

서울시립대학교 도시과학연구원
도시과학논총 제 27 권 2001 년 12 월
The Journal of Urban Sciences
The University of Seoul
Vol. 27, No. 1, December 2001

서울강수량의 변동성 및 경향성 분석

문영일 · 차영일

(서울시립대학교 토목공학과 조교수·서울시립대학교 토목공학과 박사과정)

Analysis of Precipitation Fluctuation and Trend in Seoul

Moon, Young-Il · Cha, Young-Il

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present the fluctuation and the trend of precipitation in Seoul for the planning of hydraulic structures because the analysis of temporal and spatial distribution of hydrologic data such as precipitation is one of the major elements to built economical structures.

We used Mann-Whitney U test, Sign test, simple T test, simple F test, Modified T test and Modified F test for the fluctuation analysis and T test, Hotelling-Pabst test, Mann-Kendall test and Sen test for the trend analysis. The results shown by several tests represent a tendency to increase in Seoul precipitation data.

Key Word : Precipitation, Trend, Fluctuation

1. 서론

치수 또는 이수 목적을 위한 수공구조물의 설계 시 가장 기본적인 기초자료로써 홍수량, 강수량 등의 수문자료에 대한 시간적, 공간적 변동 특성을 해석하는 것은 효율적인 수공구조물의 계획과 설계에 있어서 매우 중요한 요소 중의 하나이다.

최근의 기상이변으로 인하여 세계 곳곳에서는 평년보다 심한 강도의 홍수와 가뭄을 겪고 있는 실정인데, 이는 엘니뇨와 라니냐 등의 기상변화의 영향으로 보고 있는 경우가 많으며, 특히, 97/98년 엘니뇨현상으로 인하여 한국, 중국, 일본 등을 비롯한 동아시아 지역에는 유례 없는 홍수 또는 가뭄이 발생하였다. 따라서 최근 빈번한 기상변화에 의한 홍수가 빈번히 발생하는 상황에서 우리나라 강수의 변화상태에 대한 분석은 매우 중요하다고 할 수 있다.

현재 서울시가 관리하는 수공구조물은 도로시설물은 한강교량 17개, 일반교량 154개 등이 있고, 하천 제방은 모두 35개 하천의 434km이다. 이들 중 올림픽대로, 동부간선도로, 강변로 등 저지대 도로와 터널, 지하철도 등은 퇴적물 준설상태, 배수시설 정비상태 등

을 상시 점검하며, 하천·수상·시민공원 시설 등에는 수방자재 및 장비를 확보하여 관리하고 있는 실정이다.

이러한 서울시 관내 여러 수공구조물에 의한 홍수피해를 줄이기 위해서는 수공구조물 설계의 기본 입력자료인 강수량의 변화에 따라서 적절한 구조물의 크기가 결정되어야 할 것이다.

따라서, 본 논문에서는 기상청 산하 서울관측소의 연 강수량계열, 일 최대 강수량계열, 일 강수량이 80mm를 초과하는 일수 등 1908년부터 2000년까지의 자료를 대상으로 변동성 및 경향성 분석을 실시하였다. 또한, 서울지점의 강수량을 6.25 동란 전후 및 최근 10년간의 자료 등 3개의 계열로 분리하여 연 평균강수량, 1시간 최대강수량, 일 최대강수량에 대하여 변화를 분석하였다.

경향성과 변동성을 파악하기 위하여 관측자료의 도시적인 해석과 함께, 단일자료의 평균과 분산의 변동을 파악하는 방법인 Mann-Whitney U 검정, Sign 검정, simple T 검정, Simple F 검정, Modified T 검정, Modified F 검정 등의 기법을 실시하였으며, 경향성을 분석하는 방법으로는 T test, Hotelling-Pabst test, Mann-Kendall test, Sen test 등의 방법을

이용해 경향성 분석을 실시하였다.

II. 변동성 및 경향성 분석 방법

2.1 변동성 분석 방법

수문 자료와 같은 시계열 자료의 변동성을 검정하는 대표적인 방법으로 Mann Whitney U 검정, T 검정, F 검정, Modified T 검정, Modified F 검정, Sign 검정 등이 있다. 그 자세한 내용은 다음과 같다.

① Mann Whitney U 검정

Mann 과 Whitney 가 자료수가 다른 경우에도 적용할 수 있도록 Wilcoxon 의 식을 변형하여 제시한 방법으로 2 개의 자료군의 분포가 동일하다는 것을 검정하는 방법이다. 검정 통계량은 다음 식과 같다. (Kite, 1977)

$$u_c = \frac{U - \frac{mn}{2}}{\frac{1}{12} [mn(m+n+1)]^{1/2}}$$

여기서, $U_1 = mn + \frac{m}{2}(m+1) - R_m$, $U_2 = mn - U_1$, m 과 n 은 각각 표본자료 크기, R_m 는 자료 x_i 를 순서대로 나열하였을 때의 순위 값의 합이다. 이

때 $U = \min[U_1, U_2]$ 이며, 만약 다음과 같은 조건을 만족한다면, 이 시계열 자료는 동일하다고 할 수 있다.

$$|u_c| < u_{1-\alpha/2}$$

여기서, $u_{1-\alpha/2}$ 는 유의 수준 α 에서 표준정규분포의 $1-\alpha/2$ 에 해당하는 표준변량값이다.

② T 검정

2 개의 표본자료가 같은 모집단으로부터 추출된 자료인지 평균을 검정하는 방법이며 통계량은 다음 식과 같다. (Kite, 1977)

$$t_o = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$\text{여기서, } \sigma = \sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \text{ 이고, } n_1,$$

n_2 는 표본의 크기, s_1 , s_2 는 표본의 표준편차이다. 만약 다음 가정을 만족한다면 변동성이 없다고 할 수 있다.

$$|t_o| < t_{1-\alpha/2}(n_1 + n_2 - 2)$$

③ Modified T 검정

상관된 (correlated) 자료에 대한 T 검정으로, 독립된 관측자료의 등가수를 사용한다. Y_t ($t=1,2,\dots,N$)가 $N(\mu, \sigma^2)$ 이고 상관된 자료인 경우에 다음과 같은 2 개의 자료군으로 나눌 수 있다.

$Y_t, t=1, 2, \dots, N_1$ (평균 : μ_1 , 표준편차 : σ_1^2)

$Y_t, t= N_1+1, N_1+2, \dots, N$ (평균 : μ_2 , 표준편차 : σ_2^2)

독립된 관측자료의 등가수는 다음 식과 같다.

$$NE_1 = \frac{N_1^2}{N_1 + 2 \sum_{k=1}^{N_1-k} (N_1 - k) \rho_k(1)}$$

$$NE_2 = \frac{N_2^2}{N_2 + 2 \sum_{k=1}^{N_2-k} (N_2 - k) \rho_k(2)}$$

여기서, $\rho_k(1)$, $\rho_k(2)$ 는 1 차와 2 차 자료에 대한 lag-k autocorrelation 함수이다.

④ F 검정

2 개의 표본자료가 같은 모집단으로부터 추출된 자료인지 분산을 검정하는 방법이며 가설검정으로 검정통계량은 다음 식과 같다.

$$F_c = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$$

만약 양측 검정(two-tail test)를 하게 될 경우 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ 를 귀무가설로 잡고, $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ 이 대립가설이 된다. 그러나, σ_1^2 과 σ_2^2 중 크기가 다를 경우 단측검정(one-tail test)를 하게 되는데 $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$ 라면, F의 분자는 σ_1^2 로 놓고, $\sigma_1^2 < \sigma_2^2$ 라면 σ_2^2 를 분자로 놓는다.

⑤ Sign 검정

자료의 분포와 상관없이 적용 할 수 있는 방법으로 다음과 같이 자료수가 n인 단일자료를 자료수가 n/2 인 크기가 2 개의 자료군으로 분리한다.

$$X_i < X_{n/2+i} \text{ 이면 } x_i = 1$$

$$X_i \geq X_{n/2+i} \text{ 이면 } x_i = 0$$

자료수 n 이 큰 경우(40 개 이상)에 검정 통계량은 다음과 같다 (Hollander와 Wolfe, 1973).

$$z_c = \left[\frac{2 \sum_{i=1}^{n/2} x_i - n/2}{\sqrt{n/2}} \right]$$

만약 다음과 같은 조건을 만족한다면, 두 자료의 평균이 같다는 가정은 채택 될 수 있다.

$$|z_c| \leq z_{1-\alpha/2}$$

⑥ Modified F 검정

상관된 자료에 대한 F 검정으로서 독립된 관측자료의 등가수는 다음 식과 같다.

$$NE_1 = \frac{N_1^2}{N_1 + 2 \sum_{k=1}^{N_1-k} (N_1 - k) \rho_k^2(1)}$$

$$NE_2 = \frac{N_2^2}{N_2 + 2 \sum_{k=1}^{N_2-k} (N_2 - k) \rho_k^2(2)}$$

여기서, $\rho_k(1)$, $\rho_k(2)$ 는 1차와 2차 자료에 대한 lag-k autocorrelation 함수이다. 만일 하부자료가 AR(1) 모형에 의해 표현되면 식은 아래의 NEV와 같이 표현할 수 있으며, 2개의 하부자료에 대한 합성분산은 식은 아래의 σ^2 과 같다.

$$NEV_1 = \frac{N_1^2}{N_1 + 2 \left[\frac{\rho_1^{2(N_1+1)}(1) - N_1 \rho_1^4(1) + (N_1 - 1) \rho_1^2(1)}{[\rho_1^2(1) - 1]^2} \right]}$$

$$NEV_2 = \frac{N_2^2}{N_2 + 2 \left[\frac{\rho_1^{2(N_2+1)}(2) - N_2 \rho_2^4(2) + (N_2 - 1) \rho_2^2(2)}{[\rho_1^2(2) - 1]^2} \right]}$$

$$\sigma^2 = \frac{NEV_1 \sigma_1^2 + NEV_2 \sigma_2^2}{NEV_1 + NEV_2}$$

2.2 경향성 분석 방법

경향을 분석하는 방법으로는 회귀분석, Hotelling-Pabst test, nonlinear trend test, Mann Kendall test, Sen test 등이 있고, 본 연구에서는 다음과 같은 4가지의 방법을 이용해 경향성 분석을 실시하였다.

① 회귀분석

자료의 선형적 경향을 분석하는 방법으로 다음과 같은 선형방정식을 사용한다.

$$Y_t = a + bt, \quad t=1,2,\dots,n$$

② Hotelling-Pabst Test

순위 상관계수를 이용한 검정방법으로 $R(X_i)$ 가 자료 X_i 의 순서값이라고 할 때 검정계통계량은 다음과 같이 주어진다. (Conover, 1971).

$$T = \sum_{i=1}^N [R(X_i) - R(Y_i)]^2$$

③ Mann-Kendall test

자료 Y_t ($t=1,2, \dots, N$)에 대하여 Y_t ($t=1,2, \dots, N-1$)과 Y_t ($t=t+1, \dots, N$)을 정의 할 때, 순위비교에 의한 비교부호통

계량 Q^* 은 다음과 같다.

$$Q^* = 1 \quad \text{if} \quad Y_t > Y_{t'}$$

$$Q^* = 0 \quad \text{if} \quad Y_t = Y_{t'}$$

$$Q^* = -1 \quad \text{if} \quad Y_t < Y_{t'}$$

일반화 된 Mann-Kendall 검정통계량은 다음과 같이 주어진다.

$$K^* = \frac{K}{\sqrt{\text{var}(K)}}$$

$$K = \sum_{t'=1}^{N-1} \sum_{t=t'+1}^N Q^*$$

$$\text{var}(K) = \frac{n(n-1)(2n-5)}{18}$$

④ Sen test

Sen 에 의해 제안된 비매개변수적 방법으로, 주어진 연자료 Y_t ($t=1, 2, \dots, N$)에 대하여 다음과 같이 새로운 변수 Q_k 를 정의한다.

$$Q_k = \frac{Y_j - Y_i}{j - i}$$

$$k = 1, 2, \dots, N(N-1)/2, \quad j > i$$

여기서, Q_k 를 다시 크기순으로 정렬한 값을 X_k 로 정의하면 Sen 의 경사

에 대한 검정통계량은 다음과 같이 주어진다. (Gilbert, 1987).

M 이 홀수 일 때

$$S = X_{(M+1)/2}$$

M 이 짝수 일 때

$$S = \frac{1}{2} [X_{M/2} + X_{(M+2)/2}]$$

여기서, $M = N(N-1)/2$ 이다.

III. 결 과

3.1 적용 자료

자료는 신뢰도가 가장 높은 기상청 산하 서울관측소의 자료를 대상으로 분석을 실시하였고, 자료의 현황은 아래 표와 같다. 분석 자료 계열은 연 강수량계열, 일 최대강수량계열과 일 강수량이 80mm 를 초과하는 일수를 대상으로 변동성 및 경향성 분석을 실시하였다.

표 1 적용 자료(서울관측소)

지 점	서 울
자료기간	1908년 ~ 2000년
자료크기	89 개
결측기간	1950년 ~ 1953년
관측기관	기상청

3.2 강수량계열의 도시적 분석

그림 1~그림 3 은 서울관측소 지점의 일 최대 강수량, 연 강수량 및 80mm 초과 강우일수 자료에 대한 경향성과 변동성을 도시적으로 분석한 그래프로서 수평인 이중점선은 평균값을 나타내고, 점선의 약간 기운 선은 경향성의 분석결과이고, 계단형의 실선은 변동성을 나타내며, 나머지 원형기호의 선은 관측자료를 도시한 것이다.

도시적으로 보았을 경우 일 최대강수량, 연 강수량 및 80mm 초과 강우일수의 3 가지 모든 경우 경향성과 전·후반 자료에 대한 변동성을 보이고 있다.

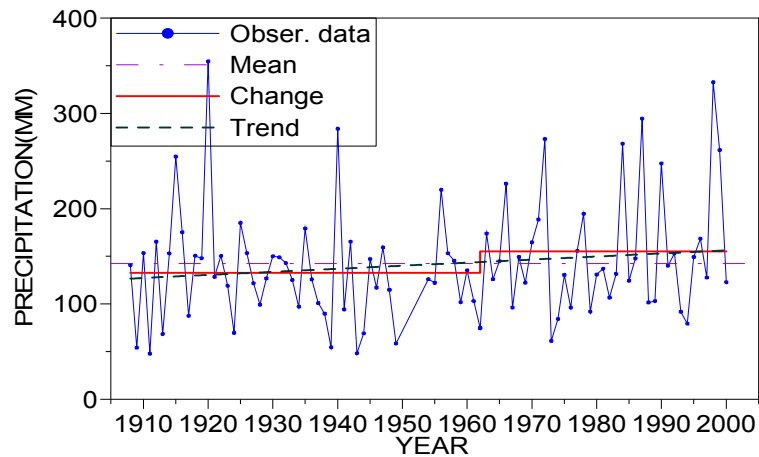


그림 1. 서울지점의 일 최대강수량에 대한 경향성과 변동성

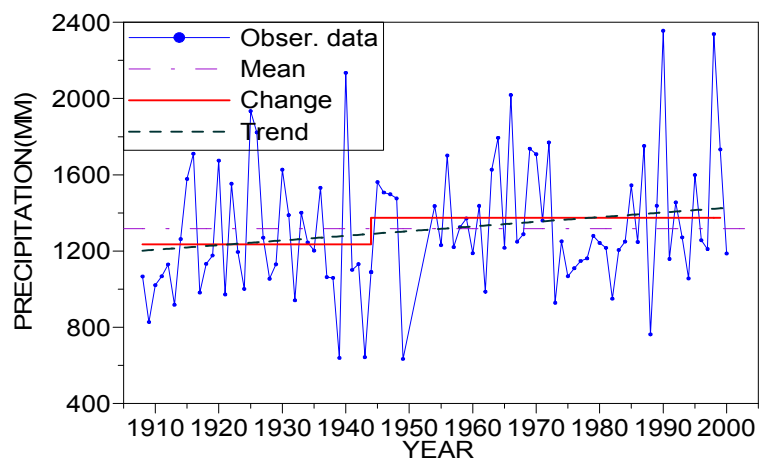


그림 2. 서울지점의 연 강수량에 대한 경향성과 변동성

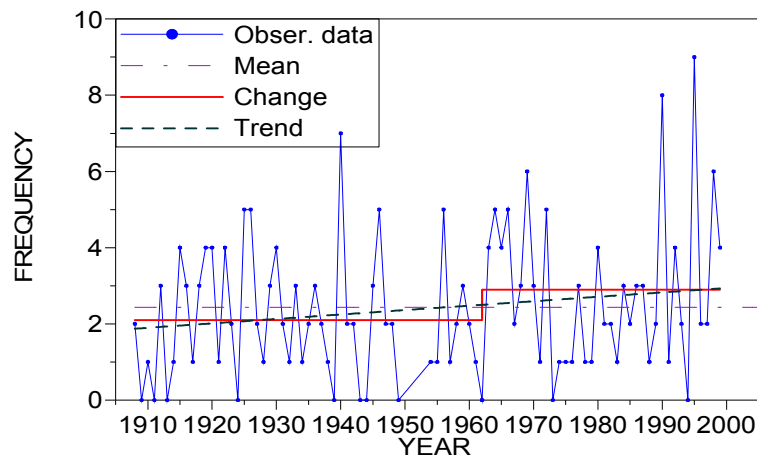


그림 3. 서울지점의 80mm 초과 강우일수에 대한 경향성과 변동성

3.3 강수량의 경향성과 변동성 분석

결과

표 2 와 표 3 에서 Com 은 검정계산치이며 0.05 와 0.10 은 유의수준을 나타내고 있고 변동은 변동점을 나타내는 수이다. 표의 결과에서 변동성 분석에서도 많은 검정에서 통계적 유의성이 있다는 결과를 보이고 있으며, 이 같은

결과는 최근 몇 년의 이상기후와 집중호우로 인한 강수량의 증가의 영향을 받은 결과로 판단된다. 그러나 경향성 분석에서는 유의수준(α) 0.05 의 경향성 분석 결과 경향성에 대한 유의성이 없다는 결과를 보였고, 0.10 의 유의수준에서는 약간의 통계적인 유의성을 보이고 있다.

표 2 서울지점에 대한 변동성 분석 결과

	일최대강수량				년강수량				80mm초과강수량			
	Com	0.05	0.10	변동	Com	0.05	0.10	변동	Com	0.05	0.10	변동
Mann-Whitney	1.48	1.96	1.64	51	2.48	1.96	1.64	37	1.77	1.96	1.64	51
Sign	1.04	1.96	1.64	44	2.23	1.96	1.64	44	0.64	1.96	1.64	44
T	1.75	1.99	1.66	65	1.94	1.99	1.66	37	2.02	1.99	1.66	51
Modified T	1.70	1.99	1.66	51	1.94	1.99	1.66	37	1.95	1.99	1.66	51
F	1.65	1.67	1.49	60	1.56	1.75	1.54	31	1.87	1.75	1.54	31
Modified F	2.54	1.65	1.65	60	1.87	1.56	1.56	31	3.56	1.87	1.87	31

표 3 서울지점에 대한 경향성 분석 결과

	일최대강수량			년강수량			80mm초과강수량		
	Com	0.05	0.10	Com	0.05	0.10	Com	0.05	0.10
Regression	1.38	1.99	1.66	1.83	1.99	1.66	1.68	1.99	1.64
Hotelling-Pabst	128355	142025	138081	142561	142025	138081	128573	142025	138081
		92934	96879		92934	96879		92934	96879
Mann-Kendall	0.85	1.96	1.64	1.91	1.96	1.64	1.30	1.96	1.64
Sen	0.14	0.64	0.56	2.17	4.49	4.06	0.00	0.02	0.01
		-0.21	-0.15		-0.07	0.28		0.00	0.00

3.4 서울지점의 년 계열별 강수량의 변화

아래 표 4 는 서울지점의 년 강수량을 한국전쟁 전, 한국전쟁 후, 최근 10 년간의 자료 등과 같이 3 개의 계열로 분리하여 분석한 결과이다. 지속적인 증가를 보

이고 있고, 최근의 이상기후에 의한 집중호우 등으로 최근 10 년의 강수량이 많은 증가를 보이고 있고, 특히, 일 최대 강수량 및 1 시간 최대강수량은 30%이상의 증가를 보이고 있다.

표 4 서울시의 연 평균강수량의 변동 추이(단위:mm)

구분 년도	년평균강수량	1시간 최대	일 최대
1908~1949	1246.3	43.0	136.1
1954~1990	1366.7	47.9	149.4
1991~2001	1422.0	54.9	172.8
1908~2001	1317.3	47.3	145.4

IV. 결 론

서울관측소의 강수자료의 기간에 따른 평균과 표준편차의 변동성에 대한 통계적 유의성이 있는 것으로 나타나 최근의 이상기후로 인해 과거보다는 최근의 강수계열에 대한 평균과 표준편차가 커졌

음을 알 수 있다. 그러나, 강수계열의 경향성 분석에서 증가와 감소에 대한 통계적인 유의성은 거의 없는 것으로 나타났으나, 도시적인 해석에서 보이는 것과 같이 통계적인 유의성은 없으나 약간의 증가하는 경향을 보이고 있는 것을 확인

할 수 있다.

또한, 서울관측소의 년 강수량을 한국 전쟁 전, 한국전쟁 후, 최근 10 년간의 자료 등과 같이 3 개의 계열로 분리하여 분석한 결과, 계속적인 증가를 보이고 있고, 최근의 이상기후에 의한 집중호우 등으로 최근 10 년의 강수량이 많은 증가를 보이고 있고, 일 최대 및 1 시간 최대강수량의 경우 최근 10 년 간의 강수량은 한국전쟁 전 자료에 비해 약 30% 이상의 증가를 보이고 있다.

<참고문헌>

1. 오재호, 홍성길. 대기중 이산화탄소 증가에 따른 한반도 강수량 변화, 한국수자원학회지논문, 한국 자원학회, 제 28 권, 제 3 호(1995), pp. 143~157.
2. 한국건설기술연구원. 기후변화에 따른 수자원 계획의 영향평가 보고서, 2000.
3. 한국수자원공사. 하천 수리·수문분석 시스템 개발, 수자원연구소, WRRI-WR-01-1(2001), pp. 74~85.
4. 유철상, 이동률. 기후변화에 따른 강수일수 및 강수강도의 변화연구, 대한토목학회논문집, 제 20 권, 제 4-B 호 (2000), pp. 535~544.
5. Conover, W. J. 1971. Practical Non Parametric Statistics. John Wiley and Sons, New York.
6. Gilbert, R. O. 1987. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Van Nostrand Reinhold Co., New York.
7. Hollander, M. and Wolfe, D. A. 1973. Nonparametric Statistical Methods. Wiley, New York.
8. International Panel on Climate Change(IPCC) 1990. Climate Change, The IPCC Scientific Assessment(Edited by J.T. Hought et al.), Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
9. Kite, G.W. 1977. Frequency and Risk Analysis in Hydrology. Water Res. Publications, Fort Collins, CO.