

5월 기후 건조현상의 지역별 특성 분석

Analysis for the Regional Characteristic of Climatic Aridity Condition in May

임 창 수* / 김 성 엽**

Rim, Chang-Soo / Kim, Seong-Yeop

Abstract

In this study, to understand the May aridity condition of each region for the year of the worst drought on record in each duration (1-, 3-, 6-, 12-, 24 months), monthly climate data recorded from 1973 to 2006 at 53 climatological stations in South Korea were used to estimate the FAO Penman-Monteith reference potential evapotranspiration (RET). Monthly precipitation and RET were used to estimate P/RET as aridity index and variation index (VI) of P/RET, and these indexes are compared with SPI (Standard Precipitation Index). Fifty three climatological stations were grouped into 20 regions, so that May aridity conditions of 20 regions were studied. Furthermore, regional trend of May aridity index was studied by applying Mann-Kendall trend analysis, Spearman rank test, and Sen's slope estimator. The study results show that variation index (VI) of P/RET and SPI have close correlation. Throughout the country, as the duration is shorter, May aridity was more severe. In case of 3-month and 6-month duration, most of region show significant or non-significant decreasing trend of aridity index. However, no region show significant decreasing trend of aridity index in case of 12-month and 24-month duration.

Keywords : aridity index, drought, precipitation, evapotranspiration, trend analysis

요 지

본 연구에서는 지속기간별(1-, 3-, 6-, 12-, 24개월)로 가장 가뭄이 심한 해의 5월 건조현상을 지역별로 분석하기 위해 1973년부터 2006년까지 우리나라 53개 기후관측지점에서 관측된 월별 기후자료를 이용하여 FAO Penman-Monteith 기준잠재증발산량(RET)을 산정하였다. 그리고 강수량(P)에 대한 RET의 비(P/RET)를 이용하여 건조지수(aridity index)와 P/RET의 변동지수(variation index, VI)를 산정하고, 표준강수지수(standard precipitation index, SPI)와 비교하였다. 우리나라 지역별 건조현상을 파악하기 위해 53개 기후관측지점을 20개 연구지역으로 구분하여 분석하였다. 또한 지역별 건조지수의 추세분석을 위해 Mann-Kendall 추세분석, Spearman rank test 그리고 Sen's slope를 적용하였다. 분석 결과에 의하면 각 지속기간별로 P/RET의 변동지수(VI)와 표준강수지수사이에 양호한 상관관계를 보였다. 또한 우리나라 전역에 걸쳐서 지속기간이 단기화 될수록 5월 기후가 더욱 건조한 것으로 나타났다. 3개월이나 6개월 지속기간의 경우 대부분 지역에서 유의하거나 혹은 유의하지 않은 수준에서 건조지수의 감소추세를 보였다. 반면에 12개월 및 24개월 지속기간의 경우 유의한 건조지수의 감소추세를 보이는 지역은 없는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 건조지수, 가뭄, 강수, 증발산, 추세분석

* 교신저자, 경기대학교 공과대학 토목공학과 부교수 (e-mail: csrim@kgu.ac.kr, Tel: 031-249-9740)

Corresponding Author, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, San 94-6, Iui-dong, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 443-760, Korea

** 경기대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 (e-mail: Jinkiss123@naver.com)

Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, San 94-6, Iui-dong, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 443-760, Korea

1. 서론

가뭄은 인류의 삶과 재산에 피해를 주는 가장 심각한 자연재해 중의 하나이다. 가뭄은 강수량이 많은 지역이나 혹은 강수량이 적은 지역 모두에서 강수량과 증발산량의 차이에 따라서 발생할 수 있다. 최근 연구결과에 따르면 1970년대 이후 산업화 및 도시화에 의해서 발생한 온실가스는 지구온난화와 같은 심각한 기후변화를 초래하였다(Karl and Trenberth, 2003; IPCC, 2007a, 2007b; Andeighetti et al., 2009; Chen et al., 2011). 따라서 기후변화에 따른 지역의 가뭄정도를 이해하고 가뭄추세를 분석하여 가뭄에 적절하게 대처하는 방안이 필요하다.

과거 많은 연구자들에 의해서 가뭄정도를 지수화하여 가뭄현상을 분석하려는 연구가 수행되었다(Palmer, 1965; Gibbs and Mather, 1967; Palmer, 1968; Shafer and Dezman, 1982; McKee et al. 1993). 또한 가뭄지수의 적용성을 평가하기 위한 비교분석이 국내외에서 수행된 바 있다(Quiring and Papakryiakou, 2003; Guttman, 2007; Mavromatis, 2007; Kim and Lee, 2011; Lee and Kim, 2011). McKee et al. (1993)은 여러 다른 가뭄기간에 대한 가뭄정도를 파악하는 데 적용할 수 있는 표준강수지수를 제안하였으며, 최근에는 많은 나라에서 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)를 가뭄정도를 산정하기 위한 방법으로 적용한 바 있다(Hayes et al., 1999; Vicente-Serrano et al., 2004; Wilhite et al., 2005; Wu et al., 2006; Silva et al., 2008; Gouveia et al., 2009; Subash and Ram Mohan, 2011). 국내에서는 기상청, 소방방재청, 한국수자원공사, 한국농어촌공사 등에서 표준강수지수를 적용하여 가뭄현황에 대한 정보를 제공하고 있다. 표준강수지수 적용과 관련된 국내연구로는 Kim et al. (2006)이 가뭄과 지하수위와의 상관성을 평가하기 위해 표준강수지수를 적용한 바 있다. Guttman (2007)은 Palmer 가뭄지수와 표준강수지수의 비교분석을 통하여 표준강수지수의 적용성을 입증한 바 있다. Lee and Kim (2011)은 가뭄사상의 정량적 평가를 위해 표준강수지수를 이용한 빈도해석을 실시한 바 있다.

표준강수지수의 경우 강수량에 기초한 지역의 기후학적 가뭄정도를 나타내는 지수이다. 하지만 가뭄현상에 영향을 미치는 핵심요소인 강수량과 아울러 다른 기후요소들(강한 풍속, 높은 기온이나 상대습도)도 가뭄현상에 영향을 미친다. 또한 이들 기후요소는 증발산량과 밀접한 연관이 있어서, 지역의 기후조건이 가뭄에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 강수뿐만 아니라 증발산의 영향을 동

시에 고려할 필요가 있다(Zheng, 2000; Wu et al., 2002). 따라서 강수량과 잠재증발산량의 상대적인 비를 이용하여 지역의 건조현상을 파악할 수 있으며, 이는 UNESCO (1979)와 UNEP (1992)에 의해서 추천된 바 있다(Cooke et al., 1993; Wolfe, 1997). 과거 연구결과에 의하면 단지 강수량만을 기준으로 가뭄정도를 파악하는 것보다 잠재증발산량을 고려하여 가뭄정도를 파악하는 것이 더욱 현실성이 있고, 기후변화영향을 반영할 수 있는 것으로 나타났다(Tsakiris and Vangelis, 2004; Khalili et al., 2011). Livada and Assimakopoulos (2007)에 의하면 월별 분석결과 SPI와 건조지수 사이에는 통계적으로 유의한 지수적 상관성을 보이는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 우리나라 5월 건조현상을 지역별로 분석하기 위해 53개 기후관측지점을 20개 지역으로 구분하여 지역별 건조지수와 가뭄지수를 비교 분석하였고, 지역별 건조지수의 추세분석을 실시하였다. 지구온난화와 함께 가뭄정도가 심화되는 현상은 전 세계적으로 나타나고 있어서, 본 연구결과는 적절한 토지이용 정책뿐만 아니라 수자원 관리 차원에서 유용하게 활용될 수 있다.

2. 연구방법

본 연구에서는 지속기간별(1-, 3-, 6-, 12-, 24개월)로 가장 가뭄이 심한 해의 5월 건조현상을 지역별로 분석하기 위해 강수량(P)에 대한 기준잠재증발산량(RET)의 비(P/RET)를 이용한 건조지수와 P/RET의 변동지수(variation index, VI)를 산정하고, 이들 지수를 표준강수지수(standard precipitation index, SPI)와 비교분석하였다. 지역별 지수는 지역에 속해있는 기후관측소에 대한 지수값을 산술 평균하여 산정하였다. 또한 지역별 건조지수의 추세분석을 실시하였으며, 이를 위해 Mann-Kendall 추세분석, Spearman rank test 그리고 Sen's slope method를 적용하였다.

2.1 연구지역 및 자료

본 연구를 위해 수문기후자료의 경우 전국 53개 기후관측지점에서 1973년부터 2006년까지의 월평균 강수량, 기온, 풍속, 일사량, 상대습도자료를 수집하였으며, 기후자료를 이용하여 FAO Penman-Monteith 기준잠재증발산량을 산정하였다. 본 연구에서는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 권역별 기상관측소 구분기준을 참고하여 53개 기후관측소 지점들을 20개 지역으로 구분하고, 우리나라 지역별 기후 건조현상을 파악하

였다. Table 1은 지역별 53개 기후관측지점의 분포를 보여준다.

2.2 Penman-Monteith 기준잠재증발산식

기준잠재증발산량은 Allen et al. (1998)에 의해서 제안된 Eq. (1)을 적용하였다.

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

여기서, RET =기준잠재증발산량(mm/day), T_a =2m 높이에서 일평균기온 ($= \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$, °C), T_{max} =일 최고기온(°C), T_{min} =일 최저기온(°C), u_2 =2m 높이에서 풍속(m/s), Q_n =순방사(MJ/m²/day), Q_g =토양열 유동밀도(MJ/m²/

day), e_s =포화증기압(kPa), e_a =실제증기압(kPa), $(e_s - e_a)$ =대기의 포화증기압 부족량(kPa), Δ =포화증기압과 온도곡선의 기울기(kPa/°C), γ =건습계 상수(kPa/°C)이다. 일별 토양열 유동밀도는 미미하여 계산에서 제외하였다.

2.3 강수량/증발산량 변화분석

연구지역의 건조 및 습윤상태의 변화를 판단하기 위해서 강수량(P)에 대한 기준잠재증발산량(RET)의 비(P/RET)를 이용하여 건조지수(aridity index)를 계산하였다. 건조지수는 여러 가지 기후요소에 근거하여 특정 지역기후의 건조정도를 수치화해서 나타낸 지수이다. 또한 건조지수(P/RET)에 대한 변동지수(VI)를 다음 Eq. (2)로서 산정하였다(Oguntunde et al., 2006). Jones and Reid (2001)는 건조지역을 건조지수가 0.5보다 작은 지역으로 한정하였으며, 습윤지역의 경우 건조지수가 2.0보다 큰 지역이라

Table 1. Climatological Stations Located in Each Region

Region (No.)	Station (No.)
Han River (1)	Daegwallyeong (2), Chuncheon (3), Seoul (4), Wonju (6), Chungju (8), Yangpyeong (29), Icheon (30), Inje (31), Hongcheon (32), Jecheon (33)
Ansung Stream (2)	Suwon (7)
The west of Han River (3)	Incheon (5), Ganghwa (28)
The east of Han River (4)	Sokcho (1)
Nakdong River (5)	Daegu (16), Jinju (27), Yeongju (45), Uiseong (47), Gumi (48), Yeongcheon (49), Geochang (50), Hapcheon (51), Miryang (52), Sancheong (53)
Taewha River (6)	Ulsan (18)
Hoeya and Suyong Streams (7)	Busan (20)
The east of Nakdong River (8)	Ulsan (10), Pohang (14), Yeongdeok (46)
The south of Nakdong River (9)	Tongyeong (21)
Geum River (10)	Cheongju (11), Daejeon (12), Chupungnyeong (13), Boeun (34), Buyeo (37), Geumsan (38)
Sapgyo Stream (11)	Chonan (35)
The west of Geum River (12)	Seosan (9), Gunsan (15), Boryeong (36)
Mangyeong and Dongjin Rivers (13)	Jeonju (17), Jeongeup (40)
Sumjin River (14)	Imsil (39)
The south of Sumjin River (15)	Yeosu (23), Wando (24), Goheung (43)
Youngsan River (16)	Gwangju (19)
Tamjin River (17)	Jangheung (41)
The south of Youngsan River (18)	Haenam (42)
The west of Youngsan River (19)	Mokpo (22)
Jeju (20)	Jeju (25), Seogwipo (26), Seongsanpo (44)

고 한정하였다.

$$VI_i = (X_i - \mu) / \sigma \quad (2)$$

여기서, VI_i 는 해당기간 i 에 대한 변동지수, X_i 는 해당기간 i 에 대한 P/RET, μ 와 σ 는 연구기간 동안의 해당기간 i 에 대한 P/RET의 평균과 표준편차이다.

2.4 표준강수지수

본 연구에서는 가뭄지수로서 McKee et al. (1993)에 의해서 제안된 방법인 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)를 적용하였다. 표준강수지수 산정을 위해 우선 분석에 사용되는 강수량자료의 빈도분포를 Thom (1966)에 의해서 추천된 2변수 gamma 확률밀도함

수에 맞추어 매개변수를 산정하고, 산정된 매개변수를 이용하여 각 변량에 대한 누적확률을 산정한 후 산정된 누적확률을 이용하여 표준정규분포에서 동일한 누적확률을 갖는 표준화변수 Z값을 구하였으며, 그 Z값이 SPI에 해당된다. 표준강수지수(SPI)가 -2 이하이면 극심한 가뭄, -1.5~-1.99이면 심각한 가뭄, -1.0~-1.49이면 보통 가뭄, 0~-0.99이면 약한 가뭄으로 정의된 바 있다(McKee et al., 1993).

2.5 Mann-Kendall 추세분석

건조지수 추세를 알아보기 위하여 Mann-Kendall 추세 분석을 실시하였으며, Mann-Kendall 통계치는 Eq. (6)으로 구할 수 있다.

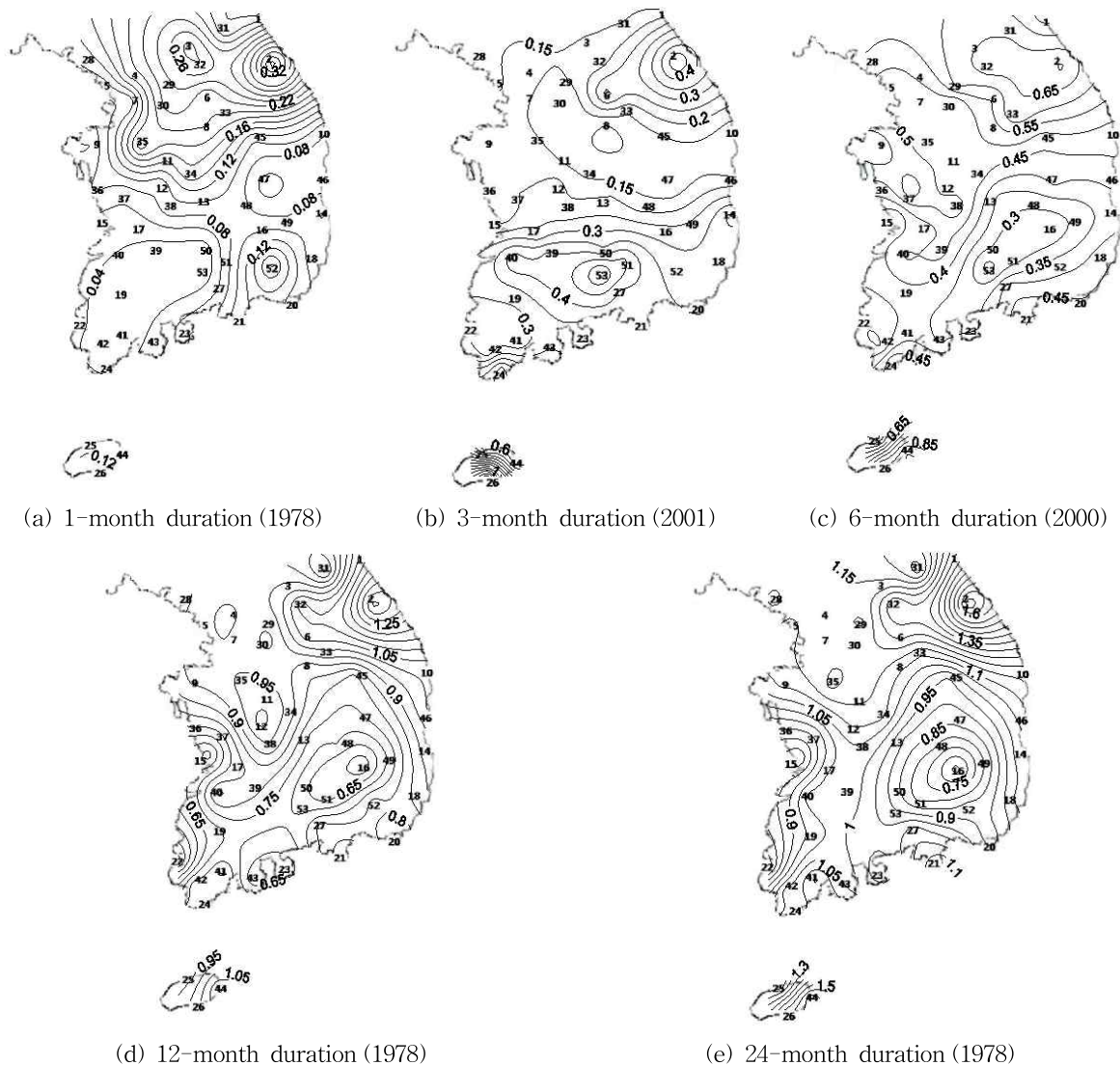


Fig. 1. Spatial Distribution of May Aridity Index (P/RET) according to Each Duration

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_j - x_k) &= 1 \text{ if } x_j - x_k > 0 \\ &= 0 \text{ if } x_j - x_k = 0 \\ &= -1 \text{ if } x_j - x_k < 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (4)$$

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

$$\begin{aligned} Z &= \frac{S-1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}} \text{ if } S > 0 \\ &= 0 \text{ if } S = 0 \\ &= \frac{S+1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}} \text{ if } S < 0 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, x_j 와 x_k 는 관측점에서 측정된 j 번째와 k 번째 시기의 관측값이고 q 는 같은 값을 가지는 자료 수이고, t_p 는 p 번째 계열의 자료수이다.

2.6 Spearman 순위상관분석

변수 값이 극단적인 분포를 보이는 경우 Pearson의 상관관계 대신 Spearman의 순위상관분석을 사용할 수 있고, 이 경우 변수의 정규성분포가정이 필요하지 않으며, 상관계수의 값은 -1.00~1.00 사이의 값을 갖는다.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (7)$$

여기서, ρ 는 Spearman 순위 상관계수, d_i 는 각기 다른 자료들의 순위 간 차이, n 은 자료들의 수이다.

2.7 Sen's slope method

Sen (1968)은 이상치 자료가 존재하거나, 자료가 부족한 경우 단위시간당 변화를 산정하는 방법을 다음 Eq. (8)과 같이 제안하였다.

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{X_j - X_i}{j - i}\right) \quad i < j \quad (8)$$

여기서, X_j 와 X_i 는 관측점에서 측정된 j 번째와 i 번째 시기의 관측값이고, β 는 산정된 경사이다.

3. 분석결과

3.1 지역별 강수량/증발산량, 표준강수지수(SPI) 분포분석

전국 53개 기후관측지점에 대해서 각 지속기간(1-, 3-, 6-, 12-, 24개월)에 따른 5월의 표준강수지수를 분석한 결과에 의하면, 1개월 지속기간의 경우 전국적으로 1978년이 가장 가뭄이 심했다. 3개월 지속기간의 경우 2001년이 가장 가뭄이 심했으며, 6개월 지속기간의 경우 2000년이 가장 가뭄이 심했다. 12개월과 24개월 지속기간의 경우 두 지속기간 모두에서 1978년이 가장 가뭄이 심한 것으로 나타났다(Rim, 2012). Fig. 1은 53개 기후관측지점의 1, 3, 6, 12, 24개월 지속기간에 따른 5월 건조지수분포를 보여 준다. 1978년 5월의 1개월 지속기간 건조지수분포를 보면 호남지역에서 건조지수가 작은 값을 보인 반면에 강원도 지역에서는 상대적으로 큰 값을 보여서, 다른 지역보다 호남지역에서 보다 건조한 기후상태를 보이는 것으로 나타났다. 2001년 5월의 3개월 지속기간 건조지수분포를 보면 중부내륙지역을 중심으로 보다 건조한 기후상태를 보이는 것으로 나타났다. 2000년 5월의 6개월 지속기간 건조지수분포를 보면 경남내륙지역을 중심으로 보다 건조한 기후상태를 보이고 있으며, 1978년 5월의 12개월 지속기간 건조지수분포를 보면 경남내륙과 전남해안지역에서 보다 건조한 기후상태를 보였고, 1978년 5월의 24개월 지속기간 건조지수분포를 보면 경남내륙지역을 중심으로 보다 건조한 기후상태를 보였다.

기후 관측지점별로 건조지수분포를 분석한 바에 의하면 1개월 지속기간(1978년)의 경우 관측지점 53(산청)에서 가장 작은 건조지수(=-0.02)를 보여서 가장 건조한 기후조건을 보였다. 반면에 관측지점 2(대관령)에서 가장 큰 건조지수(=0.39)를 보여서 가장 습윤한 기후조건을 보였다. 3개월 지속기간(2001년)의 경우 관측지점 7(수원)에서 건조지수가 0.08을 보여서 가장 건조한 기후조건을 보였고, 반면에 관측지점 44(성산포)에서 건조지수 0.64를 보여서 가장 큰 건조지수를 보였다. 6개월 지속기간(2000년)의 경우 관측지점 53(산청)에서 가장 작은 건조지수(=-0.25)를 보였고, 반면에 관측지점 44(성산포)에서 건조지수 0.88을 보여서 가장 큰 건조지수를 보였다. 12개월 지속기간(1978년)의 경우 관측지점 21(통영)에서 가장 작은 건조지수(=-0.43)를 보였고, 반면에 관측지점 2(대관령)에서 건조지수 1.42를 보여서 가장 큰 건조지수를 보였다. 24개월 지속기간(1978년)의 경우 관측지점 16에서 가장 작은 건조지수(=0.62)를 보여서 가장 건조한 기후현상

을 보였고, 관측지점 2(대관령)에서 가장 큰 건조지수(=1.74)를 보여서 가장 습윤한 기후현상을 보였다. 1978년 5월의 1개월 지속기간, 12개월 지속기간 그리고 24개월 지속기간을 비교할 경우 지속기간이 짧은 경우가 지속기간이 긴 경우보다 건조지수가 작아서, 기후관측지점의 기후조건이 더 건조한 것을 알 수 있다. 지점 2(대관령)의 경우 다른 기후관측지점과 비교하여 1, 12 그리고 24개월 지속기간에서 가장 큰 건조지수를 보여서 상대적으로 습윤한 기후상태를 보이는 것으로 나타났다.

지속기간별로 5월의 지역별 평균 강수량(P), 기준잠재 증발산량(RET), 건조지수(P/RET), 건조지수의 변동지수(VI) 그리고 표준강수지수(SPI)를 산정하고 이들 지표의 지역별 분포를 비교분석하였다(Table 2, Fig. 2). 지역별 지수는 지역에 속해있는 기후관측소에 대한 지수값을 산술평균하여 산정하였다. 각 지역별 건조지수는 1개월 지속기간의 경우 지역 17(Tamjin River)이 가장 작았고, 3개월 지속기간의 경우 지역 3(The west of Han River), 6개월 지속기간의 경우 지역 18(The south of Youngsan River), 12개월과 24개월 지속기간의 경우 지역 19(The west of Youngsan River)에서 가장 작은 건조지수를 보였다. Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 동일한 해라 할지라도 지속기간이 긴 경우(예를 들어 24개월 지속기간)가 지속기간이 짧은 경우(1개월 지속기간)에 비해서 대부분의 지역에서 지역별 5월 건조지수(P/RET)가 비교적 큰 것으로 나타났다. 다른 지역과 비교하여 지역 19(The west of Youngsan River)의 경우 긴 지속기간(24개월 지속기간)과 짧은 지속기간(1개월 지속기간)사이의 건조지수의 차이가 가장 작은 것으로 나타났다.

1개월 지속기간에 대한 건조지수의 경우, 지역 1(Han River)과 지역 11(Sapgyo Stream)을 제외한 대부분의 지

역에서 대략 0.2 이하의 수치를 보이고 있으나, 24개월 지속기간의 경우 지역 19(The west of Youngsan River)를 제외한 대부분의 지역에서 0.8 이상의 값을 보였다. 특히 20개 지역 중에서 지역 1을 포함한 14개 지역에서 1.0 이상의 건조지수 값을 보였다. 따라서 1개월 지속기간의 경우 대부분의 지역에서 강수량 대비 증발산량이 작게 나타나서 심각하게 건조한 기후현상을 보인 반면에 24개월 지속기간의 경우 대부분의 지역에서 강수량 대비 증발산량이 크게 나타났다. 1978년에 지역 17(Tamjin River)에서 건조지수가 0.026을 보여서 가장 작은 수치를 보였으며, 건조지수의 변동지수는 지역 13(Mangyeong and Dongjin Rivers)에서 -1.81을 보여서 가장 작았고, 표준강수지수는 지역 14(Sumjin River)에서 -3.64를 보여서 가장 작았다.

3개월 지속기간의 경우 2001년에 지역 3(The west of Han River)에서 건조지수가 가장 작은 수치를 보였으며(=-0.143), 건조지수의 변동지수는 지역 1(Han River)에서 가장 작았고(=-2.01), 표준강수지수는 지역 3(The west of Han River)에서 가장 작은 수치(=-3.04)를 보여서 건조지수와 표준강수지수 모두에서 지역 3이 가장 건조한 기후특성을 보이는 것으로 나타났다. 반면에 건조지수, 건조지수의 변동지수 그리고 표준강수지수 모두에서 지역 20(Jeju)이 가장 덜 건조한 기후조건을 보였다. 6개월 지속기간의 경우 2000년 5월에 지역 18(The south of Youngsan River)에서 건조지수가 0.288로서 가장 작은 수치를 보였으며, 건조지수의 변동지수는 지역 14(Sumjin River)에서 -2.07로서 가장 작았고, 표준강수지수는 지역 18(The south of Youngsan River)에서 -2.7로서 가장 작은 수치를 보였다. 따라서 지역 18이 가장 건조한 기후조건을 보이는 것으로 나타났다.

12개월 지속기간의 경우 지역 19(The west of Youngsan

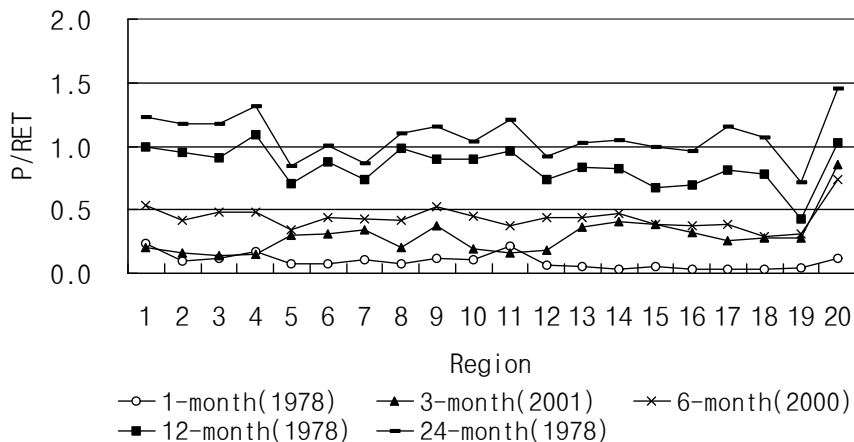


Fig. 2. Regional Comparison of May Aridity Index (P/RET) according to Each Duration

Table 2. Regional Average Precipitation, Evapotranspiration, Aridity Index (P/RET), P/RET (VI), and SPI in May according to Each Duration

Region	P (mm/month) RET (mm/month)					Aridity Index (P/RET)					P/RET (VI)					SPI				
	duration (month) Year					duration (month) Year					duration (month) Year					duration (month) Year				
	1 1978	3 2001	6 2000	12 1978	24 1978	1 1978	3 2001	6 2000	12 1978	24 1978	1 1978	3 2001	6 2000	12 1978	24 1978	1 1978	3 2001	6 2000	12 1978	24 1978
1	0.98 4.13	0.57 2.98	1.01 1.89	2.43 2.45	2.88 2.36	0.240	0.196	0.536	0.999	1.227	-1.19	-2.01	-1.03	-1.48	-1.06	-1.44	-2.85	-1.29	-1.70	-1.35
2	0.38 3.86	0.45 2.88	0.78 1.85	2.27 2.39	2.65 2.26	0.098	0.156	0.421	0.950	1.173	-1.28	-1.87	-1.40	-1.91	-1.61	-2.2	-2.74	-1.77	-2.04	-1.81
3	0.47 4.01	0.42 2.93	0.90 1.90	2.29 2.51	2.84 2.42	0.117	0.143	0.474	0.912	1.174	-1.26	-2.01	-1.15	-1.35	-0.69	-2.09	-3.04	-1.39	-1.72	-1.06
4	0.73 4.25	0.46 3.13	1.10 2.27	2.94 2.7	3.41 2.59	0.172	0.147	0.485	1.089	1.317	-0.98	-1.86	-1.02	-1.32	-0.93	-1.22	-2.84	-1.25	-1.15	-0.69
5	0.34 4.22	0.94 3.18	0.72 2.12	1.83 2.61	2.15 2.55	0.081	0.296	0.340	0.701	0.843	-1.57	-1.75	-1.76	-1.72	-1.43	-2.66	-2.24	-2.19	-2.20	-2.14
6	0.31 3.90	1.01 3.26	1.06 2.42	2.36 2.67	2.59 2.57	0.079	0.310	0.438	0.884	1.008	-1.39	-1.86	-1.50	-1.36	-1.41	-2.47	-2.47	-1.79	-1.54	-1.61
7	0.45 4.11	1.16 3.44	1.15 2.68	2.27 3.06	2.60 2.97	0.109	0.337	0.429	0.742	0.875	-1.38	-1.76	-1.62	-1.72	-1.89	-2.46	-2.44	-2.05	-2.03	-2.22
8	0.35 4.23	0.70 3.50	1.07 2.56	2.66 2.71	2.85 2.58	0.083	0.200	0.418	0.982	1.105	-1.39	-1.71	-1.38	-0.89	-0.51	-2.03	-2.60	-1.24	-0.53	-0.34
9	0.44 3.61	1.16 3.11	1.21 2.34	2.28 2.53	2.78 2.42	0.122	0.373	0.517	0.901	1.149	-1.46	-1.81	-1.68	-1.50	-1.24	-2.38	-2.32	-1.9	-1.82	-1.71
10	0.46 4.23	0.60 3.24	0.92 2.09	2.34 2.61	2.57 2.48	0.109	0.185	0.440	0.897	1.036	-1.57	-1.97	-1.48	-1.60	-1.40	-2.34	-2.70	-1.76	-1.84	-1.93
11	0.89 4.22	0.55 3.40	0.79 2.11	2.48 2.58	3.01 2.49	0.211	0.162	0.374	0.961	1.209	-1.25	-1.89	-1.38	-1.46	-0.84	-1.41	-2.56	-1.85	-1.48	-0.75
12	0.26 4.00	0.57 3.05	0.90 2.08	1.85 2.51	2.20 2.41	0.065	0.187	0.433	0.737	0.913	-1.49	-1.82	-1.41	-1.83	-1.61	-2.55	-2.58	-1.91	-2.50	-2.74
13	0.17 3.91	1.01 2.89	0.83 1.92	2.06 2.49	2.46 2.39	0.043	0.349	0.432	0.827	1.029	-1.81	-1.90	-2.01	-2.15	-1.99	-3.18	-2.04	-2.59	-2.39	-2.34
14	0.11 3.94	1.13 2.73	0.84 1.79	2.03 2.47	2.45 2.35	0.028	0.414	0.469	0.822	1.043	-1.62	-1.58	-2.07	-1.53	-1.01	-3.64	-1.98	-2.48	-2.31	-2.13
15	0.21 3.99	1.30 3.39	0.98 2.53	1.82 2.75	2.62 2.63	0.053	0.383	0.387	0.662	0.996	-1.68	-1.86	-1.65	-1.89	-1.53	-3.25	-2.12	-2.27	-2.66	-2.04
16	0.14 4.16	1.01 3.13	0.81 2.20	1.83 2.63	2.41 2.50	0.034	0.323	0.368	0.696	0.964	-1.66	-1.62	-2.01	-2.06	-1.82	-3.11	-1.98	-2.64	-2.41	-2.09
17	0.10 3.87	0.76 2.97	0.81 2.13	2.04 2.51	2.75 2.37	0.026	0.256	0.380	0.813	1.160	-1.66	-1.81	-2.05	-1.96	-1.13	-3.24	-2.5	-2.4	-2.37	-1.95
18	0.11 3.90	0.96 3.43	0.67 2.33	2.00 2.55	2.60 2.43	0.028	0.280	0.288	0.784	1.070	-1.71	-1.86	-1.51	-1.50	-0.51	-3.08	-2.11	-2.7	-2.16	-1.64
19	0.19 4.27	0.86 3.02	0.69 2.23	1.24 2.90	1.91 2.66	0.044	0.285	0.309	0.43	0.718	-1.57	-1.37	-1.69	-2.33	-0.97	-2.94	-1.88	-2.46	-2.96	-2.25
20	0.45 3.75	2.76 3.23	1.81 2.44	2.83 2.74	3.80 2.63	0.120	0.854	0.742	1.033	1.445	-1.54	-1.37	-1.52	-1.28	-0.69	-2.88	-1.22	-1.83	-2.27	-1.46

Numbers in bold indicate the driest region in each drought duration. 1=Han River, 2=Ansung Stream, 3=The west of Han River, 4=The east of Han River, 5=Nakdong River, 6=Taewha River, 7=Hoeya and Suyong Streams, 8=The east of Nakdong River, 9=The south of Nakdong River, 10=Geum River, 11=Sapgyo Stream, 12=The west of Geum River, 13=Mangyeong and Dongjin Rivers, 14= Sumjin River, 15=The south of Sumjin River, 16=Youngsan River, 17=Tamjin River, 18=The south of Youngsan River, 19=The west of Youngsan River, 20=Jeju

River)에서 건조지수(=0.43), 건조지수의 변동지수(-2.33) 그리고 표준강수지수(=-2.96) 모두 가장 작은 수치를 보여서 가장 건조한 상태인 것으로 나타났다. 24개월 지속기간의 경우는 지역 19에서 건조지수가 가장 작은 수치를 보였으며(=0.718), 건조지수의 변동지수는 지역 13(Mangyeong and Dongjin Rivers)에서 가장 작았고(=-1.99), 표준강수지수도 지역 12(The west of Geum River)에서 가장 작은 수치를 보여서(=-2.74), 각 지표에 따라서 지역별 기후의 건조상태가 다르게 나타났다.

Fig. 3은 1973년부터 2006년까지 각 지역의 각 지속기간별 5월 평균 건조지수(P/RET) 값을 보여준다. 그림에서 보여주는 바와 같이 12개월과 24개월 지속기간에서 평균 건조지수가 비교적 큰 것을 알 수 있다. 또한 1개월, 3개월 그리고 6개월 지속기간의 경우 상대적으로 평균 건조지수가 작은 값을 보였다. 특히 1개월 지속기간의 경우 건조지수의 비율이 가장 낮은 값을 보였다. 따라서 분석 결과에 의하면 우리나라 전역에 걸쳐서 지속기간이 단기화 될수록 건조지수가 상대적으로 작아서 긴 지속기간에 비해서 지역의 기후건조현상이 더욱 심한 것으로 나타났다. 또한 지역 8(The east of Nakdong River)의 경우 가장 작은 건조지수 값을 보여서 다른 지역에 비해서 기후건조현상이 심각한 것으로 나타났다. 지역 8에는 울진, 포항, 영덕 기상관측소가 위치해 있다.

각 지속기간별로 53개 기후관측지점의 5월 변동지수와 표준강수지수를 비교하였다(Fig. 4). 각 지속기간별 변동지수와 표준강수지수사이의 상관관계를 비교분석한 결과 1, 3, 6, 12, 24개월 지속기간 모두에서 변동지수와 표준강수지수사이의 양호한 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 1개월 지속기간(1978년)의 경우 53개 관측지점의 변동지수와 표준강수지수의 상관계수는 0.784를 보이고, 3개월 지속기간(2001년)의 경우 0.858, 6개월 지속기간(2000년)

의 경우 0.874, 12개월 지속기간(1978년)의 경우 0.825, 24개월 지속기간(1978년)의 경우 0.679를 보여서 대부분 지속기간에 대해서 변동지수와 표준강수지수사이의 양호한 상관관계를 보였다. 따라서 각 기후관측지점의 기후 건조 정도를 판단하기 위해 강수량자료만을 이용하거나 강수량과 기준잠재증발산량 모두를 이용하는 경우 유사성을 보였다.

Fig. 5는 각 지속기간별로 20개 지역 5월의 변동지수와 표준강수지수를 비교하였다. 1개월 지속기간(1978년)의 경우 변동지수와 표준강수지수의 상관계수는 0.825를 보이고, 3개월 지속기간(2001년)의 경우 0.636, 6개월 지속기간(2000년)의 경우 0.714, 12개월 지속기간(1978년)의 경우 0.694, 24개월 지속기간(1978년)의 경우 0.488을 보여서 24개월 지속기간을 제외하고 대부분 지속기간에 대해서 변동지수와 표준강수지수 사이에 양호한 상관관계를 보였다. 따라서 강수량자료만을 이용하여 기후 건조 정도를 판단하는 경우나 강수량과 기준잠재증발산량 모두를 이용해 기후 건조 정도를 판단하는 경우 유사성을 보였다. 하지만 53개 관측지점의 변동지수와 표준강수지수사이의 상관계수와 비교할 때 20개 지역의 변동지수와 표준강수지수사이의 상관계수는 상대적으로 작은 값을 보였다. 또한 지역별 표준강수지수와 변동지수를 비교한 결과, 특정 지역의 경우 지속기간에 따라서 표준강수지수와 변동지수가 크게 차이가 나는데 이는 표준강수지수의 경우 분석 자료는 각 지속기간에 해당하는 누가 강수량인 반면에 변동지수의 경우 각 지속기간에 해당하는 누가 강수량뿐만 아니라 누가 기준잠재증발산량이 동시에 고려됨으로 인해서 두 지수 간에 차이가 발생하는 것으로 판단된다.

3.2 지역별 건조지수 추세분석

건조지수의 추세변화를 분석하였으며, 건조지수의 감

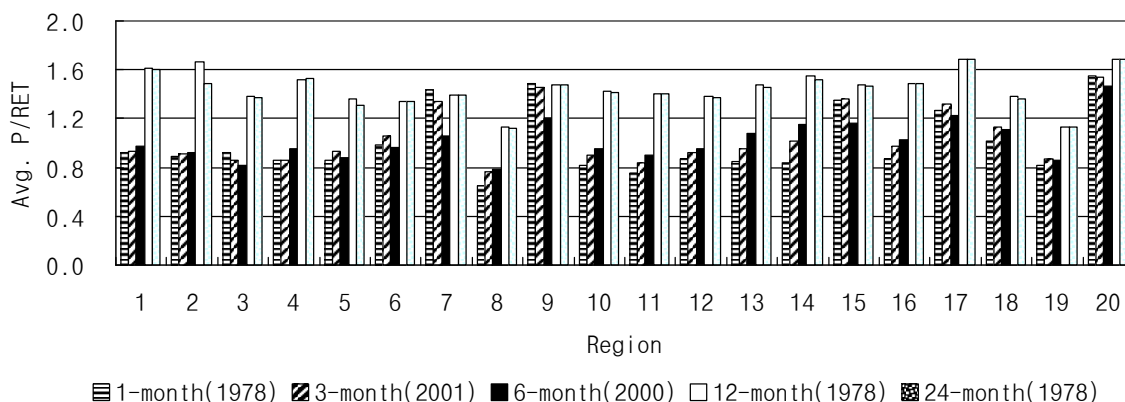
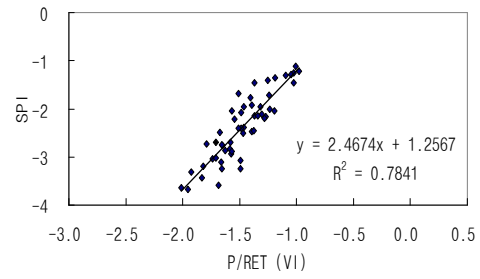
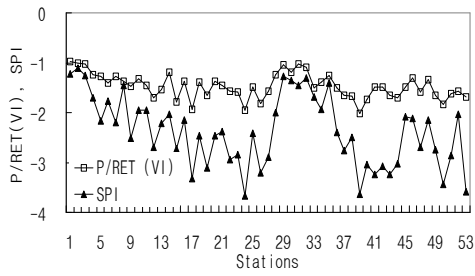
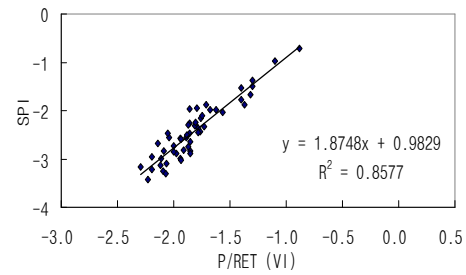
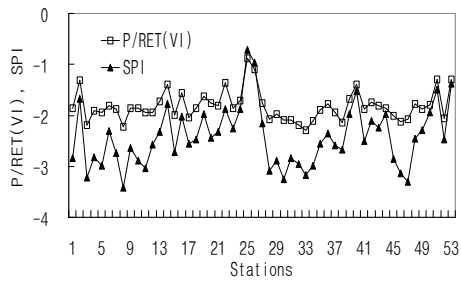


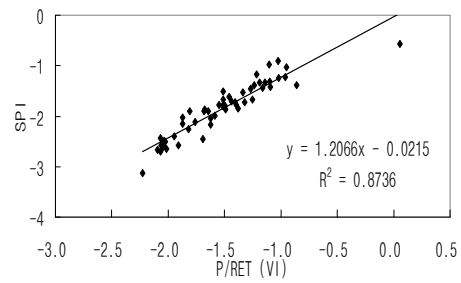
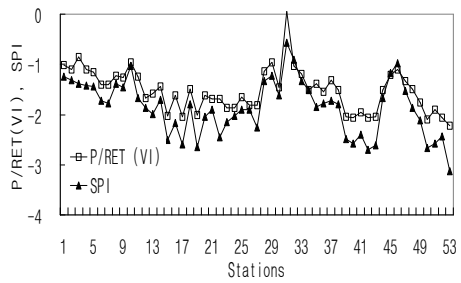
Fig. 3. Average Aridity Index (P/RET) in Each Region according to Each Duration



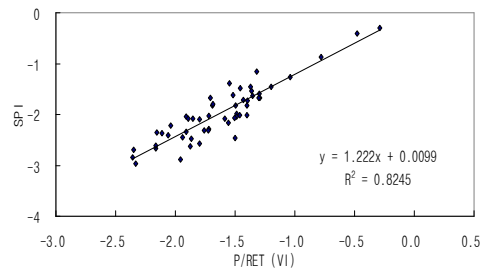
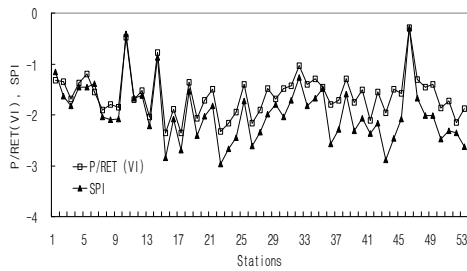
(a) 1-month duration (1978)



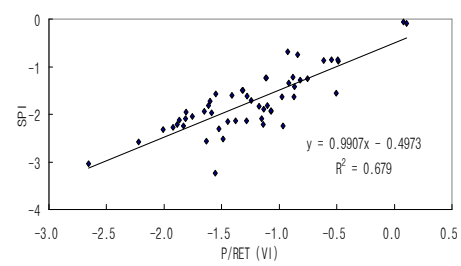
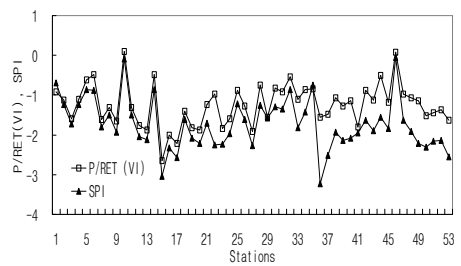
(b) 3-month duration (2001)



(c) 6-month duration (2000)

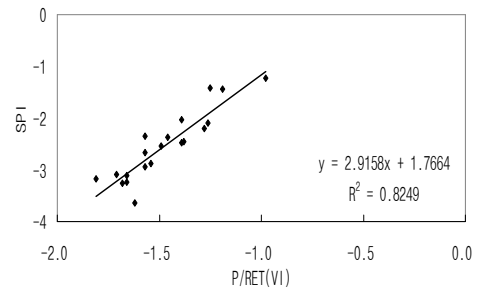
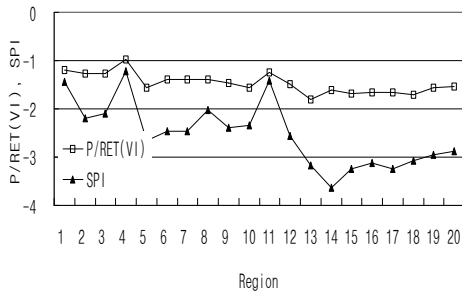


(d) 12-month duration (1978)

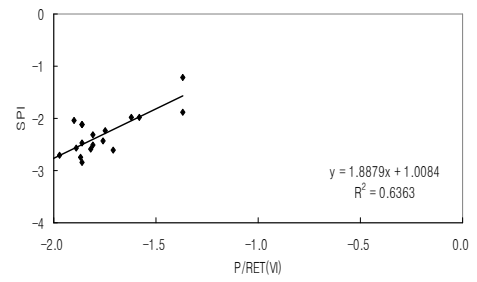
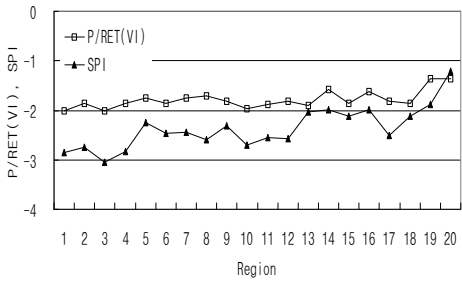


(e) 24-month duration (1978)

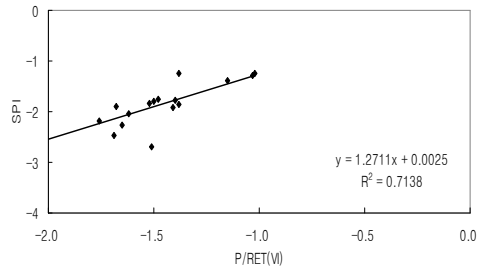
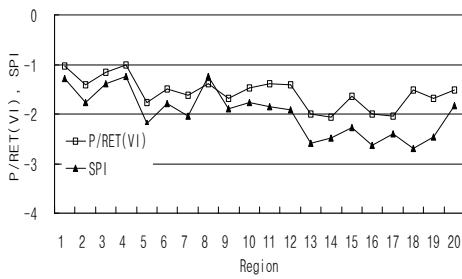
Fig. 4. Comparison of May P/RET (VI) and May SPI for 53 Stations



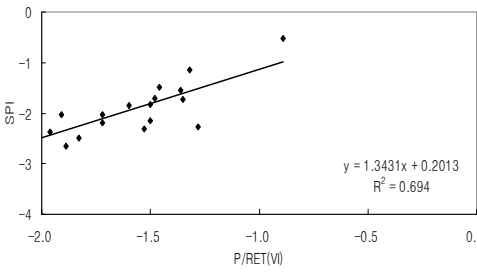
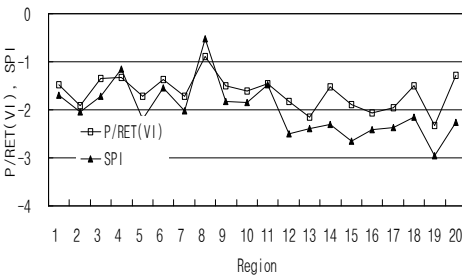
(a) 1-month duration (1978)



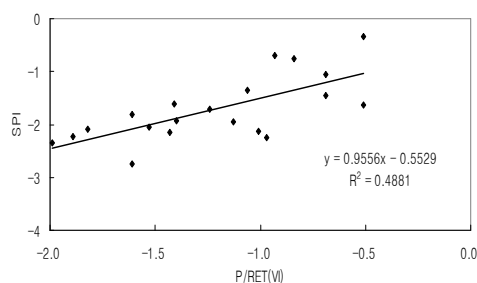
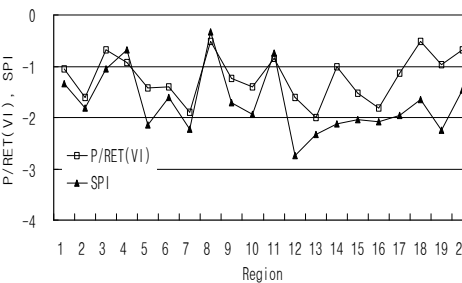
(b) 3-month duration (2001)



(c) 6-month duration (2000)



(d) 12-month duration (1978)



(e) 24-month duration (1978)

Fig. 5. Comparison of May P/RET (VI) and May SPI for 20 Regions

소추세는 해당지역의 기후가 보다 더 건조해지고 있음을 의미한다. Table 3과 Fig. 6은 각 지속기간에 따른 지역별 5월 건조지수의 추세를 보여주고 있다. 지역별 건조지수의 변화추세를 비교분석하기 위해 Mann-Kendall 추세분석, Spearman rank test 그리고 Sen's slope을 산정하였다. Mann-Kendall 추세분석을 실시한 바에 의하면 1개월 지속기간의 5월은 유의수준 $\alpha=0.1$ (one-tailed test)에서 지역 3과 8(The west of Han River, The east of Nakdong River)에서 유의한 건조지수의 증가추세를 보인 반면에 유의한 건조지수의 감소추세를 보인 지역은 없었다. 따라서 지역별 강수량과 기준잠재증발산량 비(건조지수)의 변화로 판단할 때 1개월 지속기간의 경우 모든 지역들에서 유의한 수준에서 기후 건조정도가 심화되지 않는 것으로 나타났다.

다. 이러한 결과는 Spearman rank test에서도 유사한 결과를 보이고 있다. Spearman rank test에서는 지역 8만이 유의한 수준에서 건조지수의 증가추세를 보였고, 다른 지역에서는 유의한 건조지수 추세를 보이지 않았다. Sen's slope 산정결과 건조지수의 변화가 가장 크게 감소한 지역은 지역 18(The south of Youngsan River)로서 건조지수 감소(-0.01402/year)를 보였다. 반면에 지역 7(Hoeya and Suyong streams)에서 가장 큰 건조지수의 증가(0.0128/year)를 보였다.

3개월 지속기간의 경우 지역 11(Sapgyo Stream), 지역 13(Mangyeong and Dongjin Rivers), 지역 14(Sumjin River), 지역 16(Youngsan River), 지역 17(Tamjin River) 그리고 지역 18(The south of Youngsan River)에서 유

Table 3. May Trend of Aridity Index (P/RET) in Each Duration according to Region

	Avg. P/RET					Mann-Kendall Z-score					Spearman rank test					Sen slope estimator ($\times 100$)				
	duration (month)					duration (month)					duration (month)					duration (month)				
	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24
1	0.921	0.935	0.978	1.612	1.598	0.830	-0.474	-0.883	<i>2.526</i>	<i>2.935</i>	0.799	-0.476	-0.895	<i>2.449</i>	<i>2.593</i>	0.777	-0.339	-0.442	1.607	1.541
2	0.885	0.906	0.917	1.661	1.491	0.593	-1.097	<i>-1.813</i>	0.387	1.281	0.684	-1.112	<i>-1.805</i>	0.299	<i>1.369</i>	0.483	-0.889	-1.059	0.465	0.358
3	0.917	0.856	0.816	1.382	1.368	<i>1.482</i>	-0.148	-0.480	<i>1.410</i>	<i>1.897</i>	<i>1.337</i>	-0.190	-0.473	<i>1.352</i>	<i>1.782</i>	0.886	-0.086	-0.300	0.777	0.774
4	0.860	0.855	0.949	1.523	1.525	0.978	-0.474	-0.728	<i>1.906</i>	<i>2.481</i>	0.877	-0.242	-0.657	<i>1.875</i>	<i>2.566</i>	0.839	-0.356	-0.428	1.051	1.078
5	0.862	0.929	0.882	1.366	1.309	1.008	-0.682	-0.666	1.255	0.892	0.995	-0.695	-0.644	1.152	1.066	0.741	-0.482	-0.407	0.694	0.620
6	0.987	1.059	0.964	1.343	1.344	0.801	-1.008	-1.162	0.294	0.762	0.642	-0.949	-1.163	0.369	0.736	1.232	-0.809	-0.627	0.168	0.406
7	1.439	1.338	1.058	1.390	1.390	0.801	0.000	-0.139	0.976	<i>1.670</i>	0.626	-0.156	-0.216	0.919	<i>1.660</i>	1.280	-0.001	-0.118	1.064	0.920
8	<i>0.650</i>	<i>0.764</i>	<i>0.789</i>	<i>1.132</i>	<i>1.124</i>	<i>1.720</i>	-0.504	-0.697	1.162	1.087	<i>1.697</i>	-0.695	-0.736	1.271	1.254	1.032	-0.302	-0.467	0.683	0.577
9	1.488	1.453	1.206	1.476	1.474	0.415	-0.652	-0.821	0.573	0.762	0.413	-0.611	-0.959	0.473	0.748	0.680	-0.617	-0.711	0.343	0.379
10	0.819	0.898	0.951	1.429	1.414	0.030	-0.771	-1.255	<i>1.286</i>	1.054	0.144	-0.746	-1.231	1.277	1.203	0.004	-0.703	-0.710	0.763	0.501
11	0.750	0.837	0.901	1.408	1.400	0.148	<i>-1.394</i>	<i>-2.092</i>	1.317	<i>1.508</i>	0.185	<i>-1.307</i>	<i>-2.030</i>	1.161	<i>1.345</i>	0.134	-1.075	-1.300	0.998	0.860
12	0.868	0.919	0.956	1.378	1.368	-0.030	-0.919	-1.193	0.790	0.438	0.112	-0.839	-1.192	0.690	0.461	-0.030	-0.682	-0.718	0.474	0.235
13	0.843	0.955	1.078	1.478	1.459	-0.148	<i>-1.453</i>	<i>-1.472</i>	0.542	0.341	-0.274	<i>-1.286</i>	<i>-1.396</i>	0.490	0.570	-0.228	-1.049	-1.027	0.495	0.144
14	0.840	1.016	1.148	1.553	1.521	-0.089	<i>-1.957</i>	<i>-1.999</i>	0.373	0.373	-0.091	<i>-1.729</i>	<i>-1.823</i>	0.588	0.588	-0.075	-1.283	-1.349	0.222	0.222
15	1.356	1.359	1.163	1.475	1.470	-0.445	-0.652	-0.511	-0.146	-0.146	-0.533	-0.841	-0.809	-0.099	-0.099	-0.402	-0.927	-0.614	-0.139	-0.139
16	0.868	0.973	1.024	1.485	1.483	-0.415	<i>-1.720</i>	<i>-1.751</i>	0.568	0.568	-0.362	<i>-1.666</i>	<i>-1.519</i>	0.692	0.692	-0.438	-1.095	-1.221	0.284	0.284
17	1.266	1.316	1.224	1.688	1.688	-0.801	<i>-1.512</i>	-1.224	0.480	0.341	-0.804	<i>-1.605</i>	<i>-1.315</i>	0.347	0.334	-1.137	-1.258	-1.371	0.398	0.231
18	1.015	1.132	1.106	1.384	1.364	-1.245	<i>-1.394</i>	<i>-1.410</i>	-0.449	-1.151	-1.122	<i>-1.496</i>	<i>-1.344</i>	-0.442	-1.163	-1.402	-1.340	-1.402	-0.424	-0.500
19	0.818	0.870	0.855	1.135	1.134	-0.474	-1.008	<i>-1.472</i>	0.821	0.795	-0.558	-1.047	-1.275	0.743	0.817	-0.446	-0.765	-1.011	0.427	0.357
20	1.550	1.543	1.463	1.687	1.683	0.593	-0.089	-0.418	0.201	0.211	0.476	-0.183	-0.393	0.259	0.301	0.953	-0.095	-0.397	0.200	0.114

Numbers in bold italic indicate significant upward trend (+) or downward trend (-) at the 0.1 level of significance. Bold, italic and underlined numbers indicate the lowest average P/RET in each drought duration.

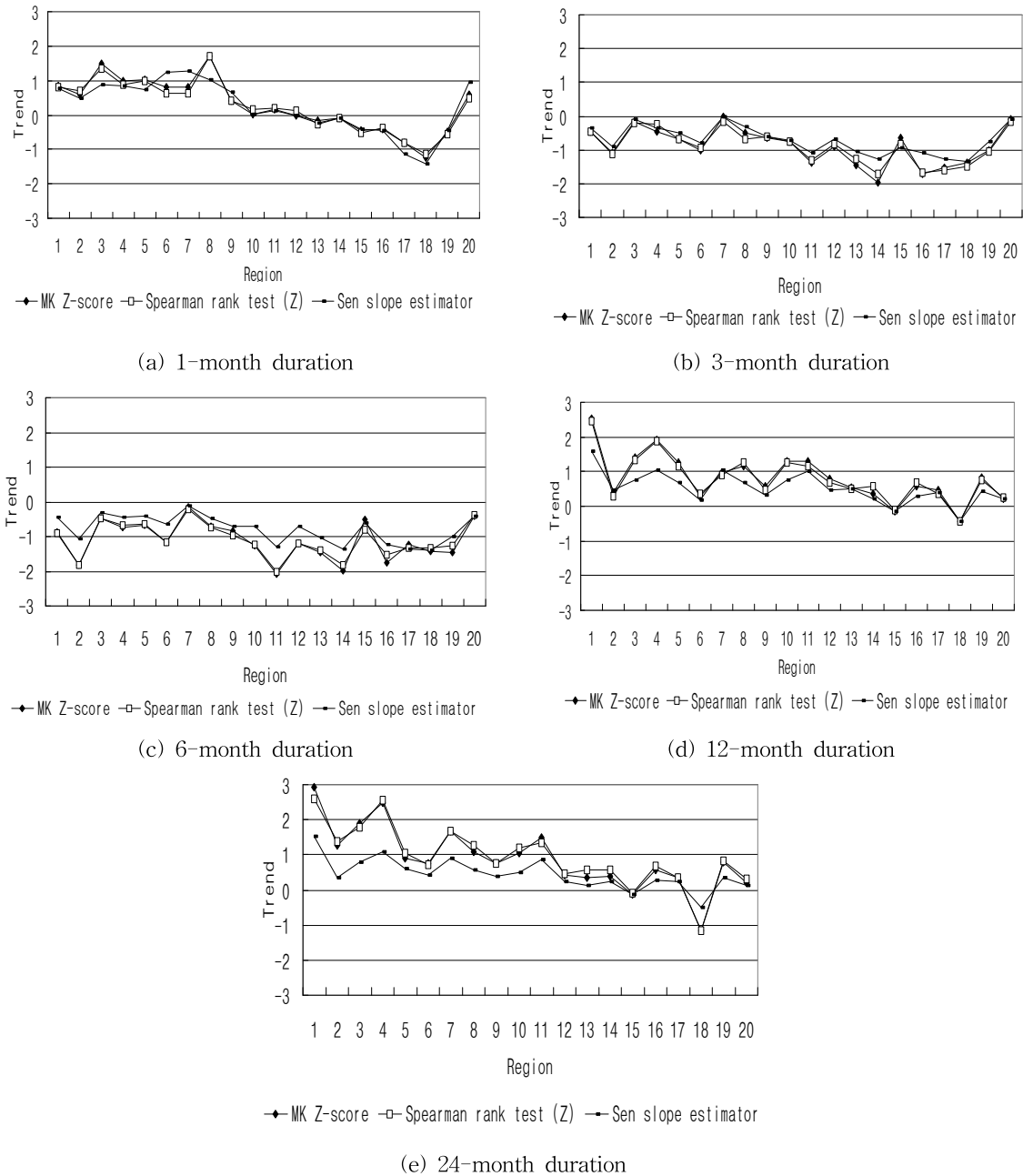


Fig. 6. May Trend of Aridity Index (P/RET) in Each Duration according to Region

의한 건조지수의 감소추세를 보인 반면에 유의하거나 혹은 유의하지 않은 증가추세를 보인 지역은 없었다. 따라서 전반적으로 3개월 지속기간의 경우 해당지역 기후가 건조해지고 있음을 알 수 있다. 특히 지역 14(Sumjin River)의 경우 Mann-Kendall Z-score가 -1.957을 보여서 매우 유의한 건조지수의 감소추세를 보여서 이 지역에서는 기후의 건조화가 심화되는 추세인 것으로 판단된다. Spearman rank test도 Mann-Kendall 분석과 유사한 결과를 보였다. Sen's slope 분석결과 건조지수가 가장 크게 감소하는 지역

은 지역 18(The south of Youngsan River)로서 $-0.01340/\text{year}$ 를 보였다.

6개월 지속기간의 경우 지역 2(Ansung Stream), 지역 11(Sapgyo Stream), 지역 13(Mangyeong and Dongjin Rivers), 지역 14(Sumjin River), 지역 16(Youngsan River), 지역 18(The south of Youngsan River) 그리고 지역 19(The west of Youngsan River)에서 유의한 감소추세를 보인 반면에 유의한 증가추세를 보인 지역은 없었다. 따라서 전반적으로 6개월 지속기간의 경우 해당 지역

들의 기후가 건조해지고 있음을 알 수 있다. 특히 지역 11 (Sapgyo Stream)의 경우 Mann-Kendall Z-score가 -2.092를 보여서 해당 지역의 기후 건조화가 매우 심화되는 추세인 것으로 판단된다. Spearman rank test도 Mann-Kendall 분석과 유사한 결과를 보였으나 지역 17 (Tamjin River)의 경우 Mann-Kendall test에서는 유의한 감소추세를 보이지 않은 반면에 Spearman rank test에서는 유의한 감소추세를 보였고, 지역 19 (The west of Youngsan River)의 경우 Mann-Kendall test에서는 유의한 감소추세를 보였으나 Spearman rank test에서는 유의한 감소추세를 보이지 않았다. Sen's slope 분석결과 건조지수가 가장 크게 감소하는 지역은 지역 18 (The south of Youngsan River)로서 -0.01402/year를 보였다.

12개월 지속기간의 경우 Mann-Kendall test 결과 지역 1 (Han River), 지역 3 (The west of Han River), 지역 4 (The east of Han River) 그리고 지역 10 (Geum River)에서 유의한 증가추세를 보인 반면에 유의한 감소추세를 보인 지역은 없었다. 하지만 Spearman rank test에서는 지역 10을 제외하고 유사한 추세를 보였다. Sen's slope 분석결과 건조지수가 가장 크게 감소하는 지역은 지역 18 (The south of Youngsan River)로서 -0.00424/year를 보였다. 24개월 지속기간의 경우 Mann-Kendall test 결과 지역 1 (Han River), 지역 3 (The west of Han River), 지역 4 (The east of Han River), 지역 7 (Hoeya and Suyong Streams) 그리고 지역 11 (Sapgyo Stream)에서 유의한 증가추세를 보인 반면에 유의한 감소추세를 보인 지역은 없었다. 하지만 Spearman rank test에서는 지역 2 (Ansung Stream)에서도 유의한 증가추세를 보였다. Sen's slope 분석결과 건조지수가 가장 크게 감소하는 지역은 지역 18 (The south of Youngsan River)로서 -0.005/year를 보였다. 따라서 12개월 및 24개월 지속기간의 경우 유의한 수준에서 심각한 기후 건조화를 보이는 지역은 없고, 대신에 전반적으로 기후가 습윤해지는 추세를 보이는 것으로 나타났다.

각 지속기간별로 건조지수의 추세를 분석한 바에 의하면 1개월 지속기간의 경우 전반적으로 대부분 지역의 건조지수가 유의한 추세를 보이지 않는 반면에 3개월 지속기간이나 6개월 지속기간의 경우 대부분 지역에서 유의하거나 혹은 유의하지 않은 수준에서 건조지수의 감소추세를 보였다. 반면에 12개월과 24개월 지속기간의 경우 대부분 지역에서 유의하거나 혹은 유의하지 않은 수준에서 건조지수의 증가추세를 보였다. 따라서 지속기간에 따라서 건조지수의 추세가 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

이와 같이 지속기간에 따라서 건조지수의 추세가 다르게 나타나는 이유는 지속기간별로 누가 강수량과 누가 기준 잠재증발산량이 다르게 나타나기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 Mann-Kendall 분석, Spearman rank test 그리고 Sen's slope 분석결과 20개 전 지역에서 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구결과의 요약 및 결론은 다음과 같다.

- 1) 각 지역별 건조지수는 1개월 지속기간(1978년)의 경우 탐진강유역이 가장 작았고, 3개월 지속기간(2001년)의 경우 한강서부지역, 6개월 지속기간(2000년)의 경우 영산강 남부지역, 12개월과 24개월 지속기간(1978년)의 경우 영산강 서부지역이 가장 작은 건조지수를 보였다.
- 2) 우리나라 전역에 걸쳐서 지속기간이 단기화 될수록 건조지수의 비율이 상대적으로 낮아서 긴 지속기간에 비해서 지역기후의 건조정도가 더욱 심한 것으로 나타났다.
- 3) 각 지속기간별 건조지수의 변동지수와 표준강수지수의 상관관계를 비교분석한 결과 1, 3, 6, 12, 24개월 지속기간 모두에서 변동지수와 표준강수지수 사이에 양호한 상관관계를 보이는 것으로 나타났다.
- 4) 지역별로 각 지속기간의 5월 강수량과 기준잠재증발산량 비(건조지수)의 추세변화를 분석하였으며 건조지수의 변화로 판단할 때 1개월 지속기간의 경우 유의한 수준에서 기후 건조정도가 심화되는 지역은 없는 것으로 나타났다. 3개월 지속기간의 경우 특히 섬진강유역에서 Mann-Kendall Z-score가 -1.957을 보여서 매우 유의한 건조지수의 감소추세를 보였다. 6개월 지속기간의 경우 특히 삼교천 유역에서 Mann-Kendall Z-score가 -2.092를 보여서 해당 지역의 기후의 건조화가 매우 심화되는 추세인 것으로 판단된다. 3개월 지속기간이나 6개월 지속기간의 경우 대부분 지역에서 유의하거나 혹은 유의하지 않은 수준에서 건조지수의 감소추세를 보였다. 반면에 12개월 및 24개월 지속기간의 경우 유의한 수준에서 기후 건조정도가 심화되는 지역은 없는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2013학년도 경기대학교 대학원 연구원장학

생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

REFERENCES

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 56, FAO.
- Andeighetti, M., Zardi, D., and Franceschi, M. (2009). “History and analysis of the temperature series of Varona (1969–2006).” *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 103, pp. 267–277.
- Chen, I.-C., Hill, J.K., Ohlemüller, R., Roy, D.B., and Thomas, C.D. (2011). “Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming.” *Science*, Vol. 333, No. 6045, pp. 1024–1026.
- Cooke, R., Warren, A., and Goudie, A. (1993). *Desert geomorphology*. UCL Press, London. p. 526.
- Gibbs, W.J., and Mather, J.V. (1967). “Rainfall indices as drought indicators.” *Bureau of Meteorology Bulletin*, No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Gouveia, C., Trigo, R.M., and DaCamara, C.C. (2009). “Drought and vegetation stress monitoring in Portugal using Satellite data.” *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 9, pp. 185–195.
- Guttman, N.B. (2007). “Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index.” *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 34, pp. 113–121.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., and Vanyarkho, O. (1999). “Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index.” *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 80, No. 3, pp. 429–438.
- 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, p. 3919.
- Karl, T.R., and Trenberth, K.E. (2003). “Modern global climate change.” *Science*, Vol. 302, pp. 1719–1723.
- Khalili, D., Farnoud, T., Jamshidi, H., Kamgar-Haghighi, A.A., and Zand-Parsa, S. (2011). “Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones.” *Water Resources Management*, Vol. 25, pp. 1737–1757.
- Kim, G.-B., Yun, H.-H., and Kim, D.-H. (2006). “Relationship between standardized precipitation index and groundwater levels: a proposal for establishment of drought index wells.” *Journal of Soil and Groundwater Environment*, Vol. 11, No. 3, pp. 31–42.
- Kim, G.S., and Lee, J.W. (2011). “Evaluation of drought indices using the drought records.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 8, pp. 639–652.
- Lee, J.H., and Kim, C.J. (2011). “Derivation of drought severity–duration–frequency curves using drought frequency analysis.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 11, pp. 889–902.
- Livada, I., and Assimakopoulos, V.D. (2007). “Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the standardized precipitation index (SPI).” *Theor. Appl. Climatol.*, Vol. 89, pp. 143–153.
- Mavromatis, T. (2007). “Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece.” *International Journal of Climatology*, Vol. 27, pp. 911–924.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). “The relationship of drought frequency and duration to time scales.” *Proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17–22 January 1993, Anaheim: California, pp. 179–184.
- Oguntunde, P.G., Friesen, J., van de Giesen, N., and Savenije, H.H.G. (2006). “Hydroclimatology of the Volta River Basin in West Africa: trends and variability from 1901 to 2002.” *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 31, pp. 3235–3248.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorological drought*. Research paper No. 45, Weather Bureau, Washington, D.C., p. 58.
- Palmer, W.C. (1968). “Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index.”

- Weatherwise*, Vol. 21, pp. 156-161.
- Quiring, S.M., and Papakryiakou, T.N. (2003). "An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies." *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 118, pp. 49-62.
- Rim, C.-S. (2012). "The implications of geography and climate on drought trend." *International Journal of Climatology*, DOI:10.1002/joc.3628.
- Sen, P.K. (1968). "Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau." *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 63, pp. 1379-1389.
- Shafer, B.A., and Dezman, L.E. (1982). Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Proceedings of the 50th Annual Western Snow Conference*, Colorado State University, Fort Collins, CO, pp. 164-175.
- Silva, Y., Takahashi, K., and Chavez, R. (2008). "Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes)." *Advances in Geosciences*, Vol. 14, pp. 261-264.
- Subash, N., and Ram Mohan, H.S. (2011). "Trend detection in rainfall and evaluation of standardized precipitation index as a drought assessment index for rice-wheat productivity over IGR in India." *International Journal of Climatology*, Vol. 31, pp. 1694-1709.
- Thom, H.C.S. (1966). *Some methods of climatological analysis*, WMO N. 199, Technical Note N. 81. Geneva, 53 pp.
- Tsakiris, G., and Vangelis, H. (2004). "Planning against long term water scarcity: a fuzzy multicriteria approach." *Water Resources Management*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-12.
- UNESCO. (1979). *Map of the world distribution of arid regions: explanatory note*. MAP Technical Notes 7, UNESCO: Paris, 54.
- UNEP. (1992). *World Atlas of Desertification*.
- Vicente-Serrano, S.M., Gonzalez-Hidalgo, J.C., de Luis, M., and Raventos, J. (2004). "Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain)." *Climate Research*, Vol. 26, pp. 5-15.
- Wilhite, D., Svoboda, M., and Hayes, M. (2005). Monitoring drought in the United States: status and trends. In *Monitoring and Predicting Agricultural Drought, A Global Study*. Boken VK, Cracknell AP, Heathcote RL (eds). Oxford University Press: New York, pp. 121-131.
- Wolfe, S.A. (1997). "Impact of increased aridity on sand dune activities in the Canadian Prairies." *Journal of Arid Environments*, Vol. 36, pp. 421-432.
- Wu, S.H., Yang, Q.Y., and Zheng, D. (2002). "An index system for boundaries of eco-geographical regions of China." *Progress in Geography*, Vol. 21, pp. 302-310.
- Wu, H., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., Wilhite, D.A., and Fujiang, W. (2006). "Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons." *International Journal of Climatology*, Vol. 27, pp. 65-79.
- Zheng, D. (2000). *A study on the Eco-geographic Regional System of China*. FAO FRA2000 Global Ecological Zoning Workshop, Cambridge, UK, Forest Resources Assessment Programme of FAO Working Paper 26, Rome, 2000, pp. 43-53.

논문번호: 13-021	접수: 2013.02.18
수정일자: 2013.03.15/03.20	심사완료: 2013.03.20