

A trend analysis of seasonal average temperatures over 40 years in South Korea using Mann-Kendall test and sen's slope

Dae-Hyun Jin^a, Sung-Hwan Jang^a, Hee-Kyung Kim^a, Yung-Seop Lee^{1,a}

^aDepartment of Statistics, Dongguk University

Abstract

Due to the frequent emergence of global abnormal climates, related studies on meteorological change is being actively proceed. However, the research on trend analysis using weather data accumulated over a long period of time was insufficient. In this study, the trend of temperature time series data accumulated from automated surface observing system (ASOS) for 40 years was analyzed by using a non-parametric analysis method. As a result of the Mann-Kendall test on the annual average temperature and seasonal average temperature time series data in South Korea, it has shown that an upward trend exists. In addition, the result of calculating the Sen's slope, which can determine the degree of tendency before and after the searched change point by applying the Pettitt test, recent data after the fluctuation point confirmed that the tendency of temperature rise was even greater.

Keywords: trend analysis, Mann-Kendall test, Sen's slope, Pettitt test, change point, seasonal average temperature

1. 서론

최근 범지구적 이상기후의 잦은 출현으로 기상 변화와 관련한 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 국내에서는 이상기후의 탐지와 기상자료의 분류 및 군집분석에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. Kim 등 (2017)은 기온과 강수량의 수치모델 격자자료를 이용하여 기상관측소를 월별로 군집 분석하여 공간적 패턴을 분석하였다. 또한 Baek 등 (2018)의 연구에서는 자기조직화지도를 이용한 서울특별시의 폭염 사례 분류를 다루었고, Lee 등 (2020)의 연구에서 여름철 한반도 폭염의 특성을 분석하였다. 하지만, 이와 같이 기상 변화에 대한 연구가 활발함에도 불구하고, 장기간의 기상자료를 이용한 기온 변화에 대한 경향성 분석 연구는 부족했다.

이상기후의 잦은 출현은 인류의 안전과 지속 가능한 발전에 큰 위협 요인으로 작용할 가능성이 높다 (Swart 등, 2003). 기후변화의 객관적 평가와 향후 발생할 이상기후의 출현시점을 예측, 대비하기 위해서는 과거 장기간 기상관측자료를 바탕으로 한 기온에 대한 경향성 파악이 필수적이다. Choi 등 (2018)은 평균 기온 시계열자료의 경향성을 선형 추세로만 설명하는 것에 한계가 있음을 지적하면서, 추가로 변동점 분석 (change point analysis)을 수행하였다. 본 연구에서는 비모수적분석방법을 이용해 40년간 축적된 남한지역의 연평균 기온 및 계절별 평균기온 시계열 자료에 대한 경향성 분석을 수행한 뒤, Pettitt test를 이용해 변동점 분석을 추가로 수행했다. 또한, 공간적 분석을 위해 남한지역의 종관기상관측장비(automated surface observing system; ASOS)로부터 축적된 기온자료를 대상으로 기상관측소 별로 경향성 분석을 수행하였다.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (NRF-2020R1F1A1A01069114).

¹ Corresponding author: Department of Statistics, Dongguk University, (04620) 30 Pil-Dong, Jung-Gu, Seoul, 04620, Republic of Korea. E-mail: yung@dongguk.edu

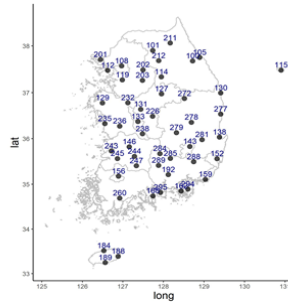


Figure 1: Part of ASOS station in south korea for this study.

2. 자료 및 방법

현재 우리나라에서는 102개소의 ASOS로부터 기상관측자료가 축적되고 있다. 본 연구에서는 장기간의 기온변화를 파악하기 위해 102개소 중 1980년 3월 1일부터 2020년 2월 28일까지 최근 40년간의 기온자료가 축적된 60개 지점을 분석대상으로 하였다. 분석에 사용된 60개 ASOS 지점은 Figure 1과 같이 남한 전역에 고르게 분포하고 있다. 지도상에 나타난 번호는 각 기상관측소의 지점번호를 의미한다. 본 연구에서는 기온 자료에 대한 경향성 분석을 위해 비모수적 방법인 Mann-Kendall 검정 (Mann, 1945), Sen's slope (Sen, 1968), Pettitt 검정 (Pettitt, 1979) 등의 경향성 분석방법을 적용하였다.

2.1. 데이터 전처리

기상관측자료의 경우 관측장비의 오류, 설비고장 물리적 제약으로 일정 기간 연속적인 결측값을 갖는 경우가 있으므로 (Yozgatligil 등, 2013), 결측값이 발생한 지점의 경우 Kim 등 (2016)에서와 같은 방법으로 결측값을 대체하는 데이터 전처리 과정을 거친 후 분석에 사용하였다. 먼저, Legates와 McCabe (1999)가 제안한 d-index를 이용한다. d-index는 결측값이 존재하는 지점과 주변 지점의 시계열 간에 유사성을 측정하는 척도로 아래 식 (2.1)과 같다.

$$d = 1.0 - \frac{\sum_i^n |X_i - Y_i|}{\sum_i^n [|Y_i - \bar{X}| + |X_i - \bar{X}|]}, \quad (2.1)$$

여기서 Y_i 는 결측이 존재하는 지점의 i 번째 관측값이고 X_i 는 주변 지점의 i 번째 관측값, \bar{X} 는 주변 지점 관측값의 평균이다. n 은 관측값의 개수를 의미한다. d-index 값을 이용하여 기온자료에 결측값이 존재하는 지점을 기준으로 반경 70km 이내의 주변 지점 중 기온 자료의 유사성이 가장 높은 지점을 선정하였다. 선정된 주변 지점들의 시계열 자료를 바탕으로 inverse distance weighting (IDW) 방법을 적용하였다. IDW는 식 (2.2)에서와 같이 결측값이 존재하는 지점과 시계열의 유사성이 높은 지점들간의 거리의 역수를 가중치로 두어 결측값을 대체하는 방법이다 (Di Piazza 등, 2011).

$$\hat{Y}_i = \frac{\sum_i^K [X_i w_i^*]}{\sum_i^K w_i^*}, \quad (2.2)$$

여기서 w_i^* 는 거리의 역수로 가중치를 나타내며, X_i 는 i 번째 주변지점의 시계열, \hat{Y}_i 는 i 지점 결측에 대한 대체값을 나타낸다. 본 연구에서는 d-index를 기준으로 시계열의 유사성이 가장 높은 주변 지점 3개를 선정하고 IDW 방법을 이용하여 ASOS로부터 수집된 일평균기온 자료의 결측값을 대체하여 사용하였다.

2.2. Mann-Kendall 검정

Mann-Kendall 검정은 세계기상기구(world meteorological organization)가 기상자료의 경향성 분석을 수행할 때 권장하는 검정 방법으로, 검정에 사용되는 데이터의 정규성을 요구하지 않는 비모수적 검정방법이다 (Kim 과 Park, 2004). 시계열 자료 X_t ($t = 1, 2, \dots, n$)에 하여 $t' = 1, 2, \dots, n-1$ 과 $t = t' + 1, \dots, n$ 시점의 X_t 에 대한 크기 비교를 통해 경향성의 존재 유무 및 경향의 방향성(상승 경향, 하강 경향, 무경향)을 식 (2.3)의 지시자 (indicator) $\text{sgn}(X_t - X_{t'})$ 을 이용하여 나타낸다.

$$\text{sgn}(X_t - X_{t'}) = \begin{cases} 1, & \text{if } X_t > X_{t'}, \\ 0, & \text{if } X_t = X_{t'}, \\ -1, & \text{if } X_t < X_{t'}. \end{cases} \quad (2.3)$$

그리고 식 (2.3)을 이용하여 Kendall 통계량 S 를 식 (2.4)와 같이 정의한다.

$$S = \sum_{t'}^{n-1} s_t = \sum_{t'=1}^{n-1} \sum_{t=t'+1}^n \text{sgn}(X_t - X_{t'}). \quad (2.4)$$

이때 S 의 분산은 식 (2.5)와 같이 주어진다. m 은 데이터를 사계절로 분할하여 구성한 경우를 예로 들어 4개의 그룹으로 나눌 수 있는 것과 같이, 분석 범위에서의 그룹의 개수를 나타낸다.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_i^m t_i(t_i-2)(2t_i+5)}{18}. \quad (2.5)$$

표본의 수 n 이 10보다 클 때($n > 10$), S 와 $\text{Var}(S)$ 를 이용하여 표준정규분포를 따르는 검정통계량 Z 를 다음의 식 (2.6)과 같이 정의할 수 있다.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0, \\ 0, & S = 0, \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0. \end{cases} \quad (2.6)$$

결론적으로 Mann-Kendall 검정에서는 식 (2.6)의 검정통계량 Z 를 이용해 시계열 자료에 경향성이 존재하는지를 검정할 수 있으며, 검정통계량값의 부호에 따라 경향의 방향성 또한 표현 가능하다. 본 연구에서는 Mann-Kendall 검정을 분석 대상 전지점의 연평균 기온자료 및 계절별 평균 기온자료에 대해 적용하여 연도별, 계절별 기온의 경향성을 분석하였다.

2.3. Sen's slope

Sen's slope 방법은 Sen (1968)이 제안한 추세 기울기의 정도를 평가하는 비모수적 방법으로, 추세 기울기의 추정을 위해 선형 모델을 사용한다. 식 (2.7)과 같이 정의되는 잔차 분산 Q_i 를 이용하여 중앙값 Q_{med} 를 구한 뒤 이 값을 Sen's slope 추정값으로 사용한다. 중앙값 Q_{med} 는 식 (2.8)과 같이 정의할 수 있다.

$$Q_i = \frac{X_t - X_{t'}}{t - t'}. \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{med}} = \begin{cases} Q_{\frac{n+1}{2}}, & \text{if } n \text{ is odd,} \\ \frac{Q_{(n+2)} + Q_{\frac{n+1}{2}}}{2}, & \text{if } n \text{ is even.} \end{cases} \quad (2.8)$$

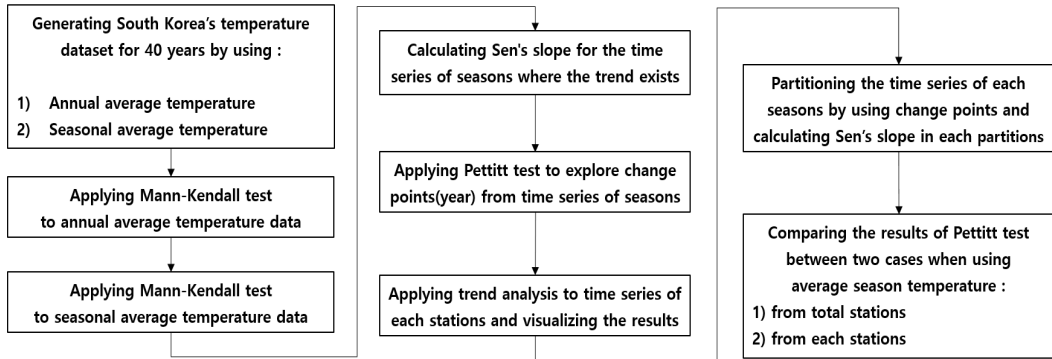


Figure 2: Process of trend analysis using temperature dataset in South Korea.

2.4. Pettitt 검정

Pettitt 검정은 자료의 분포를 가정하지 않고 시계열 자료의 변동점(change point) 존재 여부를 검정하는 비모수적 검정 방법이다. 전체 T 시점의 시계열 자료에 대해 특정 t 시점이 변동점인지를 검정하기 위해 시계열 관측값의 순위(rank)를 이용하여 식 (2.9)와 같은 통계량 $U_{i,T}$ 를 계산한다. 각 시점의 $U_{i,T}$ 중 최대값을 식 (2.10)과 같이 Pettitt 검정통계량 K_T 로 정의한다. 또한 유의확률 P 는 식 (2.11)과 같이 계산할 수 있다.

$$U_{i,T} = \sum_{j=1}^i \sum_{j=i+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j), \quad (2.9)$$

$$K_T = \max|U_{i,T}|, \quad (2.10)$$

$$P \approx 2 \exp\left(\frac{-6K_T^2}{T^3 + T^2}\right). \quad (2.11)$$

검정결과 유의하게 나타난 t 시점을 자료의 변동점으로 판단할 수 있다. 본 연구에서는 Pettitt 검정을 통해 기온자료에 존재하는 유의한 변동점을 탐색하였으며, 탐색된 변동점을 기준으로 시계열 자료를 각각 전반부 y_1, \dots, y_t 와 후반부 y_{t+1}, \dots, y_T 로 구분한 뒤, 구분된 각 구간의 Sen's slope를 계산하여 변동점 전후의 경향성 정도를 비교 분석하였다. 본 연구의 분석과정을 도식화하면 Figure 2와 같다. 전처리 및 결측치 대체가 완료된 지점별 일평균기온 시계열 자료를 이용하여 남한 전체의 연평균기온 시계열 자료, 계절 평균기온 시계열 자료를 생산하고, 이를 대상으로 비모수적 방법인 Mann-Kendall 검정을 통해 경향성을 분석하고, Pettitt 검정을 수행하여 변동점을 탐색한다. 그 후 경향성이 존재하는 것으로 확인된 계절에 대해서는 공간적 분석을 위해 관측지점별로 경향성 분석을 수행한다. 경향성이 존재하는 관측지점의 수와 공간적 분포를 확인한다. 마지막으로 개별 ASOS 지점의 변동점을 탐색한 뒤 변동점의 연대별 분포를 확인하고, 남한의 계절 평균기온 시계열 자료에서 탐색된 변동점과 비교한다.

3. 연구결과

40년간 수집된 남한의 연평균기온 시계열 자료에 대해 Mann-Kendall 검정을 수행한 결과 Table 1에서와 같이 상승 경향성이 존재하는 것으로 나타났다. 또한 경향성 정도를 파악하기 위해 Sen's slope값을 계산한 결과 약 0.036으로 나타났다. 즉, 우리나라의 최근 40년간 연평균기온 시계열 자료로부터 평균기온이 연간 약 0.036°C 상승하는 경향성이 있다는 것을 알 수 있다. Figure 3은 Sen's slope를 이용하여 40년간의 연평균기온자료에 대한 경향성을 시각화한 결과로 뚜렷한 상승 경향성을 확인할 수 있다.

Table 1: Trend analysis using annual average temperature data

Period	Kendall S	Z-statistic	P-value	Trend	Sen's slope
Annual (1980–2019)	408	4.742	< 0.01	Upward	0.036

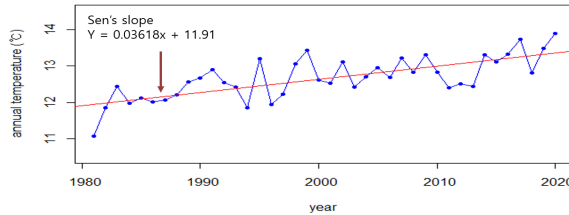


Figure 3: Annual average temperature and its Sen's slope.

Table 2: Trend analysis using seasonal average temperature data

Period	Z-statistic	P-value	Trend	Change point(year)	Sen's slope before change point	Sen's slope after change point
Spring (Mar.–May)	3.6235	< 0.01	Upward	1996	0.0036	0.0433
Summer (Jun.–Aug.)	2.9710	< 0.01	Upward	2003	0.0100	0.0770
Autumn (Sep.–Nov.)	3.4604	< 0.01	Upward	2002	0.0380	0.0230
Winter (Dec.–Feb.)	1.9224	0.0545	No trend	-	-	-

남한지역의 계절 평균기온 시계열 자료에 대해 Mann-Kendall 검정을 수행한 결과 Table 2에 나타난 바와 같이 봄, 여름, 가을에서 상승 경향성이 존재하는 것을 알 수 있다. Sen's slope를 이용해 경향성 정도를 계산해보면 봄의 경우 0.039, 여름은 0.032, 가을의 경우 0.036으로 봄의 상승 경향성이 다른 계절에 비해 가장 큰 것을 알 수 있었다. 경향성이 존재하는 봄, 여름, 가을의 평균기온 자료에 대해 변동점 유무를 파악하기 위해 Pettitt 검정을 수행하였다. 그 결과 봄의 경우 1996년이 변동점으로 탐색되었으며, 여름은 2003년, 가을의 경우 2002년이 변동점으로 탐색되었다. 또한 계절별로 탐색된 변동점을 기준으로 평균기온의 상승 경향의 변화 정도를 비교분석해 보았다.

변동점을 기준으로 자료를 전반부와 후반부로 나누어 Sen's slope를 살펴보면, 봄의 경우 변동점인 1996년 이전에는 0.0036으로 상승 경향성이 크지 않았지만 1996년 이후에는 0.0433으로 상승 경향성이 커진 것을 알 수 있다. 여름의 경우도 마찬가지로 2003년이 변동점으로 탐색되었으며, 변동점 전과 후의 기온자료에 대해 Sen's slope가 0.0100에서 0.0770으로 크게 상승하는 것을 알 수 있다. 가을의 경우 Pettitt 검정 결과 2002년이 변동점으로 탐색되었으며 이를 기준으로 전과 후의 기온자료에 대한 Sen's slope가 0.0380에서 0.0230으로 다소 감소하는 것을 알 수 있다. 가을의 경우를 제외하고는 최근에 들어 평균기온의 상승 경향성의 정도가 더 커진 것으로 나타났다. 경향성이 존재하는 봄, 여름, 가을의 평균기온 자료와 탐색된 변동점 전후의 Sen's slope를 이용한 시각화 결과가 Figure 4에 나타나 있다.

다음으로 공간적 분석을 위해 분석대상인 60개 ASOS 지점 각각에 대해 계절별 평균기온 시계열 자료를 분석하였다. 먼저 Mann-Kendall 검정을 수행하여 지점별로 평균기온 자료에 경향성이 존재하는지 살펴보

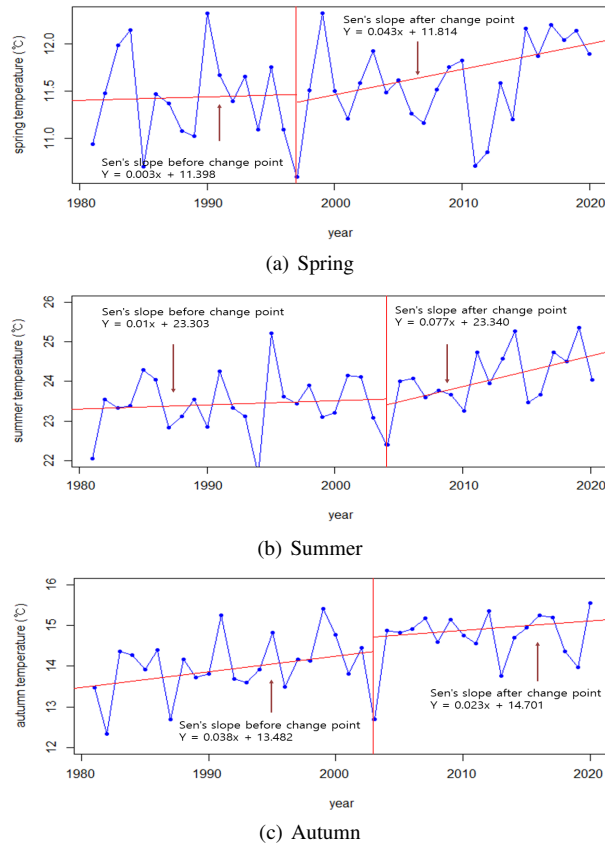


Figure 4: Seasonal average temperature data and Sen's slope.

았다. 그 결과, 전체 60개 지점 중 봄의 경우 90%에 해당하는 54개 지점에서, 여름은 전체 분석대상 지점의 81.67%에 해당하는 49개 지점, 가을의 경우 85%에 해당하는 51개 지점에서 평균기온 자료에 상승 경향성이 존재하는 것으로 나타났다. 경향성 유무를 공간적으로 표현해 보면 Figure 5와 같이 나타난다. 봄의 경우 일부 해안가 지점 몇 곳을 제외하고는 대체로 경향성이 존재하였으며, 여름의 경우 경향성이 존재하지 않는 것으로 나타난 지점들이 대체로 내륙에 위치하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 가을의 경우 경향성이 존재하지 않는 지점들을 살펴보면 일부 내륙지점 및 남해안의 해안가에 위치하는 지점들인 것을 알 수 있다. 60개 지점에 대한 경향성 분석결과 대부분의 지점들에서 상승 경향성이 존재하였고, 공간적으로 살펴본 결과 경향성이 존재하지 않는 지점들은 계절마다 상이했으며 뚜렷한 공간적 특성은 존재하지 않았다. 분석결과 계절별로 경향성이 존재하는 것으로 나타난 ASOS 지점 각각에 대해 Pettitt 검정을 적용하여 변동점을 탐색하였다. 탐색된 지점별 변동점을 연대별로 정리한 결과는 Table 3과 같다.

봄의 경우 관측지점의 약 83%가 1990년대에 해당하는 변동점을 가지고 있고, 여름의 경우 관측지점의 약 68%가 2000년대에 해당하는 변동점을 가지고 있다. 또한 가을의 경우 약 53%의 ASOS 지점이 2000년대에 해당하는 변동점을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이는 Table 2에서 계절별 평균기온 자료에서 탐색된 변동점의 연대와 일치하는 것을 알 수 있다. 한편 가을의 경우 앞서 살펴본 계절별 평균기온 자료에서 파악된 변동점이 2002년이었고, 이를 기준으로 전후 자료의 상승 경향성의 정도를 비교했을 때 다른 계절에서와는 다르게 최

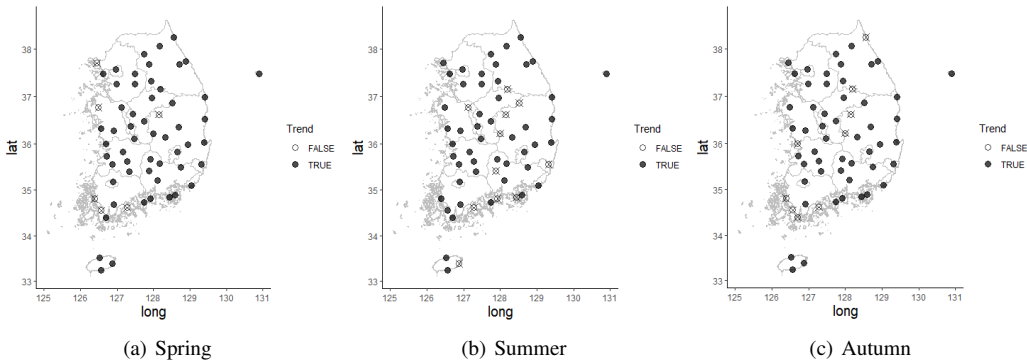


Figure 5: Trend existence for each season.

Table 3: The ratio of change point using pettitt test for each station

Period	1980s	1990s	2000s	2010s	Sum
Spring (Mar.-May)	-	83.33%	3.33%	13.33%	100%
Summer (Jun.-Aug.)	-	31.67%	68.33%	-	100%
Autumn (Sep.-Nov.)	3.33%	41.67%	53.33%	1.67%	100%

근에 와서 상승 경향성의 정도가 줄어드는 것으로 나타났었다. 그 이유가 Table 3에 나타난 바와 같이 가을의 경우 각 지점별 변동점이 1990년대와 2000년대에 각각 41.67%와 53.33%로 나누어 분포하기 때문인 것으로 예상해볼 수 있다. 즉, 가을의 평균기온 자료는 지점별로 상이한 변동점을 가지기 때문에 2002년 변동점을 기준으로 가을 자료의 상승 경향성을 파악하기는 힘들다고 볼 수 있다.

4. 결론

1980년 3월부터 2020년 2월까지 40년간 남한지역의 ASOS로부터 수집된 연평균기온 자료, 3개월 단위로 구분한 계절 평균기온 자료에 대해 Mann-Kendall 검정을 수행하여 경향성을 분석하였다. 또한 Sen's slope를 이용하여 경향성 정도를 파악하고 Pettitt 검정을 실시하여 평균기온 자료에 존재하는 변동점을 파악하였다. 그 결과 40년간의 연평균기온 자료에는 상승 경향성이 있는 것으로 나타났으며, 상승 경향성의 정도를 나타내는 Sen's slope값이 0.036으로 연평균 기온은 1년에 약 0.036°C씩 상승하는 경향성을 보이는 것으로 나타났다. 계절 평균기온 자료를 이용한 경향성 분석에서는 겨울을 제외한 모든 계절에서 상승 경향성이 있는 것으로 나타났다. 또한 Sen's slope 값을 살펴보면 봄이 0.039, 여름은 0.032, 가을은 0.036으로 봄의 상승 경향성이 가장 큰 것으로 나타났다. Pettitt 검정 결과로 나타난 변동점은 봄의 경우 1996년, 여름의 경우 2003년, 가을은 2002년으로 탐색 되었다. 변동점을 기준으로 시계열 자료를 전반부와 후반부로 나누어 Sen's slope를 계산한 결과, 봄과 여름에서는 전반부에 대비하여 후반부에 들어 매우 큰 폭 상승했고 가을의 경우 소폭 하락했다. 즉, 최근 들어 봄과 여름의 경우 상승 경향성의 정도가 더욱 커졌음을 알 수 있었다.

공간적 분석을 위해 60개 ASOS 지점의 계절 평균기온 시계열 자료에 대해 경향성이 존재하는지 검정해 본 결과 봄의 경우 전체의 90%, 여름은 81.67%, 가을의 경우는 85%에 해당하는 지점에서 상승 경향성이 존재하는 것으로 나타났다.

결과적으로, 본 연구에서는 장기간 축적된 기온 시계열 자료에 대한 경향성 분석을 통해 남한의 연평균 기온과 겨울을 제외한 계절 평균기온이 지속적으로 상승하는 경향성을 확인하였다. 또한, 계절별로 탐색된 변동점을 기준으로 전과 후로 구간화한 계절 평균기온 시계열 자료에 대한 상승 경향성의 정도를 비교분석 해본 결과, 최근 들어 봄과 여름의 상승 경향성이 과거에 비해 더욱 증가했음을 알 수 있었다.

본 연구에서 장기간의 기온자료를 이용하여 우리나라의 평균기온의 상승 경향성을 확인한 만큼 향후 장기간의 강수량자료로부터 경향성 및 변동점을 통해 강수 변화 패턴을 분석해 봄으로써 한반도 기상변화를 보다 면밀히 살펴볼 필요가 있을 것이다. 또한 본 연구에서 나타난 지점별 경향성 분석결과를 바탕으로 향후 상승 경향성이 유사한 지점들을 간의 군집분석을 통해 보다 의미있는 공간적 분석을 기대해 볼 수 있다. 본 연구의 결과는 앞으로의 한반도 날씨 유형 분류 및 장기간 기상자료 연구의 기초자료가 될 것으로 기대된다.

References

- Back SY, Kim SW, Jung MI, Roh JW, and Son SW (2018). Classification of heat wave events in Seoul using self-organizing map, *Journal of Climate Change Research*, **9**, 209–221.
- Choi W, Ho CH, Kim MK, Kim J, Yoo HD, Jhun JG, and Jeong, J. H. (2018). Season-dependent warming characteristics observed at 12 stations in South Korea over the recent 100 years, *International Journal of Climatology*, **38**, 4092–4101.
- Di Piazza A, Lo Conti F, Noto LV, Viola F, and La Loggia G (2011). Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **13**, 396–408.
- Kim HK, Kang IK, Lee JW, and Lee YS (2016). A comparison of imputation methods for the consecutive missing temperature data, *The Korean Journal of Applied Statistics*, **29**, 549–557.
- Kim HK, Kim KS, Lee JW, and Lee YS (2017). Cluster analysis by month for meteorological stations using a gridded data of numerical model with temperatures and precipitation, *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, **28**, 1133–1144.
- Kim JH and Park SS (2004). Long-term trend analyses of water qualities in Nakdong River based on non-parametric statistical methods, *Journal of Korean Society on Water Environment*, **20**, 63–71.
- Lee HC, Cho YJ, Lim B, and Kim SB(2020). Study on the association of casualties and classification of heat wave weather patterns in South Korea using K-means clustering analysis, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, **20**, 11–18.
- Legates DR and McCabe Jr GJ (1999). Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model evaluation, *Water Resources Research*, **35**, 233–241.
- Mann HB (1945). Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, **13**, 245–259.
- Pettitt AN (1979). A non-parametric approach to the change-point problem, *Journal of the Royal Statistical Society*, **28**, 126–135.
- Sen PK (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s tau, *Journal of the American statistical association*, **63**, 1379–1389.
- Swart R, Robinson J, and Cohen S (2003). Climate change and sustainable development: expanding the options *Climate policy*, **3**, 19–40.
- Yozgatligil C, Aslan S, Iyigun C, and Batmaz I (2013). Comparison of missing value imputation methods in time series: the case of Turkish meteorological data, *Theoretical and Applied Climatology*, **112**, 143–167.

Mann-Kendall 비모수 검정과 Sen's slope를 이용한 최근 40년 남한지역 계절별 평균기온의 경향성 분석

진대현^a, 장성환^a, 김희경^a, 이영섭^{1,a}

^a동국대학교 통계학과

요 약

범지구적 이상기후의 잦은 출현으로 기상 변화에 대한 관련 연구가 활발히 진행되고 있지만, 장기간 축적된 기상자료를 이용한 경향성 분석 연구는 부족하였다. 본 연구에서는 비모수적 분석방법을 이용해 40년간 종관기상관측장비(ASOS)로 부터 축적된 기온 시계열 자료의 경향성을 분석하였다. 남한지역의 연평균 기온과 계절별 평균기온 시계열 자료에 대한 Mann-Kendall 검정 결과 상승 경향성이 존재하는 것으로 나타났다. 또한 Pettitt 검정을 적용해 탐색된 변동점을 전후로 경향성의 정도를 파악할 수 있는 Sen's slope를 계산한 결과, 변동점 이후의 최근 자료에서 기온의 상승 경향성이 더욱 큰 것을 확인하였다.

주요용어: 경향성 분석, Mann-Kendall 검정, Sen's slope, Pettitt 검정, 변동점, 연평균기온 자료

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2020R1F1A1A0106 9114).

¹교신저자: (04620) 서울시 중구 필동로1길 30, 동국대학교 통계학과, 교수. E-mail: yung@dongguk.edu