

다양한 시계열을 이용한 가뭄지표 산정 Estimation of Drought Indicator Using Various Time Series

임 경 진* / 심 명 필** / 성 기 원*** / 이 현 재****

Im, Kyung Jin / Shim, Myung Pil / Sung, Kee Won / Lee, Hyun Jae

Abstract

In this study, the drought indicator is calculated from the rainfall, daily highest temperature, streamflow and Palmer Drought Severity Index(PDSI) for water plan and drought management in a relatively wide region. Three levels of drought severity, called drought watch, drought warning, and drought emergency, are established for these series which determine exceedance levels. The 25% nonexceedance level is used for drought watch, 10% for drought warning, and 5% for drought emergency to figure how well the drought indicators represent the past-drought and that those can be used for drought monitoring. As a result, 9-month and 12-month precipitation, and PDSI series shows the best consistency and high correlation indicate droughts. Because the results are based on the gauged data and simply calculated, the suggested indices can be used for basic data for drought monitoring system of a basin.

keywords : Drought index, drought, drought indicator, drought analysis

요 지

본 연구에서는 수자원 계획 및 가뭄관리를 위해 비교적 넓은 지역에 활용할 수 있는 가뭄지표 산정을 위해 강우량, 일최고기온, 유출량, Palmer 지수 등의 다양한 계열의 자료를 이용하였다. 가뭄감시를 위해 가뭄단계를 가뭄주의보, 가뭄경보, 비상가뭄으로 구분하였으며, 각각 가뭄단계는 산정된 지수의 25%, 10%, 5%에 대한 비초과확률치로 정의하였다. 또한 가뭄지수들이 과거의 가뭄을 얼마나 잘 표현하고 있으며, 가뭄감시를 위한 가뭄지표로 활용할 수 있는가를 판단하기 위해 과거 가뭄을 재현하여 가뭄단계의 일치성과 상관관계를 분석하였다. 그 결과 9개월과 12개월 강우량지표와 PDSI 지표가 최대의 일치성과 상관관계를 나타내었다. 이렇게 산정된 결과는 다양한 계열의 실측치에 근거하고 있으며, 간단한 계산에 의해 산정 될 수 있기 때문에 유역의 가뭄감시시스템의 구축을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 가뭄지수, 가뭄, 가뭄지표, 가뭄분석

-
- * 한국종합기술개발공사 사원
Korea Engineering Consultants Corporation, 643-22, Shinsa-Dong, Kangnam-gu, Seoul, Korea 135-790,
(E-mail:6731712@hanmail.net)
 - ** 인하대학교 토목공학과 교수
Pfor., Dept. of Civil Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
 - *** 건국대학교 토목공학과 교수
Associate Pfor., Dept. of Civil Engrg., KonKuk, Univ., Seoul 143 701, Korea
 - **** 한국종합기술개발공사 이사

1. 서론

가뭄은 학문분야의 관심에 따라 기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 농업적 가뭄, 사회경제적 가뭄, 기후학적 가뭄, 대기학적 가뭄 등 여러 가지로 정의되고 있으며, 이에 따른 가뭄의 정도를 정량화 하기 위한 다양한 가뭄지수(drought index)가 개발되어 왔다. 대표적인 가뭄지수로는 PDSI(Palmer Drought Severity Index), CMI(Crop Moisture Index), SPI(Standardized Precipitation Index), SWSI(Surface Water Supply Index) 등이 있으며, 이러한 지수들은 강수의 확률적 분포, 토양수분 수지분석(soil moisture balance), 증발산 등의 자료를 이용하여 산정된다. 그러나 이러한 가뭄지수들은 각각의 관심분야에 따라 자기 다른 입력변수를 이용해 가뭄의 심도와 기간을 분석하고 있기 때문에 특정기간의 가뭄상황에 자기 다른 반응을 나타내는 경우가 발생하게 된다. 이러한 이유로 가뭄감시를 위한 보다 더 신뢰성 있는 가뭄지수의 개발과 가뭄지수들의 상호비교를 통한 가뭄감시 지표개발을 위한 연구의 필요성이 제기되었으며, McKee 등(1995)은 Colorado의 Fort Collins지방을 대상으로 PDSI와 SPI의 상관성을 분석을 하였고, Guttman(1996)은 스펙트럼 분석을 이용하여 미국 전역의 PDSI와 SPI를 비교하였다. Rao 등(1996)은 강우량, 유출량, 일최고기온, PHDI(Palmer Hydrologic Drought Index)등의 4가지 기후학적 시계열의 확률 개념을 이용하여 가뭄감시 지표를 개발하였으며, Indiana주에 적용하여 표준화된 유출지수, PHDI를 가뭄 감시를 위해 추천하였다.

한편, 국내에는 1967-1968, 1994-1995가뭄을 비롯한 극심한 가뭄이 10년에 한번 꼴로 발생하고 있으며, 이로 인한 피해도 막대하게 발생하고 있다. 이러한 가뭄에 대비하기 위해 기존의 가뭄지수를 이용한 가뭄의 시·공간적인 특성 파악, Palmer방법에 따른 가뭄지수

모델 개발(기상연구소, 1993) 등의 연구가 진행되어 왔다. 그러나 이러한 가뭄지수들의 한계성이 제기되어 왔으며, 최근 가뭄지수들의 특징을 고찰하고 상호비교를 통해 가뭄감시를 위한 보다 신뢰성 있는 가뭄지표개발에 관한 연구의 필요성이 제기되고 있다.

본 연구에서는 기존에 널리 사용되고 있는 가뭄지수들을 비교·검토하고, 비교적 넓은 지역의 가뭄감시를 위해 다양한 시계열을 이용하여 가뭄지표를 산정하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 가뭄지수의 분류 및 활용

2.1 가뭄지수의 분류

가뭄지수들은 물공급지표, 유출, 강우, 적설량 등의 서로 다른 단위·성질을 갖는 수많은 자료들을 동질화한다. 가뭄지수는 무차원 수이며, 의사결정을 위해 실측자료치 보다 더욱 유용하게 사용된다. 이들 중 몇몇 지수들은 주어진 기간에 대한 강우량으로 결정되며, 이것은 때때로 과거의 가뭄상황을 재현하였을 때 설정된 기준치와 일치하지 않을 수 있다. 또한 광범위하게 사용되는 가뭄지수들이 다른 지수들보다 뛰어나다고 할 지라도, 특수한 목적에 사용하기 위해서는 적절하지 않을 수 있다. 예를 들어, 미국 농림부에서 광범위하게 사용하고 있는 Palmer 지수는 넓은 평야지대에서는 적절하다 할지라도, 서부의 산악지형이나, 복잡한 국지적 기후 특성을 갖는 지역에서는 SWSI(Surface Water Supply Index)와 같은 가뭄지수들이 더욱 적절하다고 할 수 있다. 그러므로 의사결정자들은 수자원 계획을 위해 하나의 지수보다는 여러 지수들을 고려한다. 본 연구에서는 기존의 대표적인 가뭄지수들을 산정방법 별로 표 1.과 같이 분류하였다.

표 1. 가뭄지수의 분류

산정방법	분류	비고
확률개념을 이용한 가뭄지수	정상강수백분율, 정상강수 10분위, Phillips 가뭄지수, 표준강수지수(SPI), 국가강수지수(RI)	
토양수분수지분석을 이용한 가뭄지수	토양수분지수(CMI) Palmer 가뭄지수(PDSI)	
수분공급 및 수요를 고려한 가뭄지수	지표수공급지수(SWSI) 미개척국지수(RDI)	확률개념 포함

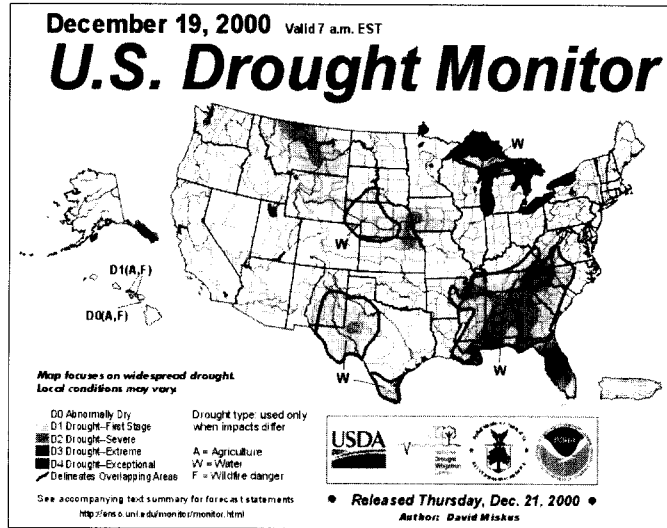


그림 1. National Drought Mitigation Center의 가뭄감시

2.2 가뭄지수를 활용한 가뭄감시

National Drought Mitigation Center(NDMC)에서는 미국전역에 걸쳐 Palmer 가뭄지수, 토양수분지수, 유량, 강우량, 위성식물건강지수(Satellite Vegetation Health Index) 등을 이용하여 가뭄감시를 하고 있으며, 그림 1.과 같이 웹사이트를 이용하여 가뭄상황에 대한 정보를 실시간으로 제공하고 있다. 또한 가뭄지수들을 이용하여 가뭄의 정도를 D0~D4로 구분하여 각 단계별 가뭄현상을 제시하고 있으며, 작물 및 가축, 물공급, 하천, 지하수, 저수지, 화재위험 등의 가뭄영향, 가뭄 상황이 호전되고 있는지 악화되고 있는지에 대한 정보를 제공하고 있다(<http://enso.unl.edu/monitor/monitor.html>).

1996년 인디애나주의 자원부(Indiana Department of Natural Resources)에서 가뭄감시에 사용하기 위해 초과 확률 개념을 이용한 가뭄감시 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 강우량, 자연유량, 최고기온, Palmer 가뭄지수 등의 시계열 자료를 이용하고 있으며, 각 시계열 자료의 초과확률 75%, 90%, 95%에 대해 가뭄주의보(drought watch), 가뭄경보(drought warning), 비상가뭄(drought emergency)의 3단계로 구분하고 있다(Rao, 1997).

한편, 국내에는 '67-'68, '94-'95가뭄을 비롯한 극심한 가뭄이 10년에 한번 꼴로 발생하고 있으나 상대적으로 가뭄재해에 대한 대비가 부족한 상황이며, 가뭄에

대한 연구는 더욱 부족하였다는 것은 잘 알려진 사실이다. 이러한 상황에서 기상연구소(1993)에서는 Palmer 가뭄지수를 이용하여 25개 관측지점을 대상으로 1961년부터 1990년까지의 30년에 대해 적용하고, 가뭄이 발생한 해의 대기 순환을 정상 해와 대비하여 비교하였다. 한편, 윤용남 등(1997)은 PDSI의 기후특성인자와 가뭄지수의 산정식을 우리 나라의 자료를 이용해 보완하여 전국 68개 지점을 대상으로 적용하고, 김선주 등(1995, 1997)은 미국의 서부지역에서 개발된 지표면 물공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI)를 우리 나라의 지형과 수문학적 특성에 맞게 변화하여 용수공급지수(Water Supply Index, WSI)를 제시하였다. 또한 조홍제(1996)는 월강수량의 초과확률에 근거한 Phillips 가뭄 지수로 가뭄시 도시지역의 생활용수 및 공업용수의 부족에 대비한 용수수급대책 마련에 이용할 수 있도록 하였으며, 김상민(1999), 유원희(2000)는 표준강수지수(SPI)를 국내에 적용하였다.

3. 가뭄감시 지표 산정방법

3.1 가뭄감시 지표의 구성

가뭄의 심도는 물 사용량과 가용 수자원량에 관계된다. 만약, 물의 수요가 전혀 없다면, 물 부족의 문제는 발생하지 않을 것이다. 이 관계를 설명하기 위해 3개월간 비가 내리지 않았다고 가정하자. 비록, 유출량은 심각하게 감소할지라도 지하수 수위에는 심각한 영향을

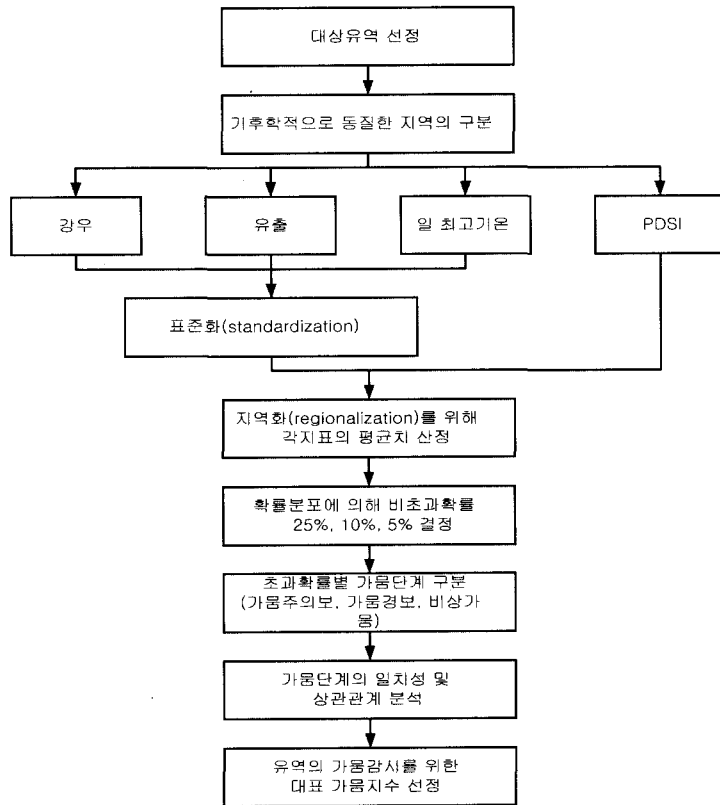


그림 2. 본 논문의 가뭄감시지표 선정 절차

미치지 않을 것이다. 결국, 지하수 수위와 유출량은 서로 다른 가뭄심도를 나타낼 것이다. 따라서 다른 시계열자료가 해당 월에 다른 반응을 보일지라도, 초과확률을 사용하면 대부분의 시계열이 같은 빈도, 같은 가뭄심도를 나타낼 것이라는 개념에 근거하여 가뭄감시 지표를 선정하였다. 이를 위해 강우량, 유출량, 일 최고기온, PDSI의 시계열 자료를 이용하였으며, 그림 2.는 본 연구의 가뭄지표 선정을 위한 개략적인 절차를 설명하고 있다.

3.1.1 강우량

기존의 가뭄지수들의 대부분은 강우량을 이용하고 있으며, 설사 직접적으로 고려하지 않더라도 강우량과 밀접하게 관계된다. 특히 10분위 강수량, SPI, 정상 강수량 백분율 등은 강우량만을 고려하는 대표적인 가뭄지수이다. 모든 가뭄의 원인은 강우량 부족에서 출발한다고 할 수 있으므로 가뭄감시 지표산정을 위해 강우량을 사용하였다. 그러나 강우량은 용수 공급원인 지하수

량, 적설량, 저수지 저류량, 토양 함유 수분, 하천 유출량 등에 각기 다른 시간단위를 가지고 영향을 미친다. 단기간 동안의 강수량은 토양 수분 조건에 직접적인 영향을 미치는 반면 장기간 동안의 강수량은 지하수량, 하천 유출량, 저수지 저류량 등에 영향을 미친다. 이러한 현상을 고려하기 위해 1, 3, 6, 9, 12개월로 시간단위를 달리하여 이동평균 강우량을 선정하였다.

3.1.2 일 최고기온

일 최고 기온은 기상관측소에서 일강우량 자료와 함께 구할 수 있으며, 기온은 유역이 비교적 넓다해도 크게 변하지 않기 때문에 단지 몇 개의 관측소의 자료만을 활용해도 된다. 일 최고기온의 시계열 자료는 지속기간 1, 2, 3, 4개월로 변환시켰다.

3.1.3 유출량

하천유출량 자료들은 인간의 영향을 받지 않는 곳, 최소 30년 이상의 자료를 보유하고 있는 곳이어야 한

다. 그러나 그들이 가뭄의 깊이를 표시하고 있을지라도 간헐적인 자료는 가뭄의 심도를 결정하기 위한 자료로 적합하지 않다. 그러나 우리 나라의 경우 대부분이 상류에 댐이 건설되어 있으며 하류의 수위관측소의 수위 자료는 이러한 영향을 받고 있다. 따라서 본 연구에서는 자연상태에 가까운 유출량 자료를 사용할 수 있는 수위 관측소의 부재와 물리적인 모형이나 비유량에 의해 산정한 유출량 보다는 실측자료를 사용하는 것이 보다 더 정확한 결과를 가져올 것이라고 판단하여 진동, 왜관지점의 수위자료를 이용하여 수위-유량관계곡선에 의해 유출량을 산정하였다.

3.1.4 PDSI

본 연구에서는 미국 전역의 가뭄감시를 위해 사용하고 있으며, 우리 나라에도 가장 많이 적용된바 있는 PDSI를 가뭄감시를 위한 지표 산정을 위해 선정하였다. 그러나 가뭄 심도가 수분부족량과 수분부족기간의 함수로 표현되는 기존의 개념과는 다르게, 본 연구에서는 31년(1965~1995)의 PDSI를 확률분석하여 초과확률 개념에 의해 가뭄의 단계를 정의하였다.

3.2 시계열자료의 표준화 및 지역화

본 연구에서는 이동누가 강우량(1, 3, 6, 9, 12개월), 이동평균 일최고기온(1, 2, 3, 4개월), 유출량(1개월), PDSI(1개월)를 사용하였다. PDSI를 제외한 강우량, 유출량, 최고기온 자료들은 무차원화 하기 위하여 표준화(standardization)하였다. PDSI는 이미 무차원화되어 있기 때문에 표준화하지 않아도 되며, 다른 시계열 자료들은 평균과 표준편차의 차이를 제거하기 위하여 식 (1)을 이용하여 표준화한다.

$$N_{i,k} = \frac{X_{i,k} - \bar{X}_k}{S_k} \quad (1)$$

여기서, i : 시계열의 순서
 k : 월

$N_{i,k}$: 표준화된 시계열

$X_{i,k}$: 관측된 시계열

\bar{X}_k : k 월의 관측치 평균

S_k : k 월의 관측치 표준편차

한 지역의 해당 월에 대해 표준화된 값과 Palmer 지수는 지역 시계열을 얻기 위해 평균을 계산한다. 지역화(regionalization)된 시계열자료는 가뭄의 심도를 구분하기 위해 사용되어지며, 빈도해석을 통하여 비초과확률을 결정한 후, 비초과확률별 가뭄단계를 결정한 다. 본 연구에서는 Rao(1997)가 제시한 초과확률별 가뭄단계의 구분을 참고하여 표 2와 같이 가뭄의 단계를 구분하였다.

가뭄의 심도를 나타내기 위해 각각의 시계열에 대해 가뭄주의보(drought watch), 가뭄경보(drought warning), 비상가뭄(drought emergency)의 3단계로 구분하고, 각각의 시계열에 대해 초과 단계를 표 3.1과 같이 결정한다. 기온계열을 제외하고는 가뭄주의보는 25%를, 가뭄경보는 10%를, 비상가뭄은 5%의 비초과 확률로 정의하였다. 비초과확률 25%의 가뭄주의보 단계는 가뭄경보, 비상가뭄을 포함하고, 비초과확률 10%의 가뭄경보단계는 비상가뭄을 포함하게 된다. 기온은 가뭄시 다른 시계열과 반대로 나타나므로 75%, 90%, 95%를 사용한다.

3.3 자료치 계열의 빈도분석

본 연구에서는 강우, 유출, 최고기온의 표준화한 지수와 PDSI의 지역평균치의 초과확률을 결정하기 위해 확률분포형을 사용하였다. 이를 위해 먼저 확률변수의 적합성 조건을 검토하였으며, 확률분포에 대한 적합도의 검정을 위해 χ^2 -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정을 이용하였다. 그 결과 PDSI지표는 Normal 분포를, 일 최고기온 지표, 강우량 지표, 유출량 지표는 Gumbel 분포를 적정 분포형으로 선정하였다.

표 2. 비초과확률별 가뭄단계의 구분

구 분	비 초 과 확 률	비 고
가뭄주의보	25%	가뭄경보, 비상가뭄 포함
가뭄경보	10%	비상가뭄 포함
비상가뭄	5%	

표 3. PDSI-유출량 지표의 우연성표

PDSI \ 유출지수		Normal	Watching	Warning	Emergency
		(1)	(2)	(3)	(4)
Normal	(1)	254	32	5	3
Watching	(2)	16	8	4	2
Warning	(3)	4	5	1	1
Emergency	(4)	8	0	3	10

3.4 가뭄단계의 일치성 분석

가뭄의 첫 번째 증거는 강우의 기록에서 찾아 볼 수 있으며, 토양수분의 감소는 짧은 시간 이내에 나타나기 시작한다. 하천, 저수지 호수에서의 가뭄의 영향은 몇 주 또는 몇 달 이후에 나타나며, 우물의 수위는 가뭄이 시작 후 상당한 시간이 지나서야 반응이 나타난다. 특정 지역의 어떤 가뭄현상에 대해 서로 다른 시계열 자료들은 각기 다른 가뭄심도를 표시할 수 있다. 그러므로 만약 어떤 두 계열의 일치성이 증명된다면, 이들 계열은 각각 다른 곳에서 사용될 수 있으며, 다른 시계열의 가뭄지표가 일치한다는 것은 가뭄을 운영하기 위해 필요로 하는 자료의 수를 줄일 수 있다고 설명할 수 있다. Rao 등(1997)은 보유하고 있는 자료를 재현했을 때, 두 시계열이 같은 가뭄 심도를 가지는 백분율로 두 시계열의 일치성을 정의하였다. 가뭄감시를 위해 사용되는 시계열에서 일치성 검사는 가뭄조건 동안의 지표값을 가지고 수행하기 때문에, 가뭄이 아닌 모든 기간의 상관관계를 구하는 상관관계분석보다 훨씬 좋은 분석이 될 수 있다. 본 연구에서는 자료계열의 일치성을 평가하는 우연성표(contingency table)분석을 이용하여 가뭄단계의 일치성을 검토하였다. 표 3.은 우연성표를 이용하여 PDSI 지표와 유출량 지표의 일치성을 검토한 예이다.

우연성표는 일정기간의 두 시계열자료가 정상상태(1), 가뭄주의보(2), 가뭄경보(3), 비상가뭄(4)을 나타내는 개수와 일치하는 정도를 나타내기 위해 사용된다. 이렇게 표현되는 두 시계열은 각 가뭄심도별 발생 수를 2차원으로 표시되며, 표 3.2의 (3,4)에 있는 "1"은 어떤 시간에 PDSI의 지표는 가뭄경보 상태에 있을 때 같은 시기의 유출지수는 비상가뭄 상태에 있는 개월 수를 나타낸 것이다. 일치성은 두 개의 다른 지수로 표시되는데, C_1 은 두 시계열이 같은 가뭄심도를 나타내는 백분율이다. 이것은 식 (2)에 의해서 계산된다.

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^4 N_{i,i}}{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 N_{i,j}} \times 100 \quad (2)$$

우연성표의 (1,1)의 254는 두 시계열이 정상상태 일 때를 나타내며, 영향을 가장 많이 주게 된다. C_2 는 정상상태를 제거하고 가뭄상태에서의 일치성을 평가하기 위함이며, 이것은 두 시계열이 정상상태를 제외한 일치되는 가뭄심도를 가지는 개수의 백분율을 나타낸다. 이것은 식 (3)에 의해서 구해지며, 가뭄상황에서 일치도를 나타내 준다.

$$C_2 = \frac{\sum_{i=2}^4 N_{i,i}}{(\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 N_{i,j}) - N_{1,1}} \times 100 \quad (3)$$

표 3.의 우연성표에서 계산된 C_1 은 77%, C_2 는 19%를 나타내고 있다.

4. 가뭄지표의 적용 및 분석

4.1 대상유역 선정

본 연구의 목적은 비교적 넓은 지역의 수자원 계획 및 가뭄관리를 위해 활용할 수 있는 가뭄지표를 선정하는데 있다. 이를 위해 낙동강 권역을 대상으로 강우, 유출, 일최고기온, Palmer 가뭄지수의 시계열 자료를 이용하여 가뭄감시지표를 선정하였다. 지표 선정을 위해 가뭄정도를 가뭄주의보, 가뭄경보, 비상가뭄의 3단계로 구분하였으며, 이들은 각각 25%, 10%, 5%의 비초과 확률치이다. 낙동강 수계는 물의 이용측면에서 볼 때 수계전반에 걸쳐 하천의존도가 크고 중류에는 구미, 대구 등의 내륙도시가 크게 발달하여 있으며 하류부에는 부산이, 또한 인접유역에는 포항, 울산, 창원, 마산 등 해안도시가 발달되어 타수계에 비하여 이수활용도가 매우 활발하다. 그러나 낙동강 수계의 연평균 강우량은 1166mm로 전국평균의 91% 수준이며 유출을 또한 전

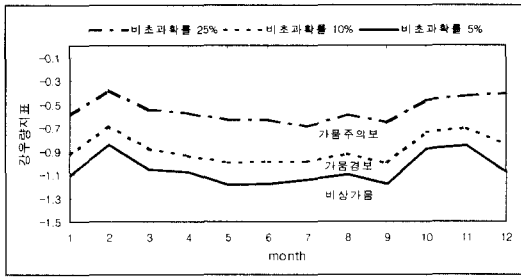


그림 3. 1개월 강우량지표

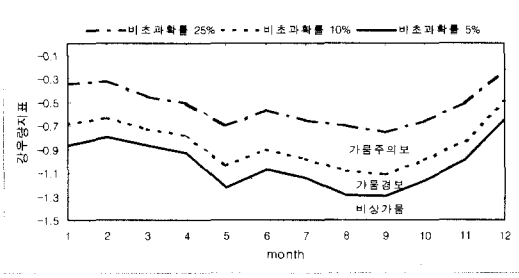


그림 4. 3개월 강우량지표

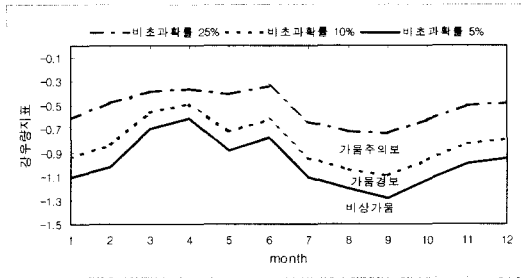


그림 5. 6개월 강우량지표

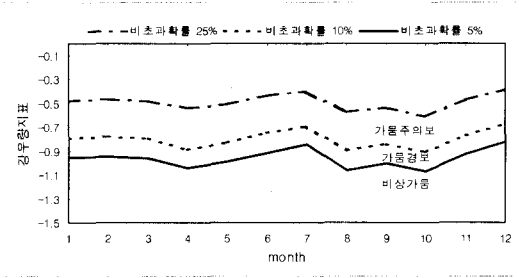


그림 6. 9개월 강우량지표

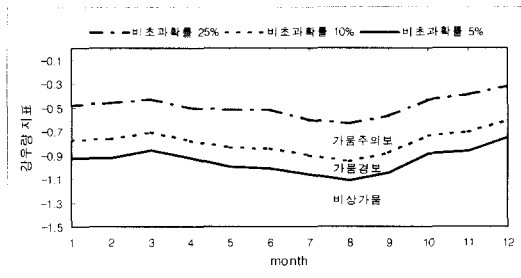


그림 7. 12개월 강우량지표

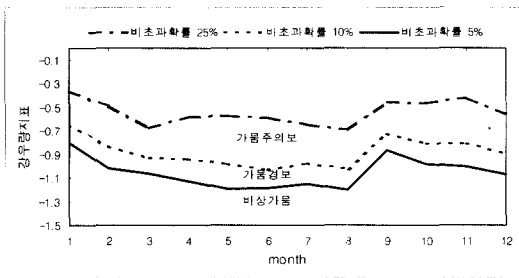


그림 8. 1개월 선행 강우량지표

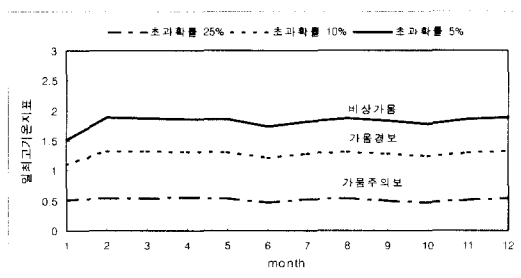


그림 9. 1개월 일최고기온지표

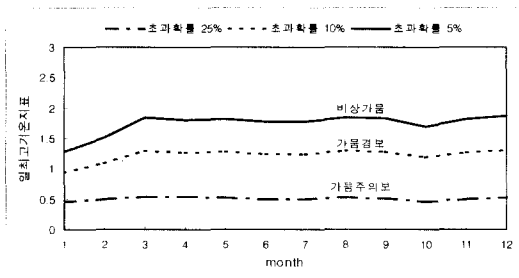


그림 10. 2개월 일최고기온지표

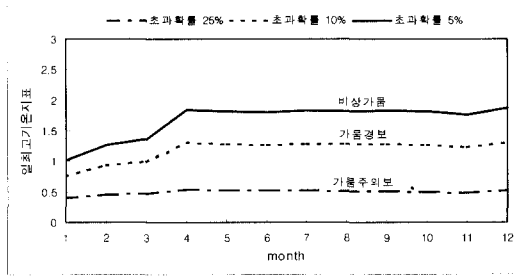


그림 11. 3개월 일최고기온지표

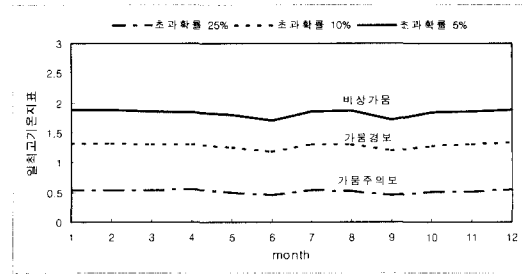


그림 12. 4개월 일최고기온지표

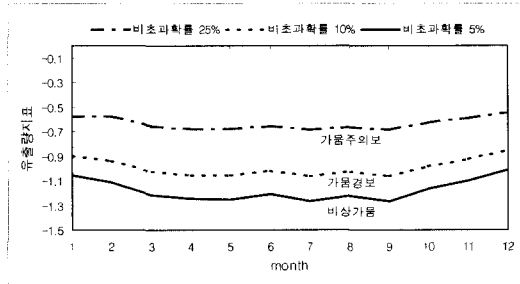


그림 13. 유출량지표

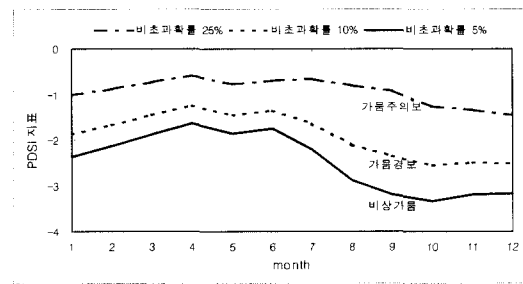


그림 14. PDSI지표

국 최저인 50%에 불과하여 물의 공급측면에서 그 부족량이 절대적으로 부족한 수계이다. 본 연구에서는 낙동강 권역 전체를 대상으로 가뭄을 감시하고 수자원 계획을 위한 기초자료로 활용할 수 있는 가뭄지표를 산정하였다. 이를 위해 1965~1995의 31년 자료를 보유하고 있는 대구, 부산, 포항, 울산 4개의 기상관측소와 왜관, 진동 2개의 수위관측소, 31개 강우관측소의 자료를 사용하였다.

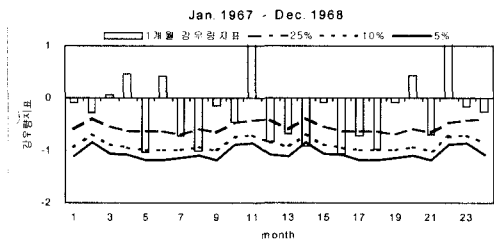
4.2 가뭄감시지표 산정

본 연구에서는 강우량지표 산정을 위해 낙동강 권역의 대구, 부산, 울산, 포항 등을 포함한 31개 관측소의 일 강우자료를 사용하였으며, 이를 1, 3, 6, 9, 12개월의 총 강우량 자료로 전환하였다. 일최고기온지표 산정을 위해 대구, 부산, 포항, 울산 기상관측소의 1965년 1월에서 1995년 12월까지 31년 일최고기온 자료를 이용하여, 이것을 지속기간 1, 2, 3, 4개월의 평균기온으로 변환시켰으며, 유출량지표 산정을 위해 낙동강 유역의 유출상황을 대표할 수 있는 진동, 왜관 지점의 실측 수위자료를 이용하였으며, PDSI지표 산정을 위해 대구, 부산, 포항, 울산 기상관측소의 월 강우량자료와 일 평균기온의 월 평균치를 사용하였다. 이들 시계열

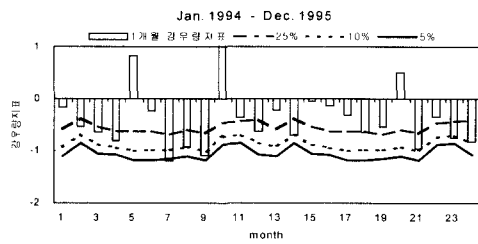
자료는 지속기간의 마지막 달로 정의된다. 1972년 2월의 지속기간 3개월 강우량은 1971년 12월, 1972년 1월, 1972년 2월의 강우량의 합이다. 가뭄감시를 위한 지속기간별, 비초과확률별 강우량지표, 일최고기온지표, 유출량지표, PDSI지표는 그림 3~14와 같으며, 그림의 일점쇄선, 점선, 실선은 가뭄주의보, 가뭄경보, 비상가뭄의 가뭄단계를 표시하고 있다. 일점쇄선은 가뭄주의보 단계의 시작을 의미하며, 일점쇄선 아래에 있는 가뭄경보, 비상가뭄을 모두 포함한다. 또한 점선은 가뭄경보 단계의 시작을 의미하며, 점선 아래에 있는 비상가뭄을 포함하고, 실선은 비상가뭄의 시작을 의미한다.

4.3 가뭄지표의 일치성 검토

위에서 산정한 가뭄지표들이 우리 나라의 주요 가뭄인 '67-'68, '94-'95년 가뭄에 대해서 어떻게 반응하는지를 검토하기 위해 1967~1968, 1994~1995년의 강우량, 일최고기온, 유출량, PDSI 지수들을 그림 15~23과 같이 재현하였다. 이들 그림에서의 막대그래프는 사용된 강우량, 일최고기온, 유출량, PDSI의 지역화된 지표이다. 막대 그래프는 양의 값과 음의 값을 갖게 되며, 양의 값일 때는 습윤한 조건을 나타내고 음의 값일 때는 건조한 조건을 나타내며, 절대값의 크기가 클수록

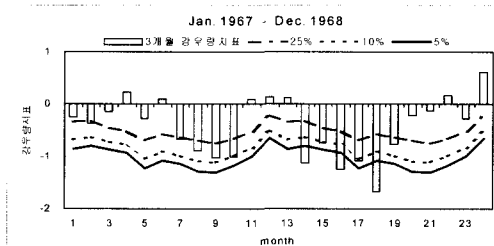


(a) '67-'68 가뭄의 검토

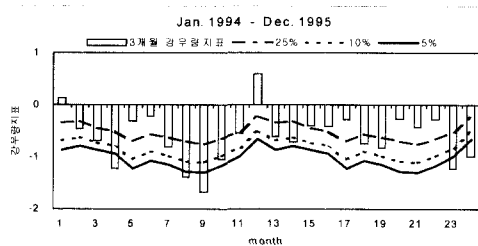


(b) '94-'95 가뭄의 검토

그림 15. 1개월 강우량지표를 이용한 주योग뭄의 검토

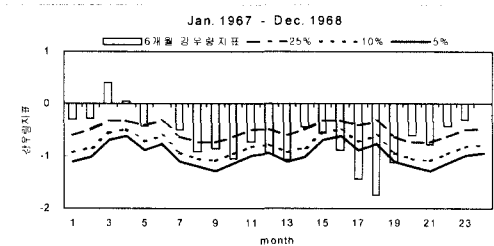


(a) '67-'68 가뭄의 검토

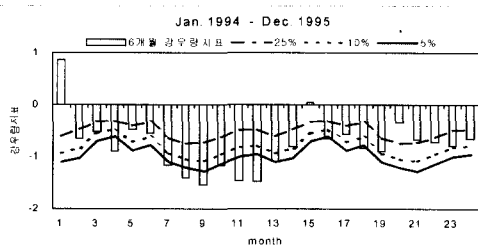


(b) '94-'95 가뭄의 검토

그림 16. 3개월 강우량지표를 이용한 주योग뭄의 검토

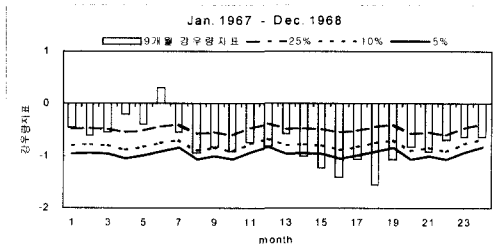


(a) '67-'68 가뭄의 검토

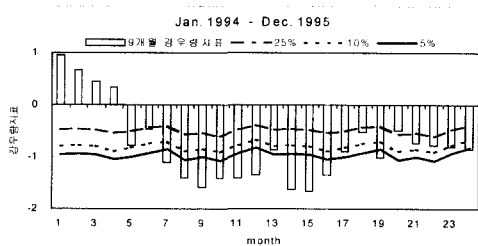


(b) '94-'95 가뭄의 검토

그림 17. 6개월 강우량지표를 이용한 주योग뭄의 검토

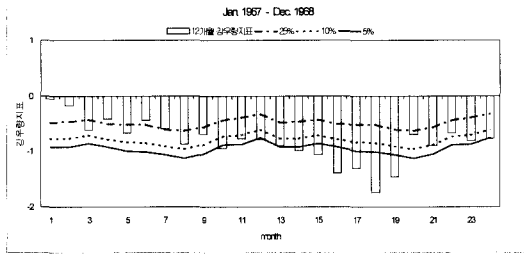


(a) '67-'68 가뭄의 검토

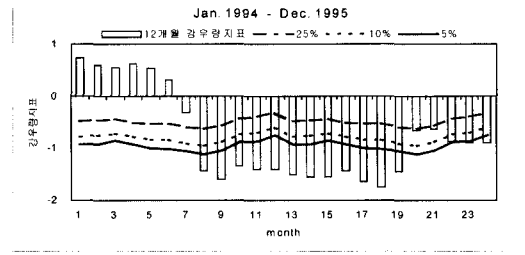


(b) '94-'95 가뭄의 검토

그림 18. 9개월 강우량지표를 이용한 주योग뭄의 검토

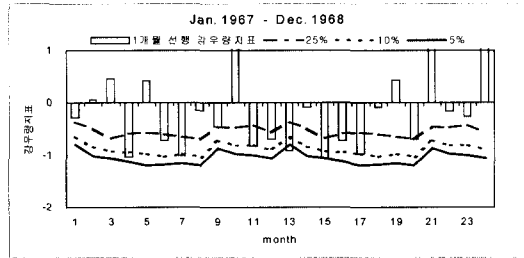


(a) '67-'68 가뭄의 검토

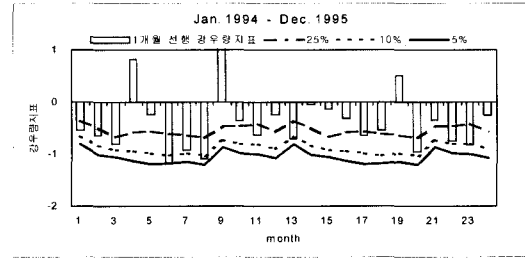


(b) '94-'95 가뭄의 검토

그림 19. 12개월 강수량지표를 이용한 주기가뭄의 검토

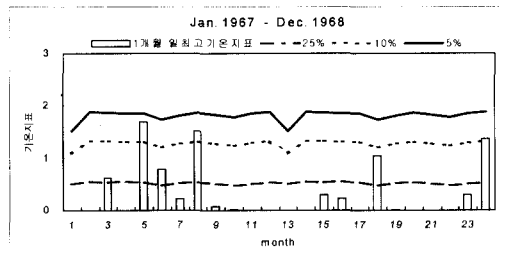


(a) '67-'68 가뭄의 검토

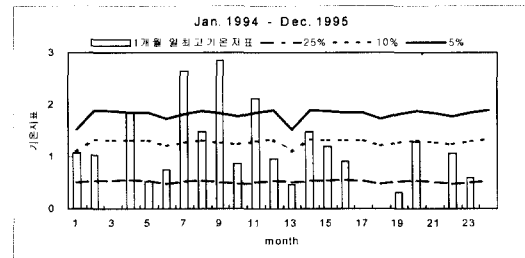


(b) '94-'95 가뭄의 검토

그림 20. 1개월 선행 강수량지표를 이용한 주기가뭄의 검토

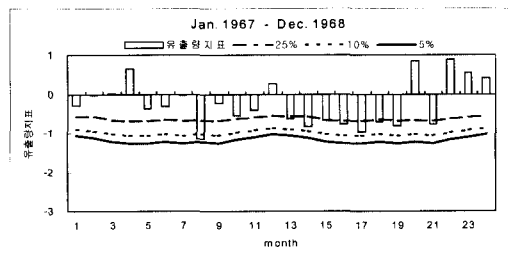


(a) '67-'68 가뭄의 검토

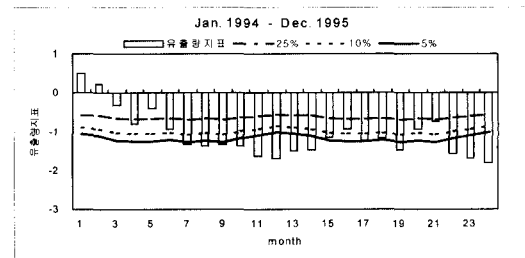


(b) '94-'95 가뭄의 검토

그림 21. 1개월 일최고기온지표를 이용한 주기가뭄의 검토

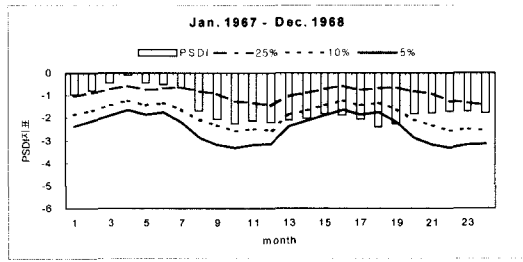


(a) '67-'68 가뭄의 검토

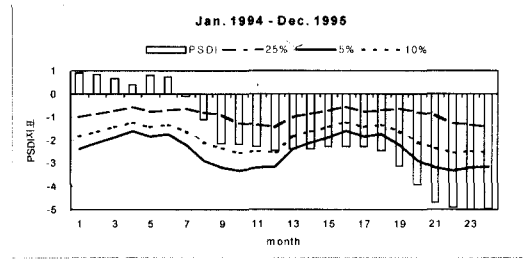


(b) '94-'95 가뭄의 검토

그림 22. 유출량지표를 이용한 주기가뭄의 검토



(a) '67-'68 가뭄의 검토



(b) '94-'95 가뭄의 검토

그림 23. PDSI지표를 이용한 주요가뭄의 검토

심각한 습윤·건조한 조건을 표현한다. 본 연구에서는 가뭄현상에 대해서만 관심이 때문에 양의 값을 갖는 막대 그래프에 대해서는 무시하였다. 또한 아래 그림에서의 긴 점선, 짧은 점선, 실선은 낙동강 지역의 가뭄감시를 위해 앞에서 산정한 가뭄지표들이며, 긴 점선은 비초과확률 25%인 가뭄주의보단계를 나타내고, 짧은 점선은 비초과확률 10%인 가뭄경보 단계를 나타내며, 실선은 비초과확률 5%인 비상가뭄 단계를 나타낸다. 막대그래프가 비초과확률 25%인 긴 점선을 지나면 가뭄주의보 상태를 나타내며, 긴 점선과 비초과확률 10%인 짧은 점선을 지나면 가뭄경보 상태를 나타내며, 긴 점선, 짧은 점선, 1초과확률 5%인 실선을 모두 지나면 비상가뭄 상태를 나타내게 된다.

우리 나라의 주요 가뭄인 '67-'68, '94-'95 가뭄의 지표들을 가뭄감시지표에 재현한 결과 그림 15.~23.에서와 같이 강수량, 일최고기온, 유출량, PDSI지표들 모두 '67-'68, '94-'95에 가뭄상태를 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 9개월, 12개월의 강수량지표와 PDSI지표, 3개월, 4개월 일최고기온, 유출량지표는 '94-'95 가뭄이 비상가뭄 상태임을 나타내고 있다. 또한 12개월의 강수량지표는 6개월, 9개월의 강수량지표보다 가뭄

현상이 늦게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다.

그림 15.~23.에서 보는 것처럼, '67-'68 가뭄의 경우 1, 3, 6개월의 강수량지표는 정상상태 및 가뭄주의보 상태를 대체적으로 표시하고 있으며, 9, 12개월의 강수량지표와 PDSI지표는 가뭄경보 및 비상가뭄상태를 표시하고 있다. '94-'95 가뭄의 경우에는 1개월의 강수량지표는 가뭄주의보 및 가뭄경보 상태를 나타내고, 3, 6, 9, 12개월의 강수량지표와 PDSI지표는 가뭄경보 및 비상가뭄상태 표시하고 있다. 또한 1, 3, 6개월의 강수량지표와 유출량지표가 PDSI지표와 9, 12개월의 강수량지표수보다 가뭄상태가 일찍 나타난다. 그러므로 짧은 기간의 가뭄상태를 감시하는 지표로는 6개월 미만의 강수량지표와 유출량지표가 적당하고, 장기간의 가뭄상태를 감시하는 지표로는 9개월 이상의 강수량지표 및 PDSI지표가 적절한 것으로 판단된다.

표 4.는 낙동강권역의 PDSI지표와 12개월 강수량지표가 동일한 가뭄단계를 표시하는지를 검토하기 위해 분석한 일치성 과 상관관계를 분석한 결과이다.

표 4. PDSI지표-12개월 강수량지표의 일치성 검토

PDSI지표 \ 12개월 강수량지표	Normal (1)	Watching (2)	Warning (3)	Emergency (4)
Normal (1)	227	36	6	17
Watching (2)	10	9	3	11
Warning (3)	10	0	3	8
Emergency (4)	2	2	1	15
C ₁	0.71			
C ₂	0.20			
Correlation	0.72			

표 5. 가뭄지표의 일치성 및 상관관계 분석

계열1	계열2	C1(%)	C2(%)	Correlation
PDSI	12 Mon Prec	70.6	20.3	0.72
PDSI	9 Mon Prec	67.0	13.1	0.67
PDSI	6 Mon Prec	61.4	10.9	0.56
PDSI	3 Mon Prec	62.8	9.5	0.40
PDSI	1 Mon Prec	56.7	4.3	0.23
PDSI	선행 1 Mon Prec	55.6	4.2	0.02
PDSI	유출	70.3	9.3	0.38
PDSI	1 Mon Temp	63.3	5.0	-0.23
PDSI	2 Mon Temp	63.1	8.9	-0.30
PDSI	3 Mon Temp	65.9	8.9	-0.33
PDSI	4 Mon Temp	67.0	7.0	-0.38
유출	12 Mon Prec	65.5	11.5	0.43
유출	9 Mon Prec	68.2	16.3	0.53
유출	6 Mon Prec	66.9	17.0	0.58
유출	3 Mon Prec	63.3	5.8	0.66
유출	1 Mon Prec	66.0	15.4	0.63
유출	선행 1 Mon Prec	58.5	5.7	- 0.1
유출	1 Mon Temp	62.2	11.7	-0.26
유출	2 Mon Temp	61.3	13.7	-0.24
유출	3 Mon Temp	62.2	10.5	-0.26
유출	4 Mon Temp	66.3	16.6	-0.26

일치성은 두 개의 서로 다른 지표로 표시되는데, C₁은 두 시계열이 같은 가뭄심도를 나타내는 백분율이다. 이것은 두 시계열이 정상상태 일 때를 나타내는 (1,1)의 “227”이 가장 영향을 많이 주게 된다. 그리고 C₂는 이런 정상상태를 제거하고 가뭄상태에서의 일치성을 평가하기 위함이며, 두 시계열이 정상상태를 제외한 일치되는 가뭄심도 개수의 백분율을 나타낸다.

4.4 결과분석

본 연구에서는 비교적 넓은 지역의 가뭄감시를 위한 가뭄지표 산정을 위해 낙동강권역을 대상으로 하여 가뭄감시지표를 산정하였으며, 우리 나라의 주요가뭄인 '67-'68, '94-'95 가뭄의 가뭄지표를 재현하고, 가뭄단계의 일치성과 상관관계 분석을 통하여 산정된 가뭄감시지표의 활용성을 검토하였다. 먼저 '우리 나라 주요가뭄인 67-'68, '94-'95의 가뭄지표를 재현한 결과, 산정된 가뭄감시지표들이 두 가뭄상황을 잘 표현하고 있는 것으로 판단된다. 유출량지표와 지속기간 6개월 미만의

강우량지표가 PDSI지표와 지속기간 9개월 이상의 강우량지표보다 가뭄상태가 일찍 발생하고 있다. 그러므로 유출량지표와 6개월 미만의 강우량지표는 비교적 짧은 기간의 가뭄감시를 위한 지표로 적당하고, PDSI지표와 지속기간 9개월 이상의 강우량지표는 비교적 장기간의 가뭄감시를 위한 지표로 적절한 것으로 판단된다.

둘째로 가뭄지표들의 일치성과 상관관계를 분석하였다. 표 5.는 각 가뭄지수들 간의 일치성과 상관관계를 분석한 결과이며, 일최고기온지표와 다른 지표들간의 상관관계는 음의 값을 나타내고 있는데, 이것은 다른 지표와 반대로 일최고기온지표는 증발산에 관계되며, 기온이 높을수록 증발산에 많은 영향을 미치므로 다른 지표들과는 반대로 초과확률 25%, 10%, 5%에 대해 가뭄주의보, 가뭄경보, 비상가뭄 상태를 나타내기 때문이다. PDSI지표와 12개월 강우량지표는 가장 높은 일치성을 보이고 있으며, 또한 상관계수도 가장 높게 나타나고 있다. 그렇지만 PDSI와 유출량지표 간의 일치성은 상당히 높게 나타나고 있으나 상관관계는 낮게 나

타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 가뭄감시지표를 선정함에 있어 어느 한쪽의 분석만으로는 적절하지 못하다는 것을 보여준다. 그러므로 낙동강권역의 가뭄감시 지표로는 일치성이 높으면서 상관관계가 양호한 9개월 12개월의 강수량 지표와 PDSI지표가 가뭄감시를 위해 적절할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후과제

본 연구는 비교적 넓은 지역의 수자원 계획 및 가뭄 관리를 위해 활용할 수 있는 가뭄지표 산정을 목적으로 하고 있으며, 낙동강 권역의 4개의 기상관측소, 31개의 강우관측소, 2개의 수위관측소를 대상으로 하여 가뭄지표를 선정 하였다. 또한 강우, 유출, 일 최고기온, Palmer 가뭄지수의 시계열 자료를 이용하여 산정한 가뭄지표의 비초과확률 25%, 10%, 5%에 대해 가뭄주의보, 가뭄경보, 비상가뭄의 3단계로 가뭄의 단계를 구분 하였으며, 이것을 이용하여 가뭄단계의 일치성을 검토 하였다. 본 연구에서는 낙동강 권역 전체가 기후학적 동질성을 가지고 있다는 가정을 전제로 하여 낙동강 권역의 가뭄감시지표를 선정 하였으며, 이것은 낙동강 권역의 가뭄관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 산정된 가뭄지표들이 낙동강권역의 가뭄감시를 위한 가뭄지표로 활용할 수 있는지를 판단하기 위해, '67-'68, '94-'95년 가뭄의 가뭄지표들을 재현하고, 가뭄단계의 일치성과 상관관계를 분석하였다. 그 결과 9개월, 12개월 강수량지표와 PDSI지표가 최대의 일치성과 상관관계를 나타내었다.
- (2) 낙동강권역에서는 짧은 기간의 가뭄상태를 감시하는 지표로는 6개월 미만의 강수량지표와 유출지표가 적당하고, 장기간의 가뭄상태를 감시하는 지표로는 9개월 이상의 강우지표 및 PDSI 지표가 적당한 것으로 판단된다.

본 연구에서 산정한 가뭄감시지표는 유역단위의 가뭄감시시스템 구축을 위한 하나의 지표로 제시되는 것이며, 이것 이외에도 가뭄을 정량화 할 수 있는 보다 정확한 가뭄지수 산정을 위한 연구가 계속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 기상연구소 (1993). 우리 나라 가뭄에 관한 연구 - 강수량 변동에 관한 기후학적 특성 연구.
- 김상민 (1999). 우리 나라 주요지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교. 석사학위논문, 서울대학교.
- 김선주 (1995). "관개용 저수지의 한발지수산정." 농공학회지, 제37권 제6호, pp.1103-111.
- 임경진 (2001). 다양한시계열을 이용한 가뭄지표 산정. 석사학위논문, 인하대학교.
- 유원희 (2000). 유출량 계열을 이용한 가뭄 지수 산정. 석사학위논문, 인하대학교.
- 윤용남, 안재현, 이동률 (1997). "Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석." 한국수자원학회논문집, 제30권 제4호, pp.317-326.
- 조홍제 (1996). "도시지역 용수관리를 위한 가뭄 예경보지수에 관한 연구." 한국수자원학회논문집, 제29권 제1호, pp.221-233.
- Guttman, N.B. (1998). "Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index." J. of the American Water Resources Association, Vol.34, No.1, pp.113-121.
- Rao, A.R., and Voeller, T.L. (1997). "Development and testing of drought indicators." Water Resources Management, Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, 1997. 11. pp. 119-136.
- (논문번호:01-021/접수:2001.03.08/심사완료:2001.11.09)