

기상청 기후자료의 균질성 문제 (I): 관측지점의 이전

류상범¹ · 김연희^{2,*} · 권태현² · 박일수³

¹기상청 수원기상대

²기상청 기상연구소 응용기상연구실

³국립환경과학원 지구환경연구소

(2006년 7월 5일 접수; 2006년 9월 20일 승인)

Inhomogeneities in Korean Climate Data (I): Due to Site Relocation

Sang-Boom Ryoo¹, Yeon-Hee Kim^{2,*}, Tae-Hyeon Kwon² and Il-Soo Park³

¹Suwon Weather Station, Korea Meteorological Administration

²Applied Meteorological Lab, Meteorological Research Institute, Korea Meteorological Administration

³Global Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Manuscript received 5 July 2006; in final form 20 September 2006)

Abstract

Among observational, local-environmental, and large-scale factors causing significant changes in climate records, the site relocations and the replacement of the instruments are well-known nonclimatic factors for the analysis of climatic trends, climatic variability, and for the detection of anthropogenic climate change such as heat-island effect and global warming. Using dataset that were contaminated by these nonclimatic factors can affect seriously the assessment of climatic trends and variability, and the detection of the climatic change signal. In this paper, the inhomogeneities, which have been caused by relocation of the observation site, in the climate data of Korea Meteorological Administration (KMA) were examined using two-phase regression model. The observations of pan evaporation and wind speed are more sensitive to site relocations than those of other meteorological elements, such as daily mean, maximum and minimum temperatures, with regardless to region.

Key words: Inhomogeneity in climate record, site relocation, two-phase regression model, KMA

1. 서 론

지난 20여년간 지구온난화와 연관된 기후변화 문제는 대기과학 분야를 넘어 정치·경제·사회적으로 주요 주제였다. 기후변화 문제를 다루는 정부간 패널인 IPCC (Intergovernment Panel on Climate Change) 보고서에 따르면 20세기 지구평균기온은 0.6°C 상승하

였으며, 1990년대는 관측사상 가장 더운 기간으로 분석되었다 (IPCC, 2001). 또한 IPCC (2001)은 21세기 말까지 지구 기온이 현재보다 1.4°C에서 5.8°C까지 더 상승할 것으로 전망하고 있다. 20세기 우리나라에서는 평균기온이 1.5°C 상승하여 전지구적 온난화 추세를 상회하였다 (권태현, 2005). 그리고 인위적 온실기체의 방출로 인한 지구온난화와 도시화/공업화가 기온상승의 주요 원인으로 지목되고 있다. 이로 인하여 대기 중 온실기체 농도 안정화를 위해 국가경제에 심각한 위협을 미치는 이산화탄소 배출 감축이라는 문제가 까지 발전하고 있다. 이와 같은 기후변화 문제와 관련하여 과학적 평가의 기반이 되는 기후자료의 품질에 대한 관심 역시 높아졌다.

관측지점의 이동, 관측기기의 변경, 관측소 주변 환

*Corresponding Author: Yeon-Hee Kim, Applied Meteorology Research Lab. Meteorological Research Institute/KMA, 460-18, Shindaebang-dong, Dongjak-ku, Seoul 156-720 KOREA.

Phone : +82-2-846-2850, Fax : +82-2-846-2851

E-mail: kyh@metri.re.kr

경의 변화 등 관측환경의 변화와, 대규모 순환의 변화에 의한 자연적인 기후변동성, 산업화에 따른 대기중 온실기체 농도의 증가 등은 영속적인 기후 분석에 영향을 미치는 주요 외적 요인이다 (Mitchell, 1953). 이러한 요인 중 관측지점의 이동 및 관측기기의 변경은 기후자료의 불연속을 야기하여 기후변화의 원인에 대한 과학적 추론 및 평가를 방해한다. 기후자료의 연속성은 수십년 이상의 장기 기후변화를 분석하는데 있어, 결과의 신뢰성과 정확성을 담보하는 1차적인 조건이다.

우리나라에서 기상현상의 관측은 삼국시대를 그 기원으로 하나, 체계적인 관측은 1441년 측우기 발명 이후로 볼 수 있다. 하지만 대부분의 기후 연구에 있어 활용하고 있는 자료는 목포 (1904. 3. 15), 부산 (1904. 4. 4), 인천 (1904. 4. 10) 등지에서 일본중앙기상대의 임시 관측소 형태로 강수량을 포함한 8종의 기상요소를 관측한 1904년 이후에 생산된 것이다 (기상청, 2001). 하지만 기상청에서 발간한 기상관측환경편람 (기상청, 1995)과 기상통계자료집 (기상청, 2001)에 따르면, 1904년 이후 기록된 우리나라 기상관측 자료는 술한 관측 지점의 이전과 기상측기의 교체 혹은 변경, 일평균기온 및 습도, 풍속 등 여러 기상요소의 산출방법의 변경 등과 같은 자료의 불연속성을 초래할 수 있는 외적 요인들을 포함하고 있다. 이러한 요인의 영향은 기후변화의 과학적인 해석을 방해하므로, 이용자가 기후 자료를 사용할 때 특별히 유의해야 한다.

기상청 기후자료팀은 기상청에서 1975년 이후 전산화하여 데이터베이스를 구축한 기후자료의 연속성을

파악하고, 이를 기후자료 메타데이터와 연계하여 관리하기 위해 기상연구소 응용기상연구실에 기상청 기후자료의 연속성 분석을 의뢰하였다. 본 논문은 그 중, 이중 위상 회귀모형 (two-phase regression model)을 사용하여 관측지점의 이전으로 인한 기후자료의 불연속을 분석한 결과를 정리한 것이다. 관측기기의 교체와 변경은 메타데이터의 확보가 쉽지 않아 수행하지 못하였고, 통계 및 산출 방법의 변화로 인한 기후자료의 불연속에 대한 결과는 연속 논문에서 제시할 예정이다.

2. 자료 및 이중 위상 회귀 모형

본 논문에서 관측지점의 이전이 기후자료의 연속성에 미친 영향을 파악하기 위해 선택한 지역은 서울, 부산, 대구, 광주, 강릉 등 5개 지점으로 60년 이상의 관측기록을 가지고 있으며 한번 이상 관측지점 이전이 있었던 곳이다. 목포의 경우 관측지점의 이전이 1997년에 있었으나, 이전 후의 관측기간이 짧아서 현재로서는 그 영향을 검출하는데 어려움이 있어 제외하였다. Table 1은 본 논문에서 선택된 5개 지역과 목포에서 관측을 시작된 이후, 각 지역의 관측지점이 이전된 이력을 정리한 것이다. 사용한 자료는 기상청 기후자료 데이터베이스에서 각 지점의 관측 시작 년도부터 2005년까지 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온, 소형증발계의 일증발량, 일평균풍속 등 5개 요소를 추출하여 연평균한 시계열 자료이다.

그동안 기후자료의 시계열 내에 포함된 불연속을 검

Table 1. The stations and their site relocation histories.

| station | starting time | relocation time | addresses |
|-----------|---------------|-----------------|-----------------------------------------------------|
| Seoul | 1907. 7 | 1933. 1 | Unni-dong, Seoul → Songwol-dong, Seoul |
| Busan | 1904. 4 | 1904. 7 | Sinchang-dong, Busan → Bosu-dong, Busan |
| | | 1906. 1 | Bosu-dong, Busan → Bosu-dong 1-ga, Busan |
| | | 1934. 1 | Bosu-dong 1-ga, Busan → Daechong, Busan |
| Daegu | 1907. 1 | 1916. 1 | Pogyeong-dong, Daegu → Deoksan-dong, Daegu |
| | | 1937. 1 | Deoksan-dong, Daegu → Sinam 1-dong, Daegu |
| Gwangju | 1938. 10 | 1945. | Chipyong-dong, Gwangju → Yang-dong, Gwangju |
| | | 1960. 1 | Yang-dong, Gwangju → Seo 2-dong, Gwangju |
| | | 1992. 5 | Seo 2-dong, Gwangju → Unam-dong, Gwangju |
| Mokpo | 1904. 4 | 1997. 10 | Daeu-dong, Mokpo → Yeonsan-dong, Mokpo |
| Gangneung | 1911. 10 | 1926. 1 | Ira-myeon, Gangneung → Myeongju-dong, Gangneung |
| | | 1944. 10 | Myeongju-dong, Gangneung → Yonggang-dong, Gangneung |

출하는 기법들은 많이 개발되어 왔다 (Epstein, 1982: Solow, 1987: Vincent, 1998). 본 논문에서 사용한 Solow (1987)의 방법은 시계열 내 변곡점 T 를 기준으로 시계열 $\{Z_t\}, t=1, 2, 3, \dots, n$ 을 식(1)과 같이 2개의 단순 선형 회귀모형으로 표현한 이중 위상 회귀모형을 이용하여 시계열 내 불연속의 위치를 확인하고 변화의 통계적 유의성을 F 검정을 통해 확인할 수 있는 기법이다.

$$Z_t = \begin{cases} a_1 + b_1 t + e_t & t = 1, \dots, T-1 \\ a_2 + b_2 t + e_t & t = T, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

이중 위상 회귀모형은 변곡점 T 를 알면 쉽게 적용할 수 있다. 그러나 대부분의 시계열 분석에서는 T 를 알 수 없으며 다음과 같이 추정한다.

1) 임의의 $T = c$ 를 이중 위상 회귀모형에 대입하여 회귀 계수 a_1, a_2, b_1, b_2 를 구한다. 여기서 c 는 회귀모형의 계수 추정값의 유의성을 위해 일정한 값이상이 시작한다. 본 논문에서는 10을 시작값으로 하였다.

2) 회귀 계수 a_1, a_2, b_1, b_2 을 가지는 이중 위상 회귀모형의 잔차합 (residual sum of square, RSS)을 계산한다.

3) 다시 임의의 $T = c + 1$ 에 대해 1)과 2)를 T 가 $n - c$ 가 될 때까지 반복한다.

4) 각각의 T 에 대해 검정통계량 U 의 값을 식(2)을 사용하여 계산한 후, F 검정을 적용하여 $U \geq F_{3, n-4} (1 - \alpha)$ 가 되는 T 중 최적값을 불연속점으로 선정한다.

$$U = [(S_o - S)/3]/[S/(n-4)] \quad (2)$$

여기서 S_o 는 식(3)의 단순 선형 회귀모형을 시계열에 적용했을 때의 잔차합이며, S 는 각각의 T 에 대해 식(1)의 이중 위상 회귀 모형을 적용했을 때의 잔차합이다.

$$Z_t = a_o + b_o t + e_t \quad (3)$$

시계열 내에 어떤 불연속이 포함되어 있는 경우, 이를 검출하는 이중 위상 회귀모형의 능력에 대해 류상범 (1996)이 포항의 기온자료에 적용하여 시험한 바 있다. 또 Ryoo (1999)는 본 논문에서도 조사하는 서울과 부산의 증발량, 풍속 시계열 자료에 포함되어 있는

불연속을 이중 위상 회귀모형을 사용하여 확인하였다.

Table 1에 정리된 것처럼 부산과 대구, 광주 같이 관측시작 시점에서 10년 이내에 관측지점의 이전이 있는 경우에는 분석 시작 시점을 이전 이후로 미루었다. 즉 부산은 1906년부터, 대구는 1916년부터, 광주는 1945년부터 분석하였다. 또한 광주와 강릉처럼 10년 이상 떨어진 관측지점의 이동이 2번 이상 있는 경우에는 관측지점의 이전 시기를 중심으로 시계열을 분리하여 이중 위상 회귀 모형을 각각 적용하여 구한 결과와 전체 시계열에 모형을 적용하여 구한 결과를 비교하였다. 본 논문에서 F 검정에 적용한 유의수준은 0.05이며, 지역마다 시계열의 자료수 (n)가 다르지만 분석의 편리를 위해 $F_{3, n-4} (1 - \alpha) \approx 2.7$ 을 일괄적으로 적용하였다.

3. 결과

3.1 서울

Figure 1은 기상청 기후자료 DB에 수록된 서울 지점의 소형 증발계 일증발량, 일평균풍속, 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온을 연평균한 시계열 자료에 이중 위상 회귀 모형을 적용하여 구한 변곡점 T 에서의 잔차합에 대한 검정통계량 U 를 각각 나타낸 것이다. U 의 값이 유의수준 0.05에 대한 $F_{3, n-4} (1 - \alpha) \approx 2.7$ (그림에서 파선으로 표현되었음)보다 크면, 해당 시계열은 다른 경향성을 가지는 두개의 시계열로 분리할 수 있는 통계적으로 유의한 변곡점을 가지는 것으로 해석된다. 서울 지점의 경우 풍속에서 뚜렷한 변곡점을 1933년에 찾을 수 있다. 증발량에서도 1933년에 상대적으로 큰 U 의 값이 나타났으나 풍속만큼 뚜렷하지는 않다. 최고기온과 평균기온에서도 1933년에 약하게 U 값의 피크가 나타났지만 다른 해의 검정통계량과 비교하여 값도 크지 않고 특징도 없다. 최고, 평균, 최저기온의 경우 유의수준 0.05에 대한 F 검정값 2.7보다 큰 U 의 값을 기록한 해들이 몇 있지만 다른 값들에 비해 뚜렷하게 차이가 나지 않으며, 또한 유의수준을 0.01로 강화하면 F 검정값 (약 4.1) 아래에 위치한다. 따라서 기온의 경우 이중 위상 회귀 모형을 이용하여 변곡점을 찾을 수 없었다.

풍속과 증발량 시계열에서 변곡점이 나타난 1933년은 서울 지점의 관측소 위치가 운니동에서 현재의 송월동으로 이전한 해와 정확히 일치한다. 이로 미루

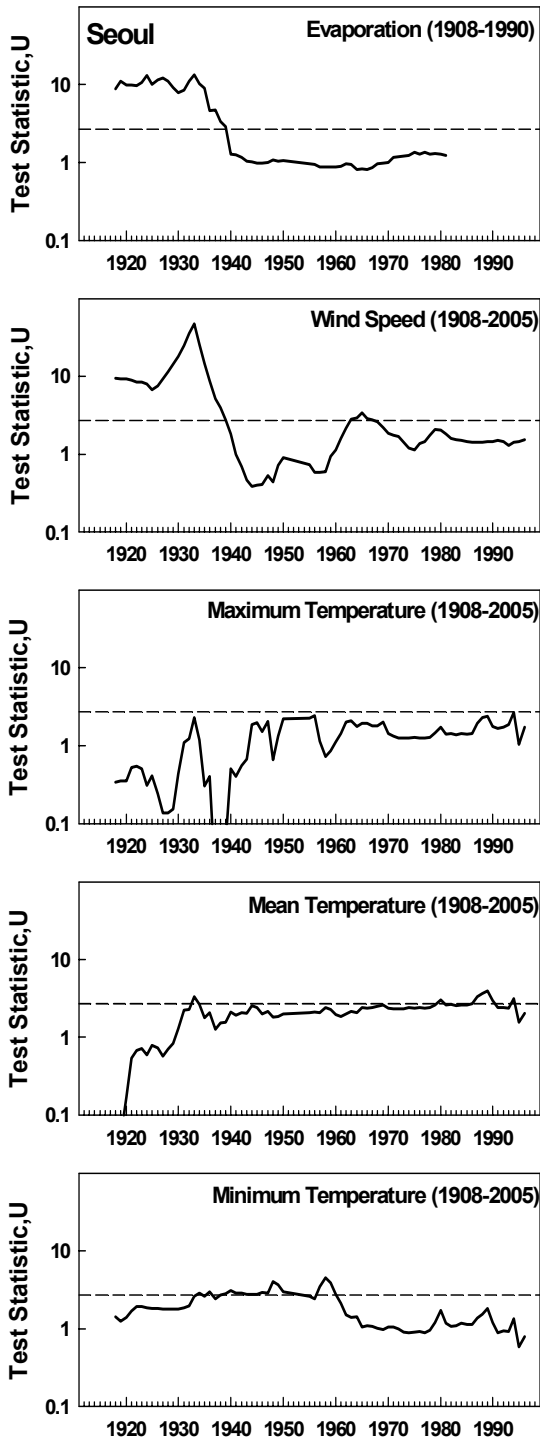


Fig. 1. Test statistic after fitting of two-phase regression model with each change year to time series of annual mean values for pan evaporation, wind speed, daily maximum temperature, daily mean temperature, and daily minimum temperature, respectively, in Seoul.

어보아 풍속과 증발량 시계열에 나타난 경향 불연속은 관측소 이전에 따른 영향으로 평가된다.

Figure 2는 이중 위상 회귀 모형을 적용하여 찾은 변곡점을 적용하여 풍속과 증발량의 시계열에 2개의 단순회귀선을 함께 표시한 것이다. 풍속의 경우 1908년부터 관측소 이전이 있기 전 1932년까지 급격하게 연평균 풍속이 감소한 형태를 보이고 있다. 관측소 이전 후 어느 정도 풍속이 다시 증가했다가, 그 후 현재까지 풍속이 서서히 감소하고 있다. 증발량은 1908년 관측 초기에 비해 관측소가 이전한 1933년까지 연평균이 1mm/day 이상 감소했다. 관측소 이전 후 다시 증가했다가 현재까지 서서히 줄어들고 있다. 1910년대 후반 급격한 증발량 감소 원인은 불분명하나, 관측소 이전 후 증발량의 감소 형태는 같은 시기 풍속의 감소와 잘 일치한다. 이러한 풍속과 증발량의 감소는 노장 주변의 환경변화가 원인인 것으로 사료되며, 관측소 이전 (1933년) 전에 나타난 급격한 풍속의 감소 경향과 증발량의 감소가 관측소를 이전하게 한 주요 동기가 되었을 가능성이 높다.

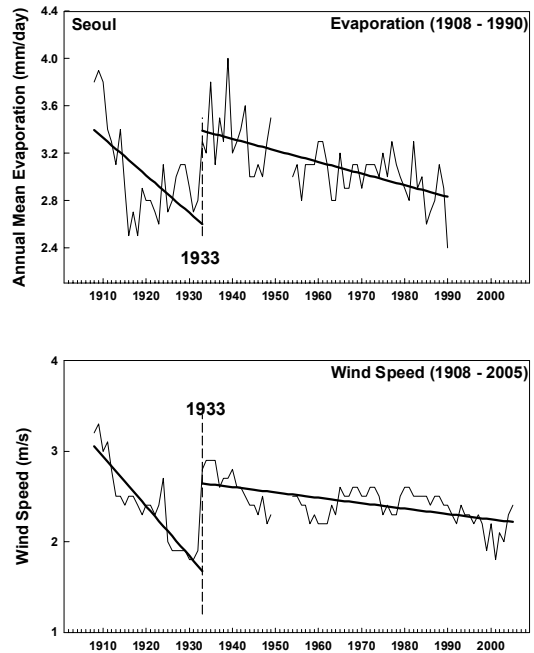


Fig. 2. Time series of annual mean values for pan evaporation and wind speed, respectively, in Seoul and its two regressive lines after fitting of best changing point.

3.2 부산

부산 역시 풍속에서 뚜렷한 변곡점이 1934년에 나타나고 있다 (Figure 3). 증발량에서는 1932년을 중심으로 1930년대 초반에 상대적으로 큰 U 의 값들이 나

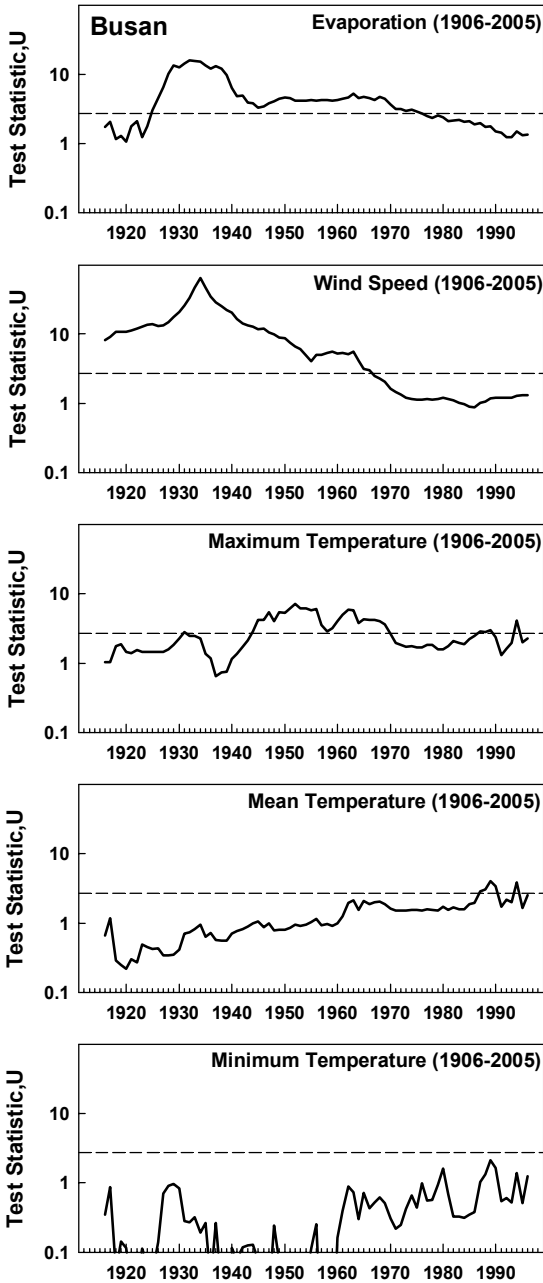


Fig. 3. The same as in Figure 1 except for in Busan.

타났다. 기온의 경우는 간혹 F 검정값 보다 큰 U 의 값이 나타나지만, 변곡점으로 지정할 정도로 뚜렷한 특징을 보이는 해는 없다. 풍속 시계열에 변곡점이 나타난 1934년은 보수동에 위치했던 부산 지점의 관측소 위치가 현재의 대청동으로 이전한 해이다 (Table 1 참조). 1930년대 초반에 나타난 증발량 시계열의 불연속 역시 관측지점 변경에 따른 영향으로 평가된다.

Figure 4는 이중 위상 회귀 모형으로 찾은 변곡점을 중심으로 2개의 회귀선을 함께 나타낸 부산의 연평균 증발량과 연평균 풍속의 시계열이다. 관측소 이전 (1934년) 전까지 연평균 풍속이 급격하게 감소하는 경향은 서울의 경우와 비슷하다. 증발량 역시 1906년부터 급격하게 감소하는 경향을 보이고 있고, 하지만 변곡점은 관측소 이전보다 약간 빨리 나타났다. 부산 역시 이러한 풍속과 증발량의 감소 경향이 관측소 이전의 동기가 되었을 것으로 추측된다.

3.3 대구

풍속에서 뚜렷한 변곡점이 1937년에 나타났으나, 증발량의 검정통계량 U 에서는 특징적인 형태가 나타

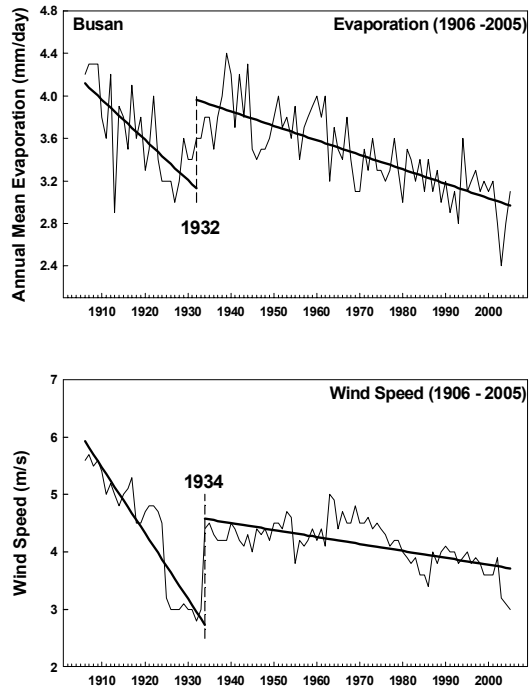


Fig. 4. The same as in Figure 2 except for in Busan.

나지 않았다 (Figure 5). 기온의 검정통계량 역시 변곡점을 결정할 만큼 특징적인 변화를 보이지 않았다. 풍속 시계열 (Figure 6)에서 변곡점이 나타난 1937년은

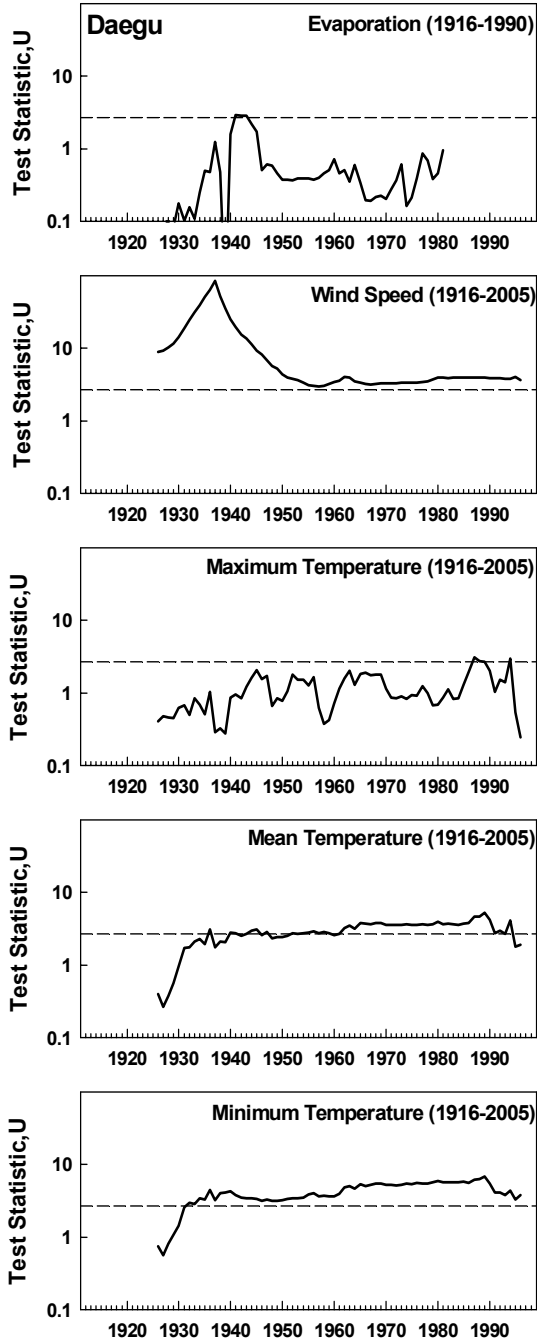


Fig. 5. The same as in Figure 1 except for in Daegu.

대구 지점의 관측소가 덕산동에서 현재의 신암 1동으로 옮긴 해와 일치한다. 대구 지점 역시 서울과 부산에서처럼 관측소 이전 (1937년) 전까지 풍속이 급격히 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 서울과 부산에서 나타난 관측소 이전에 따른 증발량에서의 변화는 대구에서는 나타나지 않았다.

3.4 광주

광주는 1938년에 치평동에서 관측소가 처음 개설된 이후 많은 관측지점 이동이 있어 왔다. 본 연구에서는 1945년 양동 시절 이후부터 1960년 서2동, 1992년 운남동으로 두 번의 관측 지점 이전 영향을 조사하기 위해 각기 다른 기간의 시계열에 이중 위상 회귀모형을 적용하였다. 첫 번째로는 증발량을 제외한 4개의 요소에 대해 1945년부터 2005년까지 구성된 시계열에 모형을 적용하여 검정통계량을 굵은 선으로 Figure 7에 나타내었고, 증발량은 1945년부터 1990년까지 구성된 시계열의 검정통계량을 굵은 선으로 나타내었다. 그리고 증발량을 제외한 4개의 요소에 대해 1945년부터 1992년까지 구성된 시계열과 1960년부터 2005년까지 구성된 시계열의 검정통계량 값은 가는 선으로 각각 Figure 7에 나타내었다. 다른 지점처럼 광주에서도 풍속에서 검정통계량의 변화가 가장 뚜렷하게 나타났다. 전체 시계열과 1992년까지의 시계열에 나타난 1960년의 변곡점은 양동에서 서 2동으로 관측지점을 옮긴 해와 정확히 일치한다 (Figure 8). 하지만 1960년에서 2005년까지 구성된 시계열의 검정통계량 변화에 나타난 1985년의 꼭지점은 시계열에서 변곡점으로 확인하기 어렵다. 부산에서처럼 풍속의 변곡점보다 약간 늦게 증발량 시계열에 나타

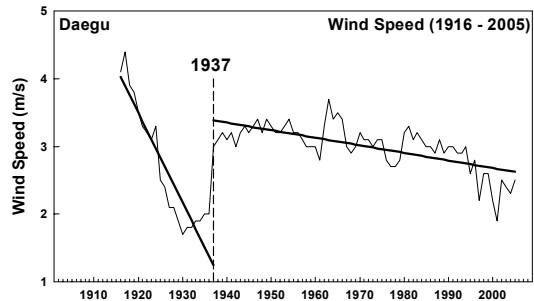


Fig. 6. The same as in Figure 2 except for in Daegu and for wind speed only.

난 1962년의 변곡점은 서울과 부산만큼 뚜렷하지는 않다. 다른 지점에 비해 광주에서는 초기 관측소에서 급격한 풍속 감소 경향을 볼 수 없다.

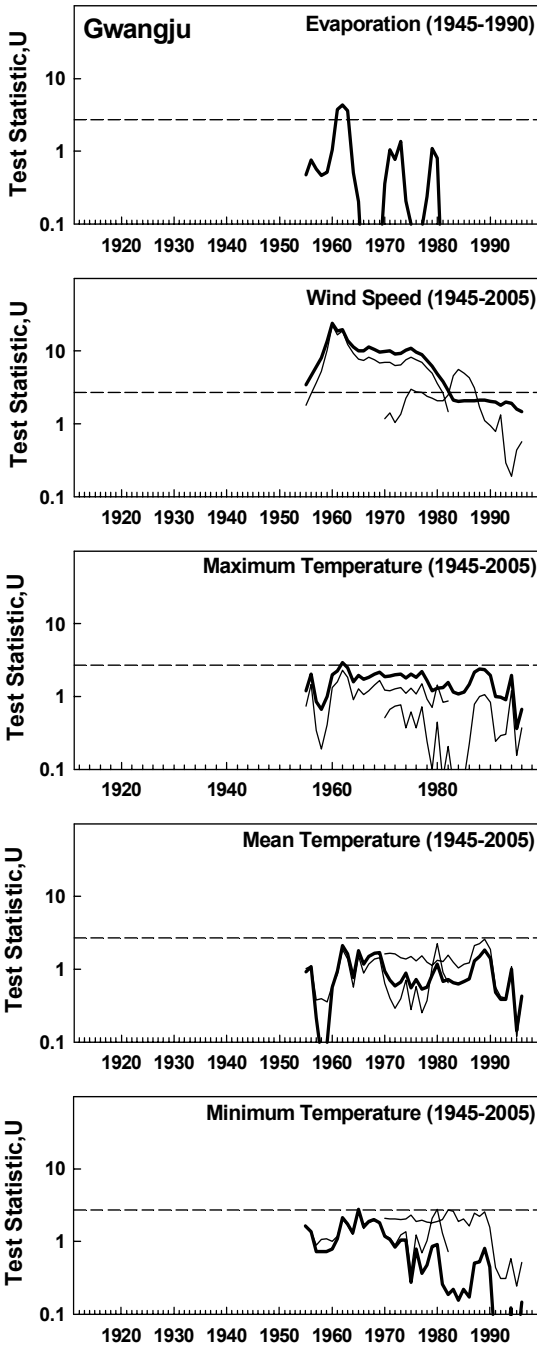


Fig. 7. The same as in Figure 1 except for in Gwangju.

3.5 강릉

강릉 역시 광주처럼 두 번 이상의 관측소 이전을 겪었다. 따라서 광주의 경우처럼 시계열을 분리하여 모형을 적용하였다 (Figure 9). 강릉에서는 풍속에서 1925년에, 증발량에서는 1942년에 변곡점이 나타났다 (Figure 10). 풍속의 시계열에 나타난 1925년은 강릉 지점의 초창기 관측소 위치인 이라면에서 명주동으로 옮긴 1926년의 관측소 이전과 연관이 있고, 증발량 시계열에 나타난 1942년은 명주동에서 현재의 용강동으로 옮긴 1944년의 관측소 이전과 연관된 것으로 판단된다. 강릉에서도 명주동으로 관측소가 이전하는 1926년까지 연평균 풍속이 급격하게 감소하는 경향을 볼 수 있다 (Figure 10). 이러한 풍속의 감소가 이라면의 관측소를 다른 장소로 이전하게 한 결정판 계기로 추측된다.

4. 결론 및 토의

60년 이상 관측 기록을 가지고 있으며 한번 이상 관측소 이전을 경험한 서울, 부산, 대구, 광주, 강릉 등 5개 지점의 일평균기온, 일최저기온, 일최고기온, 소

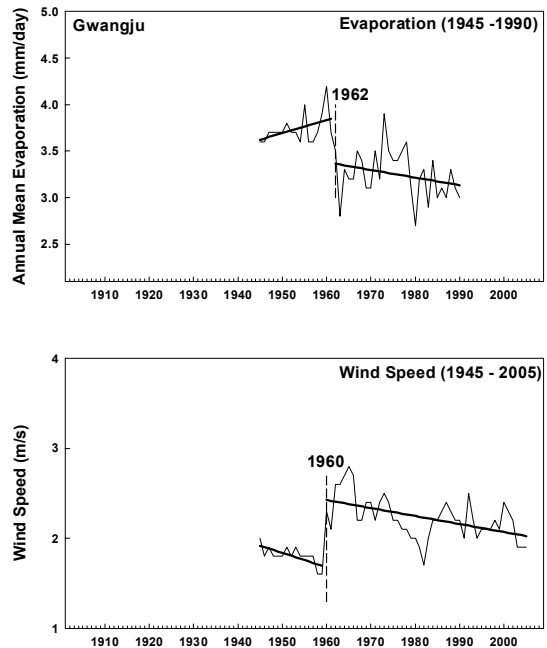


Fig. 8. The same as in Figure 8 except for in Gwangju.

형증발계 증발량, 일평균 풍속 등 5개 요소에 대해 이중 위상 회귀 모형을 적용하여 관측소 이전이 기후 자료 연속성에 미친 영향을 조사하였다.

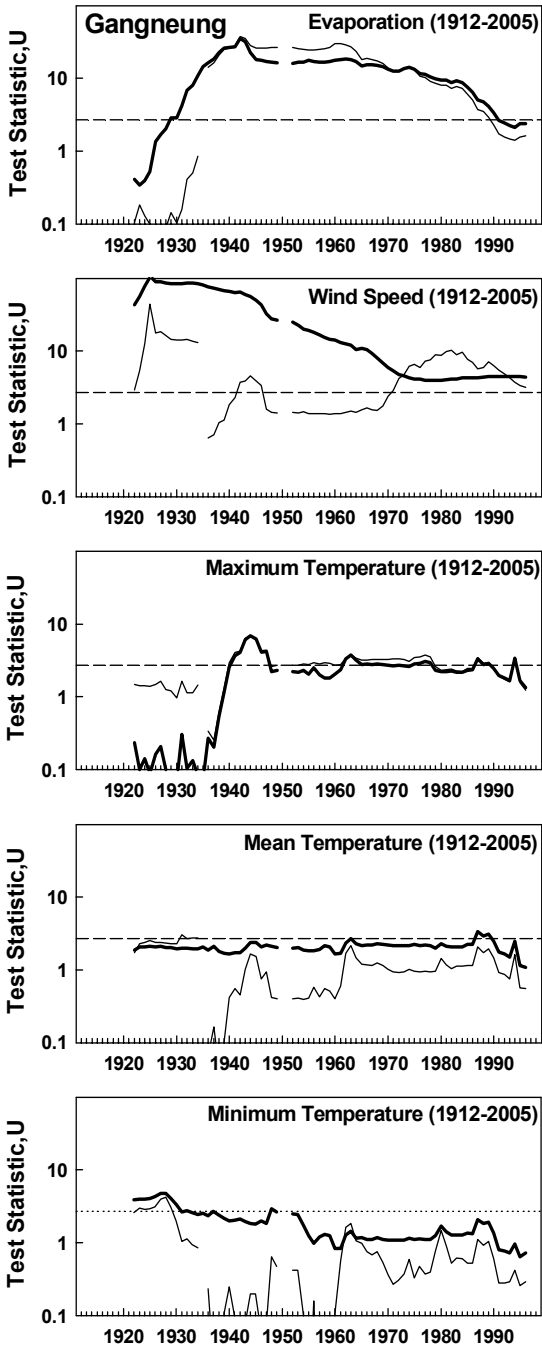


Fig. 9. The same as in Figure 1 except for in Gangneung.

분석 지점 모두의 연평균 풍속 시계열에 나타난 경향 불연속은 관측소 이전에 따른 영향으로 평가할 수 있다. 그리고 증발량 시계열에 나타난 불연속은 관측소 이전에 따른 풍속의 변화가 주요 요인인 것으로 판단된다. 관측소 이전 이후에 모든 지점에서 일관되게 나타난 풍속과 증발량의 감소 경향은 도시 개발에 의한 지상 장애물의 증가로 인한 풍속의 감소와, 이러한 풍속 감소로 인한 증발 능력의 약화로 해석된다. 하지만 오늘날 기후변화와 관련한 주요 분석 요소인 기온의 경우, 인근 지역으로의 관측소 이전이 연속적인 기후분석에 영향을 미치는 외적 요인으로 유의하게 작용하지는 않는 것으로 평가된다. 하지만 본 연구에서 적용한 이중 위상 회귀 모형이 시계열에 포함된 모든 불연속을 효과적으로 검출할 수 있는 것은 아니다. 특히 시계열이 비선형 형태일 때의 불연속 검출에는 제한이 있다.

관측소 이전 전에 나타난 풍속과 증발량의 급격한 감소 경향이 해당 지역의 관측소 이전을 결정하게 한 주요 동기였을 것이다. 즉, 지역을 대표하는 관측소로서의 부적절성이 풍속과 증발량 관측 자료를 통해 나타나고, 이를 개선하기 위해 적정 장소로 관측소를 이전한 것으로 추측된다. 이러한 풍속과 증발량의 장소

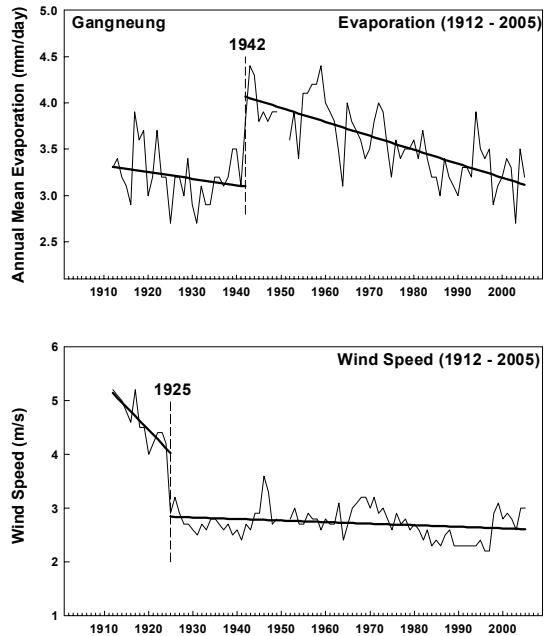


Fig. 10. The same as in Figure 10 except for in Gangneung.

에 대한 민감성은 향후 관측소 부지 선정에 있어 좋은 지표가 될 수 있다.

본 연구에서는 풍속과 증발량 시계열에서만 나타난 관측소 이전에 따른 기후자료 균질성 문제가 다른 기상 요소에도 잠복되어 있을 가능성이 있다. 이러한 관측 지점 이전에 따른 기후자료의 불연속은 기후변화 조사를 어렵게 만든다. 따라서 관측소 이전 이외의 다른 영향으로 인한 기후 변화를 검출하고, 그 원인을 추론하는데 있어 피할 수 없는 장애이다. 향후 기상청 기후자료를 이용하여 장기 기후 변화를 분석할 때 이 점을 깊이 유념해야 한다. 또한 기상청의 관측소 이전 계획 수립시 이러한 문제점에 대해 한번 더 심사숙고하기 바란다.

감사의 글

이 연구는 기상연구소의 “국지 기상 특성 진단 및 기상환경영향평가 기술 개발 연구” 과제의 지원으로 수행되었습니다. 연구를 수행하는 동안 자료수집에 도움을 준 기상청 기후자료팀 정선애씨와 논문의 질적 향상에 많은 조언을 주신 두 분의 심사위원들에게 감사드립니다.

참고문헌

- 권원태, 2005: 기후변화의 과학적 현황 및 전망. *한국기상학회지*, **41**, 325-336.
- 기상청, 2001: 기상통계자료집. 11-1360000-000089-14, 192pp.
- 류상범, 1996: Detection of changes in climate due to industrialization: with an application in Pohang, Korea. 부산대학교 박사학위 논문, 99pp.
- Epstein, E. S., 1982: Detecting climate change. *J. Appl. Meteor.*, **21**, 1172-1182.
- IPCC. 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom, 881pp.
- Mitchell, J. M. Jr, 1953: On the causes of instrumentally observed secular temperature trends. *J. Meteor.*, **10**, 244-261.
- Ryoo, S.-B., 1999: Climatic characteristics of pan evaporation over South Korea. *J. Korean Atmos. Sci.*, **2**, 35-44.
- Solow, A. R., 1987: Testing for climate change: An application of the two-phase regression model. *J. Climate Appl. Meteor.*, **26**, 1401-1405.
- Vincent, L. A., 1998: A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series. *J. Climate*, **11**, 1094-1104.