한국의 기후 자료를 이용한 PALMER 가뭄지수와 습윤이상 지수의 비교 분석

최 영진, 김 현미*, 최 병철

1. 서 론

가뭄은 비가 오지않거나, 적게 오는 기간이 오랫동안 지속되는 현상이다. 가뭄 연구의 궁극적인 목적이 가뭄의 감시(monitoring)와 예측 (forecasting)이라고 볼 때, 우선 가뭄의 객관적 정의나 기준이 필요하다고 생각된다. 얼마나 오랫동안, 얼마나 적은 양의 비가 올 때 가뭄이라고 하고, 또 가뭄의 심도(drought severity)가 어느 정도라고 평가 할 것인가는 명확하게 단계를 구분하기가 어렵지만, 대체로 기후 자료를 사용하여 구분한다. 연 강수량 또는 월 강수량에 대한 현재 강수량의 비로 표현하거나, 지수를 만들어 구분하기도 한다.

가뭄 지수는 물 부족의 정도와 지속 기간 그리고 가뭄이 동시에 진행되고 있는 영역의 크기(Heddinghaus *et al*,1987), 토양의 종류에따른 토양 수분 변화, 유출량 등 복잡한 물수지 시스템에 바탕을 두고 있다. 기상학에서는 가뭄을 평가할 수 있는 여러 요소중에서 지속 기간을 특히 중요하게 다루며, Janowiak(1986) 등은 월 또는 그 이상의 지속 기간으로 가뭄을 정의 할 수 있다고 하였다. 농업, 임업 등 각종 산업 활동의 필요에 의해, Palmer(1965)등의 많은 연구자들이 가뭄의 정의나 기준등에 관해 연구 하였다(WMO,1975). 가뭄은 국지적 특성이 강하므로 절대 강수량으로 비교하기보다는 국지적 기후 변화의 상대적 크기로 비교하는 것이 타당하며, 가뭄을 감지할 수 있는 indicator의 객관화와 표준화가 필요하다고 생각된다. 이 연구의 목적은 가뭄을 인지할 수 있는, 한국의 기후를 바탕으로 한 객관적인 가뭄 지수의 산출과 이 가뭄 지수의 계산 과정에서 구해지는 습윤 이상 지수(Z index)를 비교하여, 한국의 가뭄을 적절히 표현할 수 있는 가뭄 지수에 관해 논의 하고자 하는 것이다. 이것을 위하여 이연구에서는 현재 가장 널리 사용되고 있는 Palmer(1965) 의 가뭄지수 산출 방법을 사용하였다.

기상연구소, 기상청*

2. 자료 및 방법

가. 자료

가뭄 지수를 산출하기 위해 사용된 자료는 남한지역 25개 관측지점에서 관측된 1961년에서 1990년까지의 30년간의 월평균 기온과 월강수량이다. 관측지점의 위치는 Fig.1과 같다.

Fig.1. 25 Data station.

나.Palmer 가뭄 지수 및 습윤 이상 지수의 산출 방법

Palmer Drought Severity Index (이하 PDSI라고 씀)는 장기적인 가뭄을 기상학적으로 평가하며, 환경 상태를 감시하는 도구로 사용되고 있다(Karl, 1986). 습윤 이상 지수는 단기적인 물수지 균형 상태를 나타내는 것으로, PDSI에 비해 단기적으로 가뭄을 평가하는데 사용될 수 있다.

PDSI는 수분의 수요와 공급 사이의 균형을 이론적 바탕으로 하고 있으며, 계산된 PDSI값은 기후학적으로 추정된 강수량과 관측된 강수량의 차이의 누적된 효과를 표현한다. PDSI계산에 필요한 물수지는 강수량과 증발산량, 유출량 및 토양 수분의 변화등 수분의 공급과 수요의 수지를 계산하는 식(1)과 같은 Thornthwaite and Mather(1955)의 방법을 사용하였다.

$$P = AE + RO + \triangle ST \qquad (1)$$

여기서 P는 강수량이고, AE는 증발산량, RO는 하천으로의 유입량이며, △ST는 토양 수분의 변화량을 나타낸다.

PDSI를 계산하기위해 필요한, 지역적 월별 기후 특성에 따른 계수 α, β, γ, δ 는 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$\alpha_j = \frac{\frac{1}{N}\sum_{N}^{i=1} AE_{ij}}{\frac{1}{N}\sum_{N}^{i=1} PE_{ij}},\ \beta_j = \frac{\frac{1}{N}\sum_{N}^{i=1} R_{ij}}{\frac{1}{N}\sum_{N}^{i=1} PR_{ij}},\ \gamma_j = \frac{\frac{1}{N}\sum_{N}^{i=1} RO_{ij}}{\frac{1}{N}\sum_{N}^{i=1} PRO_{ij}},\ \delta_j = \frac{\frac{1}{N}\sum_{N}^{i=1} L_{ij}}{\frac{1}{N}\sum_{N}^{i=1} PL_{ij}} \qquad (2)$$

여기서 N은 자료기간이며 j=1,12로 12개월을, AE는 실제 증발산량(Actual Evapotranspiration), PE는 가능 증발산량(Potential Evapotranspiration), RO는 유출량(Run-off), PRO는 가능 유출량(Potential Run-off), R은 토양 수분 보충

량, PR은 가능 토양 수분 보충량, L은 토양 수분 손실량이고, PL은 가능 토양 수분 손실량을 나타낸다. 국지적 기후특성에 따른 계수 α, β, γ, δ 를 사용하여, 특정 지역의 특정 월의 강수량을 기후적으로 다음과 같이 추정한다.

$$\hat{P}_{ij} = \alpha_j PE_{ij} + \beta_j PR_{ij} + \gamma_j PRO_{ij} - \delta_j PL_{ij} \quad (3)$$

식(3)으로 계산된 기후적으로 추정된 강수량과 관측된 강수량의 차로써 식 (4),(5)과 같이 Z Index를 구한다.

$$d_{ij} = P_{ij} - \hat{P}_{ij} \quad (4)$$

$$Z_{ij} = d_{ij} K_j \quad (5)$$

여기서 P_{ij}는 관측된 강수량, $\hat{P}_{ij}$ 는 추정된 강수량이고, K_j 는 보정인자이다. (5)의 Z Index를 사용하여, 식 (6)또는 (7)과 같이 PDSI를 계산한다.

$$PDSI_{ij} = PDSI_{ij-1} + \frac{Z_{ij}}{3} - 0.103\ PDSI_{ij-1} \quad (6)$$

$$PDSI_{11} = \frac{Z_{11}}{3} \quad (7)$$

식(5)는 각 달의 Z Index로 단기적인 물수지 상태를 나타내는 반면,식 (6)은 물 수지 상태의 누적된 효과를 나타내며, 세번째 항은 습윤 이상 지수 가 0 일 때 PDSI를 normalize시키는 효과를 갖는다. PDSI를 계산하는 첫달에는 식 (7)로 구한다.

3. 결과 및 토의

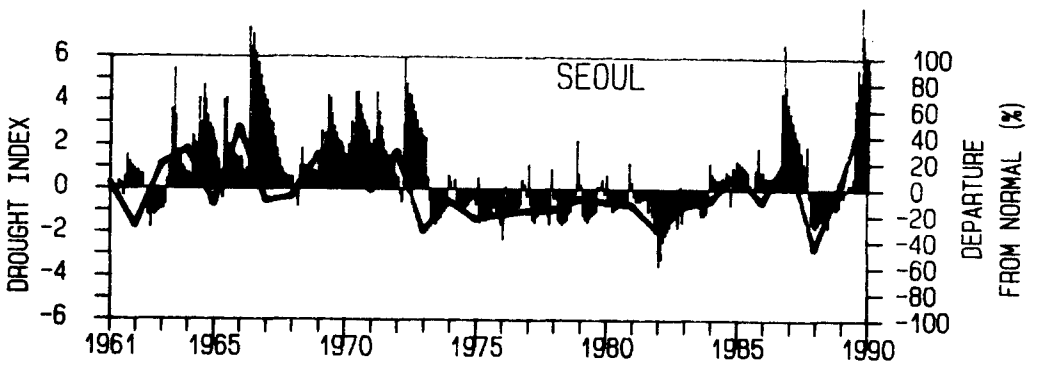
계산된 PDSI 값은 대체로 -6 에서 +6 범위의 값을 갖는다. 음의 절대값이 커질수록 심한 가뭄 상태를 나타내며, 양의 절대값이 커지면 다우 또는 홍수, -1 에서 +1 범위의 값을 가지면 정상 상태라고 할 수 있다. 한국의 기후 자료를 사용한 기준값이 아직 없기때문에, 이 연구에서는 NOAA(1988)에서 사용하는 Table 1과 같은 기준을 적용하여 해석하였다. PDSI의 장점은 가뭄 뿐 만아니라, 홍수도 진단하므로서, 전반적인 물 수지의 균형을 판단하는 객관적 자료를 제시한다는 것이다.

Table 1. Classification of Drought Severity according to PDSI.

Index	Drought Severity
above 4.0	Extreme Moist Spell
3.0 to 3.9	Very Moist Spell
2.0 to 2.9	Unusal Moist Spell
1.0 to 1.9	Moist Spell
0.5 to 0.9	Incipient Moist Spell
0.4 to -0.4	Near Normal
-0.5 to -0.9	Incipient Drought
-1.0 to -1.9	Mild Drought
-2.0 to -2.9	Moderate Drought
-3.0 to -3.9	Severe Drought
below -4.0	Extreme Drought

Fig.2는 월 단위로 계산된 PDSI와 연 강수량을 비교한 시계열 도표이다. 여기서 막대로 그린것은 PDSI이고, 꺾은선으로 그린것은 연강수량이다.

PDSI는 물 수지 균형의 누적된 상태를 반영하므로 물 부족기간이 길어질수록 같은 강수량에 대해서 큰값을 보인다. 월 PDSI와 연 강수량의 비교 결과로 보아 이 연구에서 산출된 PDSI값은 연 강수량의 변화 경향과 비교적 잘 맞는다고 생각된다.



Monthly PDSI Annual Rainfall

Fig. 2. Comparison Monthly Palmer Drought Index with Annual Rainfall.

Z Index는 이론적으로 상한 값이 한정 되어 있지 않으며, 값의 변화 폭이 매우 크다. 음의 절대값이 클수록 심한 가뭄 상태를 나타낸다. Fig.3 은 1994년 4월의 물수지 상태를 분석한 그림이다. Fig. 3 (a)는 PDSI, (b)는 Z Index, (c)는 1994년 4월의 기후 상태에서 추정 가능한 강수량의 분포이고, (d)는 (c)와 실제 관측된 강수량의 차이를 보인 것이다. 1994년 4월에 기후적으로 가능한 강수량은 100 - 120㎜정도인데, 실제 강수량은 이보다 85 - 30㎜가 적은 30 - 90㎜의 분포를 보였다. (a)의 PDSI는 약간 습윤하거나 정상 상태의 수치를 보였으나, (b)는 건조한 상태를 잘 표현하고 있으며, (d)의 강수량 부족 상태의 공간 패턴과도 잘 일치 하는 것으로 보인다. 또한 Fig. 4 의 토양 수분 변화 패턴과도 잘 일치

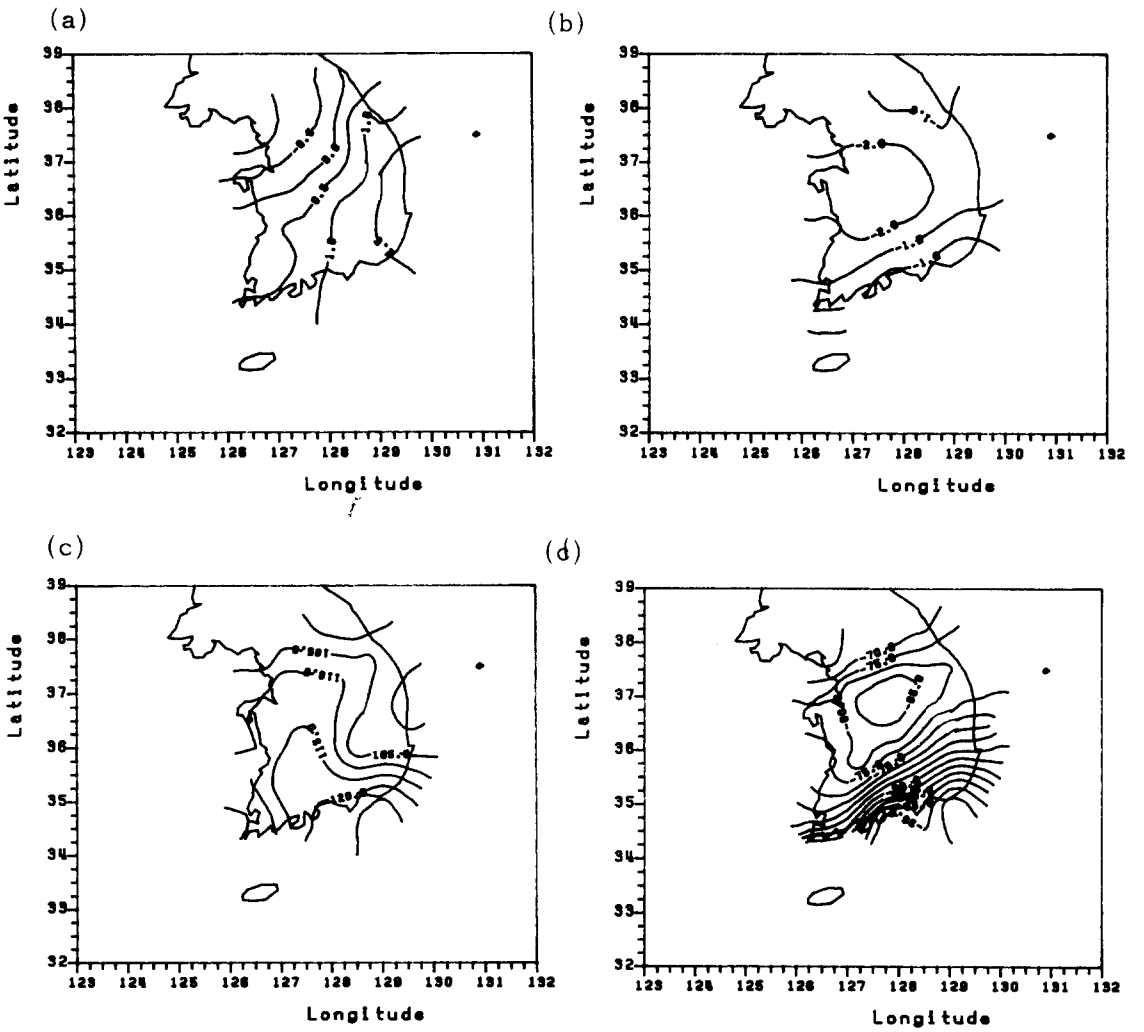


Fig.3. (a)Palmer Drought Severity Index (b)Z index (c)Estimated Precipi -tation (d)Estimated Precipitation - Observed Precipitation

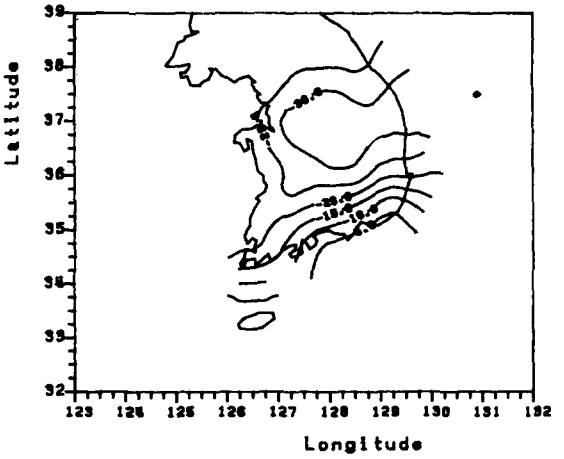


Fig.4. Soil Moisture Variation.

한다. 이연구에서 사용한 토양 수분 변화 모형은 김 병순(1972)의 2층 모형을 참조하여 만들어진 간단한 모형으로, Fig. 4 에 나타난 수치가 절대적 크기로서 타당한 지는 차후의 연구 과제로서 검증 되어야 하겠지만 공간적 패턴은 잘 표현하는 것으로 생각된다.

1994년 4월에 강수량이 부족했으며, 건조기로 볼 수 있다. 이러한 건조기가 장기적으로 지속 될 때 가뭄 상태로 해석 할 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결론

1961년부터 1990년까지 30년간의 우리나라 기후 자료를 사용하여, Palmer (1965) 방법에 따라, 우리나라 가뭄을 객관적으로 표현하기 위한 월별 가뭄지수 PDSI 산출 프로그램을 작성하고, 산출된 월별 PDSI를 연 강수량 변화와 비교하여 검증하였으며, PDSI와 Z Index, 강수량 분포 및 토양 수분 변화등을 분석하였다.이 연구에서 산출된 PDSI는 우리나라의 장기적 가뭄을 진단하고, Z Index는 특정한 달의 물수지 균형을 잘 나타내어 단기적인 가뭄을 평가하는 참고 자료로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.이 연구에서 사용된 PDSI모형에서 다소 비현실적인 가정들을 개선하고, 증발산량과 유출량, 토양 수분 변화량등을 정확하게 산출 할수 있는 정교한 물수지 모형을 도입한다면 PDSI의 정확도 향상을 기대할 수 있으며, 1주일단위의 PDSI를 산출한다면 현업 사용도 가능 할 것으로 생각된다. 또한 수치 예보 모형에서 생산되는 강수량 예측 자료를 입력하여 PDSI나 Z Index를 계산하면, 물수지의 예측도 가능 할것으로 기대된다.

참고 문헌

김 병순,1972: 남한강 상류역의 물수지와 기후 특성, 연세대학교 교육대학원 석사 학위 논문,87pp.

Heddinghaus,T.R., J.E.Janowiak, and R.P. Motha, 1987: Survey of Various Techniques of Drought Assessment. Preprints, the Fifth Conference on Applied Climatology, March 9-13, 1987, Baltimore, MD, 49-54 (Published by American Meteorological Society, Boston,MA).

Janowiak,J.E., C.F.Ropelewski and M.S.Halpert,1986: The Precipitation Anomaly Cliffication:A Method for Monitoring Regional Precipitation

Deficiency and Excess on a Global Scale, *J. Clim. Appl. Meteor.*, *25*, 565-574.

Karl, T.R., 1986: The Sensitivity of Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their Calibration Coefficients Including Potential Evaportranspiration. *J. Clim. Appl. Meteor.*, *25*, 77-86.

NOAA, 1988: Selective Guide to Climatic Data Sources. U.S. Dept. Commerce, Key to Meteor. Records Doc. No. 4.11

Palmer, W.C., 1965: Meteorological Drought Res. Pap. No. 45., U.S. Weather Breau, 58pp, (NOAA Library and Information Service Division, Washington, D.C. 20852)

Thornthwaite, C.W. and J.R. Mother, 1955: The Water Balance, Pubilcations Climatorology, Laboratory of Climatorology, 8, 1-104.

WMO, 1975: Drought and Agriculture, Tchnical Note No. 138, 127pp.