

## Pan 증발량 추세분포 분석

### Analysis of the Spatial Distribution of Pan Evaporation Trends

임창수\*

Rim, Chang-Soo

#### Abstract

The spatial distribution of pan evaporation and pan evaporation trends have been studied. In this study, pan evaporation data from 1973 to 1990 for 56 climatological stations were analyzed. In addition to annual average daily pan evaporation, monthly average daily pan evaporation in April, July, October and January were analyzed, considering seasonal effect. The study results indicate that in case of annual average daily pan evaporation, 38 stations out of 56 stations show decreasing trend. In case of average daily pan evaporation in January, 33 stations show decreasing trend. In April, 38 stations show increasing trend. In July, 47 stations show decreasing trend. In October, 35 stations show increasing trend. Therefore, on the whole, pan evaporation tended to decrease in January, July, and annual basis. On the other hand, pan evaporation tended to increase in April and October. Furthermore, pan evaporation trend in each individual region shows also different trend even though the region is located nearby, indicating that there are geographical and topographical effects on pan evaporation trend. Pan evaporation data and climatic data from 1973 to 2006 for 11 climatological stations were used for trend analysis. Climatic variables such as temperature, relative humidity and wind speed show same or opposite trend direction compared with pan evaporation in annual or monthly basis. Annual and monthly solar radiation trends show the same direction compared with pan evaporation; however, annual and monthly precipitation trends show the opposite direction compared with pan evaporation.

**Keywords** : pan evaporation, trend analysis, Mann-Kendall, Sen

#### 요 지

본 연구에서는 pan 증발량 분포와 추세를 분석하였다. 이를 위하여 전국 56개 기후관측지점에서 1973년부터 1990년까지의 pan 증발량 자료를 수집하여 분석을 실시하였다. 분석을 위하여 계절적 영향을 고려하여 1월, 4월, 7월 그리고 10월의 월평균 일별과 연평균 일별 pan 증발량 추세를 분석하였다. 연구결과 연평균 일별 pan 증발량은 56개 연구지역 중에서 38개 연구지역에서 감소추세를 보이고 있고, 1월 평균 일별 pan 증발량의 경우 33개 연구지역에서 pan 증발량 감소추세를 보이고 있다. 4월의 경우 38개 지역에서 증가추세를 보이고, 7월의 경우 47개 지역에서 감소추세를 보여서, 전반적으로 감소추세를 보이고 있다. 10월의 경우 35개 지역에서 증가추세를 보여서 전반적으로 증가추세를 보이고 있다. 따라서 전반적으로 연별과 1월, 7월은 pan 증발량이 감소추세를 보이고, 4월과 10월은 증가추세를 보이고 있다. 또한 인근에 위치한 권역별로도 다른 추세를 보이는 것으로 나타나서 지리형태적 요인이 pan 증발량 추세에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 11개 기후관측지점에서 1973년부터 2006년까지의 pan 증발량 자료와 기후요소자료를 수집하여 추세분석을 실시한 결과, 기온, 상대습도 그리고 풍속추세는 연별이나 월별 pan 증발량 추세와 서로 같거나 또는 상이한 경향을 보이나, 일사량 추세는 연 및 월별 모두에서 pan 증발량 추세와 동일한 경향을 보이고, 강수량 추세는 연 및 월별 모두에서 pan 증발량 추세와 상반된 경향을 보였다.

**핵심용어** : pan 증발량, 추세 분석, Mann-Kendall, Sen

#### 1. 서 론

최근 지구 온난화가 지속적으로 진행되고 있으며, 이러한 지구 온난화 현상이 지구 환경에 여러 가지 다양한 형태로 큰 영향을 미친다는 연구결과가 발표된 바 있다(IPCC, 2001). 또한 지구온난화와 증발현상과의 상관성을 규명함으로써 지구 온난화가 수자원에 미치는 영향을 파악하고자 하

는 연구가 많은 연구자들에 의해서 전 세계적으로 진행되고 있다. 이와 관련하여 전 세계적으로 pan 증발량 추세분석이 수행된 바 있다. 과거 반세기 동안에 수행된 pan 증발량 추세분석 연구결과에 의하면 미국(Peterson *et al.*, 1995; Hobbins, 2004), 구소련과 유라시아지역(Peterson *et al.*, 1995), 이태리(Moonen *et al.*, 2002), 인도(Chattoadhyay and Humlme, 1997), 베네주엘라(Quintana-Gomes, 1997),

\*정회원 · 경기대학교 토목공학과 부교수 (E-mail : csrim@kyonggi.ac.kr)

호주(Roderick and Farquhar, 2004), 뉴질랜드(Roderick and Farquhar, 2005), 중국(Liu *et al.*, 2004; Wang, 2007) 등에서 감소추세가 보고되었다. 반면에 멕시코(Jauregui and Luyando, 1998), 이스라엘(Cohen, 2002) 그리고 브라질 북동부지역(Da Silva, 2004)에서는 pan 증발량의 증가 추세를 보이고 있으며, 중국 건조지역에서는 증가추세를 중국 습한 지역과 일본에서는 감소추세를 보인다고 하였다.

pan 증발량 추세의 원인으로 Brutsaert and Palange (1998)는 강수량의 증가는 실제증발량을 증가시키고, 따라서 일사량의 감소와 대기 중의 습도가 증가됨에 따라서 pan 증발량(잠재증발량)은 감소한다고 주장한 바 있으며, 이는 pan 증발량(잠재증발량)과 실제증발량 사이에 상호보완관계 (complimentary relationship)가 적용될 수 있다는 것을 의미한다(Lawrimore and Peterson, 2000; Golubev *et al.*, 2001; Hobbins *et al.*, 2004). 이러한 Brutsaert and Palange(1998)에 의해서 제기된 이론과 유사한 연구결과들이 전 세계적으로 다른 연구자들에 의해서 발표된 바 있다. 반면에 Brutsaert and Palange(1998)의 주장과 다른 연구결과가 많은 연구자들에 의해서 발표된 바 있다. 전 세계적으로 관찰되고 있는 pan 증발량의 감소추세는 전운량의 증가와 도시화에 따른 대기오염으로 인한 에어로졸의 증가에 의해서 일사량이 감소하기 때문이라는 연구결과가 발표된 바 있다(Petersen *et al.*, 1995; Cohen *et al.*, 2002; Roderick and Farquhar, 2002; Liu *et al.*, 2004).

과거 수행된 연구들에 대해서 검토한 결과 대부분의 경우 일부 한정된 지역의 관측자료를 이용하여 국지적인 pan 증발량변화를 분석하거나, 혹은 구체적인 지리지형적 특성 자료를 고려하지 않고 여러 지역에서의 기후변화에 따른 pan 증발량 변화에 대하여 연구를 수행하였다. 하지만 pan 증발량 변화는 기후요소뿐만 아니라 지리 및 지형적 특성과도 밀접한 연관성을 가지고 있다. 따라서 이러한 지리 지형적 요소의 영향이 고려되어야 하며, 본 연구결과는 이러한 연구를 위한 사전적 연구로서 우리나라 56개 연구지역을 선정하여 가급적 다양한 지역에 대해서 분석함으로써 pan 증발량과 pan 증발량 추세의 공간적 분포를 파악하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

본 연구에서는 Mann-Kendall 검증방법과 Sen 방법을 적용하여 연 및 월별 증발량 변화추세와 증발량 변화정도를 분석하였다.

### 2.1 연구지역 및 자료

본 연구에서는 전국적으로 가급적 많은 연구지역을 선정하여 pan 증발량 분포 및 pan 증발량 추세분포를 분석하고자 하였다. 따라서 pan 증발량의 장기적 추세를 분석하기 위해서는 가급적 자료 분석기간이 길어야 하나, pan 증발량 관측자료의 제약으로 인하여 전국 56곳의 기후관측지점에서 1973년부터 1990년까지의 소형 pan 증발량 자료를 수집하여 분석을 실시하였다. 선정된 56곳의 연구지역은 우리나라 한반도 전역에 걸쳐서 해안지역 및 내륙지역에 고르게 위치하

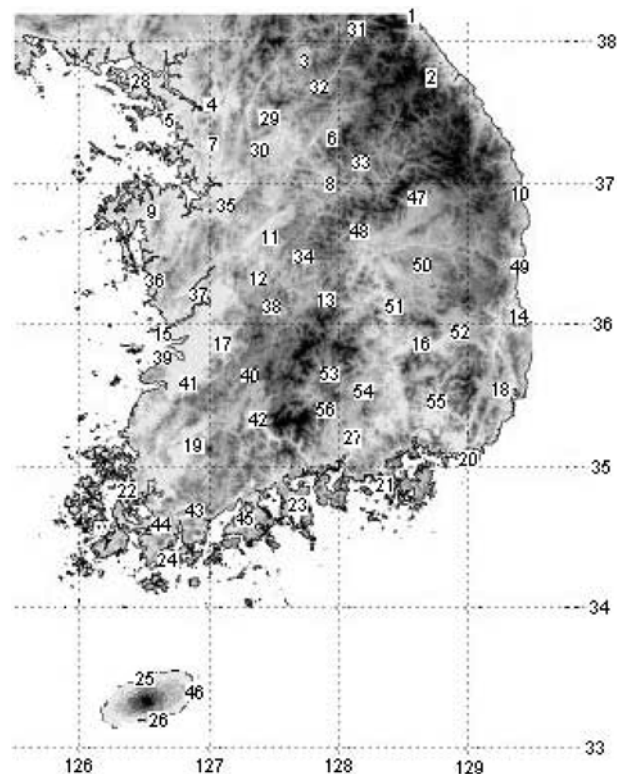


Fig. 1 The climatological stations for this study

고 있으며, 또한 연구지역의 지형특성이 평야, 산악, 호소 등에 고르게 분포하여 pan 증발량 변화를 분석하는데 적절 하리라 판단된다(Fig. 1). 또한 1990년 이후 소형 pan 증발량과 대형 pan 증발량 관측자료가 있는 지점에 대하여 2006년까지 증발량자료를 수집하여 증발량추세를 비교분석 하였다.

### 2.2 Mann-Kendall 추세분석

본 연구에서는 pan 증발량의 추세를 알아보기 위하여 Mann-Kendall 추세분석을 실시하였다. 만일  $x_j$ 와  $x_k$ 를 관측 점에서 측정된  $j$ 번째와  $k$ 번째 시기의 관측값이라 하고,  $x_j - x_k$ 가 양(+)의 값을 갖는지 혹은 음(-)의 값을 갖는지에 따라서  $sgn(x_j - x_k)$ 을 1, 0, -1을 취하는 함수라고 한다면 다음 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다. 그리고 Mann-Kendall 통계치는 Eq. (2)로 구할 수 있으며, Eq. (2)는 양의 값을 갖는 수와 음의 값을 갖는 수의 차이를 나타낸다.

$$sgn(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k) \quad (2)$$

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (3)$$

여기서  $q$ 는 동일한 값을 가지는 자료 수이고,  $t_p$ 는  $p$ 번째 계열의 자료 수이다. 따라서  $S$ 와  $VAR(S)$ 를 이용하여 다음 통계값  $Z$ 를 산정할 수 있다.

$$Z = \frac{S-1}{[VAR(R)]^{1/2}} \quad \text{if } S > 0$$

$$= 0 \quad \text{if } S = 0$$

$$= \frac{S+1}{[VAR(S)]^{1/2}} \quad \text{if } S < 0$$
(4)

따라서 만일 Z값이 큰 양의 값을 갖는다면 이는 자료계열의 후반에 관측된 자료가 초반에 관측된 자료보다 더 크다는 것을 의미한다. 반대로 Z값이 큰 음의 값을 갖는다면 이는 자료계열의 후반에 관측된 자료가 전반에 관측된 자료보다 작은 것을 의미한다. 따라서 만일 분석하고자 하는 자료가 상승추세라는 대립가설을  $H_1$ 라 하고, 상승추세가 없다는 귀무가설  $H_0$ 를 검증하고자 한다면 Z값이 양의 값을 갖고 그리고 Z값이 검증하고자 하는 유의수준에서의 Z값보다 크다면 귀무가설  $H_0$ 는 기각된다.

### 2.3 Sen 분석

만일 자료에 선형적인 추세가 존재한다면 단위시간당 변화(true slope)는 최소자승법을 적용하여 산정될 수 있다. 하지만, 자료의 오류로 인하여 이상적으로 크거나 혹은 작은 값이 포함되어 있다면 단위시간당 변화는 크게 다른 값을 산정할 것이다. 따라서 이러한 경우 Sen(1968)에 의해서 제안된 방법을 적용함으로써 단위시간당 변화를 산정할 수 있다. Sen(1968)에 의해서 제안된 방법은 자료의 오류로 인하여 이상적으로 크거나 혹은 작은 값들에 영향을 받지 않고, 또한 자료가 부족한 경우에도 적용할 수 있다.

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{X_j - X_i}{j - i}\right) \quad i < j$$
(5)

여기서  $X_j$ 와  $X_i$ 는 관측점에서 측정된  $j$ 번째와  $i$ 번째 시기의 관측값이고,  $\beta$ 는 산정된 경사이다. 만일 증발량의 추세가 선형관계가 있다고 가정하면, 관측지점  $k$ 에서 자료기간  $T$ 동안의 총 증발량의 평균 증가나 감소량은 다음 Eq. (6)로부터 구할 수 있다.

$$B_k = T\beta$$
(6)

## 3. 분석결과

### 3.1 지역특성별 pan 증발량 추세분석

Table 1은 56개 연구지역에서 1973년부터 1990년까지 Mann-Kendall 검증방법을 이용한 연 및 월별 pan 증발량 변화추세를 보여주고 있으며, Sen 방법을 이용하여 1973년부터 1990년까지 18년간의 pan 증발량 변화량을 보여주고 있다. 또한 Figs. 2~6은 56개 연구지역의 pan 증발량 변화 추세 분포와 pan 증발 변화량 분포를 보여주고 있다. Mann-Kendall 추세분석 결과 연별 pan 증발량은 56개 연구지역 중에서 수원을 비롯하여 22개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의한 감소추세를 보이고 있으며, 인천을 비롯하여 4개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 감소추세를 보이고 있다. 또한 속초를 비롯하여 12개 연구지역에서는 유의하지는 않으나 감소추세를 보이고 있다. 따라서 총 38개 연구지역에서 감소추세를 보이고 있다. 56개 연구지역 중에서 양평지역이 Z-score가 -4.055로서 가장 큰 pan 증발

량 감소추세를 보이고 있다. 반면에 원주를 비롯하여 7개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 증가추세를 보이고 있다. Sen 경사를 이용한 18년간의 pan 증발량 감소량은 양평지역이 18년 동안 -1.009 mm가 감소함으로서 가장 큰 감소를 보였으며, 해남지역이 0.612 mm가 증가함으로서 가장 큰 증가를 보였다.

1월 pan 증발량추세를 보면 대부분 지역에서 감소추세를 보이고 있다. 56개 연구지역 중에서 춘천을 비롯하여 12개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의한 감소추세를 보이고 있으며, 충주를 비롯하여 5개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 감소추세를 보이고 있다. 또한 16개 연구지역에서는 유의하지는 않으나 감소추세를 보이고 있다. 따라서 총 33개 연구지역에서 pan 증발량 감소추세를 보이고 있다. 56개 연구지역 중에서 강화지역이 Z-score가 -3.413로서 가장 큰 감소추세를 보이고 있다. 반면에 추풍령을 비롯하여 8개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 증가추세를 보이고 있다. Sen 경사를 이용한 18년간의 pan 증발량 감소량은 고창지역이 18년 동안 -0.624 mm가 감소함으로서 가장 큰 감소를 보였으며, 성산포지역이 18년 동안 증발량이 0.918 mm가 증가하여 가장 큰 증가를 보였다.

4월 pan 증발량추세를 보면 56개 연구지역 중에서 38개 지역에서 증가추세를 보이고, 15개 연구지역에서 감소추세를 그리고 3개 연구지역에서 특이한 추세를 보이지 않았다. 따라서 대체적으로 4월의 경우 증가추세를 보이고 있다. 춘천을 비롯하여 10개 지역에서 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의한 증가추세를 보이고 있으며, 충주를 비롯하여 5개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 증가추세를 보이고 있다. 또한 대관령을 비롯하여 23개 연구지역에서는 유의하지는 않으나 증가추세를 보이고 있다. 56개 연구지역 중에서 해남지역이 Z-score가 3.333로서 가장 큰 증가추세를 보이고 있다. 반면에 강화를 비롯하여 5개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 감소추세를 보이고 있다. Sen 경사를 이용한 18년간의 pan 증발량 증가량은 정읍지역이 18년 동안 1.363 mm가 증가함으로서 가장 큰 증가를 보였으며, 합천지역이 18년 동안 -0.910 mm 감소함으로서 가장 큰 감소를 보였다.

7월 pan 증발량추세를 보면 56개 연구지역 중에서 47개 지역에서 감소추세를 보이고, 4개 지역에서 증가추세를 그리고 5개 연구지역에서 특이한 추세를 보이지 않았다. 따라서 전반적으로 7월의 경우 감소추세를 보이고 있다. 속초를 비롯하여 13개 지역에서 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의한 감소추세를 보이고 있으며, 대관령을 비롯하여 11개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 감소추세를 보이고 있다. 또한 원주를 비롯하여 23개 연구지역에서는 유의하지는 않으나 감소추세를 보이고 있다. 56개 연구지역 중에서 양평지역이 Z-score가 -3.105로서 가장 큰 감소추세를 보이고 있다. 반면에 해남지역만이 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 증가추세를 보이고 있다. Sen 경사를 이용한 18년간의 pan 증발량 변화는 서산지역이 18년 동안 -1.946 mm가 감소함으로서 가장 큰 감소를 보였으며, 해남지역이 0.612 mm의 pan 증발량 증가를 보여서 가장 큰 증가를 보였다.

10월 pan 증발량추세를 보면 56개 연구지역 중에서 35개

Table 1. Annual and monthly pan evaporation trends

Station (No.)	Mann-Kendall (Z-score)					Magnitude of trend (mm/18years)				
	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
Sokcho (1)	-1.06	0.606	0	<b>-1.666</b>	0.075	-0.168	0.225	-0.077	-1.385	0.025
Daegwallyeong (2)	0.075	-0.492	0.984	<b>-1.59</b>	<b>1.363</b>	0.028	-0.075	0.510	-0.976	0.803
Chuncheon (3)	-0.189	<b>-2.651</b>	<b>1.818</b>	<b>-1.515</b>	0	-0.105	-0.500	0.740	-1.131	0.026
Seoul (4)	<b>-2.2</b>	<b>-1.857</b>	0.303	<b>-1.82</b>	0	-0.432	-0.209	0.162	-1.053	0.000
Incheon (5)	<b>-1.402</b>	<b>-2.499</b>	0.416	<b>-1.666</b>	0.492	-0.209	-0.504	0.270	-1.282	0.117
Wonju (6)	<b>1.666</b>	0	<b>1.969</b>	-1.136	<b>2.727</b>	0.399	0.051	1.080	-0.816	0.786
Suwon (7)	<b>-2.272</b>	<b>-2.539</b>	-0.53	<b>-1.515</b>	-0.493	-0.400	-0.529	-0.162	-1.088	-0.054
Chungju (8)	-0.53	<b>-1.363</b>	1.478	-0.378	0.757	-0.079	-0.288	0.394	-0.231	0.197
Seosan (9)	<b>-2.878</b>	<b>-1.478</b>	-0.265	<b>-3.03</b>	-0.644	-0.669	-0.203	-0.172	-1.946	-0.136
Ulsan (10)	0.606	1.06	0.454	-0.454	1.666	0.193	0.499	0.446	-0.436	0.747
Cheongju (11)	-0.151	0.378	0.454	<b>-1.287</b>	1.25	-0.014	0.052	0.135	-0.348	0.210
Daejeon (12)	<b>-1.818</b>	0	-0.227	<b>-1.515</b>	0.227	-0.334	-0.023	-0.082	-1.382	0.078
Chupungnyeong (13)	0.303	<b>1.329</b>	1.136	-0.53	<b>1.933</b>	0.133	0.291	0.733	-0.675	0.796
Pohang (14)	-0.378	0.644	0.454	-0.606	<b>1.402</b>	-0.081	0.342	0.333	-0.698	0.512
Gunsan (15)	0.303	0.757	0.492	-0.303	0.986	0.073	0.101	0.132	-0.187	0.504
Daegu (16)	<b>-1.666</b>	-0.984	0.454	-1.363	0.909	-0.421	-0.257	0.210	-1.062	0.292
Jeonju (17)	<b>1.363</b>	<b>1.439</b>	<b>2.463</b>	0	<b>1.781</b>	0.253	0.203	0.743	-0.052	0.756
Ulsan (18)	<b>-3.484</b>	-0.72	-0.378	-1.06	-1.06	-0.761	-0.225	-0.180	-1.539	-0.434
Gwangju (19)	<b>-2.499</b>	-1.175	0.303	-1.212	0.303	-0.585	-0.210	0.189	-1.779	0.131
Busan (20)	<b>-1.515</b>	<b>-1.441</b>	-0.265	-0.53	-0.416	-0.263	-0.248	-0.120	-0.294	-0.231
Tongyeong (21)	0.681	0.909	<b>1.784</b>	0.227	0.53	0.117	0.302	0.560	0.151	0.218
Mokpo (22)	<b>-3.257</b>	-0.833	-0.53	<b>-1.705</b>	<b>-1.478</b>	-0.765	-0.232	-0.262	-1.134	-0.507
Yeosu (23)	-0.833	0.606	0.454	0	1.06	-0.213	0.145	0.230	0.028	0.406
Wando (24)	<b>1.59</b>	<b>1.818</b>	<b>2.348</b>	-0.189	<b>2.651</b>	0.542	0.714	1.170	-0.078	1.350
Jeju (25)	0.303	<b>-1.744</b>	<b>1.326</b>	0.757	<b>1.363</b>	0.096	-0.450	0.623	0.457	0.555
Seogwipo (26)	<b>-2.312</b>	<b>-1.439</b>	0.644	-0.075	-0.568	-0.425	-0.245	0.294	-0.302	-0.149
Jinju (27)	0.227	<b>1.59</b>	1.099	0	<b>2.045</b>	0.057	0.434	0.400	-0.039	0.464
Ganghwa (28)	<b>-2.802</b>	<b>-3.413</b>	<b>-1.402</b>	<b>-1.666</b>	-0.378	-0.450	-0.548	-0.630	-0.879	-0.074
Yangpyeong (29)	<b>-4.055</b>	<b>-2.463</b>	<b>-1.969</b>	<b>-3.105</b>	-2.994	-1.009	-0.470	-0.720	-1.867	-0.583
Icheon (30)	<b>-2.045</b>	<b>-2.272</b>	-0.53	<b>-2.121</b>	-0.378	-0.522	-0.589	-0.270	-1.367	-0.065
Inje (31)	-1.154	-0.947	0	<b>-2.121</b>	-0.151	-0.293	-0.221	0.030	-1.209	-0.077
Hongcheon (32)	1.112	-0.782	<b>2.018</b>	-0.947	1.25	0.155	-0.188	0.663	-0.323	0.680
Jecheon (33)	<b>-2.802</b>	-0.151	<b>-1.287</b>	<b>-2.084</b>	-0.606	-0.585	-0.117	-0.231	-1.548	-0.173
Boeun (34)	-1.212	0.303	0.037	<b>-1.666</b>	-0.606	-0.278	0.040	0.023	-1.233	-0.214
Cheonan (35)	<b>-1.666</b>	-0.606	-0.833	<b>-1.629</b>	0.606	-0.362	-0.115	-0.294	-0.934	0.284
Boryeong (36)	0.075	-0.947	<b>1.629</b>	-0.984	0.796	0.023	-0.223	0.494	-0.638	0.160
Buyeo (37)	<b>-1.287</b>	<b>-1.748</b>	0.984	-1.023	0.644	-0.261	-0.234	0.356	-0.628	0.199
Geumsan (38)	-0.075	0.303	0.833	-0.681	0.984	-0.060	0.072	0.612	-0.646	0.290
Buan (39)	-0.833	0.531	0.341	-0.909	1.06	-0.146	0.124	0.095	-0.796	0.4
Imsil (40)	<b>1.969</b>	<b>1.326</b>	<b>1.742</b>	0	<b>2.196</b>	0.212	0.378	0.792	0.113	0.792
Jeongeup (41)	1.136		<b>2.539</b>	0.984	<b>1.478</b>	0.113	-0.126	1.363	0.599	0.536
Namwon (42)	<b>-1.896</b>	-1.137	-0.492	0	0	-0.349	-0.216	-0.114	-0.014	0.000
Jangheung (43)	<b>-2.348</b>	<b>-1.896</b>	0.833	-0.909	0.227	-0.396	-0.277	0.227	-0.657	0.044
Haenam (44)	<b>2.954</b>	<b>2.008</b>	<b>3.333</b>	<b>1.287</b>	<b>2.272</b>	0.612	0.392	1.117	0.612	1.011
Goheung (45)	<b>-1.363</b>	-0.189	0.909	-0.227	0.303	-0.303	-0.096	0.360	-0.171	0.072
Seongsanpo (46)	<b>1.37</b>	<b>2.028</b>	<b>2.375</b>	-0.395	1.088	0.405	0.918	0.780	-0.161	0.603
Yeongju (47)	<b>1.287</b>	1.136	<b>1.59</b>	-0.378	<b>1.857</b>	0.418	0.421	1.281	-0.156	0.564
Mungyeong (48)	1.06	<b>2.424</b>	0.303	<b>-1.287</b>	<b>2.121</b>	0.299	0.680	0.180	-1.003	0.705
Yeongdeok (49)	<b>-1.742</b>	-0.378	1.06	-1.136	-0.037	-0.324	-0.216	0.629	-0.824	-0.022
Uiseong (50)	-0.796	0	<b>1.554</b>	<b>-1.287</b>	0.151	-0.226	0.000	0.574	-1.389	0.054
Gumi (51)	-1.212	0	0.075	<b>-1.666</b>	0.758	-0.276	-0.027	0.126	-1.139	0.292
Yeongcheon (52)	<b>-1.742</b>	-1.136	0	-0.909	0	-0.400	-0.407	-0.045	-0.550	-0.014
Geochang (53)	<b>-2.272</b>	<b>-2.121</b>	-0.796	-0.757	0	-0.565	-0.624	-0.360	-0.441	-0.029
Hapcheon (54)	<b>-2.878</b>	-1.06	<b>-2.121</b>	<b>-1.666</b>	0	-0.790	-0.365	-0.910	-1.050	0.000
Miryang (55)	<b>-2.615</b>	<b>-1.629</b>	0.303	<b>-1.363</b>	0	-0.457	-0.314	0.165	-0.990	-0.023
Sancheong (56)	<b>-3.484</b>	<b>-2.348</b>	<b>-1.439</b>	<b>-1.287</b>	<b>-1.439</b>	-0.838	-0.581	-0.613	-0.977	-0.475

\*Numbers in bold and bold italic indicate significant upward trend (+) or downward trend (-) at the 0.1 and 0.05 level of significance respectively.

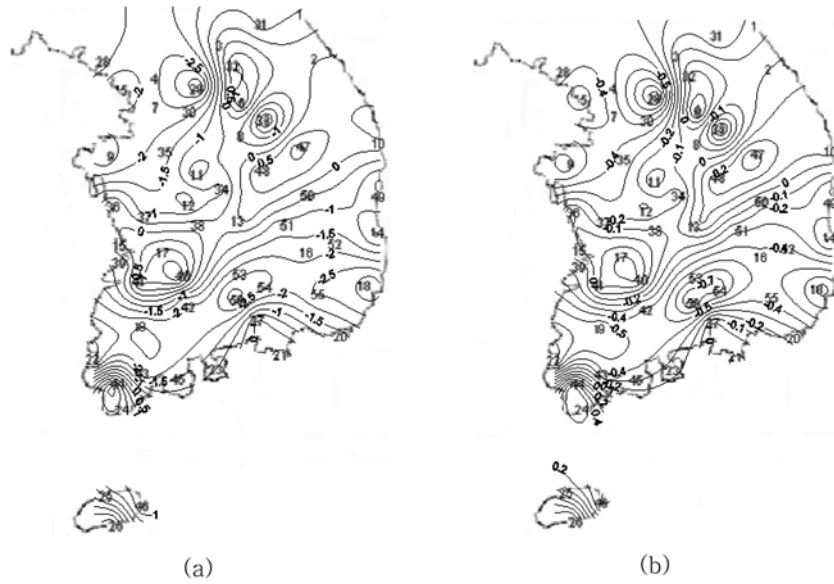


Fig. 2 Spatial distribution of annual pan evaporation trend (a) Mann-Kendall Z-score; (b) magnitude of trend (mm/18 years)

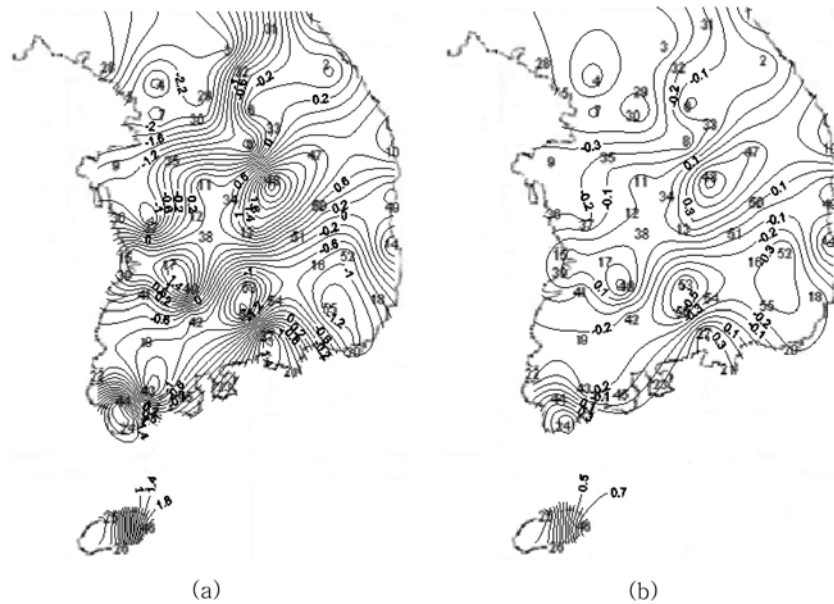


Fig. 3 Spatial distribution of pan evaporation trend in January (a) Mann-Kendall Z-score; (b) magnitude of trend (mm/18 years)

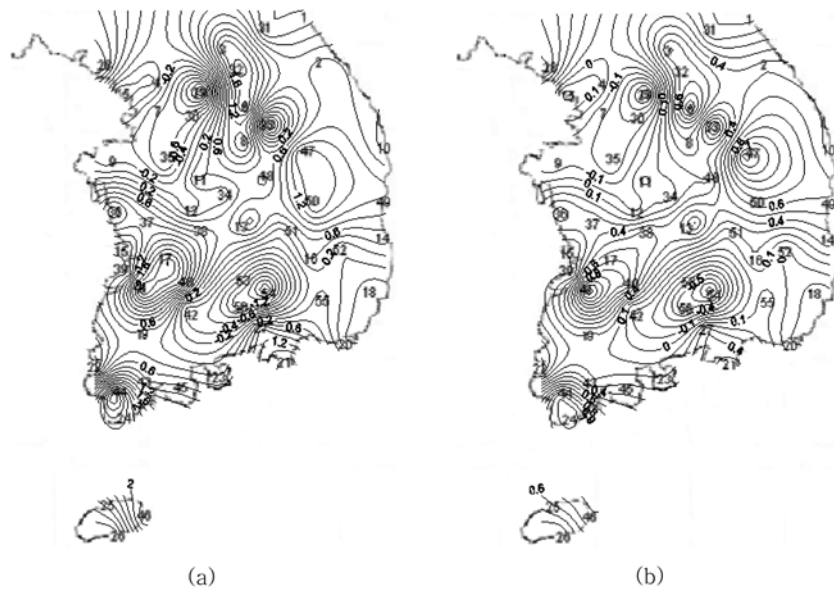


Fig. 4 Spatial distribution of pan evaporation trend in April (a) Mann-Kendall Z-score; (b) magnitude of trend (mm/18 years)

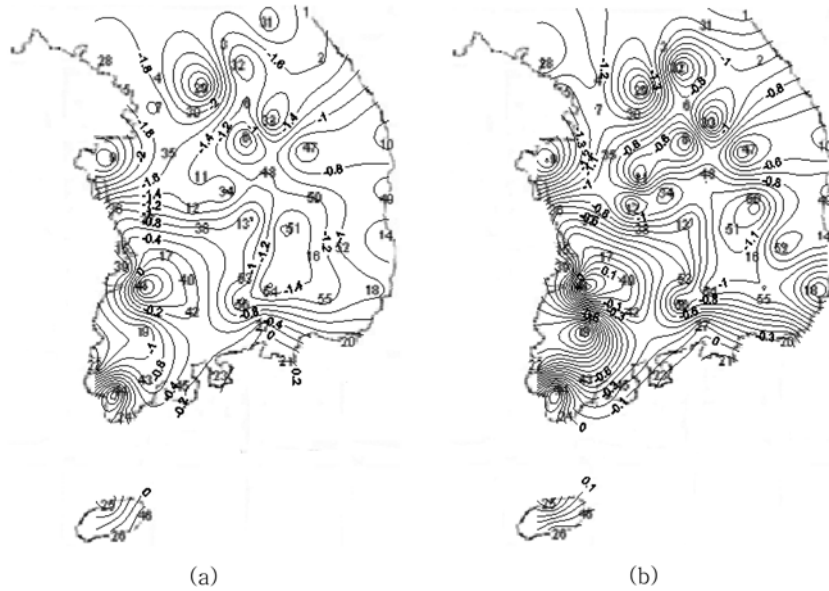


Fig. 5 Spatial distribution of pan evaporation trend in July (a) Mann-Kendall Z-score; (b) magnitude of trend (mm/18 years)

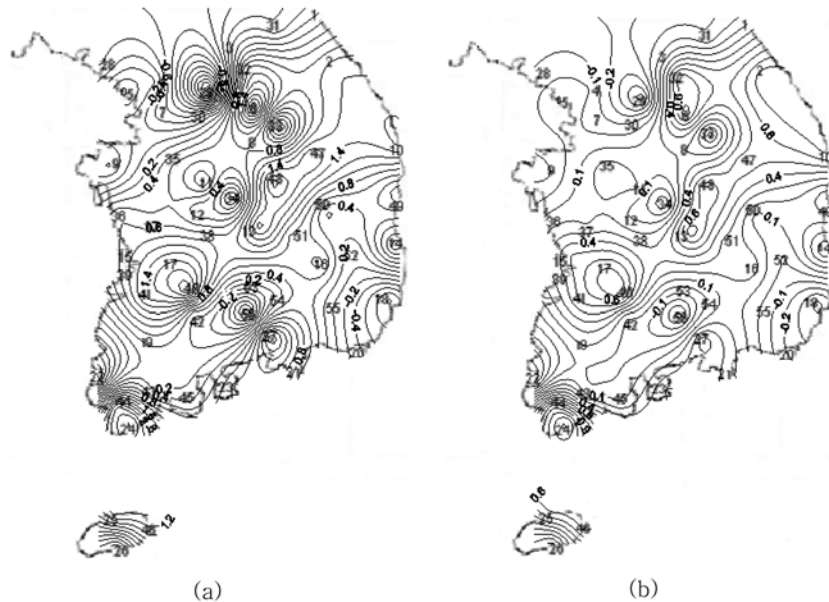


Fig. 6 Spatial distribution of pan evaporation trend in October (a) Mann-Kendall Z-score; (b) magnitude of trend (mm/18 years)

지역에서 증가추세를 보이고, 14개 지역에서 감소추세를 그리고 7개 지역에서 특이한 추세를 보이지 않았다. 따라서 전반적으로 10월의 경우 증가추세를 보이고 있다. 원주를 비롯하여 10개 지역에서 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의한 증가추세를 보이고 있으며, 대관령을 비롯하여 4개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 증가추세를 보이고 있다. 또한 속초를 비롯하여 21개 연구지역에서는 유의하지는 않으나 증가추세를 보이고 있다. 56개 연구지역 중에서 원주지역이 Z-score가 2.727로서 가장 큰 증가추세를 보이고 있다. 반면에 목포지역을 비롯하여 3개 연구지역에서 유의수준  $\alpha=0.1$ 에서 유의한 감소추세를 보이고 있다. Sen 경사를 이용한 18년간의 pan 증발량 변화는 완도지역이 18년 동안 1.350 mm가 증가함으로서 가장 큰 증가를 보였으며, 양평지역이 18년 동안 -0.583 mm 감소하여 가장 큰 감소를 보였다.

### 3.2 권역별 pan 증발량 추세분석

Table 2는 각 연구지역에서 18년간의 평균 증발량과 18년

간의 평균증발량에 대한 Sen 방법에 의해서 산정된 18년간의 평균 증발량의 비(%)를 보여준다. 18년간의 연별 평균 증발량의 경우 대구지역이 3.605 mm를 보여서 가장 큰 증발량을 보였고, 임실지역이 2.667 mm를 보여서 가장 작은 증발량을 보였다. 1월 평균 증발량의 경우 속초지역이 2.28 mm로서 가장 큰 증발량을 보였고, 양평지역이 0.847 mm로서 가장 작은 증발량을 보였다. 4월의 경우 추풍령지역이 4.874 mm로서 가장 큰 증발량을 보였고, 정읍지역이 3.182 mm로서 가장 작은 증발량을 보였다. 7월의 경우 제주지역이 5.023 mm로서 가장 큰 증발량을 보였고, 대관령지역이 3.411 mm로서 가장 작은 증발량을 보였다. 10월의 경우 완도지역이 3.873 mm로서 가장 큰 증발량을 보였고, 충주지역이 2.186 mm로서 가장 작은 증발량을 보였다.

18년간의 평균증발량에 대한 Sen 방법에 의해서 산정된 18년간의 평균 증발량의 비(%)의 절대값을 비교하는 경우 연별은 양평지역이 -37.274%로서 가장 큰 변화를 보이고, 1월의 경우 이천이 -56.310%, 4월의 경우 정읍이 42.835%, 7

Table 2. Annual and monthly pan evaporation, and % change over avg. pan evaporation (1973-1990)

Station (No.)	Avg. pan evaporation (mm/day)					% Change over avg. pan evaporation				
	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
Sokcho (1)	3.313	<b>2.28</b>	4.397	3.644	3.16	-5.071	9.868	-1.751	<b>-38.008</b>	0.791
Daegwallyeong (2)	2.873	1.541	4.007	<b>3.411</b>	2.71	0.975	-4.867	12.728	<b>-28.613</b>	29.631
Chuncheon (3)	2.953	1.196	3.934	4.085	2.35	-3.556	<b>-41.806</b>	18.810	<b>-27.687</b>	1.106
Seoul (4)	2.945	1.19	3.886	3.593	2.83	-14.669	-17.563	4.169	<b>-29.307</b>	0.000
Incheon (5)	3.283	1.423	4.062	4.311	3.219	-6.366	<b>-35.418</b>	6.647	<b>-29.738</b>	3.635
Wonju (6)	3.069	1.161	4.159	4.215	2.603	13.001	4.393	<b>25.968</b>	-19.359	<b>30.196</b>
Suwon (7)	2.991	1.168	3.854	4.009	2.7	-13.373	<b>-45.291</b>	-4.203	<b>-27.139</b>	-2.000
Chungju (8)	2.687	1.037	3.635	3.742	<b>2.186</b>	-2.940	<b>-27.772</b>	10.839	-6.173	9.012
Seosan (9)	2.926	1.208	3.569	3.946	2.593	<b>-22.864</b>	-16.805	-4.819	<b>-49.316</b>	-5.245
Uljin (10)	3.434	2.22	4.316	4.127	3.217	5.620	<b>22.477</b>	10.334	-10.565	<b>23.220</b>
Cheongju (11)	2.909	1.057	3.84	4.084	2.432	-0.481	4.920	3.516	-8.521	8.635
Daejeon (12)	3.036	1.163	4.029	4.173	2.648	-11.001	-1.978	-2.035	<b>-33.118</b>	2.946
Chupungnyeong(13)	3.568	1.78	<b>4.874</b>	4.202	3.36	3.728	16.348	15.039	-16.064	<b>23.690</b>
Pohang (14)	3.396	2.017	4.196	4.489	3.055	-2.385	16.956	7.936	-15.549	16.759
Gunsan (15)	3.159	1.387	3.664	4.31	3.108	2.311	7.282	3.603	-4.339	16.216
Daegu (16)	<b>3.605</b>	1.736	4.584	4.768	3.144	-11.678	-14.804	4.581	<b>-22.273</b>	9.288
Jeonju (17)	2.852	1.04	3.515	4.065	2.714	8.871	19.519	<b>21.138</b>	-1.279	<b>27.856</b>
Ulsan (18)	3.365	1.919	3.967	4.383	3.155	<b>-22.615</b>	-11.725	-4.537	<b>-35.113</b>	-13.756
Gwangju (19)	3.229	1.297	4.035	4.628	2.983	-18.117	-16.191	4.684	<b>-38.440</b>	4.392
Busan (20)	3.291	2.247	3.587	3.943	3.298	-7.991	-11.037	-3.345	-7.456	-7.004
Tongyeong (21)	3.031	1.841	3.57	3.632	2.936	3.860	16.404	15.686	4.157	7.425
Mokpo (22)	3.186	1.578	3.721	4.011	3.345	<b>-24.011</b>	-14.702	-7.041	<b>-28.272</b>	-15.157
Yeosu (23)	3.539	2.189	4.064	4.123	3.636	-6.019	6.624	5.659	0.679	11.166
Wando (24)	3.547	1.903	3.974	4.329	<b>3.873</b>	15.281	<b>37.520</b>	<b>29.441</b>	-1.802	<b>34.857</b>
JeJu (25)	3.4	1.758	3.732	<b>5.023</b>	3.418	2.824	<b>-25.597</b>	16.693	9.098	16.238
Seogwipo (26)	3.452	2.1	3.785	3.84	3.853	-12.312	-11.667	7.768	-7.865	-3.867
Jinju (27)	2.99	1.586	3.699	3.779	2.841	1.906	<b>27.364</b>	10.814	-1.032	16.332
Ganghwa (28)	2.726	1.082	3.691	3.522	2.349	-16.508	<b>-50.647</b>	-17.069	<b>-24.957</b>	-3.150
Yangpyeong (29)	2.707	<b>0.847</b>	3.891	3.6	2.297	-37.274	<b>-55.490</b>	-18.504	<b>-51.861</b>	<b>-25.381</b>
Icheon (30)	2.983	1.046	4.132	3.982	2.576	-17.499	<b>-56.310</b>	-6.534	<b>-34.329</b>	-2.523
Inje (31)	3.073	1.143	4.402	3.988	2.567	-9.535	-19.335	0.682	<b>-30.316</b>	-3.000
Hongcheon (32)	2.851	0.877	3.925	3.869	2.54	5.437	<b>-21.437</b>	16.892	-8.348	<b>26.772</b>
Jecheon (33)	2.752	0.971	3.826	3.712	2.272	<b>-21.257</b>	-12.049	-6.038	<b>-41.703</b>	-7.614
Boeun (34)	3.059	1.034	4.202	4.248	2.749	-9.088	3.868	0.547	<b>-29.025</b>	-7.785
Cheonan (35)	2.779	0.932	3.692	3.974	2.418	-13.026	-12.339	-7.963	<b>-23.503</b>	11.745
Boryeong (36)	3.07	1.325	3.887	4.071	2.878	0.749	-16.830	12.709	-15.672	5.559
Buyeo (37)	2.924	1.161	3.776	3.986	2.607	-8.926	<b>-20.155</b>	9.428	-15.755	7.633
Geumsan (38)	2.88	1.232	3.762	3.786	2.623	-2.083	5.844	16.268	-17.063	11.056
Buan (39)	3.34	1.435	4.139	4.701	3.114	-4.371	8.641	2.295	-16.933	12.845
Imsil (40)	2.684	1.078	3.408	3.669	2.536	7.899	<b>35.065</b>	<b>23.239</b>	3.080	<b>31.230</b>
Jeongeup (41)	<b>2.667</b>	1.054	<b>3.182</b>	3.794	2.501	4.237	-11.954	<b>42.835</b>	15.788	<b>21.431</b>
Namwon (42)	2.912	1.275	3.705	3.917	2.63	-11.985	-16.941	-3.077	-0.357	0.000
Jangheung (43)	3.099	1.642	3.78	3.832	3.097	-12.778	-16.870	6.005	-17.145	1.421
Haenam (44)	2.92	1.285	3.559	3.88	2.878	<b>20.959</b>	<b>30.506</b>	<b>31.385</b>	15.773	<b>35.129</b>
Goheung (45)	3.304	1.695	3.876	4.292	3.264	-9.171	-5.664	9.288	-3.984	2.206
Seongsanpo (46)	3.185	1.88	3.525	4.309	3.379	12.716	<b>48.830</b>	<b>22.128</b>	-3.736	17.846
Yeongju (47)	3.373	1.825	4.547	4.137	2.864	12.393	<b>23.068</b>	<b>28.172</b>	-3.771	19.693
Mungyeong (48)	3.384	1.385	4.527	4.361	3.07	8.836	<b>49.097</b>	3.976	<b>-22.999</b>	<b>22.964</b>
Yeongdeok (49)	3.568	2.237	4.573	4.336	3.253	-9.081	-9.656	13.755	-19.004	-0.676
Uiseong (50)	3.34	1.735	4.352	4.403	2.878	-6.766	0.000	13.189	<b>-31.547</b>	1.876
Gumi (51)	3.34	1.976	4.683	3.916	2.853	-8.263	-1.366	2.691	<b>-29.086</b>	10.235
Yeongcheon (52)	2.966	1.5	4.046	3.748	2.526	-13.486	<b>-27.133</b>	-1.112	-14.674	-0.554
Geochang (53)	3.319	1.819	4.429	4.109	2.92	-17.023	<b>-34.305</b>	-8.128	-10.733	-0.993
Hapcheon (54)	3.403	1.571	4.504	4.465	3.067	<b>-23.215</b>	<b>-23.234</b>	<b>-20.204</b>	<b>-23.516</b>	0.000
Miryang (55)	3.196	1.717	3.95	4.141	2.853	-14.299	-18.288	4.177	<b>-23.907</b>	-0.806
Sancheong (56)	3.098	1.752	3.966	3.87	2.778	<b>-27.050</b>	<b>-33.162</b>	-15.456	<b>-25.245</b>	-17.099

\*Numbers in bold italic indicate the maximum and minimum average pan evaporation for 18 years; Numbers in bold indicate above absolute change of 20%.

Table 3. Annual and monthly pan evaporation and average magnitude of trend according to region

Region	Station No.	Average pan evaporation (mm/day)					Average magnitude of trend (mm/18 years)				
		Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
Han River	2, 3, 4, 6, 8, 29, 30, 31, 32, 33	2.889	1.101	3.980	3.820	2.493	<b>-0.244</b>	<b>-0.261</b>	0.236	<b>-1.052</b>	0.159
Ansung Stream	7	2.991	1.168	3.854	4.009	2.7	<b>-0.400</b>	<b>-0.529</b>	<b>-0.162</b>	<b>-1.088</b>	<b>-0.054</b>
The west of Han River	5, 28	3.005	1.253	3.877	3.917	2.784	<b>-0.330</b>	<b>-0.526</b>	<b>-0.180</b>	<b>-1.081</b>	0.022
The east of Han River	1	3.313	2.28	4.397	3.644	3.16	<b>-0.168</b>	0.225	<b>-0.077</b>	<b>-1.385</b>	0.025
Nakdong River	16, 27, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56	3.274	1.691	4.299	4.154	2.890	<b>-0.291</b>	<b>-0.095</b>	0.092	<b>-0.800</b>	0.166
Taewha River	18	3.365	1.919	3.967	4.383	3.155	<b>-0.761</b>	<b>-0.225</b>	<b>-0.180</b>	<b>-1.539</b>	<b>-0.434</b>
Hoeya and Suyong Streams	20	3.291	2.247	3.587	3.943	3.298	<b>-0.263</b>	<b>-0.248</b>	<b>-0.120</b>	<b>-0.294</b>	<b>-0.231</b>
The east of Nakdong River	10, 14, 49	3.466	2.158	4.362	4.317	3.175	<b>-0.071</b>	0.208	0.469	<b>-0.653</b>	0.412
The south of Nakdong River	21	3.031	1.841	3.57	3.632	2.936	0.117	0.302	0.560	0.151	0.218
Geum River	11, 12, 13, 34, 37, 38	3.063	1.238	4.081	4.080	2.737	<b>-0.136</b>	0.033	0.296	<b>-0.819</b>	0.227
Sapgyo Stream	35	2.779	0.932	3.692	3.974	2.418	<b>-0.362</b>	<b>-0.115</b>	<b>-0.294</b>	<b>-0.934</b>	0.284
The west of Geum River	9, 36	2.998	1.267	3.728	4.009	2.736	<b>-0.323</b>	<b>-0.213</b>	0.161	<b>-1.292</b>	0.012
Mangyeong and Dongjin Rivers	15, 17, 39, 41	3.005	1.229	3.625	4.218	2.859	0.073	0.076	0.583	<b>-0.109</b>	0.549
Sumjin River	40, 42	2.798	1.177	3.557	3.793	2.583	<b>-0.069</b>	0.081	0.339	0.050	0.396
The south of Sumjin River	23, 24, 45	3.463	1.929	3.971	4.248	3.591	0.009	0.254	0.587	<b>-0.074</b>	0.609
Youngsan River	19	3.229	1.297	4.035	4.628	2.983	<b>-0.585</b>	<b>-0.210</b>	0.189	<b>-1.779</b>	0.131
Tamjin River	43	3.099	1.642	3.78	3.832	3.097	<b>-0.396</b>	<b>-0.277</b>	0.227	<b>-0.657</b>	0.044
The south of Youngsan River	44	2.92	1.285	3.559	3.88	2.878	0.612	0.392	1.117	0.612	1.011
The west of Youngsan River	22	3.186	1.578	3.721	4.011	3.345	<b>-0.765</b>	<b>-0.232</b>	<b>-0.262</b>	<b>-1.134</b>	<b>-0.507</b>
Jeju	25, 26, 46	3.346	1.913	3.681	4.391	3.550	0.025	0.074	0.566	<b>-0.002</b>	0.336

\*Numbers in bold indicate the magnitude of downward trend.

월의 경우 양평이 -51.861% 그리고 10월의 해남이 35.129%의 변화율을 보이고 있다. 또한 절대 변화율이 20%를 초과하는 연구지역은 1월과 7월에 많이 발생하여, 이 기간에 연구지역별 평균 pan 증발량에 비하여 상대적으로 많은 증발량이 증가하거나 감소한 것으로 판단된다. 반면에 연별 자료의 경우 서산, 울산, 목포, 양평, 제천, 해남, 합천, 산청지역 등 8개 지역이 절대변화율 20%를 초과하는 것으로 나타났다.

Table 3은 권역별로 56개 연구지역에서 1973년부터 1990년까지 18년간의 평균 pan 증발량과 pan 증발 변화량을 Sen 방법을 이용하여 산정한 결과를 보여주고 있다. 연별 pan 증발량의 경우 낙동강 동부권역이 3.466 mm로서 가장 큰 pan 증발량을 보이고 있으며, 삼교천 권역이 2.779 mm로서 가장 작은 증발량을 보였다. 1월의 경우 한강동부 권역(2.28 mm)이 가장 큰 증발량을 보이고, 삼교천 권역(0.932 mm)이 가장 작은 증발량을 보이고 있다. 4월의 경우 한강 동부권역(4.397 mm)이 가장 큰 증발량을 보이고, 섬진강 권역(3.557 mm)이 가장 작은 증발량을 보이고 있다. 7월의 경우 영산강 권역(4.628 mm)이 가장 큰 증발량을 보이고, 낙동강 남부권역(3.632 mm)이 가장 작은 증발량을 보이고 있다. 10월의 경우 섬진강 남부권역(3.591 mm)이 가장 큰 증발량을 보이고, 삼교천 권역(2.418 mm)이 가장 작은 증발량을 보이고 있다. 따라서 연 및 월별로 각 권역에 따라서 각기 다른 pan 증발량 양상을 보이고 있다.

Sen 방법을 이용한 18년간의 권역별 평균 증발량 변화는 연별의 경우 대부분의 권역에서 감소를 보이고 있으며, 영산

강 서부권역이 -0.765 mm로서 가장 큰 감소를 보이고 있으며, 영산강의 남부권역은 0.612 mm의 증가량을 보이고 있다. 1월의 경우 안성천 권역이 가장 큰 감소량(-0.529 mm)을 보였으며, 영산강 남부권역(0.392 mm)이 가장 큰 증가량을 보였다. 4월의 경우 영산강 남부권역(1.117 m)이 가장 큰 증가량을 보였고, 삼교천 권역(-0.294 mm)이 가장 큰 감소를 보였다. 7월의 경우 영산강 권역(-1.779 mm)이 가장 큰 감소를 보였고, 영산강 남부권역(0.612 mm)이 가장 큰 증가량을 보였다. 10월의 경우 영산강 남부권역(1.011 mm)이 가장 큰 증가를 보였고, 영산강 서부 권역(-0.507mm)이 가장 큰 감소를 보였다. 따라서 영산강 남부권역이 18년 동안 pan 증발량이 가장 크게 증가한 것으로 나타났고, 반면에 영산강 서부 권역에서는 연 및 10월에 가장 큰 pan 증발량 감소를 보여서 연구지역의 지리 및 지형적 특성에 따라서 각 권역별로 다른 pan 증발량 변화를 보이는 것으로 나타났다.

1990년 이후 증발량 자료가 관측된 11개 지점에 대해서 1973년부터 2006년까지 34년간의 증발량 추세를 산정하여 1990년까지 18년간의 증발량 추세와 비교분석하였다. 비교분석 결과에 의하면 연별자료의 경우 춘천, 인천, 수원, 대전, 부산, 목포, 서귀포 등 7개 지역에서 1973년부터 1990년까지의 증발량 추세와 2006년까지의 증발량 추세 모두에서 감소추세를 보이고 있다. 춘천, 인천, 대전, 부산지역의 경우 2006년까지 34년간의 증발량 추세가 1990년까지 18년간의 증발량 추세보다 더 큰 감소추세를 보이고 있어서 1990년 이후 증발량 감소추세가 커진 것으로 판단된다. 반면에 수원,



Table 4. Trends of annual and monthly small pan evaporation from 1973 to 2006

Station (No.)	Mann-Kendall Z-score					Magnitude of trend (mm)				
	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
Chuncheon (3)	<b>-2.594</b>	<b>-2.550</b>	0.133	<b>-1.527</b>	-1.230	-0.321	-0.385	0.052	-0.612	-0.228
Seoul (4)	0.232	-0.517	<b>1.338</b>	-0.749	0.481	0.030	-0.086	0.544	-0.240	0.148
Incheon (5)	<b>-4.077</b>	-0.859	-1.097	<b>-3.691</b>	<b>-2.461</b>	-0.736	-0.136	-0.340	-1.817	-0.729
Suwon (7)	-0.889	0.504	0.622	-0.845	1.038	-0.146	0.060	0.170	-0.456	0.140
Daejeon (12)	<b>-3.202</b>	-1.274	-0.044	<b>-1.778</b>	<b>-1.571</b>	-0.536	-0.201	-0.009	-0.864	-0.354
Busan (20)	<b>-3.513</b>	<b>-3.840</b>	0.222	<b>-1.630</b>	<b>-2.550</b>	-0.464	-0.706	0.026	-0.791	-0.568
Mokpo (22)	<b>-2.862</b>	<b>-3.884</b>	0.311	-0.830	<b>-1.897</b>	-0.539	-0.601	0.047	-0.531	-0.439
Yeosu (23)	<b>2.490</b>	<b>2.980</b>	<b>2.342</b>	0.385	<b>4.032</b>	0.418	0.510	0.714	0.188	1.219
JeJu (25)	-0.889	<b>-2.357</b>	0.074	-0.355	<b>1.304</b>	-0.159	-0.378	0.012	-0.283	0.392
Seogwipo (26)	<b>-1.734</b>	<b>-1.349</b>	0.400	-0.785	0.800	-0.306	-0.185	0.131	-0.481	0.247
Jinju (27)	0.163	0.830	<b>1.735</b>	-0.696	<b>1.438</b>	0.032	0.162	0.480	-0.413	0.340
Avg.						-0.248	-0.177	0.166	-0.573	0.015

\*Numbers in bold and bold italic indicate significant upward trend (+) or downward trend (-) at the 0.1 and 0.05 level of significance respectively.

Table 5. Annual and monthly temperature trends from 1973 to 2006

Station (No.)	Mann-Kendall Z-score					Magnitude of trend (°C)				
	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
Chuncheon (3)	<b>2.624</b>	<b>-1.364</b>	0.964	0.163	0.830	1.001	-1.771	0.680	0.154	0.744
Seoul (4)	<b>3.143</b>	<b>-2.032</b>	<b>1.438</b>	0.118	1.186	1.333	-1.870	1.082	0.136	1.063
Incheon (5)	<b>4.150</b>	<b>-2.714</b>	<b>2.611</b>	0.608	<b>1.854</b>	1.867	-2.408	2.318	0.510	1.700
Suwon (7)	<b>4.447</b>	<b>-2.446</b>	<b>2.566</b>	1.008	<b>2.151</b>	1.911	-2.746	2.092	0.755	2.052
Daejeon (12)	<b>3.379</b>	<b>-2.730</b>	<b>1.957</b>	-0.074	<b>1.572</b>	1.329	-1.569	1.242	0.000	1.360
Busan (20)	<b>2.846</b>	<b>1.557</b>	<b>2.461</b>	-0.163	<b>1.379</b>	1.034	1.360	1.360	-0.074	0.938
Mokpo (22)	0.266	0.088	0.193	0.281	0	0.109	0.074	0.000	0.243	0.000
Yeosu (23)	<b>2.683</b>	<b>1.690</b>	<b>1.958</b>	0.014	<b>1.320</b>	1.082	1.438	1.035	0.000	0.850
JeJu (25)	<b>4.418</b>	<b>1.690</b>	<b>2.967</b>	<b>1.349</b>	<b>2.774</b>	1.516	1.558	1.700	1.046	1.634
Seogwipo (26)	<b>4.729</b>	<b>2.165</b>	<b>3.295</b>	<b>1.394</b>	<b>3.026</b>	1.923	1.806	1.794	1.391	1.700
Jinju (27)	<b>1.363</b>	-1.039	0.281	0.815	-0.103	0.691	-0.638	0.189	1.163	-0.094
Avg.						1.254	-0.433	1.227	0.484	1.086

\*Numbers in bold and bold italic indicate significant upward trend (+) or downward trend (-) at the 0.1 and 0.05 level of significance respectively.

목포, 서귀포지역의 경우는 2006년까지 34년간의 증발량 추세가 1990년까지 18년간의 증발량 추세보다 더 작은 감소추세를 보여서, 1990년 이후 증발량 감소추세가 작아진 것으로 판단된다(Table 4).

또한 pan 증발량 추세와 기후요소의 추세의 연관성을 비교 분석하기 위하여 증발량자료가 관측되어 있는 11개 지점에 대하여 1973년부터 2006년까지 기온, 상대습도, 일사량, 풍속 그리고 강수량의 추세를 분석하였다. 기온의 경우 11개 지역의 평균 기온 변화량에서 1월을 제외하고 증가추세를 보이고 있다. 하지만 기온의 증가추세에도 불구하고 연별 및 7월 pan 증발량은 감소추세를 보이고 있다. 상대습도의 경우 11개 지역의 평균 상대습도 변화량에서 감소추세를 보이고 있다. 하지만 상대습도의 감소추세에도 불구하고, pan 증발량 추세는 4월과 10월을 제외하고 연별과 1월 그리고 7월에 감소추세를 보이고 있다. 일사량의 경우 11개 지역의 평

균 일사량 변화에서 연별, 1월 그리고 7월의 경우 감소추세를 보이고 있고, 4월과 10월의 경우 증가추세를 보이고 있다. 이러한 일사량 추세는 pan 증발량 추세와 일치하는 경향을 보이고 있다. 풍속의 경우 7월을 제외하고 감소추세를 보이고 있어서, 연별과 1월에 pan 증발량 추세와 동일한 추세를 보이고 있다.

강수량추세의 경우 11개 지역의 평균 강수 변화량이 4월과 10월을 제외하고 증가하는 추세를 보여서, 강수량과 pan 증발량은 서로 상반된 추세를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 강수량이 증가하는 경우 pan 증발량은 감소하고, 강수량이 감소하는 경우 pan 증발량은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 연 및 월별 강수량은 일사량과 상반된 추세를 보여서, 강수량이 증가하는 경우 일사량은 감소하고, 강수량이 감소하는 경우 일사량은 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 일사량이 pan 증발량에 중요한 기후요소인 것을 고려하면 강수

Table 6. Annual and monthly relative humidity trends from 1973 to 2006

Station (No.)	Mann-Kendall Z-score					Magnitude of trend (%)				
	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
Chuncheon (3)	-0.889	<b>-1.557</b>	<b>-2.209</b>	0.578	0.059	-1.983	-3.400	-7.882	1.407	0.000
Seoul (4)	<b>-4.654</b>	<b>-2.817</b>	<b>-3.054</b>	<b>-2.550</b>	<b>-2.698</b>	-7.959	-8.216	-10.354	-6.580	-7.200
Incheon (5)	<b>-4.091</b>	<b>-2.535</b>	<b>-3.070</b>	-0.919	<b>-2.758</b>	-6.763	-7.225	-8.947	-1.983	-71.091
Suwon (7)	<b>-5.603</b>	<b>-4.373</b>	<b>-3.766</b>	<b>-2.180</b>	<b>-4.330</b>	-12.778	-14.571	-15.678	-6.314	-12.240
Daejeon (12)	<b>-4.951</b>	<b>-3.218</b>	<b>-4.062</b>	<b>-2.164</b>	<b>-3.383</b>	-10.142	-9.842	-16.546	-5.950	-8.631
Busan (20)	<b>-3.202</b>	<b>-1.779</b>	<b>-2.491</b>	0.237	-1.171	-3.981	-6.931	-0.566	0.378	-3.652
Mokpo (22)	<b>-3.735</b>	<b>-2.639</b>	<b>-3.900</b>	<b>-1.601</b>	<b>-3.009</b>	-7.509	-6.120	-13.600	-3.541	-8.500
Yeosu (23)	<b>-3.795</b>	<b>-2.699</b>	<b>-2.179</b>	-0.430	<b>-1.913</b>	-4.280	-7.164	-6.800	-0.809	-4.155
JeJu (25)	<b>-5.129</b>	<b>-4.226</b>	<b>-4.197</b>	<b>-3.528</b>	<b>-4.166</b>	-11.039	-10.038	-14.908	-10.200	-11.333
Seogwipo (26)	<b>-4.981</b>	<b>-3.603</b>	<b>-3.929</b>	<b>-1.602</b>	<b>-3.840</b>	-7.119	-8.963	-10.818	-3.886	-10.984
Jinju (27)	<b>-2.327</b>	<b>-2.743</b>	<b>-1.897</b>	-1.141	-0.756	-5.253	-11.475	-6.436	-2.720	-1.993
Avg.						-7.164	-8.540	-10.230	-3.654	-12.707

\*Numbers in bold and bold italic indicate significant upward trend (+) or downward trend (-) at the 0.1 and 0.05 level of significance respectively.

Table 7. Annual and monthly solar radiation trends from 1973 to 2006

Station (No.)	Mann-Kendall Z-score					Magnitude of trend (MJ/m <sup>2</sup> /day)				
	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
Chuncheon (3)	<b>-2.816</b>	-0.296	-0.237	<b>-2.001</b>	<b>-1.452</b>	-0.958	-0.073	-0.230	-2.113	-0.606
Seoul (4)	-1.126	-1.274	-0.948	<b>-1.393</b>	0.118	-0.635	-0.697	-0.986	-1.734	0.104
Incheon (5)	-0.296	-0.578	1.156	-0.607	1.037	-0.106	-0.288	0.954	-0.867	0.600
Suwon (7)	<b>-1.319</b>	-0.978	0.770	<b>-1.304</b>	1.052	-0.379	-0.322	0.562	-1.522	0.646
Daejeon (12)	<b>-1.808</b>	0.904	0.252	<b>-1.719</b>	0.978	-0.595	0.341	0.180	-2.066	0.700
Busan (20)	0.000	-0.593	0.800	-0.978	0.874	0.017	-0.484	0.895	-1.384	0.731
Mokpo (22)	-1.008	-0.088	<b>1.408</b>	-0.563	0.919	-0.237	-0.097	1.331	-1.012	0.776
Yeosu (23)	<b>-3.172</b>	<b>-1.601</b>	0.000	-1.156	-0.519	-1.284	-0.753	0.026	-2.194	-0.368
JeJu (25)	-1.274	-1.200	1.126	-0.385	0.266	-0.436	-0.456	0.738	-1.235	0.173
Seogwipo (26)	-0.355	0.148	<b>1.793</b>	-0.592	<b>1.393</b>	-0.102	0.124	1.473	-0.806	1.189
Jinju (27)	-0.059	-0.118	0.296	-0.622	1.156	-0.005	-0.045	0.313	-0.936	0.557
Avg.						-0.429	-0.250	0.478	-1.443	0.409

\*Numbers in bold and bold italic indicate significant upward trend (+) or downward trend (-) at the 0.1 and 0.05 level of significance respectively.

Table 8. Annual and monthly wind speed trends from 1973 to 2006

Station (No.)	Mann-Kendall Z-score					Magnitude of trend (m/sec)				
	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
Chuncheon (3)	<b>-4.317</b>	<b>-1.610</b>	<b>-4.135</b>	<b>-2.482</b>	<b>-3.425</b>	-0.362	-0.255	-0.463	-0.281	-0.340
Seoul (4)	<b>-3.620</b>	<b>-1.653</b>	<b>-2.759</b>	-0.991	<b>-1.992</b>	-0.300	-0.182	-0.364	-0.087	-0.182
Incheon (5)	<b>-6.391</b>	<b>-5.372</b>	<b>-3.963</b>	<b>-4.666</b>	<b>-5.900</b>	-1.287	-1.369	-1.129	-0.988	-1.271
Suwon (7)	<b>4.139</b>	<b>1.482</b>	1.245	<b>4.669</b>	<b>2.785</b>	0.335	0.204	0.159	0.588	0.363
Daejeon (12)	<b>1.321</b>	<b>2.040</b>	-0.373	<b>2.861</b>	<b>1.850</b>	0.100	0.319	0.000	0.315	0.196
Busan (20)	<b>-4.982</b>	<b>-2.963</b>	<b>-3.793</b>	<b>-1.336</b>	<b>-3.389</b>	-0.710	-0.775	-0.783	-0.471	-0.566
Mokpo (22)	<b>-3.323</b>	<b>-1.413</b>	-1.116	<b>-1.553</b>	<b>-1.592</b>	-0.367	-0.364	-0.232	-0.346	-0.362
Yeosu (23)	<b>3.161</b>	<b>1.414</b>	<b>1.584</b>	<b>3.301</b>	<b>2.170</b>	0.392	0.450	0.283	0.838	0.598
JeJu (25)	<b>-5.876</b>	<b>-4.016</b>	<b>-3.509</b>	<b>-1.571</b>	<b>-4.269</b>	-0.815	-1.090	-0.847	-0.159	-0.848
Seogwipo (26)	<b>-3.025</b>	<b>-2.524</b>	<b>-2.217</b>	0.641	<b>-2.178</b>	-0.364	-0.450	-0.484	0.109	-0.403
Jinju (27)	0.103	0.253	-0.478	<b>2.011</b>	<b>1.524</b>	0.015	0.000	0.000	0.510	0.114
Avg.						-0.306	-0.319	-0.351	0.003	-0.246

\*Numbers in bold and bold italic indicate significant upward trend (+) or downward trend (-) at the 0.1 and 0.05 level of significance respectively.

Table 9. Annual and monthly precipitation trends from 1973 to 2006

Station (No.)	Mann-Kendall Z-score					Magnitude of trend (mm)				
	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	Year	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
Chuncheon (3)	<b>2.105</b>	0.857	-0.489	<b>1.601</b>	0.385	0.856	0.132	-0.476	5.726	-0.707
Seoul (4)	<b>3.261</b>	0.207	-0.681	<b>1.867</b>	0.622	1.263	0.078	-0.782	5.060	0.326
Incheon (5)	<b>2.816</b>	0.889	<b>-1.408</b>	<b>1.452</b>	0.059	0.917	0.167	-1.312	4.303	0.089
Suwon (7)	<b>2.253</b>	0.548	-1.215	<b>1.689</b>	-0.074	0.726	0.122	-1.428	4.057	-0.029
Daejeon (12)	<b>1.395</b>	-0.252	-0.770	0.859	-0.859	0.821	-0.077	-0.936	2.974	-0.804
Busan (20)	1.185	0.133	-1.067	<b>2.016</b>	<b>-1.423</b>	0.719	0.031	-1.587	5.887	-1.167
Mokpo (22)	1.260	<b>1.334</b>	<b>-1.778</b>	<b>1.630</b>	<b>-1.616</b>	0.600	0.476	-1.673	3.453	-1.392
Yeosu (23)	1.185	1.185	-0.830	1.097	<b>-1.349</b>	0.549	0.412	-1.190	2.700	-0.791
JeJu (25)	0.237	0.000	<b>-1.512</b>	0.029	-1.067	0.162	0.027	-1.360	0.028	-1.145
Seogwipo (26)	1.215	1.185	<b>-1.778</b>	0.592	0.000	0.544	0.903	-1.673	2.475	0.000
Jinju (27)	0.652	0.830	<b>-2.045</b>	1.185	<b>-1.808</b>	0.436	0.309	-3.371	3.823	-1.530
Avg.						0.690	0.235	-1.435	3.681	-0.650

Table 10. Trends of annual and monthly small and large pan evaporation from 1973 to 2006

Station (No.)	Mann-Kendall Z-score			Magnitude of trend (mm)		
	May	Jul.	Sep.	May	Jul.	Sep.
Chuncheon (3)	<b>-1.393</b> <b>(-2.342)</b>	<b>-1.527</b> <b>(-1.438)</b>	0.400 (0.400)	-0.642 (-0.571)	-0.612 (-0.500)	0.061 (0.073)
Seoul (4)	-0.571 <b>(-1.695)</b>	-0.749 <b>(-1.730)</b>	-0.321 <b>(-1.373)</b>	-0.228 (-0.387)	-0.240 (-0.676)	-0.112 (-0.418)
Incheon (5)	<b>-3.365</b> [-3.068] <b>(-3.657)</b>	<b>-3.691</b> [-3.347] <b>(-2.711)</b>	<b>-3.010</b> [-2.759] (-1.208)	-1.357 [-1.238] (-1.210)	-1.817 [-1.524] (-0.946)	-0.845 [-0.828] (-0.337)
Suwon (7)	-1.245 <b>(-2.520)</b>	-0.845 <b>(-1.423)</b>	-0.504 <b>(-2.075)</b>	-0.290 (-0.476)	-0.456 (-0.527)	-0.209 (-0.408)
Daejeon (12)	<b>-2.016</b> (-0.785)	<b>-1.778</b> (-0.726)	<b>-2.031</b> [-1.767] <b>(-1.781)</b>	-0.733 (-0.236)	-0.864 (-0.286)	-0.725 [-0.677] (-0.370)
Busan (20)	<b>-2.371</b> <b>(-3.824)</b>	<b>-1.630</b> <b>(-2.045)</b>	<b>-2.431</b> <b>(-3.944)</b>	-0.616 (-0.852)	-0.791 (-0.801)	-0.585 (-0.871)
Mokpo (22)	<b>-2.668</b> <b>(-2.831)</b>	-0.830 (-1.126)	<b>-2.549</b> [-2.463] <b>(-2.587)</b>	-0.745 (-0.727)	-0.531 (-0.536)	-0.820 [-0.868] (-0.774)
Yeosu (23)	0.296 (-1.200)	0.385 (-0.311)	<b>2.149</b> (1.260)	0.148 (-0.345)	0.188 (-0.076)	0.861 (0.396)
Seogwipo (26)	<b>-2.609</b> <b>(-3.306)</b>	-0.785 <b>(-1.738)</b>	0.088 <b>(-1.497)</b>	-1.001 (-0.951)	-0.481 (-0.656)	0.048 (-0.510)
Jinju (27)	-0.281 (0.281)	-0.696 (-0.341)	-0.163 [-0.092] (0.991)	-0.102 (0.120)	-0.413 (-0.207)	-0.032 [-0.031] (0.172)

\*Numbers in bold and bold italic indicate significant upward trend (+) or downward trend (-) at the 0.1 and 0.05 level of significance respectively. ( ) indicates the trend of large pan evaporation. [ ] indicates the trend of small pan evaporation with the same data period as large pan evaporation.

량 변화에 따른 일사량 변화가 pan 증발량에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. Brutsaert and Palange(1998)의 주장과는 다르게 강수량 증가에도 불구하고 상대습도는 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 11개 연구지역의 도시화가 원인인 것으로 판단된다. 또한 상대습도의 감소추세에도 불구하고 연별과 1월, 7월에 pan 증발량이 감소추세를 보이는 것은 일사량이 상대습도보다 pan 증발량에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Table 10은 1973년부터 2006년까지 소형증발접시 증발량과 대형증발접시 증발량 자료가 관측된 10개 지점에 대해서 계절적 요인을 고려하여 증발량의 추세를 비교 분석하였다. 겨울철에는 대형증발량 관측자료가 없고 4월 및 10월의 경

우 대형증발량 자료의 결측치가 많아서 대신에 5월과 9월 증발량 자료를 비교 분석에 활용하였다. 인천과 부산지역의 경우 소형 증발접시 증발량이나 대형 증발접시 증발량 모두에서 유의한 감소추세를 보이고 있으나, 여수와 진주의 경우 소형 증발접시 증발량이나 대형 증발접시 증발량 모두에서 유의한 추세를 보이지 않고 있다. 반면에 서울지역의 경우 소형증발접시 증발량에 비해서 대형증발접시 증발량이 더 큰 감소추세를 보이고 있는 반면에 수원지역의 경우 대형증발접시 증발량이 소형증발접시 증발량에 비하여 더 큰 감소추세를 보이고 있다. 이러한 소형증발접시 증발량과 대형증발접시 증발량의 추세 정도에 차이가 발생하는 것은 지역특성에 따라서 기후요소가 다른 양상을 보이고 있으며, 이러한

기후요소의 영향이 소형 및 대형증발접시에 다르게 작용하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 전반적으로 소형증발접시 증발량과 대형증발접시 증발량의 추세의 크기는 다르지만 증발량변화는 대부분 지역에서 동일한 추세를 보이는 것으로 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 Mann-Kendall 검증방법을 이용한 연 및 월별 pan 증발량 변화추세를 분석하였고, Sen 방법을 이용하여 18년간(1973-1990) pan 증발량 변화분포를 분석하였다. 연별 pan 증발량은 56개 연구지역 중에서 38개 연구지역에서 감소추세를 보이고 있고, 18년간의 pan 증발량 감소량은 양평지역이 18년 동안 -1.009 mm가 감소함으로서 가장 큰 감소를 보였으며, 해남지역이 0.612 mm가 증가함으로서 가장 큰 증가를 보였다.

1월 pan 증발량추세를 보면 대부분 지역에서 감소추세를 보이고 있으며, 33개 연구지역에서 pan 증발량 감소추세를 보이고 있다. 18년간의 pan 증발량 감소량은 고창지역이 18년 동안 -0.624 mm가 감소함으로서 가장 큰 감소를 보였으며, 성산포지역이 18년 동안 증발량이 0.918 mm가 증가하여 가장 큰 증가를 보였다. 4월 pan 증발량추세를 보면 56개 연구지역 중에서 38개 지역에서 증가추세를 보이고, 15개 연구지역에서 감소추세를 그리고 3개 연구지역에서 특이한 추세를 보이지 않고 있다. 따라서 대체적으로 4월의 경우 증가추세를 보이고 있다. 18년간의 pan 증발량 증가량은 정읍지역이 18년 동안 1.363 mm가 증가함으로서 가장 큰 증가를 보였으며, 합천지역이 18년 동안 -0.910 mm 감소함으로서 가장 큰 감소를 보였다. 7월 pan 증발량추세를 보면 56개 연구지역 중에서 47개 지역에서 감소추세를 보여서, 전반적으로 감소추세를 보이고 있다. 18년간의 pan 증발량 변화는 서산지역이 18년 동안 -1.946 mm가 감소함으로서 가장 큰 감소를 보였으며, 해남지역이 0.612 mm의 pan 증발량 증가를 보여서 가장 큰 증가를 보였다. 10월 pan 증발량추세를 보면 56개 연구지역 중에서 35개 지역에서 증가추세를 보이고, 14개 지역에서 감소추세를 그리고 7개 지역에서 특이한 추세를 보이지 않고 있다. 따라서 전반적으로 10월의 경우 증가추세를 보이고 있다. 18년간의 pan 증발량 변화는 완도지역이 18년 동안 1.350 mm가 증가함으로서 가장 큰 증가를 보였으며, 양평지역이 18년 동안 -0.583 mm 감소하여 가장 큰 감소를 보였다. 따라서 전반적으로 연별과 1월, 7월은 pan 증발량이 감소추세를 보이고, 4월과 10월은 증가추세를 보여서 각 지점뿐만 아니라 월별로도 다른 추세를 보이는 것으로 나타났다.

pan 증발량 추세와 기후요소 추세의 연관성을 비교 분석한 결과 기온, 상대습도 그리고 풍속추세는 연별이나 혹은 월별 pan 증발량 추세와 서로 상이한 추세를 보이나, 일사량 추세는 연별 및 월별 pan 증발량 추세와 동일한 추세를 보이고, 강수량 추세는 연별 및 월별 pan 증발량 추세와 상반된 추세를 보였다. 강수량이 증가하는 경우 pan 증발량은 감소하고, 강수량이 감소하는 경우 pan 증발량은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 연 및 월별 강수량은 일사량과 상반된 추세를

를 보여서, 강수량이 증가하는 경우 일사량은 감소하고, 강수량이 감소하는 경우 일사량은 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 일사량이 pan 증발량에 중요한 기후요소인 것을 고려하면 강수량 변화에 따른 일사량 변화가 pan 증발량에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

권역별로 56개 연구지역에서 1973년부터 1990년까지 18년간의 평균 pan 증발량과 pan 증발 변화량을 Sen 방법을 이용하여 산정한 결과에 의하면 연 및 월별로 각 권역에 따라서 각기 다른 pan 증발량 양상을 보이고 있다. 또한 Sen 방법을 이용한 18년간의 권역별 평균 증발량 변화는 연별의 경우 대부분의 권역에서 감소를 보이고 있으나, 인근 권역사이에 다른 pan 증발량 변화 양상을 보여서 추후 연구에서는 각 지점별로 기후요소 및 지리 지형적 요인의 영향에 따른 증발량 변화 양상을 분석하는 것이 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국수자원학회에서 위탁시행한 2009년도 IHP 연구지원사업의 연구성과이며 연구비 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- Brutsaert, W. and Parange, M.B. (1998) Hydrological cycle explains the evaporation paradox. *Nature*, Vol. 396, pp. 30.
- Chattopadhyay, N. and Hulme, M. (1997) Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 87, pp. 55-74.
- Cohen, S., Ianetz, A., and Stanhill, G. (2002) Evaporative climate changes at Bet Dagan, Israel, 1964-1998. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 111, pp. 83-91.
- Da Silva, V.P.R. (2004) On climate variability in northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, Vol. 58, pp. 575-596.
- Golubev, V.S., Lawrimore, J.H., Groisman, P.Y., Speranskaya, N.A., Zhuravin, S.A., Menne, M.J., Peterson, T.C., and Malone, R.M. (2001) Evaporation changes over the contiguous United States and the former USSR: A reassessment. *Geophys. Res. Lett.* Vol. 28, pp. 2665-2668.
- Hobbins, M.T., Ramirez, J.A., and Brown, T.C. (2004) Trends in pan evaporation and actual evapotranspiration across the conterminous U.S.: Paradoxical or complimentary? *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, pp. 1-5.
- IPCC (2001) Climate Change: Working Group 1, The Scientific Basis.
- Jauregui, E. and Luyando, E. (1998) Long-term association between pan evaporation and the urban heat island in Mexico City. *Atmosfera*, Vol. 11, pp. 45-60.
- Lawrimore, J.H. and Peterson, T.C. (2000) Pan evaporation trends in dry and humid regions of United States. *J. Hydrometeorol.*, Vol. 1, pp. 543-546.
- Liu, B., Xu, M., Henderson, M., and Gong, W. (2004) A spatial analysis of pan evaporation trends in China, 1955-2000. *J. of Geophysical Research*, Vol. 109, No. D15: D15102, doi: 10.1029/2004JD004511.
- Moonen, A.C., Ercoli, L., Mariotti, M., and Masoni, A. (2002) Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 111, pp. 13-27.

- Peterson, T.C., Golubev, V.S., and Groisman, P.Y. (1995) Evaporation losing its strength. *Nature*, Vol. 377, pp. 687-688.
- Quintana-Gomes, R. (1997) *Changes in evaporation patterns detected in northernmost south America. homogeneity testing*. In Proc. 7th International Meeting on Statistical Climatology. Whister, BC, Canada.
- Roderick, M.L. and Farquhar, G.D. (2002) The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years. *Science*, Vol. 298, pp. 1410-1411.
- Roderick, M.L. and Farquhar, G.D. (2004) Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002. *Int. J. Climatol.*, Vol. 24, pp. 1077-1090.
- Roderick, M.L. and Farquhar, G.D. (2005) Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s. *Int. J. Climatol.*, Vol. 25, pp. 2031-2039.
- Sen, P.K. (1968) Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 63, pp. 1379-1389.
- Wang, Y., Jiang, T., Bothe, O., and Fraedrich, K. (2007) Changes of pan evaporation and reference evapotranspiration in the Yangtze River basin. *Theor. Appl. Climatol.*, Vol. 90, pp. 13-23.
- (접수일: 2009.5.29/심사일: 2009.6.21/심사완료일: 2009.9.6)