韓國水資源學會論文集
第30卷 第4號 · 1997年 8月
pp. 317~326

Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석

An Analysis of Drought Using the Palmer's Method

윤 용 남* · 안 재 현** · 이 동 률***
Yoon, Yong Nam · Ahn, Jae Hyun · Lee, Dong Ryul

Abstract

The Palmer Drought Severity Index has been extensively used to quantitatively evaluate the drought severity at a location for both agricultural and water resources management purposes. In the present study the Palmer-type formula for drought index is derived for the whole country by analyzing the monthly rainfall and meteorological data at nine stations with a long period of records. The formula is then used to compute the monthly drought severity index at sixty-eight rainfall stations located throughout the country. For the past five significant drought periods the spatial variation of each drought is shown as a nationwide drought index map of a specified duration from which the relative severity of drought throughout the country is identifiable for a specific drought period. A comparative study is made to evaluate the relative severity of the significant droughts occurred in Korea since 1960's. It turned out that '94-'95 drought was one of the worst both in the areal extent and drought severity. It is found that the Palmer-type formula is a very useful tool in quantitatively evaluating the severity of drought over an area as well as at a point. When rainfall and meteorological forecast become feasible on a long-term basis the method could also be utilized as a tool for drought forecasting.

요 지

본 연구에서는 우리나라 전역에서 가뭄의 시·공간적인 특성을 분석하기 위하여 가뭄의 지수를 정량적으로 나타낼 수 있는 Palmer의 방법을 사용하였다. 또한 우리나라의 지역적인 특성을 반영하기 위하여 Palmer의 가뭄지수 및 기후특성인자의 산정공식을 국내 기상자료를 이용하여 수정 및 적용하였다. 이를 통해 가뭄의 가장 큰 원인이 되는 수문기상학적 인자들인 강수량, 증발산량 등을 월 수분수지모형에 적용하여 지역별로 계속기간별 가뭄지수를 산정하였다. 각각의 지점에서 구한 가뭄지수를 강우량 자료를 사용한 빈도분석을 통해 선정된 총 5개의 주요가뭄기간에 대하여 분석하였으며, 전국적인 가뭄지수도를 작성하였다. 이것을 통해 주요가뭄기간의 상대적 가뭄심도 및 전국적인 가뭄분포상황을 분석하여 남부지방이 가뭄우심 지역이며, 1994년과 1995년에 걸쳐 발생했던 가뭄이 과거 어느 가뭄보다도 심했음을 알 수 있었다. 이상의 결과로부터 Palmer의 가뭄지수 산정방법은 가뭄을 정량적으로 나타내는데 유효한 방법임을 알 수 있었고, 기상 및 강우의 중장기 예측이 가능해질 경우에는 가뭄예보 수단으로의 활용가능성이 클 것으로 판단되었다.

Keywords : drought, drought index, drought severity, drought forecasting, Palmer's method

* 고려대학교 토목환경공학과 교수
** 고려대학교 토목환경공학과 대학원 박사과정
*** 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

1. 서 론

우리나라의 1인당 연강수량은 세계 평균치의 8.8%에 지나지 않으며 연강수량의 2/3가 여름철에 집중되어 실제적으로 이용가능한 수자원량은 매우 미흡한 상황에서 각종 자연재해중의 하나인 홍수에 대해서는 많은 연구를 통해 댐 및 제방의 설치, 하천정비 등의 대책들이 수립 및 실시되어왔다. 그러나 상대적으로 가뭄에 의해 발생되는 재해에 대한 대비가 부족하였으며, 우리나라 가뭄의 특성에 대한 연구가 부족하였다는 것은 잘 알려진 사실이다. 특히 가뭄이 지속되는 기간동안의 가뭄의 심도를 정량화 시킴으로써 상대적인 가뭄의 정도를 비교할수 있는 방법의 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 이러한 상황에서 가뭄의 심도를 표시하는 방법으로 폭넓게 사용되며, 가뭄의 가장 큰 원인이 되는 수문기상학적 인자들인 강수량, 증발산량 등을 이용하여 월수분수지 모형에 의한 계산을 통해 가뭄의 지수를 정량적으로 나타낼 수 있는 Palmer(1965)의 방법을 우리나라 전역에 적용하였다. 또한 지역적인 계속기간별 가뭄지수를 산정, 우리나라 전역에서 가뭄의 시·공간적인 특성에 대하여 연구하였고, 과거 주요가뭄기간에 대한 분석을 통해 '94-'95 가뭄의 상대적인 심도를 평가하였다.

가뭄지수에 대한 연구가 국내에서 많이 이루어지지 않은 상황에서 안병기 등(1988)은 농업한발의 크기를 계량적으로 나타낼 수 있는 농업한발지수에 대해 분석하였으며, 김선주 등(1995)은 관개지역에서의 한발지수 산정에 대해 연구하였다. 또한 정삼연(1995)은 가뭄지수를 강수 및 증발에 의한 일별 누적지수와 비교하였으며, 조홍제(1996)는 미국 델라웨어시 수자원관리위원회가 개발한 Phillips 가뭄지수 산정법으로 도시지역의 가뭄 예경보지수를 산정하여 좋은 결과를 얻은 바 있다. Palmer의 방법에 의한 가뭄지수 산출은 유경희(1985)가 연구하였고, 최영진 등(1994)은 가뭄심도지수의 현업화를 위해 위 방법을 적용하였다. 그러나, 기존의 연구들은 미국의 기후특성에 맞게 개발된 Palmer의 방법을 그대로 우리나라에 적용하여 가뭄지수를 산정하였으며, 실제로 우리나라의 기후특성을 올바르게 반영할 수 있는 Palmer 가뭄지수 적용에 관한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 기후자료를 이용하여 Palmer의 기후특성인자 및 가뭄지수 산정공식을 보완하였으며, 이에따라 계산된 가뭄지수를 통해 우리나라의 가뭄특성을 분석하였다.

2. Palmer의 가뭄지수 산정방법

가뭄은 지역적인 상황과 가뭄을 받아들이는 사람들의 관심사에 따라 다르게 정의될 수 있다. 과거의 가뭄연구로부터 가뭄에 대한 여러가지 정의들이 제시되었는데, Palmer는 가뭄(Drought)을 "주어진 지점에서 실제수분공급이 기후적으로 필요한 수분공급보다 적은 수개월 또는 수년의 기간이 지속되는 현상"으로 정의하였다. 이는 일반적으로 사소한 불편이나 고통 등을 발생시키는 수분부족이 아니라, 수분의 부족이 심하여 인명 또는 재산의 손실을 야기함을 의미하며, 단기간의 수분부족이 아니라 최소한 2~3개월에서 보통은 1년 이상의 장기간동안 수분부족이 지속되는 것을 뜻한다.

이런 가뭄의 정의를 통해 Palmer(1965)는 가뭄의 심도를 수분부족량과 수분부족기간의 함수로 나타내었다. 통계학적으로 시간과 공간에서 일관된 비교를 통해 얻어지는 가뭄지수의 개발은 기후적으로 상이한 두 지역인 미국 Kansas와 Iowa 지역의 비교·분석을 통해 이루어졌다. 강우량이 매우 적고 건조한 기후를 가진 Kansas는 연강우량의 70%가 여름에 발생하는 지역으로 여름이 Iowa 지역보다 더 더운 기후를 가졌으며, 습한 기후를 가진 Iowa는 연강우량의 65%가 여름에 집중되며 겨울이 Kansas보다 더 추운 기후를 가졌다.

이와같은 두 지역의 기후적인 차이를 통해 Kansas에서의 보통 날씨가 Iowa에서는 이상건조기후로 받아들여져서 가뭄으로 느낄 수가 있으며, 반면에 Kansas에서의 1inch의 비는 Iowa에서의 1inch의 비보다 훨씬 더 중요한 의미를 가진다는 것을 알 수 있다.

Palmer의 가뭄지수 산정방법은 위의 두 대상지역 및 미국내의 여러 지역의 강우량 및 기온, 일조시간 등의 자료를 사용하여 잠재증발산을 추정한 후, 대상지역의 실제 강우량과 기후학적으로 필요한 강우량의 차를 계산하여 지역적인 가뭄지수를 얻게 된다.

2.1 수분수지 분석

2.1.1 잠재증발산의 추정

잠재증발산을 산정하는 방법에는 여러가지가 있으나, Palmer는 Thornthwaite와 Mather(1955)가 제안한 월열지수법(Monthly heat index method)을 사용하였다. 월열지수법은 북위 29° ~ 43° 사이의 미국전역에 걸친 증발산계 측정으로 수집된 자료에 의해 연구된 기온 및 일조시간과 잠재증발산량의 관계로서 다음과 같이 정리될 수 있다.

표 1. 월별, 위도(북위)별 보정계수 B

위도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
35.0	0.870	0.850	1.030	1.090	1.210	1.210	1.230	1.160	1.030	0.970	0.860	0.850
36.0	0.864	0.846	1.030	1.094	1.216	1.218	1.238	1.164	1.032	0.968	0.854	0.842
37.0	0.858	0.842	1.030	1.098	1.222	1.226	1.246	1.168	1.034	0.966	0.848	0.834
38.0	0.852	0.838	1.030	1.102	1.228	1.234	1.254	1.172	1.036	0.964	0.842	0.826

일년중 매월 평균기온을 t_n ℃(여기서 n=1,2,3,…,12)라 하고 월열지수(monthly heat index)를 j라 할 때 경험적으로 얻은 t_n과 j의 관계는 식 (1)과 같다.

$$j=\left(\frac{t_n}{5}\right)^{1.51}=0.0875\,t_n^{1.51} \tag{1}$$

따라서, 연열지수(yearly heat index) J는 월열지수의 합으로 정의된다.

$$J=\sum_{n=1}^{12} j_n \tag{2}$$

월 평균기온이 t℃인 임의 월의 잠재 증발산량, PE_x는 다음 식으로 표시된다.

$$PE_x=1.62\left(\frac{10t}{J}\right)^a \text{ cm/month} \tag{3}$$

여기서,

$$a=(675\times10^{-9})J^3-(771\times10^{-7})J^2 -(179\times10^{-4})J+0.49239 \tag{4}$$

식 (3)에 의한 PE_x는 1개월을 평균 30일로 잡고, 월 평균 일조시간(일출, 일몰 시간간의 평균 시간장경)을 12시간으로 가정했을 때 월 잠재증발산량의 이론치이므로 평균기온이 t℃인 특정 월에 대한 PE는 다음 식으로 표시된다.

$$PE=PE_x\frac{DT}{30\times12} \text{ cm/month} \tag{5}$$

여기서 D와 T는 각각 잠재증발산량을 산정하고자 하는 월의 일수 및 일조시간이며, $DT/(30\cdot12)$는 표 1과 같이 위도별 보정계수 B로 나타낼 수 있으므로 (Bras, 1990), 식 (5)는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$PE=1.62B\left(\frac{10t}{J}\right)^a \text{ cm/month} \tag{6}$$

2.1.2 수분수지 모형

Palmer의 방법은 월강우량과 잠재증발산 자료를 이용한 월수분수지분석을 통해 시작되어진다. 토양수분저장량은 토양을 상부와 하부의 2개 층으로 나누어 상부층은 1inch(25.4mm)의 수분을 저장할 수 있고 잠재적인 비율로 유효수분의 증발산이 일어난다고 가정하며, 하부층은 토양의 성질에 따라 유효용량이 결정되는 것으로 하부층의 수분은 상부층의 수분이 모두 소모될 때까지는 손실되지 않는 것으로 가정한다. 또한 하부층 손실량은 초기 수분함유량과 산정된 잠재증발산량(PE) 및 토양 유효용량(AWC)에 따라 결정되는 것으로 가정된다.

월열지수법에 의해 계산되어진 잠재증발산량(PE)이 강우량(P)보다 클 경우에 토양수분손실이 발생하며, 식 (7)~(8) 같이 표시할 수 있다.

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

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

여기서, L_s는 상부층의 수분손실, L_u는 하부층의 수분손실로서 $L=L_s+L_u$이고, S_s는 해당월이 시작될 때 상부층에 저장된 유효수분, S_u는 해당월이 시작될 때 하부층에 저장된 유효수분이며 AWC(Available Water Content)는 상부와 하부층의 유효용량의 합이다.

2.2 기후적으로 필요한 강우량의 산정

2.1절에서 산정된 변량 이외에 Palmer는 기후적으로 필요한 수분공급량을 추정하기 위하여 수분수지분석에 잠재함양량(PR)과 잠재손실량(PL), 잠재유출량(PRO)의 3가지 변량을 추가하였다.

먼저 잠재함양량(PR)은 토양의 수분함유량을 최대로 만들기 위해 요구되는 수분량을 말한다.

$$PR=AWC-(S_s+S_u) \tag{9}$$

잠재손실량(PL)은 강우가 없는 기간동안 토양으로부터 증발산에 의해 손실될 수 있는 수분량을 말한다.

$$PL=PL_s+PL_u \tag{10}$$

여기서,

$$PL_s = \min\{PE \ or \ S_s\} \quad (11)$$

$$PL_u = (PE - PL_s)\frac{S_u}{AWC} \ , \ PL_u \le S_u \quad (12)$$

잠재유출량(PRO)은 토양의 총 유효용량에서 잠재함양량을 뺀 값으로 토양의 유효용량에 비례하며, 잠재함양량에 반비례한다.

$$PRO = AWC - PR = AWC - (AWC - S) = S \quad (13)$$

위의 과정을 통해 구해진 3개의 잠재량(PR, PL, PRO)과 잠재증발산량(PE)은 대상지역의 기후에 의존하는 증발산량계수(α), 함양량계수(β), 유출량계수(γ), 손실량계수(δ)를 구하는데 사용되어진다.

먼저 증발산량계수 α는 실제증발산(ET)과 잠재증발산(PE)의 비로 나타내어진다.

$$\alpha_i = \overline{ET_i} / \overline{PE_i} \quad (i = 1, \ldots, 12) \quad (14)$$

함양량계수 β는 실제함양량(R)과 잠재함양량(PR)의 비이다.

$$\beta_i = \overline{R_i} / \overline{PR_i} \quad (i = 1, \ldots, 12) \quad (15)$$

유출량계수 γ는 실제유출량(RO)과 잠재유출량(PRO)의 비이다.

$$\gamma_i = \overline{RO_i} / \overline{PRO_i} \quad (i = 1, \ldots, 12) \quad (16)$$

손실량계수 δ는 실제수분손실량(L)과 잠재수분손실량(PL)의 비이다.

$$\delta_i = \overline{L_i} / \overline{PL_i} \quad (i = 1, \ldots, 12) \quad (17)$$

앞에서 구한 4개의 계수들을 이용하여 대상지역에 기후적으로 필요한 증발산량($CAFEC\ ET$: Climatically Appropriate For Existing Condition ET), 함양량($CAFEC\ R$), 유출량($CAFEC\ RO$), 손실량($CAFEC\ L$)을 식 (18)~(21)과 같이 계산할 수 있다.

$$CAFEC\ \ ET\ (\widehat{ET}) = \alpha_i PE \quad (18)$$

$$CAFEC\ \ R\ (\hat{R}) = \beta_i PR \quad (19)$$

$$CAFEC\ \ RO\ (\widehat{RO}) = \gamma_i PRO \quad (20)$$

$$CAFEC\ \ L\ (\hat{L}) = \delta_i PL \quad (21)$$

그러므로 대상지역에 기후적으로 필요한 강우량($\hat{P}$)은 다음과 같다.

표 2. 습윤기와 건조기의 범위

X	Class
≥ 4.00	Extremely wet
3.00 to 3.99	Very wet
2.00 to 2.99	Moderately wet
1.00 to 1.99	Slightly wet
0.50 to 0.99	Incipient wet spell
0.49 to -0.49	Near normal
-0.50 to -0.99	Incipient drought
-1.00 to -1.99	Mild drought
-2.00 to -2.99	Moderate drought
-3.00 to -3.99	Severe drought
≤ -4.00	Extreme drought

$$\hat{P} = \widehat{ET} + \hat{R} + \widehat{RO} - \hat{L}$$
$$= \alpha_i PE + \beta_i PR + \gamma_i PRO - \delta_i PL \quad (22)$$

위의 과정을 거쳐 각각의 달에서 $\hat{P}$가 구해지면 실제강우량과 $CAFEC$강우량의 차인 수분편차(d)를 계산할 수 있다.

$$d = P - \hat{P} = P - (\alpha_i PE + \beta_i PR + \gamma_i PRO - \delta_i PL) \quad (23)$$

2.3 가뭄지수 산정공식

2.2절에서 유도한 식 (23)의 수분편차(d)를 이용하여 해당월의 평균적인 수분상태와 그달의 특별한 기후의 상대적인 편차를 표현하는 수분이상지수 Z를 식 (24)와 같이 정의할 수 있으며, 이를 통해 월별 가뭄지수(X)를 구하는 공식은 식 (25)와 같이 결정된다.

$$Z = K_j d, \ K_j = \text{기후특성인자} \ (j = 1, \ldots, 12) \quad (24)$$

$$X_i = X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{3}\right) - 0.103X_{i-1} = 0.897X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{3}\right) \quad (25)$$

Palmer는 가뭄지수(X)에 따른 습윤기와 건조기의 범위를 표 2와 같이 정의하였다.

3. Palmer 가뭄지수 산정방법의 국내 적용

3.1 Palmer 가뭄지수 산정방법의 보완

Palmer가 개발한 가뭄지수(X)를 산정하는 공식은 모두 미국지역의 기후특성에 맞추어 만들어진 것이다. 그러므로 미국과 기후 및 지역적인 특성이 다른 우리나라에 맞게 보완해야만 Palmer의 가뭄지수 산정방법을 우리나라에 올바르게 적용시킬 수 있을 것이다.

이에따라 우리나라의 대상지점별 자료를 이용하여 Palmer의 방법에 따라 수분수지분석을 실시한 후, 각각의 필요한 계수들을 산정하여 우리나라의 지역적, 기후적 특성을 반영하는 Palmer의 가뭄지수(X) 산정공식을 식 (26)과 같이 보완하였다(안재현, 1995). 이를 위해 비교적 자료보유기간이 길고 지역적으로 고르게 분포되어있는 강릉, 서울, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 여수, 제주 등의 9개 지점을 대상지역으로 선정하였으며, 1954년 1월부터 1994년 12월까지의 월강우량과 월평균기온 자료를 사용하였다.

$$X_i = 0.945X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{4.275}\right) \tag{26}$$

3.2 기후특성인자(K) 산정방법의 보완

실제강우량과 기후적으로 필요한 강우량의 차인 월별 수분편차(d)만을 가지고도 지역적인 가뭄의 심도를 비교할 수 있을지 모르나 가장 극심했던 가뭄의 정도가 서로 달랐던 지역에 대하여 수분편차만을 가지고 가뭄의 심도를 비교한다는 것은 타당하지 않을수도 있다. 예를 들어 1967년 7월달의 포항의 수분편차(d)는 -61.03mm였고 광주는 -120.55mm였었는데, 단지 이 값만을 가지고 광주가 포항보다 더 심하게 가뭄이었다고 말할 수는 없다는 것이다. 즉, 과거에 광주에서 가장 심했었던 가뭄의 수분편차가 -200mm였고 포항은 -60mm였었다고 가정한다면, 포항의 수분편차는 광주보다 작지만 오히려 실질적인 가뭄의 심도는 포항이 더 클 수도 있다는 것이다. 또한 같은 지역이라도 월별에 따라 느끼는 가뭄의 심도는 다를 수 있다. 그러므로 이런 지역적이고, 시간적인 편차를 보정해 주어야 함은 당연하며 이것을 위해 Palmer가 고안한 것이 기후특성인자(K)인 것이다. 본 연구에서는 Palmer의 방법에 따라 국내 기후자료를 이용하여 기후특성인자(K)를 우리나라에 맞게 보완 및 적용하였으며 그 과정은 다음과 같다. X=-4.0이고 t=12개월 일때의 수분이상지수(Z)를 계산하면, $\sum Z$=-27.44이다. 이 값은 12개월 지속기간동안 계속해서 가뭄심도(X)를 -4.0으로 유지하기 위해 필요한 수분이상지수의 12개월 합이다. 또한, $\sum Z = \sum d \cdot K$이므로 $K = \sum Z \div \sum d$로 표시할 수 있고, $\sum Z$=-27.44를 이용하여 연평균 기후특성인자 K'를 유도할 수 있다.

$$K' = -27.44 / \sum_{t=1}^{12} d \tag{27}$$

또한, 대상지역의 수분요구량과 공급량의 비인 $((\overline{PE}+\overline{R}+\overline{RO})/(\overline{P}+\overline{L}))/\overline{D}$와 K'의 관계에 대한 회귀분석을 통해 K'를 산정할 수 있는 식을 다음과 같이 얻게 된다.

$$K' = 1.27((\overline{PE}+\overline{R}+\overline{RO})/(\overline{P}+\overline{L}))/\overline{D} + 0.19 \tag{28}$$

여기서, $\overline{D}$ =수분편차(d)의 절대치의 평균값

식 (28)을 통해 계산되는 K'를 대상지역의 기후특성인자로 사용할 수 있으나 지역적인 편차를 좀더 보정하기 위하여 식 (28)을 이용해서 지점 및 월별 K'를 계산한 후, 미리 계산된 $\overline{D}$에 곱하여 $\overline{DK}$를 지점별로 계산하여 대상지점의 연평균값을 표 3과 같이 산정하였다.

$\sum_{1}^{12} \overline{DK}$의 지점별 평균값이 513.68이므로 이것을 이

표 3. 대상지점별 $\sum_{1}^{12} \overline{DK}$

지명	강릉	서울	포항	대구
$\overline{DK}$	534.58	516.77	498.03	491.02
전주	울산	여수	제주	평균
501.50	516.16	525.96	525.44	513.68

표 4. 주요지점의 월별 기후특성인자 K

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
강릉	0.84	0.83	0.95	0.93	1.00	0.74	0.49	0.47	0.45	0.59	0.77	1.02
서울	2.39	1.71	1.40	0.77	0.91	0.52	0.44	0.47	0.52	1.16	1.32	2.19
포항	1.61	1.38	1.45	1.09	1.19	0.77	0.56	0.59	0.66	1.06	1.13	1.48
대구	2.47	1.88	1.58	1.12	1.12	0.79	0.56	0.60	0.68	1.38	1.83	2.53
전주	1.86	1.62	1.38	0.89	0.99	0.68	0.50	0.55	0.57	1.21	1.53	2.20
울산	1.90	1.44	1.16	0.89	0.94	0.59	0.49	0.47	0.49	0.97	1.17	1.68
여수	2.10	1.38	1.06	0.82	0.67	0.49	0.46	0.45	0.48	1.17	1.34	2.07
제주	1.35	1.22	1.02	1.21	0.99	0.52	0.48	0.44	0.45	0.76	1.05	1.51

용하여 지점별 K'에 대한 보정을 통해 최종적으로 기후특성인자(K)를 산정하는 공식인 식 (29)를 도출하였으며, 이 공식을 적용하여 표 4와 같이 산정된 K값을 이용해서 가뭄지수를 계산하면 시공간적으로 비교가능한 정량적인 가뭄지수를 얻을 수 있게 된다.

$$K = \frac{513.68}{\sum_{1}^{12} \overline{D}K} K' \qquad (29)$$

3.3 Palmer의 방법과 보완된 방법의 비교

Palmer의 방법을 각각 미국과 우리나라의 대상지역에 적용하여 구해진 기후특성인자 및 가뭄지수 산정 공식의 비교를 위하여 각각의 방법에 의해 계산된 최대 가뭄기간별 ΣZ의 가뭄지수 -4에 해당하는 선을 하나의 그래프상에 그림 1과 같이 도시하였으며 도시된 실선과 점선은 각각 원래의 Palmer식과 국내적용 Palmer식을 통해 산정된 ΣZ를 표시하고 있다.

거의 비슷한 양상을 보이는 두 직선에서 가뭄지속기간이 20개월을 넘지않을 때는 원래의 Palmer 방법을 이용하여 산정된 ΣZ가 더 큰값을 보이며, 20개월을 초과할 때는 국내적용 Palmer 방법의 ΣZ가 더 큰 양상을 보임을 알 수 있다. 이를 통해 가뭄기간이 장기화될수록 누적되는 수분이상지수의 합은 원래의 Palmer식 보다 국내적용 Palmer식을 통해 산정되는 값이 적어짐을 알 수 있다.

그림 2는 원래의 Palmer식과 국내적용 Palmer식을 이용하여 각각 포항과 대구 지역에서의 가뭄지수를 산정하여 표시한 것으로서 국내적용 Palmer식으로 계산된 값의 변화폭이 원래의 Palmer식에 의한 가뭄지수 변화폭보다 약간 작게 나타남을 알 수 있는데 이것은 그림 1에서 보여주는 ΣZ의 변화폭과 같은 결과를 나타냄을 알 수 있다. 따라서 국내적용 Palmer식은 가뭄의 양상을 원래 Palmer식보다 적은 범위내에서 표현한다는 것을 알 수 있으며, 추후 미국과 국내기후의 상대적인 비교를 통해 적합성을 판단해 볼 수 있을 것으로 생각된다.

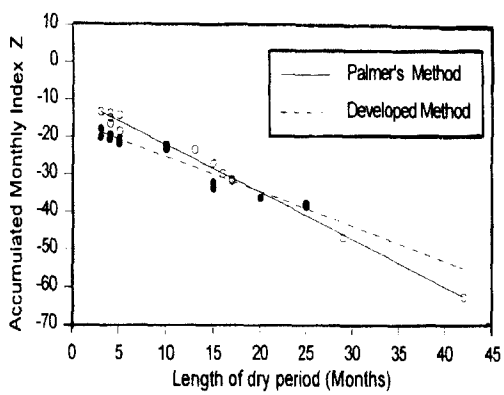

그림 1. 각각의 방법으로 산정된 ΣZ의 비교

4. 결과분석 및 고찰

가뭄지수의 산정을 위해 전국 68개 지점의 월강우량 및 월평균기온 자료를 기상청으로부터 획득하여 사용하였다. 대상지점의 자료보유 현황은 표 5와 같다.

4.1 분석 대상지점의 월별 가뭄지수의 산정

주어진 자료를 이용하여 모든 지점에 대해 자료보유기간에 따라 월별로 수분수지분석을 실시한 후, 각종 계수($\alpha, \beta, \gamma, \delta$)들과 기후적으로 필요한 강우량($\hat{P}$)을 산정하여 수분편차($d$)를 계산하였다. 이렇게 산정된 값들을 이용하여 수분이상지수(Z)를 계산한 후 유도된 가뭄지수공식인 식(26)에 적용하여 분석 대상 전지점의 월별 가뭄지수를 산정하였으며, 그림 3은 서울과 광주의 월별 가뭄지수 변화를 예시하고 있다.

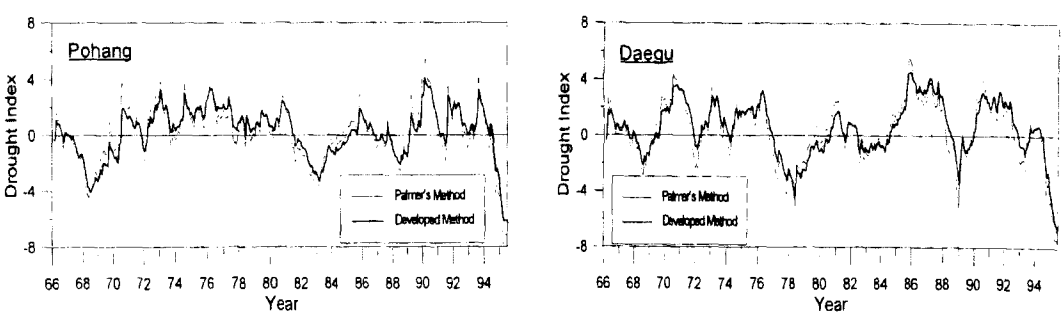

그림 2. 각각의 공식으로 산정된 포항과 대구지점의 가뭄지수 비교

표 5. 기상관측지점 및 관측개시년 현황

지점 번호	지점명	관측 개시년	지점 번호	지점명	관측 개시년	지점 번호	지점명	관측 개시년
090	속초	1968	159	부산	1907	244	임실	1973
095	철원	1988	162	충무	1968	245	정주	1973
100	대관령	1972	165	목포	1906	247	남원	1973
101	춘천	1967	168	여수	1951	248	장수	1988
105	강릉	1952	170	완도	1983	256	순주	1973
108	서울	1954	184	제주	1924	260	장흥	1973
112	인천	1952	185	제주고층	1988	261	해남	1973
114	원주	1986	192	진주	1970	262	고흥	1973
115	울릉도	1939	201	강화	1970	265	성산포	1973
119	수원	1964	202	양평	1973	271	춘양	1988
129	서산	1968	203	이천	1973	272	영주	1973
130	울진	1972	211	인제	1973	273	문경	1973
131	청주	1967	212	홍천	1973	277	영덕	1973
133	대전	1969	214	삼척	1973	278	의성	1973
135	추풍령	1953	216	태백	1986	279	구미	1973
136	안동	1983	221	제천	1973	281	영천	1973
138	포항	1951	223	충주	1973	284	거창	1973
140	군산	1968	226	보은	1973	285	합천	1973
143	대구	1909	232	온양	1973	288	밀양	1973
146	전주	1941	235	대전	1973	289	산청	1973
152	울산	1946	236	부여	1973	294	거제	1973
155	마산	1986	238	금산	1989	295	남해	1973
156	광주	1940	243	부안	1975			

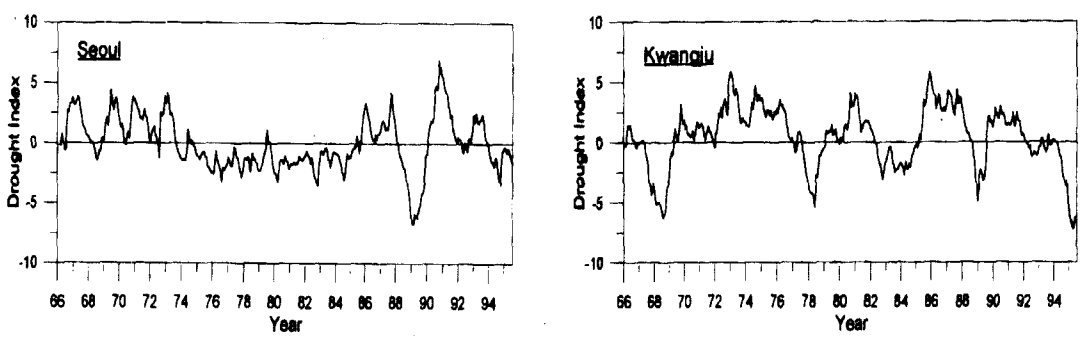

그림 3. 서울과 광주의 월별 가뭄지수 변화

4.2 주요 가뭄기간별 가뭄지수 분석

우량관측소별 강우량 자료를 사용하여 갈수빈도분석을 실시한 결과 60년대 이후에 우리나라에서 발생한 주요가뭄기간은 '67년-'68년, '76년-'77년, '81년-'82년, '87년-'88년, '94년-'95년으로 나타났다(윤용남과 박무종, 1996). 따라서 중·장기적인 가뭄의 분석을 위해 빈도분석으로 선정된 위의 5개 기간별로 지속기간 12, 24개월의 최대 평균 가뭄지수를 산정해서 주요가뭄기간별 가뭄심도의 공간적 변동을 비교분석하였다. 그에따른 가뭄기간별 가뭄의 분포특성은 다음과 같다.

4.2.1 1967년 ~ 1968년

목포를 중심으로 시작된 가뭄은 전남지역으로 북상하며 심해지면서 가뭄지수가 -3~-6 사이의 값을 가지는 아주 극심한 가뭄이 나타났으며, 경남 해안지방을 따라 약 -3 정도의 가뭄심도를 가지는 가뭄이 분포됨을 알 수 있다. 그외의 전북과 경북을 경계로한 중부지역은 -1~-2 정도의 값을 가지는 가뭄심도를 보이고 있다(그림 4 참조).

4.2.2 1976년 ~ 1977년

전국적으로 -2~-3의 값을 가지는 가뭄의 분포를 보였으며, 전라도 일부지역과 합천과 산청을 중심으로 하는 경남 및 충남 서산 지역이 -3~-4 정도의 가뭄심도를 보이고 있다(그림 5 참조).

4.2.3 1981년 ~ 1982년

전국적으로는 약 -2 정도의 심도를 가지는 가뭄이 분포되었으며, 경북 일부지역에서만 약 -3 정도의 가뭄심도를 나타내고 있다(그림 6 참조).

4.2.4 1987년 ~ 1988년

이 때의 가뭄은 다른 때와는 조금 다른 양상을 보이는데, 그 이전까지는 가뭄이 전남과 경상남북도 지역에서 주로 발생하였던 것이 오히려 서울을 포함하는 경기,강원의 중부지방에서 -3~-4 정도의 가뭄을 나타냈으며, 나머지 지역에서는 -2 정도의 가뭄의 양상을 보이고 있다(그림 7 참조).

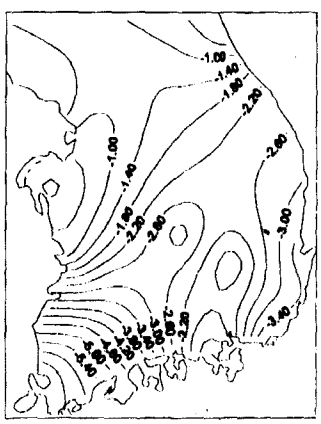

그림 4. '67년~'68년 12개월지속 전국가뭄지수도

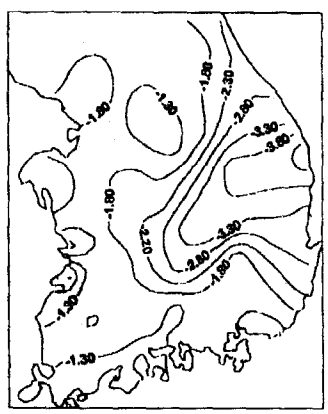

그림 6. '81년~'82년 12개월지속 전국가뭄지수도

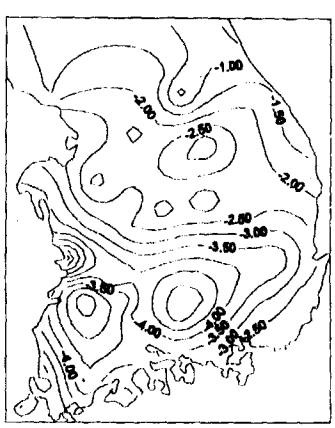

그림 5. '76년~'77년 12개월지속 전국가뭄지수도

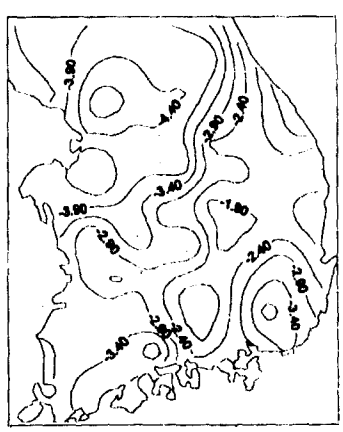

그림 7. '87년~'88년 12개월지속 전국가뭄지수도

4.3 전국 기왕최대 Palmer 가뭄지수도의 작성

4.2절에서 산정된 분석대상지점별, 월별 가뭄지수를 지속기간 12, 24개월을 대상으로 평균하여 지속기간별 평균 월가뭄지수를 산정한 후, 최대의 가뭄심도를 나타낸 기간 및 그 기간동안의 평균 월가뭄지수를 지점별로 작성하여 전국적인 기왕최대가뭄의 공간적 분포특성을 그림 8 및 9에 표시하였다. 이를 통해 대구를 중심으로 한 경상북도 지역과 전주, 남원, 광주를 연결하는 전라남북도 지역에서 -4~-7의 최대가뭄심도를 가졌음을 알 수 있으며, 서울을 중심으로 한 경기도 지역에서 -4~-5의 최대가뭄심도를 나타내었다. 위의 분석을 통해 전국적으로 전라남북도와 경상북도가 가뭄우심지역이며 가뭄에 대한 대비가 특별히 다른 지역에 비해 강화되어야 함을 알 수 있다. 또한 상대적으로 심도는 덜하지만 서울을 포함하는 경기 지역의 가뭄도 무시할 수 없음을 알 수 있다.

4.4 '94-'95 가뭄의 분석

'94-'95 가뭄의 대상기간동안 월 강우량 및 기온자료를 사용하여 지점별로 지속기간 12, 24개월 최대 평균 월 가뭄지수를 산정하였다. 이렇게 구한 지속기간에 따른 가뭄지수를 이용하여 '94-'95 전국가뭄지수도를 가뭄지속기간 12개월 및 24개월에 대하여 그림 10 및 11에 각각 표시하였다.

'94-'95 가뭄을 Palmer의 방법으로 분석해본 결과는 '94년 후반기에서 '95년 전반기까지의 가뭄이 극심했으며, '94년 상반기의 가뭄은 그리 심하지 않은 단지 가뭄이 시작되는 시기였음을 알 수 있었고, 지역적으로는 영남과 호남지역의 가뭄이 극심했었으며 경기와 강원 지방도 무시할 수 없는 가뭄을 겪고 있었음을 알 수 있었다.

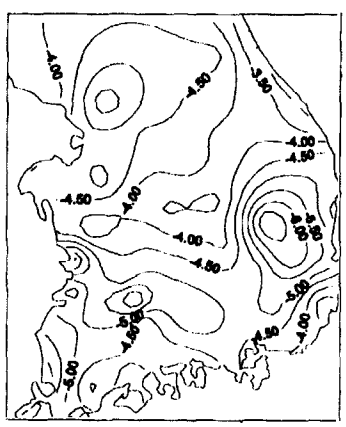

그림 8. 전국의 12개월지속 기왕최대가뭄지수도

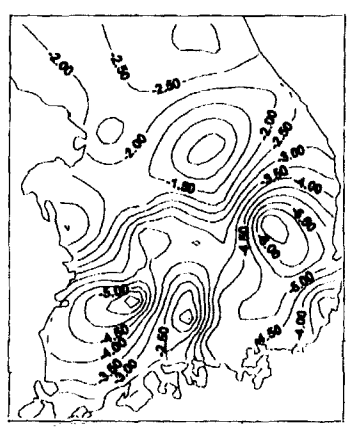

그림 10. 12개월 지속 '94-'95 전국가뭄지수도

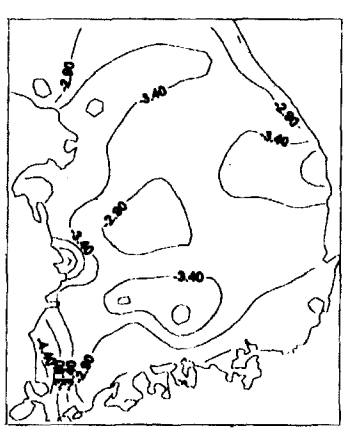

그림 9. 전국의 24개월지속 기왕최대가뭄지수도

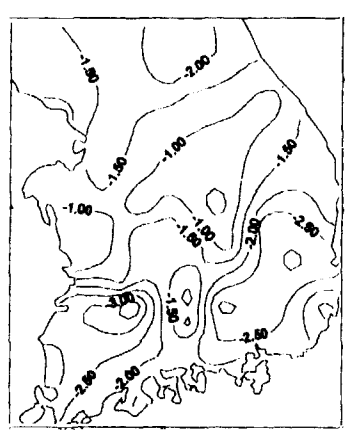

그림 11. 24개월 지속 '94-'95 전국가뭄지수도

5. 결 론

본 연구에서는 월수분수지분석을 이용하여 가뭄의 상태를 월별 및 관측대상지점별로 정량적으로 나타낼 수 있는 Palmer의 가뭄지수(X) 산정방법에 대하여 고찰하였으며, 이를통해 우리나라의 기후적 특성에 따른 가뭄지수(X) 산정 공식을 개발하여 68개 관측대상지점에서의 월별 가뭄지수를 산정, 분석하였다. 이와같은 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 우리나라에 적용하여 유도된 Palmer형의 공식을 이용하여 산정된 결과는 우리나라에서 기록된 가뭄의 양상을 잘 나타내었다.

(2) 강우량 자료의 갈수빈도분석을 통해 선정된 주요 가뭄기간에 대한 상대적 가뭄심도 및 전국적인 가뭄의 분포상황의 파악을 통해서 1994년에서 1995년에 걸쳐 발생했던 가뭄이 지역적인 범위 및 우심도 측면에서 볼 때 역대 발생했던 어느 가뭄보다도 심했었으며, 특히 경상도와 전라도 지역의 가뭄이 다른 지역에 비해 극심했음을 알 수 있었다.

(3) 전국 기왕최대가뭄지수도의 작성을 통해 전라도와 경상도지역이 가뭄 우심지역임을 알 수 있었다.

(4) 이상의 분석을 통하여 볼 때 Palmer의 가뭄지수 산정방법은 가뭄을 정량적으로 나타내는데 유효한 방법으로 생각되며, 각 대상지점에 대하여 월별로 가뭄지수를 산정한다면 가뭄의 심도 및 양상을 판단하는 적절한 방법임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

김선주, 이광야, 신동원 (1995). "관개용 저수지의 한발지수산정." **한국농공학회지**, 제37권, 제6호, pp. 103-111.

안병기, 김태철, 정도웅 (1988). "농업한발지수 설정에 관한 연구." **한국농공학회지**, 제30권, 제1호, pp. 31-37.

안재현 (1995). **Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석**. 석사학위논문, 고려대학교 대학원.

유경희 (1985). **남한의 물수지와 한발의 특성**. 석사학위논문, 이화여자대학교 대학원.

윤용남, 박무종 (1996). "L-Moment법을 이용한 월강우량 자료의 지역가뭄빈도 해석." **'96년 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 259-267.

정상연 (1995). **강수 및 증발에 관한 일별 누적지수의 산출과 이의 평년편차를 이용한 우리나라 가뭄의 특성**. 석사학위논문, 부산수산대학교 대학원.

조홍제 (1996). "도시지역 용수관리를 위한 가뭄 예경보지수에 관한 연구." **한국수자원학회지**, 제29권, 제1호, pp. 221-233.

최영진, 김현미, 조하만 (1994). "Palmer 방법에 따른 가뭄지수의 산출과 한국의 가뭄의 시·공간적특성 분석." **기상연구논문집**, 제11권, 제1호, pp. 67-76.

Bras, R. L. (1990). *Hydrology*. Addison-Wesley Publishing Company.

Palmer, W.C. (1965). "Meterological drought." *Res. Pap. No. 45*, U.S. Weather Bureau.

Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R. (1955). "The water balance." *Publication in Climatology*. Vol. 8, No. 1.

〈최종본 도착일 : 1997년 6월 26일〉