한국방재학회논문집
제5권 4호 2005년 12월
pp. 59 ~ 69



# 우리나라의 주요가뭄해석을 위한 각종 가뭄지수의 적용

## An Application of Various Drought Indices for Major Drought Analysis in Korea

이 재 준* / 이 창 훈**
Lee, Jae Joon / Lee, Chang Hoon

**Abstract**

Drought is difficult to detect and monitor, but it is easy to interpret through the drought index. The Palmer Drought Severity Index(PDSI), which is most commonly used as one of drought indices, have been widely used, however, the index have limitation as operational tools and triggers for policy responses. Recently, a new index, the Standardized Precipitation Index(SPI), was developed to improve drought detection and monitoring capabilities. The SPI has an improvement over previous indices and has several characteristics including its simplicity and temporal flexibility that allow its application for water resources on all timescales. Keetch-Byram Dought Index(KBDI) was defined as a number representing the net effect of evapotranspiration and precipitation in producing cumulative moisture deficiency in deep duff or upper soil layer. The purpose of this study is to analyze drought in Korea by using PDSI, SPI and KBDI. The result of this study suggests standard drought index by comparing of estimated drought indices. The data are obtained from Korea Meteorological Administration 56 stations over 30 years in each of the 8 sub-basins covering the whole nation. It is found that the PDSI had the advantage to detect the stage of drought resulting from cumulative shortage of rainfall, while SPI and KBDI had the advantage to detect the stage of drought resulting from short-term shortage of rainfall.

***key words*** : Drought, Drought Index, PDSI, SPI, KBDI

**요 지**

가뭄을 미리 발견하고 감시하는 것은 어려우나, 가뭄지수를 이용하면 가뭄의 파악이 용이하다. PDSI는 통상적으로 가장 널리 이용되나 운영상 제한성을 가지고 있다. 최근 들어 가뭄을 인지하고 감시하는 능력이 향상된 SPI가 개발되었으며, 이는 기존의 지수들에 비해 모든 시간간격에 적용이 가능하고 간단하게 이용이 가능하다. KBDI는 상부토양층의 누적수분부족량을 산출함에 있어서 증발산과 강수량의 순영향을 나타내는 지수로 정의하였다. 본 연구에서는 PDSI, SPI, KBDI를 이용하여 산정된 가뭄지수의 상호비교 연구를 통하여 표준 가뭄지수를 제안하고자 한다. 이를 위하여 우리나라 8개 수계의 30년 이상의 기상자료를 보유한 기상청 강우관측소 자료를 이용하였다. 그 결과 PDSI는 누적되는 강우의 부족으로 가뭄심도를 나타내는 데 유리하고, SPI와 KBDI는 단기간 강우부족을 나타내는데 유리한 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 가뭄, 가뭄지수, 팔머가뭄지수, 표준강수지수, K-B가뭄지수

## 1. 서 론

가뭄을 분석하기 위해서는 가뭄의 진행상태나 심도를 객관적으로 판단할 수 있으며 이해하기 쉬운 수치가 요구되므로, 이를 위해 지금까지 다양한 가뭄지수(Drought Index)가 개발되어 이용되고 있다

* 정회원 · 국립금오공과대학교 토목환경공학부 교수 (e-mail : jhb365@kumoh.ac.kr)
** (주)건화엔지니어링 수자원부 대리

(Wilhite, 2000).

대표적으로 윤용남 등(1997)은 Palmer의 방법을 이용하여 우리나라 가뭄의 시공간적인 특성에 대한 연구를 하였고 류재희 등(2001)은 PDSI, SPI, SWSI를 낙동강유역에 적용하여 비교분석하였으며, 장연규 등(2004)은 경험적 직교함수(EOF)를 SPI에 적용하여 가뭄의 공간적인 특성을 도출하였다. 최근 들어 가뭄지수의 개발보다는 가뭄지수를 공간적으로 나타내기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

본 연구에서는 기존에 이용되는 가뭄지수들의 비교·검토 및 비교적 단기간의 가뭄감시를 위한 지수(KBDI)의 적용을 통해 과거 가뭄사상의 재현성을 평가하여 해당 유역의 효율적이고 신뢰성 있는 가뭄지수를 제시하고자 한다. 우리나라의 가뭄을 정량적으로 해석하기 위하여, 현재 가뭄의 분석을 위해서 광범위하게 사용되고 있고 증발산과 누가강수량의 편차를 이용하는 PDSI와 수문인자의 확률적인 요소를 정규분포화함으로써 지수를 산정하는 SPI 및 비교적 단기간의 가뭄감시에 이용되고 있는 증발산과 강수량의 순영향을 나타내는 지수인 KBDI를 이용하여 가뭄을 분석하기로 하며, 산정된 가뭄지수의 상호비교 연구를 통하여 국내 수문학적 환경에 적용할 수 있는 가뭄지수를 제시하고자 한다. 이를 위하여 우리나라 남한지역을 8개 수계로 분할하여 각 유역별로 기상청 강우관측소의 자료 중 30년 이상의 관측기간을 보유하는 56개 지점들을 대상으로 하고, 8개의 유역 중 가뭄우심기간에 공통적으로 포함되며 가뭄정도가 큰 유역을 중심으로 33개 지점들을 선정하여 가뭄지수들을 비교하기로 한다.

## 2. 적용 가뭄지수의 산정방법

### 2.1 Palmer의 가뭄지수

Palmer(1965)는 가뭄을 "장기간의 이상수분부족"이며, 이상수분부족은 "정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 수분부족기간"이라고 정의하였다. PDSI(Palmer Drought Severity Index)는 미국내 여러 지역의 강우량 및 기온, 일조시간 등의 자료를 이용하여 Thornthwaite(1948)의 수분수지방법으로 잠재증발산을 추정한 후, 대상지역의 실제 강우량과 기후학적으로 필요한 강우량의 차를 계산하여 지역적인 가뭄지수를 얻는 방법이다. Palmer는 기후특성인자$K$와 수분편차 $d$를 통해 계산되는 수분이상지수 $Z$와 전월의 가뭄지수를 이용하여 가뭄지수$X$를 구하는 공식을 식 (1)과 같이 유도하였다.

$$X_i = 0.897X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{3}\right) \quad (1)$$

Palmer는 가뭄지수( $X$)에 따른 습윤기와 건조기의 범위를 표 1과 같이 제시하였다.

### 2.2 표준강수지수

표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)는 McKee 등(1993, 1995)에 의해 확률을 기초로 하여 시·공간적으로 일정한 지표로 이용하기 위해 개발되었다. 그래서 SPI는 이용자에 따라 특정 지역의 충분한 강우자료만 가지고 있으면 다양한 지속기간(1, 3, 6, 9, 12개월 등)에 대해 계산할 수 있는 장점이 있다. SPI는 현재 미국의 Colorado Climate Center, Western Regional Climate Center, National Drought Mitigation Center 등에서 실시간 가뭄상태를 파악하는데 이용하고 있다.

SPI의 가뭄심도는 다음 표 2와 같이 정의된다.

### 2.3 Keetch-Byram 가뭄지수

가뭄이 많은 연구자들에 의해 정의되어 왔지만 Keetch와 Byram(1968)은 미국의 산지나 들판에 빈번

**표 1. PDSI의 범주**

| X | 등 급 |
|---|---|
| ≥ 4.00 | 극한습윤(Extremely wet) |
| 3.00 ~ 3.99 | 심한습윤(Very wet) |
| 2.00 ~ 2.99 | 보통습윤(Moderately wet) |
| 1.00 ~ 1.99 | 약한습윤(Slightly wet) |
| 0.50 ~ 0.99 | 시작습윤(Incipient wet spell) |
| 0.49 ~ -0.49 | 정 상(Near normal) |
| -0.50 ~ -0.99 | 시작가뭄(Incipient drought spell) |
| -1.00 ~ -1.99 | 약한가뭄(Mild drought) |
| -2.00 ~ -2.99 | 보통가뭄(Moderate drought) |
| -3.00 ~ -3.99 | 심한가뭄(Severe drought) |
| ≤ -4.00 | 극한가뭄(Extreme drought) |

**표 2. SPI의 범주**

| SPI | 등 급 | 확률분포의 범주 |
|---|---|---|
| SPI ≤-2.0 | 극한가뭄(Extremely dry) | 2.3 % |
| -2.0 < SPI ≤ -1.5 | 심한가뭄(Severe dry) | 4.4 % |
| -1.5 < SPI ≤ -1.0 | 보통가뭄(Moderately dry) | 9.2 % |
| -1.0 < SPI < 1.0 | 정 상(Near normal) | 68.2 % |
| 1.0 ≤ SPI < 1.5 | 보통습윤(Moderately wet) | 9.2 % |
| 1.5 ≤ SPI < 2.0 | 심한습윤(Very wet) | 4.4 % |
| 2.0 ≤ SPI | 극한습윤(Extremely wet) | 2.3 % |

하게 발생하는 화재에 대한 방지나 제어에 관심을 두었다. 이들은 가뭄을 "상부토양층의 건조상태"라고 하고, Keetch-Byram 가뭄지수를 '상부토양층의 누적수분부족량을 산출함에 있어서 증발산과 강수량의 순영향을 나타내는 지수'로 정의하였다.

지수의 범위는 8 inch(203.2mm) 수분을 함유하고 있는 상부토양층에서의 지수값을 0으로 하고 증발산에 의해서 이 층의 수분이 감소하면 최대값 800으로 증가한다고 하였다. 즉 초기 8 inch의 수분이 2.5 inch 감소가 되었다면 평균 250의 지수값을 가진다는 것이다.

### 2.3.1 기본가정

가뭄의 정도와 수분의 부족량을 나타내는 식을 개발하기 위해서는 다음과 같은 가정을 바탕으로 한다.

① 수분은 상부토양층에도 존재한다. 상부토양층의 용량은 하부토양층의 흡수용량을 초과하는 8 inch이다.

② 상부토양층은 강우와 증발산의 차단으로부터 수분을 얻는다.

③ 증발산률은 계절적인 변수와 식물의 밀도에 의한 함수이다.

④ 식물의 밀도는 계절적인 변수가 일정할 때 상부토양층으로부터 수분을 소모시키므로 연평균강우량의 함수이다. 밀도는 증발산 지속시간(timelag)으로 정의되는 단일 변수로 결정된다.

⑤ 단순 지수함수는 기본식에서 필수적인 변수들의 관계를 표현하는데 이용된다.

### 2.3.2 가뭄인자의 산정

증산에 영향을 주는 기온, 습도, 일광 등의 계절변수들이 일정하고, 상부토양층에서의 손실량이 총량에 비례한다면 다음과 같이 표시된다.

$$W = W_c \exp(-\tau/t) \tag{2}$$

여기서 $W$= 상부토양층의 식생에 이용되는 수분량

$W_c$= 토양층이 수용하는 용적

$\tau$= 상부토양층의 수분이 고갈되는데 걸리는 시간(일)

$t$= 증발산 지속시간(상부토양층의 수분량이 초기값 1/e으로 떨어지는데 걸리는 시간. e는 자연로그)

증발산 지속시간 $t$, 일최고기온 $T$와 연평균강우 $R$의 관계는 다음 식(3)과 같다.

$$1/t = f(R, T) \tag{3}$$

여기서 $t$는 일최고기온($T$)에 대한 증발산 지속시간이고, $R$은 지역별 연평균강우량을 의미한다.

식 (3)을 좀 더 제한된 형태로 변환하면 식 (4)와 같다.

$$1/t = f_1(T) f_2(R) \tag{4}$$

여기서 $f_1, f_2$는 시간의 함수이다.

식 (4)는 $t$는 2개의 다른 $T$값에 대한 $R$의 함수로서 그림 1과 같이 표현된다.

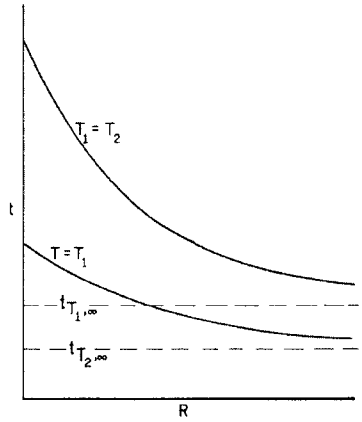


**그림 1. t-T-R의 관계**

수분의 감소를 산정하기 위해 주어진 식 (2)와 식 (4)를 통해서 가뭄인자($dQ$)를 구하는 식을 유도할 수 있다.

$$dQ = \frac{[800 - Q][0.968\exp(0.0486T) \cdot 8.30]d\tau}{1 + 10.88\exp(-0.0441R)} \times 10^{-3} \quad (5)$$

여기서 $Q$는 수분부족량으로서 다음과 같이 표현된다.

$$Q = W_c - W$$

식 (5)를 이용하면 일단위로 $\tau$가 증가함에 따라 가뭄인자($dQ$)를 쉽게 구할 수 있다. 가뭄인자는 식 (5)를 이용하여 미국지역의 연평균강우량자료를 5단계로 나누어 계산하였으며 그 중 첫 단계는 표 4와 같다. 또한 KBDI의 가뭄심도는 다음 표 3과 같이 정의된다.

**표 3. KBDI의 범주**

| INDEX | STAGE | Class |
|---|---|---|
| 0 ~ 99 | 0 | 습 윤 |
| 100 ~ 199 | 1 | 정 상 |
| 200 ~ 299 | 2 | 약한가뭄 |
| 300 ~ 399 | 3 | 보통가뭄 |
| 400 ~ 499 | 4 | |
| 500 ~ 599 | 5 | 심한가뭄 |
| 600 ~ 699 | 6 | |
| 700 ~ 799 | 7 | 극한가뭄 |

## 3. 가뭄기간과 해석대상유역의 선정 및 강우자료

### 3.1 강우자료조사 및 정리

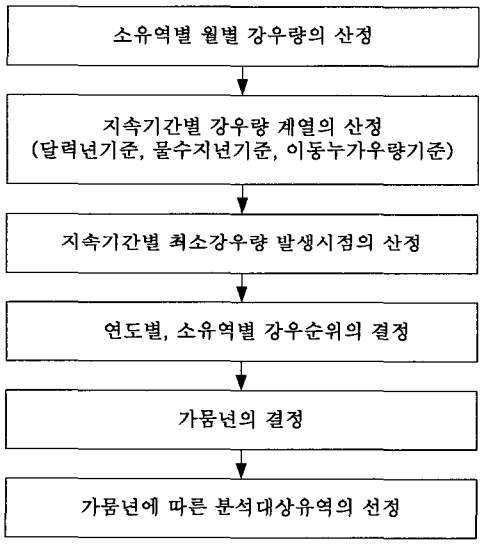


**그림 2. 분석 순서도**

#### 3.1.1 지점별 월강우량

본 연구의 목적인 여러 가지 가뭄지수들을 비교하여 가뭄의 정도를 파악함으로써 보다 현실적인 가뭄지수를 얻기 위해서 먼저 지점별로 월강우량을 산정하였다. 이를 위해 1900년이후 기상청 산하 관측소 77개 지점에 대한 일강우량 자료를 기상청 데이터베이스를 통해 수집하였으며 일반적으로 통계적인 해석에서는 정상년 통계년수를 30년으로 한다는 이론을 적용하여 30년 미만의 자료를 보유하고 있는 지점 16개소와 제주도의 3개소, 대관령, 울릉도를 제외한 총 56개소에 대해 강우량 자료를 정리하였다.

#### 3.1.2 대상유역의 선정

각 가뭄년도의 피해지역을 파악하거나 최대가뭄심도를 파악하기 위해서는 전국을 지역에 따라 구분하여 정량적으로 분석해야 한다. 따라서, 가뭄을 위한 소유역의 구분은 두 가지 방법을 적용할 수 있다. 첫 번째 방법은 시·군과 같은 행정구역에 의해서 소유역을 구분하여 강우량을 적용하는 것이고, 두 번째 방법은 유출 소유역에 기여하는 수계별 강우량을 적용하는 것이다. 본 연구에서는 유출 소유역에 따른 수계별로 전국을 구분하여 가뭄기간을 산정하고, 가뭄기간동안 가뭄이 비교적 심했던 지역으로 판명되는 유역을 행정구역에 의해 구분하여 대상유역으로 선정하였다. 먼저 전국을 수계기준으로 11개 하천유역으로 나누고, 비교적 유역면적이 작은(안성천·삽교천, 동진강·만경강, 형산강·태화강)유역은 각 하나의 유역으로 해석하였다.

표 5는 그림 3과 같이 분할된 각 수계별 유역 및 유역별 우량 관측소의 현황을 나타낸다.

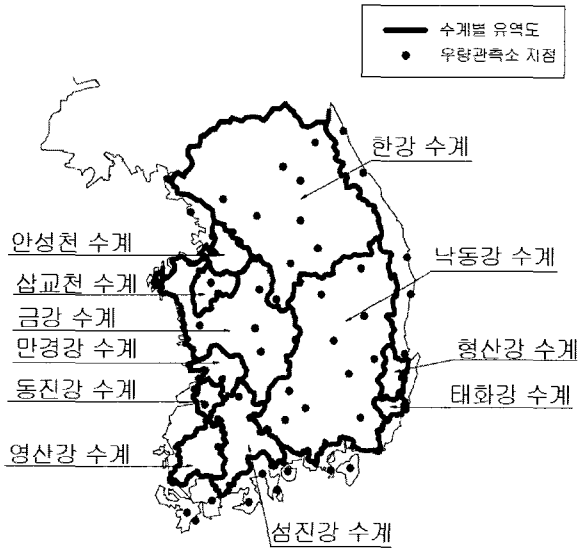


**그림 3. 수계별 유역과 관측지점**

## 표 4. 가뭄인자 (연평균강우 10~19 inch인 경우)

| 기온 (°F) | 전일 가뭄지수값 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 ~ 49 | 50 ~ 99 | 100 ~ 149 | 150 ~ 199 | 200 ~ 249 | 250 ~ 299 | 300 ~ 349 | 350 ~ 399 | 400 ~ 449 | 450 ~ 499 | 500 ~ 549 | 550 ~ 639 | 640 ~ 699 | 700 ~ 759 | 760 ~ 799 | 800 |
| 107 | 21 | 19 | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 11 | 10 | 9 | 7 | 5 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 106~104 | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 7 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 103~101 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 100~98 | 13 | 12 | 11 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 97~95 | 11 | 10 | 10 | 9 | 8 | 8 | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 94~92 | 9 | 9 | 8 | 8 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 91~89 | 8 | 8 | 7 | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 88~86 | 7 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 85~83 | 6 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 82~80 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 79~77 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 76~74 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 73~71 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 70~68 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 67~65 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 64~62 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 61~59 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 58~56 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 55~53 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 52~50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## 표 5. 분석대상 우량관측소별 자료보유현황

| 지점 번호 | 관측 지점 | 보유 연도 | 지점 번호 | 관측 지점 | 보유 연도 | 지점 번호 | 관측 지점 | 보유 연도 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 090 | 속초 | 1968-2002(35) | 232 | 천안 | 1973-2002(30) | 288 | 밀양 | 1973-2002(30) |
| 101 | 춘천 | 1966-2002(37) | 235 | 보령 | 1973-2002(30) | 289 | 산청 | 1973-2002(30) |
| 105 | 강릉 | 1912-2002(91) | 236 | 부여 | 1973-2002(30) | 294 | 거제 | 1973-2002(30) |
| 114 | 원주 | 1973-2002(30) | 238 | 금산 | 1973-2002(30) | 295 | 남해 | 1973-2002(30) |
| 211 | 인제 | 1973-2002(30) | 130 | 울진 | 1972-2002(31) | 140 | 군산 | 1968-2002(35) |
| 212 | 홍천 | 1973-2002(30) | 138 | 포항 | 1951-2002(52) | 146 | 전주 | 1941-2002(62) |
| 108 | 서울 | 1907-2002(96) | 143 | 대구 | 1909-2002(94) | 243 | 부안 | 1973-2002(30) |
| 112 | 인천 | 1949-2002(54) | 272 | 영주 | 1973-2002(30) | 244 | 임실 | 1973-2002(30) |
| 119 | 수원 | 1964-2002(39) | 273 | 문경 | 1973-2002(30) | 245 | 정읍 | 1973-2002(30) |
| 201 | 강화 | 1973-2002(30) | 277 | 영덕 | 1973-2002(30) | 247 | 남원 | 1973-2002(30) |
| 202 | 양평 | 1973-2002(30) | 278 | 의성 | 1973-2002(30) | 156 | 광주 | 1940-2002(63) |
| 203 | 이천 | 1973-2002(30) | 279 | 구미 | 1973-2002(30) | 165 | 목포 | 1906-2002(97) |
| 127 | 충주 | 1973-2002(30) | 281 | 영천 | 1973-2002(30) | 168 | 여수 | 1942-2002(61) |
| 131 | 청주 | 1967-2002(36) | 152 | 울산 | 1946-2002(57) | 170 | 완도 | 1973-2002(30) |
| 135 | 추풍령 | 1949-2002(54) | 159 | 부산 | 1906-2002(97) | 256 | 순천 | 1973-2002(30) |
| 221 | 제천 | 1973-2002(30) | 162 | 통영 | 1968-2002(35) | 260 | 장흥 | 1973-2002(30) |
| 226 | 보은 | 1973-2002(30) | 192 | 진주 | 1970-2002(33) | 261 | 해남 | 1973-2002(30) |
| 129 | 서산 | 1968-2002(35) | 284 | 거창 | 1973-2002(30) | 262 | 고흥 | 1973-2002(30) |
| 133 | 대전 | 1969-2002(34) | 285 | 합천 | 1973-2002(30) | 245 | 정읍 | 1973-2002(30) |

### 3.2 가뭄기간의 선정

#### 3.2.1 지속기간별 강우량 계열

가뭄피해는 최소한 6개월 이상 장기간에 걸쳐 발생하는 무강우에 의해 발생한다고 볼 수 있으므로 9가지 지속기간별 강우량을 구하였다. 지속기간은 1, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 18, 24개월로 하였으며, 강우가 일반적인 달력년을 기준으로 하여 발생한다고 볼 수 없으므로 일반적인 달력에 따르는 경우(1월 기준), 물수지 연도를 기준으로 하는 경우(10월 기준), 이동누가우량 기준으로 하는 3가지 기준에 의거 지속기간별 강우량을 산정하였다.

#### 3.2.2 지속기간별 최소강우량 발생시점의 결정

각 수계에 대하여 지속기간별(1, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 18, 24개월) 누가강우량과 계열 중에서 가장 작은 강우량이 발생한 기간을 구하였다. 최소강우량의 크기는 이동누계하여 구한 경우가 항상 가장 작았고 달력년을 기준으로 하는 경우가 크게 나타났다. 그러므로 이동누계에 의한 최소강우량 결정이 가뭄 해석을 위한 강우자료로는 가장 적합하지만, 강우의 발생시점이 각 수계별로 다르게 나타나므로 가뭄 피해를 공간적으로 나타내려는 경우에 가뭄이 발생한 시기를 동일한 기준으로 나타내기에는 불합리적인 단점을 가지고 있다. 따라서 결과적으로 가뭄기간의 선정은 10월(물수지년도)을 기준으로 하였다.

### 3.3 주요가뭄기간 및 가뭄우심지역의 결정

#### 3.3.1 주요 가뭄기간 결정

지속시간이 12개월 이상인 경우 최소강우량이 발생하는 시점은 거의 동일하게 나타나므로 지속기간이 12개월이고 물수지년도를 기준으로 하는 경우의 강우계열을 이용하여 가뭄이 발생한 기간을 결정하였다. 즉, 임의의 수계에서 지속기간이 12개월인 강우량 계열을 구하고, 각 수계별로 강우계열을 작은 것부터 순위를 정하고 동일년도에 대하여 8개 수계에 각각 발생한 지속기간 12개월 강수량의 순위를 평균하였다. 그 결과 표 6에서 보는 바와 같이 전국적으로 가뭄이 가장 우심했던 기간은 1981년 10월부터 1982년 9월, 1993년 10월부터 1994년 9월 기간으로 나타났고, 1994년 10월~1996년 9월 기간도 높은 순위로 나타나므로 1993년 10월부터 1996년 9월까지 장기간의 가뭄이 있었음을 판단할 수 있다.

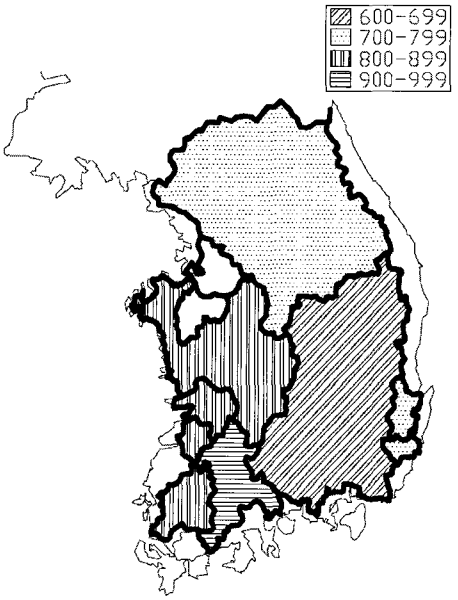


**그림 4. 가뭄 우심수계의 12개월 강우량 (㎜) 비교 ('93. 10-'94. 9)**

**표 6. 연도별 연강수량의 순위 (물수지년, 10월기준)**

| 순위 | 평균 | 발생연도 | 순위 | 평균 | 발생연도 | 순위 | 평균 | 발생연도 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.75 | 1981 | 15 | 19.75 | 1965 | 28 | 25.50 | 1999 |
| 1 | 2.75 | 1993 | 16 | 20.00 | 1970 | 30 | 26.88 | 1979 |
| 3 | 5.25 | 1987 | 17 | 20.38 | 1983 | 31 | 27.25 | 1971 |
| 4 | 6.38 | 1976 | 18 | 21.00 | 1974 | 32 | 28.13 | 1969 |
| 4 | 6.38 | 2000 | 19 | 21.75 | 1982 | 33 | 28.88 | 1984 |
| 4 | 6.88 | 1995 | 20 | 22.00 | 1990 | 34 | 30.00 | 1978 |
| 7 | 7.75 | 1967 | 21 | 23.50 | 1992 | 35 | 30.38 | 1989 |
| 8 | 10.38 | 1991 | 22 | 23.63 | 1996 | 36 | 31.38 | 1986 |
| 9 | 11.25 | 1966 | 23 | 23.75 | 1980 | 37 | 31.63 | 1998 |
| 10 | 11.38 | 1964 | 24 | 23.86 | 1963 | 38 | 31.71 | 1962 |
| 11 | 12.38 | 1975 | 25 | 24.14 | 1961 | 39 | 36.38 | 1968 |
| 12 | 12.50 | 1972 | 26 | 25.13 | 1985 | 40 | 38.75 | 1997 |
| 13 | 15.38 | 1994 | 27 | 25.25 | 1988 | 41 | 40.63 | 2001 |
| 14 | 17.50 | 1977 | 28 | 25.50 | 1973 | 42 | 41.63 | 2002 |

### 3.3.2 해석대상유역의 결정

해석대상유역을 가뭄이 잦은 빈도로 발생하고 연강우량이 작은 수계를 바탕으로 정할 때 낙동강, 형산강, 영산강, 동진강 및 섬진강 수계가 해당되므로 이들 수계를 행정구역으로 나누어 대상유역으로 결정하였다.

본 연구에서는 가뭄지수들의 비교를 위해 그림 5와 같이 경상남·북도, 전라남·북도를 최종 분석대상유역으로 설정하였고, 이 유역에 포함된 우량관측소는 대구 및 광주를 포함한 33개 지점으로 결정하였다.

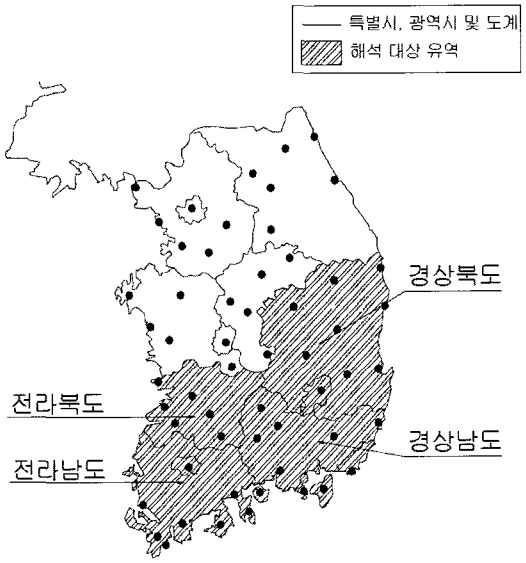


**그림 5. 분석대상유역(경상도, 전라도)과 지점**

## 4. 가뭄지수 산정결과

### 4.1 대상 유역에 적합한 Palmer 가뭄지수의 개발

Palmer가 개발한 기후특성인자($K$)를 구하는 방법이나, 가뭄지수($X$)를 산정하는 공식은 모두 미국지역의 기후특성에 맞추어 만든 것이므로 본 연구의 대상유역에 맞는 새로운 방식을 개발하여야만 Palmer의 가뭄지수 산정방법을 우리나라에 올바르게 적용시킬 수가 있다.

따라서 대상유역의 33개 지점별 자료를 이용하여 Palmer의 방법에 따라 수분수지분석을 실시한 후, 각각의 필요한 계수들을 산정하여 대상유역의 지역적, 기후적 특성을 반영하는 기후특성인자($K$)와 가뭄지수($X$)의 산정공식을 개발하였으며, 분석대상 유역인 경상도와 전라도 대상지점에 대해 얻어진 대표 가뭄지수($X$)를 구하는 식은 다음과 같다.

$$X_i = 0.931X_{i-1} + \frac{Z_i}{2.580} \tag{6}$$

#### 4.1.1 대상지점별 Palmer 가뭄지수의 분석

대상지점인 33개 지점의 주어진 자료에 대해 식 (6)을 이용하여 Palmer 가뭄지수를 산정하였으며, 그림 6~7은 대표적으로 대구와 광주의 월별 가뭄지수 산정결과를 도시한 것이다. Palmer의 방법에 따라 산정된 가뭄지수는 8개 주요가뭄기간에 있어서 가뭄의 양상을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

### 4.2 대상 유역에 대한 SPI의 적용

#### 4.2.1 SPI의 분석을 위한 확률분포형의 선정과 모수추정

본 연구에서는 SPI를 산정하기 위한 누가강수시계열의 적정확률분포형은 Pearson Type-Ⅲ 분포형으로 선정하였으며, 이상치의 영향을 최소화 할 수 있고 표본에 가중치를 주어 소표본으로 인한 확률밀도함수의 양극단에서 발생하는 오차를 줄일 수 있는 PWM (Probability Weighted Moment)법의 일종인 L-moment법을 이용하여 모수를 추정하였다.

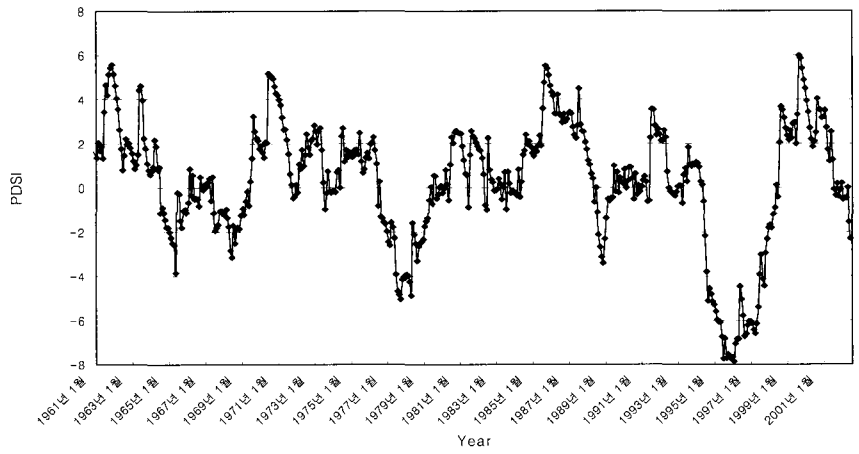


**그림 6. 대구지점의 월별 가뭄지수(PDSI)**

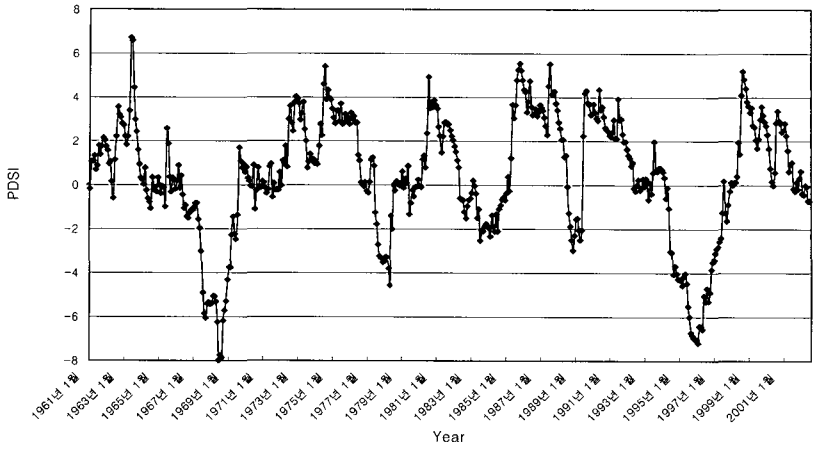


**그림 7. 광주지점의 월별 가뭄지수(PDSI)**

대상유역의 33개 지점별 월강우자료를 바탕으로 지속기간이 1, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 18, 24개월인 SPI를 산정하였으며, 그림 8~9는 대표적으로 대구지점에 대한 1961~2002년까지의 6개월과 12개월 SPI를 도시한 것이다. Palmer 가뭄지수와 마찬가지로 SPI의 방법을 통해 산정된 지수도 8개 주요가뭄기간에 있어서 가뭄의 양상을 대체로 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

### 4.3 대상유역에 대한 KBDI의 적용

KBDI는 외국의 경우 산지나 들의 화재경보와 예방차원으로 이용되는 지수이므로 국내에 적용하는 데는 아직 확실한 이론이 정립되지 않았다. 그러나 순강우와 증발에 의한 상부토양층 수분손실의 관계로 도출되는 지수이고 토양의 수분감소를 의미하기 때문에 적용이 가능하다.

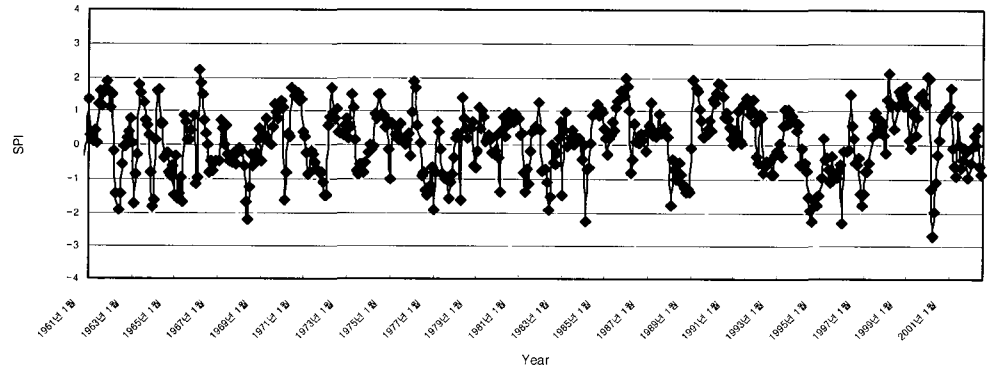


**그림 8. 대구지점의 6개월 가뭄지수(SPI)**

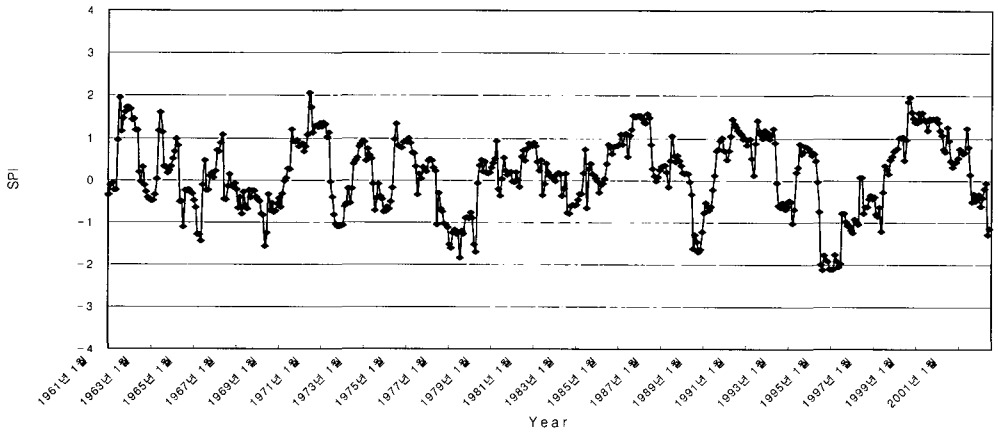


**그림 9. 대구지점의 12개월 가뭄지수(SPI)**

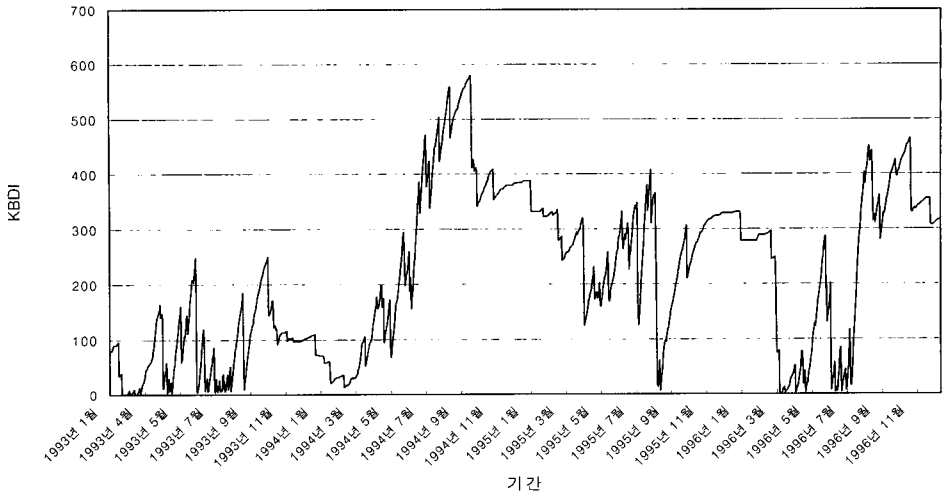


**그림 10. 대구지점의 일별 가뭄지수(KBDI)**

대상유역의 33개 지점별 연평균강우량, 일강우량자료와 일최고기온을 바탕으로 KBDI를 산정하였으며, 대구지점의 1961~2002년까지의 KBDI에 대한 추이의 일부(1993~1996년)는 다음 그림 10과 같다.

### 4.4 비교 및 고찰

본 연구에서는 가뭄지수를 산정하기 위해 대구, 광주 등을 포함한 경상도 및 전라도의 33개 기상관측소의 월평균기온, 월강우자료를 이용하여 PDSI와 SPI를 산정하였으며, 일최고기온과 일강우자료를 이용하여 KBDI를 산정하였다.

가뭄지수를 그림 11~14와 같이 도시해 본 결과 대구와 광주지점에 대해 PDSI와 SPI는 '81~'82년을 제외한 '67~'68년, '76~'77년, '87~'88년, '93~'97년에 대해 확연한 가뭄상태로 나타났다. KBDI의 경우는 월단위로 산정되는 PDSI와 SPI와 다르게 일단위로 산정되기 때문에 가뭄지수 비교의 용이함을 위해 그림 11~14와 같이 0~800까지 역으로 도시하였다. 표 4와 같이 가뭄지수 특성상 0~200까지의 지수가 정상의 상태를 나타내고 200~800까지의 지수가 가뭄의 상태를 나타내기 때문에 지수 200값 이상을 보면 PDSI와 SPI의 가뭄경향과 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 그리고 KBDI는 지점별 최고기온과 일강우의 자료를 이용하기 때문에 대구지점이 광주지점보다 강우량이 훨씬 적고 일최고기온이 높다는 것도 알 수 있다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 분석된 가뭄기간과 알려진 가뭄기간을 각 가뭄지수들을 통해 비교한 결과 가뭄기간이 거의 일치하며 가뭄특성을 잘 나타내고 있다고 판단된다.

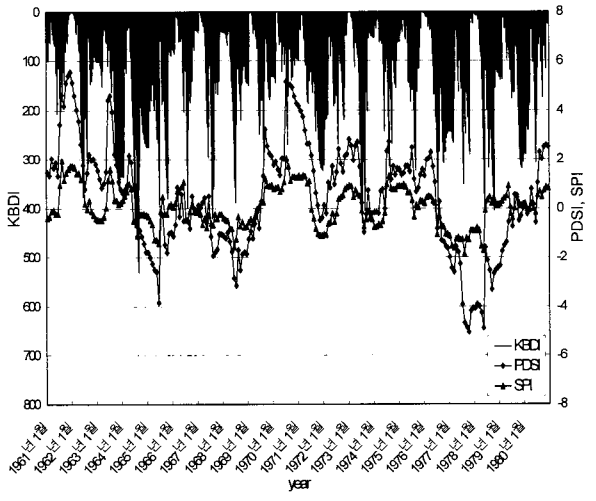


**그림 11. 각 가뭄지수의 비교 (대구, 1961~1980년)**

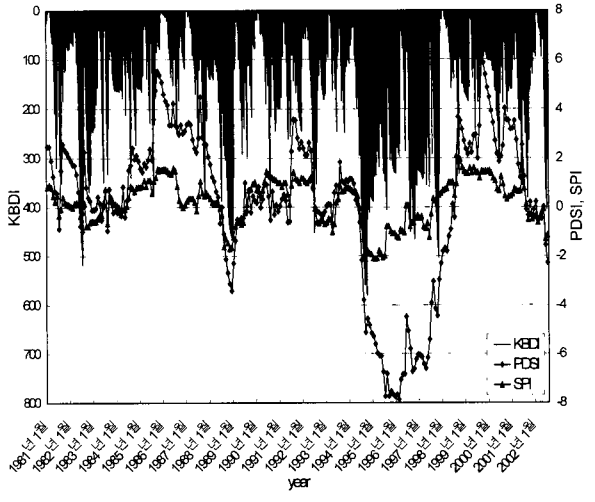


**그림 12. 각 가뭄지수의 비교 (대구, 1981~2002년)**

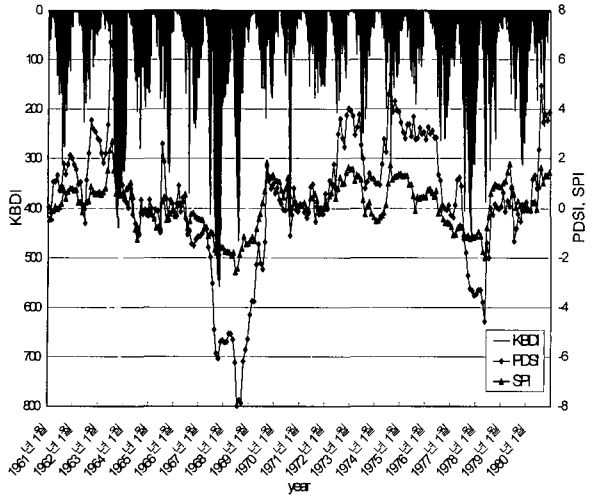


그림 13. 각 가뭄지수의 비교 (광주, 1961~1980년)

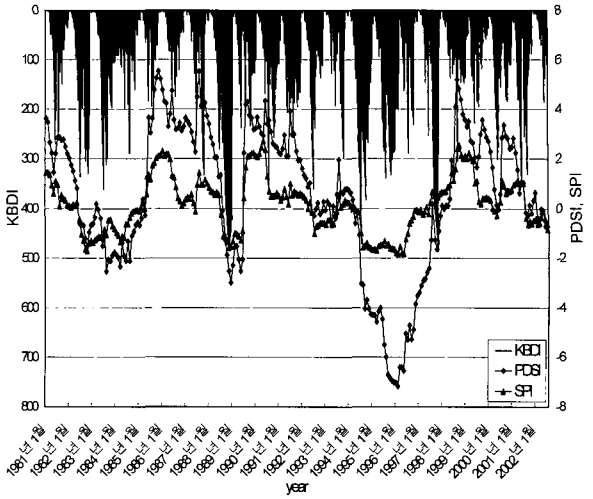


그림 14. 각 가뭄지수의 비교 (광주, 1981~2002년)

## 5. 결 론

1) PDSI, SPI 및 KBDI를 우리나라의 과거 주요가뭄기간인 '67~'68년, '76~'77년, '81~'82년, '87~'88, '94~'95, 2000~2001년에 대해 적용해 본 결과 모두 잘 재현하고 있는 것으로 나타났으며, 본 연구에서 추가로 추정된 가뭄기간인 '93~'94년, '95~'96년에 대해서도 좋은 결과를 보여 '93~'96년까지 장기간의 가뭄이 발생했었음을 알 수 있었다.

2) 우리나라를 8개의 수계로 나누어 주요가뭄기간별로 고찰해 본 결과 '60년 이후 가장 빈번하게 가뭄이 발생한 지역은 낙동강, 형산강·태화강과 영산강, 동진강 및 섬진강 수계이므로 주로 경상도와 전라도지역으로 나타났으며, 특히 이 지역에 대한 가뭄대책의 필요성이 요구된다.

3) 가뭄지수들의 특성을 살펴보면 PDSI는 가뭄의 시작시기가 지체되어서 현 시점의 가뭄상태를 판단하기 어렵고, 극한 기후 상태가 빈번한 지역은 정확도가 떨어지며 산정의 복잡함과 일정한 지속기간만을 산정하는 단점을 가지고 있지만, 지역별 기후특성을 고려하여 종합적으로 산정하기 때문에 전국의 일관된 지수를 산정할 수 있는 장점이 있다. 그리고 누적되는 강우의 부족을 나타내기 때문에 장기간 지속되는 가뭄기간의 변화를 알 수 있는 데 유리한 것으로 나타났다.

4) SPI는 이전에 산정된 지수값이 재산정시 지수에 변화가 있을 수 있으며 입력자료로 강우자료만을 취급하기 때문에 다양한 기후변수를 적용하는 것이 어려운 단점이 있지만 장·단기간의 지속시간에 대해 산정할 수 있으며 간단한 방법으로 산정할 수 있는 장점이 있고, 가뭄의 시작시기와 변화추이를 쉽게 알 수 있는 것으로 나타났다.

5) 일최고기온과 일강우량으로부터 KBDI를 산정한 결과값은 PDSI, SPI와 같이 주요가뭄기간과 지역적 기후특성에 대한 가뭄의 경향을 잘 나타내고 있다. KBDI의 장점은 일단위로 산정되기 때문에 일단위 가뭄예측도 가능하다는 장점이 있으나, KBDI의 가뭄인자(drought factor)가 미국기후를 바탕으로 산정되어 있기 때문에 국내에 적용을 위해서는 추후 가뭄인자의 연구와 수정이 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 2001년도 금오공과대학교 교내 연구비 지원 사업으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 학교 당국에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

건설교통부 (1995) 가뭄기록조사 보고서.

류재희, 윤용남, 이동률, 안재현 (2001) 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교연구, 한국수자원학회 학술발표논문집(I), pp.122-127.

유재복, 이재응, 김문모 (2002) 가뭄 예·경보를 위한 지수 개발에 관한 연구, 한국수자원학회 학술발표논문집(II), pp.1236-1241.

유재성, 강인식, 박준일, 신형우 (1999) L-moment법을 이용한 지점가뭄빈도 해석, 생산기술연구소논문집 15권, pp.183-189.

윤용남, 안재현, 이동률 (1997) Palmer의 방법을 이용

한 가뭄의 분석, 한국수자원학회논문집, 제30권 제4호, pp.317-326.

장연규, 김상단, 최계운 (2004) SPI 가뭄지수의 EOF 분석을 이용한 가뭄의 공간적 특성 연구, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.4897-4902.

Guttmann, N. B. (1999) Accepting the Standardized Precipitation Index: A Calculation Algorithm, *Journal of the American Water Resources Association*, Vol.35, No.2, pp.311-322.

Guttmann, N. B. (1998) Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index, *Journal of the American Water Resources Association*, Vol.34, No.1, pp.113-121.

Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis (1997) *Regional Frequency Analysis*, Cambridge University Presss.

Keetch, J. J. and G. M. Byram (1968) *A Drought Index for Forest Fire Control*, Research Paper SE-38, USDA Forest Service, SE Forest Experiment Station, Asheville, NC.

McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kliest (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, *8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 Jan., Anaheim, CA, pp.179-184.

McKee, T. B,, N. J. Doesken and J. Kliest (1995) Drought Monitoring with Multiple Time Scales. *9th AMS Conference on Applied Climatology*, 15-20 January 1995, Dallas, Texas.

Palmer, W. C. (1965) *Meteorological Drought*, Research Paper No.45, U.S. Water Bureau, NOAA Library and Information Services Division, Washington D.C. 20852.

Thornthwaite, C. W. and B. Holzman (1942) *Measurement of Evaporation from Land and Water Surface*, Technical Bulletin, No.817, U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service.

Thornthwaite, C. W. (1948) An Approach toward a Rational Classification of Climate, *Geographical Review*, Vol.38, Issue 1, pp.55-94.

Thornthwaite, C. W. and J. R. Mather (1955) *The Water Balance*, Laboratory of Climatology, No.8, Centerton, NJ.

Wilhite, D. A. ed.. (2000) *Drought: A Global Assessment*, Natural Hazards and Disasters Series, Routledge Publishers, London.

◎ 논문접수일 : 2005년 11월 29일
◎ 심사의뢰일 : 2005년 11월 30일
◎ 심사완료일 : 2005년 12월 14일