

한반도 기온자료에 나타난 도시시그널 검출기법에 관한 연구

최영은, 권원태, 남경엽

기상청 기상연구소 기후연구실

1. 서론

19세기말부터 현재까지 대기로 방출된 온실기체의 농도증가로 인해 지표기온이 상승하고 있다는 것은 관측자료와 모델결과의 분석을 통해서 잘 알려져 있다(Ramanathan et al., 1987; Santer et al., 1996). 전구적으로 기온증가폭은 사용된 자료나 지역에 따라 약간의 차이는 있지만, 100년 동안 0.3~0.6 °C 정도로 추정되고 있다(Jones et al., 1986; Parker et al., 1994). 그러나, 관측된 기온증가에는 지구온난화 이외에도 도시화로 인한 지역적인 기온 상승경향이 포함되어 있다(Balling and Idso, 1989; 이명인과 강인식, 1997). 도시화는 온실기체의 방출로 인해서 발생하는 기온 상승률을 평가하는데 가장 심각한 시스템오차를 제공하는 원인이 된다. 총인구수가 1,000명 정도면 도시열섬이 나타난다는 보고(Landsberg, 1981)가 있고, 도시화는 10년에 약 0.1~0.3 °C 정도의 온난화를 생산할 수 있으므로, 지표기온자료에 존재하는 도시바이어스를 정량화하고, 제거하는 것은 온실기체의 증가로 인한 온난화의 감시와 탐지연구에 필수적이다. 지표기온자료에 존재하는 도시바이어스의 규모와 경향을 정량화하고 규명하기 위한 다양한 방법이 제시되었다(Karl et al., 1988; Karl and Quayle, 1989; 김맹기외, 1999; 이명인과 강인식, 1999). 하지만 도시화는 온실기체의 증가로 인한 지구온난화 시그널과 같이 평균기온의 상승을 초래하기 때문에 정량적으로 산출하는데 많은 어려움이 있다. 이명인과 강인식(1999)은 인구 값을 등급으로 구분하여 등급에 따른 기온 증가량에 대응시켜서 도시화의 효과를 산출하였는데, 그 규모는 0.016 °C/년으로 20년간 0.32 °C로 추정하였다. Portman(1993)은 통계적 방법을 이용하여 중국의 지표기온에 존재하는 도시바이어스를 정량적으로 산출했다.

본 연구의 목적은 Portman의 방법을 이용하여 한반도 지표기온자료의 동질성을 검증하고, 한반도 지표기온자료에 존재하는 도시바이어스의 규모를 정량화하고, 도시바이어스를 제거하여 질 높은 한반도 지역기온자료를 구축하는 것이다.

2. 연구자료와 방법론

비교적 장기간의 자료를 보유하고 있는 전국 16개 지점의 월평균기온자료를 사용하였고, 연구기간은 1968년~1999년(32년)으로 하였다. 도시바이어스를 산출하기 위하여, 16개 관측지점을 2단계로 구분하여 도시와 농촌지점으로 정의하였다. 먼저 인구밀도 1,000명 이상을 기준(1995년)으로 도시와 농촌으로 구분하고, 도시를 다시 총인구가 백만명 이상인 경우를 대도시로, 그 이하를 중소도시로 구분하였다. 10개 지점이 도시 지점으

로, 6개 지점이 농촌지점으로 분류되고, 다시 도시를 4개 대도시 지점과 6개 중소도시 지점으로 분류하였다. 분류된 각 그룹에 대해서 연·계절별 지표기온시계열을 구축하였다. 본 연구에서는 지점별·그룹별 지표기온자료가 동시에 사용되었다. Table 1은 연구에 사용된 관측지점과 구분을 요약한 것이다.

Table 1. Definition of urban and rural stations.

Definition	Population Density (km ⁻²)	Total Population	Stations
Urban stations	> 1,000 persons		
Large stations		> 1 million	Seoul, Pusan, Tague & Inchon(4)
Smaller stations		< 1 million	Swon, Mokpo, Chunju, Chungju, Kangnung & Ulsan(6)
Rural stations	< 1,000 persons		Yosu, Kunsan, Pohang, Chunchon, Sosan & Chupungnyung(6)

본 연구에서 사용한 연구방법은 크게 2가지로 구분될 수 있다. 첫째는 지점별로 기온자료의 동질성을 검증하는 것이고, 둘째는 도시바이어스를 산출하여 제거하는 것이다.

1) 기온자료의 동질성 검증

기온자료의 시계열적 동질성은 관측지점의 역사를 확인함으로써 쉽게 조사할 수 있다. 기상청은 관측지점 주변의 지형도와 관측역사를 포함하고 있는 기상관측환경편람을 1995년에 출간하였다. 32년 이상의 관측기간을 가지고 있는 22개 관측지점 중에서 관측시간, 관측기기, 관측지점 변경을 경험한 6개 관측지점은 연구에서 제외시켰다. 그리고, 16개 지점에 대해서 Portman의 순위스코어방법을 이용하여 기온자료의 동질성을 검증하였고, 적용절차는 Figure 1에 제시되어 있다.

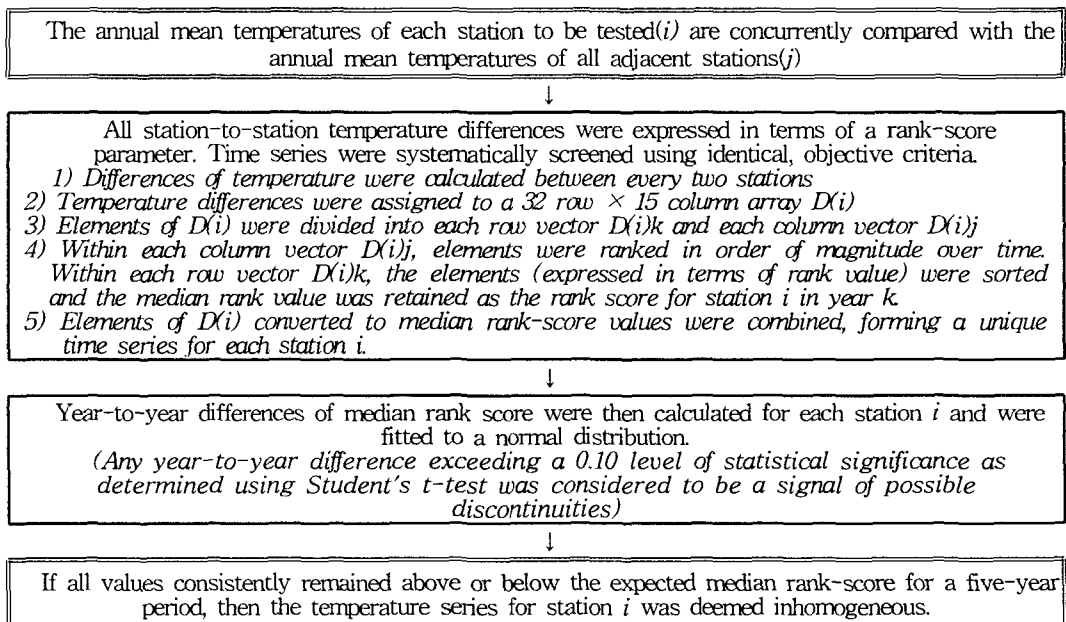


Figure 1. The steps for identifying homogeneous temperature time series.

2) 도시바이어스의 검출과 보정

도시바이어스를 검출하고 제거하는 과정은 Figure 2에 제시된 절차가 이용되었다. 도시와 농촌 관측 지점을 우선 구분하고, 개개의 도시와 농촌지역의 기온차를 그룹별로 평균하여, 도시바이어스의 규모를 보여주는 독특한 시계열을 구축했다. 구축된 시계열을 이용하여 평균도시바이어스(\bar{T}_{u-r})와 경향(ΔT_{u-r})을 산출하고, 각 그룹별 평균온도 시계열에서 도시바이어스를 제거하였다.

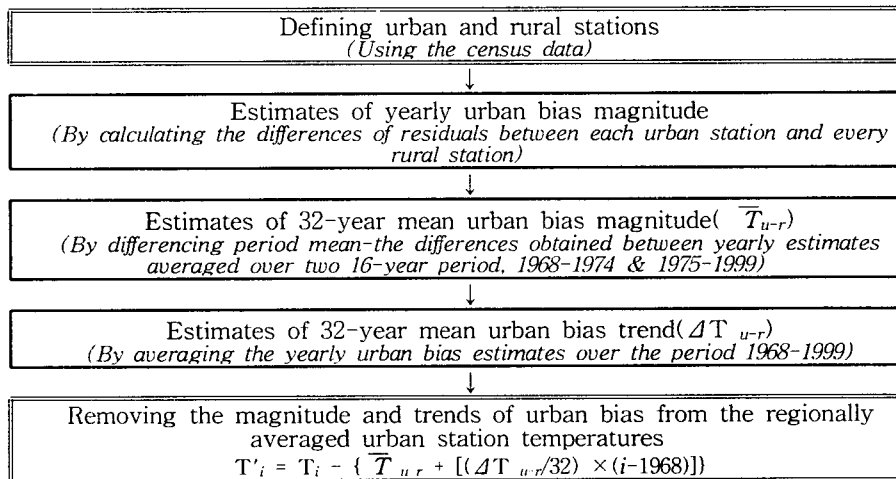


Figure 2. The steps for identifying and correcting the urban bias.

3. 연구결과와 토의

Portman의 순위스코어를 이용한 기온자료의 동질성에 대한 검증 결과는 16개 지점 모두가 뚜렷한 비동질성을 보여주지는 않는다.

1) 그룹별 기온시계열 자료의 특성

Figure 3은 그룹별 연평균기온의 시계열변화를 보여주고 있다. 모든 그룹에서 규모의 차이는 있지만, 1980년대 후반 이후 기온 증가경향이 뚜렷하게 나타나고 있다. 또한 도시 지역은 농촌지역보다 증가폭이 크고, 대도시가 중소도시보다 증가폭이 크다. Table 2는 그룹별 연평균기온차에 대한 t-검정결과를, Table 3은 그룹별 연평균기온자료의 증가경향 평균, 표준편차를 보여준다. 모든 그룹에 대해서 증가경향은 통계적으로 유의한 것이었다. 각 지역별 기온시계열차의 평균값을 비교해보면 도시지역이 농촌지역보다 0.43 °C 높고 농촌지역보다 대도시는 0.50 °C, 중소도시는 0.35 °C 높게 나타나고 있다. 도시의 규모에 따라 온난화 정도가 달라지는 것을 알 수 있다. 계절별 온도변화를 보면 도시와 농촌의 차이는 여름을 제외한 모든 계절에 나타나지만, 가을철에 가장 크다.

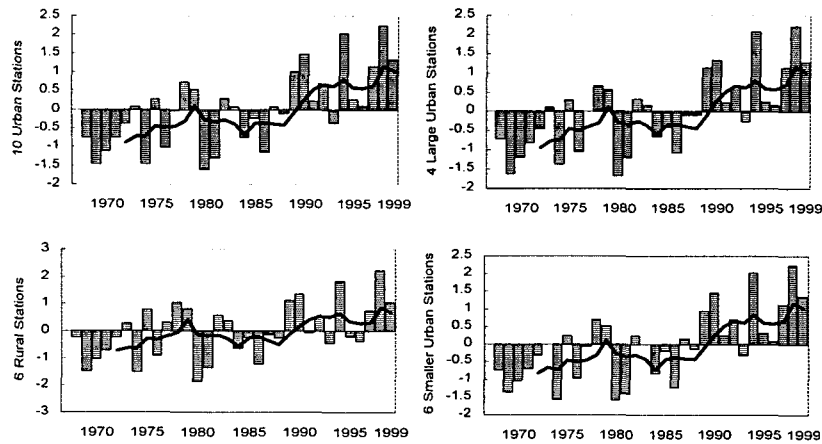


Figure 3. Standardized annual mean temperatures(bar) and 5-year moving average trend(solid line) for each group.

Table 2. Paired sample t-test results for annual mean temperature for each group.

	Difference			
	Mean	Std.	t-Stats.	Sig.
Urban-Rural	.425	.142	16.83	0.001
Large-Rural	.503	.156	18.24	0.001
Smaller-Rural	.346	.143	13.69	0.001
Large-Smaller	.157	.009	9.81	0.001

Table 3. Trends and descriptive statistics for each group

	Trend(r)	Mean	Std.
Urban stations	+(.654)**	12.82	0.677
Large stations	+(.668)**	12.90	0.662
Smaller stations	+(.638)**	12.74	0.668
Rural stations	+(.524)**	12.39	0.575

+: increase, **: Significant at 0.001 level

2) 도시바이어스의 산출

Table 4는 3개의 도시그룹별 연·계절 평균기온에 존재하는 도시바이어스의 32년 평균값($\bar{T} u-r$)과 경향($\Delta T u-r$)을 보여준다. 모든 도시그룹에 대해서 $\bar{T} u-r$ 값이 0보다 크게 나타나고 있는데, 이는 농촌지역보다 도시지역의 온도가 높다는 것을 보여준다. 하지만, 표준오차 값이 커서 개개의 도시관측지점이 농촌지역보다 모두 온도가 높다고 할 수 없다. 그러므로, 지역적으로 정량화된 도시바이어스를 개개의 지점을 비교할 때 사용하는 것은 바람직하지 않다. 계절별로도 $\bar{T} u-r$ 이 0보다 커서 도시지역이 농촌지역보다 온난하고, $\Delta T u-r$ 이 양의 값을 가짐으로 도시화로 인해서 온도가 증가하는 것을 알 수 있다. $\bar{T} u-r$ 은 중소도시계열을 제외하면 가을철에 최대, 여름철에 최소를 나타낸다. 여름철은 도시열섬이 가장 약하게 나타나는 계절로 알려져 있다(Landsberg, 1981; 이현영, 1985; 부경은과 오성남, 2000). $\Delta T u-r$ 는 모든 계열에 대해서 겨울철에 최대가 나타나고 여름철에 최소가 나타난다. 본 연구의 결과는 최근에 보고된 도시바이어스와 상당히 일치하는 패턴을 보여주고 있지만, 한반도의 도시화로 인한 기온바이어스는 32년간 약 0.41 °C로 중국 북부나 미국의 연구결과 보다 약 0.2 °C 정도 적다(Balling and Idso, 1989; Wang et al., 1990; Portman, 1993). 이것은 본 연구에서 농촌지역으로 분류된 관측지점들이 이들 지역의 농촌지역보다 도시화율이 높아서 기인한 것으로 생각된다

다. 연·계절별 도시바이어스의 시계열 변화는 Figure 4와 같다.

Table 4. Estimates of 32-year mean magnitude (\bar{T}_{u-r}) and trend (ΔT_{u-r}) of urban bias in Korea, 1968-1999.

	Spring	Summer	Fall	Winter	Annual
10 urban stations					
\bar{T}_{u-r}	0.41	0.37	0.47	0.39	0.41
ΔT_{u-r}	0.25	0.21	0.18	0.27	0.23
4 large urban stations					
\bar{T}_{u-r}	0.53	0.31	0.72	0.46	0.50
ΔT_{u-r}	0.25	0.21	0.18	0.27	0.23
6 smaller urban stations					
\bar{T}_{u-r}	0.34	0.41	0.29	0.34	0.35
ΔT_{u-r}	0.15	0.14	0.22	0.27	0.19

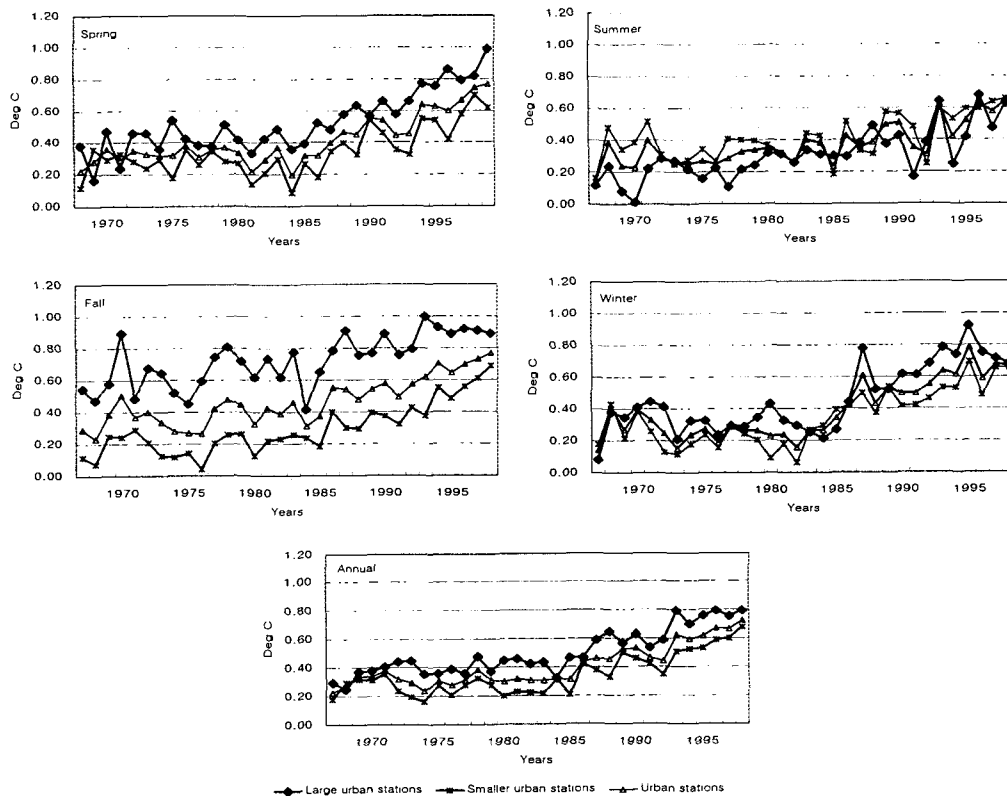


Figure 4. Estimated urban bias of yearly and seasonal mean temperatures for 4 large, 6 smaller and 10 urban stations.

Figure 5는 각 도시 그룹별 연평균기온의 변화와 도시바이어스를 제거한 후의 연평

평균기온의 변화를 보여주고 있다. 도시바이어스를 제거한 후에 각 도시 그룹별 평균기온의 시계열은 농촌지역의 시계열과 차이가 거의 없다. 그러므로, 한반도 기온 상승에 도시화의 영향이 커다란 비중을 차지하는 것을 알 수 있다. 하지만, 도시바이어스를 제거한 후에도 기온의 상승경향은 여전히 나타나고 있다.

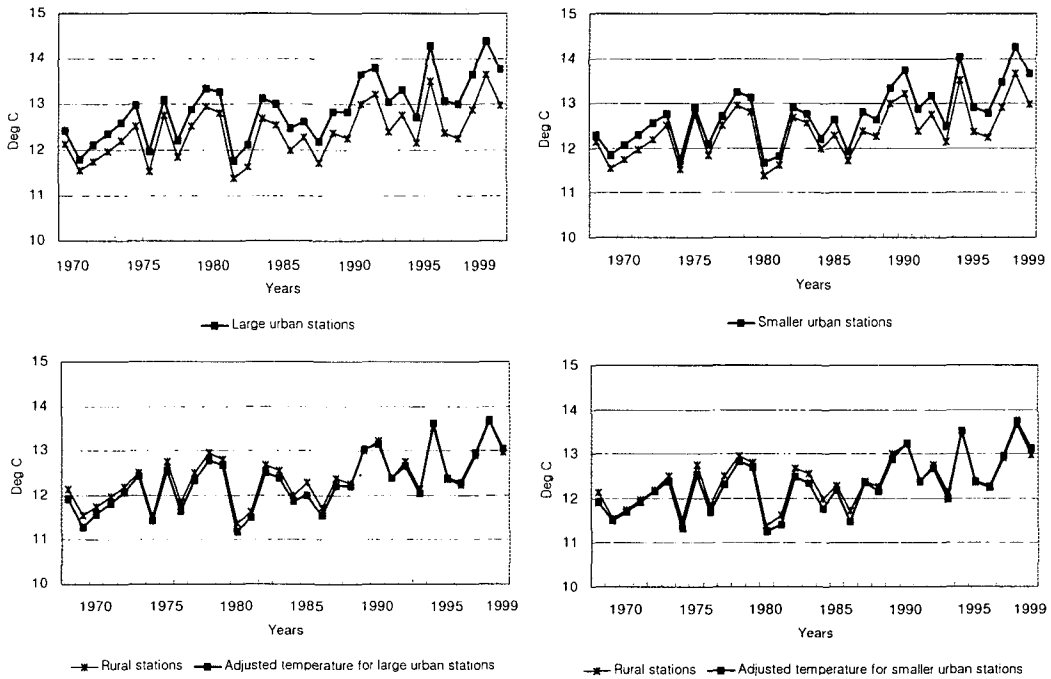


Figure 5. Original annual mean temperature (°C) for groups of large urban stations(top, left) and smaller urban stations(top, right). The adjusted annual temperature (°C) for groups of large urban stations(bottom, left) and smaller urban stations(bottom, right).

4. 요약과 결론

한반도의 기온자료에 존재하는 도시바이어스를 식별하고 정량화하기 위해서 연평균과 계절평균기온자료를 포트만(1993)이 고안한 통계기법을 이용해서 분석하였다. 지표기온자료의 동질성에 대한 검정결과 연구에 사용된 16개 지점은 비교적 동질한 기온의 시계열을 가지고 있었다.

본 연구는 도시의 규모가 크면 클수록 도시바이어스의 규모가 큰 것을 보여주고 있다. 계절별·그룹별로 차이는 있지만, 도시지역은 농촌지역보다 0.3~0.7 °C 정도 온난하고, 도시화로 인해서 한반도에서는 0.2~0.3 °C 정도 지표기온이 상승하였다. 하지만, 도시바이어스를 제거한 후에도 여전히 지표기온의 상승경향을 보여주고 있다. 향후 연구로는 최고기온과 최저기온에 나타나는 도시바이어스를 정량화하는 것이 필요할 것이다.

사사

이 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 중점국가연구개발사업(온실가스저감기술연구)의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 기상청, 1995, 기상관측환경편람, 기상청.
- 부경은, 오성남, 2000, 1999년 서울지역 기온의 시공간 분포 특성, 한국기상학회지, 36, pp.499-506.
- 이현영, 1985, 서울의 도시기온에 관한 연구, 이화여대대학원 박사청구논문.
- Balling, Jr., B. C. and S. B. Idso, 1989, Historical temperature trends in the United States and the effect of urban population growth, *Journal of Geophysical Research*, 94, 3359~3363.
- Choi, Y., H. S. Jung, W. T. Kwon and K. Y. Nam, 2001, Estimating and correcting urban bias in surface temperature time series of Korea, *Atmosphere*, extended abstract, pp.376~378.
- Jones, P. D., P. Ya. Groisman, M. Coughlan, N. Plummer, W.-C. Wang and T. R. Karl, 1990, Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land, *Nature*, 347, 169~172.
- Karl, T. R. and R. G. Quayle, 1989: Urban bias in area-averaged surface air temperature trends, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 70, 265~270.
- Portman, D. A., 1993: Identifying and correcting urban bias in regional time series; surface temperature in China's northern plains, *Journal of Climate*, 6, 2298~2308.
- Santer, B. D., K. E. Taylor, T. M. L. Wigley, T. C. Johns, P. D. Jones, D. J. Karoly, J. F. B. Mitchell, A. H. Oort, J. E. Penner, V. Ramaswamy, M. D. Schwarzkopf, R. J. Stouffer and S. Tett, 1996, A search for human influence on the thermal structure of the atmosphere, *Nature*, 38, 39~46.
- Wang, W.-C., Z. Zeng and T. R. Karl, 1990, Urban heat islands in China, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 2377-2380.