 기후학적 변화 양상을 살펴보면 여름철에는 대기 중 습도가 높아져 체감온도가 기온에 비

하여 높게 나타나고 겨울철 및 주변 계절에서는 반대로 바람이 강하게 불어서 바람냉각 효과에 의해 체감온도가 기온보다 낮게 나타남을 알 수 있다. 가령, 한여름에는 체감온도가 기온보다 평균적으로 3.6~4.6°C 까지 더 높아지고, 한겨울에는 반대로 체감온도가 기온보다 평균적으로 2.3~5.8°C까지 더 낮아지는데, 이는 장기간 평균값이므로 특정해 특정일에는 이러한 차이가 더 크게 날 것으로 예상된다.

둘째, 연중 체감온도가 가장 낮아지는 한겨울(1월 하순) 한라산 지역의 체감온도 분포를 살펴보면 시베리아 고기압의 영향을 직접적으로 받는 북동지역이 북서계절풍의 바람의지(leeward) 지역에 속한 남동지역에 비하여 체감온도가 더 낮게 형성됨을 알 수 있다. 해안지역과 상층 기류 흐름이 활발하고 고도 상승에 따라 기온이 낮아지는 한라산 산간 지역의 체감온도가 바람의 영향으로 기온보다 훨씬 낮아짐을 알 수 있다. 이 시기에 해발고도가 낮은 해안지역에서도 지표 마찰이 적은 상태에서 북서계절풍이 강하게 불어 체감온도는 기온보다 많이 낮아지는 지역적 특징을 보인다.

셋째, 장기간 연중 또는 사계절 평균 체감온도와 기온은 모두 상승하는 경향을 보이는데, 체감온도 상승률이 기온의 상승률보다 더 높음을 알 수 있다. 그 결과, 최근에는 1920년대에 비하여 최근에 여름철 체감온도가 기온보다 더 높은 기간이 약 50일 이상 더 길어지고 있다. 특히, 한여름에는 기후변화에 의해 데워진 해양의 영향으로 대기 중 습도가 더 높아져 기온보다 체감온도가 점차 더 높아지게 되므로 여름철 고온체감온도에 대한 지속적인 모니터링과 건강에 미치는 잠재적인 피해에 대비하기 위한 체감온도 정보를 관광객들과 제주주민들에게 제공할 필요성이 있다고 판단된다.

넷째, 여름철 제주의 체감온도는 북서태평양 아열대 고기압 지수(지역의 평균 해수면 기압)와 통계적 상관성이 다소 취약하나, 겨울철 제주의 체감온도와 시베리아 고기압 지수(지역 평균 해수면기압)와는 통계적으로 유의미한 음(-)의 상관관계를 보였다. 이러한 결과들은 여름철에는 북태평양고기압 이외에도 수증기를 유입시키는 몬순 시스템이 복합적으로 작용하지만, 겨울철에는 주로 시베리아 고기압에서 발원하는 찬 공기의 이류와 북서계절풍에 의한 바람냉각 작용이 체감온도 하강에 중요한 영향을 미치고 있음을 가리킨다. 향후 이러한 종관 규모이상의 동아시아 몬순시스템을 기반으로 한 지

수를 활용함으로써 체감온도 예측력을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

이와 같이 본 연구에서는 우리나라 대표적인 관광지인 제주도를 대상으로 연중 체감온도 정보와 기후변화 맥락에서 우리나라 체감온도의 변화 양상에 관한 생리 기후학적 정보를 처음으로 제시하였다. 그러나 본 연구에서는 주로 체감온도 평균 분포와 변화 추세에 초점을 두어 열파와 한파 등 체감온도의 극한현상의 장기 변화 양상과 극한현상이 발생할 때의 한반도 주변 종관장 패턴 등에 초점을 둔 후속 연구가 수행될 필요성이 있다. 가령, 본 연구에서 최근 체감온도의 변화에 영향을 미치는 동기후학적 요인들로 시베리아 고기압 지수, 북서태평양 고기압 지수 등에 관하여 일부 통계 기후학적 분석을 수행하였으나, 이외에도 최근 온난화에 의한 해수온도의 상승, 북극 해빙의 감소, 극소용돌이 면적의 축소 및 이상적인 사행 패턴 등 다양한 종관기후학적 요소에 초점을 둔 연구도 필요하다고 판단된다. 또한, 다양한 고해상도 다중지역기후 모델에서 생산한 21세기 기후변화 시나리오 자료를 분석하여(예: 김금지 등, 2017) 한반도 지역 미래 체감온도 변화에 대한 전망치를 생산하고 이를 바탕으로 정책을 수립하는 것도 시급한 국가 과제 중의 하나라고 판단된다. 한편, 본 연구의 분석 자료 준비 과정에서도 밝혀진 바와 같이 체감온도 산출에 필요한 기상 기후 요소들(예: 여름철 습도, 일사 등)이 관측되지 않은 경우도 있음을 알 수 있다. 그러므로 후속 세대에서 장기간 평균적인 체감온도에 중점을 둔 생리 기후학적 연구들이 제대로 이루어지기 위해서는 국내 기상 기후 관측망을 좀 더 상세화하고 기온, 강수, 바람 이외에 다른 기상 기후 요소를 관측할 수 있는 장비를 확장 설치해 나가는 작업이 선행되어야 할 것이다. 이러한 노력들은 향후 본 연구에서 사용한 체감온도지수 뿐만 아니라 최근 사용되고 있는 WBGT(Wet Bulb Globe Thermometer Index) 등 다른 보건기후 지수를 기반으로 한 국지적 규모의 관광기후정보(예: 강동현 등, 2014; 박창용 등, 2014; 박수국 등, 2016)를 마련하는데 초석이 될 것으로 여겨진다. 궁극적으로 이러한 생리기후 정보들은 쇠퇴하고 있는 우리나라 농어촌 지역 내 관광업을 활성화시키는데 기초 자료로 활용되어 새로운 4차 산업 육성에 큰 기여를 할 수 있게 될 것으로 전망된다.

참고문헌

- 강동현·최철현·정성관, 2014, “영남지역의 토지피복에 따른 열쾌적성 평가도 구축,” 한국지리정보학회지, 17(2), 136-155
- 강철성, 1997, “한국의 열감분포에 관한 생리후학적 연구,” 대한지리학회지, 32(2), 129-140.
- 강철성, 1998, “남한의 동-하계 인체보온지수 분포의 특성,” 한국지리환경교육, 6(1), 87-100.
- 강철성, 2005, “남한의 하계 인체보온지수에 따른 쾌적 실내온도 분포의 특성,” 한국지역지리학회지, 11(5), 383-390.
- 국토지리정보원, 2012, 「한국지리지: 제주특별자치도」.
- 기상청, 2011, 「한국기후표(1981-2010)」.
- 김금지·서정범·윤성환, 2017, “RCP 시나리오를 활용한 도시온열환경 분석 및 예측,” 대한건축학회지연합 논문집, 19(2), 107-114.
- 김지혜·김해동, 2017, “2016년 여름철 폭염 시기 대구의 기온공간분포 특성” 한국환경과학회지, 26(9), 1023-1029.
- 김진아·김규량·김백조, 2015, “대구와 제주의 폭염 및 열대야의 발생 특성,” 한국환경과학회지, 24(11), 1493-1500.
- 박수국·신지환·조상만·현철지·강훈, 2016, “여름철 해변 지역의 인간 열환경지수 및 열쾌적성 - 제주특별자치도 제주시 구좌읍 월정리 해변,” 한국조경학회지, 44(4), 100-108.
- 박종길·정우식·김은별·박길운, 2007, “한국형 체감온도 지수 개발 연구(I)- 기존 체감온도지수 분포 및 민감도 분석,” 한국지구과학회지, 28(7), 878-890.
- 박창용·김남조·김상태·최영은, 2014, “관광기후지수(Tourism Climate Index)를 이용한 치악산 국립공원의 관광기후환경에 관한 연구,” 대한지리학회지, 49(5), 779-793.
- 이병설, 1979, “제주도의 바람에 관한 연구,” 지리학논총, 6, 11-18.
- 이승호, 1996, “제주도에 분포하는 편형수에 의한 탁월풍의 추정,” 지리환경교육, 4(1), 121-133.
- 전경은, 1971, “Wind chill 에 의한 남한 기후의 분석,” 한국기상학회지, 7(1), 33-39.
- 전경은, 1974, “한랭기후에서의 쾌감지수,” 지리학, 9, 37-41.

- 제주지방기상청, 2015, 「제주지역 기상기후서비스 개선 연구」.
- 제주지방기상청, 2017, 「제주지역 연도별 상세 기상기후 특성 연구」.
- 최광용, 2010, “지난 100년 동안 서울시에 발생한 강한 열파 패턴과 노인사망자에 미치는 영향,” *대한지리학회지*, 45(5), 573-591.
- 최광용, 2011, “한라산 사면 및 고도별 기온감률 변동성,” *기후연구*, 6(3), 171-186.
- 최광용, 2013, “한라산의 사계절 극한강수현상 발생 패턴,” *기후연구*, 8(4), 267-280.
- 최광용, 2016, “한라산 지역 열역학적 편현상 발생 시 중관 기후 패턴,” *기후연구*, 11(4), 313-330.
- 최광용·권원태, 2005, “우리나라 열대야 현상 발생의 시공간적 특징과 최근의 변화,” *대한지리학회지*, 40(6), 730-747.
- 최광용·최종남·김종욱·손석우, 2002, “남한의 체감 무더위의 기후학,” *대한지리학회지*, 37(4), 385-402.
- 최광용·강철성, 2002, “남한의 겨울철 주야간 체감온도의 공간적 분포 특성,” *대한지리학회지*, 37(3), 237-246.
- 허인혜·최영은·권원태, 2004, “한반도 날씨 스트레스 지수 NET(Net Effective Temperature) 분포의 특성,” *대한지리학회지*, 39(1), 13-26.
- Choi, G., 2006, A definition of Korean heat waves and their spatio-temporal patterns, *Journal of the Korean Geographical Society*, 41(5), 527-544.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., and Joseph, D., 1996, The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-471.
- Li, J., Chen, Y.D., Gan, T.Y., and Lau, N.C., 2018, Elevated increases in human-perceived temperature under climate warming, *Nature Climate Change*, 8, 43-48.
- Osczevski, R. and Bluestein, M., 2005, The new wind chill equivalent temperature chart, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86, 1453-1458.
- Rothfus, L.P., 1990, *The Heat Index Equation (or More Than You Ever Wanted to Know About Heat Index)*, Fort Worth, TX: National Weather Service Technical Attachment (SR90-23).
- Steadman, R.G., 1979, The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science, *Journal of Applied Meteorology*, 18, 861-873.
- Steadman, R.G., 1984, A universal scale of apparent temperature, *Journal of Applied Meteorology*, 23(12), 1674-1687.
- Tikusis, P. and Osczevski, R.J., 2003, Facial cooling during cold air exposure, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, 927-933.
- Tromp, S.W., 1980, *Biometeorology: The Impact of The Weather and Climate on Humans and Their Environment (Animals and Plants)*, London: Heyden.
- 제주특별자치도 홈페이지, <http://www.jeju.go.kr>
- National Weather Service (NWS), <http://www.nws.noaa.gov/om/winter/faqs.shtml>
- Weather Prediction Center (WPC), http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml
- 교신 : 최광용, 63243, 제주특별자치도 제주시 제주대학교 102, 제주대학교 사범대학 지리교육전공 (이메일: tribute@hanmail.net)
- Correspondence : Gwangyong Choi, 63243, 102 Jeju-daehak-ro, Jeju-si, Jeju Special Self-Governing Province, Korea, Major of Geography Education, College of Education, Jeju National University (Email: tribute@hanmail.net)
- 투 고 일: 2018년 3월 30일
 심사완료일: 2018년 4월 9일
 투고확정일: 2018년 4월 11일

