

## 가뭄 경보기준과 모니터링 시스템 Drought Triggers and Monitoring System

이 동 루\* / 이 대 희\*\* / 강 신 욱\*\*

Lee, Dong-Ryul/ Lee, Dea-Hee/ Kang, Shin-Uk

### Abstract

Severe drought tends to occur in almost every five years in Korea. Drought responses have been well operated in close collaboration with the central, local government and the water management authorities on the institutional framework. However, the responses are usually post-activities to a drought event. The responses often face difficulties in operating and managing process due to an absence of a drought monitoring system and drought triggers. The objective of this study is to set up drought triggers through a time-spatial interpretation of drought index and the government responses during historical drought events. Drought triggers are divided into four categories: advisory, watch, warning and emergency stage. The range and drought-impacted area of an each stage in triggers have been addressed using drought index. Furthermore, a web-based drought monitoring system is illustrated.

**Keywords :** drought index, drought trigger, drought monitoring, drought early warning system, drought management

### 요 지

우리나라는 거의 5년마다 심한 가뭄이 발생하고 있고 과거에 발생한 많은 가뭄의 경험으로 제도적 측면에서 중앙정부, 지방정부 및 물 관리기관의 제휴에 의하여 원활한 가뭄대책을 수행하고 있다. 그러나 이들 가뭄 대책은 가뭄이 심하게 진행된 상황에서 이루어지는 경우가 많이 발생하고 있다. 이와 같은 원인은 체계적인 가뭄 모니터링과 가뭄단계 기준의 미비에서 찾을 수 있다. 본 연구에서는 가뭄지수의 시공간적인 해석과 과거 정부의 가뭄대책을 통하여 경보를 위한 가뭄단계 기준을 설정하였다. 가뭄단계는 준비, 주의, 경보 및 비상 4단계로 분류하였고 각 단계에 해당되는 가뭄지수의 범위 및 가뭄면적을 제시하였다. 또한 Web 기반으로 개발된 가뭄 모니터링 시스템을 제시하였다.

**핵심용어 :** 가뭄지수, 가뭄경보기준, 가뭄모니터링, 가뭄조기경보시스템, 가뭄관리

\* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원

Research Fellow, Department of Water Resources and Environmental Research, Korea Institute of Construction Tech., Goyang, Gyeonggi 411-712, Korea  
(E-mail : dryj@kict.re.kr)

\*\* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원

Researcher, Department of Water Resources and Environmental Research, Korea Institute of Construction Tech., Goyang, Gyeonggi 411-712, Korea

## 1. 서 론

가뭄은 기후에서 나타나는 정상적인 특성이다(Wilhite 등, 2000). 과거 가뭄기록을 통하여 우리나라에서는 고대부터 현재까지 거의 5년마다 주기적으로 가뭄이 발생하였던 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 과거의 기후적인 가뭄의 발생특성과 함께 기후변화, 용수 수요의 증가 등은 앞으로도 가뭄이 지속적으로 발생할 수밖에 없는 요인들이 되고 있다.

1900년 이후 전국적으로 심한 가뭄을 겪었던 기간은 1927~29년, 1937~39년, 1942~44년, 1967~68년, 1977~1978년, 1982~83년, 1987~88년 및 1994~96년이다. 이들 기록으로 볼 때 적어도 1900년대 이후 5~10년마다 극심한 가뭄을 겪어 왔다. 또한, 1990년 이후부터 2001년까지 갈수기간에 지역에 따라 크고 작은 가뭄이 거의 매년 발생하고 있다(이동률, 2002).

가뭄은 사회, 경제 및 환경적으로 심각한 피해를 주고 있다. 1995년의 가뭄기간에는 농업용수의 부족과 함께 49개 시·군의 약 36만명이 제한급수를 받았으며, 긴급가뭄대책비로 4,827억원이 지원되었다. 또한, 2001년 봄 가뭄에서는 86개 시·군의 약 30만명이 제한 급수를 받았고, 긴급가뭄대책비로 2,778억원이 지원되었다. 김기승 등(2001)에 의하면 2001년 봄가뭄은 2/4분기 경제성장률을 0.4% 감소시키고, 물가는 0.28% 상승시킨 것으로 분석되었다. 환경적 측면에서 가뭄기간의 하천수질의 악화로 수생생물의 서식환경을 변화시키며, 이들 하천에서 생활용수를 취수하는 지역에서는 정수를 위한 많은 염소처리비용의 상승과 함께 수돗물의 안전성에 관련 된 문제를 발생시키고 있다.

우리나라는 가뭄의 주기적인 발생에 의한 대책의 경험으로 중앙 및 지방정부, 물 관리기관의 제후에 의해 제도적 측면에서 원활한 가뭄대책을 시행하고 있다. 그러나 이들 대책은 가뭄이 심하게 진행되어 시행되는 경우가 많아 대책의 성과를 높이지 못하는 경우가 있다. 이는 가뭄이 심화되기 전에 체계적으로 가뭄상황을 파악할 수 있는 가뭄 모니터링과 조기경보 기준이 미비에 있다고 할 수 있다. 가뭄대비계획에서 가장 주요한 부문은 가뭄모니터링과 조기경보이다. 가뭄의 잠행(潛行)적 출현특성 때문에 가뭄 모니터링과 조기경보 시스템은 효과적인 장·단기 사전가뭄대책과 긴급대책의 실행을 위한 기반을 제공한다. 또한, 적시 및 정확한 사전가뭄대책을 수행하기 위한 가뭄단계 발령 기준은 가뭄계획의 수행능력을 좌우할 정도로 중요하다(Wilhite 등,

2000).

가뭄 모니터링과 조기경보는 가뭄지수를 이용하여 수행된다. 우리나라에서 가뭄지수의 연구는 대부분 외국에서 개발된 가뭄지수에 대한 국내의 자료를 이용한 가뭄지수의 개발과 적용성에 집중되어 왔다(김선주 등, 1995; 윤용남 등, 1997; 이동률, 1998, 1999; 김상민 등, 1999; 류재희 등, 2002). 그러나, 가뭄관리에 있어 가뭄예정보 시스템 구축의 중요도에 비해 국내의 관련 연구는 활발하게 진행되지 않았다. 조홍제(1996)는 도시지역의 용수관리를 위한 가뭄예정보 지수를 산정하여 울산과 포항 등의 과거 현황과 비교한 후, 가뭄단계의 설정 방안을 제시하였고, 임경진 등(2001)은 가뭄지표들의 비조과확률에 의하여 가뭄주의보, 경보 및 비상가뭄을 구분하고 과거 가뭄기간과 비교 평가하였다. 또한, 강인주 등(2002a, 2002b)은 가뭄관리를 위해 마코프 연쇄에 의한 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SPI(Standard Precipitation Index)의 추계학적 등급을 산정하여 가뭄에 대한 조기 경보 가능성을 제시하였다. 그러나 국내의 가뭄예정보 관련 연구는 가뭄단계의 설정에 있어 전국적이고 일반적인 기준을 제시하고 있지는 않으며, 과거 가뭄현황과 산정된 가뭄지표에 의한 가뭄단계의 설정 과정의 연관성이 부족하다. 또한, 가뭄상황을 모니터링하고 설정된 가뭄단계에 대한 정보제공과 대책에 대한 부분이 미흡한 실정이다.

본 논문의 목적은 가뭄지수로서 가장 널리 이용되고 있는 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SPI(Standard Precipitation Index) 및 SWSI(Surface Water Supply Index)의 전국적인 가뭄지수의 분석과 과거 가뭄기간의 정부대책의 평가를 통하여 가뭄단계 발령 기준을 설정하는 것이다. 또한, 가뭄모니터링과 가뭄정보를 제공하기 위하여 개발된 Web기반 가뭄모니터링 시스템을 제시하였다.

## 2. 가뭄의 정의 및 지수

가뭄관리의 어려움은 기상, 수자원, 농업 및 사회·경제적 각 분야의 가뭄관리 담당자들이 서로 다른 가뭄의 정의를 가지고 있다는 점이다. 일반적으로 가뭄은 기상가뭄, 농업가뭄, 수문가뭄 및 사회·경제적 가뭄의 4가지 유형으로 정의된다. 기상학적 가뭄은 강수량의 부족으로 인한 가뭄에 기반을 두고 있다. 농업가뭄은 농작물, 산림, 초지 등에 필요한 토양수분량의 부족을 말한다. 수문가뭄은 하천유량, 저수지와 호수의 수위 및 지하수에 의한 수자원 공급원에 연관된다. 또한, 사회·

경제적 가뭄은 자연현상, 환경악화 및 사람들에 대한 영향의 복잡한 상호작용으로 정의된다(Wilhite 등, 2000). 이와 같은 일관된 가뭄정의 부재는 가뭄관리와 관련된 가장 큰 문제의 하나이며, 이는 통합가뭄관리의 어려움으로 나타난다. 따라서 각 부문의 가뭄을 관리하는 기관들은 업무의 특성에 적합한 가뭄 모니터링 및 대책의 수립이 필요하다.

가뭄지수는 수문·기상정보를 이용하여 가뭄의 진행 단계를 시공간적으로 정량적 또는 정성적으로 파악할 수 있는 수치로 나타낸 가뭄지표이다. 가뭄관리기관은 이들 가뭄지수 정보를 대중들에 제공함으로써 체계적인 가뭄 대책을 수행할 수 있다. 가장 널리 이용되고 있는 지수들은 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SPI(Standard Precipitation Index) 및 SWSI(Surface Water Supply Index) 등이 있다.

PDSI는 Palmer(1965)에 의해 개발된 것으로 강수량, 기온 및 토양습윤량을 이용한 물수지분석에 의해 산정된다. PDSI는 수분부족량과 수분부족기간의 함수로 표현되고, Palmer는 통계적으로 시간과 공간의 일관된 비교를 통해 얻어지는 가뭄지수의 개발을 위해 기 후적으로 상이한 두 지역인 미국 캔사스주와 아이오와 주 지역을 대상으로 하여 식 (1)과 같은 가뭄지수산정 공식을 유도하였다.

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

여기서, X는 가뭄지수, Z는 수분이상지수, i는 해당 월이다.

SPI는 단지 강수량만을 이용하여 산정되는 지수로서 McKee 등(1993)에 의해 개발되었다. SPI는 여러 시간 간격 총강우량의 확률분포를 표준화하여 산정한다. SPI를 산정하기 위해서는 시간단위별 누가강수 시계열을 구성하여야 하며, 이는 이동 누가에 의한 방법으로

월강수량을 시간단위에 따라 연속적으로 중첩하여 구한다. 지속기간별 시계열이 구성되면 이 시계열을 월별로 분석하여 적정 확률분포형을 산정하고, 산정된 확률분포형에 의해 개개 변량의 누가확률을 구한 후, 표준정규분포에 적용시켜 표준화한 Z값이 표준강수지수가 된다.

SWSI는 강수량, 융설량, 하천유량 및 저수지 저류량을 이용하여 산정되는 지수로서 PDSI를 보완하기 위하여 Shafer 등(1982)에 의해 개발되었다. 이 지수는 가뭄에 영향을 미치는 표면유출인자로 구성되어 있고, 각 수문인자를 통계학적으로 해석하고 각 수문인자의 유역 기여도를 산정하여 가중치로 사용함으로써 유역을 대표하는 하나의 지표가 된다. Shafer 등(1982)에 의해 유도된 가뭄지수 산정 공식은 식 (2)와 같다.

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

여기서, PN는 비초과확률(%), a, b, c, d는 각 수문인자의 가중계수, SP는 적설 인자, PCP는 강수 인자, SF는 하천유출 인자, RS는 저류량 인자이다.

PDSI와 SPI는 기상학적 특성을 반영하고 있으나 SWSI는 기상학적 특성과 수문학적 특성을 통합하고 있다. 표 1은 미국의 콜로라도주 가뭄계획에서 이용하고 있는 각 지수들의 가뭄분류이다. 이들 각 지수들은 장단점을 가지고 있으며(Hays, 1998; Wilhite 등, 2000), 가뭄관리 현장에서는 지역의 수문기상 특성, 수자원 공급 시설 등을 고려하여 각 지수들의 적용성을 파악하여 적절한 지수를 이용하거나 이들 모든 지수들을 통합하여 이용하기도 한다.

표 1. SPI, SWSI, PDSI의 가뭄분류(Brislawn 등, 2001)

SPI	PDSI, SWSI	Drought Category
+2.00 or more	+4.0 or more	Extremely moist
+1.50 to +1.99	+3.0 to +3.9	Very moist
+1.00 to +1.49	+2.0 to +2.9	Unusually moist
+0.99 to -0.99	+1.9 to -1.9	Near normal
-1.00 to -1.49	-2.0 to -2.9	Moderate drought
-1.50 to -1.99	-3.0 to -3.9	Severe drought
-2.00 or less	-4.0 or less	Extreme drought

표 2. 미국 각 주의 가뭄기준과 가뭄단계 설정 예(한국수자원공사, 2002)

지 역	가 뭄 지 수	구 분	일반적인 구분 단계			
			정 상	경 계	경 보	비 상
콜로라도 (Colorado)	PDSI SWSI SPI	가뭄기준	PDSI -1.0 이상 SWSI -1.0 이상 SPI -0.5 이상	PDSI -1.0~-2.0 SWSI -1.0~-2.0 SPI -0.5~-1.0	어느 유역에서 PDSI -2.0 이하 SWSI -2.0 이하 SPI -1.0 이하	모든유역에서 PDSI -2.0 이하 SWSI -2.0 이하 SPI -1.0 이하
		가뭄단계	Normal	Phase 1	Phase 2	Phase 3
네바다 (Nevada)	PDSI	가뭄기준	-1.0 이상	-1.0~-2.0	-2.0~-3.0	-3.0 이하
		가뭄단계	Normal	Warning	Severity	Emergency
몬타나 (Montana)	PDSI SWSI	가뭄기준	-	PDSI -3.0~-4.0 SWSI -2.5~-3.5	-	PDSI -4.0 이하 SWSI -3.5 이하
		가뭄단계		Watch		Severity
미조리 (Missouri)	PDSI	가뭄기준	-1.0 이상	-1.0~-2.0	-2.0~-4.0	-4.0 이하
		가뭄단계	Advisory	Alert	Conservation	Emergency

【주】 콜로라도주에서 이용하고 있는 SPI는 지속기간 6개월임.

가뭄지수를 이용하여 가뭄단계를 설정하고 각 단계 별 대책을 수행하는 대표적인 국가는 미국으로 각 주에서는 표 2의 예와 같이 가뭄 지수에 따라 가뭄단계를 명시하고 각 가뭄단계별로 조치사항을 규정하고 있다. 각 주마다 이용되는 가뭄지수나 가뭄지표는 다소 차이가 있고, 대응 조치도 각 주의 실정에 맞게 구성되어 있다.

### 3. 우리나라의 가뭄발생 특성

아시아 몬순지대에 속하는 한국의 현재 가뭄의 특성의 하나는 벼농사의 파종기와 성장기인 4월-8월의 강수량 부족에 의한 농업가뭄이 가장 사회적인 이슈이다. 또한, 같은 시기에 다목적댐에서 안정적인 생활용수를 공급받지 못하는 지방상수도 및 간이상수도를 이용하는

지역에서는 생활용수공급의 어려움을 초래한다. 따라서 한국에서 가장 가뭄에 취약한 시기는 5~8월이라 할 수 있다. 그림 1은 한강유역의 하천에서 취수하는 연간 농업용수의 월별 취수량 비율과 월별 강수량 비율이다. 농업용수 취수량 비율은 한강에서 취수하는 양수장의 1993~1998년 기간의 실측자료로서 건설교통부(1998)에서 조사된 것이다. 그림 1에서 강수량에 비하여 농업용수 취수량이 많은 기간은 4~6월임을 알 수 있고, 이 기간의 강수량 부족은 바로 농업가뭄을 초래한다. 일반적으로 7~9월은 기후적 특성에 의한 많은 강수량에 의해 농업용수 취수에 어려움이 없으나, 이 기간의 강수량이 부족하면 더욱 심한 농업가뭄을 초래한다. 이는 6월 이전에 발생한 가뭄은 6월 말부터 시작되는 장마의 시작으로 가뭄이 보통 해소되지만 장마가 지연되면 더

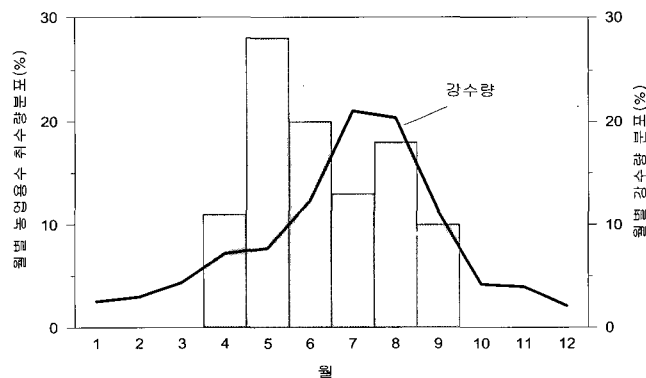


그림 1. 월별 강수량 및 농업용수 취수 비율

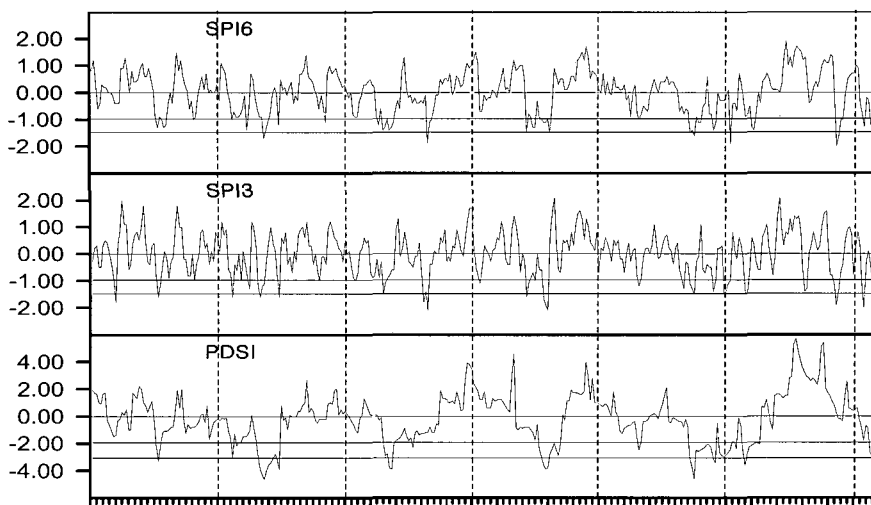


그림 2. 과거 가뭄지수(1971~2001년)

육 극심한 가뭄을 초래하기 때문이다. 또한, 우리나라 연강수량의 2/3가 홍수기인 6~9월의 장마와 태풍기간에 집중되는데, 이 기간의 강수량 부족은 갈수기인 11월부터 다음해 5월에 가뭄을 초래한다. 이와 같은 가뭄 특성으로 인하여 한국에서 과거 발생한 심한 가뭄의 대부분은 농업용수의 취수량이 가장 큰 5~8월에 많이 발생하였다.

그림 2는 우리나라 전지역의 평균 PDSI, 3개월 SPI(SPI3) 및 6개월 SPI(SPI6)로 1970년 이후 한국에서 발생했던 가뭄의 상황을 파악할 수 있다. 산정된 가뭄지수에 의해 우리나라에서 심한 가뭄(PDSI -3이하, SPI -1.5이하)이 발생했던 시기를 구별할 수 있다. 1971년 이후 PDSI가 심한 가뭄을 나타낸 연도는 1973년, 1977~1978년, 1982년, 1988년, 1994~1995년, 1996년 등 8개년이다. 6개월의 SPI는 1977년, 1984년, 1988년, 1989년, 1994년, 1996년 그리고 2000년 등 7개년에 걸쳐 9개월이 심한 가뭄에 해당되고, 3개월의 SPI는 2001년을 비롯한 13개년의 17개월이 심한 가뭄이었다. 실제 우리나라에서 가뭄피해가 심했던 연도와 PDSI가 심한 가뭄으로 나타내는 연도간에 상관성이 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 21년 기록기간 중 PDSI에 의해 심한 가뭄이 발생했던 연도가 8개년으로 3년에 한번 정도 발생했던 것으로 나타나고 있고, 1977~1978년과 1994~1995년은 연속적인 가뭄임을 고려하면 5년마다 가뭄이 발생한 것으로 나타나고 있다. 가뭄지수의 시계열 자료는 점차 가뭄사상의 지속기간이 길어지고 지수 값의 변동 폭이 커지고 있음을 보여준다.

3개월 SPI에서는 이러한 경향이 나타나고 있지 않지만, 6개월 지속기간의 SPI와 PDSI에서는 뚜렷하게 나타나고 있다.

한국에서는 각 월의 가뭄지수가 같은 심한 가뭄상황을 나타낸다 할 지라도 가뭄의 사회적인 영향은 같게 나타나지 않는다. 이는 월별 용수 이용량에 따라서 사회적으로 가뭄을 체감하는 정도가 다르기 때문이다. 그림 1에 나타난 바와 같이 한국에서 농업용수의 취수량이 많은 5~8월의 용수 이용량은 다른 월에 비해 월등히 많으므로 이 기간의 심한 가뭄은 많은 사회적 영향을 초래한다. 그러나 용수수요량, 특히 농업용수의 수량이 적은 기간에서는 가뭄지수가 심각한 가뭄을 나타낸다 할 지라도 실제로 가뭄이 사회에 미치는 영향을 상대적으로 크지 않다. 이는 생활 및 농업용수 공급의 인프라시설이 농업용수에 비하여 상당히 안정되어 있기 때문이다.

#### 4. 가뭄경보 기준설정

가뭄단계 기준을 설정하기 위하여 우리나라의 수문 기상자료를 이용한 PDSI, 3개월 및 6개월 SPI 및 SWSI를 산정하였다. PDSI는 미국에서 동결한 기후특성을 가진 대규모 지역에서 개발되었다. 그러나 이들 기후특성은 우리나라와 다르기 때문에 우리나라의 기후특성을 이용하여 수정된 PDSI를 산정하였다. 또한, SWSI는 우리나라의 주요 수자원 공급원인 다목적댐 저수량만을 이용하여 유역별로 산정하였다.

PDSI와 SPI를 산정하기 위한 강우와 기온 자료는

표 3. 과거 가뭄기간 가뭄 지수 및 정부 대응 상황

년	월	가뭄지수							정부대책	설정 가뭄 단계
		PDSI		SPI6		SPI3		SWSI		
		지수	가뭄 면적 (%)	지수	가뭄 면적 (%)	지수	가뭄 면적 (%)	지수		
1977	4	-0.01	7.90	0.74	0.00	1.32	0.00	1.11		N
1977	5	-1.35	6.00	0.41	0.00	0.84	0.00	-1.59		S1
1977	6	-2.32	17.72	-0.17	0.00	0.29	0.00	-1.95	간이 용수원 개발(6.21)	S2
1977	7	-3.44	61.04	-0.54	8.66	-1.29	34.05	-1.79	긴급대책 돌입(7.21)	S3
1977	8	-4.69	92.32	-1.13	19.77	-1.78	71.56	-3.03	가뭄극복 감독관 파견(7.21)	S4
1978	3	-3.30	55.51	0.75	0.00	0.51	0.00	-1.98		S1
1978	4	-3.55	73.35	0.43	0.00	-0.45	0.00	-3.23		S2
1978	5	-4.31	90.04	-0.81	1.30	-1.29	27.58	-3.62	간이용수원개발(5.2), 도시지역 제한급수(5.3)	S3
1978	6	0.65	10.33	0.79	0.00	0.72	0.00	1.56	농업용수개발 장비동원령(6.8), 인원 동원령(6.11)	R
1982	3	0.43	0.19	-0.74	6.44	-0.19	0.00	1.93		N
1982	4	-0.17	0.21	-1.43	39.66	-1.39	34.13	-0.38		S1
1982	5	0.40	0.20	-0.48	2.95	-0.18	0.55	2.55		S1
1982	6	-1.88	4.13	-1.29	43.75	-1.33	45.20	-1.69	간이용수원 개발(6월)	S2
1982	7	-3.13	62.45	-1.56	47.71	-1.14	28.47	-2.80	남부지방 제한급수(7.6), 저류지개발 지시(7.7)	S3
1994	5	0.48	0.00	-0.42	0.00	-0.21	0.00	-0.09		N
1994	6	-0.25	0.00	-0.66	0.00	-0.36	0.00	-0.80		S1
1994	7	-2.54	32.61	-1.41	42.76	-1.00	18.53	-1.91	가뭄대책 상황실 운영(7.12)	S2
1994	8	-3.83	87.18	-1.68	69.55	-1.76	78.60	-0.76	철수운동 추진(8.1)	S3
1994	9	-4.94	99.17	-1.82	75.79	-1.90	89.14	-1.51	댐저수량 확보 지시(9.21)	S4
1994	11	-3.52	74.08	-1.63	69.79	-0.53	0.66	0.45	가뭄영농특별대책비 지원(11.17)	S1
1994	12	-3.39	72.43	-1.64	61.14	0.71	0.00	1.26	가뭄대비 용수공급대책 수립(12.31)	S1
1995	1	-3.23	68.54	-1.28	35.04	-0.46	0.03	1.73	양수장비 및 관정 점검, 정비(1.10)	S1
1995	2	-2.99	63.07	-0.86	3.06	-0.67	2.14	1.39	생·공용수 가뭄대책 수립(2.8)	S1
1995	3	-2.87	59.27	0.31	0.00	-0.20	0.00	2.07	가뭄대책 관련기관 협조 논의(3.13)	S1
1995	5	-2.66	52.99	-0.55	0.00	-0.22	0.00	0.86	가뭄대책상황실 운영계획 조정(5.1)	S1
1995	6	-3.48	73.30	-1.04	7.01	-1.06	9.15	-1.23		S2
1995	7	-4.20	84.31	-1.19	14.08	-1.17	14.62	-1.15		S3
1996	1	-3.62	75.77	-0.63	16.74	-1.41	42.71	1.18	일부지역 격일제급수(1.8), 가뭄대책수립지시(1.13)	S2
1996	2	-3.33	72.43	-1.82	87.30	-0.97	2.89	0.19	낙동강 수질 관리 비상 체제(2.24)	S2
1996	3	-2.42	37.41	-0.28	0.00	0.87	0.00	2.63	24개시군 격일급수(3.3), 폐수 재활용 계획(3.22)	S2
1996	4	-2.32	28.87	-0.38	0.00	0.22	0.00	-0.23		R
2001	2	-0.04	2.07	0.60	0.00	0.83	0.00	-0.93		N
2001	3	-0.34	1.57	-0.66	9.02	0.10	6.61	-2.43	관정 양수장비 점검(3.19)	S1
2001	4	-0.92	3.43	-0.95	12.23	-1.16	17.61	-2.41	가뭄우려지역 영농급수 추진 조치(4.20)	S2
2001	5	-2.17	21.63	-1.40	57.25	-2.12	95.79	-3.10	가뭄극복 홍보(5.4), 인근지자체간급급수(5.18)	S3
2001	6	-1.04	12.31	-0.35	0.81	-0.67	1.63	0.73		R

【주】 1) 대응단계 : N 정상, R 해제, S1 준비(Advisory), S2 주의(Watch), S3 경보(Warning), S4 비상(Emergency)  
2) 극심면적은 극한 가뭄 이상(PDSI는 -3이상, SPI는 -1.5이상)의 면적

장기간 축적되어 있고 신뢰도가 높은 기상청 59개 관측소의 1971~2001년 자료를 이용하였다. 또한, SWSI의 산정시 요구되는 권역별 저수현황을 대표하기 위해 한국수자원공사에서 운영하고 있는 10개 다목적댐을 대상으로 하였으며, 각 댐의 운영 시점에서 2001년까지의 저수량 자료를 이용하였다. 이들에 대한 상세한 자료

내역과 각 가뭄지수 산정과정은 한국수자원공사(2002)를 참고할 수 있다.

Palmer 등(2002)은 가뭄경보 기준설정에 있어 적은 가뭄단계는 적절한 가뭄대응을 달성하기 어렵고 많은 단계는 대응책이 너무 세분화되어 시행하는데 어려움이 있다고 하고 있다. 이를 고려하여 일반적으로 가뭄단계

는 4단계로 구분하고 있다. 본 연구에서도 가뭄단계 기준은 준비, 주의, 경보 및 비상 4단계로 구분하였다. 또한 각 단계는 가뭄지수, 가뭄면적비율 및 과거 시행된 정부의 가뭄대응을 분석하여 설정하고자 하였다.

표 3은 1977년부터 발생한 심한 가뭄 동안의 가뭄지수, 가뭄면적비율 및 정부의 가뭄대책들이다. 표 2에 제시한 가뭄 기간은 1977년부터 가장 최근에 발생했던 2001년까지의 연도 중에서 가뭄의 심도가 크고 피해 대상 지역 범위가 넓어 중앙정부를 중심으로 대응 조치가 취해졌던 월이다. 본 연구에서는 과거의 가뭄대응 상황과 이들 시기의 가뭄지수의 비교에 의해 표 1에 제시되어 있는 가뭄의 상황과 실제 가뭄상황의 연관성을 파악하여 가뭄지수에 따른 가뭄단계를 설정하고자 하였다. 각각의 가뭄지수들은 한계성이 있고, 우리나라의 과거 가뭄 연도에 산정된 가뭄지수의 결과도 실제상황과 정확하게 일치하지는 않는 경우도 있기 때문에 하나의 가뭄지수만으로 가뭄의 단계를 규정할 수는 없는 어려움이 있다. 예를 들어 표 1의 가뭄상황 분류에 따르면 표 3의 1977년 7월의 PDSI는 -3.44로 심한 가뭄상황을 나타내고 있으나, 6개월 및 3개월 SPI는 각각 -0.54 및 -1.29로 정상상태와 보통정도의 가뭄상황을 보이고 있다. 또한, SWSI는 -1.79로서 정상상태를 보이고 있다. 이와 같은 각 지수가 나타내고 있는 상이한 가뭄상황은 특정 지수에 의한 가뭄단계의 설정은 실제 가뭄상황과 일치하지 않는 경우도 발생할 수 있음을 보

여준다. 이와 같은 배경에서 많은 수자원 전문가들은 가뭄단계의 설정에 있어 여러 가지 지표를 종합적으로 고려하는 것이 유리하다고 제안하고 있고, 가뭄지수를 기준으로 가뭄단계를 규정하고 있는 미국의 여러 주들도 PDSI와 SPI를 비롯한 몇 가지 가뭄지수를 동시에 고려하고 있다.

본 연구에서는 PDSI와 6개월 및 3개월 지속기간의 SPI, SWSI를 조합하여 가뭄단계의 적절성을 검토하였다. 가뭄단계의 설정은 먼저 과거 가뭄기간에 있었던 가뭄대응을 기준으로 준비, 주의, 경보 및 비상을 설정하고 이때의 가뭄지수를 파악하여 각 단계별 가뭄지수의 범위를 설정하였다. 과거의 가뭄대응은 본 연구에서 제시한 4단계에 따라 가뭄대응이 이루어지지 않았고, 대부분의 대응은 주의와 경보단계에서 수행되는 시책으로 나타났다. 따라서 과거 가뭄대응 내용에 따라 먼저 가뭄 주의 및 경보단계를 설정하였고, 준비와 비상단계는 가뭄지수의 상황에 따라 제시하였다. 이 과정을 통해 본 연구에서 가뭄기간에 설정된 가뭄단계는 표 3의 마지막 열에 제시하였다

정부에서 가뭄에 따른 대응 조치에 따라 본 연구에서 제시한 가뭄단계를 PDSI와 SPI에 따라 분류하면 그림 3과 같은 형태를 나타낸다. 그림 3에 나타난 바와 같이, 가뭄단계의 심각도를 PDSI가 적절히 반영하고 있다. PDSI -1이하의 준비단계, -2 이하의 주의단계, -3이하의 경보단계 그리고 -4이하의 비상단계에 대응

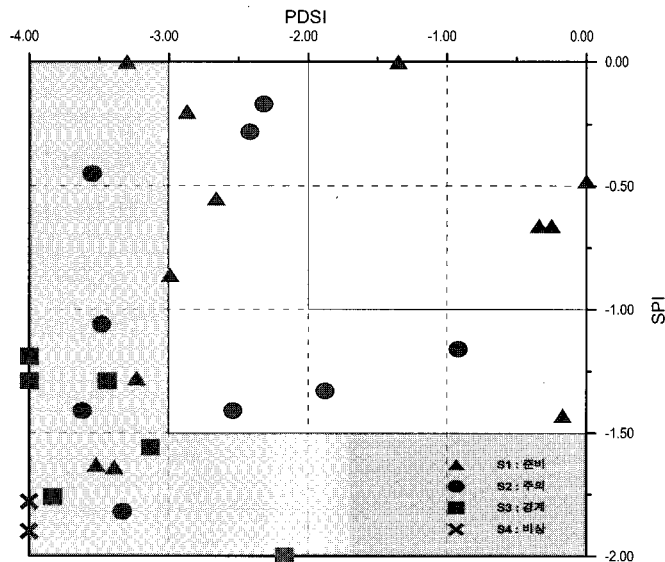


그림 3. 과거 가뭄단계에 따른 PDSI와 SPI 대응관계

표 4. 가뭄의 단계와 대응책

가뭄 단계 분류			가뭄 기준			대응책
구분	단 계	가뭄상황	PDSI, SWSI	3개월 SPI 6개월 SPI	가뭄면적 (%)	
S1	준비 (Advisory)	First-Stage Drought	-1.00~-1.99	-0.50~-0.99	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>가뭄상황 모니터링</li> <li>가뭄수자원 파악</li> <li>물공급시설 관리 강화</li> <li>방송·캠페인 등을 통한 절수홍보</li> <li>상수도 수질관리 강화</li> </ul>
S2	주의 (Watch)	Moderate Drought	-2.00~-2.99	-1.00~-1.49	40	<ul style="list-style-type: none"> <li>가뭄재해대책 상황실 운영</li> <li>자발적인 절수유도</li> <li>비상급수원 및 농업용수원 개발</li> <li>물다량 사용업소 영업시간 단축</li> </ul>
S3	경보 (Warning)	Severe Drought	-3.00~-3.99	-1.50~-1.99	60	<ul style="list-style-type: none"> <li>가뭄재해대책 상황실 운영 강화</li> <li>인력·장비지원 비상급수</li> <li>식수 및 농업용 지하수개발</li> <li>적일제 또는 3일제 제한 급수</li> <li>수영장, 세차장 등 물사용 제한</li> <li>다목적댐 용수공급 위주로 운영</li> </ul>
S4	비상 (Emergency)	Extreme Drought	-4.00 or less	-2.00 or less	80	<ul style="list-style-type: none"> <li>가뭄 비상령 발령</li> <li>관련 부처간 협조체제유지 및 지원확대</li> <li>가뭄대책 장비 및 인력 총동원</li> <li>최소한의 생활용수공급</li> <li>다목적댐 조절방류</li> <li>사유 관정 공통 이용</li> </ul>

한다. 이와 같은 분류는 기본적으로 표 1의 가뭄상황 분류와 일치하고 있다. 가뭄단계 설정에서 농업용수가 많이 필요한 시기에 단기간의 극심한 강수량 부족이 발생할 경우에는 PDSI가 나타내는 가뭄심도가 실제 가뭄의 심각성을 제대로 대별하지 못할 수 있으므로 SPI의 추가적인 고려가 필요하다. SPI의 경우 -0.5이하이면 준비단계, -1이하이면 주의단계, -1.5이하이면 경보단계 그리고 -2.0이하이면 비상단계로 평가할 수 있다.

가뭄의 대응 단계를 분류할 수 있는 기준으로 심한 가뭄지역의 면적 비율이 하나의 인자로 제시될 수 있다. 가뭄이 심각하게 체감되는 상태를 가뭄지수에 의해 구분하면, PDSI, SWSI가 -3이하, SPI가 -1.5이하의 가뭄지역으로서 이들 가뭄지역의 면적 비율로 실제 체감할 수 있는 가뭄의 심도를 평가할 수 있다. 표 3을 토대로 가뭄단계별 기준으로 제시된 가뭄 면적 비율은 표 4에 제시하였다.

PDSI와 SPI 외에도 가뭄단계의 기준을 설정하기 위해 SWSI가 이용될 수 있다. SWSI는 각 월의 저수율의 상황을 반영하고 있어, 해당 월의 물공급원의 상황을 파악할 수 있는 지수이다. SPI와 PDSI가 농업과 지방상수도 및 간이상수도 지역의 가뭄지표로 이용될

수 있는 반면에 SWSI는 다목적댐에서 생·공용수를 공급하는 지역의 가뭄상황을 나타낼 수 있다.

본 연구에서 최종적으로 설정한 가뭄단계별 가뭄지수의 범위와 가뭄면적은 표 4와 같다. 이들 가뭄단계는 다소 주관적인 판단으로 이루어진 점도 있으나 이들 단계는 가뭄경보를 위한 첫 기반으로 고려될 수 있다. 실제 가뭄상황에서는 이들 기준을 기반으로 전문가 및 물관리기관의 종합적인 의견수렴과 가뭄지역의 실제상황 조사를 통하여 신중한 가뭄경보를 수행할 필요가 있다. 이와 같이 가뭄단계를 설정함으로써 각 단계별 효율적인 가뭄대응책을 수립하여 가뭄피해를 경감할 수 있다. 본 연구에서는 그동안 정부에서 수행해 온 가뭄대응책을 각 가뭄단계별로 분류하여 표 4에 함께 제시하였다.

## 5. 가뭄 모니터링 시스템

가뭄계획과 가뭄의 진행에 따른 적절한 대응책 수립을 위해서는 가뭄상황의 조기확인과 현 가뭄 상황의 정확한 이해가 필요하다. 가뭄정보들이 물 관리자로부터 일반 대중들에 이르기까지 여러 분야의 사람들에게 가능한 폭넓게 인지될수록 가뭄 대처와 피해 경감 효과는 증대될 수 있다. 본 연구에서 수립한 가뭄모니터링 시



시스템은 가뭄의 시·공간적인 전개과정의 조기확인을 통하여 물 수요자와 공급자들이 가뭄에 대비함으로써 피해경감을 최대한 유도하기 위해 구축되었다. 제공 자료는 가뭄지수, 강수량 및 저수량 현황 등 가뭄을 여러 측면에서 정량화하여 파악할 수 있는 항목들이다.

신속하고 체계적으로 가뭄자료(기상, 수문자료)를 수집하고 분석하여 많은 이용자들이 손쉽게 접근할 수 있는 Web 환경의 정보 제공 시스템의 구축은 가뭄계획의 중요한 요소이다. 따라서 모니터링 시스템은 가뭄정보의 획득을 손쉽게 하기 위하여 웹 프로그램으로 구성하였다. 시스템에서 제공되는 가뭄정보는 강수량, 가뭄지수, 저수량 및 하천유량 등이다.

본 연구에서 구축된 시스템은 <http://www.drought.re.kr>에서 제공되고 있다. 그림 4는 시스템에서 제공되는 대표적인 가뭄 모니터링 정보이다. 또한, 본 시스템은 가뭄지수를 토대로 시스템에서 제공하는 자료들을 종합적으로 검토하여 지역적인 가뭄단계를 발령할 수 있는 기반을 제공한다. 가뭄 심화 정도에 따라 가뭄 지역을 구체적으로 제시함으로써 가뭄 관련 기관들이 단계별 대응 조치를 선정하고 수행하기 위한 기반을 제공한다.

## 6. 결 론

가뭄계획에서 가장 중요한 요소는 가뭄모니터링, 조기정보를 위한 가뭄단계 설정 및 이에 따른 가뭄대책의 수립이다. 가뭄 모니터링은 가뭄지수의 시공간적인 해석에 의해 수행될 수 있다. 또한 이들 가뭄지수를 이용하여 가뭄단계를 설정하고 각 단계별 가뭄대책을 시행함으로써 가뭄피해를 경감할 수 있다. 가뭄대책은 물 관리자뿐만 아니라 일반 대중의 참여에 의해서 성과를 높일 수 있다. 이를 위해서는 손쉽게 접근하여 가뭄정보를 얻을 수 있는 시스템의 구축이 필요하다.

본 연구에서는 과거 발생하였던 가뭄기간의 가뭄지수, 가뭄지역의 면적 및 시행된 정부의 가뭄대책을 이용하여 가뭄단계를 설정하였다. 가뭄단계는 준비, 주의, 경보 및 비상 of 4단계로 분류하였고, 각 단계별 가뭄지수의 범위와 가뭄면적 비율을 설정하였다. 또한, 각 단계별 수행해야되는 가뭄대책을 제시하였다. 가뭄지수에 의한 가뭄단계 설정에서 가뭄지수와 정부의 가뭄대책과 실제 가뭄상황이 일치되지 않는 경우가 있었다. 이는 체계적인 가뭄 모니터링에 의한 대책의 시행보다는 가뭄이 이미 심하게 진행된 상황에서 대책이 이루어진 경우가 있었기 때문이다. 또한 각 가뭄지수는 설정된 가뭄단계와 서로 다른 단계를 보이는 경우도 있었다.

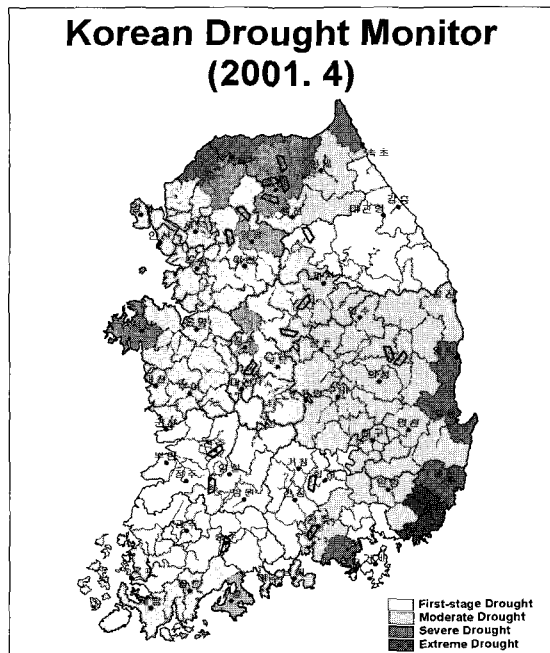


그림 4. 가뭄모니터링 정보

이 같은 원인은 가뭄지수가 갖는 장단점에 의한 것으로 하나의 가뭄지수에 의한 가뭄단계 발령보다는 여러 가뭄지수의 종합적인 가뭄지수에 의한 해석이 필요함을 보여준다. 또한, 가뭄단계의 발령에는 전문가들의 경험적인 판단과 현장 여건의 파악이 필요할 것으로 사료된다.

가뭄정보를 제공하기 위하여 Web기반의 가뭄모니터링 시스템을 개발하였다. 인터넷의 인프라가 잘 구축된 우리나라에서 본 시스템은 물 관리자 및 일반 대중들에게 신속하고 손쉽게 가뭄정보를 제공할 수 있다. 본 시스템은 가뭄의 시공간적인 상황, 가용수자원 현황을 제공하며 가뭄단계 발령을 위한 기반을 제공할 수 있을 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 연구비 지원으로 수행된 가뭄관리종합대책수립연구의 결과입니다.

### 참 고 문 헌

- 강인주, 윤용남 (2002a). “가뭄관리를 위한 수문학적 의사결정에 관한 연구: 1. 마코프연쇄를 이용한 PDSI의 추계학적 거동분석.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제5호, pp. 583-595.
- 강인주, 윤용남 (2002b). “가뭄관리를 위한 수문학적 의사결정에 관한 연구: 2. 가뭄관리를 위한 의사결정 방법.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제5호, pp. 597-609.
- 김기승, 송태정 (2001). “가뭄의 경제적 손실.” **LG 주간경제 6월 20일**, pp. 23-25.
- 김상민, 박승우 (1999). “우리나라 주요 지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교.” **한국농공학회지**, 한국농공학회, 제41권, 제5호, pp. 43-52.
- 김선주, 이광야, 신동원 (1995). “관개용 저수지의 한발 지수 산정.” **한국농공학회지**, 한국농공학회, 제37권, 제6호, pp. 103-111.
- 건설교통부 (1998). **한강수계 하천수 실태조사 및 하천유지유량 산정보고서**.
- 조흥제 (1996). “도시지역 용수관리를 위한 가뭄 예경보 지수에 관한 연구.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제29권 제1호, pp. 221-233.
- 윤용남, 안재현, 이동률 (1997). “Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제30권, 제4호, pp. 317-326.
- 이동률 (1998). **한국과 미국대륙의 가뭄에 대한 엘니뇨의 영향**, 책임연구과제 보고서, 건기연 98-078, 한국건설기술연구원.
- 이동률 (1999). “엘니뇨/남방진동과 한국의 가뭄과 관계.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제2호, pp. 111-120.
- 이동률 (2002). “국가가뭄관리 시스템의 구축방안.” **2002 가뭄대책 심포지움-가뭄의 진단과 가뭄극복 종합대책**, 한국방재협회, pp. 121-156.
- 임경진, 심명필, 성기원, 이현재 (2001). “다양한 시계열을 이용한 가뭄지표 산정.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제34권, 제6호, pp. 673-685.
- 한국수자원공사 (2002). **가뭄관리종합대수립연구보고서**.
- Brislaw, J., M. Gally and L. Boulas (2001). *The Colorado Drought Mitigation and Response Plan*. Colorado, USA.
- Hays, M. (1998). *Drought indices*. National Drought Mitigation Center, Lincoln, Nebraska.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist (1995). “Drought Monitoring with Multiple Time Scales.” *9th Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Boston.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorological Drought*. U.S. Weather Bureau.
- Plamer, R. N., S. L. Kuting and A. C. Steinemann (2002). “Developing Drought Triggers and Drought Responses: An Application in Georgia.” *Proceeding of the 2002 Conference on Water Resources Planning and Management*, EWRI, Virginia, USA, Session B3.
- Shafer, B. A. and L. E. Dezman (1982). “Development of Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas.” *Western Snow Conference*, pp. 164-175.
- Wilhite, D.A., M.V.K. Sivakumar and D.A. Wood (eds.) (2000). “Early Warning Systems for Drought Preparedness and Management.” *Proceedings of an Experts Group Meeting*, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

(논문번호:02-91/접수:2002.11.27/심사완료:2003.04.07)