

고품질의 기온자료를 이용한 연·계절평균기온의 변화에 관한 연구

박창용* · 최영은**

Study for the Changes of Annual and Seasonal Mean Temperature Using Adjusted Temperature Data in the Republic of Korea

Changyong Park* · Youngeun Choi**

요약 : 본 연구에서는 기온자료의 품질검정, 기준시계열 생산, 동질성 검증 및 보정에 대한 체계적인 단계를 제시하고, 이러한 과정을 통해 생산된 연·계절평균기온을 이용하여 보다 정확한 기온변화 경향을 파악하고자 하였다. 품질검정에 의한 오류 자료는 모두 내적 불일치성 검사에 의해 탐지되었다. 본 연구에서 사용한 동질성 검증 방법은 관측지점의 이전(relocation) 시그널을 비교적 잘 추출하여 우리나라 기온자료 동질성 검증에 적합한 방법으로 판단된다. 연 및 계절별 평균기온의 보정 이후가 보정 이전 보다 증가 규모가 커졌다. 이러한 동질성 검증 및 보정으로 생산된 고품질의 기온자료는 보다 정확한 기후변화 특성 및 경향 연구에 도움이 될 것이다.
주요어 : 기온자료, 품질검정, 기준시계열, 동질성 검증, 보정

Abstract : This study suggested the systematic steps for quality control, construction of the climatological reference series and homogeneity test and adjustment of temperature series in the Republic of Korea. It also attempted to evaluate more accurate magnitude of change using adjusted temperature data. All erroneous values produced by quality control were detected by internal inconsistency check. The method selected for homogeneity test in this study well defined fairly correct signals of station relocations. Therefore, this method might be regarded as the appropriate one to test homogeneity of temperature series of the Republic of Korea. The increase of temperature of the Republic of Korea after the adjustment were bigger than before the adjustment of annual and seasonal mean temperature. Adjusted temperature data produced by these steps will enable to evaluate more accurate characteristics and magnitude of climate change.

Key Words : temperature data, quality control, reference series, homogeneity test, adjustment

1. 문제제기 및 연구목적

기후변화에 대한 정확한 분석을 위해서는 장기간의 질 좋은 기후자료가 필요하며 이를 위해서는 품질검정(Quality Control)이 선행되어야 한다. 기후자료의 비

동질성은 특정 시기에 급격한 변화, 점진적인 변화로 나타난다. 급격한 변화에 관한 예로는 관측지점의 이전, 관측방법의 변화, 관측장비의 교체, 자료처리 방법의 변화에 의한 것이었으며, 도시 효과, 장기간에 걸친 관측기기의 오차, 주변 환경의 변화 등의 요인으로 점

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원 강화사업(RACS 2010-4013)의 지원으로 수행되었습니다

* 건국대학교 지리학과 박사과정(Doctoral Student, Department of Geography, Konkuk University), kpotato@konkuk.ac.kr

** 건국대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Konkuk University), yechoi@konkuk.ac.kr

진적인 변화가 발생한다(Easterling and Peterson, 1995). 이러한 요인으로 인하여 발생하는 기후자료의 비동질성은 실제의 기후값을 왜곡하거나 정확하게 표현하지 못하게 하므로 부정확한 연구결과를 초래할 수 있다(Aguilar *et al.*, 2003; Choi *et al.*, 2003). 따라서 기후자료의 품질검정과 자료의 비동질성을 제거하고 이를 보정하는 작업은 반드시 진행되어야 할 과제이다.

최근 20년에 걸쳐 기후자료에 내재되어 있는 문제점을 검출하고 비동질한 요인을 정의한 후 이를 제거하는 연구가 미국, 스페인, 캐나다, 중국, 불가리아, 크로아티아, 우루과이 등지에서 이루어졌으며, 보정된 기후자료는 다양한 기후변화 연구에 이용되고 있다(Peterson *et al.*, 1998; Costa and Soares, 2009). 미국 기후자료센터(National Climatic Data Center, NCDC)는 전구기후네트워크(Global Daily Climatology Network, GDCN) 자료 및 미국기후네트워크(United States Historical Climatology Network, USHCN) 자료의 품질검정 및 동질성 검증을 수행하였으며, 1971~2000년 미국 기후평년값 생산 과정에서 자료의 동질성 검증 및 보정을 실시하였다(Reek *et al.*, 1992; Peterson and Vose, 1997; National Climatic Data Center, 2002). 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO) 산하의 세계기후자료와 모니터링 계획(World Climate Data and Monitoring Programme, WCDMP)은 100년 이상의 기온자료를 보유한 스페인의 22개 관측지점을 대상으로 일 보정자료 생산을 위한 지침서를 발간하였다(WMO, 2008). 또한 Staudt *et al.*(2007)과 Martínez *et al.*(2010)은 스페인의 월자료와 일자료의 동질성 검증을 통해 보정된 값으로 기온의 변화경향을 파악하였다.

기온자료의 동질성 검증 및 보정에 관한 연구는 캐나다에서도 수행되었다. Vincent(1998)와 Vincent *et al.*(2002)은 기온자료 동질성 검증과 연자료, 월자료, 일자료 보정 방법을 제시하였고 이를 기초로 기온변화 경향과 극한기후사상의 분석연구를 수행하였다(Vincent *et al.*, 1999; Bonsal *et al.*, 2001; Vincent and Mekis, 2006). 아시아에서는 중국에서 가장 많은 연구가 진행되었으며(Feng and Qian, 2004; Li *et al.*,

2004; Li and Dong, 2009; Li and Yan, 2009a; 2009b), 불가리아(Syakova and Stefanova, 2008), 크로아티아(Pandžić and Likso, 2010), 우루과이(Rusticucci and Renom, 2008)에서도 기온자료의 동질성 검증 및 보정에 관한 연구가 이루어졌다.

하지만 우리나라는 이에 대한 연구가 부족하다. 대부분이 불연속점 발생연도 추정에 관한 연구였으며 품질검정과 동질성 검증 후 보정에 관한 연구는 시도되지 않았다. Choi *et al.*(2003)은 도시 바이어스의 크기를 정량적으로 추정함으로써 바이어스를 보정한 기온자료를 생산하였다. Oh *et al.*(2001)은 MASH(Multiple Analysis of Series for Homogenisation) 프로그램을 이용하여 기온자료 결측값의 복원을 수행했으며, Ryoo *et al.*(2006, 2007)은 이중위상 회귀모형법(two-phase regression model)을 이용하여 관측지점 및 통계지침의 변경으로 인한 불연속성을 분석하였다. 풍속과 증발량에서 관측지점의 이전 시그널이 나타났고, 기온은 나타나지 않았으며, 일평균기온 산출방법의 변경으로 불연속성이 나타났음을 밝혔다. 국립기상연구소는 5개 지방기상청(강원, 광주, 대전, 부산, 제주)에 대하여 관측 환경 변화가 기온자료에 미치는 영향과 이중위상 회귀모형법을 이용하여 불연속점 발생연도를 조사하였다(National Institute of Meteorological Research, 2001; 2003a; 2003b; 2004; 2005). Korea Meteorological Administration(2010)과 Lee *et al.*(2010)은 부산을 사례로 기온자료에 적용할 품질검사 알고리즘과 이에 적용되는 기준값 및 도출 방법을 제시하였다. 기후자료의 품질검정과 비동질성 검증 및 보정 연구는 매우 중요함에도 불구하고 우리나라는 품질검정에서 보정까지 체계적으로 수행된 연구는 없다. 따라서 본 연구에서는 기온자료의 품질검정 후 동질성 검증 및 보정에 대한 체계적인 절차를 제시하고, 월 및 연평균기온의 보정을 수행하여 정확한 기온변화특성 및 경향을 파악하고자 하였다.

2. 연구자료 및 연구방법

1) 연구자료

2010년 현재 기상청의 지상기상관측은 77개소의 종관기상관측소(Automated Synoptic Observing System, ASOS)와 464개소의 자동기상관측소(Automated Weather System, AWS)에서 수행되고 있다. 종관기상관측망은 지방청, 기상대, 관측소에 설치되어 있으며 평균 36km의 공간해상도를 가지고 있다 (<http://kma.go.kr/>). Figure 1은 연도별 우리나라 종관기상관측망의 변화를 나타낸 것이다. 1904년에 인천, 부산, 목포에서 기상관측이 시작되었고 현재까지 100년이 넘는 기후자료를 보유하고 있는 관측지점은 서울, 인천, 대구, 부산, 목포 등 5개 지점이다. 1950년까지 15개 지점에서 관측이 수행되었으나 부산, 목포, 대구를 제외한 12개 지점은 전쟁기간의 자료가 존재하지 않는다. 1973년에는 기존에 설치된 지점 수보다 두 배 이상인 35개 지점이 신설되어 공간해상도가 크게 향상되었다. 안동은 1973년부터 관측을 수행하여 1978년에 폐쇄되었다가 1981년부터 다시 관측을 재개하여 현

재에 이르고 있다.

1971년부터 자료가 존재하는 지점 수는 24개 밖에 되지 않아 상세한 공간해상도를 제공하지 못한다. 1973년 이후 현재까지 결측값이 없는 지점 수는 57개이다.

WMO(2010)에 의하면 동일한 결측수가 존재하더라도 일정 기간 동안 연속적으로 발생한 결측이 불연속적으로 발생했을 경우보다 평년값에 더 큰 바이어스를 발생시킨다. WMO(1989)는 일자료의 결측이 연속적으로 3일 이상 발생했을 경우 월평균, 연평균값을 계산할 수 없으며 평년값도 산출할 수 없다고 제시하였다. 하지만 최근 발간된 WMO(2010)에 의하면 결측값이 10일 이하이거나 5일 이상 연속적으로 결측이 발생하지 않았다면 월평균, 연평균, 평년값을 산출할 수 있다고 기준을 완화하였다. 따라서 1973년부터 기온자료가 존재하는 양평은 1990년 9월 11일에서 14일까지 4일의 일최고기온과 1990년 9월 12일에서 14일까지 3일의 일최저기온이 연속적으로 결측되었지만, 1990년 9월의 월평균값을 산출하여 분석에 이용하였다. 또한 1993년 12월 3일 영덕의 일최고기온, 1982년 6월 8일 남해의 일최고기온, 일최저기온, 2008년 12월 17일, 18일 의성의 일평균기온이 1~2회 결측되었지만 월평

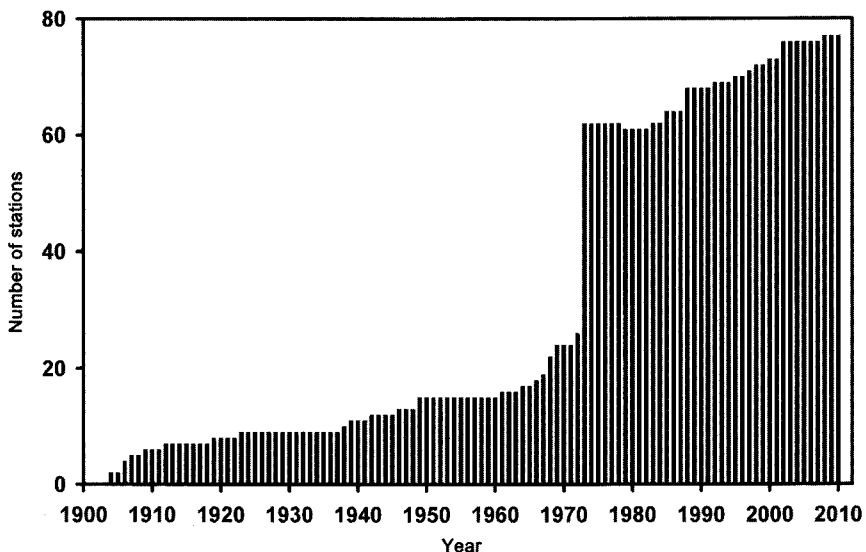


Figure 1. Time evolution of synoptic observation stations. 종관기상관측망의 연변화

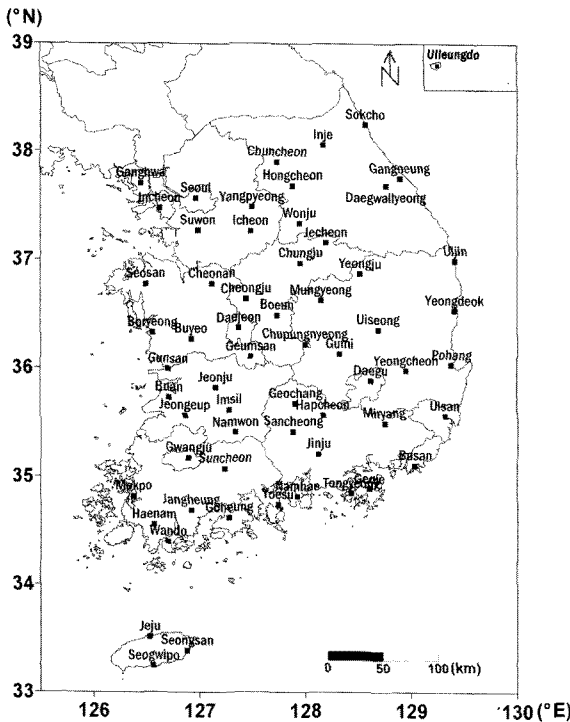


Figure 2. The location of 61 weather stations selected for the study. 연구에 사용된 61개 관측지점의 위치

균값을 산출하였다. 또한 WMO(2004)는 동질성 검증을 위한 자료 기간이 40년 정도가 적절하다고 권장하고 있다. 따라서 1973년부터 2009년의 기온자료가 존재하는 양평, 영덕, 남해를 포함한 61개 관측지점의 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온을 이용하였다 (Figure 2).

불연속점 발생연도와 관측과 관련한 변경 이력을 비교하기 위해 관측지점의 이전, 관측방법의 변화, 관측 장비 교체, 자료처리 방법의 변화 등을 기록한 메타자료를 이용하였다. 이러한 메타자료는 Meteorological stations circumstance(Korea Meteorological Administration, 1995), The history of meteorological statistics(Korea Meteorological Administration, 2001), 각 지방기상청에서 수행한 기상관측 역사에 대한 보고서(National Institute of Meteorological Research, 2001; 2003a; 2003b; 2004; 2005)에서 제공한 자료로부터 수집하였다. 기온자료 동질성 검증에서

Durbin-Watson 검정 및 잔차의 지연상관 분석은 체코의 Petr Štěpánek이 개발한 AnClim 소프트웨어를 이용하였다.

2) 연구방법

(1) 품질검정과 기준시계열 산출

기온자료 동질성 검증 및 보정 전에 61개 지점의 1973~2009년 일평균기온, 일최저기온, 일최고기온을 대상으로 품질검정을 실시하였다. 품질검정은 Feng and Qian(2004)과 Lee *et al.*(2010)이 제시한 절차를 이용하였다. 검정 단계별로 극한값검사(high-low extreme check for daily values), 내적일치성검사(internal consistency check), 기후범위검사(temporal outliers check)를 적용하였다. 이는 명백하게 드러나는 자료의 구조적인 오류를 먼저 검출한 후, 시간적 비교를 통해 잠재해 있는 의심자료를 검출하기 위함이다 (Lee *et al.*, 2010).

비동질성의 크기가 실제 기후변동성과 같거나 작을 때 비동질성을 탐지하고 보정하는 것은 매우 어려운 작업이다. 이러한 이유로 동질성 검증 대상 관측지점의 변동성을 포함하고 있으면서 인위적인 요인으로 발생한 바이어스가 시계열에 반영되어 있지 않은 동질한 시계열인 기준시계열(reference series)을 생산하여 동질성 검증 대상 관측지점과 비교하는 방법이 WMO에서 권고되었다(Aguilar *et al.*, 2003).

기준시계열과 검증하려는 시계열의 비교를 통해 동질성 분석이 이루어진다. 기준시계열의 생산은 동질성 검증 대상 주변의 관측지점 자료를 이용하는데, 본 연구에서는 Peterson and Easterling(1994)이 제시한 방법을 일부 수정하여 이용하였다. 이 방법은 동질성 검증 대상 관측지점과 주변 관측지점의 연평균기온, 연평균최고기온, 연평균최저기온에 대하여 각각 상관분석을 수행하고 변수별로 상관성이 높은 5개 관측지점을 선정한다. 하지만 이 방법을 본 연구에 그대로 적용할 때, 예를 들어 서울의 경우 거리가 너무 멀고, 기후 차이가 크게 나타나는 여수가 선정되는 문제점이 발생하게 되므로, Peterson and Easterling(1994)의 방법 적용 전에 먼저 거리상 가까운 10개 지점을 선정한 후

이 중에서 상관성이 높은 5개 관측지점을 선정하였다. 선정된 5개 관측지점의 월 및 연 시계열에 다음연도의 값(T_{i+1})에서 해당연도의 값(T_i)을 뺀 시계열(FD)을 만든다(식 1).

$$FD_i = T_{i+1} - T_i \quad (\text{식 1})$$

식 1로 생성된 시계열의 기간은 36년이다. 5개 관측지점의 월별 FD 와 연 FD 를 대상으로 동일 연도의 월 및 연 값 중 가장 큰 값과 작은 값을 제거하고 나머지 3개의 값을 평균하여 단일의 월 및 연 시계열을 구축한다. 연구기간은 37년이지만 식 1을 통해 2009년 값은 생산될 수 없으므로 시계열의 마지막 2009년에는 검증 대상 관측지점의 월 및 연평균기온을 대입하고 식 2의 형식으로 시계열을 바꾼다. 이를 1973~2000년 평균값에 대한 아노말로리로 전환하면 기준시계열이 산출된다.

$$T_i = T_{i+1} - FD_i \quad (\text{식 2})$$

Peterson and Easterling(1994)의 방법은 검증 대상 관측지점의 시계열과 상관관계가 높은 5개 지점을 선정하여 기준시계열을 생산한다는 점에서 단순히 검증 대상 관측지점과 거리상으로 가까운 관측지점의 시계열을 기준시계열로 선정하는 방법보다 객관적이다. 또한 단일 관측지점이 아닌 5개 관측지점의 시계열 중 비동질성을 내포할 가능성이 존재하는 양 극값을 제거하여 보다 동질한 기준시계열을 생산한다는 장점이 있다. 이 방법은 WMO의 메타자료와 동질성에 대한 지침에 적용되었고(Aguilar *et al.*, 2003), 미국기후네트워킹 자료의 동질성 검증과 1971~2000년 기후평년값 생산 과정(Peterson and Vose, 1997; National Climatic Data Center, 2002)과 NCEP/NCAR(National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) 재분석 자료의 동질성 검증에도 활용되었다(Sturaro, 2003).

(2) 동질성 검증 및 연·월평균기온 보정

Vincent(1998)가 제시한 동질성 검증 방법은 보정 이전에 메타자료에 의하여 관측과 관련한 변경 이력을

인식할 필요 없이 불연속점 발생 시기의 유추를 가능하게 하였다. 단지 메타자료는 비동질한 것으로 인식된 시계열의 불연속점 발생연도에서 어떠한 변화가 있었는지를 비교하기 위한 자료로 사용될 뿐 동질성 여부의 판단 과정에는 이용되지 않는다. 이러한 방법을 바탕으로 Vincent *et al.*(2002)은 연·월평균기온 뿐만 아니라 일기온자료까지 보정하여 보다 정확한 극한기온사상의 변화경향 분석을 가능하게 하였다. 따라서 본 연구에서는 품질검정을 수행한 일기온자료에 Vincent(1998)와 Vincent *et al.*(2002)이 제시한 방법을 적용하여 기온자료의 동질성 검증과 연·월평균기온의 보정을 수행하였다. 이 때 연평균기온의 1973~2000년을 기준으로 한 아노말리를 구하고 동질성 여부를 결정하기 위해 식 3을 연평균기온에 적용하였다.

$$y_i = a_1 + c_1 x_i + e_i \quad i=1, \dots, n, \quad (\text{식 3})$$

y_i 는 연평균기온의 아노말리, x_i 는 기준시계열, i 는 연도, e_i 는 해당 연도의 잔차를 나타낸다. 동질성 여부는 식 3의 회귀모델에서 잔차(e_i) 분포를 통해 판단할 수 있다. 잔차가 $y=0$ 선 주변에서 무작위한 패턴이지만 고르게 진동한다면 회귀모델은 자료를 잘 설명하며 이러한 경우 검증하고자 하는 자료는 동질하다고 할 수 있다. 반면에, 잔차의 분포가 $y=0$ 선을 기준으로 양(+) 또는 음(-)의 한 측면에서 연속적으로 집중하여 분포한다면 회귀모델은 자료를 잘 설명하지 않는 모델이며 이러한 경우 비동질한 자료로 추정한다. 이때 잔차 간에 유의한 상관관계가 나타나게 되는데 이를 잔차의 자기상관이라고 하며 자기상관의 존재 유무를 검출하여 동질성 여부를 먼저 판단하는 기준이 된다. 이를 위해 Durbin-Watson 검정을 실시하였다. Durbin-Watson 검정은 식 4를 통해 산출된 D값과 이미 제시되어 있는 D값의 상한치 및 하한치를 비교하여 자료의 동질성 여부를 판단하는 방법이다.

$$D = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (\text{식 4})$$

D값이 하한치보다 작으면 잔차의 유의한 자기상관이 존재하여 비동질한 시계열로 판단한다. D값이 상한치보다 크면 잔차의 유의한 자기상관이 없어서 동질한 시계열로, D값이 하한치 이상과 상한치 이하 사이라면 동질성 여부는 결정할 수 없다. 이때 잔차의 지연상관(lag correlation) 분석을 통해 동질성 여부를 확정짓는다. 잔차와 여러 지연에 대한 상관계수를 나타낸 자기상관함수를 파악한다. 자기상관함수에서 지연이 0일 때 자기상관계수는 1이고, 지연이 0 초과일 때 자기상관계수의 절대값은 1미만이다. 자기상관함수를 나타낸 상관도표에서 95% 신뢰구간은 $\pm 2n^{-1/2}$ 이다. 95% 신뢰구간을 벗어난 자기상관계수가 낮은 값의 지연에서 연속적으로 나타난다면 동질하지 않은 시계열로 판단한다.

동질한 것으로 판정된 시계열은 이후 더 이상의 과정을 수행하지 않으며, 비동질한 것으로 판정된 시계열은 식 5를 적용시킨다.

$$y_i = a_1 + b_2 I + c_1 x_i + e_i \quad i=1, \dots, n$$

$$I = \begin{cases} 0, & i=1, \dots, p-1 \\ 1, & i=p, \dots, n \end{cases} \quad (\text{식 5})$$

이때 불연속점 발생연도에 대한 정보가 없으므로 1973년부터 각 연도를 불연속점 발생연도 p 로 가정하여 연속적으로 식 5에 적용한 회귀식을 산출한다. 불연속점 발생연도 p 로 가정한 37개의 연도별 회귀식 중 오차제곱합이 최소로 나온 연도를 불연속점 발생연도로 선택하고 불연속점 발생연도 이전 연도는 비동질한 자료로 판정한다. 이렇게 선택된 불연속점 발생연도 p 에 대하여 식 5를 각 월에 적용한 회귀식을 산출하고, 월별로 산출된 b_2 를 불연속점 이전 연도의 월평균기온에 더하여 월평균기온이 보정된다. 보정한 월평균기온을 평균하여 연평균기온도 보정된다. 보정 전·후 계절별 평균기온 분석을 위해 봄은 3·4·5월, 여름은 6·7·8월, 가을은 9·10·11월, 겨울은 12월과 다음 해 1·2월의 월평균기온을 각각 평균하였으며, 2009년 겨울은 연구기간을 벗어나므로 겨울은 다른 계절보다 연구기간이 한 해 짧았다. 연평균기온 및 계절별 평균기온의 보정 전·후의 변화경향 차이는 t검정을 사용하여

유의성을 검정하였다.

3. 연구결과

1) 품질검정과 동질성 검증

극한값검사, 내적일치성검사, 기후범위검사를 통하여 34개 지점, 총 73일의 일자료에서 오류 또는 의심자료가 검출되었다. 극한값검사로 검출된 일자료는 없었으며 내적일치성검사의 내적불일치성검사를 통해 총 6일, 기후범위검사에서 총 67일의 일자료가 오류 또는 의심자료로 확인되었다. 기후범위검사를 통해 검출된 총 67일의 모든 의심자료를 전날과 다음날, 그리고 주변 관측소의 자료와 비교해 본 결과, 모두 오류라고 판정하기 어려워 오류자료로 분류하지 않았다. 내적불일치성검사를 통해 검출된 일자료는 구조적으로 명백한 오류가 존재한다(Table 1). 5개 지점에서 검출된 총 6일의 오류자료를 살펴보면 강릉은 2일 모두 일평균기온이 일최고기온보다 높았고, 부여, 밀양, 남해에서는 일평균기온이 일최저기온보다 낮았다. 순천에서는 일최고기온과 일최저기온이 같은데, 일평균기온은 두 기온보다 높았다. 이러한 오류들은 모두 연구기간 초기에 발생한 것으로서 관측원부에 잘못 기입한 입력오류로 판단된다.

Table 2는 지점별 동질성 검증 결과로서 동질성의 여부, 비동질한 지점의 불연속점 발생연도, 관측지점 이전 연도를 나타내었다. 연평균기온은 전체의 11.5%인 7개 지점, 연평균최고기온은 6.6%인 4개 지점, 연평균최저기온은 4.9%인 3개 지점이 동질한 시계열로 판정되었다. 속초와 울릉도에서는 연평균기온, 연평균최고기온이 동질한 시계열이었고, 성산은 1991년 관측지점 이전 이력이 있음에도 불구하고 연평균기온, 연평균최고기온, 연평균최저기온 모두 동질한 시계열로 나타났다. Syrakova and Stefanova(2009)에 의하면 기후자료에서 발생하는 대부분의 비동질성은 관측지점의 이전에 의해서 발생한다. 따라서 동질성 검증을 통해 나타난 각 지점별 불연속점 발생연도와 실제 관

측과 관련한 이전 이력을 비교하기 위하여 지점별 메타자료를 이용하였다. 고품질의 기후자료를 제공하기 위해서는 관측지점에 관한 메타자료의 보존과 지속적인 갱신이 중요하다(Aguilar *et al.*, 2003). 하지만 대부분의 메타자료는 정보들이 부족하고 불연속점 발생의 모든 원인을 기록하고 있지 않다. 따라서 시계열에서 인위적으로 발생한 불연속점의 모든 원인을 메타자료로부터 유추하기는 대단히 어렵다. 이처럼 메타자료는 불완전하기 때문에 통계적 방법을 통해 산출된 불연속점이 메타자료와 반드시 일치할 필요는 없으며 단지 이용 가능할 경우 산출된 불연속점을 설명하는 보강 자료로서 도움이 되는 역할을 한다. 따라서 상세하고 표준화가 잘 이루어진 메타자료가 있더라도 통계적인 동질성 검증 방법을 적용하는 것이 권고된다(Vincent, 1998; Aguilar *et al.*, 2003).

1973년 이후 관측지점 이전 이력이 있는 곳은 61개 중 38개로서 전체의 62%를 차지한다. 대관령, 충주, 완도, 진주, 문경, 영덕의 6개 지점에서는 이전 이력이 2회이며, 영주에서는 총 4회의 이전 이력이 있다. 가장 최근에 이전한 지점은 대관령(2006년 11월)과 진주(2005년 11월)이다. 불연속점 발생연도와 관측지점 이전 연도 비교 시 두 연도가 일치한 때부터 2년 지연기간의 불연속점 발생연도까지를 관측지점 이전 이력이 영향을 미친 지점으로 판단하였다. 관측지점 이전 이력이 있는 38개 지점 중 66%인 25개 지점에서 연평균 기온, 연평균최고기온, 연평균최저기온 중 1개 이상에서 관측지점 이전 연도가 불연속점 발생연도에 영향을 미친 것으로 나타났다.

연평균기온은 13개 지점, 연평균최고기온은 20개 지점, 연평균최저기온은 13개 지점에서 관측지점 이전 연도가 불연속점 발생연도에 영향을 미친 결과를 보였고, 연평균최고기온에서 가장 잘 일치한 결과를 나타냈다. 속초에서는 연평균기온과 연평균최고기온이 동일한 시계열로 판정되었으나, 관측지점 이전 연도인 1989년과 연평균최저기온의 불연속점 발생연도가 서로 일치하였다. 충주, 군산, 완도, 진주, 제천, 문경, 구미에서 연평균기온, 연평균최고기온, 연평균최저기온 모두 관측지점 이전 연도와 불연속점 발생연도가 일치하였다.

2000년 1월은 모든 종관기상관측소의 관측장비가 일괄적으로 아날로그 방식에서 자동화된 ASOS로 전환된 때였다. 취득한 메타자료에 2000년 ASOS로의 변경이 기록되어 있으나, 그 이전 시기의 아날로그 장비 변경에 관한 것은 상세하게 기록되어 있지 않아서 2000년 이전의 장비변경과 불연속점 발생연도와의 비교는 불가능하였다. 관측지점 이전의 경우와 마찬가지로, 서로 일치한 때부터 2년 지연기간까지인 2000~2002년까지 장비변경의 영향이 불연속점 발생연도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 전체의 20%인 12개 지점에서 불연속점 발생연도에 장비변경의 영향이 검출되었으며, 관측 지점 이전 이력이 없는 23개 지점 중 30%인 7개 지점이 검출된 12개 지점에 속했다. 8개 지점에서 연평균기온, 연평균최고기온, 연평균최저기온 중 2개의 변수에서 장비변경 영향이 검출되었다. 이 중에서 대관령, 서산, 해남의 3개 지점에서는 관측 지점 이전 이력에도 불구하고 2개의 변수에서 장비변경의

Table 1. Information for the detected erroneous value(s) by stations. 지점별로 검출된 오류자료

Station	Time for erroneous value(s) (year. month. day.)	Daily mean temperature(°C)	Daily maximum temperature(°C)	Daily minimum temperature(°C)
Gangnung	1973. 6. 3.	23.2	19.2	9.9
	1973. 6. 6.	23.3	19.6	14.6
Buyeo	1973. 3. 10.	4.2	16.9	4.8
Suncheon	1975. 1. 22.	1.2	-1.3	-1.3
Miryang	1974. 2. 7.	-0.5	3.8	-0.2
Namhae	1973. 5. 11.	16.1	21.2	16.2

Table 2. Results for homogeneity test and data for station relocation(s). 동질성 검증 결과 및 관측지점 이전 연도

Station	Temperature			Time for station relocation(s) (year. month.)	Station	Temperature			Time for station relocation(s) (year. month.)
	Annual mean	Annual mean maximum	Annual mean minimum			Annual mean	Annual mean maximum	Annual mean minimum	
Sokcho	H	H	1989	1989.1.	Ganghwa	1993	1990	1993	1989.12.
Daegwallye- ong	2001	2001	1980	1986.8. 2006.11.	Yangpyeong	1988	1992	1987	1991.12.
Chuncheon	1994	1998	1995		Icheon	1997	1998	1997	1994.6.
Gangneung	2001	2002	H		Inje	1992	1992	1993	
Seoul	2005	2003	2005		Hongcheon	1987	1989	1982	1989.1.
Incheon	2000	1997	2000		Jecheon	1993	1993	1993	1993.1.
Wonju	1988	2003	1986	1985.10. 1986.11.	Boeun	1992	1992	2004	1986.12.
Ulleungdo	H	H	1999		Cheonan	1998	1998	1998	2000.1.
Suwon	1990	2001	1984		Boryeong	H	2004	1996	1995.11.
Chungju	1994	1995	1994	1993.11. 2001.6.	Buyeo	1988	1997	1994	
Seosan	2000	2006	2000	1997.12.	Geumsan	1995	1976	1988	
Ulsan	H	1978	1984	1977.9.	Buan	2006	1995	2006	1987.12.
Cheongju	1992	1996	1993		Imsil	1978	2003	1985	1986.12.
Daejeon	2005	2005	1989	1995.1.	Jeongeup	1998	1993	1991	
Chupungnye- ong	2000	1979	2000		Namwon	1994	1993	1981	1992.11.
Pohang	2002	1981	1986		Suncheon	1976	1985	1979	
Gunsan	2003	2004	2003	2003.12.	Jangheung	1995	1995	2003	1994.12.
Daegu	1987	1996	1992		Haenam	2006	2002	2001	1993.12.
Jeonju	2006	1978	2002		Goheung	1991	1996	1984	1995.11.
Ulsan	2006	2002	1986		Yeongju	2001	1983	1992	1977.9. 1982.4. 1991.5. 1991.12.
Gwangju	1998	1984	2005	1992.1.	Mungyeong	1988	1988	1988	1981.11. 1987.12.
Busan	2002	2004	2002		Yeongdeok	1993	1994	1990	1973.3. 1993.12.
Tongyeong	H	1986	1995	1993.12.	Uiseong	1987	2006	1987	
Mokpo	2004	1998	1983	1997.10.	Gumi	1995	1994	1995	1994.11.
Yeosu	2005	2005	2005		Yeongcheon	2003	1987	1982	1986.12.
Wando	1997	1983	1997	1983.1. 1996.6.	Geochang	2005	2005	H	
Jeju	1995	H	1988		Hapcheon	H	2002	1986	1992.12.
Seongsan	H	H	H	1991.1.	Miryang	1979	1983	1992	1985.11.
Seogwipo	2000	2000	1994		Sancheong	1989	1990	2005	1989.12.
Jinju	1981	1981	1981	1981.1. 2005.11.	Geoje	1996	1995	2005	1995.12.
					Namhae	1999	2005	1980	1990.12.

H: homogeneous series, ■: correspondence with change of ASOS, ■: correspondence with station relocation

영향이 나타났다. 전반적으로 불연속점 발생연도에 관측지점의 이전보다 2000년 ASOS 장비변경의 영향이 더 적었던 것으로 추정된다.

2) 보정 전 · 후의 변화경향 분석

(1) 연평균기온

비동질한 것으로 판정된 시계열을 대상으로 보정을 실시하고 보정 전 · 후의 변화경향을 비교 · 분석하였다. 월평균기온을 보정하고 보정된 1~12월값을 평균하여 연평균기온도 보정하였다. 먼저 61개 지점을 평균한 연평균기온, 연평균최고기온, 연평균최저기온의 연기온 보정 전 · 후의 변화경향과 평균기온을 살펴보았다. 모든 연기온은 보정 전 · 후에 통계적으로 유의하게 증가하는 경향을 보였다(Table 3, Figure 3). 하지만 보정 이후에 모든 연기온의 증가 규모는 커졌다. 이와 같은 결과는 보정을 위해 식 5에서 음의 b_2 가 불연속점 발생연도 이전 시계열에 더해져 이 부분의 보정된 기온이 보정 이전보다 낮아짐에 따라 보정 이후

에 증가 규모가 커진 것이다(Figure 3). 연평균기온의 보정 전 · 후 증가 규모의 차이는 10년에 0.05°C($\alpha=0.01$ 에서 유의)로서 보정 이후에 커졌다. 마찬가지로 연평균최고기온과 연평균최저기온은 각각 0.06°C, 0.04°C 커졌다($\alpha=0.01$ 에서 유의). 이에 따라 보정 이전에는 연평균최저기온의 증가 규모가 가장 컸으나(0.33°C/10년), 보정 이후에는 연평균최고기온이 가장 컸다(0.38°C/10년).

지점별로 연기온의 보정 전 · 후 변화경향을 살펴본다. 그림에서 닫힌 삼각형은 통계적으로 유의($\alpha=0.05$)한 변화이며, 열린 삼각형은 통계적으로 유의하지 않은 변화를 나타낸다. 연평균기온의 지점별 변화경향의 경우 보정 전에 문경을 제외한 60개 지점에서 증가 경향을 보였으나 보정 후에는 61개 모든 지점이 증가 경향을 보였으며 42개 지점에서 보정 이후에 증가 규모가 커진 것으로 나타났다(Figure 4).

연평균최고기온의 지점별 변화경향은 보정 전에 목포, 고흥, 문경의 세 지점을 제외한 58개 지점에서 증가 경향을 보였으나 보정 후에는 연평균기온과 마찬가지로

Table 3. Trends for before and after the adjustment of annual temperature series for the Republic of Korea. 우리나라 연기온의 보정 전 · 후 변화경향

Temperature	Trend(°C/10years)		Difference (After-Before)
	Before adjustment	After adjustment	
Annual mean	0.28*	0.33*	0.05*
Annual mean maximum	0.32*	0.38*	0.06*
Annual mean minimum	0.33*	0.37*	0.04*

*significant at $\alpha=0.01$

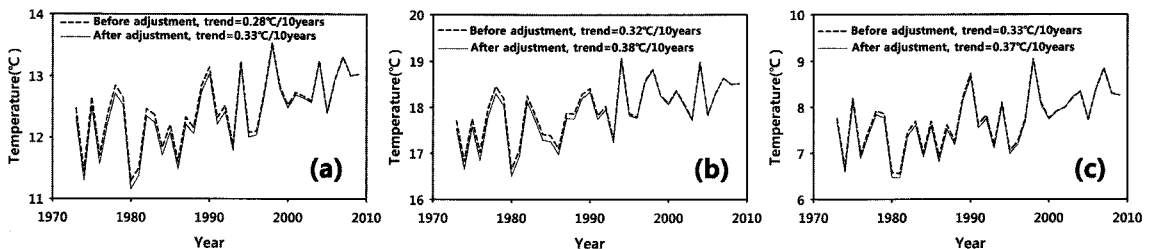


Figure 3. Variations for before and after the adjustment of annual temperature series for the Republic of Korea. (a) annual mean temperature, (b) annual mean maximum temperature and (c) annual mean minimum temperature. 우리나라 연기온의 보정 전 · 후 변화. (a) 연평균기온, (b) 연평균최고기온, (c) 연평균최저기온

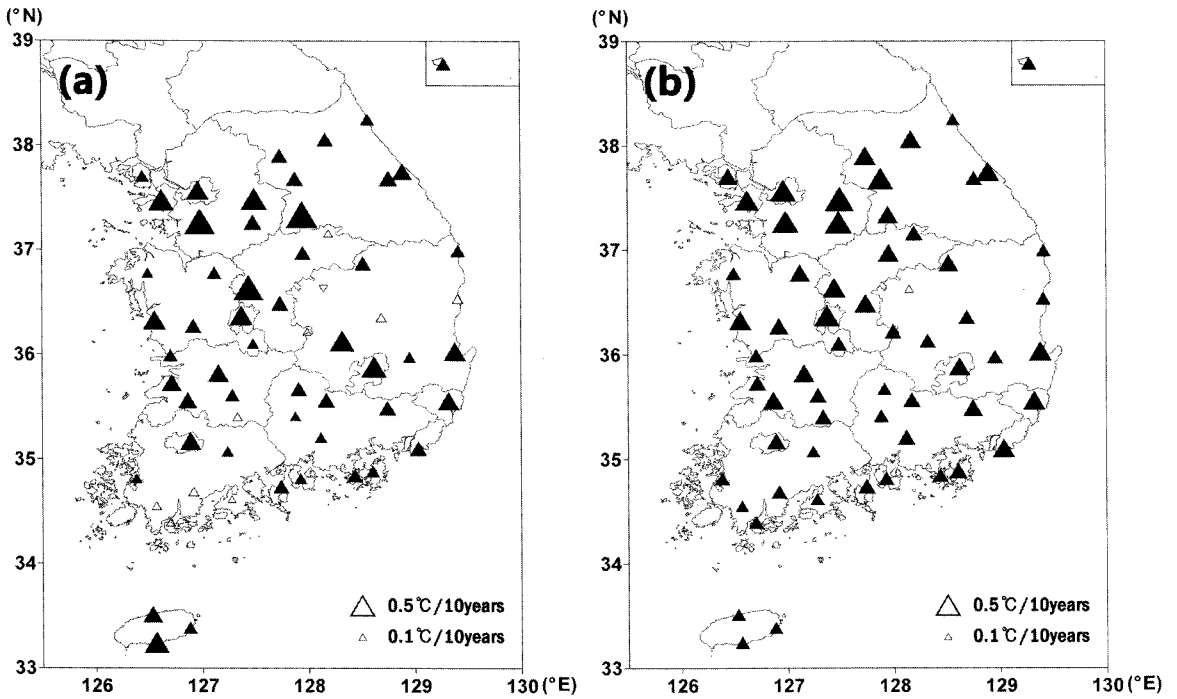


Figure 4. Changing trends for the annual mean temperature (a) before and (b) after the adjustment. (▲: significant increase, ▼: significant decrease, △: insignificant increase, ▽: insignificant decrease)
 61개 관측지점에서의 연평균기온의 보정 전(a)·후(b) 변화경향. (▲: 통계적으로 유의한 증가, ▼: 통계적으로 유의한 감소, △: 통계적으로 유의하지 않은 증가, ▽: 통계적으로 유의하지 않은 감소)

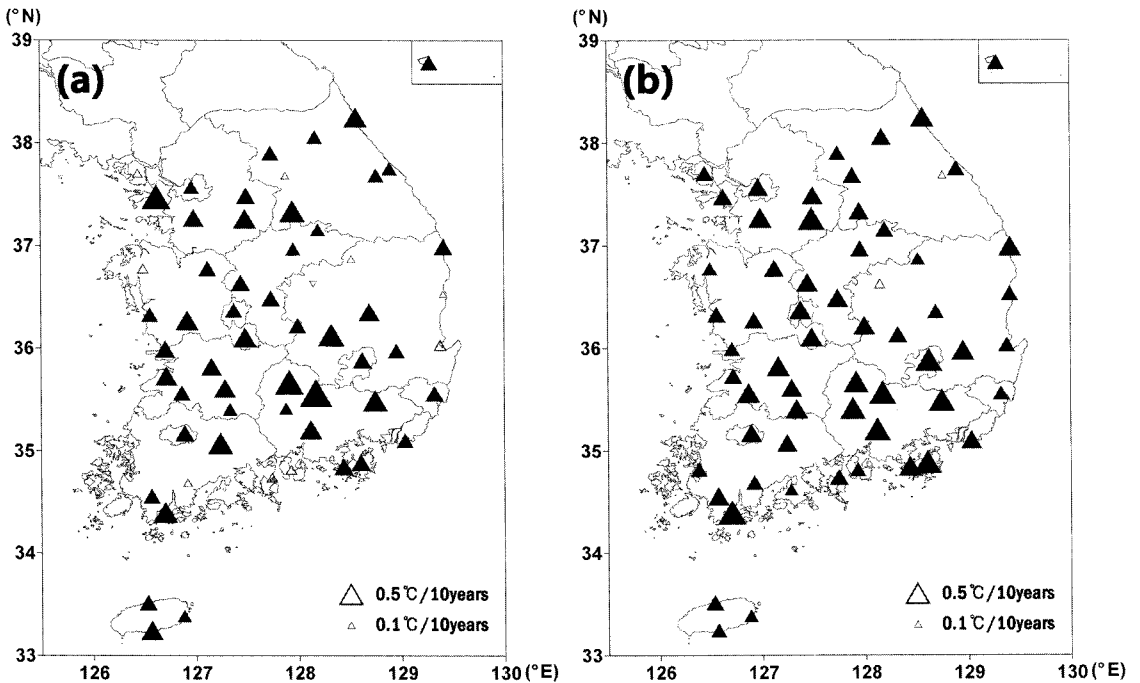


Figure 5. Changing trends for the annual mean maximum temperature (a) before and (b) after the adjustment.
 61개 관측지점에서의 연평균최고기온의 보정 전(a)·후(b) 변화경향

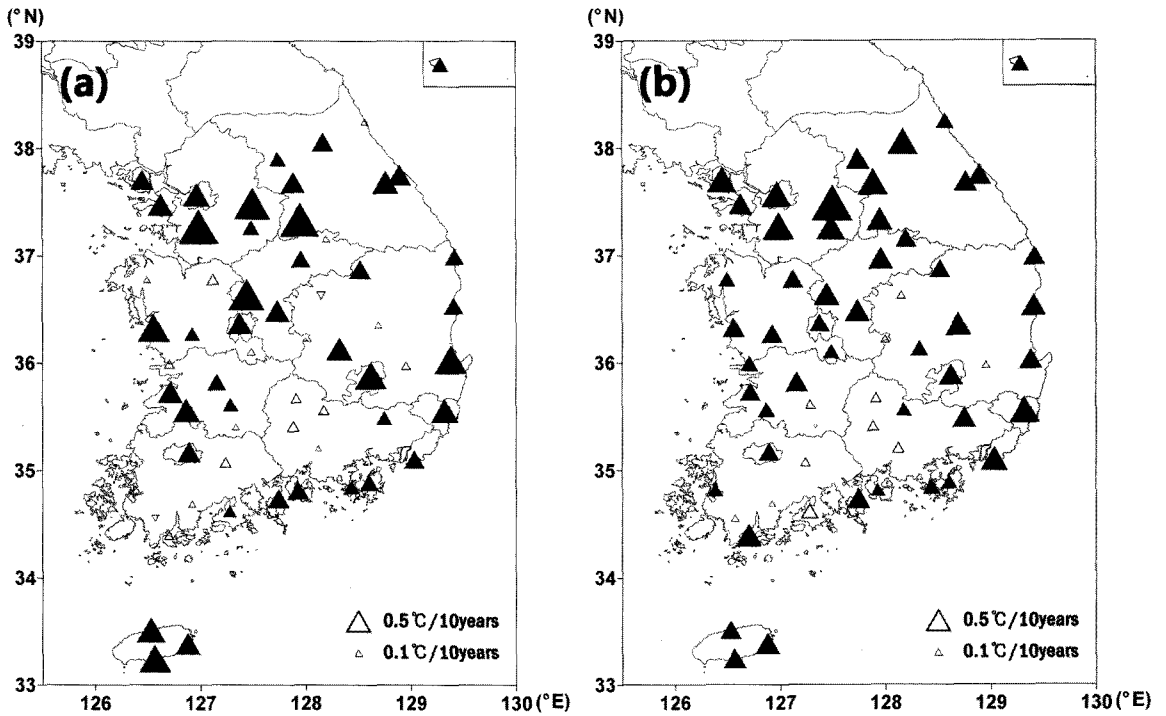


Figure 6. Changing trends for the annual mean minimum temperature (a) before and (b) after the adjustment.
61개 관측지점에서의 연평균최저기온의 보정 전(a)·후(b) 변화경향

Table 4. Trends for before and after the adjustment of seasonal temperature series for the Republic of Korea.
우리나라 계절별 기온의 보정 전·후 변화경향

Season	Temperature	Trend(°C/10years)		Difference (After-Before)
		Before adjustment	After adjustment	
Spring	mean	0.30**	0.34**	0.04**
	mean maximum	0.39**	0.45**	0.06**
	mean minimum	0.30**	0.34**	0.04**
Summer	mean	0.06	0.11	0.05**
	mean maximum	0.10	0.16	0.06**
	mean minimum	0.19	0.21	0.02**
Fall	mean	0.31*	0.36**	0.05**
	mean maximum	0.26*	0.33**	0.07**
	mean minimum	0.36*	0.39**	0.03**
Winter	mean	0.56**	0.61**	0.05**
	mean maximum	0.58**	0.62**	0.04**
	mean minimum	0.54**	0.58**	0.04**

**significant at $\alpha=0.01$, *significant at $\alpha=0.05$

지로 61개 모든 지점이 증가 경향을 보였으며 41개 지점에서 보정 이후에 증가 규모가 커진 것으로 나타났다(Figure 5). 연평균최저기온의 지점별 변화경향은 보정 전에 해남과 문경의 두 지점을 제외한 59개 모든 지점에서 증가 경향을 나타냈으나 보정 후에는 해남과 문경은 증가 경향으로, 남원은 감소 경향으로 전환되어 60개 지점이 증가 경향을 보였으며 55개 지점에서

보정 이후 증가 규모가 커졌다(Figure 6).

(2) 계절별 평균기온

61개 지점을 평균한 계절별 평균기온, 평균최고기온, 평균최저기온의 보정 전·후 10년 변화경향과 보정 전·후의 변동성이 Table 4와 Figure 7에 제시되었다. 모든 계절에서 공통적으로 연기온과 같이 평균기

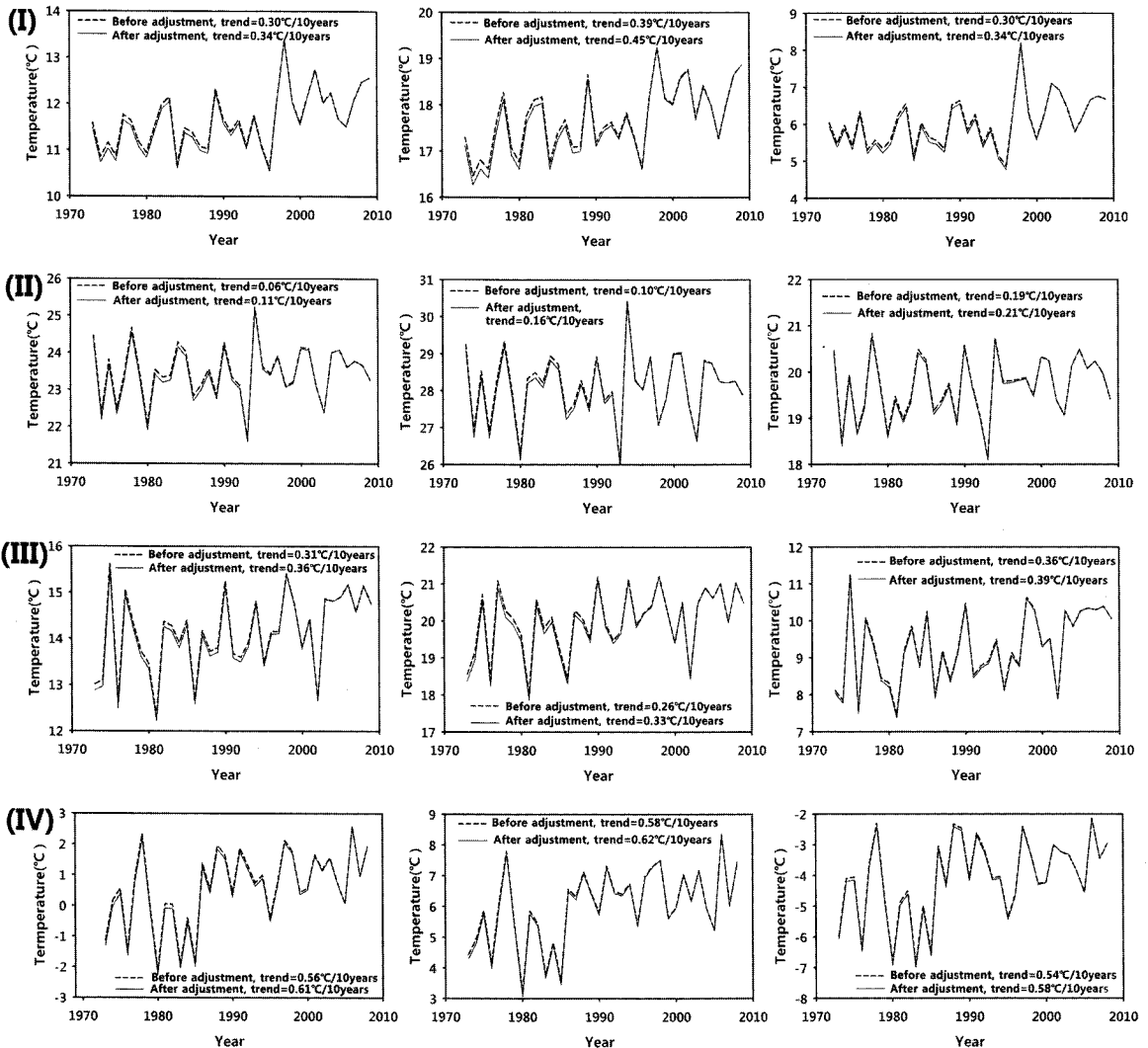


Figure 7. Variations for before and after the adjustment of seasonal temperature series in the Republic of Korea. Row: (I) spring, (II) summer, (III) fall, and (IV) winter, Column: (a) mean temperature, (b) mean maximum temperature, and (c) mean minimum temperature. 우리나라 계절별 기온의 보정 전·후 변화. 행: (I) 봄, (II) 여름, (III) 가을, (IV) 겨울, 열: (a) 평균기온, (b) 평균최고기온, (c) 평균최저기온

은, 평균최고기온, 평균최저기온 모두 보정 전·후에 증가하는 경향을 보였으며 보정 후 모든 계절에서 평균기온, 평균최고기온, 평균최저기온 모두 증가 규모는 커졌다. 이는 연기온과 마찬가지로 보정을 위해 음의 b_2 가 불연속점 발생연도 이전 시계열에 더해져 이 부분의 보정된 기온이 보정 이전보다 낮아짐에 따라 보정 이후에 증가 규모가 커진 것이다.

모든 계절의 평균기온, 평균최고기온, 평균최저기온 중 보정 전·후 가장 큰 증가 규모를 보이는 것은 겨울 평균최고기온(보정 전: $0.58^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, 보정 후: $0.62^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)이다. 보정 전·후 평균기온과 평균최저기온의 증가 규모를 계절별로 큰 순서대로 살펴보면 겨울, 가을, 봄, 여름의 순서이며, 평균최고기온은 겨울, 봄, 가을, 여름의 순서로 나타나 3개 기온 시계열 모두 겨울에서 가장 큰 증가 규모를 보였고 여름이 가장 작은 증가 규모를 나타냈다. 보정 전·후의 증가 경향 차이는 평균기온의 경우 계절별로 $0.04\sim 0.05^{\circ}\text{C}$, 평균최고기온은 $0.04\sim 0.07^{\circ}\text{C}$, 평균최저기온은 $0.02\sim 0.04^{\circ}\text{C}$ 를 보였다. 여름의 평균최저기온이 가장 작았고(0.02°C), 가을의 평균최고기온이 가장 컸다(0.07°C).

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 기온자료의 품질검정 후 동질성 검증 및 보정에 대한 체계적인 메커니즘을 제시하고, 월 및 연평균기온을 보정하여 정확한 기온변화 경향을 파악하였다. 기온자료의 품질검정에서 구조적으로 명백한 오류를 검출하는 내적불일치성 검사를 통해 5개 지점에서 총 6일의 오류자료가 나타났다. Solow(1987)의 방법을 적용한 Ryoo *et al.*(2006)의 연구는 기온에 대한 관측지점의 이전 시그널이 나타나지 않는 것으로 파악하였다. 하지만 본 연구의 동질성 검증을 통해 관측지점 이전 이력이 있는 관측지점 중 63%의 지점에서 불연속점 발생연도가 관측지점 이전의 영향을 반영한 결과로 나타났다. 기후시계열에서 발생하는 대부분의 비동질성은 관측지점 이전에 의해서 발생하므로 본 연구에서 이용한 Vincent (1998)와 Vincent *et al.*(2002)

의 방법은 선행 연구보다 우리나라 기온자료에 대한 동질성 검증에 적합하다고 판단된다.

보정 전·후의 차이는 기준시계열의 변화경향에 따라 달라진다. 따라서 적합한 기준시계열 산출 방법의 선정이 매우 중요하다. 본 연구에서 이용한 Peterson and Easterling(1994)의 방법은 본 연구의 동질성 검증 및 보정 방법에 동질한 기준시계열을 제공하여 보다 개선된 결과를 도출하는데 기여한 것으로 추정된다. 전지점을 평균한 연·계절별 평균기온, 평균최고기온, 평균최저기온 모두 보정 전·후에 증가 경향을 보였으며, 음의 보정치가 불연속점 발생연도 이전에 더해져서 보정 이후가 보정 이전 보다 증가 규모가 커졌다. 계절별 평균기온, 평균최고기온, 평균최저기온 모두 보정 전·후에 겨울이 가장 큰 증가 규모를 보였고, 여름이 가장 작았다.

기후자료의 비동질성이 발생하지 않는 방법은 관측을 동질하게 유지하는 것이다. 장기간 동안 유지되어 온 관측지점의 기후자료가 분석에 적용하려면 불연속성이 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다. 이에 따라 관측지점은 피할 수 없는 최소한의 변화만을 허용하도록 권고되었다(Aguilar *et al.*, 2003). 그 동안 우리나라의 기상관서에서는 이러한 노력이 부족했던 것이 사실이다. 만약 불가피한 사안에 의해서 관측과 관련한 변화가 일어날 때, 장기간의 비교관측이 필수적이고 정확한 메타자료의 생산이 요구되며, WMO에서 권고한 대로 과거 메타자료의 복원과 규격화가 이루어져야 할 것이다. 또한 기후의 평균상태뿐만 아니라 극한 상태의 정확한 파악이 에너지, 수자원, 보건, 방재 등에 필수적이다.

향후 연구에서는 61개 지점의 일기온자료를 보정하고 기온과 관련한 극한기후지수를 이용하여 보정 전·후 변화경향의 지역별 특성을 파악하는 것이 필요하다. 이러한 품질검정 후 동질성 검증 및 보정을 통해 생산한 고품질 기후자료는 더 정확한 기후변화 규모의 분석을 가능하게 할 것이다.

참고문헌

- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T. C., and Wieringa, J., 2003, *Guidance on metadata and homogenization*, WMO-TD 1186, WMO, Geneva.
- Bonsal, B. R., Zhang, X., Vincent, L. A., and Hogg, W. D., 2001, Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada, *Journal of Climate*, 14, 1959-1976.
- Choi, Y., Jung, H., Nam, K., and Kwon, W., 2003, Adjusting urban bias in the regional mean surface temperature series of South Korea, 1968-1999, *International Journal of Climatology*, 23, 577-591.
- Costa, A. C. and Soares, A., 2009, Trends in extreme precipitation indices derived from a daily rainfall database for the South of Portugal, *International Journal of Climatology*, 29, 1956-1975.
- Easterling, D. R. and Peterson, T. C., 1995, A new method for detecting and adjusting for undocumented discontinuities in climatological time series, *International Journal of Climatology*, 15, 369-377.
- Feng, S. and Qian, W., 2004, Quality control of daily meteorological data in China, 1951-2000: A new dataset, *International Journal of Climatology*, 24, 853-870.
- Korea Meteorological Administration, 1995, Meteorological stations circumstance (기상청, 1995, 기상관측환경편람, 기상청, 서울).
- Korea Meteorological Administration, 2010, Development of techniques and information management system to support prediction and assessment of climate change (기상청, 2010, 부문별 영향평가 지원을 위한 맞춤형 기후변화 예측 정보 산출기술 개발에 관한 연구, 기상청, 서울).
- Korea Meteorological Administration, 2001, The history of meteorological statistics (기상청, 2001, 기상 통계 사료집, 기상청 기후예측과, 서울).
- Lee, J. D., Choi, Y., and Park, C., 2010, Developments of quality control algorithms for Korean temperature data, *Journal of Climate Research*, 5, 162-174 (in Korean).
- Li, Q. X., Liu, X. N., Zhang, H. Z., Peterson, T. C., and Easterling, D. R., 2004, Detecting and adjusting temporal inhomogeneity in Chinese mean surface air temperature data, *Advances in Atmospheric Sciences*, 21, 260-268.
- Li, Q. X. and Dong, W. J., 2009, Detection and adjustment of undocumented discontinuities in Chinese temperature series using a composite approach, *Advances in Atmospheric Sciences*, 26, 143-153.
- Li, Z. and Yan, Z. W., 2009a, Application of multiple analysis of series for homogenization to Beijing daily temperature series (1960-2006), *Advances in Atmospheric Sciences*, 27, 777-787.
- Li, Z. and Yan, Z. W., 2009b, Homogenized daily mean/maximum/minimum temperature series for China from 1960-2008, *Atmospheric and oceanic science letters*, 2, 237-243.
- Martínez, M. D., Serra, C., Burgueño, A., and Lana, X., 2010, Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (ne Spain) for the period 1975-2004, *International Journal of Climatology*, 30, 267-290.
- National Climatic Data Center, 2002, United States climate normals, 1971-2000 inhomogeneity adjustment methodology.
- National Institute of Meteorological Research, 2001, On discontinuity in climatological data due to the change of the measuremental environment in Honam area (기상연구소, 2001, 호남지방의 기상 관측 환경변화에 따른 기상요소의 변동성 연구, 기상연구소, 서울).
- National Institute of Meteorological Research, 2003a, Research on the history of meteorological observation and climate variability in Gangwon (기상연구소, 2003a, 강원지방의 기상관측 역사와 기후변동성 연구, 기상연구소, 서울).
- National Institute of Meteorological Research, 2003b, Study on the history of meteorological observation and climate variability in Kyunggi

- and *Chungchong* area (기상연구소, 2003b, 경기·충청지방의 기상관측 환경변화와 기후 변동성 연구, 기상연구소, 서울).
- National Institute of Meteorological Research, 2004, Research on the history of meteorological observation and climate Variability in *Yeongnam* province (기상연구소, 2004, 영남지방의 기상관측 역사와 기후변동성 연구, 기상연구소, 서울).
- National Institute of Meteorological Research, 2005, Research on the history of meteorological observation and climate variability in *Jeju* province (기상연구소, 2005, 제주지방의 기상관측 역사와 기후변동성 연구, 기상연구소, 서울).
- Oh, H., Kim, B. J., and Cho, C. H., 2001, A study of homogeneity test and reconstruction for climate data in Korea, *Atmosphere*, 11, 483-485 (in Korean).
- Pandžić, K. and Likso, T., 2010, Homogeneity of average annual air temperature time series for Croatia, *International Journal of Climatology*, 30, 1215-1225.
- Peterson, T. C. and Easterling, D. R., 1994, Creation of homogeneous composite climatological reference series, *International Journal of Climatology*, 14, 671-680.
- Peterson, T. C. and Vose, R. S., 1997, An overview of the global historical climatology network temperature database, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2837-2849.
- Peterson, T. C., Easterling, D. R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., Torok, S., Auer, I., Boehm, R., Gullett, D., Vincent, L., Heino, R., Tuomenvirta, H., Mestre, O., Szentimrey, T., Salinger, J., Førland, E. J., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Jones, P., and Parker, D., 1998, Homogeneity adjustments of IN SITU atmospheric climate data: A Review, *International Journal of Climatology*, 18, 1493-1517.
- Reek, T., Doty, S. T., and Owen, T. W., 1992, A deterministic approach to the validation of historical daily temperature and precipitation data from the cooperative network, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 73, 753-762.
- Rusticucci, M. and Renom, M., 2008, Variability and trends in indices of quality-controlled daily temperature extremes in Uruguay, *International Journal of Climatology*, 28, 1083-1095.
- Ryoo, S. B., Kim, Y. H., Kwon, T. H., and Park, I. S., 2006, Inhomogeneities in Korean climate data (I): due to site relocation, *Atmosphere*, 16(3), 215-223 (in Korean).
- Ryoo, S. B. and Kim, Y. H., 2007, Inhomogeneities in Korean climate data (II): due to the change of the computing procedure of daily mean, *Atmosphere*, 17, 17-26 (in Korean).
- Solow, A. R., 1987, Testing for climate change: an application of the two-phase regression model, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 1401-1405.
- Staudt, M., Esteban-Parra, M. J., and Castro-Díea, Y., 2007, Homogenization of long-term monthly Spanish temperature data, *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.1493.
- Štěpánek P., 2008, AnClim - Software for time series analysis. Dept. of Geography, Fac. of Sciences, Masaryk University, Brno, 1.6MB. <http://www.climahom.eu>.
- Sturaro, G., 2003, A closer look at the climatological discontinuities present in the NCEP/NCAR reanalysis temperature due to the introduction of satellite data, *Climate Dynamics*, 21, 309-316.
- Syrakova, M. and Stefanova, M., 2009, Homogenization of Bulgarian temperature series, *International Journal of Climatology*, 29, 1835-1849.
- Vincent, L. A., 1998, A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series, *Journal of Climate*, 11, 1094-1104.
- Vincent, L. A. and Gullett, D. W., 1999, Canadian historical and homogeneous temperature datasets for climate change analyses, *International Journal of Climatology*, 19, 1375-

1388.

Vincent, L. A., Zhang, X., Bonsal, B. R., and Hogg, W. D., 2002, Homogenization of daily temperatures over Canada, *Journal of Climate*, 15, 1322-1334.

Vincent, L. A. and Mekis, 2006, Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century, *Atmosphere-Ocean*, 44, 177-193.

WMO, 1989, Guide to climatological practices(2nd edition), WMO, Geneva.

WMO, 2004, Fourth seminar for homogenization and quality control in climatological databases, WCDMP-No. 56, WMO, Geneva.

WMO, 2008, A case-study/guidance on the development of long-term daily adjusted temperature datasets, Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 66, World Meteorological Organization

WMO-TD 1425, WMO, Geneva.

WMO, 2010, Guide to climatological practices(3rd edition), WMO, Geneva.
<http://kma.go.kr/>

교신: 박창용, 143-701, 서울시 광진구 화양동 1번지 건국대학교 이과대학 지리학과(이메일: kpotato@konkuk.ac.kr, 전화: 02-450-3432, 팩스: 02-3436-5433)

Correspondence: Changyong Park, Department of Geography, College of Science, Konkuk University, 1 Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul, 143-701, Korea (e-mail: kpotato@konkuk.ac.kr, phone: +82-2-450-3432, fax: +82-2-3436-5433)

최초투고일 2010. 12. 13
수정일 2010. 12. 27
최종접수일 2011. 1. 13