

우리 나라 주요 지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교

Calculation and Comparison of Drought Indices on Major Weather Stations in Korea

김 상 민* · 박 승 우**
Kim, Sang Min · Park, Seung Woo

Abstract

In an effort to identify quantitatively historical drought conditions, and to evaluate their temporal and spatial variability, two commonly used drought indices, the standardized precipitation index, SPI by McKee and the Palmer drought severity index, PDSI were calculated from 54 meteorological stations. SPI was evaluated for different time scales, 3 to 48 months. As the computational spans for SPI increase from 3 to 48 months the frequency and intensity of drought decrease, but the duration of drought increase. When monthly and ten-day PDSIs were compared, the frequency and duration of drought were almost equal and the intensity of drought differ slightly. The three month SPI has the advantage to detect the drought resulting from short-term shortage of rainfall, while PDSI had the advantage to detect the state of drought resulting from cumulated shortage of rainfall. The period-frequency spectrum analyses at Kangnŕng station showed that the maximum value of relative frequency was 24.4% when the period was 5.2 months, and the 6 month SPI has most similar trends to PDSI.

I. 서 론

우리나라의 연평균 강수량은 1,274mm로 세계 연평균 강수량의 1.3배에 달해 총량으로는 풍부한 편이나 연강수량의 2/3가 여름철에 집중되어 실제 이용가능한 수자원량은 부족한 상황이며, 최근 1994-1995년을 비롯하여 극심한 가뭄을 경험한 바 있다.

가뭄은 학문분야의 관심에 따라 여러 가지 정의가 제시되어 있다. Dracup 등(1980)⁵⁾은 물부족의

특성, 평균기간, 절단수준(truncation level), 지역화 접근의 네가지 기준에 의해 가뭄을 정의하는 분류법을 제시하였으며, Wilhite와 Glantz (1985)¹⁰⁾는 가뭄의 정의에 대한 광범위한 고찰을 통해 여섯가지 범주-기상학적, 기후학적, 대기적, 농업적, 수문학적, 물관리 가뭄-로 분류하였다. U. S. Weather Bureau에서는 가뭄을 '평소 충분한 강우가 있던 곳에서 작물과 동물의 생활에 해를 끼치거나 생활용수나 발전소의 운영에 공급되는 물을 고갈시킬 만큼 장기간의 심각한 강우부족'으로 정의

* 서울대학교 대학원

** 서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 가뭄, 가뭄지수, SPI, PDSI

하였으며, Palmer(1965)⁹⁾는 '주어진 지점에서 실제수분공급이 기후적으로 필요한 수분공급보다 적은 수개월 또는 수년의 기간이 지속되는 현상'으로 정의하였다.

가뭄의 정도를 정량화하기 위해 다양한 가뭄지수가 개발되어 있으며, 각각의 관심분야에 따라 각기 다른 입력변수를 이용해 가뭄의 심도와 기간을 분석하고 있다. 이러한 가뭄지수로는 강수량을 입력자료로 이용하여 강수의 확률적인 분포를 이용한 것으로 NRI(National Rainfall Index), DR(Dependable Rain), RAI (Rainfall Anomaly Index), BMDI(Bhalme and Mooley Drought Index), Decile, SPI(Standardized Precipitation Index)등이 있으며, 이 중 SPI는 강수의 부족정도를 시간간격에 따라 계산한다. 토양의 수분수지분석을 이용한 방법으로 PDSI(Palmer Drought Severity Index)와 CMI(Crop Moisture Index)등이 있으며, PDSI는 강수량과 증발산량을 이용해 월별로 계산하고, CMI는 일주일마다 증발산량의 부족을 계산한다. 수분의 공급부분에 관심을 가진 지수로 SWSI(Surface Water Supply Index), RDI(Reclamation Drought Index)가 있으며, SWSI는 지표수의 공급에 영향을 미치는 강수, 적설, 하천수, 저수지 자료를 이용하고, RDI는 수분의 공급 외에 수요에 대한 부분을 고려한다.

국내의 경우 여러 가뭄지수를 이용해 과거 가뭄에 대한 연구가 적용된 바 있으나, 가뭄지수의 상호비교를 통한 연구는 부족한 실정이며 각각의 지수들이 어떠한 특징을 지니는 지에 대한 고찰이 필요하다. 본 연구에서는 가뭄을 유발하는 근원이 되는 강수의 부족으로부터 가뭄을 분석하는 SPI와 현재 가뭄의 분석을 위해 광범위하게 사용되고 있는 PDSI를 이용해 우리나라 주요지점에 대한 가뭄을 분석하고, 과거 주요 가뭄기간에 대한 가뭄의 심도와 경향을 고찰하였다. 또한, 산정된 가뭄지수를 이용해 가뭄의 범주에 대해 비교하고, 스펙트럼 분석(spectral analyses)을 통해 SPI와 PDSI의 통계적 특성을 고찰하였다.

II. 가뭄지수의 산정방법

1. SPI(Standardized Precipitation Index)

가뭄은 상대적으로 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 데 착안하여 McKee 등(1993)⁷⁾에 의해 개발되었다. SPI는 특정한 시간에 대한 강수량의 평균치와 강수량의 차를 표준편차로 나눈 것이며, SPI는 사용자의 요구에 따라 다양한 시간축척(1개월, 3개월, 6개월 등)에 대해 계산될 수 있는 장점이 있다. 짧은 기간의 시간축척은 농업적 관심에 사용될 수 있으며, 비교적 장기간의 시간축척은 수자원공급 관리 등에 사용될 수 있다.

SPI는 다음의 근사식을 이용하여 계산된다.

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \dots\dots\dots(1)$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{for } 0.5 < H(x) \leq 1.0 \dots\dots\dots(2)$$

여기서, $t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}$ for $0 < H(x) \leq 0.5$
(3)

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)}$$
 for $0.5 < H(x) \leq 1.0$
(4)

$$c_0 = 2.515517, \quad c_1 = 0.802853, \quad c_2 = 0.010328, \\ d_1 = 1.432788, \quad d_2 = 0.189269, \quad d_3 = 0.001308$$

Gamma함수는 x가 0일 때는 정의되어 있지 않지만, 실제 강우의 분포에서는 0인 값이 포함될 수 있으므로 누가 분포를 다음의 H(x)의 형태로 나타낸다.

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \dots\dots\dots(5)$$

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta \hat{\alpha} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\beta} dx \dots\dots\dots(6)$$

식 (5)의 q는 무강우확률로 강우관측일수(n)에 대한 무강우일수(m)의 비(q=m/n)로 계산된다. 식(6)의 x는 강수량을 의미하며, g(x)는 Gamma 분포의 확률밀도함수이다. α, β는 형상 매개변수, 척척 매개변수를 나타내며, 매개변수의 추정은 최우도법(maximum likelihood method)을 이용하며 추정된 매개변수는 각각 α̂, β̂로 표시한다.

SPI 가뭄의 심도는 다음 Table 1로 정의된다 (McKee 등, 1995).⁸⁾

Table 1. Classification of drought intensity according to SPI

| SPI 값 | 가뭄의 범주 | 확률 분포 범주 |
|----------------|--------------------------|----------|
| 0.00 to -0.99 | 약한 가뭄(mild drought) | 34.1% |
| -1.00 to -1.49 | 보통 가뭄 (moderate drought) | 9.2% |
| -1.50 to -1.99 | 심한 가뭄(severe drought) | 4.4% |
| ≤ -2.00 | 극한 가뭄(extreme drought) | 2.3% |

2. PDSI(Palmer Dought Severity Index)

Palmer(1965)⁹⁾는 가뭄을 ‘장기간의 이상수분부족’으로 정의하였으며, 이러한 가뭄의 정의를 통해 가뭄의 심도를 수분부족량과 수분부족기간의 함수로 나타내었다. Palmer는 가뭄 통계의 시·공간적 비교가 가능한 지수의 개발을 위해 기후적으로 상이한 서부 Kansas지역과 중부 Iowa의 두 지역을 선정하여, 지역별 기후적인 편차를 고려해 서로 다른 지역에 대해 비교 가능한 가뭄지수를 개발하였다. PDSI는 현재 미국의 북부를 비롯하여 많은

지역에서 가뭄의 모니터링을 위해 사용하고 있으며, 국내의 경우 건설교통부(1995년),¹⁾ 윤 등(1997년)⁴⁾이 적용한 바 있다.

Palmer의 가뭄지수는 Thornthwaite의 수분수지 분석법을 이용해 계산된다. 수분수지의 분석을 위해 토양을 임의로 상부와 하부의 2개층으로 나누며, 상부층은 25.4mm의 유효수분을 저장할 수 있다고 가정하고, 상부층 위로 강우가 낙하하고 증발이 일어나며, 토양수분의 계산에서 상부층의 유효수분이 모두 제거될 때까지 잠재적인 비율로 증발산이 일어난다고 가정한다. 하부층의 수분손실은 초기수분량, 산정된 잠재증발산량과 유효수분 용량(available water capacity, AWC)과 관계가 있다. 또한, 두 층 모두 포장용수량에 도달하기 전에는 유출이 발생하지 않는다고 가정한다. 이러한 가정으로부터 상·하부층의 토양수분 손실량은 다음의 식 (7), (8)으로 계산된다.

$$L_s = \min[S_s \text{ or } (PE - P)] \dots\dots\dots(7)$$

$$L_u = (PE - P - L_s) \frac{S_u}{AWC}, \quad L_u \leq S_u \dots\dots\dots(8)$$

여기서, L_s는 상부층의 수분손실, L_u는 하부층의 수분손실이며, L = L_s + L_u의 관계를 가지고, S_s는 해당월이 시작될 때 상부층에 저장된 유효수분, S_u는 해당월이 시작될 때 하부층에 저장된 유효수분이며, P는 해당월의 강수량, PE는 해당월의 잠재증발산량, AWC는 상부와 하부층의 유효용량의 합이다.

식 (7), (8)의 잠재증발산은 Thornthwaite의 방법을 이용하여 계산되며, 월평균기온을 t, 연열지수를 J, 월열지수를 j라 하면, 임의 월의 잠재증발산량 PE는 다음의 식 (9)로 계산된다.

$$PE_x = 1.62 \left(\frac{10t}{J} \right)^a \text{ cm/month} \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{여기서, } a = (675 \times 10^{-9})j^3 - (771 \times 10^{-7})j^2 - (179 \times 10^{-4})J + 0.49239$$

$$J = \sum_{n=1}^{12} j_n, \quad j = \left(\frac{t_n}{5}\right)^{1.514} = 0.0875 t_n^{1.514}$$

수분수지분석을 위해서는 잠재증발산량 외에 잠재함양량(potential recharge, PR), 잠재손실량(potential loss, PL), 잠재유출량(potential runoff, PRO)의 세가지 추가적인 변량들이 필요하다. 잠재함양량(PR)은 토양수분이 포장용수량이 될 때까지의 토양수분량으로 정의되며, 잠재손실량(PL)은 강우가 없는 기간동안 토양으로부터 사라지는 토양수분량으로 정의되며, 잠재유출량(RO)은 유효수분용량(AWC)에서 잠재함양량을 뺀 값으로 계산되어진다.

$$PR = AWC - (S_s + S_u) \dots\dots\dots(10)$$

$$PL = PL_s + PL_u \dots\dots\dots(11)$$

여기서, $PL_s = \min [PE \text{ or } S_s] \dots\dots\dots(12)$

$$PL_u = (PE - PL_s) \frac{S_u}{AWC}, \quad PL_u \leq S_u \dots\dots\dots(13)$$

$$PRO = AWC - PR = AWC - (AWC - S) = S \dots\dots\dots(14)$$

월별 수분수지 분석을 통해 계산된 값을 이용해 지역별로 보정기간에 대한 평균잠재량과 평균치에 대한 비율로 월별 증발산계수(α), 함양량계수(β), 유출량계수(γ), 손실량계수(δ)를 계산할 수 있다. 각각의 계수는 다음의 식으로 계산된다.

$$\alpha = \frac{\overline{ET}_i}{\overline{PE}_i}, \quad \beta = \frac{\overline{R}_i}{\overline{PR}_i}, \quad \gamma = \frac{\overline{RO}_i}{\overline{PRO}_i},$$

$$\delta = \frac{\overline{L}_i}{\overline{PL}_i} \dots\dots\dots(15)$$

여기서, ET는 실제증발산량, R은 실제함양량, RO는 실제유출량, L은 실제손실량이다.

식 (15)에서의 각각의 계수는 과거자료로부터 계산된 평균치를 이용하며, 특정 연도에 대한 잠

재량에 계산된 계수를 곱한 값은 정상평균치로 이를 기후학적으로 필요한(climatically appropriate for existing condition, CAFEC) 값이라 부른다. 식 (15)를 이용해 기후학적으로 필요한 값을 식 (16)과 같이 계산할 수 있으며, 이로부터 기후학적으로 필요한 강수량(\hat{P})을 식 (17)로 계산하며, 강수량 수분편차(d)는 식 (18)과 같이 계산된다.

$$\widehat{ET} = \alpha PE, \quad \widehat{R} = \beta PR, \quad \widehat{RO} = \gamma PRO,$$

$$\widehat{L} = \delta PL \dots\dots\dots(16)$$

$$\hat{P} = \widehat{ET} + \widehat{R} + \widehat{RO} - \widehat{L} \dots\dots\dots(17)$$

$$d = P - \hat{P} \dots\dots\dots(18)$$

Palmer(1965)⁹⁾는 지역적, 시간적 편차를 보정하기 위해 기후특성인자(K)를 제시하였으며, 식 (19)로 계산된다. 산정된 기후특성인자와 수분편차의 곱으로 월별 수분이상지수 (moisture anomaly index, Z)가 계산되며, 계산된 월별 수분이상지수(Z)와 전월의 가뭄지수를 이용해 월별 가뭄지수(X)가 계산된다.

$$K_j = \frac{17.67}{\sum_{i=1}^{12} \overline{D}_i K'_i} K'_j \dots\dots\dots(19)$$

여기서, \overline{D}_i 는 수분편차 절대치의 평균값이며, K'_j 은 다음 식으로 계산된다.

$$K'_j = 1.5 \log_{10} \left[\left(\frac{\overline{PE}_j + \overline{R}_j + \overline{RO}_j}{\overline{P}_j + \overline{L}_j} + 2.80 \right) / \overline{D}_j \right] + 0.50$$

$$Z = K_j d \quad (j=1, 2, \dots, 12) \dots\dots\dots(20)$$

$$X_i = X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{3} \right) - 0.103 X_{i-1}$$

$$= 0.897 X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{3} \right) \dots\dots\dots(21)$$

순별 PDSI를 산정하기 위해 순별 강수량과 평균기온을 이용해 순별 수분수지분석을 통해 순별 증발산 계수(α'), 함양량 계수(β'), 유출량 계수(γ'), 손실량 계수(δ')를 계산하고, 가뭄분석 대상지점별로 기후특성인자(K')와 순별 수분이상지수(Z')를 계산한다. 월별 가뭄지수의 산정식을 순별기간에 맞게 수정하며, 다음의 식을 이용하여 순별 가뭄지수(X_i')가 계산된다.

$$X_i' = X_{i-1}' + \left(\frac{Z_i'}{2.794}\right) - 0.0369 X_{i-1}'$$

$$= 0.9631 X_{i-1}' + \left(\frac{Z_i'}{2.794}\right)' \dots\dots\dots(22)$$

Palmer(1965)⁹⁾는 가뭄지수(X)에 따른 습윤기와 건조기의 범위를 Table 2와 같이 정의하였다.

Table 2. Classification of weather according to PDSI

| X | Class |
|----------------|----------------------------|
| ≥ 4.00 | 극한 습윤(extremely wet) |
| 3.00 to 3.99 | 심한 습윤(very wet) |
| 2.00 to 2.99 | 보통 습윤(moderately wet) |
| 1.00 to 1.99 | 약한 습윤(slightly wet) |
| 0.50 to 0.99 | 시작 습윤(incipient wet spell) |
| 0.49 to -0.49 | 거의 정상(near normal) |
| -0.50 to -0.99 | 시작 가뭄(incipient drought) |
| -1.00 to -1.99 | 약한 가뭄(mild drought) |
| -2.00 to -2.99 | 보통 가뭄(moderate drought) |
| -3.00 to -3.99 | 심한 가뭄(severe drought) |
| ≤ -4.00 | 극한 가뭄(extreme drought) |

III. 가뭄지수의 산정과 비교

1. 기상자료의 선정

1998년 현재 우리나라에서 운영하고 있는 기상

관측소는 모두 72개소이며, 이 중 2/3에 해당하는 48개소는 1972년 이후부터 기상관측을 실시하고 있으며, 30년 이상의 자료를 보유하고 있는 관측소는 전체의 1/3에 해당한다. 가뭄지수를 산정하기 위하여 자료기간 25년 이상의 관측소 54개소를 선정하였으며, 선정된 관측소는 Fig. 1과 같다.

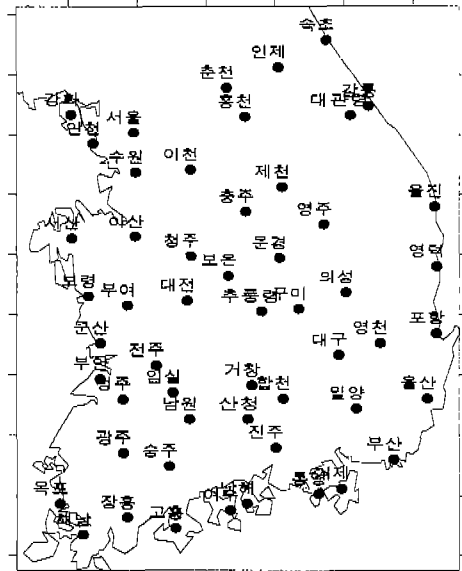


Fig. 1. Location of selected stations

2. SPI

선정된 관측소의 기상자료를 이용해 54개 지점에 대한 3, 6, 12, 24, 48개월 SPI를 계산하였으며, Fig. 2에서 Fig. 4는 1994년 3월의 3, 6, 12개월 SPI를 보여주고 있다. 3개월 SPI는 3개월간의 강수량의 합에 대한 정규화된 강수지수를 나타내며 3-SPI로 표시한다. 1994년 3월의 경우 시간간격이 길어질수록 가뭄의 심도가 점차 약화되고 있음을 보여주고 있으며, 이는 1994년 3월에 이르러 강수의 부족이 발생하고 있는 것을 의미한다. 이와는 반대로 시간간격이 짧을 때 비교적 낮은 가뭄지수를 보이고, 시간간격이 길어질수록 강한 가뭄의 심도를 보인다면, 이는 최근에 이르러 강수량이 증가하고 있다는 것으로 가뭄이 서서히 해갈되어

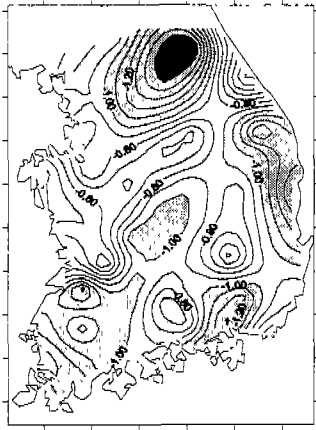


Fig. 2. 3 month SPI(1994. 3)

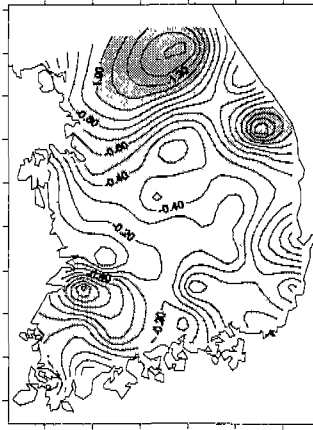


Fig. 3. 6 month SPI(1994. 3)

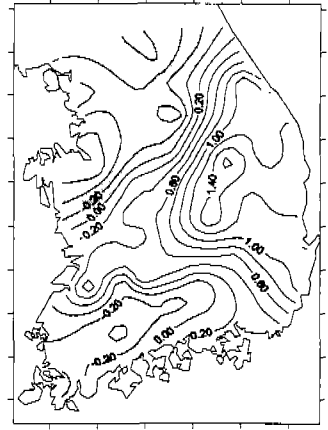


Fig. 4. 12 month SPI(1994. 3)

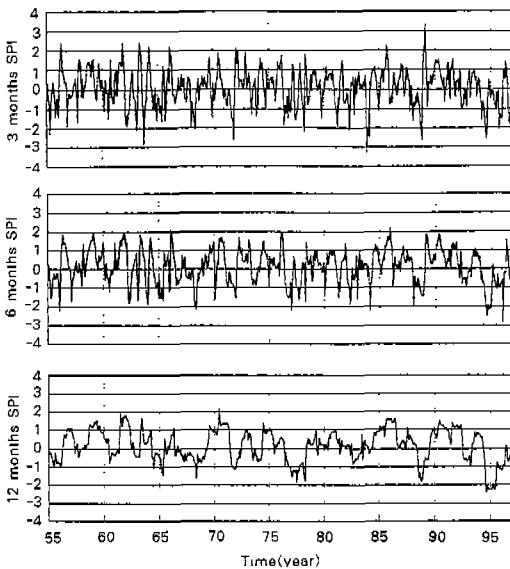


Fig. 5. 3, 6, 12 month SPI at Taegu station. (1955~1996)

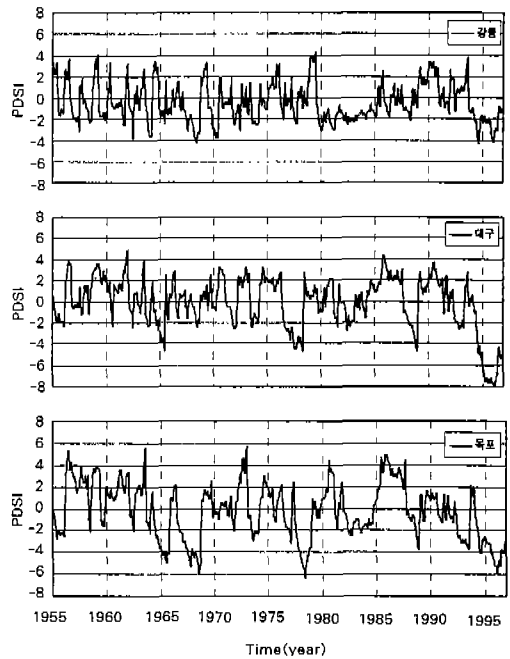


Fig. 6. Variation of PDSI at Kangnŕng, Taegu and Mokpo station

가고 있음을 나타낸다. 이와 같이 시간간격에 따른 가뭄심도의 변화를 고찰함으로써 가뭄이 현재 진행 중인지, 해갈되는 중인지를 판단할 수 있다.

Fig. 5는 낙동강수계의 대구지점에 대한 1955년부터 1996년까지의 3, 6, 12개월 SPI를 보여주고 있다. 3개월이나 6개월 SPI의 경우에서처럼 시간간격이 짧을수록 가뭄의 빈도와 가뭄의 심도는 증가

하고 지속기간은 짧아지고 있다. 3개월 SPI의 경우 1984년에 -3이하의 극한 가뭄을 보이고 있으며, 6, 12개월 SPI의 경우 1994-1995년 가장 극심한 가뭄을 보이고 있다.

3. PDSI

가. 월별 PDSI

월별 강수량과 평균기온자료를 이용해 선정된 54개 지점에 대한 월별 수분수지분석을 실시하여 α , β , γ , δ 의 계수를 산정한 후, 수분편차와 수분이상지수를 계산하고, 이로부터 월별 PDSI를 산정하였다. Fig. 6은 비교적 장기간의 기상자료를 보유하고 있는 강릉, 대구, 목포지점의 1955년부터 1996년까지의 PDSI를 보여주고 있다. 1967-1968년, 1977-1978년, 1987-1988년, 1994-1995년에 모든 지점에서 극심한 가뭄의 양상을 나타내고 있으며, 특히 1994-1995년의 경우 -4이하의 극한 가뭄(extreme drought)를 나타내고 있다.

나. 순별 PDSI

순별 강수량과 평균기온자료를 이용해 순별 수분수지분석을 실시하여 α' , β' , γ' , δ' 의 계수를 산정한 후, 수분편차와 수분이상지수를 계산하고, 이로부터 순별 PDSI를 산정하였다. Fig. 7은 서울지방의 1987년부터 1996년까지의 월별 PDSI와 순별 PDSI를 비교하여 보여주고 있으며, 가뭄의 빈도와 지속기간은 거의 일치하고 있으며, 가뭄의 심도는 약간의 차이를 보이고 있다. Palmer (1965)³⁷⁾는 월별 PDSI와 주별 PDSI의 경우 90% 이상의 일치를 보인다고 발표한 바 있다.

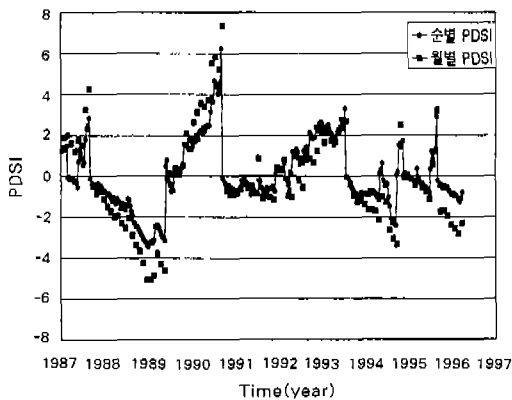


Fig. 7. Comparison of monthly PDSI with ten-day PDSI (Seoul, 1987~1996)

4. 과거가뭄에 대한 적용결과

SPI와 PDSI가 가뭄의 정도를 어떻게 반영하는지를 고찰하기 위해 가뭄의 범주를 비교하였으며, 이를 위해 윤 등(1997년)³⁾이 제시한 과거 주요가뭄기간 중 1987-1988년, 1994-1995년의 대구지방의 자료를 이용하였다. Table 3에서 PDSI의 경우 1987년 9월부터 약한 가뭄이 시작되지만, SPI의 경우 이 기간에 가뭄을 나타내지 않고 있다. 이는 PDSI의 경우 기온에 따른 증발산량을 고려하여 산정되기 때문에 1987년 9월의 경우 상대적으로 잠재증발산량이 큰 시기이므로, 강수량은 평년치와 비슷하더라도 PDSI는 가뭄을 나타내지만, SPI는 가뭄을 나타내지 않는다. 1988년 4월부터 9월까지의 기간에서는 PDSI의 경우 보통 가뭄을 보이며, 3-SPI의 경우 약한 가뭄을 보이는데, 이는 3-SPI의 경우 단기간의 강수부족을 반영하기 때문에 계속되는 약간의 강수부족을 약한 가뭄으로 나타내지만, PDSI의 경우 누적되는 수분수지분석으로 인해, 계속되는 약간의 강수부족이 누적되어 보통의 가뭄으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 1994년 7월부터의 가뭄에서 뚜렷하게 드러난다. 3-SPI의 경우 1994년 7월에서 10월까지 가장 극심한 가뭄을 보이며 이후의 기간에서는 약한 가뭄을 보이지만, PDSI의 경우 1994년 8월 이후부터 1995년 연말까지 계속해서 극한 가뭄을 보인다. 이는 PDSI가 누적되는 수분수지분석방법을 이용하기 때문이다. SPI의 경우 12-SPI가 1994년 8월부터 1995년 7월까지 누적되는 강수의 부족을 PDSI와 비슷하게 반영하고 있고, 24-SPI의 경우 1995년 6월 이후부터 PDSI와 비슷한 경향을 보인다. 이러한 결과로부터 3-SPI는 단기간의 강수부족으로 인한 가뭄의 시작에 대한 징후를 파악하는 데 가장 유리한 것으로 판단되며, PDSI는 누적되는 강수의 부족으로 인한 가뭄의 현상을 파악하는 데 유리한 것으로 판단된다. SPI는 시간 간격이 길어질수록 비교적 장기간의 가뭄을 파악하는 데 유리할 것으로 보인다.

Table 3. Comparison of drought category at Taegu station (1987~1988, 1994~1995)

| | 3-SPI | 6-SPI | 12-SPI | 24-SPI | 48-SPI | PDSI |
|---------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 1987/05 | -0.38 | 0.44 | 0.28 | 1.13 | 1.47 | 1.78 |
| 1987/06 | -0.17 | 0.27 | -0.12 | 1.08 | 1.54 | 1.52 |
| 1987/07 | 0.47 | 0.41 | 0.51 | 1.36 | 1.57 | 1.98 |
| 1987/08 | 1.13 | 0.97 | 1.10 | 1.38 | 2.11 | 2.93 |
| 1987/09 | 0.54 | 0.36 | 0.64 | 0.61 | 1.59 | -1.06 |
| 1987/10 | 0.34 | 0.48 | 0.49 | 0.38 | 1.58 | -1.03 |
| 1987/11 | -1.15 | 0.60 | 0.65 | 0.43 | 1.70 | -0.87 |
| 1987/12 | 0.20 | 0.52 | 0.51 | 0.39 | 1.68 | -1.20 |
| 1988/01 | -0.02 | 0.25 | 0.40 | 0.41 | 1.72 | -1.39 |
| 1988/02 | -1.62 | -1.99 | 0.23 | 0.36 | 1.70 | -1.90 |
| 1988/03 | -0.69 | -0.41 | 0.20 | 0.33 | 1.77 | -1.94 |
| 1988/04 | -0.91 | -0.78 | 0.22 | 0.38 | 1.58 | -2.24 |
| 1988/05 | -0.41 | -1.07 | 0.22 | 0.28 | 1.60 | -2.04 |
| 1988/06 | -0.73 | -0.97 | -0.02 | -0.15 | 1.50 | -2.55 |
| 1988/07 | -0.21 | -0.51 | -0.31 | 0.11 | 1.21 | -2.23 |
| 1988/08 | -0.70 | -0.86 | -1.62 | -0.23 | 0.90 | -2.91 |
| 1988/09 | -0.90 | -1.21 | -1.34 | -0.42 | 0.52 | -3.40 |
| 1988/10 | -2.09 | -1.33 | -1.52 | -0.66 | 0.49 | -3.87 |
| 1994/05 | -0.69 | -0.67 | 0.47 | -0.18 | 0.85 | -0.87 |
| 1994/06 | -0.71 | -0.86 | -0.07 | 0.03 | 0.58 | -1.53 |
| 1994/07 | -1.19 | -1.64 | -0.79 | -0.33 | 0.15 | -2.83 |
| 1994/08 | -2.13 | -2.23 | | -0.78 | -0.09 | |
| 1994/09 | -2.56 | -2.50 | | -1.03 | -0.46 | |
| 1994/10 | -1.61 | -1.92 | | -0.80 | -0.29 | |
| 1994/11 | -0.62 | -2.15 | | -0.78 | -0.35 | |
| 1994/12 | 0.49 | -2.14 | | -0.82 | -0.33 | |
| 1995/01 | -0.41 | -1.83 | | -0.88 | -0.36 | |
| 1995/02 | -0.36 | -0.95 | | -0.97 | -0.43 | |
| 1995/03 | -0.10 | 0.21 | | -1.00 | -0.53 | |
| 1995/04 | -0.20 | -0.47 | -1.98 | -0.84 | -0.58 | |
| 1995/05 | -0.15 | -0.40 | | -1.02 | -0.47 | |
| 1995/06 | -0.72 | -0.74 | | -1.56 | -0.61 | |
| 1995/07 | -1.06 | -1.08 | | -1.91 | -1.40 | |
| 1995/08 | -0.23 | -0.33 | -0.75 | | -1.46 | |
| 1995/09 | -0.50 | -0.85 | -0.81 | | -1.73 | |
| 1995/10 | -0.14 | -0.90 | -1.02 | | -1.66 | |

범례 약한 가뭄 보통 가뭄 심한 가뭄

5. 주기-빈도 스펙트럼 분석

어떤 곡선에서 어느 일정한 시간마다 동일한 상태가 순환되어 나타날 때, 동일한 시간이 순환되어 나타나는 시간을 주기라 한다. 곡선이 0을 가로지르는 점의 시간 간격을 측정해서, 그것을 2배 함으로서 주기를 알아내는 방법을 0점교차법(zero-crossing method)이라고 한다. 0점교차법을 이용할 경우 주기가 짧고 진폭이 작은 소위 ripple의 경우 0을 가로지르는 부분이 거의 없으므로, 주기 성분으로 검출되지 않지만, 진폭이 크고 파의 주요한 특성의 개괄적인 면을 파악하는 데는 유리하다(김경호, 1996).²⁾ 0점교차법을 이용해 강릉지점에 대한 1912년부터 1996년까지의 자료를 대상으로 PDSI와 SPI에 대해 주기-빈도 분석을 실시한 결과 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 SPI의 경우 시간간격이 짧을수록 상대빈도의 최대값은 크고, 시간간격이 길어질수록 장주기에 대한 상대빈도가 비교적 크게 나타나고 있다. PDSI의 경우 주기가 5.2개월일 때 상대빈도는 24.4%로 최대값을 보이고 주기가 2.8개월에서 18.9개월까지 상대빈도가 가장 집중적으로 높은 경향을 보이며, 이는 6개월 SPI와 가장 유사한 경향을 나타낸다.

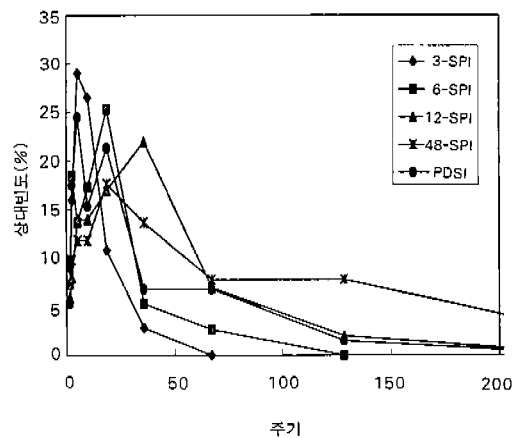


Fig. 8. Period-frequency spectrum (Kangnŭng, 1912~1996)

Table 4. Period-frequency spectrum (Kangnŭng, 1912~1996)

| 주기 (월) | 상대빈도(%) | | | | |
|-----------|---------|-------|--------|--------|------|
| | 3-SPI | 6-SPI | 12-SPI | 48-SPI | PDSI |
| 1.5 | 9.1 | 7.4 | 6.0 | 9.8 | 5.3 |
| 2.8 | 15.9 | 18.4 | 8.0 | 9.8 | 17.6 |
| 5.2 | 29.0 | 13.7 | 14.0 | 11.8 | 24.4 |
| 10.0 | 26.5 | 17.4 | 14.0 | 11.8 | 15.3 |
| 18.9 | 10.9 | 25.3 | 17.0 | 17.7 | 21.4 |
| 35.9 | 2.9 | 5.3 | 22.0 | 13.7 | 6.9 |
| 67.2 | 0.0 | 2.6 | 7.0 | 7.8 | 6.9 |
| 128.6 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 7.8 | 1.5 |
| 246.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 |

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 가뭄의 정도와 시·공간적 변화를 정량적으로 규명하기 위해 일반적으로 많이 사용되고 있는 정규화된 강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)와 Palmer 지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI)를 이용하였고, 우리나라 72개 기상관측소 중 자료기간 25년 이상의 54개 관측소의 기상자료를 이용하여 시간간격에 따른 SPI와 월별, 순별 PDSI를 산정하였다. 산정된 결과를 토대로 우리나라 주요지점에 대한 가뭄의 빈도, 심도, 지속기간을 분석하고, 과거 주요가뭄기간에 대한 SPI와 PDSI의 가뭄의 범주를 비교하여 각각의 가뭄지수가 가뭄의 정도를 어떻게 반영하는지를 고찰하였다. 또한, 스펙트럼 분석을 통해 SPI와 PDSI의 통계적 특성을 비교, 고찰하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 시간간격에 대한 SPI의 변화를 1955년부터 1996년까지의 대구와 서울지방의 자료를 토대로 고찰한 결과, SPI는 시간간격이 길어질수록 가뭄의 빈도와 가뭄의 심도는 감소하고, 가뭄의 지속기간은 증가하는 경향을 보였다.

2. 1994년 3월 시간간격에 따른 SPI를 고찰한 결과, 시간간격이 짧을수록 높은 가뭄의 심도를 보였으며, 이로부터 1994년 3월의 경우 가뭄이 시작되는 시기임을 알 수 있었다. 각각의 시간간격에 따른 가뭄의 심도를 고찰함으로써 가뭄이 현재 진행중인지, 해결되는 중인지를 판단할 수 있다.

4. 강릉, 대구, 목포지방의 1955년부터 1996년까지의 월별 PDSI를 비교·고찰한 결과 1994~1995년 대구, 목포 등 남부지방의 가뭄이 가장 극심했던 것으로 분석되었다.

5. 서울지방의 순별 PDSI를 산정하여 월별 PDSI와 비교한 결과 가뭄의 빈도와 지속기간은 거의 일치하며, 가뭄의 심도는 약간의 차이를 보였다.

6. 1987~1988년과 1994~1995년 대구지방의 가뭄을 시간간격에 따른 SPI와 월별 PDSI를 비교·분석한 결과 3개월 SPI의 경우 단기간의 강수부족으로 인한 가뭄의 시작에 대한 징후를 파악하는데 유리하며, 월별 PDSI의 경우 누적되는 강수의 부족으로 인한 가뭄의 현상을 파악하는데 유리한 것으로 판단된다.

7. PDSI와 SPI의 주기-빈도 스펙트럼을 분석한 결과, 강릉지방의 경우 PDSI는 주기가 5.2개월일 때 상대빈도가 24.4%로 최대값을 보이며, 이는 6개월 SPI와 가장 유사한 경향으로 주기가 2.8개월에서 18.9개월까지 상대빈도가 가장 집중적으로 높은 경향을 보인다. SPI의 경우 시간간격이 길어질수록 주기가 길어지며, 상대빈도의 최대값이 감소하며, 장주기에서도 일정한 빈도를 가진다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 1995, 가뭄기록조사보고서.
2. 김경호, 1996, 랜덤데이터의 스펙트럼 해석입문, 도서출판 새론.
3. 윤용남, 박무중, 1997, L-moment 법을 이용한 월 강우량 자료의 지역가뭄빈도 분석, 한국수자원학회지 논문집, 30(1), pp. 55-62.
4. 윤용남, 안재현, 이동률, 1997, Palmer의 방법

- 을 이용한 가뭄의 분석, 한국수자원학회지 논문집, 30(4), pp. 317-326.
5. Dracup, J. A., K. S. Lee, & E. G. Paulson, Jr. 1980, On the Definition of Droughts, Water Resources Research, 16(2), pp. 297-302.
 6. Edwards, D. C., and T. B. McKee, 1998, Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Series, Master thesis, Colorado State University.
 7. McKee, T. B., N. J. Doesken, & J. Kleist, 1993, The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 179-184.
 8. McKee, T. B., N. J. Doesken, & J. Kleist, 1995, Drought Monitoring with Multiple Time Scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, pp. 233-236.
 9. Palmer, W. C., 1965, Meteorological Drought, Research Paper No. 45, U. S. Weather Bureau.
 10. Wilhite, D. A., and M. H. Glantz, 1985, Understanding the Drought Phenomenon : The Role of Definition, Water International, 10, pp. 111-120.