Atmosphere, **16**(1), 49-53 March 2006
NOTE

서울에서 1954-2005년 동안 관측된 설날 귀성에 따른 일교차의 변화

허창회*
서울대학교 지구환경과학부
(2006년 1월 10일 접수; 2006년 3월 29일 승인)

Changes in the Diurnal Temperature Range due to Homecoming in the New Year Holiday Observed in Seoul for the 1954-2005 Period

Chang-Hoi Ho*
School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University
(Manuscript received 10 January 2006; in final form 29 March 2006)

Abstract

The present study has examined interdecadal variations of the diurnal temperature range (DTR, daily maximum temperature minus daily minimum temperature) during the New Year season in Seoul for the period 1954-2005. Here, the average DTR for the New Year holidays (three consecutive days; one day before the New Year, the New Year day, and one day after the New Year) minus the average DTR for 14 days, 7 days before and 7 days after the New Year holidays, is defined for representing the New Year effect. The DTR index does not show notable trend until the late 1970s but shows obvious positive values afterward. For example, the difference of the average DTR between two periods (1980-2005 minus 1954-1979) is 0.65°C, which is meaningful at the 95% confidence level. This result demonstrates that intense human activity even for the limited period may provide climate impact in local regions. Its plausible causes are discussed.

Key words: Diurnal temperature range, New Year, Human activity, Seoul

1. 서 론

설 (음력 설) 연휴가 시작되면 서울은 일순간에 텅 빈 공간으로 변한다. 서울 거리를 가득 채웠던 차와 사람들은 썰물이 빠지듯 전국 각지에 흩어져 있는 고향으로 돌아간다. 사람들이 떠나간 거리는 한산함으로 바뀌고, 바삐 움직이던 공장의 기계도 잠시 숨을 고른다. 서울의 하늘도 오랜만에 매캐한 먼지를 걷어낸다. 특히, 설날 아침에 보는 서울의 거리는 한산함을 넘어 적막감을 느끼게 한다.

현재, 서울의 인구수는 1300만 명 가까이 되며, 서울에 생활근거의 전부 혹은 일부를 두고 있는 부근 위성도시의 사람까지 합하면 2500만 명 정도가 된다. 우리나라 전체 인구의 절반이 서울이라는 좁은 지역에서 생활하고 있는 셈이다. 수많은 사람이 북적거리면서 주거 환경은 나빠지고 있다. 서울의 대기질도 마찬가지여서 그 상태는 도심을 벗어난 산악이나 농촌지역과 비교하여 매우 열악하다.

설 기간 동안 서울이 며칠간 공동화되면서 나타날 수 있는 기상의 변화는 없을까? 대기과학 전공자로서 갖는 당연한 기대일 것이다. 뚜렷한 기상변화의 증거를 찾을 수 있다면, 국가나 일반인들에게 우리 실생활 가까이에서도 기후변화를 발견할 수 있음을 알림으로써 대기과학의 중요성을 각인시킬 수 있는 좋은 예가

*Corresponding Author: Prof. Chang-Hoi Ho, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-747, Korea
Phone : +82-2-880-8861, Fax : +82-2-876-6795
E-mail: hoch@cpl.snu.ac.kr

ⓒ Korean Meteorological Society, 2006

되기 때문이다. 그러나 강수량이나 기온 등 전반적인 날씨에 뚜렷한 차이가 있을 것이라고 생각하기는 어렵다. 중위도에 위치한 우리나라의 겨울철 기상은 대개 시베리아 고기압의 위치와 이동, 우리나라 주변의 기압계 패턴, 그리고 제트류의 위치와 세기에 따라 좌우되기 때문이다 (예, Jeong *et al*., 2005; Jeong and Ho, 2005). 이런 대기순환의 형태가 설날이라는 특별한 날짜에 영향을 받을 것으로 기대할 수는 없다. 더군다나 서울에 사는 사람의 수가 많고 적음에 따라 시베리아 고기압, 기압계, 제트류 등이 영향을 받는 다는 것은 사람들의 상상 속에서나 가능한 얘기이다.

그러면 설 기간 동안 수많은 사람이 일순간에 빠져나갔다가 돌아오는 며칠 동안에 서울에서 국지적 기상변화가 일어나는 것을 기대할 수는 있지 않을까? 최근에는 역귀성 등의 여파로 민족 대이동의 규모가 작아지고는 있지만, 설 휴일 동안 집중되는 사람의 이동은 우리의 오랜 문화에 그 뿌리를 두고 있다. 이와 같은 많은 사람들의 급속한 이동과 관련하여 대기 중 먼지의 양에 민감한 기온의 일교차 (일 최고기온에서 일 최저기온을 뺀 값)에는 설 연휴의 영향이 있을 가능성을 생각할 수 있다. 먼지 양의 변화에 따른 기후변화의 가능성에 대하여는 여러 학자에 의하여 제기되었다 (Rosenfeld, 2000; Ramanathan *et al*., 2001; Zhou *et al*., 2004; Lohman and Feichter, 2005; Qian *et al*., 2006). 이들 연구의 결과를 종합하면 오염물질 양의 변화는 대기의 조성성분의 특성의 변화에 관련되기 때문에 국지지역에서 대기복사, 에너지 균형, 구름 응결핵, 구름 형성 등의 변동을 가져온다는 것이다. 특히, Qian *et al*. (2006)은 중국에서 1955-2000년 동안 관측된 구름양과 대양복사량을 분석하여 밀접한 관련성이 있음을 입증하였다.

한편, 이에 더 나아가 먼지의 양이 주중과 주말 동안 사람의 활동에 따라 변하고 있음이 밝혀졌다 (Lebron, 1975; Cerveny and Balling, 1998; Marr and Harley, 2002; Beirle *et al*., 2003; Jin *et al*., 2005). 이들 연구를 종합하여 Forster and Solomon (2003)은 세계 여러 곳의 자료를 분석하여 주중과 주말의 먼지 양의 변화가 일교차의 변화를 일으키고 있음을 보여주었다. 이 연구에서는 주중과 주말의 먼지 양과 일교차의 차이를 조사한 기존 연구에 착안하여 설 연휴 며칠 동안 민족의 대이동의 중심지인 서울에서 나타나는 일교차의 변화를 분석하였다. 다른 말로, 설날 민족의 대이동이 국지적 기후변화에 어떤 영향을 끼치는가를 조사하였다.

2. 자료 및 분석방법

이 연구에서 사용된 자료는 1954년부터 2005년까지 52년 동안 서울에서 관측된 일교차이다. 일교차는 일 최고기온에서 일 최저기온을 뺀 값으로 정의하였다. 일교차의 계절평균값을 살펴보면 겨울에 8°C, 봄에 10°C, 여름에 6°C, 가을에 9°C 정도이다. 이 연구에서는 설날을 전후로 하여 일교차의 변동을 조사하였으므로, 1월이나 2월의 자료만을 사용하였다. 분석 기간 동안 설이 가장 빨랐던 해는 1966년으로서 1월 21일이었으며, 가장 늦었던 해는 1985년으로서 2월 20일이었다 (Fig. 1). 이처럼 설날이 해에 따라 30여일이나 차이가 나지만, 설 날짜의 시계열에 특정한 장기적 변화가 나타나지는 않는다.

분석기간인 52년 동안 평균된 일교차는 겨울에서 봄으로 넘어가면서 2월말에 다소 커지지만 1월초부터 2월 중순까지는 특정한 경향을 보이지 않으며 7-9°C에서만 변동한다 (그림으로 보이지 않음). 이로부터 설날의 이름과 늦음에 따라 일교차가 바뀌지 않음을 알 수 있다.

이 연구에서는 설 연휴 전, 설 연휴, 설 연휴 후 등 각기 다른 3개 기간을 정의하고, 이 기간 동안 평균된 일교차의 차이를 분석하였다. 설 연휴는 설 하루 전, 설날, 설 다음날의 3일간으로 정의하였다. 이 기간은 현재 정부에서 공식적으로 인정하는 설 연휴와 일치한다. 설 연휴 전의 기간은 설 이틀 전부터 시작하여 뒤로 일주일, 설 연휴 후의 기간은 설 이틀 후부터 시작하여 앞으로 일주일동안으로 정의하였다. 대개 시골에 고향을 둔 서울사람들이 고향을 찾는 날짜가 설 하루나 이틀 전, 다시 서울로 돌아오는 날짜가 설 하루나 이틀 후이므로 이 연구에서 정의한 설 연휴 전, 설 연휴, 설 연휴 후 기간이 일반적으로 생각하는 기간과 크게 다르지 않다. 설 연휴 전과 후의 기간을 3일로 하지 않고 일

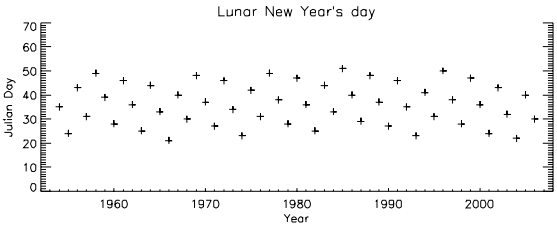

Fig. 1. Time series of Julian day of each New Year's day for 1954-2005.

주일로 잡은 이유는 보다 많은 예를 얻기 위해서이다. 전체적으로 설 연휴 전과 후의 기간을 조금씩 바꾸어서 분석하였을 때에도 이 연구의 주요한 결과는 바뀌지 않았다.

설날 전후 일교차에 나타난 변화가 신뢰성 있는 변화인가를 살펴보기 위하여 통계분석에서 널리 쓰이고 있는 *t*-test 분석을 이용하였다. 이 방법을 아래에 간단하게 설명한다. *t*-test 분석은 두 개의 서로 다른 시계열이 *t* 분포를 따른다고 가정한다. 두 시계열의 평균을 각각 μ_1, μ_2라고 하면, 귀무가설 (null hypothesis)은 μ_1과 μ_2가 같은 집단에 속한다는 것이고, 대립가설 (alternative hypothesis)은 다른 집단에 속한다는 것이다. *t* 값은 아래 식으로부터 계산된다.

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}.$$

여기서 *s*와 *n*은 각각 시계열의 표준편차와 크기이며, 아래 첨자는 두 시계열을 나타낸다. 이 정의로부터 *t* 값이 일정의 유의값보다 크면 귀무가설은 유의수준 α (×100)%에서 부결된다. 즉, 두 개의 시계열은 통계적으로 서로 다른 집단에 속하는 것이다.

3. 설 연휴 기간 동안 나타난 일교차의 변화

Figure 2는 설 연휴 3일 동안 평균된 일교차에서 설 연휴 전과 후의 14일 동안 평균된 일교차를 뺀 값이다. 일교차의 차이는 1969, 1979년에 -2°C 이하의 값을 보였으며, 1954, 1964, 1976, 1989, 1990, 1993년에 2°C 이상의 값을 보였다. 전체적으로 보았을 때, 1980년까지는 양의 값과 음의 값이 비슷한 빈도수로 교차되어

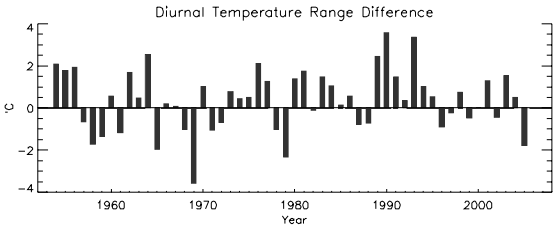

Fig. 2. Time series of difference of the diurnal temperature range between the New Year holiday and before- and after-New Year. See the text for detail calculation.

나타났으나, 이후에는 양의 값이 압도적으로 많이 나타났다. 1980년 이후 26년 동안 음의 값을 갖는 해는 8해였으나 2005년을 제외하고 그 크기는 모두 -1°C보다 작았다. 반면에 양의 값을 갖는 해는 18해였으며, 이 중에서 크기가 1°C이상 되는 해는 11해나 되었다.

1954년부터 1979년까지 일교차 차이의 평균은 0.03°C, 표준편차는 1.57°C이며, 1980년부터 2005년까지 일교차 차이의 평균은 0.68°C, 표준편차는 1.27°C로 나타났다. 따라서, 두기간동안 평균 일교차의 차이는 0.65°C이다. 이들 두 집단의 값을 이용하여 계산된 *t* 값은 1.61으로서 단측검정에서 유의수준 5%의 유의값 1.68과 비슷하게 나타났다. 따라서 1980년 이후의 일교차 차이값의 증가는 신뢰도 90%이상, 약 95% 정도에서 의미 있는 차이라고 할 수 있다.

설 연휴와 그전, 후 기간 동안의 일교차 차이가 1980년을 기점으로 다르게 나타난 이유는 무엇일까? 다음의 두 가지 이유를 생각할 수 있겠다. 첫째, 음력으로 1월 1일인 설은 양력설과의 중복을 피한다는 명분 하에 정부는 설을 공휴일로 하는 것을 적극적으로 억제해왔다. 이러한 억지 정책이 1980년대 말에 수정되면서 설은 그 전날과 다음날까지 합하여 3일간의 공휴일로 공식적으로 지정되었다. 그러나 음력설이 공식적으로 공휴일로 지정되기 전에도 많은 사람들은 비공식적으로 설 연휴를 즐겼다. 둘째, 서울의 급속한 발전이다. 인구의 유입과 이에 따른 서울의 경제, 사회적인 면이 1970년 이후 가속화되면서 1980년 이후 대기질의 악화가 현실로 나타났다. 대기질의 시간 변화를 확인할 구체적 자료를 확보하지는 못하였지만, 인구의 증가, 도심의 확장, 자동차의 증가로부터 유추할 수 있을 것으로 생각한다. 두 가지 요인을 종합하여 설 기간과 그 전, 그 후에 대기 중 먼지양의 차이가 1980년대 들어서 커졌음을 유추할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 일교차의 차이는 1980년대와 1990년대에 뚜렷하게 나타났다. 그러나 2000년 이후 일교차의 차이가 줄어드는 이유에 대하여는 추가 연구가 필요하다.

일교차의 크기는 특히 날이 맑고 흐림 (비 포함)에 따라 크게 영향을 받는다. 이 연구에서는 설 연휴 기간의 일교차를 비교할 때, 강수 (눈 포함)가 있는 날 (연휴기간동안 5 mm 이상의 비가 온 때)을 제외한 후에 Fig. 2를 다시 계산하였다. 강수 유무보다는 구름의 양을 사용하여야 하지만, 구름 자료를 구하지 못하였다. 그림에는 보이지 않았지만, 그 결과는 전체적으로 Fig. 2와 크게 다르지 않았다. 이경우의 1954년부터 1979년

까지 일교차 차이의 평균은 0.18°C, 표준편차는 1.41°C 이며, 1980년부터 2005년까지 일교차 차이의 평균은 0.62°C, 표준편차는 1.39°C, *t* 값은 1.08이다.

4. 요약 및 토의

이 연구노트에서는 설 연휴와 그 전, 그 후에 서울이라는 거대 도시에 어떤 국지적인 기상변화가 있는가를 조사하였다. 사용된 자료는 1954년부터 2005년까지의 52년간의 기온의 일교차 값이다. 일교차는 일 최고기온에서 일 최저기온을 뺀 값으로 정의하였다. 일교차는 설이 속해있는 1, 2월에 7-9°C의 값을 가지는데, 이 두 달 동안 값이 증가하거나 감소하는 경향을 보이지 않는다.

이 연구에서는 설날과 그 전날, 다음날의 3일을 설 연휴로 정의하였으며, 설 연휴 전 기간은 설 이틀 전부터 뒤로 일주일, 설 연휴 후 기간은 설 이틀 후부터 앞으로 일주일로 각각 정의하였다. 일교차의 설의 효과는 설 연휴 3일 동안 평균 일교차와 설 연휴 전, 설 연휴 후의 14일 동안 평균 일교차의 차이로 나타내었다. 흥미롭게도 일교차 차이는 1979년대 말까지는 뚜렷한 변화를 나타내지는 않았지만, 1980년 이후 급격하게 증가하였다. *t*-test 분석으로부터 1980년을 기준으로 한 이러한 변화가 신뢰도 95% 정도 수준에서 의미가 있음을 발견하였다.

이 연구에서는 이러한 설 기간의 일교차 차이의 변동을 설명할만한 구체적 추가 연구를 행하지는 않았다. 다만 설을 국가의 공식적인 공유일로 지정하는 국가 시책의 변화가 1980년대 말에 이루어져서 민족의 대이동이라고 불릴 정도로 시골에 고향을 둔 많은 서울 사람이 서울을 떠났다. 고향을 찾지 않은 사람들도 많은 수가 집에 머물러 있어서 사회, 경제적인 활동은 거의 이루어지지 않았다. 또한, 1980년대 들어서 서울 도심의 밀집도는 더욱 심화되었다. 대기질은 더욱 나빠졌다. 따라서 설 기간의 효과는 더욱 커졌을 것으로 여겨진다.

위 두 가지 가정을 종합하면 설에 대한 국가 정책의 변화와 서울 대기질의 악화의 효과가 합쳐져서 1980년 들어서 일교차의 차이가 커진 것으로 생각된다. 대기 중의 먼지 양이 줄어들면 태양빛을 차단하는 효과가 줄어들어서 일교차가 커지게 된다. 이것은 이미 많은 연구가 이루어진 주말효과의 결과와 일치하는 결과이다.

이 연구에서는 2500만 명 정도의 사람이 밀집되어 생활하는 서울에서 설이라는 문화적인 행사에 의하여 사람이 일시적으로 빠져나갔을 때, 발생할 수 있는 국지적인 기상현상의 변화에 대하여 조사하였다. 구체적으로 설명할 수 있는 근거를 찾기 위한 추가 연구를 하지 않았기 때문에 설 기간 동안 먼지양의 감소가 일교차를 크게 했다고 결론을 내릴 수는 없다. 다만 기존의 주말효과 연구의 결과를 대입하여 그렇게 추측할 뿐이다.

그 이유가 먼지양의 감소에 있든, 아니면 다른 이유에 있든 일교차의 차이에 변화가 뚜렷이 나타나고 있다면 이것은 인위적인 요인에 따른 국지적 기후변화라고 얘기할 수 있다. 단 며칠 동안 이루어진 대규모 민족이동이 기후변화를 만들어내는 것이다. 그러나 서울에 살고 있는 우리는 이러한 기후변화를 감지하지 못하고 있다. 그 크기가 너무 작고 단기간에만 일어나고 있기 때문일 것이다. 이 연구에서 분석한 일교차 변동이외에도 설 기간 동안 민족의 대규모 이동이 만들어내는 또 다른 기후변화가 있을 수도 있다. 단지 우리가 모르고 있을 뿐이다. 작은 기후변화가 모여서 확대된다면 사람이 쉽게 감지하고, 그 변화에 영향을 받을 수도 있다. 우리가 작은 기후변화 일지라도 관심을 가지고 지켜보고, 대처해야 하는 이유가 여기에 있다.

이 연구는 설날에 민족의 대이동을 보면서 서울이라는 좁은 영역에서 기후변화라고 부를만한 영향이 있지 않을까하는 막연한 기대감을 가지고 시작되었다. 짧은 기간이지만 일시적으로 공장이 멈추고, 자동차의 활동이 줄어들기 때문에 대기질의 변화가 있을 것이라고 가정하였다. 하지만, 유감스럽게도 이를 증명할 관측자료를 확보하지는 못하였다. 한편, 먼지양의 변화 이외에도 일교차의 차이를 일으키는 많은 기상요소가 있다. 특히, 구름의 유무나 강수 유무는 절대적이라고 할 수 있다. 흥미롭게도 강수 유무에 상관없이 이 연구에서 얻은 결과와 같이 일교차의 변화가 있음을 발견하였다. 앞으로 인간의 활동과 기후변화에 관련된 구체적이고 실용성 있는 많은 연구가 이루어졌으면 하는 바람이다.

감사의 글

이 연구에 관심을 가지고 귀찮은 질문에도 개의치 않고 기꺼이 시간을 내어 토론에 응해주신 서울대학교의 정지훈 박사, 김주홍 박사, 중국 북경사범대학의 Daoyi Gong 교수, 스웨덴 예테보리대학의 Deliang Chen 교수께 감사드립니다. 짧은 원고지만 꼼꼼하게 읽고 도움말을 주신 두 분 심사자에게 감사드립니다.

정지훈 박사께서 계산의 대부분을 도와 주셨습니다.

참고문헌

Beirle, S., U. Platt, M. Wenig, and T. Wagner, 2003: Weekly cycle of NO_2 by GOME measurements: A signature of anthropogenic sources. *Atmos. Chem. Phys.*, **3**, 2225-2232.

Cerveny, R.S., and R.C. Balling Jr., 1998: Weekly cycles of air pollutions, precipitation and tropical cyclones in the coastal NW Atlantic region. *Nature*, **394**, 561-563.

Forster, P. M., and S. Solomon, 2003: Observations of a "weekend effect" in diurnal temperature range. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **100**, 11225-11230.

Jeong, J.-H., and C.-H. Ho, 2005:Changes in occurrence of cold surges over east Asia in association with Arctic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.,* **32**, L14704, doi:10.1029/2005GL023024.

_____, _____, B.-M. Kim, and W.-T. Kwon, 2005: Influence of the Madden-Julian Oscillation on wintertime surface air temperature and cold surges in East Asia. *J. Geophys. Res.,* **110**, D11104, doi:10.1029/2004JD005408.

Jin, M., J. M. Shepherd, and M. D. King, 2005: Urban aerosols and their variations with clouds and rainfall: A case study for New York and Houston. *J. Geophys. Res.*, **110**, D10S20, doi: 10.1029/2004JD005081.

Lebron, F, 1975: A comparison of weekend-weekday ozone and hydrocarbon concentrations in the Baltimore-Washington metropolitan area. *Atmos. Environ.*, **9**, 861-863.

Lohman, U., and J. Feichter, 2005: Global indirect aerosol effects: A review. *Atmos. Chem. Phys.*, **5**, 715-737.

Marr, L. C., and R.A. Harley, 2002: Spectral analysis of weekday-weekend differences in ambient ozone, nitrogen oxide, and non-methane hydrocarbon time series in California. *Atmos. Environ.*, **36**, 2327-2335.

Qian, Y., D. P. Kaiser, L. R. Leung, and M. Xu, 2006: More frequent cloud-free sky and less surface solar radiation in China from 1955 to 2000. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L01812, doi:10.1029/2005GL024586.

Ramanathan V., P.J. Crutzen, J.T. Kiehl, and D. Rosenfeld, 2001: Aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science*, **294**, 2119-2124.

Rosenfeld, D., 2000: Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Science*, **287**, 1793-1796.

Zhou, L.-M., R. E. Dickson, Y.-H. Tian, J.-Y. Fang, Q.-X.. Li, R. K. Kaufmann, C. J. Tucker, and R. B. Myneni, 2004: Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **101**, 9540-9544.