

서울의 강우와 강설 일수 자료에 나타난 17세기 말엽의 건조기

임규호^{1)*} · 최은호¹⁾ · 구교상²⁾ · 원명수²⁾

¹⁾서울대학교 지구환경과학부

²⁾국립산림과학원 산림방재과

(접수: 2012년 3월 2일, 게재확정일: 2012년 4월 4일)

The 17th Century Dry Period in the Time Series of the Monthly Rain and Snow Days of Seoul

Gyu-Ho Lim^{1)*}, Eun-Ho Choi¹⁾, Kyosang Koo²⁾, and Myoungsoo Won²⁾

¹⁾SEES, Seoul National University, Seoul Korea

²⁾Div. of Forest Disaster Management, Korea Forest Research Management

(Received: 2 March 2012, Accepted: 4 April 2012)

Abstract The monthly number of days with rain or snow in Seoul extends backward to 1626 from the present. The number of rain and snow days are from the ancient records and combined with the modern precipitation records from 1907 to the present. There are two distinct and abrupt changes in the time series, which allow us to divide the entire period into three sub-periods of CR-I, CR-II, and MR. For each sub-period, we calculated the basic statistics and the associated distributions. The analysis proves Seoul, which may comprise East Asia when considering the lengthy period of dry condition, had dry climate for the Maunder Minimum when Europe experienced cold climate. We also note relationships between the rain days and sunspot numbers in various frequency bands.

Key words: Rain days, Snow days, Dry climate, East Asia

1. 서 언

강수량 자료는 인류의 농경 생활과 밀접하게 연관되어 기상 변수 중 가장 장시간의 기록이 보존되고 있다. 장기간의 기후 자료는 프락시 자료(proxy data)인 경우가 흔하다. 최장의 관측 강수량 자료로는 서울의 측우기 자료가 세계적으로 유일하다(Lim and Jung, 1994; Jung *et al.*, 2001). 측우기 강수량 자료와 프락시 자료의 유사점이나 차이점을 명확하게 할 필요가 있다. 관측기구인 측우기를 이용하여 뚜렷한 목적의식을 가지고 생산된 서울의 강수량 자료는 정확성에서 프락시 자료와 비교를 불허한다. 관측 시간 간

격 및 관측 강우량의 정밀도 측면에서 현대 관측에 비하면 정확도가 떨어짐은 사실이다. 현재로서는 측우기 강우량의 낮은 정밀도를 극복할 수 있는 방법은 불분명하다.

소빙하기 기간(1300-1900) 동안 유럽에서 가장 한랭하였던 시기인 1645-1715년 사이의 Maunder Minimum(MM) 기간 동안 태양활동이 미미하였음을 강조하고 있다(Sperer, 1887; Maunder, 1922; Eddy, 1976). Eddy(1976)는 다수 연구자들의 결과와 자신의 자료를 통합하여 MM의 원인으로 당시의 위축된 태양활동을 지적하였다. 목측 관측 및 망원경을 이용한 흑점 관측 자료, 생물체의 탄소연대 측정, 오로라 활동성, 코로나 강도와 같은 다양한 자료를 제시하였다. 태양활동의 정도는 흑점수의 다과로 추측하였다. 그리고 망원경의 발명 시기와 당대 천문학의 수준과 같은 사회 여러 분야의 현상들과 이들 사이의 역학 관계를 고려

*Corresponding Author: Gyu Ho Lim, SEES, Seoul National University, Seoul 151-747, Korea.
Phone : +82-2-880-6725, Fax : +82-2-883-4972
E-mail : gyuholim@snu.ac.kr

하였다. 다양하고도 인정할 만한 증거를 제시하였지만, 날씨는 장기간 흐리지 않았을 것이라고 언급하였다. 월별 강수일수로부터 MM 시기 동안 서울 내지는 극동 지역의 날씨 상태를 간접적으로나마 추측할 수 있을 것이다.

동시에 태양활동, 화산 폭발, 해양대기 결합계의 내부역학을 조사하여 유럽에 MM기간과 1960-90년대의 대기 순환을 비교하여 북대서양의 고기압 발달과 중앙 및 남서 유럽의 저압부 발달은 겨울철 유럽의 한랭 기후를 유발하였다 (Luterbacher *et al.*, 2001). 유럽의 빙하기가 유럽에 국한되는 국지적인 현상이었는지를 조사할 필요가 있다.

유럽의 MM 기간 동안 동아시아의 상응하는 기록으로 천문현상인 흑점수의 기록과 날씨 기록이 있다. 이 중에서도 강수일수 기록은 매우 흥미로우나 그 유용성이 충분히 활용되지 않음을 고려하여 이 논문을 작성하게 되었다. 서울의 측우기 우량 자료에 또 하나의 특이한 강수 관련 자료로 평가하며 이 자료에 내재되어 있을 기후학적인 변동성을 흑점 수와 화산 폭발 빈도와의 정성적인 비교를 하였다.

이 연구 노트의 구성은 2장에서 소개한 자료와 분석법에 이어 3장에서 분석 결과를 보인다. 마지막으로 결론을 4장에 제시한다.

2. 자료와 분석법

강수일수 자료는 중앙기상대 (현 기상청의 전신)가 1956년에 발행한 기상 오십년보 (氣象五十年報)에서 발췌하여 전자파일을 구성하였다. 기상오십년보 (1956)는 1626년부터 1954년까지의 강수일수를 기록하고 있다. 위의 자료 기간 중 1626년부터 1907년 자료는 조선고대관측기록조사보고 (와다유지, 1917)의 기록과 동일하다. 1955년 이후의 일수는 국회 도서관 보관 기상년보에서 발췌하여 연결하였다.

강수량 자료는 Jung *et al.*, (2001)의 전자 파일 자료에 최근 10년간의 서울 월 강수량 자료를 기상연보에서 발췌 연결하여 구성하였다. Jung *et al.* (2001)의 자료는 승정원일기에서 직접 발췌한 자료이다 (전종갑과 문병권, 1997; 정현숙과 임규호, 1994). 기상오십년보의 강수량 자료는 와다 유지가 정리한 것이며 본 논문에서 사용된 승정원일기의 자료와는 정량적인 측면에서 다소의 차이가 있음이 사실이다. 두 자료의 개별적인 값 차이는 미미하여 통계적인 분석에는 무리가 없다고 판단하였다.

흑점 자료는 미국 항공우주국 (<http://solarscience.msfc.nasa.gov>)의 흑점주기 웹페이지에서 획득하였다. 화산 폭발 시기와 강도 자료는 전 지구 화산 프로그램의 웹사이트인 <http://www.volcano.si.edu/world>와 위키

웹사이트 (<http://en.wikipedia.org/wiki/>)의 List_of_large_volcanic_eruptions 페이지에서 구하여 정리 사용하였다. Mason *et al.* (2004)이 폭발 지수 (VEI, volcanic explosivity index)를 정의하였다.

우리의 목적은 자료 소개와 기본적인 통계 분석이다. 강수일수와 강우량 자료 시계열의 표출과 기본적인 통계자료를 계산하여 제시한다. Fig. 1은 결격 자료를 보완하지 않은 원 시계열 자료이다. 결격 자료를 표본에서 제거한 분석의 장점은 내삽이나 자료 보완에 따른 불필요한 정보나 잡음의 발생이나 도입을 막을 수 있다. 특정 변수의 표본이 극히 적은 경우 해당 변수의 평균값이 큰 방향으로 편향된다. 독립적인 관측 값의 개수가 30개 이상인 경우는 적절한 대표 값을 얻을 수 있었다. 다소 극단적인 예로 5월의 강설 일수는 1645년 5월의 단 한차례 기록이 존재한다. 우리의 방법에 의하면 평균값이 1이다. 다른 모든 해의 5월 강설 관측값 즉 결격 자료를 단순하게 0으로 취급하면 자료 전 기간에 대한 발생 일수는 0에 가깝다. 강수일수 자료에서는 결격 자료와 관측 값이 0인 경우가 분명하지 않다. 이러한 불합리한 점이 있지만 5월 강설일수를 제외하면 결격 자료를 감안하지 않고 관측된 자료만의 통계 값이 더 좋은 대표성을 보였다. 따라서 본 논문에서는 자료 내, 외삽은 시도하지 않았다.

이 연구 노트의 목적이 자료 소개와 기본적인 통계 값의 제공, 그리고 1700년대 유럽 MM 관련 동아시아 강수일수의 특성 분석이 주요 목적임을 감안 본 논문을 단순화하고자 함도 결격 자료를 통계에서 제외하는 이유 중의 하나이다.

3. 분석 결과

Fig. 1에서 제공한 월 강수일수 (강우와 강설 일수)에서는 월 최대 강수일수가 매월의 일수로 제한되기에 강수일수의 변동 폭이 제한된다. 그림의 강수일수와 흑점 시계열에서 17세기, 19세기말의 감소한 강수일수와 흑점의 장기적인, 아니면 11년 주기의 엔빌로프 함수 (the envelope function)의 진폭이 작아져서 어느 정도 일치한다. 그리고 18세기의 단기간에 걸쳐 위측된 흑점 수는 강수량과 강설일수에서 미약하지만 상관성을 지적할 수 있다.

우리의 목적이 17세기 말 유럽의 MM과 관련한 동아시아의 지표와 태양활동 변동성에 따른 기상조건의 일부에 출현하였을 현상의 일부를 보이고자 함을 고려하여 연 총강수일수를 계산하였다 (Fig. 2).

연 강수일수에서는 월 자료에서보다 더 뚜렷하게 전 자료 기간을 3개의 상세 구간으로 구별할 수 있다. 구분을 가능하게 하는 원인에 대한 분석은 차후로 미

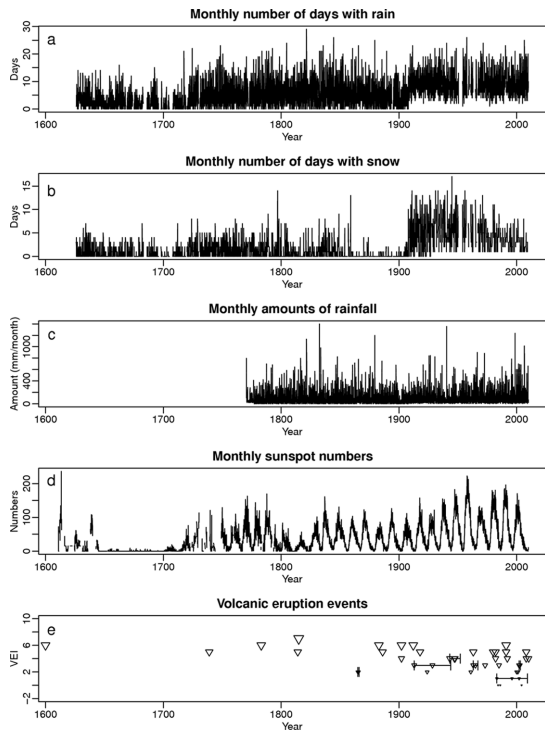


Fig. 1. Time series of monthly amounts of (a) the rain days and (b) the snow days for the years of 1626-2008, (c) rainfall amounts for 1777-2008, (d) sunspot numbers for 1610-2008, and (e) the magnitudes of volcanic explosivity index (VEI) for 1600-2008. The eruption levels from 0 to 7 correspond to the size of triangles from the smallest one to the largest in order. The missing values are not drawn as for the basic statistics in Table 1.

룬다. 지금은 시계열에 나타난 변동 현상을 수용하고자 한다. 연 자료에 근거하여 CR-I, CR-II, 그리고 MR로 명명하였다. 각각의 의미는 측우기 관측 관련 I과 II 시기와 MR은 근대 관측 자료라는 의미를 내포한다. CR-I과 II의 차이에서 CR-I의 경우 측우기 관측에 근거한 자료라는 명시적인 근거는 없다. 그러나 측우기 발명 연도가 1441년인 점과 측우기 발명과 더

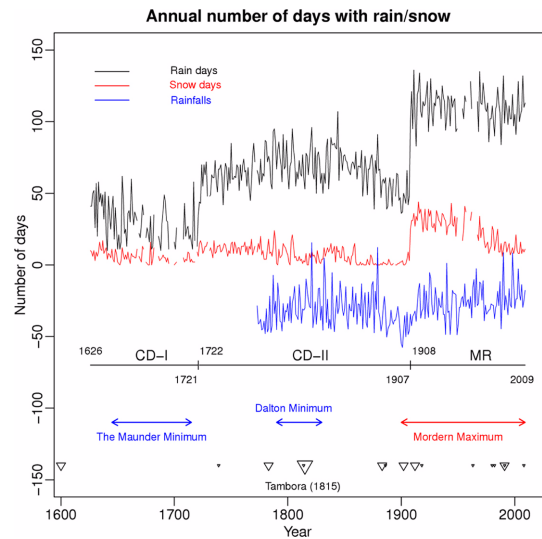


Fig. 2. Annual number of days with rain (blue) and snow (red) for the years of 1626-2008, annual amounts of rainfall amounts for 1777-2008, annual sunspot numbers for 1610-2008, and VEI indices 1600-2008. For the intensity of eruption, we show the explosions stronger than 5 in the unit of VEI. The smallest, middle, and the largest triangles denote 5, 6, and 7 in the level of VEI, respectively.

불어 한반도의 거의 모든 지역을 포괄하는 강우 관측망의 구성을 고려한다면 눈비의 기록은 측우기 기록과 연관된 강설 및 강우 일수로 해석함이 타당할 것이다. 위의 가정은 측우기 강수량 자료와 강수 일수가 와다유지 (1917) 1인에 의하여 정리되었다는 사실과도 부합한다.

각 하루 기간별 시기의 월 강우일수는 시간에 따라 증가한 것으로 나타났다 (Fig. 3). 눈비 일수의 차이점은 강우 일수의 경우는 전반적인 증가로 평균일수의 증가와 왜도의 감소로 특징지어지는 반면, 강설 일수는 전반적인 증가와 더불어 이중극값이 시기에 따라 강화되는 양상이다 (Table 1, Fig. 3). 이는 최근 들어 강설일수가 극단적으로 적은 해와 많은 해가 구분되는 현상임을 암시한다. 특히 강설 일수의 경우 최근

Table 1. Basic statistics for the individual periods of CR-I, CR-II, and MR. The values are for the rain days and the figures in () are for the snow days. All statistics is based on the raw time series with the exclusion of missing values.

Parameters\Period	CR-I	CR-II	MR
Mean	30.08 (5.80)	65.84 (7.16)	110.09 (23.27)
SD	14.05 (4.03)	13.21 (5.58)	11.76 (10.36)
Skewness	0.40 (0.63)	0.13 (0.39)	0.01 (0.01)
Kurtosis-3.0	-0.85 (-0.19)	-0.10 (-0.76)	-0.33 (-1.21)

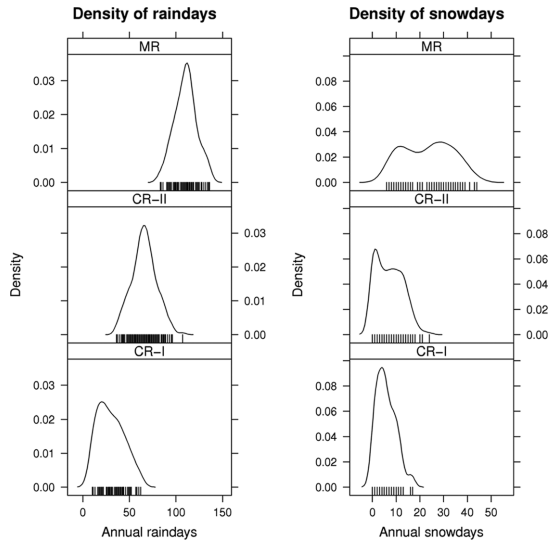


Fig. 3. Density of the rain days in the left column and the snow days in the right for the subdivided periods: CR-I, CR-II, and MR. The length of each period and basic statistics are given in Table. 1.

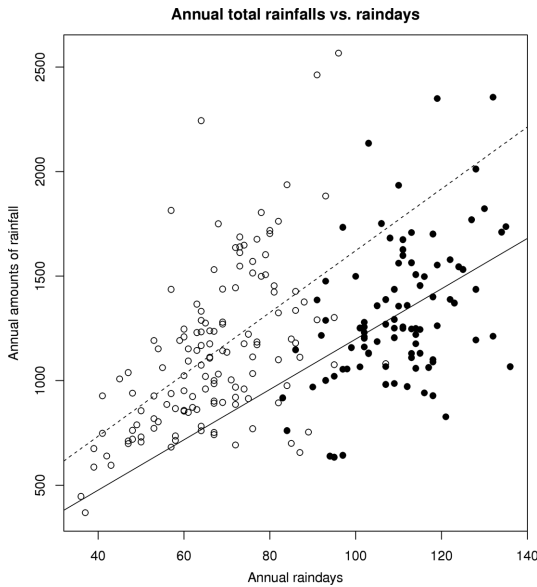


Fig. 4. Scatter diagram and linear regression lines between the rain days and the rainfall amounts based on the annual accumulations for the time period where rainfall amounts are available. The empty circles and dashed lines are for the portion of the period CR-II and the solid circles and lines are for the complete MR period. The linear coefficient of correlation is 0.54 for the CR-II period and 0.43 for the MR period, which has a reliability higher than 95 %.

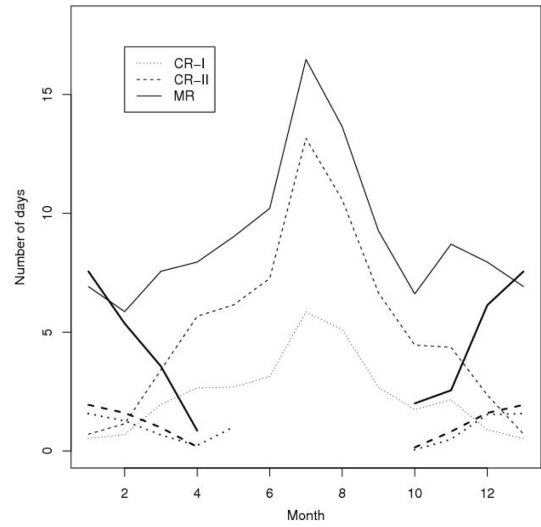


Fig. 5. Annual march of (a) the rain days and (b) the snow days of a year. The solid, dashed, and dotted lines are for the periods of CR-I, CR-II, and MR, respectively. The thin lines are for the monthly rain days of a year and the thick lines for the monthly snow days. The snow days of one in May is resulted from a one event of snow day in the year of 1645 without counting no snow days of May in the other years. The overestimation may be compared with the near zero value of days with snow in the months of April and October.

온난화 관련 전반적인 강수량이나 강수일수는 증가하나 강설 일수만은 시간에 따라 서서히 감소하는 현상을 보임은 매우 흥미롭지만 현재로서는 원인을 밝힐 수는 없었다. 과거 1700년대와 1900년대에 매우 적은 연강수량 시기와 겨울철의 적은 강설일수가 일치하는 점은 미래의 장기적인, 확대해석하면 동아시아, 좁게는 서울 강수량의 기후학적인 예측에 유용할 것이다. 이는 강수량과 강수일수의 높은 상관관계를 생각할 때 현실성이 높다 (Fig. 4).

Fig. 5에서 강수 및 강설 일수의 변동에서 강설 일수 보다는 강우 일수의 증가는 CR-II와 MR에서 그리고 강설 일수는 CR-I와 II에서 유사하게 나타났다. 이는 기후변화나 태양의 활동이나 여하한 원인에 기인할 수 있는 기온 증가에 수반되는 여름철 강수일수의 증가가 동계의 강설일수 증가보다 더 빠르게 반응함을 시사한다.

유럽의 MM이나 소빙하기 혹은 천년 (millenium) 주기의 태양활동과 날씨 현상의 상관에 대한 많은 연구들이 장주기의 관련성을 주장하거나 인정하는 반면 단주기 성분에 대하여는 상관성이 없음을 거론하고 있다. 그러나 이러한 생각과는 상이한 관계를 Fig. 6

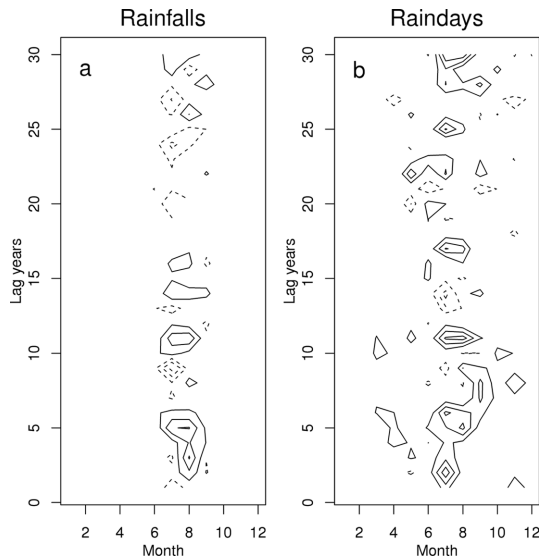


Fig. 6. Contour analysis of the auto-covariance functions of the annual amounts of rainfall and the rain days for each calendar month. The contour values for the rainfall covariance are $-5000, -3000, -1000, 1000, 3000, 5000$ in a unit of $\text{mm}^2/\text{year}^2$ and $-2.0, -1.5, -1.0, -0.5, 0.5, 1.0, 1.5,$ and 2.0 for the rain days covariance. The cold or dry months have suppressed covariance values in general. For the covariance analysis of rain days, we stratified monthly rain days with individual mean values for each period. Snow days are not analyzed because of the large numbers of missing values for satisfactory statistics.

에서 확인할 수 있다. 강수량은 물론이고 강수일수에서 분명한 11년 반복 현상을 확인할 수 있다. Fig. 6의 결과는 주기분석에서 뚜렷한 극값을 가지지 않지만 자기상관계수에서 극값을 가지는 현상의 출현이 서울의 강수량, 강수 일수에서는 나타나고 있음을 인지할 필요가 있다. 이에 대한 이론 개발과 수치 실험 연구를 수행하고 있다.

4. 결 론

월별 강수일수 자료는 기상정보로서의 한계성을 가지지만 다른 기상 변수와는 다르게 경정이나 수정을 필요로 하지 않는다. 다만 강수 일수를 정의하기 위한 내린 눈이나 비의 기준 값에 따른 일수의 변화는 예상된다. 명확한 값의 정의를 찾을 수 없어 1700, 1900년대 적은 연 강수일수를 경계로 각 기간의 통계적인 동질성과 차이점을 가감 없이 제시하였다.

월 강수일수의 연변동성에서는 하계다우 동계 건조

라는 현재의 서울 강수 특성과 일치한다. 가문 시기의 연변동성은 다우 시기의 변동성과 큰 차이를 보이지 않았다. 즉 특정해의 겨울이나 봄철의 가뭄이 여름철의 강수량 감소로 이어졌다. 이에 대한 상세한 분석은 장래에 다루고자 한다.

1700년대와 1900년대 무렵의 적은 강수일수는 태양 활동의 위축과 연관된 한랭한 시기로 특정 지워졌다. 현대의 겨울철 강설 일수의 감소가 연 총강수량의 감소로 이어질지 흥미로운 관찰 대상이다. 지구 온난화가 없다면 1700년대나 1900년대의 경우를 고려하면 서울을 중심으로 하는 한반도 지역은 2100년 무렵에는 가뭄이 예상된다. 하지만 지구 온난화가 일반적으로 강수량이 많은 지역의 강수량 증가를 초래한다는 점을 감안하면, 한반도의 기후학적인 강수량 예측이 더욱 어렵게 되었다. 17세기말의 극심한 유럽의 추위와 서울의 극히 적은 강설 일수는 일치하지만 동아시아의 극심한 추위 기록은 흔하지 않다. 이는 1900년대 서울의 가뭄에 비하여 유럽지역의 강력한 추위나 혹은 추위와 관련되었을 후점 변동에 대한 기록이 미미한 점은 생각할 여지가 많다. 즉 태양활동이 전 지구적으로 동일한 기상 변수에 일률적으로 작용하기 보다는 지역에 따라 다른 기상요소에 그리고 그 강도 또한 다르게 나타날 수 있다는 점을 감안할 필요가 있다. 강수일수 자료에 의하면 유럽의 한랭 시기에 동아시아는 건조한 기후를 가졌다는 점이다. 동아시아의 건조시기가 한랭하였는지는 더 연구할 부분이다.

위와 같은 200년 단위, 혹은 100년 단위의 후점 엔빌로프 함수의 진폭 변동성과 서울의 강수일수 변동성은 긴밀한 연관성을 보이는 외에 후점주기인 11년의 변동성이 강수일수의 스펙트럼 분석에서는 불분명하나 자기 상관계수 분석에서는 뚜렷하다는 점이다. 이는 단주기의 상관없음이나 낮은 관련성과 장주기의 높은 상관이라는 기존의 태양활동과 기상현상에 대한 해석에 문제가 있음을 암시한다.

감사의 글

본 연구결과는 기상청 기상지진기술개발사업 (CATER 2012-3062)의 지원으로 수행되었습니다. 그리고 국립산림과학원 기후변화 대응 산림재해 예측 및 대응전략 개발 과제의 위탁과제 (2012)의 일부 내용을 포함하고 있습니다.

참고 문헌

와다유지 (和田戰雄治), 1917: 조선고대관측기록조사보고서, 조선총독부 인천관측소 발행, 200 pp.
전종갑, 문병권, 1997: 측우기 강수량 자료의 복원과 분석.

- 한국기상학회지*, 33, 691-707.
- 정현숙, 임규호, 1994: 서울지역 월강수량과 강수일수: 1770-1907. *한국기상학회지*, 30, 487-505.
- Eddy, J. A., 1976: The Maunder Minimum. *Science, New Series* 192, 1189-1202.
- Jung, H.-S., G.-H. Lim, and J.-H. Oh, 2001: Interpretation of the Transient Variations in the Time Series of Precipitation Amounts in Seoul, Korea. Part I: Diurnal Variation. *J. of Climate*, 14, 2829-3004.
- Lim, G.-H., and H.-S., Jung, 1992: Interannual Variation of the Annual Precipitations at Seoul, 1771-1900. *J. of Korean Meteor. Soc.*, 28, 125-131.
- Luterbacher, J., R. Rickli, E. Xoplaki, C. Tinguely, C. Beck, C. Pfister, and H. Wanner, 2001: The Late Maunder Minimum (1675-1715)-A Key Period for Studying Decadal Scale Climate Change in Europe. *Climatic Change*, 49, 441-462.
- Mason, B. G., David, M. P., and Oppenheimer, C., 2004: The size and frequency of the largest explosive eruptions on Earth. *Bull. Volcanol.*, 66, 735-748. DOI 10.1007/s00445-004-0355-9.
- Maunder, E. W., 1922: The Prolonged Sunspot Minimum 1675-1715. *Brit. Astron. Ass. J.*, 32, 140-145.
- Spörer, F.W.G., 1887: Über die Periodizität der Sonnenflecken seit dem Jahre 1618, vornehmlich in Bezug auf die heliographische Breite derselben, und Hinweis auf eine erhebliche Störung dieser Periodizität während eines langen Zeitraumes. *Vjschr. Astron. Ges. Leipzig*, 22, 323-329.