

우리나라 월 및 연강수량의 경년변동 분석

Analysis of the Secular Trend of the Annual and Monthly Precipitation Amount of South Korea

김광섭* · 임태경** · 박찬희***

Kim, Gwangseob · Yim, Tae Kyung · Park, Chan Hee

Abstract

In this study, the existence of possible deterministic longterm trend of precipitation amount, monthly maximum precipitation, rain day, the number of rain day greater than 20mm, 30mm, and 80mm was analyzed using the Mann-Kendall rank test and the data from 62 stations between 1905 and 2004 in South Korea. Results indicate that the annual and monthly rainfall amount increases and the number of rain days which have more than 80mm rainfall a day, increases. However the number of rain days decreases. Also, monthly trend analysis of precipitation amount and monthly maximum precipitation increases in Jan., May, Jun., Jul., Aug., and Sep. and they decrease in Mar., Apr., Oct., Nov., and Dec. Monthly trend of the number of rain day greater than 20mm, 30mm, and 80mm increases in Jun., Jul., Aug., and Sep. However results of Mann-Kendall test demonstrated that the ratio of stations, which have meaningful longterm trend in the significance level of 90% and 95%, is very low. It means that the random variability of the analyzed precipitation related data is much greater than their linear increment.

Key words : Precipitation, Mann-Kendall test, Trend Analysis, Significance level

요 지

본 연구에서는 강수량, 월 최대강수량, 강수일수, 일강수량 20 mm, 30 mm 및 80 mm 이상인 일수의 장기추세의 통계적 유의성을 비모수 검정법인 Mann-Kendall 검정 기법과 62개 지점의 1905년부터 2004년 기간 사이의 자료를 이용하여 분석하였다. 한반도 강수특성은 연강수량과 월 최대강수량의 증가, 강수일수 감소 그리고 20 mm, 30 mm, 80 mm 이상의 일강수를 가진 강수일수 증가로 요약될 수 있다. 또한 자료의 월별 추세분석 결과는 1, 5, 6, 7, 8, 9월 강수량과 월 최대강수량은 증가추세를 보이고 3, 4, 10, 11, 12월에는 감소추세를 보인다. 또한 6, 7, 8, 9월의 일강수량 20 mm와 30 mm 이상인 강수일수는 증가추세를 보였다. 그러나 Mann-Kendall 검정결과 90%와 95% 유의수준에 대하여 유의한 증감추세를 가지는 지점의 비율은 매우 낮았다. 이러한 결과는 각 변수의 선형 증감에 따른 장기 변동보다 자료들이 가지고 있는 분산형태의 불확실성이 매우 우세함을 의미하므로 수자원 계획 등에 반영하여야 할 것이다.

핵심용어 : 강수, Mann-Kendall 검정, 경향성분석, 유의수준

1. 서 론

기후변화 및 변동의 원인과 그 국지적 특성에 대한 논의가 다양한 분야에서 활발히 논의되고 있다. 기후변화의 주범으로 여겨지고 있는 온실가스인 이산화탄소의 대기 중 농도는 1950년대 이후로 계속해서 증가하고 있다. 이렇게 증가된 온실가스는 지구 온난화의 원인이 되었고, 기온과 강수 같은 기후특성을 전 지구적 또는 국지적으로 상당히 변화시켰다. 강수량 변동성의 증폭은 홍수가 드물었던 어떤 지역에서 홍

수의 빈도가 갑자기 증가하고, 또 다른 지역에서는 가뭄으로 인한 피해빈도가 증가함으로 기후변화와 함께 지역의 수자원 계획 및 관리가 어려워짐을 의미한다. 기후변화는 강수 분포의 패턴, 각 호우사상의 양적인 크기나 강도, 그리고 기온상승과 일사량의 변화로 인한 증발량의 변화, 유역 식생피복 변화와 같은 현상들을 통해서 지역 부존수자원과 유출량에 큰 변화를 가져올 수 있다(Matondo and Msibi, 2001).

수자원은 인간사회의 모든 측면에서 큰 영향을 미치기 때문에 지역적, 국지적 수준에서의 수자원에 대한 기후변화의

*정회원 · 경북대학교 공과대학 토목공학과 부교수 (E-mail: kings@knu.ac.kr)

**주식회사 삼안 수자원부

***경북대학교 공과대학 토목공학과 BK21 연구원(교신저자)

영향을 탐지해내는 것이 필요하다. 기후변화로 인하여 발생하는 수문, 기상 자료의 경향성 및 변동성을 감지하기 위해서는 각종 기상 및 기후요소들, 즉 기온, 기압, 강수량, 습도, 운량 등의 장기간 시계열 자료의 분석이 이루어져야 한다. 이들 기후요소 중 인간생활에 가장 큰 영향을 끼치는 요소는 기온과 강수량이다. 월, 계절 및 연 강수량에 대한 연구가 전구나 국지적 규모로 그 추세를 밝혀내기 위해 세계의 여러 지역에서 수행되고 있다. 총강수량의 변화는 강수사상의 빈도와 각 사상시 강수강도의 변화의 복합적인 상관관계로 발생할 것으로 예상되었다. 지난 20세기 동안에 지구 지표 강수량은 북반구 고위도의 많은 지역에서 지난 10년 동안 0.5~1% 증가를 보인 것으로 나타났으며(IPCC, 2001), 또한 이 기간 동안에 호우사상 빈도도 증가한 것으로 나타났다. 이러한 강수 증가추세는 중국, 일본, 호주 그리고 남아프리카 등 세계 곳곳에서 보고되고 있다. 비록 대부분 지역의 강수량 변동은 증가추세를 보여주지만, 지역에 따라 감소추세를 보여주기도 한다. 예를 들면, 유럽의 경우 유럽북부는 강수량이 증가추세를 나타내고, 유럽남부는 감소추세를 보여주고 있다(Schonwiese and Rapp, 1997). 지난 세기동안 기후변화의 증거로서 강수사상에 대한 이해력을 증가시키기 위해서 강수량에 대한 분석이 반드시 필요하다. 전 세계에 걸쳐서 이러한 기후변화에 따른 강우 및 수자원 변동성에 대한 연구가 이루어지고 있는데, 미국(Karl et al., 1995; Karl and Knight, 1998; Trenberth, 1998; Kunkel et al., 1999), 일본(Iwashima and Yamamoto, 1993), 대만(Yu et al., 2002), 동부 및 동북부 오스트레일리아(Suppiah and Hennessy, 1998; Hennessy et al., 1999; Plummer et al., 1999), 남아프리카(Mason et al., 1999), 영국(Osborn et al., 2000), 스페인(Serrano et al., 1999)과 이탈리아(Brunetti et al., 2001a,b) 등지에서 강수사상에 대한 분석연구를 수행하고 있다.

지난 수십년간 우리나라 강수량의 변동 특성에 대한 다양한 연구가 수행되었다. 허창희와 강인식(1988)은 26개 관측지점에 대한 1963년에서 1985년까지 23년 동안의 일강수량 시계열 자료를 사용하여 강수량의 시공간 평균분포와 변동 특성을 제시하였다. 정현숙 등(2002)은 12개 관측지점에 대한 1954년에 46년 동안의 일 관측 자료를 이용하여 기온과 극한 강수사상 빈도의 증가특성을 제시하였다. 우리나라의 계절별 강수량 특성에 관한 연구도 수행되어 이승호와 권원태(2004)는 우리나라의 여름철 강수량 변동 특성을 14개 관측지점의 1941년부터 2000년까지 자료를 사용하여 강수량의 경년변동 특성과 해양변동 및 전구 평균기온 변동과의 높은 상관특성을 제시하였으며 최광용과 권원태(2008)는 우리나라 겨울철 강수형태의 변화 특성을 61개 관측 지점의 1973년부터 35년간의 강수량 자료를 사용하여 겨울철 총 강수량 변화는 없었지만 강설량이 감소함을 보였다. 또한 최광용 등(2008)은 61개 관측 지점의 1973년부터 35년간의 강수량 자료를 사용하여 최근 우리나라 기온 및 강수 평균과 극한 사상의 시공간적 변화를 분석하여 연 총강수량의 증가추세와 7~8월 강수량의 증가로 인한 여름 장마 이후의 이중 극대점

강수분포가 다중 극대점 구조로의 변화 특성 및 여름철 극한 강수일의 증가 특성을 제시하였다. 비모수 검정법인 Mann-Kendall 검정기법은 기후변화에 따른 비람직한 유역관리를 위한 수문·기상자료의 변동 경향성 파악을 위하여 사용되었으며(배덕효, 정일원, 2005; Burn and Hag Elnur, 2002), 국가 지하수관측소 지하수위, 전기전도도 및 수온자료의 변동 경향성을 파악하기 위하여 사용되었다(이진용 등, 2006). 뿐만 아니라 기후변화에 따른 지하수 수질변화양상(김규범, 이강근, 2003)을 평가하기 위하여 사용되었다. 월 및 연 강수량을 이용하여 연강수량, 월 최대강수량, 강수일수 그리고 호우 일수의 변동성을 파악하기 위하여 특정 일강수량 이상을 가지는 강수일수의 변화추세를 분석하였다.

전구 여러 지역에서의 강수 증가추세에도 불구하고 전 세계에 걸친 최대 연 유출량의 추세분석 연구결과 관측지점의 16%가 감소추세, 14%는 증가추세, 그리고 나머지 70%는 특별한 추세를 보이지 않는 것으로 나타났다(Kundzewicz, 2004). 이러한 사실은 전 세계적인 강수의 증가추세에도 불구하고 식생이나 온도와 같은 다른 변수들과의 복잡한 상호관계로 인해서 유량 추세는 강수 추세에 직접적으로 비례하지 않는다는 것을 보여준다. 기후변화에 따른 강수변화 특성분석은 강수량의 장기 추세분석이 이용 가능한 수자원과 관련된 여러 문제들과 직접적인 연관성을 가지므로 매우 중요하다. 따라서 장래 효과적인 수자원 정책수립과 운영을 위해서 장기간의 강수량 변동 특성 분석은 선행되어야 하는 필수적인 작업이다. 즉 강수량의 추세변화와 함께 자료의 분산 특성과의 상관성은 수자원 관리를 위한 강수량 예측성 이해를 위해 필수적이다. 그러므로 본 연구에서는 비모수적 통계방법인 Mann-Kendall(MK) 검정을 이용하여 62개 지점의 종관기상 관측소에서 획득한 강수량에 대한 연 및 월별 추세분석 결과의 통계적 유의성을 검정하였다.

2. Mann-Kendall 검정

경향성분석은 장기간의 강수량과 유량 값에 대한 발생 가능성이 있는 장래의 경향성에 대해 정보를 제공해 주므로 수자원 계획의 수립과 운영에 있어서 유용한 도구이다. 회귀분석과 함께 비모수 검정기법의 하나인 Mann-Kendall 검정을 이용하여 대상 유역에 대한 장기간 강수 시계열 자료의 특정 기간에 대한 자료의 추세를 검정하였다. 전통적인 통계 검정 방법들이 모평균의 분포를 동일한 분산에 대해 정규분포로 가정하고 그 분석을 수행하는데 비하여 Mann-Kendall 검정은 단지 연속적인 모평균을 가진다는 가정아래 검정분석을 수행한다(Gibbons, 1990). Mann-Kendall 검정은 다른 통계학적 검정법들이 표본크기, 분산, 왜도 같은 표본자료특성에 영향을 받는데 반해 표본자료의 특성에 민감하지 않고 간단하면서도 강력한 기능을 발휘하며, 결측치나 감지 한계를 벗어나는 자료에 대해서도 적용이 가능하여 지구 환경 분야의 연구에 광범위하게 사용되고 있는 방법이다. Mann-Kendall 검정의 이러한 특성 때문에 수문변수들의 경향성 분석에 많이 이용되고 있다. 이 방법은 Mann(1945)에 의하여 처음 제

시된 이후 Dietz와 Kileen(1981)에 의해서 Mann-Kendall 통계치의 공분산이 제시되고, 계절성을 가지는 자료에 대해서도 적용 가능하도록 확장되었다(Hirsch and Slack, 1984).

2.1 일변량 Mann-Kendall 검정

임의의 시계열 $\{X_k, k=1, 2, \dots, n\}$ 에 대한 일변량 Mann-Kendall 통계치는 다음과 같이 정의된다.

$$T = \sum_{j < i} \text{sign}(X_i - X_j) \quad 1 \leq j < i \leq n \quad (1)$$

여기서,

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 0 \\ 0, & \text{if } x = 0 \\ -1, & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

만약 분석대상인 시계열 자료에 동일한 값이 존재하지 않고 경향성을 가지지 않는다면, 검정 통계치는 점근적으로 정규화된 분포를 형성할 것이며, 기본 통계치의 평균과 분산은 다음과 같다.

$$E(T) = 0, \quad \text{Var}(T) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (2)$$

2.2 계절 Mann-Kendall 검정

만약 반응변수가 매월 재측된다면 월별 Mann-Kendall 검정은 먼저 각 월에 대응하는 12개의 하위 자료로 분리하여 계산할 수 있다.

$$T_j = \sum_{k < l} \text{sign}(Z_{lj} - Z_{kj}) \quad j = 1, \dots, 12 \quad (3)$$

여기서 T_j 는 j 월에 대응하는 Mann-Kendall 통계치이며 이것은 전체 년에 걸쳐 합하여 다음과 같은 통계치를 얻는다.

$$S = \sum_{j=1}^{12} T_j \quad (4)$$

여기서 S 는 평균은 0이고 분산은 다음과 같은 정규분포를 가진다.

$$\text{Var}[S] = \sum_{j=1}^{12} \text{Var}[T_j] + \sum_{\substack{j, g=1 \\ g \neq j}}^{12} \text{Cov}(T_j, T_g) \quad (5)$$

여기서 $\text{Var}[T_j] = \frac{n_j(n_j-1)(2n_j+5) - \sum_{i=1}^{n_j} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$ 이고 n_j 는 j 월에 대한 결측치를 제외한 관측치의 수이다. m 은 동일값을 가지는 그룹의 수이고 t_i 는 i 번째 동일값을 가지는 그룹의 크기이다.

T_j 와 T_g Mann-Kendall 통계치 사이의 공분산은 다음과 같다.

$$\text{Cov}(T_j, T_g) = \left[S_{jg} + 4 \sum_{m=1}^m R_{mj} R_{mg} - n(n_j+1)(n_g+1) \right] / 3 \quad (6)$$

여기서 n_j, n_g 는 각각 j 월 및 g 월에 대한 결측치를 제외한 관측치의 수이다.

$$S_{jg} = \sum_{m < n} \text{sign}[(X_{nj} - X_{mj})(X_{ng} - X_{mg})] \quad (7)$$

여기서 R 은 자료에서 관측치에 대응하는 행렬이고, 각 월에 대한 비결측치의 순위를 자체적으로 부여하며 i 번째 월의 m 번째 요소의 서열은 다음과 같다.

$$R_{mj} = \left[n_j + 1 + \sum_{k=1}^n \text{sign}(x_{mj} - x_{kj}) \right] / 2 \quad (8)$$

여기서 x_{mj} 만약 또는 x_{kj} 가 결측 되었다면, $\text{sign}(x_{mj} - x_{kj})$ 는 0으로 계산한다. 결측치에 대해 중간서열 $(n_j + 1)/2$ 을 채택한다.

2.3 부분 Mann-Kendall 검정

기상 조건을 표현하는 시계열 분석을 위해서는 부분 Mann-Kendall 검정이 매우 타당한 검정 방법이다. 본 연구에서는 기상과 수문 시계열의 공변량이 사용되며, 공변량에 대한 Mann-Kendall 통계치에 대한 검정 통계치가 계산될 것이다. 먼저, 최소 하나의 반응변수와 설명변수로 구성된 자료를 목적에 따라 월별 혹은 계절별로 분리한다. 자료의 각 월에 대하여 Mann-Kendall 통계치를 구하고 그 결과를 벡터 T 로 나타낸다. T 는 변수간의 공분산과 분산으로 구성 행렬을 나타낸다. 검정 통계치 $T = [T_0, T_j]^T$ 는 점근적으로 다변량 정규분포를 가지며 평균 벡터는 다음과 같다. 여기서 α 와 β 는 각각 설명변수와 반응변수의 그룹을 나타낸다.

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_\alpha \\ \mu_\beta \end{bmatrix}_{\delta \times 1}, \quad \Gamma = \begin{bmatrix} \Gamma_{\alpha\alpha} & \Gamma_{\alpha\beta} \\ \Gamma_{\beta\alpha} & \Gamma_{\beta\beta} \end{bmatrix}_{\delta \times \delta} \quad (9)$$

그리하여 $S_\beta = s_\beta$ 처럼 주어진 S_α 의 조건부 분포는 다변량 정규분포를 가진다. 여기서

$$E(S_\alpha | S_\beta = s_\beta) = \mu_\alpha + \Gamma_{\alpha\beta} \Gamma_{\beta\beta}^{-1} (s_\beta - \mu_\beta) \quad (10)$$

$$\text{Var}(S_\alpha | S_\beta = s_\beta) = \Gamma_{\alpha\alpha} - \Gamma_{\alpha\beta} \Gamma_{\beta\beta}^{-1} \Gamma_{\beta\alpha} \quad (11)$$

어느 변수에 대해서도 추세를 가지지 않는다는 귀무가설 하에서 위의 기대값에 대한 식은 다음과 같이 나타난다.

$$E(S_\alpha | S_\beta = s_\beta) = \Gamma_{\alpha\beta} \Gamma_{\beta\beta}^{-1} s_\beta \quad (12)$$

그리고 부분 Mann-Kendall 검정 통계치는 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{S_\alpha - E(S_\alpha | S_\beta = s_\beta)}{\sqrt{\text{Var}(S_\alpha | S_\beta = s_\beta)}} \quad (13)$$

검정 통계치의 평균은 0이고 표준편차는 1인 정규분포를 가진다.

3. 자료 개요 및 분석 결과

1904년에 목포, 인천, 부산에서 근대 기상관측이 시작되어 온 이래, 우리나라 전역에 걸쳐서 현재 기상청에서 운영하고 있는 76곳의 종관 기상관측소에서 기상 및 기후자료를 수집하고 있다. 본 연구에서는 기상관측소 76곳의 관측시작시점부터 2004년 12월 31일까지의 장기 일 시계열 자료를 이용하여 월 및 연강수량의 경향성분석을 실시하였다. 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)에 따르면 주어진 관측소에서의 평년 강수량을 계산할 경우, 최소 30년 이상 자료의 평균값을 취하도록 권고하고 있다. 이에 따라 각 관측소별 시계열자료를 2004년을 기준으로 최소 30년 이상의 자료를 보유한 62개 관측소를 선택하고, 이 관측소들의 자료를 다시 1975~2004(30년), 1945~2004(60년), 1915~2004(90년), 1905~2004(100년)의 자료로 분류하였다. 76곳의 지상관측소 중 30년 이상의 자료를 보유한 곳은 62곳, 60년 이상은 13곳, 90년 이상은 6곳, 그 중 100년 이상은 인천, 부산, 목포 3곳이 있다. 이들 자료 중에는 한국전쟁 전후로 발생한 부분적인 결측 기간의 자료는 계산에 참여하지 않았다(인천 - 1950, 1951; 서울 - 1950, 1951, 1952, 1953; 강릉 - 1951; 울산 - 1945; 추풍령 - 1945 - 1952; 여수 - 1950). 그림 1은 우리

나라 전역에 분포한 62개 지상관측소의 위치를 나타내고, 표 1은 관측소의 경위도와 해발고도를 나타내고 있다. 본 연구에

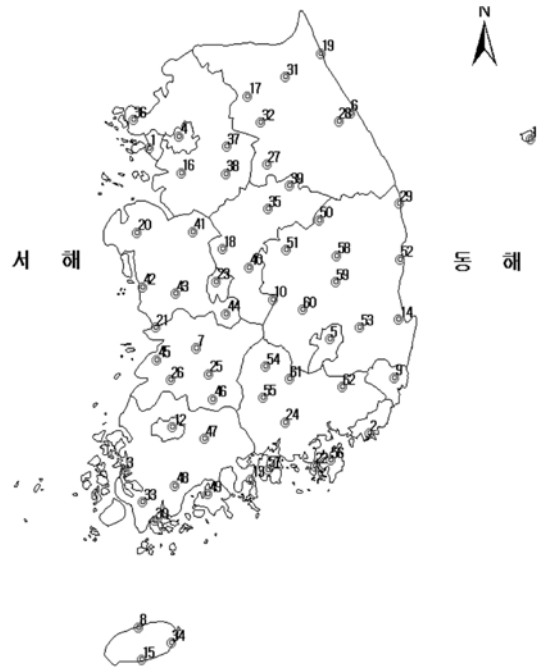


그림 1. 계산에 사용된 기상관측소(62개소).

표 1. 62개의 기상관측소 위치 및 고도 정보

No	지점번호	Station	Lat	Lon	Hight(m)	No	지점번호	Station	Lat	Lon	Hight(m)
1	112	인천	37°28'	126°38'	68.9	32	212	홍천	37°41'	127°53'	140.6
2	159	부산	35°06'	129°02'	69.2	33	261	해남	34°33'	126°34'	13.7
3	165	목포	34°49'	126°23'	37.9	34	265	성산포	33°23'	126°53'	18.6
4	108	서울	37°34'	126°58'	85.5	35	127	충주	36°58'	127°53'	69.1
5	143	대구	35°53'	128°37'	57.6	36	201	강화	37°42'	126°27'	45.7
6	105	강릉	37°45'	128°54'	25.9	37	202	양평	37°29'	127°30'	47.0
7	146	전주	35°49'	127°09'	53.5	38	203	이천	37°16'	127°29'	77.8
8	184	제주	33°31'	126°32'	20.0	39	221	제천	37°09'	128°12'	263.2
9	152	울산	35°33'	129°19'	34.7	40	228	보은	36°29'	127°44'	174.1
10	135	추풍령	36°13'	128°00'	242.5	41	232	천안	36°47'	127°07'	24.9
11	115	울릉도	37°29'	130°54'	220.9	42	235	보령	36°19'	126°34'	15.3
12	156	광주	35°10'	126°54'	70.5	43	236	부여	36°16'	126°55'	11.3
13	168	여수	34°44'	127°45'	66.1	44	238	금산	36°06'	127°29'	171.3
14	138	포항	36°02'	129°23'	1.9	45	243	부안	35°44'	126°43'	10.7
15	189	서귀포	33°15'	126°34'	50.5	46	247	남원	35°24'	127°20'	89.7
16	119	수원	37°16'	126°59'	33.6	47	258	순천	35°04'	127°14'	74.4
17	101	춘천	37°54'	127°44'	76.8	48	260	장흥	34°41'	126°55'	45.2
18	131	청주	36°38'	127°27'	57.4	49	262	고흥	34°37'	127°17'	53.3
19	090	속초	38°15'	128°34'	17.8	50	272	영주	36°52'	128°31'	210.2
20	129	서산	36°46'	126°30'	25.9	51	273	문경	36°37'	128°09'	170.4
21	140	군산	35°59'	126°42'	25.6	52	277	영덕	36°32'	129°25'	41.2
22	162	통영	34°51'	128°26'	31.7	53	281	영천	35°58'	128°57'	94.1
23	133	대전	36°22'	127°22'	68.3	54	284	거창	35°40'	127°55'	220.9
24	192	진주	35°12'	128°07'	21.3	55	289	산청	35°25'	127°53'	138.6
25	244	임실	35°37'	127°17'	246.9	56	294	거제	34°53'	128°36'	45.3
26	245	징읍	35°34'	126°52'	44.1	57	295	남해	34°49'	127°56'	44.4
27	114	원주	37°20'	127°57'	149.8	58	136	안동	36°34'	128°43'	139.4
28	100	대관령	37°41'	128°46'	842.5	59	278	의성	36°21'	128°41'	81.1
29	130	울진	36°59'	129°25'	49.4	60	279	구미	36°08'	128°19'	47.9
30	170	완도	34°24'	126°42'	34.9	61	285	합천	35°34'	128°10'	32.7
31	211	인제	38°03'	128°10'	198.6	62	288	밀양	35°29'	128°45'	12.6

표 2. 60년 이상의 강우기록을 보유한 13개 기상관측소 자료에 대한 기간별 평년값, 분산 및 변동계수 변화

		기간							
		1905-1934	1915-1944	1925-1954	1935-1964	1945-1974	1955-1984	1965-1994	1975-2004
1	인천	1036.04	1078.38	1113.05	1123.98	1186.28	1134.81	1140.70	1173.50
2	부산	1432.83	1366.39	1380.57	1395.95	1475.36	1468.75	1462.55	1519.79
3	목포	1052.15	1078.80	1102.27	1126.24	1146.48	1107.51	1077.14	1136.49
	AVG	1173.67	1174.52	1198.63	1215.39	1269.37	1237.02	1226.80	1276.59
	STD	293.42	298.55	291.65	285.11	289.10	286.29	322.48	334.28
	COV	0.25	0.26	0.24	0.23	0.23	0.23	0.26	0.26
4	서울	-	1279.31	1289.13	1291.74	1404.51	1334.42	1340.36	1376.84
5	대구	-	958.18	966.13	966.45	1019.08	1020.53	1015.30	1065.60
6	강릉	-	1250.71	1236.01	1264.91	1307.53	1336.20	1384.40	1459.67
	AVG	-	1168.63	1181.19	1194.88	1256.54	1233.70	1236.74	1288.65
	STD	-	307.03	314.26	297.49	279.26	252.47	291.66	323.14
	COV	-	0.26	0.27	0.25	0.22	0.20	0.24	0.25
7	전주	-	-	1220.72	1269.28	1306.52	1292.17	1254.67	1303.64
8	제주	-	-	1404.18	1430.59	1453.92	1402.59	1436.67	1485.54
	AVG	-	-	1214.01	1233.64	1287.46	1262.12	1263.97	1315.13
	STD	-	-	312.35	295.19	275.27	255.93	293.73	327.37
	COV	-	-	0.26	0.24	0.21	0.20	0.23	0.25
9	울산	-	-	-	-	1276.75	1278.04	1291.02	1289.22
10	추풍령	-	-	-	-	1194.85	1154.91	1135.54	1192.53
11	울릉도	-	-	-	-	1365.88	1327.13	1180.94	1344.45
12	광주	-	-	-	-	1299.91	1299.18	1323.45	1378.06
13	여수	-	-	-	-	1380.89	1383.83	1383.77	1437.09
	AVG	-	-	-	-	1293.69	1272.31	1263.58	1320.19
	STD	-	-	-	-	278.84	264.37	294.84	329.78
	COV	-	-	-	-	0.22	0.21	0.23	0.25

AVG: 평년값(mm/yr), STD: 표준편차(mm/yr), COV: 변동계수

서는 30년, 60년, 90년, 100년의 관측기간에 대하여 각 기간 별 연 및 월강수량, 월 최대강수강도, 강수일수, 그리고 일강수량이 20 mm, 30 mm, 80 mm를 초과하는 강수일수의 추세 분석을 실시하였고, 일강수량을 기본 자료로 하여 월 및 연 강수량에 대한 추세분석을 실시하였다. 기상청에서 호우주의보를 발령하는 기준은 일강수량 80 mm 이상 또는 시강수량 30 mm 이상이다. 일강수량이 80 mm 이상이면 호우주의보 발령대상 일이며 일강수량이 30 mm이고 빈번한 상황은 아닐 지라도 일강수량 30 mm가 한시간 이내에 왔다면 호우주의보 발령대상 일이다. 그러므로 일강수량 80 mm, 30 mm인 강수일수의 경향을 분석하였으며 뿐만 아니라 일강수량 20 mm인 강수일수의 경향분석을 실시하였다.

표 2는 60년 이상의 강수량 관측기간을 가진 13개 관측소의 10년 단위의 자료기간별 강수평년값, 분산 및 변동계수의 변동 특성을 보여주고 있다. 이들 평년값은 시간에 따라 그 변동폭이 크지만 울릉도를 제외한 모든 관측소에서 최근 30년 동안의 평년값이 초기 30년 평년값보다 약 100 mm 이상 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 연평균 강수량의 표준편

차는 연강수량과 같이 동일한 증가추세를 보이지 않으며 줄어드는 경향을 보인다. 최근 1984년 이후 약 20년의 기간에 대하여 증가하였다. 변동계수의 변화 양상은 강수 평년값의 증가에도 불구하고 표준편차의 변동양상과 비슷한 증감 거동을 보였다. 변동계수는 최근 20년간은 전반적으로 증가추세를 보이지만 획기적인 증가로 인한 수자원 관리에 영향을 줄 만큼의 변동성을 보여주지는 않는다.

3.1 경향분석결과

그림 2는 연강수량의 전반적인 변화 추이를 보여주기 위한 샘플 관측지점 즉 인천, 부산, 목포, 강릉, 서울, 대구에 대한 강수량 시계열 자료와 추세선을 나타내는 것으로 전반적으로 증가추세를 나타낸다. 부록 1은 지상관측소 62곳의 강우자료 기간과 회귀분석을 통한 직선의 기울기와 1975년부터 2004년까지의 강수평년값과 1975~1984년, 1985~1994년, 1995~2004년 동안의 최근 30년 동안을 10년 단위로 평균값을 나타낸다. 관측소의 각 대상기간에 대한 회귀직선의 기울기를 보면 울릉도의 60년 기간 동안의 기울기가 -1.85의 값을 가지는 것

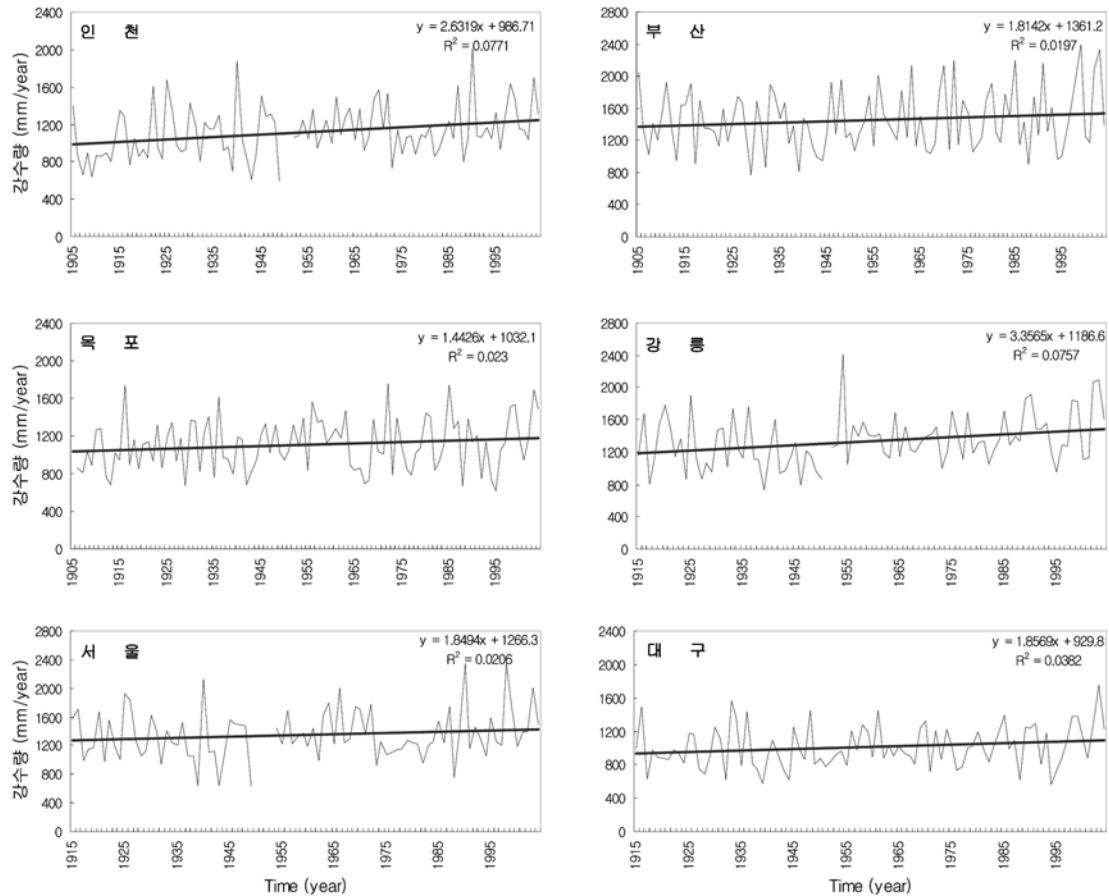


그림 2. 샘플지역 연강수량 시계열(인천, 부산, 목포, 강릉, 서울, 대구).

을 제외하고 모든 관측소에서 모든 기간에 대해 양의 기울기를 가진다. 최근 30년 동안의 기울기가 60년 90년 100년 자료의 회귀직선 기울기보다 4~5배 큰 것을 보아 최근 30년 사이의 강수량 증가추세가 전체 증가추세에 비하여 매우 강함을 알 수 있다. 그리고 최근 30년 동안의 자료를 10년 단위로 구한 평균값도 일부관측소에서 그 강수량의 변동성을 보이고 있지만, 대부분의 관측소에서 1975~1984년 강수 평균에 비하여 최근 10년(1995~2004년) 강수 평균이 100~200 mm 증가한 것을 알 수 있다. 그러나 이러한 연강수량의 증가추세를 수자원 계획에 활용함에 있어서 즉 내년의 강수량이 올해보다 더 많을 것을 혹은 내년 특정월의 강수량이 대상 특정월의 증감 경향에 대응하여 올해 특정월의 강수량보다 증가하거나 감소하는 것을 보장하지 않는다. 이는 자료 변동성과 상관한 문제로 본 연구에서는 추세분석에 사용된 변수들에 대한 대상 기간별 연 및 월자료의 유의수준별 증감추세를 분석하였다.

3.2 Mann-Kendall 검정결과

Mann-Kendall 검정을 사용하여 30년, 60년, 90년, 100년의 각각 다른 자료기간 동안의 강수특성별 연추세와 월추세 분석을 실시하였다. Mann-Kendall 검정의 유의수준으로는 일반적인 기후자료분석에 이용되는 95%와 90%를 사용하였다. 강수특성별 30년 자료의 90% 유의수준을 가지는 연 Mann-Kendall 검정의 한반도에 대한 공간적 분포 샘플을 그림 3에

서 제시하였다. 그림 3에서 제시한 바와 같이 연강수량은 89% 관측지점이 양의 선형추세를 보임에도 불구하고 유의수준 90%에서 단지 3개 지점(5%)에서 유의한 증가추세를 보였으며 월 최대강수량의 경우 62개 관측소 중 10개 지점이(16%) 증가추세를 보였다. 이것은 선형추세의 증분량보다 강수량의 변동특성이 우세함을 의미한다. 강수일수의 경우 3개 지점(5%)이 증가추세와 11개 지점(18%)이 감소추세를 보였으며 전체적으로 68% 관측지점이 감소추세를 보였다. 일강수량 20 mm와 30 mm 이상인 일수는 각각 8개 지점(13%)이 증가추세를 보였고 80 mm 이상의 일강수를 가지는 강수일수에서 통계적 유의성을 가지는 증가추세를 보이는 지점이 26 지점(42%)이었으며 97%의 관측지점이 증가추세를 보였다. 부록2는 강수 특성관련 변수들의 연 Mann-Kendall 검정 결과를 보여주고 있다. 80 mm 이상 일강수량을 가진 강수일수의 30년 자료를 보면 95% 유의수준에서 17개 지점(27%)이, 90% 유의수준에서 26개 지점(42%)이 증가추세를 보였고 유의성을 가지지 않은 사이트도 강한 증가추세를 보였다. 부록 2에서 보는 것과 같이 연강수량과 월 최대강수량은 90%, 95%의 유의수준에서 일부 관측소만 증가추세를 보이고 있고, 대부분의 관측소에서는 유의성을 가진 추세를 보이지 않았다. 이것은 대상기간에 대해 추세에 의한 증분치보다 강우 변동량이 많은 것을 의미하는 것으로, 특정 유의수준에 대해 유의한 추세가 없음을 의미하는 것이지 증가추세가 없음을 의미하는 것은 아니다. 이러한 결과는 전국에 걸쳐 연강수량의

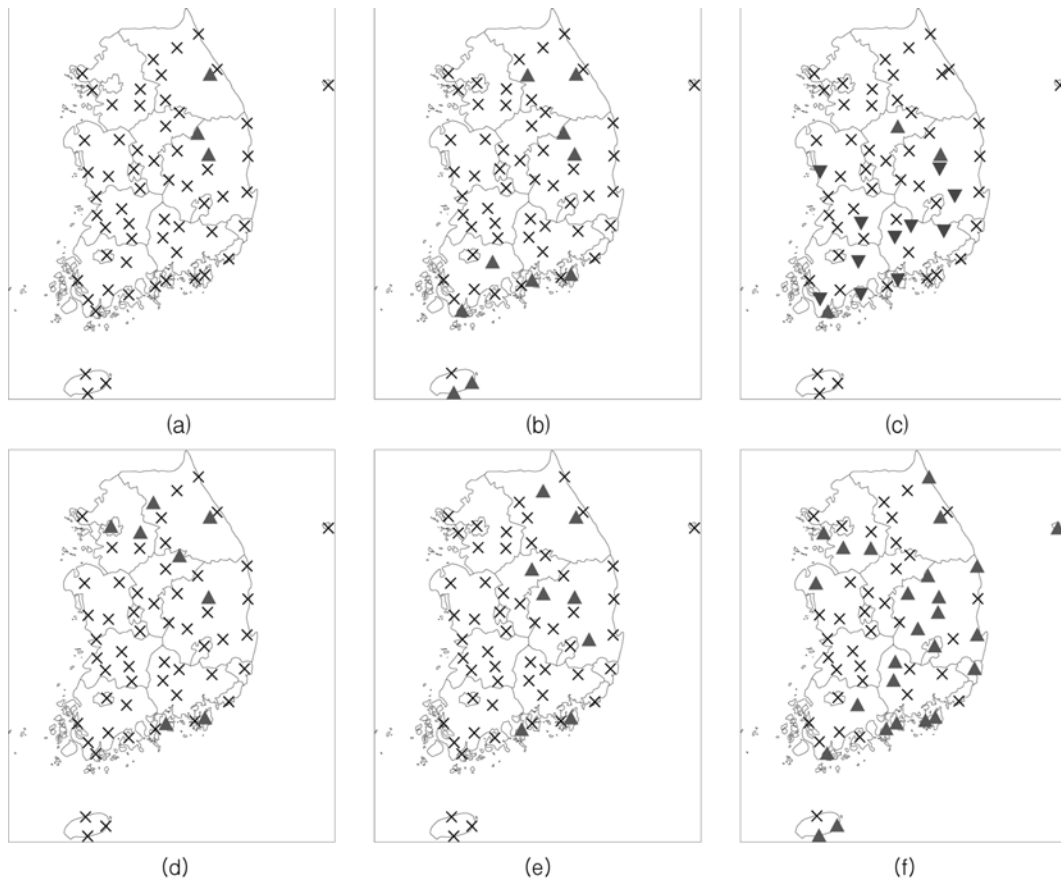


그림 3. 62개 관측소 30년 강우기록의 다양한 변함에 대한 Mann-Kendall 추세검증 결과 (a) 연 강수량 (b) 월 최대강수량 (c) 연 강우일수 (d) 강우강도가 20 mm/day 이상인 연 강우일수 (e) 강우강도가 30mm/day 이상인 연 강우일수 (f) 강우강도가 80 mm/day 이상인 연 강우일수(증가추세 ▲, 감소추세 ▼, 추세 없음 ×90% 신뢰구간)

증가추세는 통계적으로 유의하지 않으나 유의한 강수일수의 감소추세와 호우일수의 증가추세는 수자원 관리에 있어 더욱 신중해야함을 시사한다.

수자원 관리를 위하여 연강수량과 관련된 자료의 전체적인 변화 정보와 함께 월별 변화 경향에 대한 분석이 필수적이며 각 월별 자료의 90%와 95% 유의수준에 대한 Mann-Kendall 검정 결과를 표 3에 요약하였다. 관측기간 30년의 관측소가 62개소로 관측기간 60년-13개소, 90년-6개소, 100년-3개소에 비하여 공간변화를 나타내기 용이하므로 관측기간 30년 자료를 기본 자료로 분석하고, 나머지 기간의 자료는 비교분석에 사용하였다. 표 3에서 보는 것과 같이 100년, 90년, 60년, 30년 자료에 대해서 각 월별 자료의 증가, 감소 추세의 다양한 변동성을 볼 수 있다. 먼저 강수량의 월별 추세검정 결과는 1975~2004년 자료에 대하여 유의수준 90%에서 1월에 37%의 지점이 유의한 증가추세를 보여 월 자료 중에서 가장 통계적으로 유의한 증가추세를 보인다. 5월에 28%, 8월에 15%의 지점이 유의한 증가추세를 보이고 8월은 100년, 90년, 60년 자료에서도 강한 증가추세를 보이고 있다. 통계적 유의성을 가지지 않은 지점에서도 1월, 5월, 8월에서는 대부분 증가추세를 나타내었고 12월은 감소추세를 나타내고 있다. 이는 초봄의 강수량 감소로 인해서 수자원 관리에 유의해야함과 특히 여름철 강수량 증가추세는 이수측면에서 유리하다기 보다 치수적인 측면에서 주의를 기울여야함을 나

타낸다. 또한 감소추세를 보이는 겨울철 용수관리에 보다 신중해야함을 나타낸다.

월 최대강수량은 연강수량과 비슷하게 1975~2004년 자료에 대하여 유의수준 90%에서 1월에 40%, 5월에 24%, 6월에 28%, 7월에 21%의 증가추세를 3월에 19%의 감소추세를 나타내고 있고 통계적 유의성을 가지진 않지만 전반적으로 1월, 5월, 6월, 7월, 8월에 증가추세를 3월과 12월에 감소추세를 나타내고 있다. 강수일수는 유의수준 90%의 30년 자료에서 5월의 증가추세, 2월, 4월, 12월에 감소추세를 보이고 통계적 유의성을 가지진 않지만 1월, 8월에 증가추세 3월, 6월에 감소추세를 보인다. 20 mm, 30 mm, 80 mm 이상의 일강수를 가지는 강우일수는 전반적으로 1월, 5월, 6월, 7월, 8월에 증가추세를 보이고 있고 80 mm 이상 일강수를 가지는 강우일수는 겨울철 동안은 그 빈도가 없어서 경향성을 나타내지는 않지만 5월, 6월, 7월, 8월에는 모두 증가하는 추세를 보여주었다. 30년 동안의 자료에 대한 유의한 경향성을 가지는 지점의 구성비에 대한 분석 결과는 월강수량의 경우 유의수준 95%에서 약 4% 지점이 유의한 증가추세, 0.5% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 유의수준 90%의 경우 약 8% 지점이 유의한 증가추세, 1.8% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 월 최대강수량은 유의수준 95%에서 약 5% 지점이 유의한 증가추세, 1.5% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 유의수준 90%의 경우 약 10% 지점이 유의한 증가추세,

표 3. 월자료에 대한 Mann-Kendall 추세검증 결과(SL: 유의 수준, significance level(%), UT: 증가추세, upward trend, DT: 감소추세, downward trend, NS: 추세 없음, no significant trend, ↑: NSUT, ↓: NSDT, () 내의 숫자는 유의 수준내에서 추세를 만족하지 않으나 추세가 있는 개수

Year	Mon	Precipitation(sum)				Precipitation(max)			Rainy day			Rainfall(>20 mm)			Rainfall(>30 mm)			Rainfall(>80 mm)		
		SL	UT	DT	NS	UT	DT	NS	UT	DT	NS	UT	DT	NS	UT	DT	NS	UT	DT	NS
100	1	95%			3			3			3			3		2	1			3
		90%			↑ 3(2)			↓ 3(2)			↓ 3(3)		1	2			↓ 1(1)		1	2
	2	95%			3			3			3			3			3			3
		90%	1		↑ 2(2)			↑ 3(3)			↓ 3(2)			↑ 3(2)			↓ 3(2)			↑ 3(3)
	3	95%			3			3			3			3			3			3
		90%	2		↑ 1(1)			↑ 3(3)			↓ 3(3)			↑ 3(3)			↓ 3(3)			↑ 3(2)
	4	95%			3			3			3			3			3			3
		90%			↓ 3(2)			↓ 3(2)			↓ 3(3)			↓ 3(2)			↑ 3(2)			↑ 3(2)
	5	95%			3			3	1	2				3			3			3
		90%	1		2			↑ 3(2)	1	↑ 2(2)				↑ 3(2)			↑ 3(2)		1	↑ 2(2)
	6	95%			3			3			3			3			3			3
		90%			↑ 3(3)			↑ 3(3)			↓ 3(3)			↑ 3(2)	1		↑ 2(2)	1		↑ 2(2)
	7	95%			3			3			3	1		2	1		2			3
		90%			↑ 3(3)			↑ 3(2)			↓ 3(3)	1		2	2		↑ 1(1)			↓ 3(2)
	8	95%	1		2			3			3	1		2			3	1		2
		90%	2		↑ 1(1)	1		↑ 2(2)			↑ 3(2)	1		↑ 2(2)	1		↑ 2(2)	1		↑ 2(2)
	9	95%			3			3			3			3			3			3
		90%			↑ 3(2)			↑ 3(3)	2	↓ 1(1)				↓ 3(2)			↑ 3(2)			↑ 3(3)
	10	95%			3			3	2	1				3			3			3
		90%			↓ 3(3)			↓ 3(3)	3					↑ 3(2)			↓ 3(2)	1		2
	11	95%			3			3	1	2				3			3			3
		90%			↑ 3(3)			↑ 3(2)	1	↓ 2(2)				↑ 3(3)			↑ 3(3)	1		2
	12	95%			3			3	2	1				3			3			3
		90%			↓ 3(3)			↓ 3(2)	2	↓ 1(1)				↓ 3(3)			↓ 3(2)			3
90	1	95%			6			6			6	1	1	4		1	5			6
		90%			↑ 6(5)			↑ 6(5)			↓ 6(4)	1	1	4		3	↓ 3(2)			6
	2	95%			6			6			6			6			6			6
		90%			↑ 6(4)			↓ 6(4)			↓ 6(5)			↑ 6(4)		1	↓ 5(3)			6
	3	95%			6			6			6			6			6			6
		90%			↑ 6(6)			↑ 6(5)	1	↓ 5(4)				↑ 6(6)			↑ 6(5)			↑ 6(4)
	4	95%			6			6			6			6			6			6
		90%			↑ 6(5)			6			↓ 6(5)			↑ 6(5)			↑ 6(5)			↑ 6(4)
	5	95%			6			6	1	5				6			6	1		5
		90%			↑ 6(5)			↑ 6(5)	3	↑ 3(3)				↑ 6(5)			↑ 6(5)	3		↑ 3(2)
	6	95%			6			6			6			6			6			6
		90%	1		5			↑ 6(5)	1	↓ 5(4)				↑ 6(4)			↑ 6(6)			↑ 6(5)
	7	95%			6			6			6			6	1		5			6
		90%			↑ 6(6)			↑ 6(4)			↓ 6(4)	1		↑ 5(4)	1		↑ 5(5)			↓ 6(4)
	8	95%	2		4	2		4			6	4		2	3		3	3		3
		90%	4		↑ 2(2)	3		↑ 3(3)			6	4		↑ 2(2)	5		↑ 1(1)	3		↑ 3(2)
	9	95%			6			6	1	5				6			6			6
		90%			6			6	3	↓ 3(3)				↓ 6(5)	1		↓ 5(3)			↑ 6(5)
	10	95%			6			6			6			6			6			6
		90%			6			6	1	↓ 5(4)				↑ 6(4)			↑ 6(4)		1	5
	11	95%			6			6	1	5				6			6			6
		90%			↑ 6(5)			↑ 6(5)	1	↑ 5(4)				↑ 6(6)			↑ 6(6)	1		5
	12	95%			6			6	3	3				6			6			6
		90%	1		↓ 5(5)			↓ 6(5)	5	↓ 1(1)				↓ 6(6)			↓ 6(5)			6

표 3. Continued

Year	Mon	Rainfall(sum)				Rainfall(max)			Rainy day			Rainfall(>20 mm)			Rainfall(>30 mm)			Rainfall(>80 mm)		
		SL	UT	DT	NS	UT	DT	NS	UT	DT	NS	UT	DT	NS	UT	DT	NS	UT	DT	NS
60	1	95%	1	1	11			13	1	1	11		2	11		3	10			13
		90%	1	1	↑ 11(9)		1	↑ 12(11)	1	1	↑ 11(7)	1	2	10		5	8			13
	2	95%		1	12			13)		2	11			13			13			13
		90%		1	↑ 12(9)			↑ 13(11)		2	↑ 11(7)			↑ 13(9)			↓ 13(7)			13
	3	95%			13		1	12		1	12		2	11		4	9			13
		90%		1	↓ 12(9)		2	↓ 11(10)		1	↓ 12(8)		4	↓ 9(7)		5	↓ 8(6)			13
	4	95%			13	2	1	10			13			13		1	12			13
		90%		1	↑ 12(9)	4	1	↑ 8(6)			↓ 13(9)		1	↑ 12(7)	3	1	↑ 9(6)	1		↑ 12(8)
	5	95%	3		10	3		10		3	10	2		11	2		11	2		11
		90%	4		↑ 9(6)	3		↑ 10(6)		3	↑ 10(7)	2		↑ 11(7)	3		↑ 10(7)	3	1	↑ 9(6)
	6	95%	1		12	2		11			13	1		12	1		12	2		11
		90%	2		↑ 11(10)	2		↑ 11(11)		1	↓ 12(10)	1		↑ 12(9)	3		↑ 10(9)	2		↑ 11(8)
	7	95%			13	1		12			13			13			13	1		12
		90%			↑ 13(8)	2		↑ 11(8)	1	1	↓ 11(11)			↑ 13(9)			↑ 13(10)	1		↑ 12(8)
	8	95%	9		4	6		7	6		7	8		5	7		6	6		7
		90%	10		↑ 3(3)	8		↑ 5(5)	8		↑ 5(5)	9		↑ 4(4)	7		↑ 5(5)	6		↑ 7(7)
	9	95%	1		12	1		12		2	11			13			13			13
		90%	1		↓ 12(9)	1		↑ 12(7)	1	5	↓ 7(5)	1		↓ 12(8)	1		↓ 12(10)			13(6)
	10	95%			13			13		1	12			13			13			13
		90%	1	1	↓ 11(8)		1	↓ 12(9)		1	↓ 12(10)			13			↓ 13(9)		1	↓ 12(8)
	11	95%	1		12	1		12	3		10			13			13			13
		90%	2		11	1		↓ 12(8)	4		↑ 9(5)			↓ 13(8)			↑ 13(8)			13
	12	95%		3	10		1	12		2	11			13			13			13
		90%		4	↓ 9(8)		2	↓ 11(9)	1	4	↓ 8(7)			↓ 13(12)		1	↓ 12(8)		2	11
30	1	95%	8		54	12		50	1	1	60	7		55	2		60			62
		90%	23		↑ 39(38)	25		↑ 37(35)	4	1	↑ 57(46)	14		↑ 48(44)	5		↑ 57(34)			62
	2	95%		1	61		1	61		7	55			62		1	61		1	61
		90%		1	61		1	↑ 61(47)		14	↓ 48(39)	2	1	↑ 59(42)	2	2	58		1	61
	3	95%		2	60		8	54		2	60	1	3	58		2	60			62
		90%		8	↓ 54(42)	1	12	↓ 49(39)		3	↓ 59(35)	1	7	↓ 54(41)		4	↓ 58(40)	1		61
	4	95%		1	61			62		9	53			62			62		1	61
		90%		4	↓ 58(53)		3	↓ 59(39)		13	↓ 49(47)		3	↓ 59(46)		3	↓ 59(40)	1	6	55
	5	95%	11		51	7		55	10		52	4		58	10		52	1		61
		90%	15		↑ 47(43)	14		↑ 48(43)	14		↑ 48(46)	10		↑ 52(42)	14		↑ 48(35)	5		↑ 57(40)
	6	95%	3		59	10		52	1		61			62	1		61	3	1	58
		90%	5		↑ 57(48)	15		↑ 47(39)	1	1	↓ 60(52)	2		↑ 60(50)	6	1	↑ 55(45)	10	1	↑ 51(35)
	7	95%	1		61	5		57			62	1		61	1		61	5		57
		90%	4		↑ 58(53)	13	1	↑ 48(44)	1		61	2		↑ 60(44)	5		↑ 57(45)	9		↑ 53(40)
	8	95%	5		57	2		60	2		60	6		56	6		56	5		57
		90%	9		↑ 53(52)	5		↑ 57(50)	4		↑ 58(56)	10		↑ 52(48)	14		↑ 48(45)	8		↑ 54(48)
	9	95%			62	1		61	1		61			62			62	2		60
		90%	2		↑ 60(53)	4		↑ 58(49)	3		59	2		↑ 60(53)	2		↑ 60(51)	8		↑ 54(49)
	10	95%			62			62		1	61			62			62		1	61
		90%			↓ 62(47)			↓ 62(44)		2	↓ 60(46)		1	61	1		61		1	61
	11	95%			62		1	61		1	61		1	61			62			62
		90%		2	↓ 60(49)		2	↓ 60(45)		3	↓ 59(47)		5	57		2	60		2	60
	12	95%		1	61		1	61		5	57	1		61	1	1	60			62
		90%		7	↓ 55(52)	1	6	↓ 55(42)		13	↓ 49(44)	5		57	5	3	54			62

3.4% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 월 강수일수는 유의수준 95%에서 약 2% 지점이 유의한 증가추세, 3.5% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 유의수준 90%의 경우 약 7% 지점이 유의한 증가추세, 7% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 일강수량 20 mm 이상인 각 월의 강우일수는 유의수준 95%에서 약 3% 지점이 유의한 증가추세, 0.5% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 유의수준 90%의 경우 약 6% 지점이 유의한 증가추세, 2% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 일강수량 30 mm 이상인 각 월의 강우일수는 유의수준 95%에서 약 3% 지점이 유의한 증가추세, 0.5% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 유의수준 90%의 경우 약 7% 지점이 유의한 증가추세, 2% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 일강수량 80 mm 이상인 각 월의 강우일수는 유의수준 95%에서 약 2% 지점이 유의한 증가추세, 0.5% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 유의수준 90%의 경우 약 6% 지점이 유의한 증가추세, 1.5% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 이러한 결과는 강수관련 자료들이 월별로 증가 또는 감소의 장기추세를 보임에도 불구하고 통계적으로 유의한 장기추세를 보이는 확률은 매우 적기 때문이다. 이는 선형 증감에 따른 장기변동보다 자료들이 가지고 있는 분산형태의 변동성이 매우 우세함을 의미하고 이러한 특성들은 수자원의 장기 계획 등에 있어서 반영되어야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 한반도 강수관련 자료의 장기 변동 특성을 분석하기 위하여 전국적으로 분포한 62개 기상관측소 일자료를 이용하여 30년, 60년, 90년, 100년의 관측기간에 대하여 각 기간별 연 및 월강수량, 월 최대강수량, 강수일수, 그리고 일강수량이 20 mm, 30 mm, 80 mm를 초과하는 강수일수의 추세특성을 Mann-Kendall 검정을 사용하여 다음과 같은 분석 결과를 얻었다.

연 자료에 대한 분석결과는 다음과 같다. 연강수량의 기초통계량 분석 결과 1905년부터 2004년까지 지난 100년 동안 연평균 강수량은 약 100~200 mm 이상 증가하였고, 특히 1975년부터 2004년까지 연평균강수량의 증분치가 지배적인 것으로 나타났다. 최근 30년 동안의 연평균강수량의 변동은 지난 100년 동안의 변동성보다 더 큰 값을 보여주는데 이러한 결과는 지구온난화나 산업화 그리고 도시화와 같은 여러 요인들과 연관이 있을 것으로 사료된다. 강수특성별 Mann-Kendall 검정 결과 연 추세 검정에서는 80 mm를 초과하는 강수일수 자료가 가장 많은 지점이 유의한 증가추세를 나타내었지만 강수량, 월 최대강수량, 강수일수, 그리고 일강수량이 20 mm, 30 mm를 초과하는 강수일수 자료는 통계적 유의성을 가지는 경향성을 보이는 지점이 매우 적었다. 1975년부터 2004년까지 자료에 대하여 연강수량은 유의수준 90%의 경우 약 5% 지점이 유의한 증가추세를 보였고 유의한 감소추세를 보이는 지점은 없었다. 월 최대강수량은 유의수준 90%의 경우 약 16% 지점이 유의한 증가추세를 보였고 유의한 감소추세를 보이는 지점은 없었다. 강수일수는 유의수준

90%의 경우 약 5% 지점이 유의한 증가추세를 보였고 18% 지점이 유의한 감소추세를 보였다. 일강수량 20 mm와 30 mm 이상인 강수일수는 유의수준 90%의 경우 각각 약 13% 지점이 유의한 증가추세를 보였고 유의한 감소추세를 보이는 지점은 없었다. 일강수량 80 mm 이상인 강수일수는 유의수준 90%의 경우 각각 약 42% 지점이 유의한 증가추세를 보였고 유의한 감소추세를 보이는 지점은 없었다. 이러한 결과는 기온의 변동특성과 달리 여러 물리현상과 연관된 강수량의 경우 장기자료의 선형적 증분치보다 강수량 자체의 변동성이 크므로 장기자료가 증가 또는 감소추세를 가짐에도 불구하고 각 통계적으로 유의한 추세를 가지는 지점이 적음을 나타낸다. 또한 일강수량 80 mm 이상인 강수일수와 같이 호우 발생에 대한 유의한 증가추세가 여타 자료들이 보여준 유의성보다 높으므로 빈번한 홍수피해에 대한 대비가 필요함을 알 수 있다. 결론적으로 연강수량의 증가, 강수일수의 감소, 강수가 큰 호우사상의 증가로 요약될 수 있는 선행 연구들의 한반도 강수특성 분석결과와 일치하나 각 자료가 보이는 선형추세들의 통계적 유의성에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

월별 추세분석 결과는 다음과 같다. 1975~2004년 자료에 대하여 1, 5, 6, 7, 9월 강수량과 월 최대강수량은 증가추세를 보이고 3, 4, 10, 11, 12월에는 감소추세를 보인다. 또한 6, 7, 8, 9월의 일강수량 20 mm와 30 mm 이상인 강수일수는 증가추세를 보였다. 이는 초봄과 겨울철의 강수량 감소로 인해서 수자원 관리에 유의해야함과 특히 여름철 강수량 증가추세는 이수 측면에서 유리하다기보다 치수적인 측면에서 주의를 기울여야함을 나타낸다. 그럼에도 불구하고 전절에서 분석한 바와 같이 각 자료에 대한 유의한 월별 선형추세를 보이는 관측 지점의 비율은 매우 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 강수관련 자료들이 월별로 증가 또는 감소의 장기추세를 보임에도 불구하고 통계적으로 유의한 장기추세를 보이는 확률은 매우 적으며 이는 선형 증감에 따른 장기변동보다 자료들이 가지고 있는 분산형태의 불확실이 매우 우세함을 의미하고 이러한 특성들은 수자원의 장기 계획 등에 있어서 반영되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-9-2)에 의해 수행되었습니다. 이와 관련되신 분들에게 감사드립니다.

참고문헌

- 김규범, 이장근 (2003) 수질 장기관측자료를 활용한 우리나라의 지하수 수질변동 특성. 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회, pp. 94-96.
- 배덕효, 정일원 (2005) 기후변화에 따른 바람직한 유역관리. 제13회 "세계 물의 날" 기념 심포지움, pp. 19-35.
- 이승호, 권원태 (2004) 한국의 여름철 강수량 변동. 대한지리학회지, 제39권, 제6호, pp. 819-832.

- 이진용, 이명재, 이재명, 안경환, 원종호, 문상호, 조민조 (2006) 국가 지하수관측소 지하수위, 전기전도도 및 수온자료에 대한 모수적 및 비모수적 변동 경향성 분석. **한국지하수토양환경학회지**, 제11권, 제2호, pp. 56-67.
- 최광용, 권원태 (2008) 현재와 미래 우리나라 겨울철 강수형태 변화. **대한지리학회지**, 제43권, 제1호, pp. 1-19.
- 허창희, 강인식 (1988) 한국 지역 강수의 변동성에 대한 연구. **한국기상학회지**, 제24권 제1호, pp. 38-48.
- Brunetti, M., Maugeri, M., and Nanni T. (2001a) Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in northeastern Italy. *International Journal of Climatology*, Vol. 21, pp. 861-871.
- Brunetti, M., Maugeri, M., and Nanni T. (2001b) Trends in the daily intensity of precipitation in Italy. *International Journal of Climatology*, Vol. 21, pp. 269-284.
- Burn, D.H., and Hag Elnur, M.A. (2002) Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, Vol. 255, pp. 107-122.
- Choi, G., Kwon W.T., Boo, K.O., and CHA Y.M. (2008) Recent spatial and temporal changes in means and extreme events of temperature and precipitation across the republic of Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 43, No. 5, pp. 681-700.
- Dietz, E.J., and Kileen, A. (1981) A Nonparametric multivariate test for monotone trend with pharmaceutical applications. *Journal of the American Statistical Association*, Vol.76, pp. 169-174.
- Gibbons, J.D. (1990) *Handbook of statistical methods for engineers and scientists*. McGrawHill, ed. Harroson M.W., pp. 11.1-11.26.
- Hennessy, K.J., Suppiah, R., and Page, C.M. (1999) Australian rainfall changes, 1910-1995. *Australian Meteorology Magazine*, Vol. 48, pp. 1-13.
- Hirsch, R.M., and Slack, J.R. (1984) A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, Vol. 20, pp. 727-732.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. available at www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm.
- Iwashima, T., and Yamamoto, R. (1993) A statistical analysis of the extreme events: long-term trend of heavy daily precipitation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 71, pp. 637-740.
- Jung, H.S., Choi, Y., Oh, J.H., and Lim, G.H. (2002) Recent trends in temperature and precipitation over South Korea. *International Journal of Climatology*, Vol. 22, pp. 1327-1337.
- Karl, T.R., Knight, R.W., and Plummer, N. (1995) Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century. *Nature*, Vol. 377, pp. 217-220.
- Karl, T.R., and Knight, R.W. (1998) Secular Trends of Precipitation Amount, Frequency, and Intensity in the USA. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 79, pp. 231-241.
- Kundzewicz, Z.W., Graczyk, D., Maurer, T., Przymusinska, I., Radziejewski, M., Svensson, C. and Szwed, M. (2004) *Detection of change in world-wide hydrological time series of maximum annual flow*. GRDC Report No. 32, Global Runoff Data Centre, Koblenz, German
- Kunkel, K.E., Andsager, K., and Easterling, D.R. (1999) Long-term trends in extreme precipitation events over the conterminous United States. *Journal of Climate*, Vol. 12, pp. 2515-2527.
- Mann, H.B. (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, Vol. 13, pp. 245-259.
- Mason S.J., Waylen P.R., Mimmack, G.M., Rajaratnam, B., and Harrison, J.M. (1999) Changes in extreme rainfall events in South Africa. *Climatic Change*, Vol. 41, pp. 249-257.
- Matondo, J.I., and Msibi, K.M. (2001) "Estimation of the impact of climate change on hydrology and water resources in Swaziland", *Water International*, Vol. 26, No. 3, pp. 425-434.
- Osborn, T.J., Hulme, M., Jones, P.D., and Basnett, T.A. (2000) Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. *International Journal of Climatology*, Vol. 20, pp. 347-364.
- Plummer, N., Salinger, M.J., Nicholls, N., Suppiah, R., Hennessy, K.J., Leighton, R.M., Trewin, B.C., Page, C.M., and Lough, J.M. (1999) Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century. *Climatic Change*, Vol. 42, pp. 183-202.
- Schonwiese, C.D. and Rapp, J., (1997) *Climate Trend Atlas of Europe. Based on observations 1891-1990*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands
- Serrano, A., Mateos, V.L., and Garcia, J.A. (1999) Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian peninsula for the period 1921-1995. *Physics Chemistry Earth*, Vol. 24, pp. 85-90.
- Suppiah, R., and Hennessy, K.J. (1998) Trends in total rainfall, heavy rain events, and number of dry days in Australia, 1910-1990. *International Journal of Climatology*, Vol. 18, pp. 1141-1164.
- Trenberth, K.E. (1998) Atmospheric moisture residence times and cycling: implications for rainfall rates and climate change. *Climatic Change*, Vol. 39, pp. 667-694.
- Yu, P.S., Yang, T.C., and Chou, C.C. (2002) Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. *Journal of Hydrology*, Vol. 260, pp. 161-175.

© 논문접수일 : 09년 07월 22일
 © 심사의뢰일 : 09년 07월 29일
 © 심사완료일 : 09년 11월 20일

부록 1. 다른 관측기간에 대한 연 강수량의 선형기울기와 평균 및 분산 변화

		Precip. Data Time Coverage	Slope (mm/yr)				1975-2004	1975-1984	1985-1994	1995-2004
			1905~	1915~	1945~	1975~				
1	인천	1904-2004	2.63	1.79	1.58	13.00	1173.50	1012.79	1210.65	1297.06
2	부산	1904-2004	1.81	2.44	2.98	11.99	1519.79	1431.45	1474.05	1653.87
3	목포	1904-2004	1.44	0.82	0.40	8.27	1136.49	1049.26	1132.49	1227.73
	A V G	1907-2004	1.96	1.68	1.65	11.09	1276.59	1164.50	1272.40	1392.89
	S T D	1907-2004	0.61	0.82	1.29	2.49	211.43	231.90	178.96	228.66
4	서울	1907-2004	-	1.85	2.25	17.73	1376.84	1162.72	1405.84	1561.95
5	대구	1907-2004	-	1.86	2.63	10.30	1065.60	979.45	1044.57	1172.79
6	강릉	1911-2004	-	3.36	5.60	8.86	1459.67	1342.27	1518.48	1518.27
	A V G	1907-2004	-	2.02	2.57	11.69	1288.65	1162.99	1297.68	1405.28
	S T D	1907-2004	-	0.84	1.74	3.46	187.94	186.22	195.18	198.19
7	전주	1918-2004	-	-	0.48	6.20	1303.64	1235.73	1305.03	1370.16
8	제주	1923-2004	-	-	0.63	5.93	1485.54	1348.87	1600.18	1507.57
9	울산	1932-2004	-	-	1.93	6.91	1289.22	1209.34	1344.56	1313.77
10	추풍령	1937-2004	-	-	0.84	8.91	1192.53	1101.69	1191.40	1284.49
11	울릉도	1938-2004	-	-	-1.85	9.92	1344.45	1372.36	1150.95	1510.04
12	광주	1939-2004	-	-	3.60	8.68	1378.06	1262.45	1399.61	1472.11
13	여수	1942-2004	-	-	2.69	7.09	1437.09	1327.23	1482.18	1501.87
	A V G	1907-2004	-	-	1.83	9.52	1320.19	1218.12	1327.69	1414.74
	S T D	1907-2004	-	-	1.83	3.24	142.90	147.29	170.73	145.68
14	포항	1949-2004	-	-	-	12.56	1162.31	1063.76	1121.05	1302.13
15	서귀포	1961-2004	-	-	-	11.31	1890.12	1667.14	2013.18	1990.05
16	수원	1964-2004	-	-	-	8.37	1258.77	1137.74	1284.36	1354.22
17	춘천	1966-2004	-	-	-	8.21	1288.75	1213.30	1257.02	1395.94
18	청주	1967-2004	-	-	-	5.23	1245.73	1190.25	1226.62	1320.31
19	속초	1968-2004	-	-	-	8.60	1387.06	1334.47	1345.29	1481.42
20	서산	1968-2004	-	-	-	9.91	1243.10	1165.85	1208.76	1354.70
21	군산	1968-2004	-	-	-	7.09	1195.54	1103.68	1213.81	1269.13
22	통영	1968-2004	-	-	-	9.72	1438.40	1345.96	1406.53	1562.70
23	대전	1969-2004	-	-	-	8.23	1363.21	1264.61	1338.33	1486.68
24	진주	1969-2004	-	-	-	6.76	1509.89	1457.45	1490.56	1581.67
25	임실	1970-2004	-	-	-	5.14	1350.78	1277.53	1366.87	1407.95
26	정읍	1970-2004	-	-	-	5.64	1292.57	1220.03	1277.18	1380.49
27	원주	1971-2004	-	-	-	4.63	1315.21	1260.57	1332.01	1353.04
28	대관령	1971-2004	-	-	-	27.96	1816.68	1468.30	1977.28	2004.45
29	울진	1971-2004	-	-	-	7.34	1139.55	1082.59	1124.69	1211.37
30	완도	1971-2004	-	-	-	15.72	1491.49	1362.96	1422.04	1689.46
31	인제	1971-2004	-	-	-	8.52	1155.25	1125.21	1040.61	1299.94
32	홍천	1971-2004	-	-	-	10.78	1336.55	1236.41	1330.24	1443.00
33	해남	1971-2004	-	-	-	4.63	1304.67	1231.04	1334.31	1348.65
34	성산포	1971-2004	-	-	-	11.52	1876.34	1674.31	1973.14	1981.56
35	충주	1972-2004	-	-	-	9.30	1221.28	1097.72	1261.23	1304.89
36	강화	1972-2004	-	-	-	6.63	1323.45	1208.54	1380.71	1381.10
37	양평	1972-2004	-	-	-	8.11	1324.71	1236.35	1327.34	1410.45
38	이천	1972-2004	-	-	-	5.94	1334.18	1208.26	1419.40	1374.87
39	제천	1972-2004	-	-	-	9.16	1340.17	1197.73	1436.69	1386.09

부록 1. Continued

		Precip. Data Time Coverage	Slope (mm/yr)				1975-2004	1975-1984	1985-1994	1995-2004
			1905~	1915~	1945~	1975~				
40	보 은	1972-2004	-	-	-	8.24	1299.68	1208.01	1262.13	1428.90
41	천 안	1972-2004	-	-	-	5.44	1241.87	1177.30	1216.66	1331.65
42	보 령	1972-2004	-	-	-	5.85	1244.94	1147.92	1295.40	1291.49
43	부 여	1972-2004	-	-	-	8.71	1341.06	1202.62	1387.87	1432.68
44	금 산	1972-2004	-	-	-	6.31	1286.57	1212.67	1266.82	1380.21
45	부 안	1972-2004	-	-	-	1.67	1233.10	1251.66	1173.96	1273.69
46	남 원	1972-2004	-	-	-	9.79	1362.06	1282.84	1289.03	1514.32
47	순 천	1972-2004	-	-	-	11.09	1511.62	1391.87	1496.19	1646.79
48	장 흥	1972-2004	-	-	-	7.94	1472.28	1378.31	1484.48	1554.04
49	고 흥	1972-2004	-	-	-	1.04	1454.39	1439.17	1466.10	1457.89
50	영 주	1972-2004	-	-	-	16.40	1276.43	1129.96	1223.63	1475.71
51	문 경	1972-2004	-	-	-	12.83	1244.11	1110.37	1228.06	1393.90
52	영 덕	1972-2004	-	-	-	9.75	1084.49	1029.24	1037.25	1186.97
53	영 천	1972-2004	-	-	-	10.30	1050.45	961.11	1015.27	1174.98
54	거 창	1972-2004	-	-	-	13.20	1308.59	1171.20	1307.33	1447.24
55	산 청	1972-2004	-	-	-	13.29	1530.66	1381.40	1574.70	1635.88
56	거 제	1972-2004	-	-	-	21.03	1849.95	1662.66	1752.02	2135.16
57	남 해	1972-2004	-	-	-	19.96	1827.84	1586.40	1854.91	2042.20
58	안 동	1973-2004	-	-	-	11.76	1085.80	1014.50	1025.62	1160.15
59	의 성	1973-2004	-	-	-	9.52	1020.32	962.48	970.26	1128.22
60	구 미	1973-2004	-	-	-	11.01	1053.24	943.49	1041.74	1174.49
61	합 천	1973-2004	-	-	-	8.32	1276.76	1183.66	1312.18	1334.45
62	밀 양	1973-2004	-	-	-	6.36	1262.70	1225.28	1212.89	1349.94
	A V G	1907-2004	-	-	-	9.53	1340.11	1237.44	1339.74	1442.24
	S T D	1907-2004	-	-	-	4.43	196.57	166.87	225.15	217.80

부록 2. 연강수량 자료에 대한 Mann-Kendall 추세검증 결과 (SL: 유의 수준, significance level (%), UT: 증가추세, upward trend, DT: 감소추세, downward trend, NS: 추세 없음, no significant trend, ↑: NSUT, ↓: NSDT, () 내의 숫자는 유의 수준내에서 추세를 만족하지 않으나 추세가 있는 갯수

Year	Precipitation (sum)				Precipitation(max)			Rainy day		
	SL	UT	DT	NS	UT	DT	NS	UT	DT	NS
100	95%	1	0	2	0	0	3	0	3	0
	90%	1	0	↑ 2(2)	0	0	↑ 3(3)	0	3	0
90	95%	0	0	6	1	0	5	0	3	3
	90%	2	0	↑ 4(3)	2	0	↑ 4(3)	0	3	↓ 3(3)
60	95%	3	0	10	2	0	11	1	3	9
	90%	3	0	↑ 10(7)	3	0	↑ 10(7)	1	3	↓ 9(5)
30	95%	1	0	61	5	0	57	1	7	54
	90%	3	0	↑ 59(5 2)	10	0	↑ 52(46)	3	11	↓ 48(31)
Year	Rainfall (>20mm)				Rain (>30mm)			Rainfall (>80mm)		
	SL	UT	DT	NS	UT	DT	NS	UT	DT	NS
100	95%	0	0	3	1	0	2	1	0	2
	90%	0	0	↑ 3(3)	1	0	↑ 2(2)	1	0	↑ 2(2)
90	95%	1	0	5	1	0	5	2	0	4
	90%	2	0	↑ 4(4)	1	0	↑ 5(5)	3	0	↑ 3(3)
60	95%	1	0	12	1	0	12	2	0	11
	90%	3	0	10	3	0	↑ 10(8)	4	0	↑ 9(9)
30	95%	3	0	59	5	0	57	17	0	45
	90%	8	0	↑ 54(50)	8	0	↑ 54(52)	26	0	↑ 36(34)