

측우기 관측 강우량 자료에 근거한 한반도 건조기에 대한 연구

○정현숙*, 임규호**, 오재호***

1. 서론

한국인이라면 측우기가 1441년(세종 23년)에 세종대왕에 의해 세계 최초로 발명된 우량계라는 사실을 잘 알고 있다. 그러나 측우기로 관측된 강우량 자료의 기상학적인 가치에 대해서는 간과하고 있는 듯하다. 관측 자료가 기록되어 있던 여러 고문서 중 승정원 일기, 일성록 등을 제외한 대부분은 임진왜란과 한국전쟁으로 소실되었음에도 불구하고 최근 측우기로 관측된 준수간 강우량 자료가 복원되었다. 강수량의 장주기(예를 들면 수년-수십년 주기) 변동은 지구와 대기 사이의 시스템에서 물순환 변화의 중요한 부분이다. 그러므로 서울 지역 강수량의 장주기 변동에 대한 지식은 강수의 장기 예측과 함께 지역 기후 변화를 인지하고 이해하기 위해서 필수적인 사항이다. 세계 다른 지역들에서 강수량의 장주기 변동을 연구하기 위해서 관측 자료의 부족으로 기후 대용지수(Proxy data)를 사용한다는 점을 생각하면 서울 지역의 강수량 자료는 한 장소에서 관측기기로 측정되어 보존되어 있는 세계 최장기간의 관측 자료로서 과거 한반도의 강수 변동성을 밝혀 줄 수 있는 귀중한 자료이다.

인간이 겪는 자연 현상 중 가장 큰 재해는 물 부족이며 기상학의 궁극적인 목적은 자연 재해를 대비하기 위한 예측이다. 본 연구에서는 장기간의 측우기 관측 자료와 현대 우량계 관측 자료의 변동 특성들을 비교, 분석하고 이를 통하여 강수량 시계열에 장기간 나타난 건조기에 대한 특징과 관련된 대기 순환을 살펴 보고자 한다.

2. 시계열의 기본적인 특성

Fig. 1은 1777년부터 1996년까지 서울 지역에서의 연강수량 시계열을 보여준다. 1777년-1907년은 측우기 관측에 의한 값으로 승정원 일기에서 복원한 준수간 강우량에 근거하여 계산한 연강수량이며, 1908년-1996년은 현대 우량계 관측에 의한 것이다. 본 연구에서 말하는 현대 우량계의

* 기상연구소 예보연구실 인턴연구원

** 서울대학교 대기과학과 부교수

*** 기상연구소 예보연구실 실장

의미는 현대 강수량 관측법 도입(1908년) 이후 강수량 관측에 사용된 모든 종류의 우량계를 포괄적으로 일컫는 것으로서 고대 한국 우량계인 측우기에 상대되는 개념이다. 가는 실선과 굵은 실선은 각각 실제 관측된 연강수량과 장주기 변동을 보기 위하여 9년 이동 평균한 값을 나타낸다. 1900년을 전후로 약 25년 정도 지속되었던 극심한 건조기를 볼 수 있다. 이 건조기를 중심으로 시계열을 습윤기1, 건조기, 습윤기2로 나누어 각 시기의 평균을 포함한 기초적인 통계 특성과 일강수량의 연변화를 살펴보았다.

Table 1에 각 시기별로 평균, 표준편차, 첨도, 왜도 등의 결과를 요약하였다. 습윤기1과 습윤기2의 연강수량 차는 97mm/yr로서 습윤기2의 연강수량의 7%정도에 해당한다. 그러나 측우기 관측의 최소 단위가 약 2mm이었으므로 소량의 강수 현상은 관측되지 못했고, 강설 등과 같은 고체성 강수가 포함되지 않은 점을 고려해야 한다. 서울 지역의 경우 1회 관측된 강수량이 2mm 미만인 소량의 강수량은 평균적으로 35-40mm/yr이고 강설량이 연강수량에 미치는 정도는 평균 40mm/yr이다. 이점을 감안한다면 습윤기 1과 습윤기 2의 연강수량은 큰 차이가 없는 것으로 볼 수 있다.

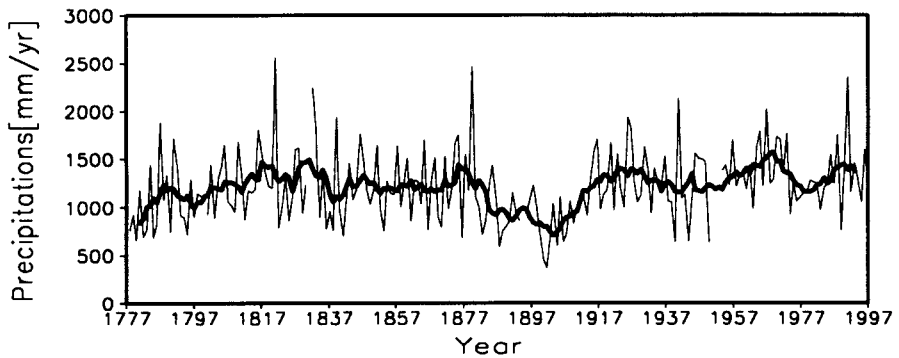


Fig. 1. Time variations of annual precipitation amounts in Seoul based on the hourly amounts observed by Chukwookee(a Korean rain gauge) from 1777 through 1907 and by modern rain gauges from 1908 through 1996. Thin and thick lines denote the annual precipitation amounts and their nine-year moving averaged means, respectively.

Table 1. Means, standard deviations, the moment coefficients of skewness and kurtosis based on the precipitations of Seungjungwon-ilgee and modern observation records.

	Seungjungwon-ilgee			Modern observation
	1777-1907	1777-1883	1884-1907	1908-1996
Mean (mm/yr)	1148.1	1207.4	879.9	1304.4
STD (mm/yr)	388.0	386.2	268.5	324.8
Skewness	0.94	0.98	0.03	0.57
Kurtosis	1.32	1.18	-0.63	0.64

반면, 건조기의 연강수량은 습윤기1과 습윤기2에 비해 각각 327.5mm/yr, 425.4mm/yr 정도 적게 나타난다. 표준편차, 첨도, 왜도 등에 있어서도 습윤기1과 습윤기2는 서로 비슷한 분포를 보이지만 건조기는 두 시기와는 다른 특성을 보여준다.

한반도 강수의 계절 변화는 평균적으로 6월말에 장마가 시작되고 7월말-8월초를 전후하여 강수량이 감소하다가 8월말-9월초에 강수량이 다시 증가하는 가을 장마로 일컫는 기간이 존재하는데 가을 장마는 중부 지방보다는 남부지방에서 뚜렷한 것으로 알려져 있다. Fig. 2는 각 시기에 대해 9일 이동 평균된 일강수량의 평균 계절 변화를 보여준다. 습윤기1, 건조기, 습윤기2 각 시기에 대해 평균된 연평균 일강수량은 각각 3.37mm/day, 2.47mm/day, 3.73mm/day이다. 장마 기간 동안의 일강수량이 연평균 일강수량 이상이라고 보면 습윤기1과 습윤기2는 6월말을 장마 시작시기로 볼 수 있지만 건조기의 장마는 7월 10일 경에 시작되고 장마기간 동안 일강수 강도의 변화가 두 시기에 비해 매우 크게 나타나고 있다. 단, 습윤기2에서는 약하나마 가을 장마에 해당하는 기간이 나타나지만 습윤기1과 건조기에서는 나타나지 않는다. 가을 장마의 강수량이 지역적 대류활동이나 태풍의 통과 등의 영향을 주로 받는 점을 고려하면 현대 서울 지역 강수량 시계열에 나타나는 가을 장마는 강수 기후의 자연변동성으로 판단된다.

3. 시간변동성과 지역순환

강수량 시계열에 나타난 건조기의 확인 및 관련된 대기 순환의 특징을 북반구 기상 변수의 수평분포에서 살펴보기 위하여 미국기상연구센터(NCAR)에서 제작한 1854년-1990년의 전구 월기온과 북반구 월기압 자료 및 1891년-1979년까지의 월강수량 자료를 분석하였다.

서울 지역 강수량에 나타난 건조기는 1900년을 전후로 25년 정도 지속되었다. 한발의 시간 규모로 보아 그 공간 규모는 한반도 전체가 영향을 받았을 것으로 짐작할 수 있다. 실제 관측 강수량 분석에서 건조기 동안 적은 강수량을 보인 지역은 한반도를 포함하여 동아시아 해안을 따라

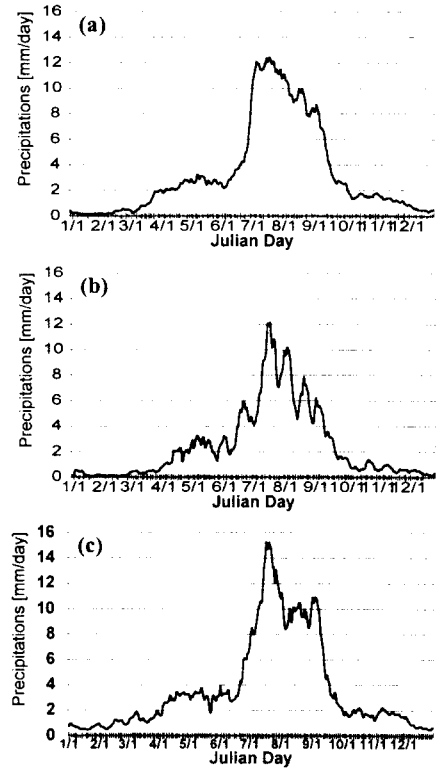


Fig. 2. Annual distribution of the daily precipitation amounts for the time period of wet period 1(a), and dry period(b), and wet period 2(c). The dashed line denotes the averaged daily precipitation amounts for each period.

나타났으며 일본 지역에서는 훗가이도를 제외하면 오히려 약간 많은 양(약 5%)을 보였다. 건조기 동안의 기압은 습윤기2에 비하여 대륙에서는 상대적으로 높고 해상에서는 상대적으로 낮게 나타났다. 즉 동아시아 지역의 기압 분포는 강수량이 매우 적었던 기간 동안 동아시아 몬순이 약화되어 있었음을 의미한다(Fig. 3).

NCAR 자료에서 나타난 월기온의 수평 분포에서는 건조기 동안 한반도는 물론 동아시아 해안가 및 일본 전역에서 음의 아노말리를 보여 주고 한반도 북쪽에서는 양의 아노말리를 보여 주어 한반도를 중심으로 경압성이 약화되었음을 짐작할 수 있었다(그림 제시하지 않음). 한반도에서의 여름철 강수량과 기온 사이의 관계를 아직 정확하게 알 수는 없지만 장마 기간의 남북 방향의 온도경도는 장마 전선의 경압성을 의미하는 것으로 볼 수 있는데 건조기 동안의 감소한 경압성이 한반도에서의 강수에 영향을 주었을 것으로 사료된다.

건조기 동안의 대기 상태를 종합해 볼 때 한반도에서 10년 이상 지속되는 장기간의 가뭄은 한반도 주변의 대기 상태나 한반도의 국지적인 경계 조건에 의한 영향보다는 좀 더 큰 공간 규모, 예를 들면 북태평양 고기압이나 아시아 내륙의 열저기압의 강도나 발달 정도와 더 밀접한 관련을 가지는 것으로 해석할 수 있겠다.

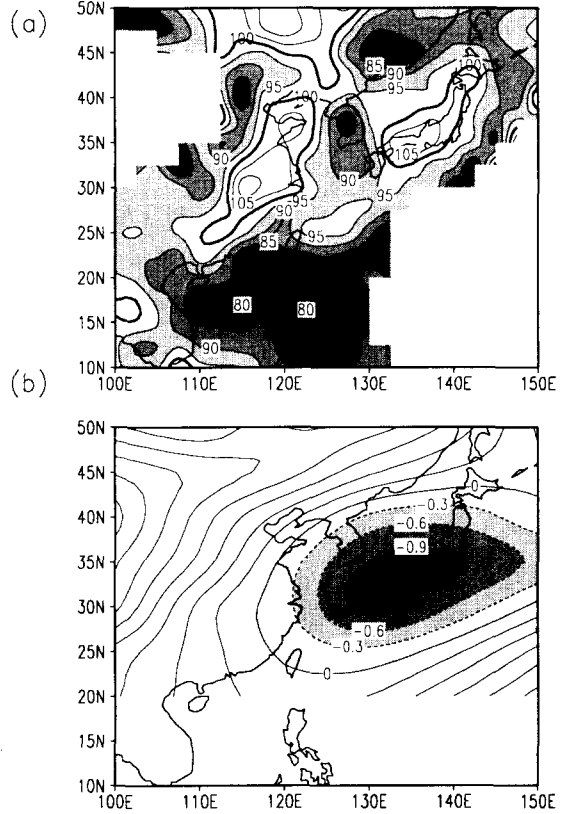


Fig. 3. Time mean field of precipitation anomalies of July for the period(a). Contour interval is 5%. Time mean surface pressure differences the dry period from the wet period(b). Contour interval is 0.3pha. Negative contours are dashed.

4. 파엽변환을 이용한 장주기 진동모드의 시간변동성 분석

강수량 시계열에 나타난 장주기 진동모드의 시간 변동성과 건조기와 관련된 주 진동모드를 조사하기 위하여 파엽변환(Wavelet transform)을 연강수량 시계열에 적용하였다. 파엽변환은 제한된 공간과 시간 영역에서 다중 규모적(multi-scale), 비정체성(nonstationary)의 특성을 가지는 현상들을 연구하기에 적합한 방법으로 알려져 있다. 실제로 사용되는 파엽(wavelet)에 따라서 그 기능과 용도가 다른데, 본 연구에서는 시간 영역상의 분해능은 조금 떨어지지만 진동수 영역에서의

분해능이 좋은 Morlet wavelet을 사용하였다.

Fig. 4a에서 가는 실선은 파엽변환에 사용된 서울 지역 연강수량의 시계열이고 굵은 실선은 측우기 관측 자료 중 습윤기1에 해당하는 1783년-1883년까지와 현대 관측 자료인 1911년-1996년까지의 연강수량으로 각각 1차 회귀 분석한 결과이다. 건조기를 제외한 후기 조선 시대에는 0.72mm/yr율로 증가하였고 현대에는 1.26mm/yr율로 증가하는 경향을 보인다. 한반도에서는 19세기까지 전형적인 농업 위주의 생활이었으므로 산업화 등의 영향이 없었다고 가정하기에 무리가 없다. 그러므로 산업화의 영향으로 서울 지역 연강수량은 0.54mm/yr율로 증가한 것으로 볼 수 있다. Fig. 4b는 파엽변환 결과의 실수 부분을, Fig. 4c는 시계열의 분산값으로 표준화한 국지 파엽스펙트럼을 보여준다. 여름 몬순의 장주기 성분과 관련된 20년 이상의 장주기 성분의 경우 1700년대 후반부터 현대로 들어오면서 분산으로 표현되는 에너지가 점점 짧은 주기로 이동하였다. 1900년을 전후한 건조기 동안에는 50-60년의 진동모드가 큰 에너지를 가지는 것으로 나타났다.

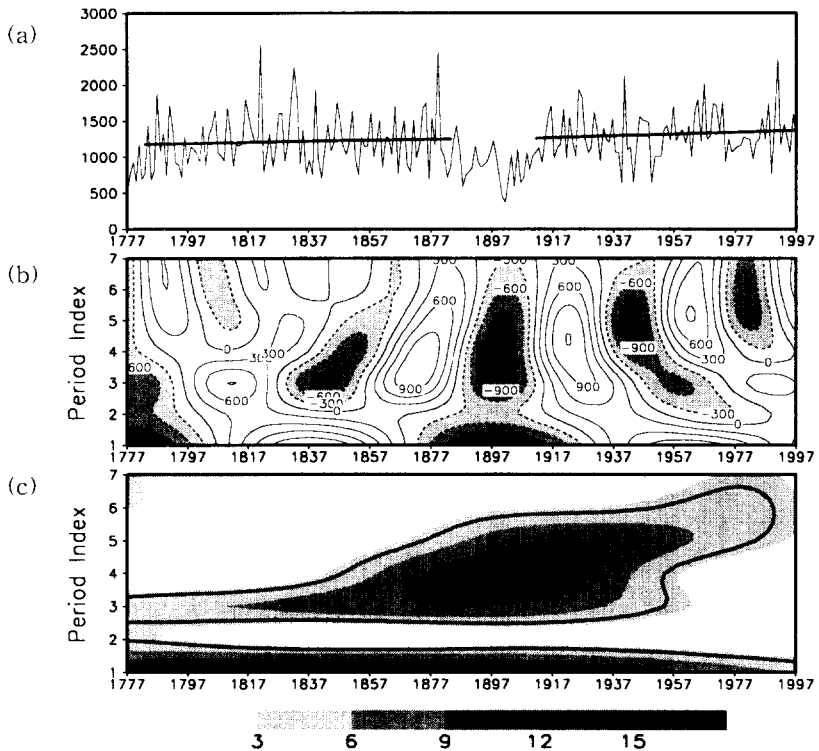


Fig. 4. Time series of annual precipitation amounts used for the wavelet analysis(a), the real part of Morlet wavelet transform(b) and contour interval is 300(negative values are shaded). The local wavelet spectrum normalized by variance of the time series(c). Contour interval is 3. The period indexes 1,2,...,6,7 refer to periods equal to 120yr, 80yr, 60yr, 48yr, 34yr, 30yr, respectively.

5. 결론

최근에 GCMs(General Circulation Models)으로 지구 온실효과 증가에 따른 강수기후 변화 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 GCMs에 의한 강수 과정이나 강수량 모사에는 아직도 상당한 오류가 있는 것으로 알려져 있다. 또 20세기 강수량 시계열 자료에 나타난 변동성이 강수의 자연 변동성에 의한 것인지 아니면 산업화 등에 따른 인위적인 것인지를 구별하는 것은 쉬운 일이 아니다. 본 연구 결과 측우기 관측 자료의 기상학적인 가치뿐만 아니라 강수량 시계열에 나타난 전조기는 측우기에 의한 강수량 관측 오차나 기록상의 누락에 기인한 것이 아니라 서울 지역 강수량의 자연변동성으로 해석하는 것이 타당하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 한반도에서 산업화가 되기 이전에 관측된 측우기 강수량 자료는 서울 지역 나아가서는 한반도 강수량의 자연 변동성과 강수량 예측을 위한 수치 모델의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 또한 앞으로 한반도에서도 장기간의 가뭄이 나타날 수 있다는 점을 염두에 두고 물 부족 대비를 위한 수자원의 효율적인 관리가 이루어질 수 있어야 하겠다.

6. 참고문헌

- 정현숙, 임규호, 1994 : 서울 지역 월강수량과 강수일의 관계, 1770-1907. *한국기상학회지*, **30**, 487-505.
- 정현숙, 1999: 서울 지역 강수량의 시계열에 나타난 시간 변동성 해석. 서울대학교 이학박사 학위논문, 134pp.
- Chang, F.-C., and J. M. Wallace, 1987 : Meteorological conditions during heat waves and droughts in the United States Great Plains. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1253-1269.
- Gu, D. and S. G. H. Philander, 1995 : Secular changes of annual and interannual variability in the tropics during the past century. *J. Clim.*, **8**, 864-876.
- Hu, Qi, C. M. Woodruff, Stephen, and S. E. Mudrick, 1998: Interdecadal variations for annual precipitation in the central United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 2258-2272.
- Lau, K.-M., and H. Y. Weng, 1995 : Climate signal detection using wavelet transfer ; How to make a time series sing. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **76**, 2391-2402.
- Lim. G.-H., and H.-S. Jung, 1992 : Interannual variation of the annual precipitations at Seoul, 1771-1990. *J. Korean Meteor. Soc.*, **28**, 125-132.