

# Mann-Kendall 추세분석을 이용한 건조지수 추세의 동질성

## Homogeneity of Climate Aridity Index Trends Using Mann-Kendall Trend Test

임 창 수\*

Rim, Chang-Soo

---

### Abstract

The homogeneity analysis of temporal (monthly, seasonal and annual) climate aridity index trend was accomplished for 43 climate measurement stations in South Korea. Furthermore, 43 stations were grouped into 9 different regions and the temporal and regional homogeneity of climate aridity index trends in each region and entire 9 regions were analyzed. For analysis, monthly, seasonal and annual climate aridity indexes of 43 study stations were estimated using precipitation and potential evapotranspiration calculated from FAO Penman-Monteith equation. The Mann-Kendall statistical test for significant trend was accomplished using the estimated climate aridity indexes and the results of trend test (Z scores) were used to analyze the temporal and regional homogeneity of climate aridity index trends. The study results showed the temporal and regional homogeneity of climate aridity index trends for individual and entire 9 regions. However, the homogeneity and the extent of aridity index trend showed different patterns temporally and regionally.

**keywords** : climate, aridity index, trend analysis, homogeneity test

---

### 요 지

우리나라 전국 43개 기후관측지점을 대상으로 기후 건조지수 추세의 시간적(월별, 계절별, 연별) 동질성을 분석하였다. 또한 43개 기후관측지점을 9개 지역으로 구분하여 이들 각 지역과 전체 9개 지역을 대상으로 시간적 및 지역적인 기후 건조지수 추세의 동질성 유무와 추세정도를 파악하였다. 분석을 위해 43개 기후관측지점의 월별, 계절별 그리고 연별 건조지수를 강수량과 FAO Penman-Monteith식으로 계산된 잠재증발산량으로부터 산정하였다. 또한 산정된 지수를 이용하여 Mann-Kendall 추세분석을 실시하였고, 추세분석 결과(Z scores)를 이용하여 기후 건조지수 추세의 시간적 및 지역적 동질성 분석을 실시하였다. 분석결과에 의하면 9개 각 지역과 전체 9개 지역에서 기후 건조지수 추세는 시간적 및 지역적으로 동질성이 있는 것으로 나타났으나, 추세의 동질성 정도 및 추세 정도는 시간적 및 지역적으로 다른 양상을 보였다.

**핵심용어** : 기후, 건조지수, 추세분석, 동질성분석

---

\* 경기대학교 공과대학 토목공학과 부교수 (e-mail: csrim@kgu.ac.kr, Tel: 82-31-249-9740)  
Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, San 94-6, Iui-dong, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 443-760, Korea

## 1. 서 론

지난 세기동안 도시화와 산업화로 인하여 온실가스는 증가하고 있으며, 이는 전 세계적으로 진행되고 있는 지구온난화의 원인으로 인식되고 있다. 또한 지구온난화는 수문순화과정의 중요한 요소인 강수량과 잠재증발산량의 변화에 영향을 주는 것으로 보고되었다(IPCC, 2007a, 2007b). 따라서 강수량과 잠재증발산량의 상대적인 비를 이용하여 기후 건조/습윤 상태의 지역적 변화를 분석하는 것은 해당 지역의 가용 수자원량을 파악하는 데 필요하다(UNESCO, 1979; UNEP, 1992).

과거 많은 연구자들에 의해서 기후 건조/습윤상태를 나타내는 건조지수를 결정하기 위한 다양한 방법들이 제안된 바 있다. Tsakiris and Vangelis (2004)는 강수량을 사용하여 기후 건조지수를 결정하는 경우 기온 등을 함께 사용하는 것보다 잠재증발산량을 함께 사용하는 것을 추천한 바 있으며, 또한 Khalili et al. (2011)은 강수량/잠재증발산량의 비를 사용하는 것에 대한 적절성을 발표한 바 있다. 잠재증발산량 산정식으로는 Penman (1948)식이 제안된 바 있고(UNESCO, 1979), Thornthwaite (1948)식이 제안된 바 있다(UNEP, 1992). 본 연구에서는 잠재증발산량 산정을 위해 과거 많은 연구자들(Trajkovic, 2005; Gong et al., 2006; Ahani et al., 2013)에 의해서 적용된 바 있는 FAO Penman-Monteith 잠재증발산량 산정식(Allen et al., 1998)을 적용하였다.

최근에 전 세계적으로 많은 연구자들(Jones and Reid, 2001; Yunhe et al., 2005; Kafle and Bruins, 2009; Sulieman and Elagib, 2012; Liu et al., 2013; Some'e et al., 2013; Tabari and Aghajanloo, 2013)은 지역별 기후 건조지수변화에 관한 연구를 수행하였다. 기후 건조지수 분석을 위해 강수량과 FAO Penman-Monteith식으로 산정된 잠재증발산량을 적용한 연구결과에 의하면 Yunhe et al. (2005)은 중국에서 1971년부터 2000년까지 30년간의 연별 기후 건조지수추세를 분석한 결과 중국 대부분 지역에서 강수량 증가와 잠재증발산량 감소를 보이는 것으로 발표하였다. 또한 Liu et al. (2013)은 중국 북서부지역의 기후 건조지수는 강수량, 증기압, 일사량, 풍속 그리고 기온 순으로 민감한 반응을 보인다고 발표하였다. Tabari and Aghajanloo (2013)와 Some'e et al. (2013)은 이란에서 수행된 건조지수추세 분석연구에서 강수량과 잠재증발산량의 증가로 인하여 건조지수가 감소하는 추세를 보인다고 발표하였다. Jones and Reid (2001)는 전 지구적 기후 건조지수 분석을 위해 강수량과 Thornthwaite식을 이용하여 산정된

잠재증발산량을 적용한 바 있으며 전 지구적으로 기후 건조지수의 차이가 통계적으로 유의하지 않다고 발표하였다. Kafle and Bruins (2009) 역시 강수량과 Thornthwaite 잠재증발산량을 이용하여 이스라엘지역 기후 건조지수를 분석한 결과 이스라엘지역의 기후는 해안평야지역을 제외하고 대부분의 지역에서 더욱 건조해지고 있다고 발표하였다. Sulieman and Elagib (2012)는 수단 동부지역 기후 건조지수 분석을 위해 강수량과 Hargreaves and Samani (1985)식으로 산정된 잠재증발산량을 적용한 바 있다.

국내의 경우 국외와 비교하여 기후 건조지수와 관련된 연구가 활발하게 수행된 바 없으나, 최근에 기후 건조지수와 관련하여 일부 연구자들(Lee and Kim, 2012; Rim and Kim, 2013; Park et al., 2013)에 의해서 연구가 수행되었다. 연구에서 Lee and Kim (2012)은 우리나라 59개 기후관측지점을 대상으로 이상기후(엘니뇨, 라니냐)가 시간적 및 공간적으로 건조지수에 미치는 영향을 연구한 바 있다. Rim and Kim (2013)은 우리나라 53개 기후관측지점을 대상으로 5월 기후 건조지수의 변동지수를 산정하고 이를 표준강수지수와 비교하였다. 또한 Park et al. (2013)은 우리나라 5개 댐(안동, 임하, 합천, 남강, 밀양)에 대해서 강수량과 Penman 잠재증발산량을 이용하여 건조지수를 산정한 바 있다.

과거 연구사례를 검토한 결과 대부분이 주로 기후 건조지수 추세의 지역적 특성에 대해서 분석하였다. 하지만 기후 건조지수 추세의 지역적 특성뿐만 아니라 기후 건조지수 추세의 시간적 및 지역적 동질성 정도를 파악하는 것은 지역 수자원관리 측면에서 필요하다. 따라서 본 연구에서는 강수량과 FAO Penman-Monteith 잠재증발산량을 이용하여 우리나라 전국 43개 기후관측지점의 월별, 계절별 그리고 연별 기후 건조지수 추세를 분석하였다. 또한 추세의 시간적 및 지역적 동질성을 분석하기 위해, 43개 기후관측지점을 9개 지역으로 구분하여 기후 건조지수 추세가 이들 각 지역뿐만 아니라 전체 9개 지역에서 시간적 및 지역적으로 동질성이 있는지를 파악하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구지역 및 자료

본 연구에서는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 권역별 기상관측소 구분기준을 참고하여 43개 기후관측소 지점들을 9개 지역으로 분류하였다(Table 1). 본 연구대상인 기후관측지점은 기상청에서 운영하는 기후관측소를 대상으로 연구지점을 선정하였다. 건조지

Table 1. Climatological Study Stations

Regions	Stations
Han River (1)	Daegwallyeong(1), Chuncheon(2), Seoul(3), Wonju(4), Chungju(5), Yangpyeong(6), Icheon(7), Inje(8), Hongcheon(9), Jecheon(10)
The west of Han River (2)	Incheon(11), Ganghwa(12)
Nakdong River (3)	Daegu(13), Jinju(14), Yeongju(15), Mungyeong(16), Uiseong(17), Gumi(18), Yeongcheon(19), Geochang(20), Hapcheon(21), Miryang(22), Sancheong(23)
The east of Nakdong River (4)	Uljin(24), Pohang(25), Yeongdeok(26)
Geum River (5)	Cheongju(27), Daejeon(28), Chupungnyeong(29), Boeun(30), Buyeo(31), Geumsan(32)
The west of Geum River (6)	Seosan(33), Gunsan(34), Boryeong(35)
Mangyeong and Dongjin Rivers (7)	Jeonju(36), Jeongeup(37)
The south of Sumjin River (8)	Yeosu(38), Wando(39), Goheung(40)
Jeju (9)	Jeju(41), Seogwipo(42), Seongsanpo(43)

수를 산정하기 위해 43개 기후관측지점의 과거 40년간 (1974년 1월~2013년 12월)의 월별 강수, 평균기온, 최고기온, 최저기온, 풍속, 상대습도, 일조시간 관측자료를 활용하였다.

본 연구에서는 잠재증발산량 산정을 위해 Allen et al. (1998)에 의해서 제안된 Penman-Monteith (P-M) 잠재증발산량 산정식(Eq. (1))을 적용하였으며, 과거 많은 연구자들에 의해서 적용된 바 있다(Trajkovic, 2005; Gong et al., 2006; Ahani et al., 2013).

$$PET = \frac{0.408\Delta Q_n + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

여기서,  $PET$ =잠재증발산량(mm/day),  $\Delta$ =포화증기압과 온도곡선의 기울기(kPa/°C),  $Q_n$ =순방사(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $u_2$ =지상 2m 높이에서 풍속(m/sec),  $T_a$ =2m 높이에서 일평균기온(°C),  $e_s$ =포화증기압(kPa),  $e_a$ =실제증기압(kPa),  $(e_s - e_a)$ =대기의 포화증기압 부족량(kPa),  $\gamma$ =건습계 상수(kPa/°C)이다.

## 2.2 기후자료 추세 분석

본 연구에서는 기후 건조/습윤 정도를 분석하기 위해 강수량(P)과 잠재증발산량(PET)의 상대적 비인 기후 건조지수(P/PET)를 산정하였다. 또한 기후 건조지수 추세분석을 위해 Mann-Kendall 추세분석을 실시하였다. Mann-Kendall 추세분석을 실시하는 경우, Eq. (2)에서  $x_j$ 와  $x_k$ 를 기후 관측지점  $x$ 의 특정 월 혹은 계절의  $j$ 번째와  $k$ 번째

해의 건조지수 값이라 하면, Mann-Kendall 통계치는 Eq. (3)으로부터 산정된다(Gilbert, 1987).

$$\begin{aligned} sgn(x_j - x_k) &= 1 \text{ if } x_j - x_k > 0 \\ &= 0 \text{ if } x_j - x_k = 0 \\ &= -1 \text{ if } x_j - x_k < 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k) \quad (3)$$

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (4)$$

Eq. (4)에서,  $q$ 는 동일한 값을 보이는 자료 수이고,  $t_p$ 는  $p$ 번째 계열의 자료 수이다. 따라서 통계값  $Z$ 는 다음 Eq. (5)로부터 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned} Z &= \frac{S-1}{[VAR(S)]^{1/2}} \text{ if } S > 0 \\ &= 0 \text{ if } S = 0 \\ &= \frac{S+1}{[VAR(S)]^{1/2}} \text{ if } S < 0 \end{aligned} \quad (5)$$

## 2.3 시간 및 지역적 동질성 분석

본 연구에서는 van Belle and Hughes (1984)에 의해서 제안된 동질성분석 방법을 적용하여 43개 각 기후관측지점의 건조지수 추세가 시간적(월별 및 계절별) 및 지역적으로 동질적인 추세를 보이는지를 분석하였다. 동질성분석을 위해서 카이스퀘어 검정통계량을 Eqs. (6), (7) and (8)을 이용하여 구하였다(Gilbert, 1987).

$$\chi_{homog}^2 = \chi_{total}^2 - \chi_{trend}^2 = \sum_{i=1}^M Z_i^2 - M\bar{Z}^2 \quad (6)$$

$$Z_i = \frac{S_i}{[VAR(S_i)]^{1/2}} \quad (7)$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Z_i \quad (8)$$

여기서, 시간적(월별, 계절별) 동질성분석을 수행하는 경우  $S_i$ 는 대상 기후관측지점의  $i$ 번째 월 혹은 계절의 Mann-Kendall 추세 통계량이고,  $M$ 은 월별 자료의 경우 12(1월부터 12월까지)이고, 계절의 경우 4(봄, 여름, 가을, 겨울)이다. 만일  $\chi_{homog}^2$ 가 극한값  $\alpha$ 를 초과한다면 분석하고자 하는 대상 기후관측지점의 월별 혹은 계절별 건조지수 추세는 동질성이 없다고 할 수 있다. 또한 지역적 동질성을 분석하는 경우 여기서  $S_i$ 는  $i$ 번째 기후 관측지점의 Mann-Kendall 추세 통계량이고,  $M$ 은 분석하고자 하는 기후 관측지점의 수이다. 만일  $\chi_{homog}^2$ 가 극한값  $\alpha$ 를 초과하지 않는다면 분석하고자 하는 대상 지역의 기후 건조지수 추세는 동질성이 있다고 할 수 있다. 또한 해당 지역 기후 건조지수추세가 통계적으로 동질하다고 판단되는 경우 각 해당 지역의 추세가 유의한지를  $\chi_{trend}^2$ 로부터 판단할 수 있으며,  $\chi_{trend}^2$ 가 극한값  $\alpha$ 를 초과하는 경우 각 지역의 기후 건조지수는 유의한 추세를 보인다고 할 수 있다.

## 2.4 군집분석

본 연구에서는 지역 건조지수 추세를 이용한 군집분석을 실시하여 서로 비슷한 건조지수 추세특성을 가지고 있는 지역을 군집화하였다. 군집분석은 특성자료가 갖는 유사성을 거리로 환산하여 거리가 가까운 대상들을 동일한 집단으로 편입시키게 된다. 본 연구에서 적용한 군집분석 방법은 평균 결합법(average-linkage)이다. 또한 대상 자료들의 유사성을 거리로 환산하기 위하여 유클리디안 거리(euclidean distance) 방법을 적용하였다.

## 3. 분석결과

### 3.1 건조지수 추세 분포

우리나라 43개 기후 관측지점에 대해서 과거 40년(1974~2013) 동안의 건조지수 추세분석을 실시하였다. 이를 위해 월별, 계절별 그리고 연별 건조지수의 Mann-Kendall 추세분석을 실시하였다. Figs. 1 and 2는 전국 43개 기후 관측지점의 월별, 계절별 그리고 연별 기후 건조지수의 Mann-Kendall Z score 분포를 보여준다. 월별 건조지수

추세분포를 분석한 바에 의하면 90% 신뢰수준( $Z_{1-\alpha}=1.282$ )에서 4월과 12월 기후 건조지수추세가 전국 대부분 지역에서 유의하게 감소하는 것을 제외하고 다른 월에서는 유의한 추세를 보이지 않았다. 5월, 6월, 7월, 8월 그리고 9월의 경우 전국적으로 90% 신뢰수준( $Z_{1-\alpha}=1.282$ )에서 유의하지는 않으나 기후 건조지수추세가 증가하는 양상을 보인 반면에 1월, 2월, 3월, 10월, 11월의 경우 전국적으로 기후 건조지수추세가 유의하지는 않으나 감소하는 양상을 보였다.

계절별 기후 건조지수 추세분포를 분석한 바에 의하면 봄철과 겨울철의 경우 대부분의 지역에서 다른 계절에 비해서 기후 건조지수가 감소하는 추세를 보인 반면에 여름철과 가을철의 경우 대부분의 지역에서 기후 건조지수가 증가하는 추세를 보였다. 연별 기후 건조지수 추세분포의 경우 대부분의 지역에서 증가하는 추세를 보였다. 따라서 강수량과 잠재증발산량 변화 추세에 의해서 계절별 및 지역별로 건조지수 추세에 차이가 발생하는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 건조지수 추세를 분석하기 위한 방법으로 Mann-Kendall 추세분석 방법만을 적용하였으나 추후 이외의 방법을 추가로 적용하여 비교 검토하는 것이 필요하다.

### 3.2 건조지수 동질성

우리나라 전국 43개 기후관측지점 건조지수 추세의 시간적 및 지역적 동질성을 분석하였으며, 43개 기후관측지점을 9개 지역으로 구분하여 기후 건조지수 추세가 이들 9개 지역에서 시간적 및 지역적으로 동질성이 있는지를 파악하였다.

#### 3.2.1 지역적 동질성

지역적으로 기후 건조지수추세의 동질성을 월 및 계절별로 분석하였다(Tables 2 and 3). 지역 I(한강유역)은 대관령(station 1) 등 10개 기후관측지점이 위치하고 있고, 이 지역은 모든 월에서  $\chi_{homog-R}^2$ 이  $\alpha_{90\%}(R)=14.68$ 보다 작아서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있는 것으로 나타났다(Table 2). 또한 4월, 7월 그리고 12월의  $\chi_{trend}^2$ 는 각각 14.909, 24.095, 24.376로서  $\alpha_{90\%}(R)=14.68$ 보다 커서 이들 월의 경우 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보였으나, 95% 신뢰수준으로 분석하는 경우 7월과 12월만이  $\alpha_{95\%}(R)=16.92$ 보다 커서 유의한 기후 건조지수 추세를 보였다. 7월과 12월 평균 Z score는 각각 1.706, -1.561로서 7월은 지역적으로 95% 신뢰수준에서 유의한 증가추세를 보였고, 12월은 지역적으로 90% 신

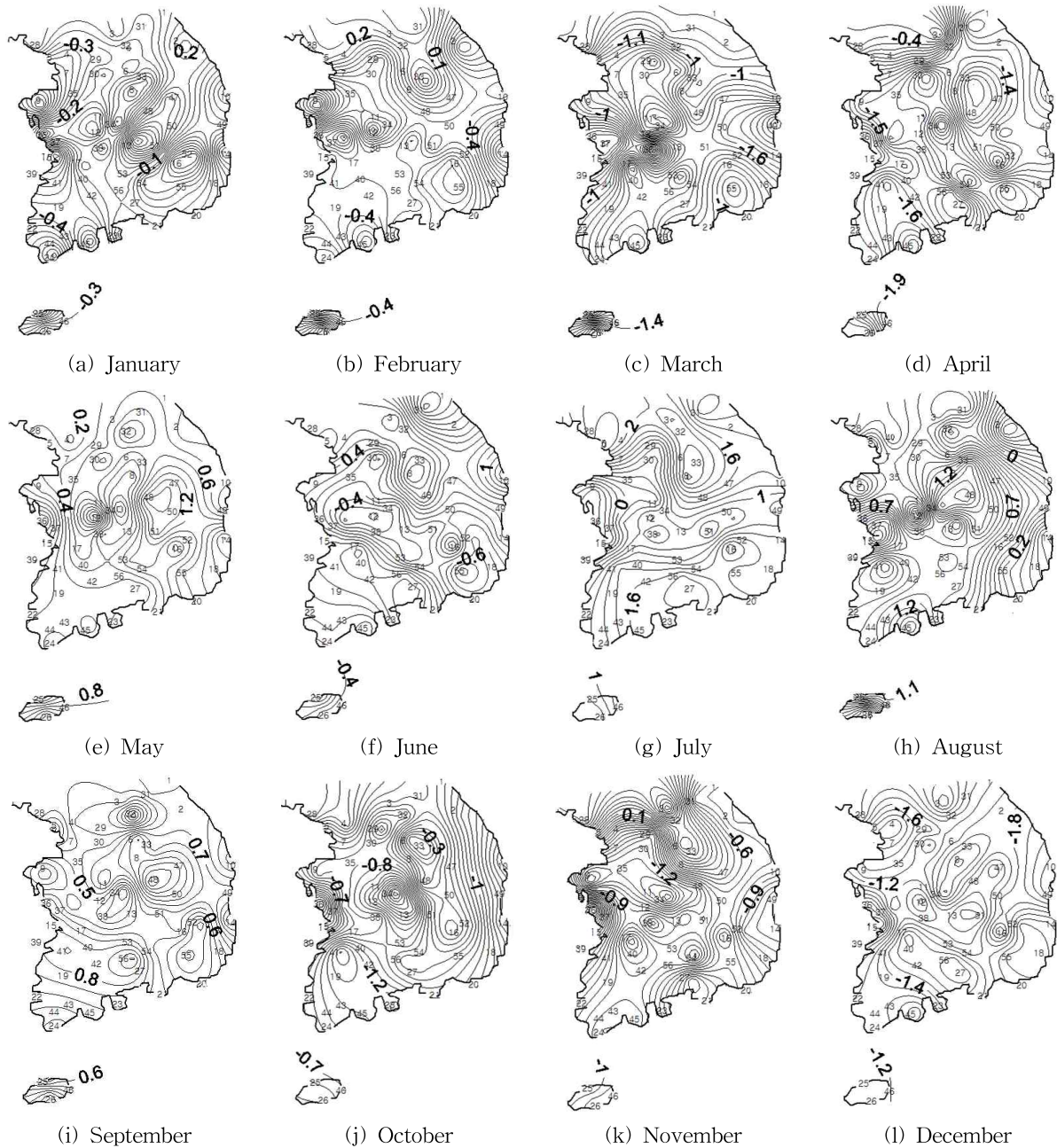


Fig. 1. Distribution of Monthly Mann-Kendall Z Scores for 43 Study Stations

되수준에서 유의한 감소추세를 보였다. 지역 I의 기후 건조지수 추세 동질성을 계절별로 분석한 바에 의하면 모든 10개 기후관측지점에서  $\chi^2_{\text{homog-R}}$  값이 봄(=2.428), 여름(=10.932), 가을(=2.621) 그리고 겨울(=4.247)을 보였고,  $\chi^2_{\text{homog-R}}$  값이  $\alpha_{90\%}(R)=14.68$ 보다 작아서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성을 보였다. 또한 여름철만이  $\chi^2_{\text{trend}}$ 가 34.099로서  $\alpha_{95\%}(R)=(16.92)$ 보다 커서 지역적으로 95% 신뢰수준에서 유의한 기후 건조지수 추세를 보였다(Z score=1.847). 연별 추세의 경우  $\chi^2_{\text{homog-R}}$

(=18.442)이  $\alpha_{95\%}(R)=(16.92)$ 보다 커서 95% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 없다.

지역 II(한강의 서부지역)는 인천(station 11)과 강화(station 12) 기후관측지점이 위치하고 있고, 이 지역은 모든 월에서  $\chi^2_{\text{homog-R}}$ 이  $\alpha_{90\%}(R)=(2.71)$ 보다 작아서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성을 보였다. 또한 7월과 12월의  $\chi^2_{\text{trend}}$ 는 각각 10.536, 5.022로서 7월과 12월만 모두  $\alpha_{95\%}(R)=(3.84)$ 보다 커서 이들 월의 경우 지역적으로 95% 신뢰수준에서 유의한 기후 건조지수 추세를

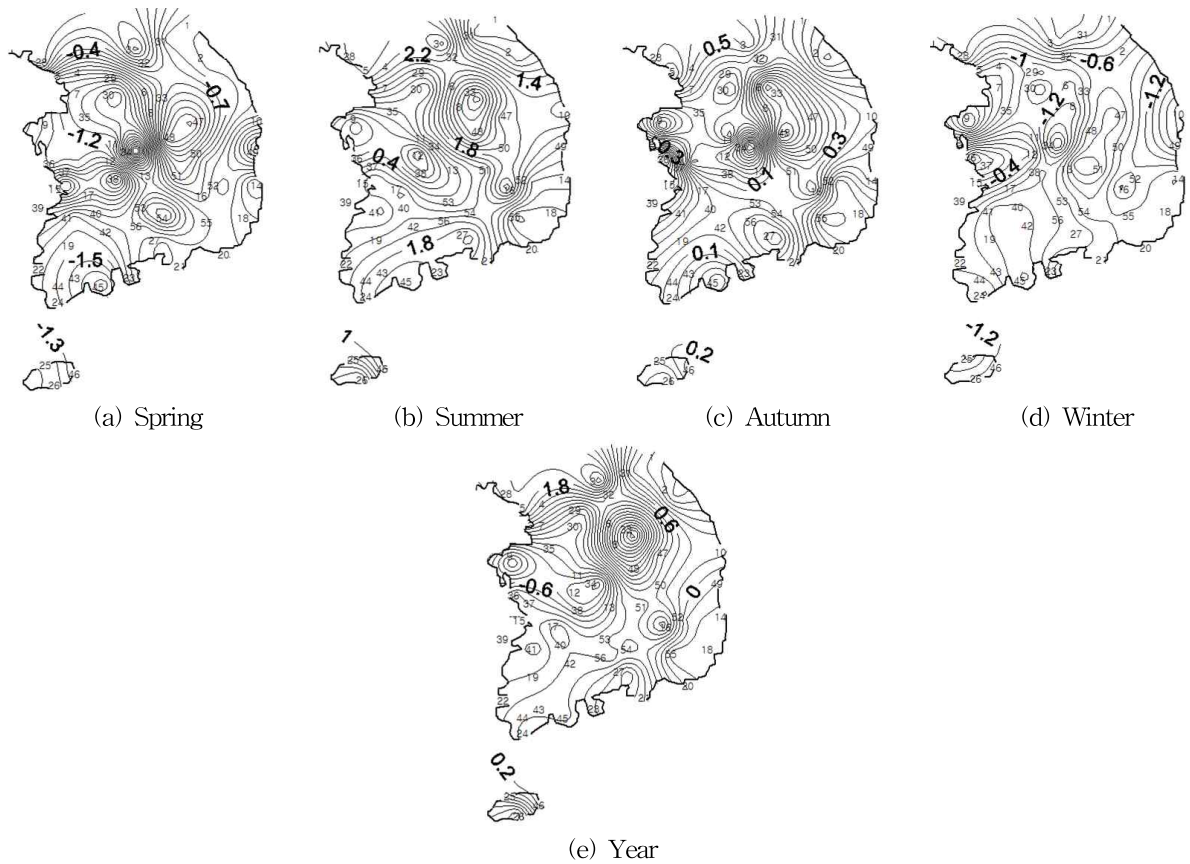


Fig. 2. Distribution of Seasonal and Annual Mann-Kendall Z Scores for 43 Study Stations

보이는 것으로 나타났다. 지역 II의 7월과 12월 평균 Z score는 각각 2.295, -1.585를 보여서 95% 신뢰수준에서 1월의 경우 지역적으로 증가추세를 보였고, 12월의 경우 90% 신뢰수준에서 지역적으로 감소추세를 보였다. 봄, 여름, 가을 그리고 겨울철의 경우  $\chi^2_{\text{homog-R}}$ 이  $\alpha_{90\%}(R)$ (=2.71)보다 작아서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성을 보였다. 또한 여름철만이  $\chi^2_{\text{trend}}$ 가 11.942로서  $\alpha_{95\%}(R)$ =3.84보다 커서 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보였으며, 95% 신뢰수준에서 유의한 증가 추세를 보였다(Z score=2.444). 연별 추세의 경우  $\chi^2_{\text{homog-R}}$ (=0.001)이  $\alpha_{90\%}(R)$ (=2.71)보다 작아서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있고,  $\chi^2_{\text{trend}}$ 가 7.306으로서  $\alpha_{95\%}(R)$ (=3.84)보다 커서 95% 신뢰수준에서 유의한 증가추세를 보였다(Z score=1.911).

지역 III(낙동강유역)은 대구(station 13) 등 11개 기후 관측지점이 위치하고 있고, 이 지역은 모든 월에서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성을 보였다. 또한 3월, 4월, 7월, 그리고 12월의 경우 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보였다. 지역 III의 3월, 4월, 12월의

경우 90% 신뢰수준에서 지역적으로 감소추세를 보였고, 7월의 경우 90% 신뢰수준에서 지역적으로 증가추세를 보였다. 봄, 여름, 가을 그리고 겨울철의 경우 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있는 것으로 나타났다. 또한 여름철만이 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보였으며, 90% 신뢰수준에서 유의한 증가추세를 보였다(Z score=1.546). 연별 추세의 경우 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 지역적 동질성이 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다.

지역 IV(낙동강 동부지역)는 울진 등 3개 기후관측지점이 위치하고 있고, 이 지역은 모든 월에서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성을 보였다. 또한 4월, 10월, 12월의 경우 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보였다. 지역 IV는 4월과 12월의 경우 95% 신뢰수준에서 지역적으로 감소추세를 보였고, 10월의 경우 90% 신뢰수준에서 지역적으로 감소추세를 보였다. 봄, 여름, 가을 그리고 겨울철 모두 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으며, 여름철과 겨울철에 90% 신뢰수준에서 유의한 기후 건조지수 추세를 보였다. 연별 추세

**Table 2. Monthly Aridity Index Trends and Homogeneity of Trends in 43 Stations and Regional Homogeneity of Trends**

	Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	$\alpha_{90\%}(S)=17.28$ $\alpha_{95\%}(S)=19.68$ $\chi^2_{homog-S}$	
I	1				↓			↑					↓	10.768	
	2							↑						7.272	
	3			↓				↑					↓	13.925	
	4			↓	↓			↑					↓	19.336	
	5							↑	↑				↓	20.645	
	6			↓									↓	11.565	
	7			↓	↓									↓	15.446
	8				↓			↓							9.667
	9				↓	↑			↑						11.590
	10						↑	↑	↑					↓	16.364
$\chi^2_{homog-R}$		1.416	2.727	2.002	3.303	2.017	7.821	5.054	4.228	1.161	2.440	5.692	4.464	$\alpha_{90\%}(R)=14.68$ $\alpha_{95\%}(R)=16.92$	
	$\chi^2_{trend}$	0.681	0.001	13.412	14.909	3.421	3.102	29.095	3.683	3.497	2.327	0.440	24.376		
	Z score	-0.261	-0.009	-1.158	-1.221	0.585	0.557	1.706	0.607	0.591	-0.482	-0.210	-1.561		
II	11			↓				↑					↓	18.398	
	12							↑						6.778	
	$\chi^2_{homog-R}$	0.296	0.002	0.502	0.156	0.013	0.070	0.070	0.300	0.095	0.300	0.526	0.706	$\alpha_{90\%}(R)=2.71$ $\alpha_{95\%}(R)=3.84$	
		0.156	0.027	1.568	0.945	0.213	2.248	10.536	0.985	1.517	0.042	0.372	5.022		
$\chi^2_{trend}$	-0.280	0.117	-0.885	-0.687	0.326	1.060	2.295	0.702	0.871	-0.145	0.431	-1.585			
Z score															
III	13							↑					↓	14.663	
	14			↓				↑					↓	15.412	
	15			↓		↑		↑						10.342	
	16					↑		↑	↑	↑			↓	13.200	
	17			↓	↓	↑							↓	11.947	
	18			↓	↓	↑			↑					9.043	
	19			↓	↓			↑						8.924	
	20			↓	↓									13.319	
	21			↓	↓			↑				↓		16.240	
	22				↓		↓							11.073	
	23			↓				↑					↓	16.058	
	$\chi^2_{homog-R}$	3.194	0.687	1.263	3.138	3.569	6.873	3.109	1.998	1.683	0.578	2.012	3.675	$\alpha_{90\%}(R)=15.99$ $\alpha_{95\%}(R)=18.31$	
		0.301	0.293	21.680	23.264	10.107	0.069	19.685	10.527	5.819	3.421	6.116	23.708		
-0.166		-0.163	-1.404	-1.454	0.959	-0.079	1.338	0.978	0.727	-0.558	-0.746	-1.468			
IV	24			↓	↓		↑	↑			↓		↓	19.169	
	25		↓	↓	↓	↑					↓	↓	↓	15.355	
	26			↓	↓						↓	↓	↓	15.946	
	$\chi^2_{homog-R}$	0.913	0.779	0.853	0.174	2.075	1.500	0.337	0.298	0.372	0.066	0.226	1.245	$\alpha_{90\%}(R)=4.61$ $\alpha_{95\%}(R)=5.99$	
0.038		1.847	9.700	8.880	2.415	1.977	3.624	0.000	1.721	8.096	3.624	13.244			
-0.113		-0.785	-1.798	-1.720	0.897	0.812	1.099	-0.004	0.757	-1.643	-1.099	-2.101			
V	27			↓	↓							↓		10.668	
	28			↓	↓	↑					↓			10.911	
	29			↓	↓						↓			10.587	
	30			↓	↓				↑		↓	↓	↓	20.802	
	31				↓				↑				↓	9.470	
	32				↓									5.093	
$\chi^2_{homog-R}$	2.418	1.762	5.868	0.773	4.960	1.072	0.887	2.897	0.471	1.509	1.592	2.193	$\alpha_{90\%}(R)=9.24$ $\alpha_{95\%}(R)=11.07$		
	0.014	0.825	9.037	18.489	1.325	2.494	2.105	4.746	1.176	9.530	6.165	8.309			
	0.049	-0.371	-1.227	-1.755	0.470	-0.645	0.592	0.889	0.443	-1.260	-1.014	-1.177			

$\alpha_{90\%}(S)$ ,  $\alpha_{95\%}(S)$ ,  $\alpha_{90\%}(R)$ , and  $\alpha_{95\%}(R)$  indicate critical values at a 90% and 95% confidence interval for monthly and regional homogeneity test respectively;  $\chi^2_{homog-S}$  indicates  $\chi^2$  for monthly homogeneity test;  $\chi^2_{homog-R}$  indicates  $\chi^2$  for regional homogeneity test;  $\chi^2_{trend}$  indicates  $\chi^2$  for regional trend test; Z score indicate the average Z score for each region; ↑, ↓: upward or downward trend at 95% confidence level ( $Z_{1-\alpha}=1.645$ ); ↑, ↓: upward or downward trend at 90% confidence level ( $Z_{1-\alpha}=1.282$ ); blank: no significant trend

Table 2. Monthly Aridity Index Trends and Homogeneity of Trends in 43 Stations and Regional Homogeneity of Trends (continued)

	Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	$\alpha_{90\%}(S)=17.28$ $\alpha_{95\%}(S)=19.68$ $\chi^2_{Homog-S}$
VI	33	↓	↓		↓							↓	↓	6.895
	34	↓							↑					7.898
	35													4.742
	$\chi^2_{Homog-R}$	2.253	2.277	0.624	0.413	0.932	0.109	0.071	2.004	0.273	0.978	3.743	2.193	$\alpha_{90\%}(R)=4.61$
	$\chi^2_{Trend}$	2.210	1.902	0.777	3.035	0.662	0.038	1.902	3.429	0.769	0.015	0.203	0.391	$\alpha_{95\%}(R)=5.99$
Z score	-0.858	-0.796	-0.509	-1.006	-0.470	0.113	-0.796	1.069	0.506	-0.071	-0.260	-0.361		
VII	36			↓								↓	↓	15.422
	37				↓			↑			↓		↓	12.289
	$\chi^2_{Homog-R}$	0.198	0.000	0.456	0.278	0.184	0.053	0.078	0.283	0.030	0.301	0.261	0.120	$\alpha_{90\%}(R)=2.71$
	$\chi^2_{Trend}$	0.244	0.156	5.022	3.975	0.502	1.078	2.825	1.086	1.277	2.700	2.715	7.125	$\alpha_{95\%}(R)=3.84$
	Z score	-0.350	-0.280	-1.585	-1.410	0.501	0.734	1.188	0.737	0.799	-1.162	-1.165	-1.887	
VIII	38				↓			↑					↓	11.932
	39			↓										10.413
	40			↓	↓			↑	↑					17.698
	$\chi^2_{Homog-R}$	1.327	0.573	0.461	0.423	0.105	0.723	0.190	0.377	0.040	0.029	0.327	0.685	$\alpha_{90\%}(R)=4.61$
	$\chi^2_{Trend}$	0.038	0.319	7.569	7.495	0.100	0.076	7.204	4.508	0.824	4.390	2.170	3.323	$\alpha_{95\%}(R)=5.99$
Z score	-0.113	-0.326	-1.588	-1.581	0.183	0.159	1.550	1.226	0.524	-1.210	-0.851	-1.052		
IX	41				↓		↓		↑				↓	10.630
	42		↓	↓		↑								12.996
	43				↓			↑						12.254
	$\chi^2_{Homog-R}$	0.841	1.655	2.018	0.502	1.479	0.879	0.219	1.609	0.323	0.016	0.061	0.011	$\alpha_{90\%}(R)=4.61$
	$\chi^2_{Trend}$	0.812	1.339	5.078	8.880	2.435	2.092	2.896	1.312	1.724	1.112	3.472	4.752	$\alpha_{95\%}(R)=5.99$
Z score	-0.520	-0.668	-1.301	-1.720	0.901	-0.835	0.983	0.661	0.758	-0.609	-1.076	-1.259		

의 경우 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다.

지역 V(금강유역)는 청주(station 27) 등 6개 기후관측지점이 위치하고 있고, 이 지역은 모든 월에서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있는 것으로 나타났다. 또한 4월과 10월의 경우 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보였다. 4월의 평균 Z score는 -1.755를 보여서 95% 신뢰수준에서 지역적으로 유의한 감소추세를 보였다. 봄, 여름, 가을 그리고 겨울철 모두 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으나, 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보이지 않았다. 연별 추세의 경우 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다.

지역 VI(금강의 서부지역)은 서산(station 33) 등 3개 기후관측지점이 위치하고 있고, 이 지역은 모든 월에서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있는 것으로 나타났으며, 모든 월에서 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보이지 않았다. 봄, 여름, 가을 그리고 겨울철 모두 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 지역적 동질성이 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다. 연별 추세의

경우 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다.

지역 VII(만경, 동진강유역)은 전주(station 36)와 정읍(station 37) 기후관측지점이 위치하고 있고, 이 지역은 모든 월에서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있는 것으로 나타났다. 또한 3월, 4월, 7월, 11월, 12월의 경우 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보였다. 봄, 여름, 가을 그리고 겨울철의 경우 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다. 연별 추세의 경우 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다.

지역 VIII(섬진강 남부지역)은 여수(station 38) 등 3개 기후관측지점이 위치하고 있고, 이 지역은 모든 월에서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성을 보였다. 또한 3월, 4월, 7월의 경우 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보였으며, 90% 신뢰수준에서 3월과 4월은 감소추세, 7월은 증가추세를 보였다. 봄, 여름, 가을 그리고 겨울철의 경우 90% 신뢰수준에서 지역적으로 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으며, 봄과 여름철의 경우 각



Table 3. Seasonal Aridity Index Trends and Homogeneity of Trends in 43 Stations and Regional Homogeneity of Trends

Region	Station	Spring	Summer	Autumn	Winter	$\alpha_{90\%}(S)=6.25$ $\alpha_{95\%}(S)=7.81$ $\chi^2_{homog-S}$	Year	
I	1					1.135		
	2		↑			4.134	↑	
	3		↑		↓	8.206		
	4		↑			8.942	↑	
	5		↑		↓	11.643	↑	
	6		↑		↓	4.719		
	7	↓				3.069		
	8					0.753		
	9		↑			3.755		
	10		↑			11.309	↑	
	$\chi^2_{homog-R}$	2.428	10.932	2.621	4.247	$\alpha_{90\%}(R)=14.68$	18.442	
	$\chi^2_{trend}$	6.057	34.099	1.103	5.842		16.384	
	Z score	-0.778	1.847	0.332	-0.764	$\alpha_{95\%}(R)=16.92$	1.280	
II	11		↑		↓	10.387	↑	
	12		↑			4.540	↑	
	$\chi^2_{homog-R}$	0.600	0.001	0.035	0.882	$\alpha_{90\%}(R)=2.71$	0.001	
	$\chi^2_{trend}$	0.792	11.942	1.393	1.487		7.306	
Z score	-0.629	2.444	0.835	-0.862	$\alpha_{95\%}(R)=3.84$	1.911		
III	13		↑			8.334	↑	
	14		↑			6.916	↑	
	15		↑			2.696		
	16		↑	↑		7.010	↑	
	17		↑			5.528		
	18					1.638		
	19					2.249		
	20	↓				3.895		
	21	↓				4.649		
	22					0.793		
	23		↑			5.503		
		$\chi^2_{homog-R}$	3.032	6.343	2.989	1.341	$\alpha_{90\%}(R)=15.99$	4.796
		$\chi^2_{trend}$	9.346	26.296	1.339	6.605		3.752
Z score		-0.922	1.546	0.349	-0.775	$\alpha_{95\%}(R)=18.31$	0.584	
IV	24		↑		↓	8.986		
	25					1.272		
	26	↓			↓	7.095		
	$\chi^2_{homog-R}$	0.669	0.747	0.029	1.462	$\alpha_{90\%}(R)=4.61$	0.348	
$\chi^2_{trend}$	3.885	5.200	0.005	7.276	0.028			
Z score	-1.138	1.317	0.043	-1.557	$\alpha_{95\%}(R)=5.99$	-0.097		
V	27					4.036		
	28					0.339		
	29					2.459		
	30	↓	↑		↓	10.097		
	31					1.670		
	32					1.047		
	$\chi^2_{homog-R}$	3.278	2.413	1.521	4.439	$\alpha_{90\%}(R)=9.24$	1.512	
$\chi^2_{trend}$	9.209	2.404	0.315	3.934	1.506			
Z score	-1.239	0.633	-0.229	-0.810	$\alpha_{95\%}(R)=11.07$	-0.501		

$\alpha_{90\%}(S)$ ,  $\alpha_{95\%}(S)$ ,  $\alpha_{90\%}(R)$ , and  $\alpha_{95\%}(R)$  indicate critical values at a 90% and 95% confidence interval for seasonal and regional homogeneity test respectively;  $\chi^2_{homog-S}$  indicates  $\chi^2$  for seasonal homogeneity test;  $\chi^2_{homog-R}$  indicates  $\chi^2$  for regional homogeneity test;  $\chi^2_{trend}$  indicates  $\chi^2$  for regional trend test; Z score indicate the average Z score for each region; ↑, ↓: upward or downward trend at 95% confidence level( $Z_{1-\alpha}=1.645$ ); ↑, ↓: upward or downward trend at 90% confidence level( $Z_{1-\alpha}=1.282$ ); blank: no significant trend

Table 3. Seasonal Aridity Index Trends and Homogeneity of Trends in 43 Stations and Regional Homogeneity of Trends (continued)

Region	Station	Spring	Summer	Autumn	Winter	$\alpha_{90\%}(S)=6.25$ $\alpha_{95\%}(S)=7.81$ $\chi^2_{homog-S}$	Year
VI	33				↓	3.694	
	34		↑			1.944	
	35			↑		3.602	
	$\chi^2_{homog-R}$	0.543	1.234	2.456	5.970	$\alpha_{90\%}(R)=4.61$	2.087
	$\chi^2_{trend}$	1.902	0.944	0.976	1.792		0.713
Z score	-0.796	0.561	0.570	-0.773	$\alpha_{95\%}(R)=5.99$		-0.488
VII	36		↑			4.532	
	37	↓			↓	4.547	
	$\chi^2_{homog-R}$	0.098	0.154	0.007	0.046	$\alpha_{90\%}(R)=2.71$	0.252
	$\chi^2_{trend}$	2.502	2.871	0.244	3.780		0.150
	Z score	-1.119	1.198	0.349	-1.375		$\alpha_{95\%}(R)=3.84$
VIII	38		↑			5.060	
	39	↓	↑			6.816	
	40	↓	↑		↓	10.730	
	$\chi^2_{homog-R}$	0.315	0.068	0.178	0.661	$\alpha_{90\%}(R)=4.61$	0.163
	$\chi^2_{trend}$	6.707	12.292	0.020	3.178		1.912
Z score	-1.495	2.024	-0.081	-1.029	$\alpha_{95\%}(R)=5.99$		0.798
IX	41				↓	3.702	
	42					1.075	↓
	43	↓				4.588	
	$\chi^2_{homog-R}$	0.044	1.035	0.106	0.224	$\alpha_{90\%}(R)=4.61$	1.509
	$\chi^2_{trend}$	4.433	0.984	0.078	5.323		0.312
Z score	-1.216	0.573	0.161	-1.332	$\alpha_{95\%}(R)=5.99$		-0.323

각 유의한 감소추세와 증가추세를 보였다. 연별 추세의 경우 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다.

지역 IX(제주지역)는 제주(station 41) 등 3개 기후관측 지점이 위치하고 있고, 이 지역은 모든 월에서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으며, 지역적으로 3월, 4월, 12월에 유의한 기후 건조지수 추세를 보였다. 봄, 여름, 가을 그리고 겨울철 모두에서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 지역적 동질성이 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다. 연별 추세의 경우 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다.

### 3.2.2 시간적 동질성

43개 기후관측지점의 월별 건조지수 추세의 동질성을 90% 신뢰수준에서 분석하였다(Table 2). 분석결과에 의하면 지역 I에 위치한 기후관측지점들 중에서 station 4 ( $\chi^2_{homog-S}=19.336$ ), station 5 ( $\chi^2_{homog-S}=20.645$ )의 경우 모든 월에서  $\chi^2_{homog-S}$ 가 극한값  $\alpha_{90\%}(S)(=17.28)$ 보다 커서 90% 신뢰수준에서 월별 기후 건조지수 추세에 동질성이

있다는 가설은 기각되나, 95% 신뢰수준( $\alpha_{90\%}(S)=19.68$ )에서 판단했을 경우, Station 4의 경우 가설은 기각할 수 없었다. 건조지수 추세의 유의성을 판단했을 때 지역 I의 station 1의 경우 12월에 유의한 감소추세를 보였다. station 2의 경우 7월에서 유의한 증가추세를 보였으며, station 3의 경우는 7월과 12월에 유의한 추세를 보였다. station 4의 경우 7월에서 유의한 증가추세를 보였으며, station 5의 경우 7월과 12월에서 유의한 추세를 보였다. stations 6의 경우 3월과 12월에서 유의한 감소추세를 보였고, station 7과 8의 경우 4월에 유의한 감소추세를 보였다. station 9의 경우 7월에서 유의한 증가추세, 그리고 station 10의 경우 7월과 12월에서 유의한 추세를 보였다.

지역 II의 station 11, 지역 IV의 station 24, 지역 V의 station 30, 지역 VIII의 station 40의 경우  $\chi^2_{homog-S}$ 가 극한값  $\alpha_{90\%}(S)(=17.28)$ 보다 커서 월별 추세에 동질성이 없었다. 43개 기후관측지점의 계절별 건조지수 추세의 동질성을 90% 신뢰수준에서 분석하였다(Table 3). 분석결과에 의하면 지역 I에 위치한 stations 3, 4, 5, 10을 제외하면 다른 기후관측지점들에서  $\chi^2_{homog-S}$ 가 극한값  $\alpha_{90\%}(S)(=6.25)$ 보다 작아서 90% 신뢰수준에서 월별 기후 건조지

수 추세에 동질성이 있는 것으로 나타났으며, 이러한 기후 건조지수 추세의 동질성은 다른 지역들에서도 동일하게 나타났다.

### 3.2.3 전 지역적 동질성

전체 9개 지역을 대상으로 월별 기후 건조지수 추세의 동질성을 분석하였다(Table 4). 전체 9개 지역의 모든 월에서  $\chi^2_{\text{homog-R}}$ 이  $\alpha_{90\%}(R)=13.36$ 보다 작아서 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있는 것으로 나타났다. 또한 3월, 4월, 12월의  $\chi^2_{\text{trend}}$ 는 각각 14.581, 17.515, 17.227로서  $\alpha_{90\%}(R)=13.36$ 보다 커서 이들 월의 경우 전 지역적으로 90% 신뢰수준에서 유의한 기후 건조지수 추세를 보였으며, 4월과 12월의 경우 95% 신뢰수준( $\alpha_{95\%}(R)=15.51$ )에서 유의한 추세를 보였다. 4월과 12월의 평균 Z score는 -1.395, -1.384로서 90% 신뢰수준에서 전 지역적으로 유의한 감소추세를 보였다.  $\chi^2_{\text{homog-S}}$ 가 극한값  $\alpha_{90\%}(S)=17.28$ 보다 작아서 9개 지역의 월별 기후 건조지수 추세는 동질성이 있는 것으로 나타났다.

전체 9개 지역을 대상으로 계절별 기후 건조지수 추세의 동질성을 분석하였다(Table 5). 전체 9개 지역의 모든 계절에서 지역 2와 8을 제외하고  $\chi^2_{\text{homog-R}}$ 이  $\alpha_{90\%}(R)=6.25$ 보다 작아서 계절적으로 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성을 보였다. 여름철을 제외하고 다른 계절의  $\chi^2_{\text{trend}}$ 는  $\alpha_{90\%}(R)=13.36$ 보다 작아서 전 지역적으로 90% 신뢰수준에서 유의한 기후 건조지수 추세를 보이지 않았다. 연별 분석결과 역시  $\chi^2_{\text{homog-R}}(=5.633)$ 이  $\alpha_{90\%}(R)=$

13.36보다 작아서 전 지역적으로 90% 신뢰수준에서 기후 건조지수 추세에 동질성이 있는 것으로 나타났다. 또한  $\chi^2_{\text{trend}}(=1.314)$ 는  $\alpha_{90\%}(R)=13.36$ 보다 작아서 전 지역적으로 유의한 기후 건조지수 추세를 보이지 않았다.

Table 6은 9개 지역의 월, 계절 및 연별 건조지수 추세 결과를 바탕으로 서로 유사성을 보이는 지역을 군집분석을 통하여 군집화한 결과를 보여준다. 군집분석결과에 의하면 봄철과 겨울철의 경우 지역 VIII이 다른 지역과 다른 건조지수 추세를 보이는 것으로 분류되었다. 연별의 경우 지역 I, II가 유사한 건조지수 추세를 보이는 것으로 분류되었고, 지역 III, VII, VIII이 유사한 추세를 보이는 군집으로 분류되었으며, 지역 IV, V, VI, IX가 유사한 추세를 보이는 군집으로 분류되었다.

## 4. 요약 및 결론

우리나라 전국 43개 기후관측지점을 9개 지역으로 구분하여 기후 건조지수 추세가 이들 9개 각 지역과 전체 9개 지역에 대해서 시간적(월, 계절 및 연별) 및 지역적으로 동질성이 있는지를 파악하였다. 주요 연구결과에 대한 요약 및 결론은 다음과 같다.

- 1) 한강유역은 7월에 유의한 기후 건조지수 증가 추세를 보였으나 12월은 유의한 감소추세를 보였다. 계절별로 기후 건조지수 추세는 동질성이 있으나 여름철만이 유의한 증가추세를 보였고, 연별의 경우 추세에 동질성이 있으면서 유의한 증가추세를 보였다.

Table 4. Monthly Aridity Index Trends and Homogeneity of Trends in 9 Regions

Region	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	$\alpha_{90\%}(S)=17.28$ $\alpha_{95\%}(S)=19.68$ $\chi^2_{\text{homog-S}}$
I							↑					↓	9.491
II							↑					↓	11.299
III			↓	↓			↑					↓	10.099
IV			↓	↓						↓		↓	14.878
V				↓									8.393
VI													3.904
VII			↓	↓								↓	12.848
VIII			↓	↓			↑						11.849
IX			↓	↓									9.327
$\chi^2_{\text{homog-R}}$	0.574	0.862	1.240	1.062	1.606	3.398	5.929	0.997	0.181	2.377	2.342	2.061	$\alpha_{90\%}(R)=13.36$ $\alpha_{95\%}(R)=15.51$
$\chi^2_{\text{trend}}$	0.758	1.197	14.581	17.515	2.104	0.391	11.010	5.237	3.970	5.664	3.985	17.227	
Z score	-0.290	-0.365	-1.273	-1.395	0.483	0.208	1.106	0.763	0.664	-0.793	-0.665	-1.384	

$\alpha_{90\%}(S)$ ,  $\alpha_{95\%}(S)$ ,  $\alpha_{90\%}(R)$ , and  $\alpha_{95\%}(R)$  indicate critical values at a 90% and 95% confidence interval for monthly and regional homogeneity test respectively;  $\chi^2_{\text{homog-S}}$  indicates  $\chi^2$  for monthly homogeneity test;  $\chi^2_{\text{homog-R}}$  indicates  $\chi^2$  for regional homogeneity test;  $\chi^2_{\text{trend}}$  indicates  $\chi^2$  for regional trend test; Z score indicate the average Z score for each region; ↑, ↓: upward or downward trend at 95% confidence level( $Z_{1-\alpha}=1.645$ ); ↑, ↓: upward or downward trend at 90% confidence level( $Z_{1-\alpha}=1.282$ ); blank: no significant trend

Table 5. Seasonal Aridity Index Trends and Homogeneity of Trends in 9 Regions

Rigion	Spring	Summer	Autumn	Winter	$\alpha_{90\%}(S)=6.25$ $\alpha_{95\%}(S)=7.81$ $\chi^2_{homog-S}$	Year
I		↑			4.609	
II		↑			7.009	↑
III		↑			3.953	
IV		↑		↓	5.009	
V					1.967	
VI					1.823	
VII				↓	4.475	
VIII	↓	↑			7.314	
IX				↓	2.784	
$\chi^2_{homog-R}$	0.604	3.701	0.860	0.767	$\alpha_{90\%}(R)=13.36$	5.633
$\chi^2_{trend}$	9.675	16.380	0.603	9.563		1.314
Z score	-1.037	1.349	0.259	-1.031	$\alpha_{95\%}(R)=15.51$	0.382

$\alpha_{90\%}(S)$ ,  $\alpha_{95\%}(S)$ ,  $\alpha_{90\%}(R)$ , and  $\alpha_{95\%}(R)$  indicate critical values at a 90% and 95% confidence interval for seasonal and regional homogeneity test respectively;  $\chi^2_{homog-S}$  indicates  $\chi^2$  for seasonal homogeneity test;  $\chi^2_{homog-R}$  indicates  $\chi^2$  for regional homogeneity test;  $\chi^2_{trend}$  indicates  $\chi^2$  for regional trend test; Z score indicate the average Z score for each region; ↑, ↓: upward or downward trend at 95% confidence level ( $Z_{1-\alpha}=1.645$ ); ↑, ↓: upward or downward trend at 90% confidence level ( $Z_{1-\alpha}=1.282$ ); blank: no significant trend

Table 6. Cluster Memberships of Aridity Index Trends in 9 Regions

Region	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Spr.	Sum.	Aut.	Win.	Year
I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
II	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1
III	1	2	1	1	3	2	1	2	3	1	3	1	1	2	1	1	2
IV	1	3	3	3	3	1	1	3	3	3	3	2	2	2	3	2	3
V	1	2	1	1	3	3	1	2	1	3	3	1	2	3	3	1	3
VI	2	3	2	2	1	2	3	2	1	2	1	3	1	3	1	1	3
VII	1	2	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	1	2	2
VIII	1	2	3	3	3	2	1	2	1	3	3	1	3	1	3	3	2
IX	3	3	1	1	3	3	1	1	3	1	3	1	2	3	3	2	3

Spr.: spring; Sum.: summer; Aut.: autumn; Win.: winter

- 2) 한강의 서부지역은 7월에 유의한 기후건조지수 증가추세를, 12월은 유의한 감소추세를 보였다. 계절별로 기후 건조지수추세는 동질성이 있으나 여름철만이 유의한 증가추세를 보였고, 연별의 경우 추세에 동질성이 있으면서 유의한 증가추세를 보였다.
- 3) 낙동강유역은 7월에 유의한 기후 건조지수 증가추세를, 3월, 4월, 12월은 유의한 감소추세를 보였다. 계절별로 기후 건조지수추세는 동질성이 있으나, 여름철만이 유의한 증가추세를 보였고, 연별의 경우 추세의 동질성은 있으나 유의한 추세를 보이지 않았다.
- 4) 낙동강 동부지역은 4월, 10월, 12월에 유의한 기후 건조지수 감소추세를 보였고, 금강유역은 4월에 지역적으로 기후 건조지수 감소추세를 보였다. 금강의 서부지역은 모든 월에서 유의한 기후 건조지수 추세를 보이지 않았으며, 만경, 동진강유역은 3월, 4월,

- 12월에 유의한 기후 건조 지수 감소추세를 보였다.
- 5) 섬진강 남부지역은 7월에 유의한 기후 건조지수 증가추세, 3월과 4월은 유의한 감소추세를 보였으며, 제주지역은 3월과 4월에서 유의한 기후 건조지수 감소추세를 보였다. 또한 이들 지역들의 경우 계절별 및 연별 모두 기후 건조지수추세의 동질성은 있으나, 유의한 추세를 보이지 않았다.
- 6) 전체 9개 지역을 대상으로 시간적(월별, 계절별, 연별), 지역적 기후 건조지수 추세의 동질성을 분석한 결과 지역 II와 VIII에서 계절별로 건조지수 추세의 동질성이 없는 것으로 나타났으나, 다른 지역의 경우 동질성이 있는 것으로 나타났다.
- 7) 전체 9개 지역의 건조지수추세를 대상으로 군집분석을 실시한 결과 월별, 계절별 및 연별로 각 지역이 서로 다른 건조지수 추세의 유사성을 보였다.

분석결과에 의하면 9개 각 지역과 전체 9개 지역에서 기후 건조지수 추세는 시간(월별, 계절별, 연별) 및 지역적으로 동질성이 있는 것으로 나타났으나, 추세의 동질성 정도 및 추세 정도는 시간 및 지역적으로 다른 양상을 보였는데, 이는 계절 및 지역별로 강수량변화와 기온변화에 따른 잠재증발산량 변화의 차이에 따른 것으로 판단되며, 기후요소변화와 건조지수추세와의 상관성분석은 추후 추가 연구가 필요하다. 또한 효율적 수자원관리를 위해서 시간(월, 계절 그리고 연별)적 및 지역적으로 기후변화(강수량변화와 기온변화에 따른 증발산량 변화) 특성을 반영한 수자원관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## References

- Ahani, H., Kherad, M., Kousari, M.R., Roosmalen, L.V., Aryanfar, R., and Hosseini, S.M. (2013). "Non-parametric trend analysis of the aridity index for three large arid and semi-arid basins in Iran." *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 112, No. 3-4, pp. 553-564.
- Allen, R.G., Peretira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998) *Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements*. FAO irrigation and drainage paper 56, FAO, ISBN 92-5-104219-5.
- Gilbert, R.O. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold, NewYork.
- Gong, L., Xu, C.Y., Chen, D., Halldin, S., and Chen, Y.D. (2006). "Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin." *J. of Hydrology*, Vol. 329, pp. 620-629.
- Hargreaves, G.H., and Samani, Z.A. (1985). "Reference crop evapotranspiration from temperature." *Appl. Engr. Agric.*, Vol. 1, No. 1, pp. 96-99.
- IPCC (2007a). *Climate change 2007: the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press: Cambridge.
- IPCC (2007b). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press: Cambridge.
- Jones, P.D., and Reid, P.A. (2001). "Temperature trends in regions affected by increasing aridity/humidity." *Geophysical Research Letters*, Vol. 28, No. 20, pp. 3919-3922.
- Kafle, H., and Bruins, H. (2009). "Climatic trends in Israel 1970-2002: warmer and increasing aridity inland." *Climatic Change*, Vol., 96, pp. 63-77.
- Khalili, D., Farnoud, T., Jamshidi, H., Kamgar-Haghighi, A.A., and Zand-Parsa, S.H. (2011). "Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones." *Water Resources Management*, Vol. 25, pp. 1737-1757.
- Lee, J., and Kim, G. (2012). "Evaluation the climate influence during El Nino and La Nina periods of aridity index, precipitation effectiveness and runoff in basins." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 54, No. 4, pp. 115-125.
- Liu, X., Zhang, D., Luo, Y., and Liu, C. (2013). "Spatial and temporal changes in aridity in northwest China: 1960 to 2010." *Theor. Appl. Climatol.*, Vol. 112, pp. 307-316.
- Park, Y., Choi, D., Kim, J., and Kim, S. (2013). "The effect analysis of climate and watershed characteristics on precipitation partitioning in Nakdong river basin." *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 6, pp. 423-428.
- Penman, H.L. (1948). "Natural evaporation from open water, bare soil, and grass." *Proc. Roy. Soc. London*, Vol. A193, pp. 120-146.
- Rim, C.-S., and Kim, S.-Y. (2013). "Analysis for the regional characteristics of climatic aridity condition in May." *J. Korea Water Resources Association*, Vol. 46, No. 6, pp. 613-627.
- Some'e B.S., Ezani, A., and Tabari, H. (2013). "Spatio-temporal trends of aridity index in arid and semi-arid regions of Iran." *Theor. Appl. Climatol.*, Vol. 111, pp. 149-160.
- Suliman, H.M., and Elagib, N.A. (2012). "Implications of climate, land-use and land-cover changes for pastoralism in eastern Sudan." *Journal of Arid Environments*, Vol. 85, pp. 132-141.
- Tabari, H., and Aghajano, M.-B. (2013). "Temporal pattern of aridity index in Iran with considering

- precipitation and evapotranspiration trends." *International Journal of Climatology*, Vol. 33, No. 2, pp. 396-409.
- Thornthwaite, C.W. (1948). "An approach towards a rational classification of climate." *Geogr. Rev.*, Vol. 38, pp. 55-94.
- Trajkovic, S. (2005). "Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration." *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 131, No. 4, pp. 316-323.
- Tsakiris, G., and Vangelis, H. (2004). "Towards a drought watch system based on spatial SPI." *Water Resources Management*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-12.
- UNEP (1992). *World Atlas of Desertification*.
- UNESCO (1979). *Map of the world distribution of arid regions: explanatory note*. MAP Technical Notes 7, UNESCO: Paris, 54.
- Van Belle, G. and Hughes J.P. (1984). "Nonparametric tests for trend in water quality." *Water Resources Research*, Vol. 20, pp. 127-136.
- Yunhe, Y., Shaohong, W., Du, Z., and Qingye, Y. (2005). "Regional difference of aridity/humidity conditions change over China during the last thirty years." *Chinese Science Bulletin*, Vol. 50, No. 19, pp. 2226-2233.

논문번호: 14-041	접수: 2014.05.26
수정일자: 2014.06.11/06.22/ 06.24/07.08	심사완료: 2014.07.08