

가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구
A Comparative Study on the Drought Indices
for Drought Evaluation

류재희* / 이동률** / 안재현*** / 윤용남****

Ryu, Jae Hea / Lee, Dong Ryul / Ahn, Jae Hyun / Yoon, Yong Nam

Abstract

In order to quantitatively identify historical drought conditions and to evaluate their variability, drought indices commonly used. The calculation method for the drought index based on the principal hydrological factors, such as precipitation and reservoir storage, can estimate the duration and intensity of a drought. In this study the Palmer-type formula for drought index is derived for the Nakdong River basin by analyzing the monthly rainfall and meteorological data at 21 stations. The Palmer Drought Severity Index(PDSI) is used for dry land sectors to evaluate the meteorological anomaly in terms of an index which permits time and space comparisons of drought severity. The Surface Water Supply Index(SWSI) is devised for the use in conjunction with the Palmer index to provide an objective indicator of water supply conditions in Nakdong River basin. The SWSI was designed to quantify surface water supply capability of a watershed which depends on river and reservoir water. The Standardized Precipitation Index(SPI) is evaluated for various time periods of 1 to 12 months in Nakdong River basin. For the purpose of comparison between drought indices correlation coefficient was calculated between indices and appropriate SPI time period was selected as 10 months for Nakdong River basin. A comparative study is made to evaluate the relative severity of the significant droughts occurred in Nakdong River basin since 1976. It turned out that '94~'97 drought was the worst drought in it's severity. It is found that drought indices are very useful tools in quantitatively evaluating the severity of a drought over a river basin.

keywords : drought, drought index, PDSI, SWSI, SPI, Nakdong River basin

* (주)새길엔지니어링 수자원부 과장
Manager, Water Resource Team, Saegil Engineering Co., Seoul 138-828, Korea
(E-mail : hydroryu@hanmail.net)
** 한국건설기술연구원 수자원환경부 수석연구원
Chief Researcher, Division of Water Resources and Environmental Eng., Korea
*** 서경대학교 토목공학과 전임강사
Full-time lecturer, Dept. of Civil Eng., Seogyong Univ., Seoul 136-704, Korea
**** 고려대학교 토목환경공학과 교수
Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

요 지

본 연구에서는 자연재해의 하나인 가뭄을 정량적인 방법으로 해석하기 위하여 가뭄에 영향을 미칠 수 있는 각 수문인자를 수치화하고, 이를 이용하여 증발산과 누가강수량의 편차를 산정해서 가뭄을 정량화하는 PDSI와 유역 단위의 지수를 산정하는 SWSI 및 다양한 지속기간별 지수를 산정하는 SPI를 이용해서 대상 유역인 낙동강 유역의 가뭄지수를 산정 및 비교하였으며, 가뭄대책에 대한 기본 정보를 제공하고자 하였다. 이를 통해, PDSI의 경우 지속되는 가뭄기간동안의 변화를 살펴보니 유리하고, SWSI는 가뭄이 시작되는 몇 개월에 해당하는 가뭄을 판단하거나 단기간 수문인자의 변동을 통한 가뭄을 판단하는데 이용될 수 있으며, SPI는 그 지속기간이 짧은 경우 단기간의 가뭄을, 지속기간이 길어지면 장기간의 가뭄을 나타내는데 유리할 것으로 분석되었다. 또한, SWSI와 PDSI 및 SPI를 이용하여 과거 가뭄을 살펴본 결과 '94~'97년간 지속된 가뭄이 과거 가뭄사상 중 가장 극심하며 긴 가뭄기간을 지닌 것으로 판단되었으며, SWSI를 통해 기존에 파악되지 못했던 수문학적 가뭄이 1992년에 발생했음을 알 수 있었다. 이상의 분석을 통하여 볼 때 SWSI와 PDSI 및 SPI는 가뭄을 정량적으로 나타내는데 아주 유효한 방법이며, 각각의 지수가 가지는 장·단점에 따라 가뭄을 파악할 경우 효과적일 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 가뭄, 가뭄지수, Palmer 가뭄지수, 표면수공급지수, 표준강수지수, 낙동강 유역

1. 서 론

일반적으로 가뭄이 들었다고 표현할 때에는 단순히 장기간의 강수량 부족으로 가용수자원이 부족해진 경우를 말하며, 가뭄을 장기간의 물부족 상태로 정의할 수 있다. 그러나, 이러한 가뭄에 대한 정의는 학문적 관점이나 가뭄이 미치는 영향에 따라 여러 가지 기준과 용어로 다르게 정의될 수 있다. 예를 들어, 실생활과 직접 연관되는 용수수요량에 공급량의 부족을 말하는 수문학적 가뭄을 대상으로 한다면 가뭄은 “이용 가능한 수자원이 어떤 지역에서 유의할 만한 기간동안 비정상적으로 적은 상태(Salas, 1985)”라고 정의할 수 있다. 그러나 이러한 개념에도 비정상적으로 적은 정도 및 지역의 범위와 유의할 만한 기간에 대한 해석은 달라질 수 있을 것이다.

따라서, 일반적인 가뭄의 정의는 기상학적 가뭄, 기후학적 가뭄, 농업가뭄, 수문학적 가뭄 등으로 구분해서 실시하게 된다(Wilhite and Glantz, 1985). 기상학적 가뭄은 주어진 기간 동안의 강수량이나 무강수 계속일 수 등으로 가뭄의 정도를 평가하는 것이며, 기후학적 가뭄은 월별 또는 연별 평균값과 당해연도의 월별 또는 연별 강수량과의 백분율로 가뭄을 정의하게 된다. 또한 농업가뭄은 농작물의 생육에 직접 관계되는 토양수분량으로 가뭄을 평가하며, 수문학적 가뭄은 강수의 부족으로 발생하는 하천, 저수지, 지하수 등 부족으로 가뭄을 정의한다.

그러나, 이러한 가뭄은 개별적이거나 독립적으로 발

생하는 것이 아니며 수문순환에서 나타나는 상관관계에 기초하고 있는 현상이다. 예를 들면, 기상학적인 가뭄이 오래 지속되면 토양수분을 고갈시켜 농업가뭄이 유발되며 하천이나 저수지의 수량이 감소되어 수문학적 가뭄으로 이어지게 된다. 따라서 가뭄현상은 강수뿐만 아니라 용수수요, 그리고 하천이나 댐의 상황이 함께 고려되어 다루어져야 하며, 그 실태를 정확하게 이해하기 위해서는 과거에 발생한 가뭄의 기간 및 크기를 정량화하고 대상 가뭄지역의 특성에 대한 분석이 이루어져야 한다.

가뭄은 짧게는 한 계절에서 1년, 길게는 수년동안 지속되는 시간특성을 가지면서 그 시작과 끝을 명확하게 정의하기가 힘들고, 지속적으로 누적된 효과가 천천히 나타나기 때문에 가뭄이 한창 진행된 뒤에야 가뭄을 인식하게 되어 그 피해가 커지는 특성을 가지고 있다. 따라서 이러한 특성을 이해하고 가뭄의 예측 및 극복을 위해서는 정확한 가뭄의 원인분석과 가뭄심도의 정량화가 필요할 것이다. 이러한 가뭄의 관리를 위해서 가장 필요한 요소는 가뭄상황을 시·공간적으로 나타내는 것이다. 즉, 시간적인 가뭄의 발생과 공간적인 가뭄의 분포를 파악하는 것이 가뭄관리를 위한 첫 번째 요소인 것이며, 이와 같은 분석은 가뭄을 정량화하여 지수로 나타내는 가뭄지수를 이용하여 수행할 수 있을 것이다.

현재 가뭄의 평가를 위해 전 세계에서 일반적으로 사용되는 가뭄지수들은 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SWSI(Surface Water Supply System) 및 SPI(Standardized Precipitation In-

dex) 등이 있다. 이러한 가뭄지수들은 가뭄에 기여하는 여러 인자들인 강우, 강설, 하천유량 그리고 불공급 지표 등을 지수화 하여 표현한 것으로, 어떤 지수가 가장 적절한 지수라고 말하기는 곤란하므로 각각의 지수가 가지는 장단점을 파악한 후 그 특성에 따라 적용되어야 하며, 지금까지는 대부분 개별적인 가뭄지수의 산정만 이루어져 온 것이 사실이다(최영진 등, 1994; 김선주 등, 1995; 윤용남 등, 1997; 김선주 등, 1998; 이동률, 1998; 김상민 등, 1999).

본 연구에서는 가뭄의 조기경보 및 예측차원에서 기존 지수들의 비교 연구를 통하여 국내 수문학적 환경에 적용할 수 있는 가뭄지수를 제시하고자 하였으며, 이를 위해 위에서 언급한 PDSI, SWSI 및 SPI를 낙동강 유역에 적용하여 그 적용성을 평가하고자 하였다. 이러한 목적을 위해 기상학적 가뭄지수인 PDSI의 지역적 오차를 제거하여 적용하였으며, 수문학적 가뭄지수인 SWSI를 국내 실정에 맞게 수정하여 적용하였고, 강수의 이동 평균법으로 산정되는 SPI를 이용하여 가뭄분석을 실시하였다. 이를 통해 가뭄의 시·공간적 특성과 각 가뭄지수간의 상관성을 분석하였으며, 각종 지수의 특성에 따른 적절한 가뭄지수의 적용 방안을 제시하고자 하였다.

2. 가뭄지수 산정방법

2.1 PDSI(Palmer Drought Severity Index)

Palmer(1965)는 가뭄(drought)을 “장기간의 이상 습윤부족”이라 정의하였으며, 이상습윤부족은 “정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤부족 기간”이라 정의된다. 이는 일반적으로 사소한 불편이나 교통 등을 발생시키는 수분부족이 아니라, 수분의 부족이 심하여 인명 또는 재산의 손실을 야기하는 현상으로써, 최소한 2-3개월에서 일반적으로 1년 이상 장기간의 수분부족이 지속되는 것을 의미한다.

이러한 가뭄의 정의를 통해 Palmer는 가뭄의 심도를 수분부족량과 수분부족기간의 함수로 나타내었는데, 통계적으로 시간과 공간의 일관된 비교를 통해 얻어지는 가뭄지수의 개발을 위해 기후적으로 상이한 두 지역인 미국의 Kansas와 Iowa 지역을 대상으로 하였다. 강수량이 매우 적고 건조한 기후를 가진 Kansas는 연 강수량의 70%가 여름에 발생하는 지역이며, 습한 기후를 가진 Iowa는 연 강수량의 65% 정도가 여름에 집중되는 지역이다. 이와 같이 서로 상이한 기후 특성을 가진 두 지역에서는 Kansas의 보통 기후가 Iowa에서는 이상건조기후로 받아들여져서 가뭄으로 느껴질 수 있으며, 반면에 Kansas에 내리는 1인치의 비는 Iowa에 내리는 1인치의 비보다 훨씬 중요한 의미를 가지게 된다.

PDSI(Palmer Drought Severity Index)는 이러한 두 지역 및 그의 미국내의 여러 지역에서의 강수량, 기온 및 일조시간 등의 자료를 사용해서 Thornthwaite와 Mather(1955)의 월열지수법(monthly heat index method)으로 잠재증발산량을 추정한 후, 대상 지역의 실제 강수량과 기후학적으로 필요한 강수량의 차에 대한 계산을 통해 얻어지게 된다. 이와 같은 방법을 통해 유도된 대상 지역의 PDSI는 식 (1)과 같으며, Palmer(1965)는 식 (1)로 계산되는 가뭄지수(X)에 따른 습윤기와 건조기의 범위를 표 1과 같이 정의하였다.

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

여기서, X는 가뭄지수, Z는 수분이상지수, i는 해당 월을 의미한다.

2.2 SWSI(Surface Water Supply Index)

SWSI(Surface Water Supply Index)는 PDSI의 광범위한 토양수분조건을 지형적으로 변화가 심한 산악

표 1. PDSI에 따른 습윤기와 건조기의 범위

가 뭄 지 수	수 분 상 태	가 뭄 지 수	수 분 상 태
-0.5~ 0.5	Near normal	4.0 이상	Extremely wet
-1.0~-0.5	Incipient drought	3.0 ~ 4.0	Very wet
-2.0~-1.0	Mild drought	2.0 ~ 3.0	Moderately wet
-3.0~-2.0	Moderate drought	1.0 ~ 2.0	Slightly wet
-4.0~-3.0	Severe drought	0.5 ~ 1.0	Incipient wet spell
-4.0 이하	Extreme drought	-0.5~ 0.5	Near normal

지역의 용설에 적용하는데 따르는 한계를 보완하는 과정에서 제안된 지수로서, Shafer & Dezman(1982)에 의해 개발되어 미국 콜로라도 유역에 최초로 적용되었으며, Garen(1993)에 의해 미국 서부지역에 적용된 바 있다. 이 지수는 가뭄에 영향을 미치는 표면유출인자(강수, 적설, 하천유출, 저수지 저수량)로 구성되어 있으며, 각 인자를 통계학적으로 해석하고 인자의 유역 기여도를 가중치로 사용함으로써 유역을 대표하는 하나의 지수를 얻게 된다.

SWSI를 산정하기 위해서는 가뭄에 영향을 미치는 수문인자를 결정하고 결정된 각종 수문인자들을 통계학적으로 분석하여야 하며, Shafer & Dezman(1982)은 각종 수문인자에 확률의 개념을 추가하여 수문인들의 비교 및 조합이 가능하도록 하였다. 즉, 유역의 각 수문인자를 각 월별로 시계열을 구성한 뒤 각 월별 시계열을 정규화(normalizing)함으로써 확률밀도함수를 구하고 이로부터 얻어진 누가확률분포함수로부터 비초과확률을 산정하였다. 이렇게 산정된 각종 수문인자의 비초과확률과 가중계수로부터 SWSI는 다음과 같은 식에 의해 산정된다.

$SWSI =$

$$\frac{a \times PN_{SP} + b \times PN_{PCP} + c \times PN_{SF} + d \times PN_{RS} - 50}{12} \quad (2)$$

여기서, PN은 비초과확률, a, b, c, d는 각 수문인자의 가중계수(a+b+c+d=1), SP는 적설 인자(snowpack component), PCP는 강수 인자(precipitation component), SF는 하천유출 인자(streamflow component), RS는 저류량 인자(reservoir component)이다.

Shafer & Dezman(1982)은 식 (2)를 콜로라도 유역에 적용함에 있어 겨울에는 적설 인자와 유출 인자 중 적설 인자만을 고려하여 사용하고 여름철의 경우에는 적설 인자를 유출 인자로 대체하여 사용하였다. 또

한, 저수지가 없는 지역의 경우 저류량 인자를 제외하여 가뭄지수를 산정하였으며 가중계수는 겨울철과 여름철의 각 수문인자의 유역에 대한 기여를 재산정하여 사용하였다. 이것은 각 수문인자가 유역에 용수공급 능력에 미치는 영향이 계절에 따라 변함을 의미한다. 표 2는 SWSI에 의한 습윤기와 건조기의 범위를 나타낸 것이다.

2.3 SPI(Standardized Precipitation Index)

McKee 등(1993, 1995)은 가뭄은 상대적으로 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 것에 착안하여 SPI(Standardized Precipitation Index)를 개발하였다. 즉, 강수량이 부족하면 용수 공급원인 지하수량, 적설량, 저수지 저류량, 토양 함유 수분, 하천 유출량 등에 각기 다른 영향을 미친다는 것으로부터 표준강수지수를 개발한 것이다. SPI는 특정한 시간에 대한 계산 시간단위를 3, 6, 9, 12개월 등과 같이 설정하고, 시간단위별로 강수 부족량을 산정하여 개개의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 방법이다. 이렇게 특정 시간단위로 산정된 SPI는 각 시간단위에 따라 여러 관심에 따른 분야에 사용될 수 있다. 예를 들면, 단기간의 시간축척은 농업적 관심에 사용될 수 있으며, 비교적 장기간의 시간축척은 수자원공급관리 등에 사용될 수 있다.

SPI를 산정하기 위해서는 우선 시간단위별 누가강수 시계열을 구성하여야 하며, 이는 이동누가에 의한 방법으로 월 강수량을 시간단위에 따라 연속적으로 중첩하여 구한다. 즉, 각 월을 기준으로 하여 시간단위별로 해당하는 누가강수 시계열을 산정하게 되며, 이를 누가된 월수로 나누어 고려해준 월에 따른 이동 평균 강수계열을 획득하면 된다.

지속시간별 시계열이 구성되면 이 시계열을 월별로 분석하여 적정 확률분포형을 산정하고 산정된 적정 확률분포형을 이용하여 개개 변량의 누가확률을 산정한 후, 표준 정규 분포에 적용시켜 표준강수지수를 산정하

표 2. SWSI에 따른 습윤기와 건조기의 범위

가뭄지수의 범위	수분 상태	가뭄지수의 범위	수분 상태
3.0 ~ 4.0	Extremely Wet	-1.0 ~ 1.0	Near Average
2.0 ~ 3.0	Moderately Wet	-2.0 ~ -1.0	Slightly Dry
1.0 ~ 2.0	Slightly Wet	-3.0 ~ -2.0	Moderately Dry
-1.0 ~ 1.0	Near Average	-4.0 ~ -3.0	Extremely Dry

표 3. SPI에 의한 가뭄의 분류

가뭄지수의 범위	수분 상태	가뭄지수의 범위	수분 상태
2.00 이상	Extremely Wet	-0.99 ~ 0.99	Near Normal
1.50 ~ 1.99	Very Wet	-1.00 ~ -1.49	Moderately Dry
1.00 ~ 1.49	Moderately Wet	-1.50 ~ -1.99	Severe Dry
-0.99 ~ 0.99	Near Normal	-2.00 이하	Extremely Dry

계 된다. 예를 들면, 적정 확률 분포에 해당하는 누가확률을 P1이라고 하면 표준 정규분포의 누가확률 P2가 P1과 같게 되는 Z값을 구하게 된다. 이 값이 바로 표준강수지수가 된다. 표준강수지수는 이론적으로 한계값이 없으며, 값 자체에 발생 빈도의 개념을 내포하고 있다. 따라서 사용되는 관측 자료의 크기에 따라 하한치 및 상한치 확률 조건을 줌으로서 임의의 변량에 해당하는 확률이 하한치 및 상한치 확률보다 작거나 클 경우 그 값은 하한치 및 상한치 확률 값에 해당하는 표준강수지수로 산정된다. McKee 등(1995)은 표준강수지수의 결과로부터 얻은 가뭄 심도를 정의하기 위하여 표 3과 같은 분류체계를 이용하였다.

3. 낙동강 유역 가뭄지수의 산정

3.1 PDSI의 적용

Palmer가 개발한 가뭄지수 산정공식 등은 모두 미국지역의 기후특성에 맞추어 만들어진 것으로 기후 및 지역적 특성이 다른 국내의 경우 국내 특성에 맞는 공식을 다시 유도해야 한다. 이를 위해 표 4에 나타낸 낙동강 유역내 21개 기상청 산하 관측소의 기상자료를 이용하여 Palmer의 방법에 따라 수분수지분석을 실시한 후 각각의 필요한 계수들과 대상유역의 특성에 맞는 가뭄지수 산정공식을 결정하였다.

낙동강 유역의 관측점별 자료를 이용하여 PDSI를 산정하는 방법은 자료계열의 구성방법에 따라 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 관측소별 자료(강수량, 기온)를 티센가중치를 이용하여 유역평균 자료계열을 만든 후 이를 이용하여 가뭄지수를 산정하는 방법(method 1)이며 둘째는 각 관측소별 자료계열을 이용하여 각 관측소별 가뭄지수를 산정한 뒤 여기에 티센가중치를 주어 유역을 대표하는 가뭄지수를 산정하는 방법(method 2)이다.

3.1.1 유역평균 자료계열을 이용한 PDSI 산정 (method 1)

유역의 지점 강수량과 기온자료 계열(월별)에 티센가중치를 적용하여 유역평균 자료계열을 구축한 뒤 이를 이용하여 Thornthwaite와 Mather(1955)의 월열지수 법으로 잠재증발산을 산정한 후, 수분수지 분석을 실시하였다. Palmer(1965)는 Kansas와 Iowa에서 개발된 가뭄산정 공식을 지역적 특성이 다른 기타 다른 지역에 적용함에 있어 기후적 특성 등의 차이에 의한 비교를 가능하게 하기 위하여 초기 기후특성인자를 조정하여 기후특성인자를 재산정하고 이를 통해 지역적인 특성(공간적)에 의한 편차를 제거함으로써 지역적인 가뭄지수의 비교를 가능하게 하려고 시도하였다. 하지만 본 연구의 대상 유역은 낙동강 단일 유역이며 유역평균 자료계열을 통해 가뭄지수 산정공식을 유도하기 때문에 Palmer의 방법에서처럼 기후특성인자를 재조정할 필요가 없으며 기후특성인자를 단지 시간적인 의미인 월별 특성치를 나타내는 인자로서만 산정하면 된다. 즉, 초기 기후특성인자를 유역의 기후특성인자로 사용하여도 무방하다.

따라서, 초기기후특성인자를 이용하여 월별 이상습윤지수(Z)를 산정하고, 가뭄지수 산정공식을 유도하기 위하여 그림 1과 같이 가뭄지수기간별 최대 이상습윤지수를 이용하여 회귀직선을 구하고 4개의 구간을 나누었다. 그림 1의 실선으로 표시된 X=-4.0의 선에서 t=1개월 일 때 $\Sigma Z = -245.70$ 이고 t=24개월일 때 $\Sigma Z = -871.02$ 임을 이용해서, i번째 달의 가뭄심도 X(i)를 구하는 공식을 식 (3)과 같이 유도할 수 있으며, 식 (3)을 Palmer의 방법을 따라 가뭄지수 산정공식으로 변형하면 식 (4)와 같아진다. 식 (4)를 이용해서 낙동강 유역의 월별 PDSI를 산정해서 도시하면 그림 2와 같다.

$$X_i = \sum_{j=1}^i \frac{Z_j}{(54.842 + 6.581j)} \quad (3)$$

$$X_i = 0.889X_{i-1} + \frac{Z_i}{61.423} \quad (4)$$

3.1.2 관측소별 PDSI를 이용한 유역의 PDSI 산정 (method 2)

낙동강 유역의 관측소별 자료를 이용해서 Palmer의 방법에 따라 수분수지 분석을 실시하고 각종 계수를 산정하였다. 기후특성인자는 지역적인 특성과 기후적인 편차를 단일 가뭄산정 공식에 적용함에 있어 비교 가능하게 하기 위한 인자이지만 다양한 지역의 지역적인 특성에서 일관된 회귀식을 유도하기가 까다로우며, 관측소가 많아지면 회귀식을 유도하는 것이 어렵고 회귀식을 얻더라도 그 결과에 상당한 오차를 누적하는 과정에 불과하게 될 것이다. 즉, 각 지역의 특성을 회귀식을 통해 모두 설명하는 것은 많은 오차를 유발한다. 따라서 본 연구에서는 각 관측소별로 가뭄지수 산정공식을 개별적으로 산정함으로써 기후특성인자를 산정하는 절차를 제거하고 여기로부터 파생되는 오차를 줄임으로써 보다 안정적인 가뭄지수를 산정하고자 하였다. 이는 각 관측소별 과거 자료를 통한 지역적인 특성을 반영하는 것으로 개별적인 가뭄지수 산정공식이 곧 지역적 특성을 반영하는 것이 되는 것이다. 표 4는 낙동강 유역의 관측소별 가뭄지수 산정공식을 나타낸 것이며, 그림 3은 표 4에서 산정된 관측소별 가뭄지수 산정공식을 이용하여 관측소별로 PDSI를 산정한 뒤 관측소별 티센가중치를 이용하여 유역평균 PDSI를 산정한 결과이다.

3.2 SWSI의 적용

3.2.1 SWSI 산정을 위한 강수 자료계열 분석

낙동강 유역의 강수 자료계열은 앞에서 언급된 21개

관측소의 각 강수 자료계열에 티센가중치를 주어 유역을 대표하는 강수 자료계열을 구성하였으며 관측소의 관측 개시년이 같은 자료를 이용하기 위하여 '73년 이후의 관측자료만을 이용하였다. 또한, 강수 자료계열을 월별로 분리한 뒤 월별 강수 시계열의 확률분포형을 결정하여야 하며, 본 연구에서는 월별 강수 시계열을 정규분포에 적합시켜 해석하였다. 이는 식 (2)에 의하면 각종 수문인자의 확률분포형은 대칭형이어야 하기 때문이며, 우리나라의 경우 적설의 영향이 미미한 것으로 판단되어 적설자료의 적용은 제외하였다.

시계열을 정규분포에 적합시키기 위한 매개변수 추정에는 Moment법을 사용하였다. 이는 확률분포형이 대칭형인 경우 효율성 측면에서 최우도법과 같은 다른 매개변수 추정방법들이 Moment법보다 우수한 결과를 주는 것이 아니기 때문이다. 또한, 적합도 검정을 위해서는 K-S 검정을 적용하였으며, 각 월별 강수 자료계열의 이론적 확률분포형을 정규분포라고 가정한 것은 유의 수준 5% 및 1%에서 모두 만족함을 알 수 있었다. 따라서 각 월별로 설정된 확률분포형으로부터 누가 확률분포형을 산정하고 이로부터 월별로 비초과확률을 구하면 그림 4와 같다.

3.2.2 SWSI 산정을 위한 저류량 자료계열 분석

저류량 자료계열의 경우 유역내의 저수지 및 댐의 저류량을 분석하면 되지만 저수지의 경우 그 저류량 자료를 획득하기가 어려우며 댐의 경우도 자료가 기간별로 수위의 변동의 편차가 심한 경우가 있어 모든 저수

표 4. 낙동강 유역내 관측소별 가뭄지수 산정공식

지점번호	지점명	가뭄지수 산정공식	지점번호	지점명	가뭄지수 산정공식
130	울진	$X_i = 0.881X_{i-1} + Z_i/61.523$	272	영주	$X_i = 0.924X_{i-1} + Z_i/72.161$
135	추풍령	$X_i = 0.911X_{i-1} + Z_i/64.604$	273	문경	$X_i = 0.915X_{i-1} + Z_i/64.654$
138	포항	$X_i = -0.872X_{i-1} + Z_i/85.415$	277	영덕	$X_i = 0.825X_{i-1} + Z_i/62.611$
143	대구	$X_i = 0.864X_{i-1} + Z_i/81.398$	278	의성	$X_i = 0.910X_{i-1} + Z_i/96.565$
152	울산	$X_i = 0.834X_{i-1} + Z_i/54.076$	279	구미	$X_i = 0.936X_{i-1} + Z_i/84.088$
159	부산	$X_i = 0.847X_{i-1} + Z_i/61.838$	281	영천	$X_i = 0.886X_{i-1} + Z_i/80.156$
162	충무	$X_i = 0.859X_{i-1} + Z_i/73.317$	284	거창	$X_i = 0.899X_{i-1} + Z_i/60.430$
192	진주	$X_i = 0.864X_{i-1} + Z_i/64.932$	285	합천	$X_i = 0.840X_{i-1} + Z_i/56.932$
223	충주	$X_i = 0.906X_{i-1} + Z_i/55.668$	288	밀양	$X_i = 0.853X_{i-1} + Z_i/56.905$
226	보은	$X_i = 0.903X_{i-1} + Z_i/59.693$	289	산청	$X_i = 0.876X_{i-1} + Z_i/58.355$
247	남원	$X_i = 0.927X_{i-1} + Z_i/76.668$			

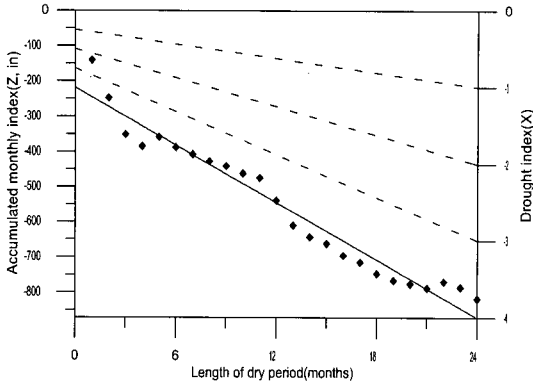


그림 1. 낙동강 유역의 최대 가뭄기간별 ΣZ

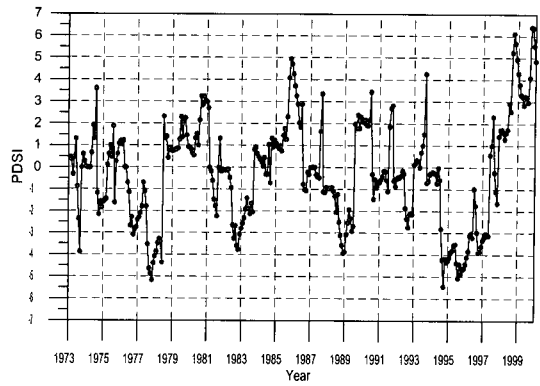


그림 2. 낙동강 유역의 PDSI(method 1)

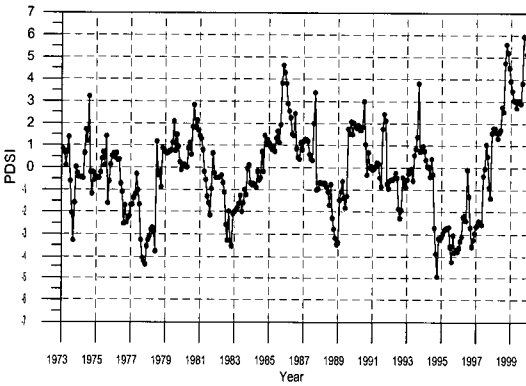


그림 3. 낙동강 유역의 PDSI(method 2)

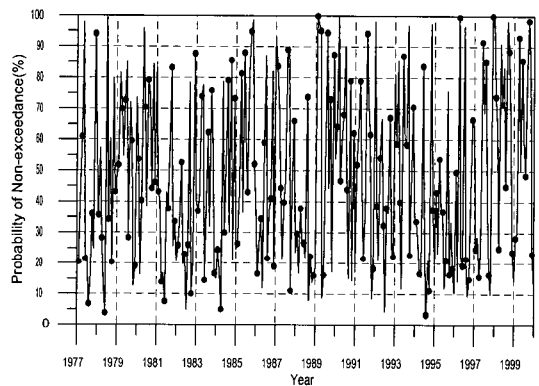


그림 4. 낙동강 유역 월 강수량의 비초과확률

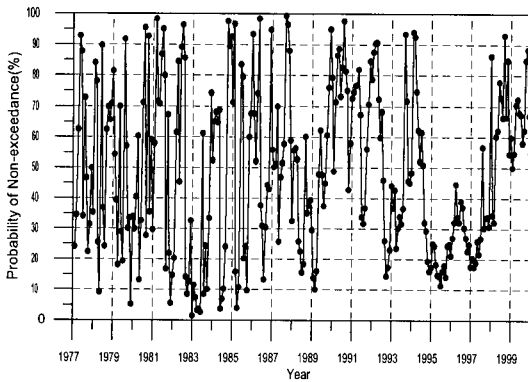


그림 5. 월 방류량 자료계열의 비초과확률

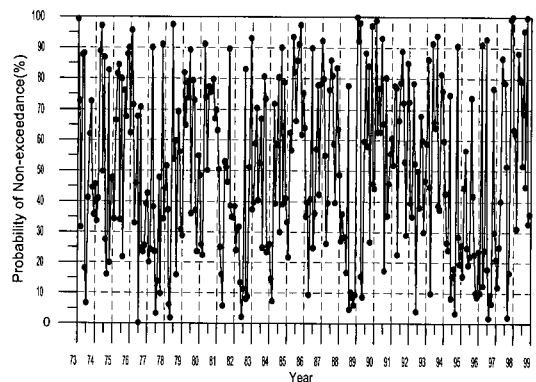


그림 6. 월 유출량 자료의 비초과확률

지 및 댐을 고려하는 것은 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 유역내의 3개의 다목적 댐(안동댐, 임하댐, 합천댐)의 저류량 자료를 유역을 대표하는 저류량 자료로 보고 이를 분석하여 이용하였다.

저류량 자료계열의 비초과확률을 산정하는데 있어서는 각 댐의 완공 시기가 다르며 이에 따른 동일기간의 저류량 시계열을 획득하기가 어렵고 댐에 의해 용수가 공급되는 지역도 단순히 강수량의 경우와 같이 지역적인 크기에 따라 가중치를 가할 수 없으므로 각 댐 저류량계열의 비초과확률을 개별적으로 산정한 뒤 각 댐에서 산정된 비초과확률을 각 댐의 연용수공급 총량을 가중치로 낙동강 유역을 대표하는 저류량 자료계열의 비초과확률을 산정하였다. 즉, 각 댐의 월별 자료계열을 분석하여 월별로 확률분포형을 결정하고 결정된 확률분포형에 따라 비초과확률을 구한 뒤 3개의 댐이 모두 운영되는 기간에는 각 댐의 연용수공급 총량을 가중치로 하여 저류량의 비초과확률을 재산정하고 그렇지 않은 기간에는 운영되고 있는 댐의 저류량 자료계열의 비초과확률을 전체 자료계열의 비초과확률로 인정하여 사용하였다. 이것을 나타내면 식 (5)와 같다.

$$PN_{RS} = \frac{DWS_{ad} \times PN_{ad} + DWS_{ih} \times PN_{ih} + DWS_{hc} \times PN_{hc}}{DWS_{ad} + DWS_{ih} + DWS_{hc}} \quad (5)$$

여기서, DWS는 연용수공급량이다.

저류량 자료계열도 강수 자료계열과 동일한 절차를 걸쳐 월별로 정규분포에 적합시키고 매개변수 산정은 Moment법을 이용하여 산정한 뒤 K-S 검정을 통해 가정한 확률분포의 적합도 검정을 실시하였으며 각 댐의 모든 월에 대해서 저류량 자료계열이 정규분포를 따르는 것으로 나타났다. 각 댐의 월별로 계산된 평균과 표준편차를 이용하여 확률분포식을 구하고, 확률분포식으로부터 비초과확률을 산정하였다.

3.2.3 SWSI 산정을 위한 유출 자료계열 분석

(방류량 이용)

유출 자료계열의 경우는 유역의 출구점이나 지천의 합류점에서의 유출량 자료를 분석하면 되지만 실측 자료가 미비한 상태이며 여러 가지 유출모델을 이용한 유출량의 추정은 유역의 매개변수를 산정과정 등에서 오차를 수반하며 모델에 따라 상이한 결과를 주므로 신뢰할 만한 자료계열을 획득하는데 어려움이 있다. 따라서 본 절에서는 선정된 각 댐에서의 방류량 자료계열을 본

유역의 하천 유출을 대표하는 것으로 가정하여 유출 자료분석 실시하였다. 이것은 하천 취수에 의한 용수공급은 댐에서 하천에 방류하는 양에 의해 영향을 받는다는 이유에 근거한 것이다.

방류량의 경우에도 저류량의 해석절차와 같은 방법으로 각 댐의 방류량 자료계열을 분석한 뒤 월별 비초과확률을 산정하고 각 댐의 연 용수공급량을 가중치로 하여 유역을 대표하는 비초과확률을 산정하였다. 또한, 각 댐의 방류량 자료계열을 월별로 분리한 뒤 Moment법으로 각 월의 매개변수를 추정하여 정규분포에 적합시킨 뒤 K-S 검정을 실시하여 적합성을 확인하였다. 이와 같은 과정에서 추정된 각 댐방류량의 매개변수를 이용하여 확률분포식을 결정하고 이를 이용하여 비초과확률을 구해서 연 용수공급 총량을 가중치로 주어 방류량 자료계열의 유역을 대표하는 비초과확률을 나타내면 그림 5와 같다.

3.2.4 SWSI 산정을 위한 유출 자료계열 분석 (Tank모형 이용)

앞 절에서 소개되었듯이 유역의 실측 유출 자료계열을 획득하는 것은 현실적인 어려움이 따르며 댐 방류량을 유역을 대표하는 유출 자료계열로 인정하는 것도 한계가 있다. 따라서 본 절에서는 유출 모형의 일종인 Tank 모형을 이용하여 산정된 유출자료(건설교통부, 1999)를 이용하여 유역의 유출 자료계열을 구성하여 분석하였다. 유출량 자료계열을 월별로 분리한 뒤 Moment법으로 각 월의 매개변수를 추정하여 정규분포에 적합시킨 뒤 적합도 검정인 K-S 검정을 실시한 결과 모든 월에서 적합도 검정을 통과하는 것을 볼 수 있다. 따라서 변환된 자료계열의 매개변수를 이용하여 확률분포식을 결정하고 이를 이용하여 비초과확률을 구하면 그림 6과 같다.

3.2.5 SWSI 산정을 위한 가중계수 결정 및 가뭄지수 산정

SWSI를 산정하기 위해서는 앞서서도 언급하였듯이 각종 수문인자가 유역에 미치는 가중치를 산정하여야 한다. 이 가중계수를 구하기 위해서는 각종 수문인자가 그 유역에 작용하는 잠재적인 모든 영향을 고려하여야 하며 이를 실제 정량적으로 측정하기 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 각 수문인자의 비초과확률을 획득한 후 각 수문인자의 가중계수를 변화시켜가며 가뭄지수를 산정한 뒤 적합도 검정의 한 방법인 K-S 검정을 이용하

표 5. 각종 수문인자의 월별 가중계수

월	Method 1				Method 2				Method 3		
	K-S 검정결과	강수량 (a)	저류량 (b)	유출량 (c)	K-S 검정결과	강수량 (a)	저류량 (b)	유출량 (c)	K-S 검정결과	강수량 (a)	저류량 (b)
1	0.0621	0.27	0.15	0.58	0.0835	0.14	0.86	0.00	0.0813	0.14	0.86
2	0.0624	0.29	0.29	0.42	0.0855	0.01	0.99	0.00	0.0790	0.01	0.99
3	0.0536	0.59	0.40	0.01	0.0559	0.51	0.41	0.08	0.0537	0.59	0.41
4	0.0531	0.01	0.64	0.35	0.0700	0.06	0.38	0.56	0.0920	0.29	0.71
5	0.0673	0.26	0.03	0.71	0.0651	0.01	0.79	0.20	0.0835	0.14	0.86
6	0.0453	0.23	0.40	0.37	0.0742	0.28	0.57	0.15	0.0762	0.55	0.45
7	0.0665	0.55	0.33	0.12	0.0821	0.44	0.15	0.41	0.0773	0.68	0.32
8	0.0693	0.55	0.43	0.02	0.0617	0.34	0.45	0.21	0.0702	0.53	0.47
9	0.0663	0.45	0.19	0.36	0.0864	0.46	0.54	0.00	0.0899	0.48	0.52
10	0.0864	0.50	0.43	0.07	0.0615	0.02	0.66	0.32	0.0910	0.32	0.68
11	0.0731	0.42	0.50	0.08	0.0659	0.01	0.39	0.60	0.0825	0.45	0.55
12	0.0445	0.26	0.40	0.34	0.0730	0.50	0.01	0.49	0.0882	0.32	0.68

여 최적화된 계수를 월별로 구하였다. 즉, 가능한 모든 가중계수의 조합으로 이루어진 가중지수를 산정한 뒤 각 가중계수의 조합으로 이루어진 가중지수를 정규분포에 적합시켜 가장 정규분포에 가까운 가중계수의 조합을 각종 수문인자의 가중계수로 결정하는 것이다. 이는 각종 수문인자의 비초과확률을 정규분포로 구하였고 이런 비초과확률의 선형적인 조합에 의해 가중지수가 산정되기 때문에 산정된 지수 또한 정규분포를 따를 것이라는 이유에 근거한 것으로 각종 수문인자의 비초과확률을 월별로 산정하였으므로 가중계수 또한 월별로 산정하여 적용하여야 한다.

표 5는 SWSI를 산정하기 위하여 3개의 수문인자(강수량(a), 저류량(b), 유출량(c))를 고려하였을 경우 중 유출량을 댐 방류량으로부터 결정한 경우(method 1), 3개의 수문인자를 고려한 경우 중 유출량을 Tank 모형을 이용하여 산정한 경우(method 2) 및 2개의 수문인자(강수량(a), 저류량(b))만을 고려하였을 경우(method 3)에 해당하는 가중계수를 나타낸 것으로 각 고려사항에 따라 산정된 가중계수를 이용하여 유역의 SWSI를 산정하여 나타내면 그림 7과 같다.

3.3 SPI의 적용

3.3.1 SPI 분석을 위한 확률분포형의 선정

Guttman(1999)에 의하면 SPI를 산정하기 위한 누가강수 시계열의 적정 확률분포형은 Pearson Type-III 분포이며, 유원희 등(2000)에 의하면 기타 다른 확률분포형을 시계열의 적정확률분포형이라 가정했을 때

와 적정확률분포형을 Pearson Type-III로 했을 때의 결과는 커다란 차이를 보이지 않는다. 즉, 적정확률분포형의 차이에 있어 가문의 심도나 변화의 양상이 커다란 차이를 보이지 않으므로 본 연구에서 누가강수 시계열의 적정확률분포형을 Pearson Type-III로 결정하였다.

매개변수 추정법은 이상자료의 영향을 최소화 할 수 있으며 표본에 가중치를 주어 작은 표본으로 인한 확률 밀도함수의 양극에서 발생하는 오차를 줄일 수 있는 확률가중모멘트법을 사용하였다. 즉, 왜곡된 모양을 가지고 있는 Pearson Type-III의 매개변수를 추정하는데 있어 PWM은 Moment법 등의 방법보다 안정된 해를 주기 때문이다. 추정된 매개변수를 이용하여 적합도 검정을 실시하였으며, 모든 지속기간에 대해 Pearson Type-III가 적정분포형임을 알 수 있다.

3.3.2 누가확률 및 적정 SPI 산정

지속기간 10개월의 자료계열에서 추정된 각 월의 매개변수를 이용하여 각 월의 확률분포함수를 결정할 수 있으며 결정된 확률분포함수에서 누가확률을 산정할 수 있게 된다. 이렇게 산정된 누가확률의 값과 표준정규분포의 누가확률값이 같아지는 값을 찾아 표준정규분포의 변수(X)값을 읽으면 그 것이 지속기간 10개월에 해당하는 SPI(SPI-10)가 되는 것이다. 표준강수지수는 지속기간별로 구해지므로 이 지수를 PDSI나 SWSI와 비교하기 위해서는 적절한 지속기간을 선택하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 SPI의 각 지속기간별 가중지수와 PDSI 및 SWSI의 상관계수를 산정하여 가장 큰

표 6. 지속시간별 SPI와 PDSI 및 SWSI의 상관계수

SPI의 지속기간(월)	PDSI		SWSI		
	method 1	method 2	method 1	method 2	method 3
1	0.372	0.418	0.532	0.573	0.536
2	0.449	0.502	0.467	0.538	0.488
3	0.561	0.609	0.527	0.556	0.536
4	0.634	0.678	0.547	0.544	0.568
5	0.700	0.737	0.579	0.602	0.633
6	0.748	0.775	0.603	0.670	0.693
7	0.801	0.818	0.645	0.689	0.729
8	0.843	0.852	0.681	0.699	0.753
9	0.862	0.867	0.685	0.696	0.757
10	0.869	0.873	0.683	0.698	0.751
11	0.862	0.871	0.685	0.683	0.730
12	0.851	0.866	0.673	0.660	0.707

상관성을 보이는 지속시간의 SPI를 대상 유역을 대표 하는 SPI로 채택하였다.

상관분석이란 어떠한 한 변수가 다른 변수와 어떠한 관계를 가지고 있으며 또한 한 변수가 다른 변수에 어떻게 영향을 미치는가를 추정하는 것으로 관련성의 정도를 표시하는 척도이다. 이러한 상관성 분석의 방법에는 다양한 방법 등이 제안되고 있으나 본 연구에서는 일반적으로 상관성분석에 사용되는 식 (6)에 의해 상관 계수를 구하였다.

$$\rho_k = \frac{Cov(X_i, Y_i)}{\sqrt{Var(X_i)Var(Y_i)}} \quad (6)$$

여기서, $Cov(X_i, Y_i)$ 는 두 변수간의 공분산이며, $Var(X_i)$ 및 $Var(Y_i)$ 는 각 변수의 분산이다.

표 6은 각 지속시간별 SPI와 PDSI 및 SWSI의 상관계수를 나타낸 것이며 이를 보면 SPI와 PDSI의 상관계수는 SPI의 지속기간이 10개월일 때가 가장 높은 상관성을 나타내고 있으며 SPI와 SWSI의 경우는 대략 9개월일 때의 상관계수가 가장 크게 산정되었다. PDSI와 SWSI는 같은 가뭄을 나타내는 지수이긴 하나 그 산정 방법에 차이가 있으며 고려해 주는 수문인자가 다르므로 동일한 조건상에서 비교할 수는 없지만 PDSI와의 상관성이 SWSI와의 상관성보다 크게 산출되고 있으므로 낙동강 유역에서의 SPI는 PDSI와 가장 큰 상관성을 보이고 있는 지속기간 10개월에 해당하는 지수로 결정하였으며, 선정된 10개월에 해당하는 SPI 및 단기간의 가뭄상황을 나타낼 수 있는 지속기간 3, 6개월에 해당하는 SPI를 그림 8에 도시하였다.

표 7. 각종 가뭄지수 및 산정방법별 상관계수

산정방법별 가뭄지수	PDSI (method 1)	PDSI (method 2)	SWSI (method 1)	SWSI (method 2)	SWSI (method 3)	SPI (지속기간 10)
PDSI (method 1)	1.000	0.970	0.684	0.711	0.748	0.869
PDSI (method 2)	-	1.000	0.719	0.743	0.773	0.873
SWSI (method 1)	-	-	1.000	0.775	0.851	0.683
SWSI (method 2)	-	-	-	1.000	0.923	0.705
SWSI (method 3)	-	-	-	-	1.000	0.751
SPI (지속기간 10)	-	-	-	-	-	1.000

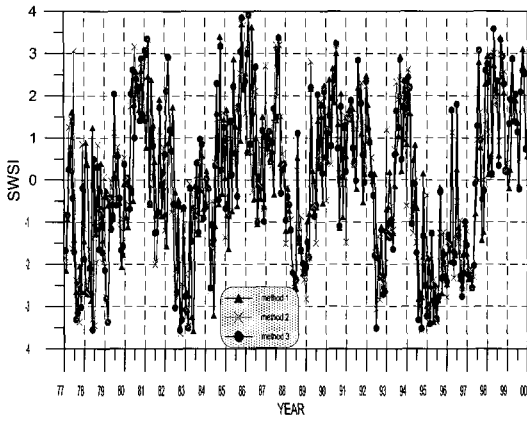


그림 7. 낙동강 유역의 SWSI

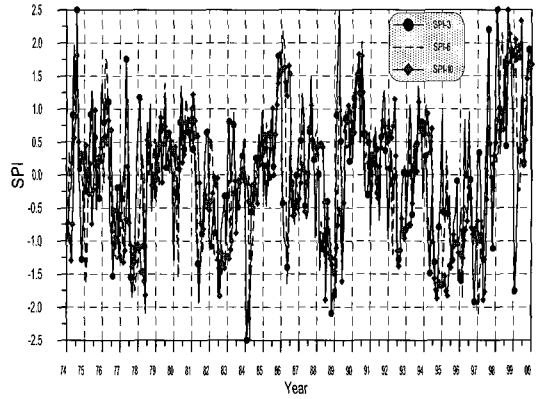


그림 8. 낙동강 유역의 SPI

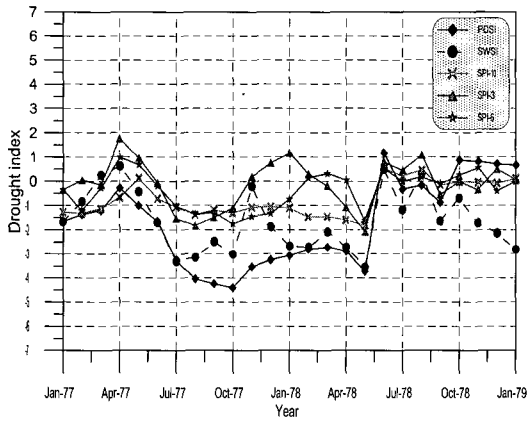


그림 9. 주요 가뭄기간의 낙동강 유역
가뭄지수('77-'78)

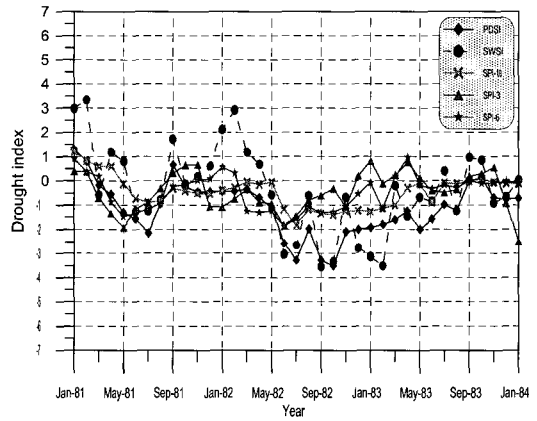


그림 10. 주요 가뭄기간의 낙동강 유역
가뭄지수('81-'83)

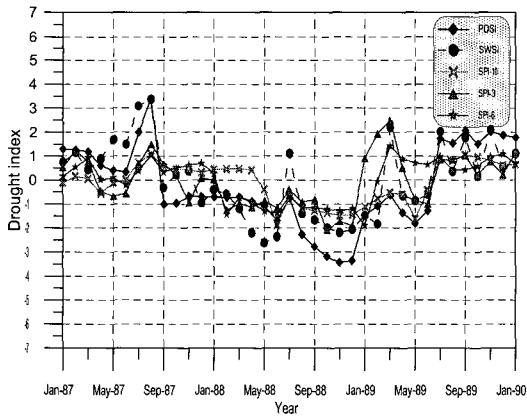


그림 11. 주요 가뭄기간의 낙동강 유역
가뭄지수('87-'88)

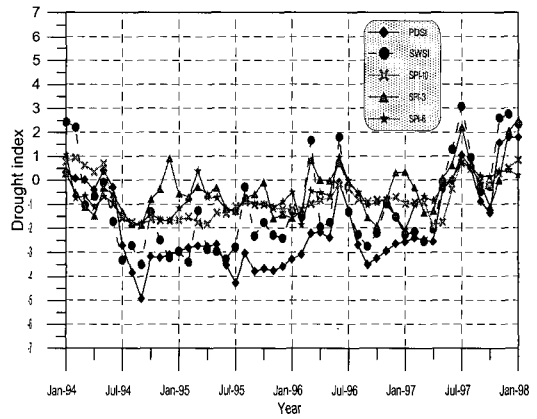


그림 12. 주요 가뭄기간의 낙동강 유역
가뭄지수('94-'97)

4. 산정된 가뭄지수의 비교 평가

3장에서 산정된 가뭄지수들을 비교하기 위하여 각각의 지수 중 유역을 대표하는 지수를 결정해야하며, 본 연구에서는 각각의 지수들의 상관계수를 산정하여 지수별로 비교적 높은 상관성을 가지는 방법을 채택하였다. 표 7은 각종 가뭄지수의 산정방법별 상관계수를 정리한 것으로 SPI의 경우 지속기간 10개월에 해당하는 지수를 사용하였다.

표 7을 보면 PDSI는 method 2에서 method 1에 비해 다른 가뭄지수와 높은 상관계수를 나타내고 있는 것을 볼 수 있으며 SWSI의 경우는 method 3에 의한 지수가 다른 지수와 큰 상관성을 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 PDSI는 method 2, SWSI는 method 3에 의해 산정된 결과를 각 가뭄지수 산정법의 대표값으로 사용하고 SPI의 경우 지속기간 10개월에 해당하는 지수를 대표값으로 사용하였다.

4.1 가뭄지수를 이용한 과거 주요 가뭄의 평가

'60년대 이후에 발생한 주요가뭄기간은 '67~'68년의 호남 및 영남지역에 심각했던 가뭄과 '76~'77년, '81~'82년, '87~'88년의 영남지역가뭄, 그리고 '94~'95년의 영호남지역 및 중부지역에서 발생했던 것으로 알려져 있다(건설교통부, 1995). 따라서 본 대상유역의 경우 '77년, '81~'82년, '87~'88년 및 '94~'95년의 가뭄의 상태를 각 가뭄지수별로 살펴봄으로써 각 가뭄지수에 의한 가뭄정도의 판단이 어느 정도의 신뢰를 가지고 있는지 판단하고자 하였다. 그림 9~12는 이러한 과거 가뭄연도의 가뭄지수를 나타낸 것으로, SPI의 경우는 3, 6, 10개월의 지속기간에 대한 비교를 위하여 함께 도시하였다.

그림 9~12에서 알 수 있듯이 '76~'77년의 경우 '77년 8, 9, 10월을 중심으로 극심한 가뭄이 나타나고 있으며, '81~'83년의 경우는 '82년 9, 10, 11월을, '87~'88년의 경우에는 '88년 4, 5, 6월을 중심으로 극심한 가뭄이 발생하였다. 또한, '94~'95년의 경우 '94년 6월을 기점으로 가뭄이 시작되어 이듬해인 '95년에는 다른 가뭄연도에 비해 가장 극심한 가뭄이 발생하였음을 보여주고 있으며 '97년 4월까지 가뭄이 지속되었음을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 각 가뭄지수를 통해 본 과거 영남지역 가뭄연도의 값은 해당 연도의 가뭄 특성을 잘 나타내고 있는 것으로 판단된다.

또한, 그림 13에 나타난 것처럼 앞에서 언급한 과거

주요 가뭄기간 이외의 가뭄연도가 있음을 알 수 있으며, 그 기간은 '92년 4월~'93년 4월에 해당한다. 이 기간에는 특히 SWSI에 의해 뚜렷한 가뭄기간임을 확인할 수 있지만 다른 지수는 정상에 가까운 값을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 이 기간 동안의 저류량이 강수량에 비해 정상년에 훨씬 못 미치는데 기인하는 것으로, 이 기간의 가뭄은 기상학적으로는 미미하나 수문학적으로는 뚜렷하게 나타난 것으로 판단된다.

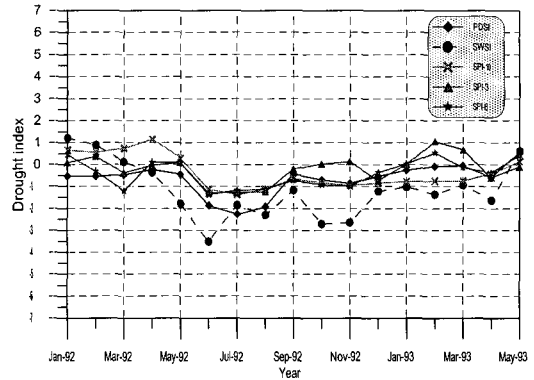


그림 13. '92-'93 가뭄기간의 낙동강 유역 가뭄지수

4.2 주요 가뭄기간별 가뭄지수의 비교

SWSI의 경우 가뭄기간이 지속되는 동안 일시적으로 많은 양의 강수에 의해 가뭄지수가 양의 값을 갖는 경우가 생기며 이는 '88년 7월, '89년 3월, '96년 3, 6월을 통해 알 수 있다. 또한, '81년 11월~'82년 4월까지의 SWSI를 살펴보면 PDSI나 SPI-10에 비해 가뭄지수가 큰 양의 값을 가지고 있는 것을 볼 수 있는데, 이것은 강수량은 정상년에 비해 적지만 저류량이 정상년 이상의 값을 가지고 있는데서 기인하는 것이다. 이렇듯 SWSI는 PDSI나 SPI-10에 비해 가뭄의 회복정도를 빠르게 나타내는 특성을 가진다. 즉, 일시적인 강수에 의한 지수의 변동이 크게 나타나고 있으며 이는 짧은 지속기간의 SPI에서 볼 수 있는 현상과 유사한 성격을 가진다.

반면 앞에서 설명한 현상이 반대로 나타나는 경우가 있는데 이는 '78년 9월~'79년 5월까지의 SWSI값을 살펴보면 알 수 있다. 즉, PDSI나 SPI-10의 경우 가뭄기간이 끝났으나 SWSI는 '79년 2월에 -3.37까지 떨어지는 심한 가뭄의 형태를 띄는 것을 볼 수 있다. 이는 이 기간동안 비교적 정상에 가까운 강수량을 보이고

있지만 저류량의 경우가 정상년을 회복하지 못한 경우에 해당하며 저류량의 부족으로 인한 단기간의 가뭄이 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 형태는 새로이 가뭄연도라 평가된 '92년에도 나타나고 있으며 '98년 11, 12월과 '99년 11월에도 유사한 형태로 나타나고 있다.

SPI-10의 경우는 PDSI와 유사한 특징을 보이고 있는데 이는 가뭄기간이 지속되는 동안 일시적인 강수에 의한 가뭄의 회복이 SWSI에 비해 느리게 나타나기 때문이며, 장기간의 가뭄을 감시하는데 유리한 점으로 판단된다. 그러나, SPI-3과 SPI-6의 경우 SPI-10과는 좀 다른 거동을 보인다. 즉, 가뭄의 회복이나 습윤기에서 가뭄으로 변환하는 기간이 짧다. 이것은 강수사상의 변화양상이 SPI의 지속기간이 짧을수록 그대로 반영되기 때문이며 단기간의 가뭄을 감시하기 위해서는 이러한 지수를 이용하는 것이 유리하다고 판단된다. 예를 들면 '79년 12월, '83년 12월~'84년 3월, '86년 2월~'86년 4월 및 '98년 12월~'99년 2월의 값들은 다른 지수와는 전혀 다른 가뭄에 대한 정보를 제공하고 있으며, 이를 통해 단기간에 발생할 수 있는 가뭄에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이와 반대의 경우도 나타나는데 '89년 3월 및 '94년 12월 등이 이에 해당한다고 할 수 있다.

5. 결 론

2000년대에는 심각한 용수부족이 예상되고 있고, 지구온난화에 따른 기상조건의 변화로 인해 수자원의 이용 및 예측 또한 쉽지 않게 되었다. 현재까지는 주로 수리구조물을 신설하거나 증축함으로써 가뭄에 대처하고 있고, 대형의 수리구조물은 최선의 한해 예방책으로 평가를 받아왔다. 하지만 많은 재원을 필요로 하는 구조물을 무한정 만들 수는 없기 때문에 구조물적 대응방안의 증가와 더불어 비구조물적 대응방안의 증대가 반드시 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 자연재해의 하나인 가뭄을 정량적인 방법으로 해석하기 위하여 가뭄에 영향을 미칠 수 있는 각 수문인자를 확률적 개념으로 수치화하고, 이를 이용하여 증발산과 누가강수량의 편차를 이용하여 가뭄을 정량화하는 PDSI와 유역단위의 지수를 산정하는 SWSI 및 다양한 지속기간별 지수를 산정하는 SPI를 이용해서 대상 유역인 낙동강 유역의 가뭄지수를 산정 및 비교하였으며, 이를 통해 가뭄대책에 대한 기본 정보를 제공하고자 하였다. 이상과 같은 연구를 통해

다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) Palmer의 산정방법을 적용함에 있어 각 관측소의 가뭄지수 산정공식을 유도함으로써 기후특성 인자를 구하는 절차에서 오는 편차를 줄이고 안정적인 지수를 획득할 수 있었으며, 이를 통해 낙동강 유역의 보다 현실적인 가뭄지수 산정이 가능하였다.
- 2) SWSI는 강수발생에 의한 기상, 기후학적 가뭄과 저수지의 저수량에 의한 수문학적 가뭄을 접목시켜 용수공급능력지표의 개발과 아울러 가뭄에 가장 큰 비중을 차지하고 있는 저수지의 용수공급 능력을 정량적으로 수치화한 것으로서, 저수지의 용수공급지표로서 그 활용성이 충분히 있는 것으로 판단된다.
- 3) 다양한 수문인자를 이동 평균함으로써 얻은 새로운 시계열을 이용한 SPI는 지수 자체가 정규분포화 되어있으므로 이를 이용한 가뭄의 감시 및 습윤기의 거동을 살필 수 있으며 지속기간에 따른 이용의 형태가 달라질 수 있으므로, 낙동강 유역의 경우에는 지속기간 10개월에 해당하는 SPI가 과거 가뭄연도를 잘 재현하고 있는 것으로 나타났다.
- 4) 낙동강 유역의 과거 가뭄연도의 PDSI와 SWSI 및 SPI를 산정함으로써 월별 가뭄의 변화추이를 살펴볼 수 있었으며, 추후 이를 이용한 가뭄의 월별 대응이 가능할 것으로 판단된다.
- 5) PDSI는 지속되는 가뭄기간동안의 변화를 살펴볼 때 유리하며, SWSI는 가뭄이 시작되는 몇 개월에 해당하는 가뭄을 판단하거나 단기 수문인자의 변동을 통한 가뭄을 판단하는데 이용될 수 있을 것으로 분석되었다. 또한, SPI는 그 지속기간이 짧은 경우 단기간의 가뭄을, 지속기간이 길어지면 장기간의 가뭄을 나타내는데 유리할 것으로 나타났다.
- 6) PDSI와 SWSI 및 SPI를 이용하여 과거 가뭄을 살펴본 결과 '94~'97년간 지속된 가뭄이 과거 가뭄사상 중 가장 극심하며 긴 가뭄기간을 지닌 것으로 판단되었다. 또한, SWSI를 통해 기존에 파악되지 못했던 수문학적 가뭄이 1992년에 발생했음을 알 수 있었다.
- 7) 이상의 분석을 통하여 볼 때 SWSI와 PDSI 및 SPI는 가뭄을 정량적으로 나타내는데 아주 유효한 방법이며, 각각의 지수가 가지는 장·단점에

따라 가뭄을 파악할 경우 효과적인 것으로 판단 되었다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (1995). 가뭄기록조사보고서.
- 건설교통부 (1999). 물공급안전도 평가 및 용수공급체계구축 연구.
- 김상민, 박승우 (1999). “우리나라 주요 지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교.” 한국농공학회지, 제41권, 제5호, pp. 43-52.
- 김선주, 이광야, 강상진 (1998). “관개용저수지 용수공급지수(IRWSD)의 확률통계 분석.” 한국농공학회지, 제40권, 제4호, pp. 58-66.
- 김선주, 이광야, 신동원 (1995). “관개용 저수지의 한발지수 산정.” 한국농공학회지, 제37권, 제6호, pp. 103-111.
- 유원희 (2000). 유출량 계열을 이용한 가뭄 지수 산정, 석사학위 논문, 인하대학교 대학원.
- 윤용남, 안재현, 이동률 (1997). “Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석.” 한국수자원학회 논문집, 제30권, 제4호, pp. 317-326.
- 이동률 (1998). 한국과 미국대륙의 가뭄에 대한 엘리뇨의 영향, 한국건설기술연구원.
- 최영진, 김현미, 최병철 (1994). “한국의 기후자료를 이용한 Palmer 가뭄지수와 습윤이상지수의 비교 분석.” 제36회 수공학연구발표회 논문집, 한국수문학회, pp. 233-239.
- Garen, D.C. (1993). “Revised Surface Water Supply Index for Western United States.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 119, No. 4, pp. 437-454.
- Guttman, 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.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). “The Relationship of drought frequency and duration of time scales.” *8th Conference on Applied Climatology*, January, Anaheim, CA, pp. 179-184.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1995). “Drought Monitoring with multiple time scales.” *9th Conference on Applied Climatology*, January, Dallas, TX, pp. 233-236.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorological Drought*, Research Paper No. 45, U.S. Weather Bureau, 1965
- Salas, J.D. (1986). “State of Art of Statistical Techniques for Describing Drought Characteristics.” *International Seminar on Drought Analysis*, Perugia, Italy.
- Shafer, B.A. and Dezman, L.E. (1982). “Development of Surface Water Supply Index to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas.” *Proc. Western Snow Conf.*, pp. 164-175.
- Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R. (1955). “The Water Balance.” *Publications in Climatology*, Vol. 8, No. 1, Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Centerton, N.J.
- Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. (1985). “Understanding the Drought Phenomenon : The Role of Definition.” *Water international*, 10, pp. 111-120.

(논문번호:02-014/접수:2002.3.20/심사완료:2002.07.15)