

# SWSI 가뭄지수를 보완한 농촌용수구역 단위의 가뭄 평가

권형중<sup>1</sup> · 임혁진<sup>2</sup> · 김성준<sup>3\*</sup>

## Drought Assessment of Agricultural District using Modified SWSI

Hyung-Joong KWON<sup>1</sup> · Hyuk-Jin LIM<sup>2</sup> · Seong-Joon KIM<sup>3\*</sup>

### 요 약

본 논문의 목적은 농촌용수구역(안고 및 안서용수구역)에 대하여 보완된 SWSI를 이용하여 농업 가뭄을 평가하는 것이다. 농업가뭄을 평가하기 위한 보완된 SWSI의 입력자료는 강수량, 농업용 저수지의 유입 및 저류량을 사용하였다. 강수량 자료는 대상 용수구역에서 가장 가까운 기상청의 천안관측소 자료를 획득하였고 저수지 저수량 자료는 한국농촌공사로부터 획득하였으며 저수지 유입량 자료는 저수지 상류유역에 대하여 SLURP 모형을 이용하여 산정하였다. 1983년부터 2001년까지 SWSI 기반의 농업가뭄을 평가한 결과, 전국적으로 가뭄이 극심하였던 1994년 7월, 1995년 6월, 2001년 5월에 극심한 가뭄을 나타내었으며 이러한 결과를 PDSI와 SWSI와 비교하였다.

주요어 : 농업가뭄, PDSI, SWSI, 농촌용수구역, SLURP

### ABSTRACT

The purpose of this study is to assess agricultural drought using modified SWSI(Surface Water Supply Index) in Anko and Anseo agricultural district. Precipitation, reservoir inflow and storage data were used for input data of modified SWSI. Precipitation data was obtained from KMA(Korea Meteorological Administration) and reservoir storage data was obtained from KARICO(Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation) and reservoir inflow data was simulated by SLURP(Simple Lumped Reservoir Parametric). SWSI based agricultural drought index was evaluated for the period of 1983 and 2001. As results, for the drought periods(July-1994, June-1995, May-2001) agricultural drought indices represented extremely drought states. The result was compared with PDSI and SWSI and checked the applicability of the suggested index in our agricultural drought situation.

*KEYWORDS : Agricultural Drought, PDSI, SWSI, Agricultural District, SLURP*

2006년 10월 20일 접수 Received on October 20, 2006 / 2007년 3월 26일 심사완료 Accepted on March 26, 2007

1 한국수자원공사 수자원연구원 Research Fellow, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

2 건국대학교 지역건설환경공학과 석사 Master, Department of Rural Engineering, Konkuk University

3 건국대학교 사회환경시스템공학과 부교수 Associate Professor, Department of Civil and Environmental System Engineering, Konkuk University

\* 연락처 E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

## 서론

가뭄은 분석에 있어서 사용되어지는 수문 순환 과정에서의 요소와 물 사용자 및 생태계에 미치는 영향 인자에 따라 다양한 분야에서 각기 다른 정의를 하고 있으며 일반적으로 강수량의 부족으로 인한 기상학적인 가뭄, 지표수 및 지하수의 부족으로 인한 수문학적 가뭄, 토양수분의 부족으로 인한 농업적 가뭄, 용수 및 전력공급의 제한으로 인한 사회·경제적 가뭄으로 분류될 수 있으며, 포괄적으로 어느 지역의 인간생활 및 사회경제 활동이나 동식물 생육에 피해를 가져올 정도로 강수량 부족이 장기화되는 비정상적인 현상으로 정의할 수 있다(Yevjevich et al., 1983; Easterling, 1988, Rossi et al., 1992, Wilhite et al., 2000). 특히 농업적 가뭄은 농작물 생육을 심각하게 저해하는 토양수분의 고갈 현상이라고 정의하고 있으며 농업지역의 토양수분은 농작물의 생육에 매우 밀접하게 영향을 미치는 인자이다. 하지만 토양내 수분량을 계속하거나 모의하여 농업지역의 가뭄을 파악하기에는 현실적으로 어려운 실정이다. 또한, 우리나라와 같이 농업용 저수지의 저수량에 영향을 받는 논 관개지역의 경우는 더더욱 그러하다.

기상청은 PDSI(Palmer Drought Severity Index)를 이용하여 기상학적인 가뭄을 파악하는 시스템을 운영하고 있고 한국수자원공사에서는 SWSI(Surface Water Supply Index)를 이용하여 수문학적 가뭄을 파악하는 시스템을 운영중이며, 계속 연구가 진행 중에 있다. Ryu et al.(2002)은 낙동강 유역의 가뭄평가를 위하여 여러 가뭄지수들을 비교한 연구에서 강우, 댐저류량, 모의에 의한 하천유출량으로서 SWSI를 산정하여 타 가뭄지수와 비교한 결과, SWSI는 강우발생에 의한 기상 및 기후학적 가뭄과 저수지의 저수량에 의한 수문학적 가뭄을 접목시켜 저수지의 용수공급지표로서의 그 활용성이 충분히 있는 것으로 검토한 바 있다. Lee et al.(2003)은 가뭄모니터링시스템을 위한 가

뭄정보 기준을 마련하는데 있어서 SWSI는 각 월의 저수율 상황을 반영하여 물공급원의 상황을 파악할 수 있는 지표로서 다목적댐에서 생·공용수를 공급하는 지역의 가뭄정보 기준을 마련하는데 사용한 바 있다. 이러한 연구들은 기상학적 혹은 수문학적 가뭄을 평가하기 위해 수행되었으며, 농업가뭄을 평가하는 연구 및 체계는 미비한 실정이다. 농어촌연구원(2004)에서 농업가뭄지표 및 시스템 개발을 하고 있으며, Kim et al.(1995)은 SWSI를 변형하여 관개용 저수지의 한발지수인 WSI(Water Supply Index)를 개발하여 탐정, 대아, 예당, 나주호의 저류량과 강수량을 이용하여 한발지수를 산정하고 농업가뭄에 대한 등급을 분류한 바 있다.

본 연구에서는 SWSI의 입력인자로서 강수량, 저수지 유입량 및 저수량을 사용하여 농업용 저수지를 포함하는 용수구역 단위를 기반으로 농업적 가뭄을 평가하였다. 용수구역을 저수지 상·하류로 구분하여, 상류는 저수지 유입량 및 강수량, 하류는 저수지 저수량 및 강수량을 이용하였으며, 저수지 유입량은 계측 자료의 부족으로 인하여 SLURP 모형을 이용하여 산정하였다.

## 기본이론 및 입력자료의 구축

### 1. 기본이론

농업적 가뭄을 평가하기 위하여 SWSI를 사용하였으며 입력인자로서 저수지 유입량 및 저수량, 강수량을 사용하였다. SWSI는 미국의 DRP(Colorado Drought Respones Plan: 1981)에서 표면유출인자(강우, 강설, 하천유출, 저수량)를 사용하여 가뭄을 평가하는 지표로 개발되었다. 이 가뭄지표의 본래 목적은 산악수 의존유역에서 용수 유용성의 지표가 되고 가뭄의 평가가 가능하도록 유역에서의 용수공급 상태의 비교가 가능하도록 개발되었다(Shafer and Dezman, 1982). 이 지수의 기본적인 개념은 각 수문인자들의 비초과확률(non-exceedance

probability)변수를 사용하는 것으로 식 1로 표현된다.

$$SWSI = \frac{a \times PN_{sp} + b \times PN_{pcp} + c \times PN_{sf} + d \times PN_{rs} - 50}{12} \quad (1)$$

여기서, PN은 비초과확률이며, a, b, c, d는 각 수문인자의 가중계수(a+b+c+d=1), sp는 적설인자(snowpack component), pcp는 강수인자(precipitation component), sf는 하천유출인자(streamflow component), rs는 저류량인자(reservoir component)이다.

Shafer and Dezman(1982)은 콜로라도 유역에 적용함에 있어 겨울에는 적설 인자와 유출인자 중 적설인자만을 고려하여 사용하고 여름철의 경우에는 적설인자를 유출인자로 대체하여 사용하였다. 또한, 저수지가 없는 지역의 경우 저류량 인자를 제외하여 가뭄지수를 산정하였으며, 가중계수는 겨울철과 여름철의 각 수문인자의 유역에 대한 기여를 재산정하여 사용하였다. 이것은 각 수문인자가 유역의 용수공급 능력에 미치는 영향이 계절에 따라 변함을 의미한다. 또한, 유역의 특성에 따라 용수공급 수문인자가 달라짐을 의미하며, 가뭄을 평가할 때 고려되어야 하는 수문인자가 유역에 따라 달라짐을 의미한다.

SWSI를 산정하기 위해서는 적설량, 강수량, 하천유출량, 저류량이 사용되지만 본 연구에서는 농업용 저수지를 포함하는 용수구역단위에 있어서 가뭄에 영향을 미치는 인자를 강수량, 저수지 유입량 및 저수량으로 결정하고 용수구역내의 저수지 상류지역은 강수량, 저수지 유입량, 하류지역은 강수량, 저수지 저수량을 사용하였다. 각 수문인자의 월단위 자료를 이용하여 월단위 농업가뭄 지수를 산정하였다. 또한, 저수지 상·하류의 수문인자 가중계수는 Mekee et al.(1992)이 제안한 방법으로서 산정하였다. 농업가뭄을 평가하기 위하여 보완된 SWSI는 ASWSI(Agricultural SWSI)라 하였으며 식 2로 표현할 수 있다. 여기서 50을 빼

주고 12로 나눈 것은 산정결과를 PDSI와의 가뭄 범위에 맞추어 비교가 가능하도록 한 것이다.

$$ASWSI = \frac{a \times PN_{st} + b \times PN_{if} + c \times PN_{pcp} - 50}{12} \quad (2)$$

여기서, PN은 비초과확률이며, a, b, c는 각 수문인자의 가중계수(a+b+c=1), st는 저수지 저류량(reservoir storage component), if는 저수지 유입량(reservoir inflow component), pcp는 강수인자(precipitation component)이다.

## 2. 대상지역

농업용 저수지의 유입량 및 저수량을 사용하여 용수구역 단위의 농업적 가뭄지수를 산정하기 위하여 경기도 안성시에 위치한 안고, 안서용수구역을 선정하였다(그림 1). 안고용수구역은 고삼저수지를 포함하고 있으며 총 용수구역 면적은 157.2km<sup>2</sup>, 고삼저수지 상류는 67.5km<sup>2</sup>, 하류는 89.7km<sup>2</sup>이다. 안성시 고삼면에 위치한 고삼저수지의 유효저수량은 15,217천톤이며 수혜면적은 2,970ha이다. 안서용수구역은 금광저수지를 포함하고 있으며 총 용수구역 면적은 146.8km<sup>2</sup>, 금광저수지 상류는 48.2km<sup>2</sup>, 하류는 98.6km<sup>2</sup>이다. 안성시 금광면에 위치한 금광저수지의 유효저수량은 12,047천톤이며 수혜면적은 1,245ha이다.

## 3. 입력자료의 수집 및 구축

강수자료는 기상청의 전국 76개 유인지상기상관측소 중 대상지역 인근에 있는 5개의 기상관측소(수원, 천안, 이천, 충주, 청주)의 강우자료를 사용하였다. 용수구역의 월별 평균 공간강우자료를 생성하기 위하여 5개 관측소의 1974년부터 현재까지의 월강우자료로서 표면내삽법(IDW: Inverse Distance Weight)을 이용하여 월별 공간강우자료를 생성하였다. 각 관측소별로 일강우자료를 합산하여 월강우자료를 구한 후 이를 이용하여 월별 공간강우자료를 생성하였는데 대상지역내에 강우 관측소

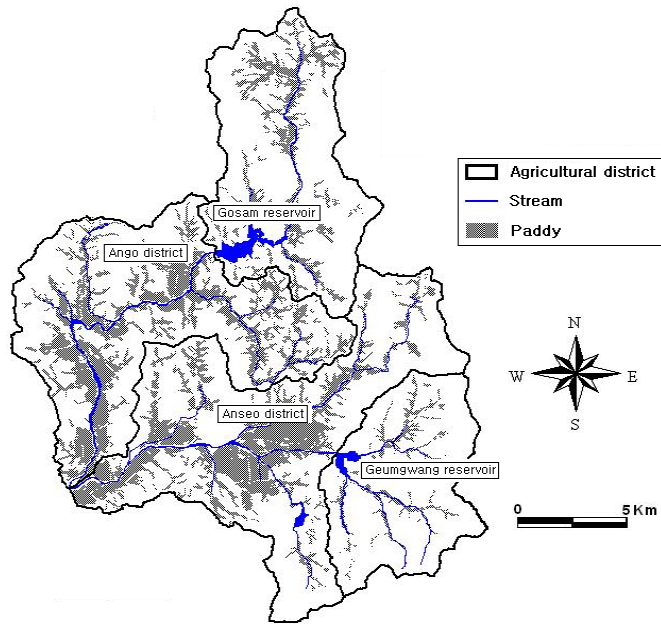


FIGURE 1. Study area

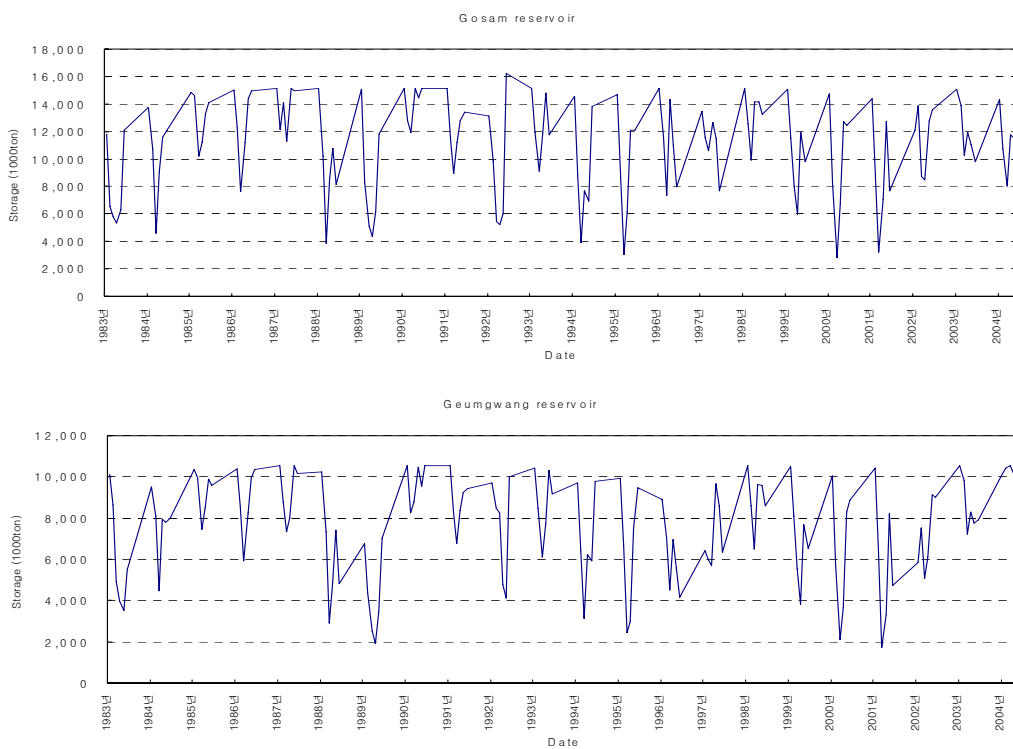


FIGURE 2. Reservoir storage

가 위치하고 있지 않으므로 공간강우자료를 사용하였다.

저수량 자료는 농업기반공사의 경기도 안성 지사에서 관리하고 있는 고삼 및 금광저수지의 저류 실적(1983~2004) 대장을 이용하여 전산화 작업을 통하여 각 저수지의 월평균 저수량 자료를 생성하였다(그림 2).

고삼 및 금광저수지의 유입량 자료는 실측 자료의 부재로 인하여 준분포형 강우-유출 모형인 SLURP 모형을 이용하여 산정하였다(Lim et al., 2004).

SLURP 모형은 미육군공병단에서 SSARR 모형과 같은 복잡한 모형의 대안으로서 캐나다의 중·대규모유역에 사용하기 위하여 1975년에 처음 Simple Lumped Reservoir Parametric으로 개발되었으며 이후 준분포모형으로 발전되었다. SLURP 모형은 준분포형 모형의 형태를 띠고 있지만 분포형 모형에 사용 가능한 개념적 모형이다. 이는 집중형 모형과 같이 모의에 필요한 물리적 현상을 단순하게 통합하며 분포형 모형을 사용하였을 때 오는 자료의 손실과 초과에 대한 유역특성을 모의할 수 있

는 물리적 해석 모형으로 특히, 강우사상을 강우사상과 강설사상으로 분리하여 모의함으로써 용설에 대한 수문특성을 반영한다. SLURP 모형은 토지피복별로 세분화되는 ASAs로 알려진 공간 단위로부터 일 단위 강우-유출을 수문해석하며, 입력자료는 지형자료(ASA 평균고도값, 수로연장, 토지피복상태 등), 시계열 자료(기온, 강수 등), 물리적 매개변수(조도계수, 차단계수) 등을 이용한다. 지형자료의 경우 GIS와 수치지형분석모형기법을 사용하여 획득할 수 있다. 시계열 자료는 기상관측소에서 실측한 값을 사용하며 매개변수들은 측정·추정·보정된 값을 사용한다. 모형의 유출모의는 각각의 토지피복별 격자매트릭스와 ASAs 소유역에 대한 연직방향 물수지해석에 의하여 이루어지며 이는 수관저류, 강설초기저류, 급속저류(지표면저류, 토양층저류 등), 완속저류(지표하저류 등)의 네 가지 수직구조로 구성된다.

모형의 입력자료로서 DEM(Digital Elevation Model), 토지피복도, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), 기상자료(강우, 온도, 풍속, 상대습도, 이슬점온도, 일조시간)가 사용된다.

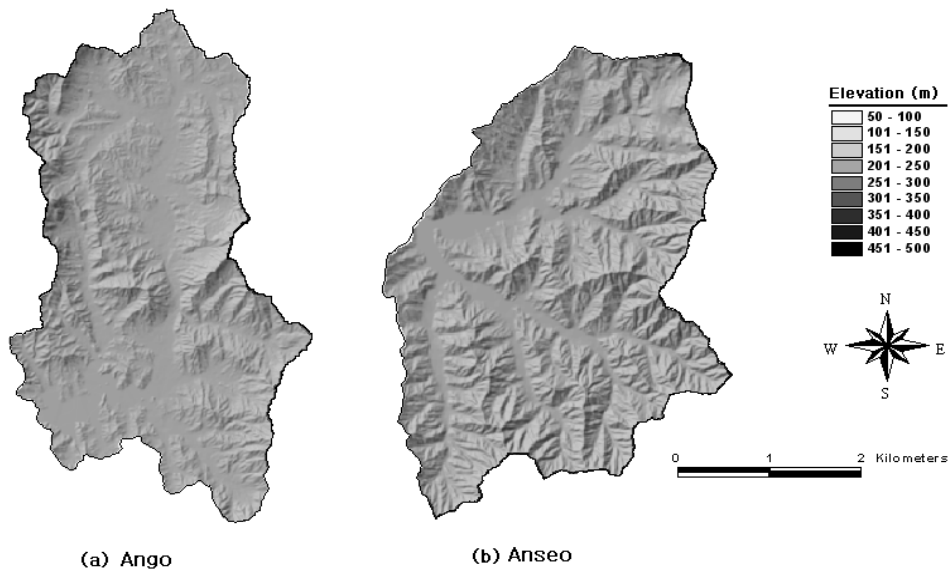


FIGURE 3. DEM

DEM은 일반적으로 지형의 표고를 나타내는데 가장 많이 이용되며 수문모형에서 입력자료로 사용되어 지형 및 지표면의 특성을 분석함으로써 지형적 매개변수를 결정하는 방법으로 이용된다. 즉, 유역의 지표면 경사, 경사향 등의 매개변수를 결정하여 수문모형에 활용, 정확한 유출량 등을 예측한다. 본 연구에서는 1:5,000 NGIS 수치지도를 사용하여 공간해상도 30m×30m의 DEM을 구축하였다(그림 3).

토지피복도는 건교부 유역조사에서 Landsat TM 위성영상으로부터 구축한 년도별(1985, 1990, 1995, 2000) 토지피복도(그림 4)를 사용하여 과거로부터의 토지피복 변화에 따른 유

출량을 산정하였다.

NDVI는 NOAA/AVHRR 위성영상으로부터 추출하여 월별 NDVI 자료를 사용하였다(Kwon et al., 2005). NOAA/AVHRR 위성영상은 1994년부터 2001년까지의 영상을 기상청으로부터 제공받았으며, 모의하고자 하는 전 기간(1983-2001)에 대하여 NOAA/AVHRR 영상이 확보되지 못한 관계로 1994년부터 2001년까지 추출한 NDVI를 연도별로 평균하여 전 기간에 대하여 적용하였다. 1980년부터 2001년까지 일유입량 산정을 위하여 사용된 매개변수는 1998년부터 2001년까지 보정된 매개변수를 전 기간에 대하여 적용하였다(표 1).

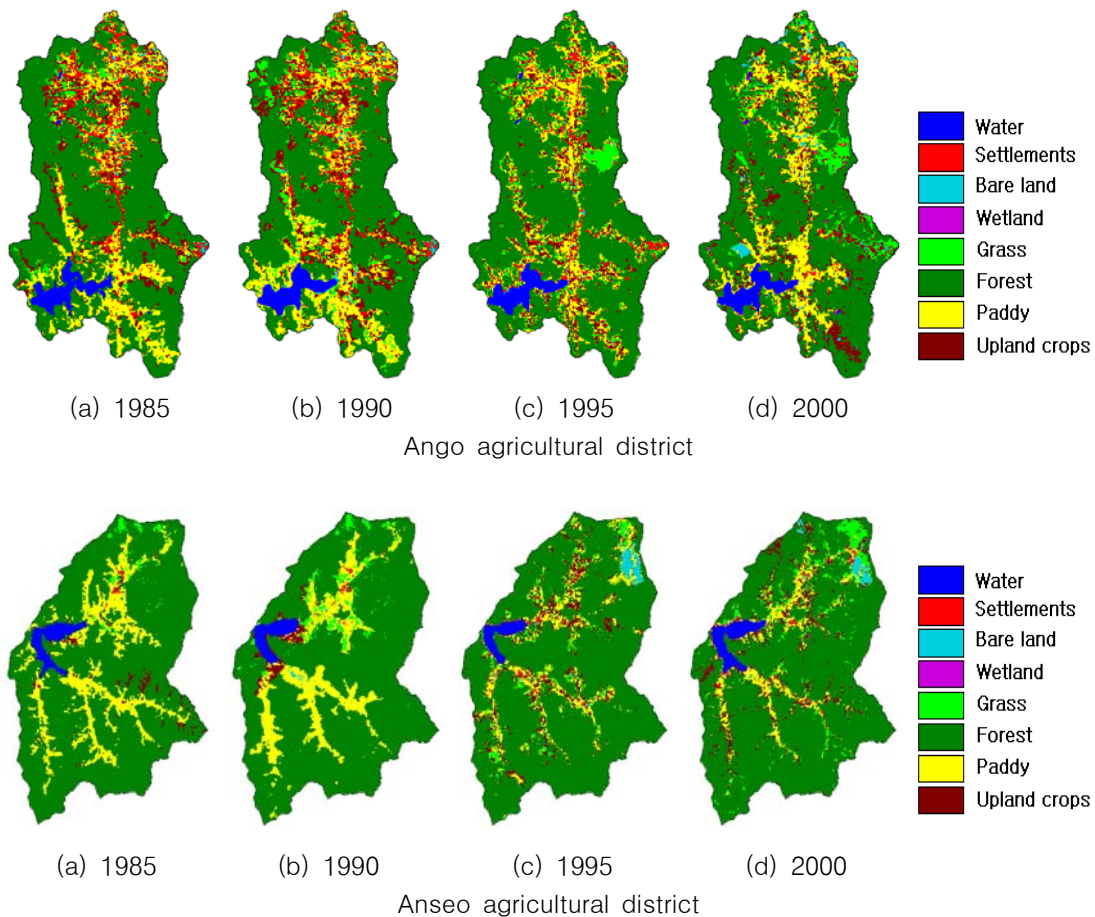


FIGURE 4. Land cover maps

TABLE 1. Calibrated parameters of SLURP

Parameters	Water	Urban	Bare-ground	Wet-land	Grass-land	Forest	Paddy	Upland-crop
Initial contents of snow store(mm)	807.5	344.70	958.8	0.0	160.4	134.6	236.9	610.9
Init. contents of slow store(% of max)	50.0	82.6	31.7	0.0	53.4	58.0	23.4	52.7
Maximum infiltration rate(mm/day)	200.0	64.4	179.9	10.0	41.4	89.9	78.6	60.3
Manning roughness, n	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Retention constant for fast store	1.0	50.0	50.0	1.0	50.0	50.0	50.0	1.0
Maximum capacity for fast store(mm)	0.0	201.5	68.7	0.0	318.3	287.1	179.0	181.1
Retention constant for slow store	1000,000.0	66,950.0	32,170.0	10.0	17,550.0	34,530.0	79,970.0	52,010.0
Maximum capacity for slow store(mm)	82,300.0	22,330.0	75,900.0	100.0	8,417.0	13,730.0	71,150.0	15,220.0
Precipitation factor	1.0	0.8	1.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Rain/snow division temperature( $^{\circ}$ C)	1.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.6	2.0	0.0

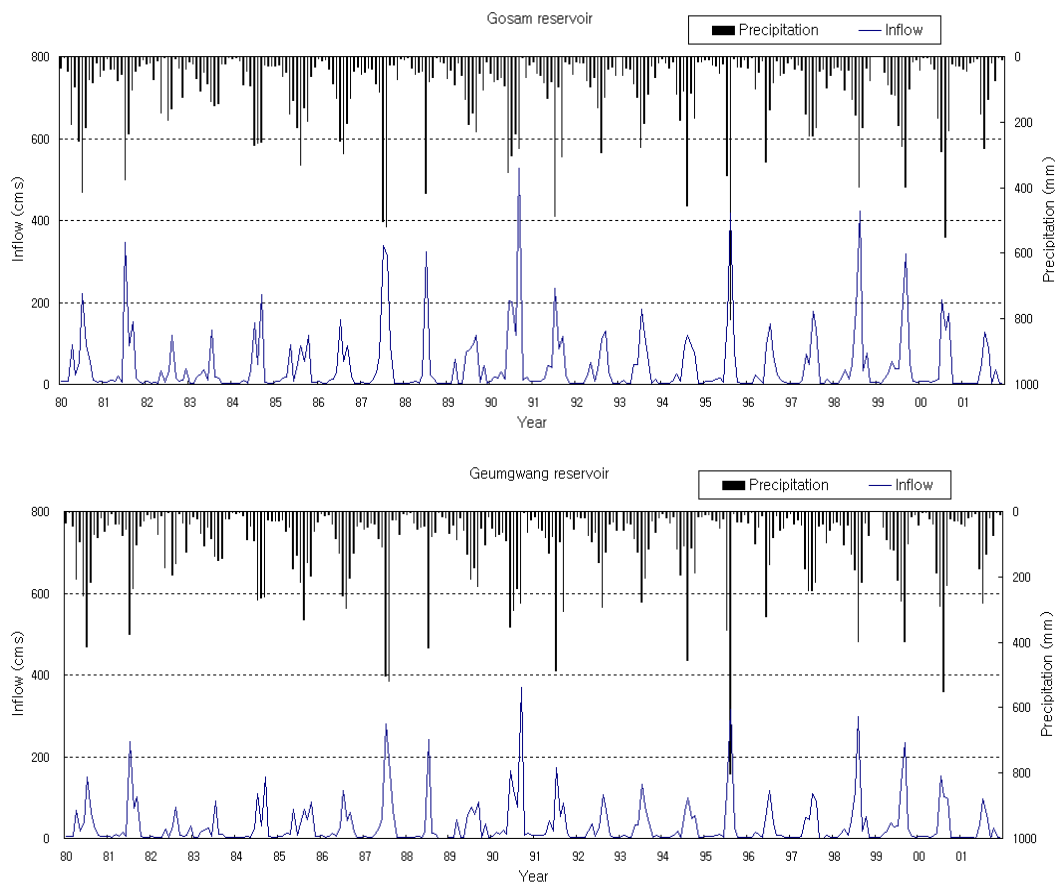


FIGURE 5. Reservoir inflow

TABLE 2. Statistical reservoir inflow of each year

Year	Gosam			Geumgwang		
	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.
1980	220.9	6.1	49.3	150.3	4.1	33.4
1981	346.9	3.8	56.1	235.8	2.0	38.4
1982	120.1	3.2	23.5	77.5	1.9	16.2
1983	131.6	2.0	22.4	92.0	1.7	15.8
1984	219.3	1.7	40.2	149.7	1.3	27.8
1985	119.3	4.7	40.3	88.9	4.4	30.1
1986	158.6	2.5	33.5	117.3	2.4	25.3
1987	339.9	2.5	72.9	281.0	2.6	53.7
1988	322.8	1.6	33.9	242.8	1.1	25.1
1989	119.3	1.9	41.9	88.8	1.5	31.5
1990	527.3	7.6	97.7	368.2	5.5	68.3
1991	235.6	3.4	49.8	172.3	2.8	35.3
1992	130.6	2.5	34.1	108.2	2.0	23.9
1993	184.5	2.5	41.2	131.5	1.7	28.6
1994	119.5	2.1	36.7	98.7	1.8	25.4
1995	417.0	3.4	59.8	316.4	2.0	41.0
1996	148.5	2.4	33.4	117.0	1.8	22.5
1997	178.5	1.9	39.2	109.1	1.2	26.8
1998	422.3	2.7	70.2	297.0	2.4	48.6
1999	317.7	3.7	64.0	235.5	2.9	44.3
2000	205.5	2.1	47.0	153.0	2.1	33.1
2001	128.2	1.8	26.7	95.7	1.2	18.8

TABLE 3. Statistical reservoir inflow of each month

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Gosam	Max.	8.8	17.2	61.6	97.5	97.0	203.7	346.9	422.3	527.3	119.3	46.5	38.0
	Min.	1.9	1.7	1.9	1.9	1.8	4.6	32.2	17.8	1.9	1.8	1.6	1.7
	Ave.	4.8	4.7	10.7	17.1	27.8	42.1	165.2	135.9	108.7	23.6	7.3	5.0
Geum- gwang	Max.	8.0	15.0	45.8	68.4	70.9	164.9	281.0	316.4	368.2	88.9	36.0	30.3
	Min.	1.6	1.5	1.5	1.8	1.2	2.2	25.7	9.7	1.2	1.2	1.1	1.3
	Ave.	3.8	3.9	8.2	12.3	20.1	31.1	118.8	94.9	71.4	15.4	5.3	4.1

표 2, 표 3 및 그림 5는 SLURP 모형을 이용하여 고삼 및 금광저수지의 모의된 일유입량을 년도별/월별로 정리한 것이다.

### 농업가뭄지수 산정 및 분석

SWSI를 이용하여 농업가뭄지수를 산정

하기 위해서는 용수구역내의 가뭄에 영향을 미치는 수문인자를 결정하고 결정된 각종 수문인자들을 통계학적으로 분석하여야 한다. Shafer and Dezman(1982)은 각종 수문인자에 확률의 개념을 추가하여 수문인자들의 비교 및 조합이 가능하도록 하였다.



TABLE 4. Weighting factors

District	Component	Month												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ango	Up stream	Precipitation	0.58	0.64	0.57	0.56	0.49	0.51	0.34	0.39	0.28	0.41	0.67	0.64
		Inflow	0.42	0.36	0.43	0.44	0.51	0.49	0.66	0.61	0.72	0.59	0.33	0.36
	Down stream	Precipitation	0.19	0.22	0.34	0.44	0.55	0.76	0.82	0.79	0.65	0.42	0.39	0.28
		Storage	0.81	0.78	0.66	0.56	0.45	0.24	0.18	0.21	0.35	0.58	0.61	0.72
Anseo	Up stream	Precipitation	0.56	0.60	0.56	0.56	0.49	0.51	0.34	0.40	0.30	0.44	0.67	0.61
		Inflow	0.44	0.40	0.44	0.44	0.51	0.49	0.66	0.60	0.70	0.56	0.33	0.39
	Down stream	Precipitation	0.20	0.23	0.34	0.44	0.54	0.74	0.82	0.79	0.65	0.42	0.39	0.28
		Storage	0.80	0.77	0.66	0.56	0.46	0.26	0.18	0.21	0.35	0.58	0.61	0.72

TABLE 5. Level of agricultural drought index

Index	Drought level	Index	Drought level
More 4.0	Extremely wet	-1 -- -1.9	Slightly drought
3 - 3.9	Very wet	-2 - -2.9	Moderately drought
2 - 2.9	Moderately wet	-3 - -3.9	Very drought
1 - 1.9	Slightly wet	Less -4.0	Extremely drought
-0.9 - 0.9	Normal		

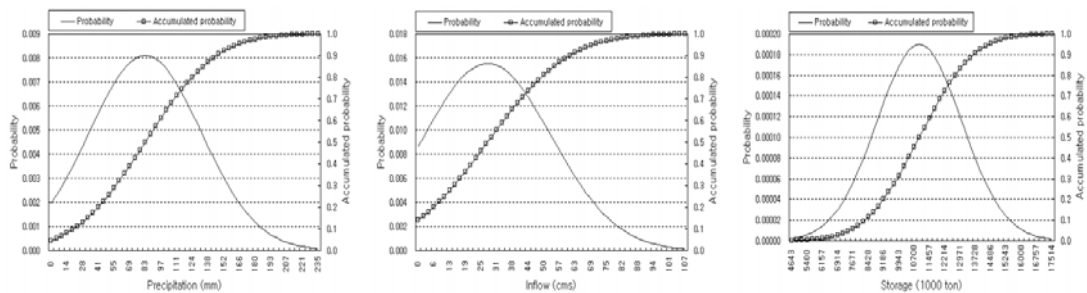


FIGURE 6. Non-exceedence probability (Gosam reservoir)

각각의 수문인자로 이루어진 시계열을 분석하여 월별 확률밀도함수를 산정하고, 이를 이용하여 누가확률분포함수를 산정하여 각 수문인자의 비초과확률을 작성하였다(그림 6). 또한, 각 수문인자가 유역에 미치는 가중치를 산정하기 위해서는 각종 수문인자가 그 유역에 작용하는 잠재적인 모든 영향을 고려하여야 하나 이를 실제 정량화 하기는 어렵다. 따라서

각종 수문인자의 상대적인 기여를 첨가하여 가중계수를 취하는 Mckee et al.(1992)의 방법을 채택하였다. 표 4는 산정된 각 용수구역의 월별 수문인자 가중치이다.

작성된 용수구역별 수문인자의 비초과확률과 가중치를 이용하여 식 2에 의하여 농업가뭄지수를 산정하였다. 고삼 및 금광저수지의 저수량 자료가 1983년부터 기록된 관계로 1983년부터

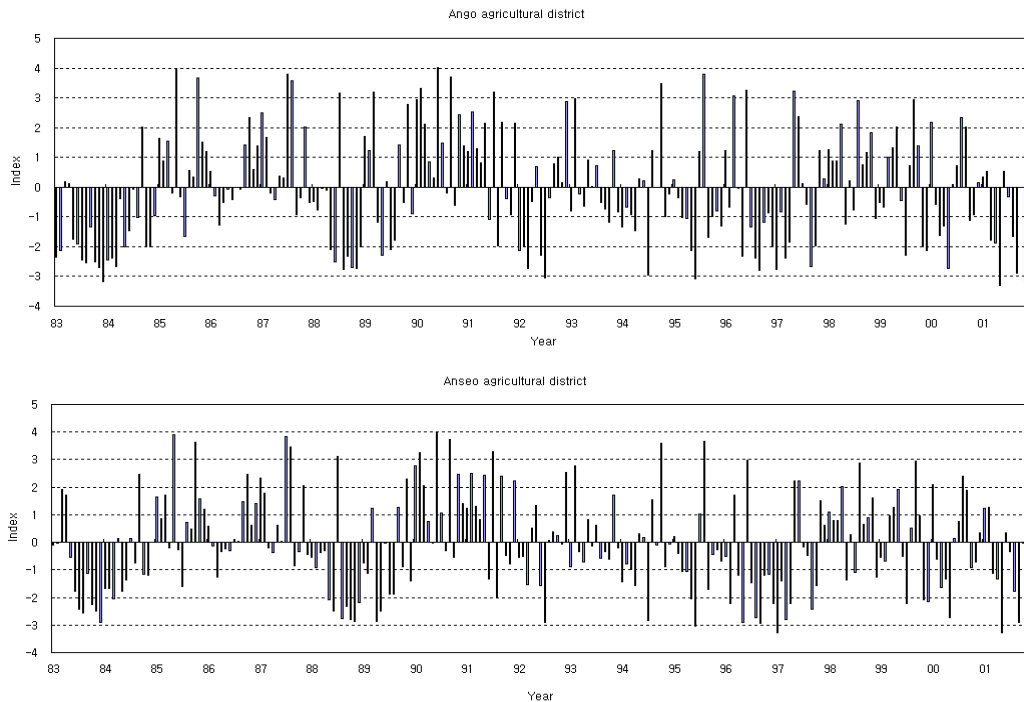


FIGURE 7. Agricultural drought index(1983~2001)

2001년까지의 각 용수구역별 상·하류의 농업가뭄지수를 산정하였다. 그림 7은 상·하류의 가뭄지수를 평균하여 나타낸 그림이다. 산정된 지수는 SWSI 가뭄지수와 같이 4.17에서 -4.17 사이의 값을 가지며 단계별 가뭄상태는 표 5와 같다.

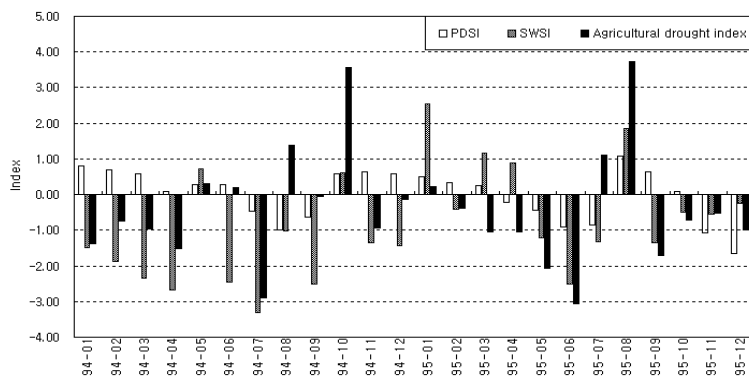
그림 7로 미루어 볼 때, 90년대 이후 극심한 가뭄으로 조사되었던 1994~1995년 및 2001년 가뭄에 대하여 산정된 농업가뭄지수 값이 잘 추적하는 것으로 판단된다. 특히, 농림부(1995)의 '94, '95 가뭄조사보고서에 의하면 1994년 7월, 9월에 발생했던 1차, 2차 가뭄피해에 대하여 농업가뭄지수는 안고용수구역이 각각 -2.95, -0.01을 나타내었으며, 안서용수구역은 -2.84, -0.11을 나타내었다. 1994년 1차 가뭄피해가 발생했던 7월의 가뭄지수는 두 개의 용수구역 모두 심한가뭄으로 표현하고 있지만 2차 가뭄피해가 발생했던 9월은 정상상태로 표현하고 있다. 9월에 발생한 전국적인 가뭄피해는 각종 용수의 제한급수 및 운반급수에 의한

피해 사례로 조사된 반면, 용수구역내의 농업용 저수지는 저수지 하류의 논 수혜구역에 대한 관개를 목적으로 물을 저류하고 있기 때문에 대부분의 농업용 저수지의 9월 저수량은 만수상태를 유지하여 정상상태로 표현된 것이라 판단된다. 실제로 고삼저수지의 유효저수량은 15,217천톤이고 9월 평균 저수량은 11,681천톤이며 1994년 9월의 저수량은 13,796천톤으로 만수상태를 유지하고 있다. 1995년 6월의 가뭄피해에 대하여 안고용수구역은 -3.07, 안서용수구역은 -3.04로 심한가뭄으로 표현하고 있다. 또한, 2001년 5월 및 8월의 가뭄피해(한국수자원공사, 2001)에 대하여 안고용수구역은 각각 -3.32, -1.65, 안서용수구역은 -3.27, -1.79를 나타내어 각각 심한가뭄 및 약한가뭄으로 표현하고 있다.

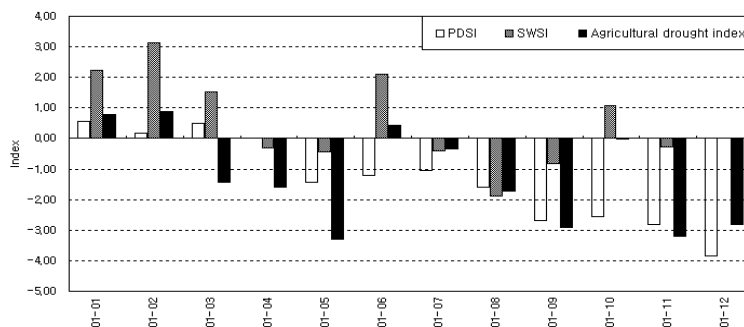
우리나라의 가뭄상황은 지역별로 편차를 보이고 있는데 특히, 농업가뭄은 해당 용수구역의 농업용 저수지의 저수량에 따라 민감하게

반응한다. 현재까지 전국 혹은 지역적인 가뭄을 파악하는 대부분의 연구 및 체계는 PDSI나 SPI, SWSI와 같은 가뭄지수들을 이용하였다(Ryu et al., 2002; Lee et al., 2003; 한국수자원공사, 2002). 하지만, 대부분의 도시지역의 가뭄은 광역상수도망에 의하여 각종 용수가 공급되고 있어 강우보다는 물 공급원인 댐의 저류량에 따라 민감하게 반응하고 있다. 또한 농경지는 국토의 22%이고 그 중 논은 64% 차지하고 있어 기존의 가뭄지수로서 지역적인 가뭄상태를 파악하기에는 부적합한 것으로 판단된다. 따라서, 가뭄 년도에 대하여 본 연구에서 산정된 농업가뭄지수와 기상학적인 가뭄지수로 알려진 PDSI(한국수자원공사, 2002), 수문학적 가뭄지수인 SWSI(한국수자원공사, 2004)를 비교하여 각 가뭄지수의 지역적인 가뭄 표현 특성을 살펴보았다(그림 8).

대상지역에 대하여 PDSI, SWSI, 농업가뭄지수 지수를 비교한 결과, 전체적으로 논 관개시기에서는 농업가뭄지수가 다른 가뭄지수에 비해 가뭄 및 습윤 정도가 더 심한 것으로 나타났다. 전국적으로 가뭄이 극심했던 1994년 7월의 경우, PDSI는 정상상태를 나타내고 SWSI는 심한가뭄, 농업가뭄지수는 보통가뭄을 표현하고 있으며 1994년 9월의 경우에는 PDSI는 정상상태, SWSI는 보통가뭄, 농업가뭄지수는 정상상태를 나타내고 있다. PDSI는 지표의 물부족 상태를 표현하지 못하는 반면 SWSI는 지표의 수문인자를 입력자료로 사용하고 있어 당시의 가뭄상태를 표현하고 있다. 농업가뭄지수는 앞서 언급한 바와 같이 7월의 저수지 물부족 상태로 인하여 가뭄을 표현하고 있고 9월은 만수 상태로 회복되어 정상상태로 표현하고 있다. 1995년 6월의 경우는 PDSI는 정상



(a) 1994~1995



(b) 2001

FIGURE 8. Comparison of drought indices

상태, SWSI는 보통가뭄, 농업가뭄지수는 심한 가뭄을 표현하고 있다. 2001년 5월의 경우는 PDSI는 약한가뭄, SWSI는 정상상태, 농업가뭄지수는 심한가뭄을 표현하고 있다. SWSI가 정상상태를 표현하고 있는 이유는 5월 평균 강수량 85mm에 비하여 58mm의 부족한 강수량에도 불구하고 하천유량이 5월의 평균 하천유량인 4.9m<sup>3</sup>/s에 가까운 4.1m<sup>3</sup>/s이기 때문이다.

1994년 8월 및 1995년 7월의 경우에는 PDSI 및 SWSI는 가뭄상태를 나타내는 반면 농업가뭄지수는 정상상태를 나타내는데 이는 PDSI 및 SWSI는 대기 및 지표의 물부족 현상을 나타내는 반면 농업가뭄지수는 6-7월에는 많은 관개량이 필요하지 않으며 장마기간 동안 저수지 저류량을 확보한 것으로 사료된다. 또한 2001년 3월의 경우에는 PDSI와 SWSI는 정상상태를 나타내는 반면 농업가뭄지수는 약한가뭄을 표현하고 있는데 이는 3월부터 시작되는 봄가뭄을 농업가뭄지수가 표현하고 있다.

이와 같이 가뭄지수별로 다른 가뭄상태를 표현하고 있는 이유는 PDSI는 대기의 습윤상태를 표현하기 위하여, SWSI는 물공급 특성을 고려한 지표의 습윤상태, 농업가뭄지수는 관개지역의 습윤상태를 표현하기 위하여 각각 다른 입력자료를 사용하기 때문이다. 본 연구의 분석결과로 미루어 볼 때, 우리나라와 같이 지역적으로 물공급 특성이 상이한 상태에서는 하나의 가뭄지수로 전국 혹은 지역적인 가뭄표현이 불가능하며, 농업지역 특히, 농업용 저수지로부터 수혜 받는 논 관개지역의 가뭄평가에는 저수지 유입량 및 방류량 자료가 필수적으로 사용되어야 함을 확인하였다.

## 요약 및 결론

본 연구는 농업적 가뭄을 평가하기 위하여 SWSI 가뭄지수를 보완하여 안고 및 안서 용수구역을 대상으로 농업가뭄지수를 산정하였다. 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

- ① SWSI의 입력인자로서 강수량, 농업용 저수지 유입량 및 저류량을 사용하였다. 용수구역내의 저수지 상류지역은 강수량 및 유입량, 하류지역은 강수량 및 저류량을 사용하여 농업가뭄지수를 산정하였다.
- ② 강수량은 기상청의 유인지상기상관측소의 자료를 사용하였고 저수지 저류량은 농업기반공사에서 보유하고 있는 저류실적 자료를 사용하였으며, 저수지 유입량 자료는 강우-유출모형인 SLURP 모형으로서 모의하였다.
- ③ 1983년부터 2001년까지 농업가뭄지수를 산정한 결과, 1994년 7월, 9월에 발생했던 1차, 2차 가뭄피해에 대하여 농업가뭄지수는 안고용수구역이 각각 -2.95, -0.01을 나타내었으며, 안서용수구역은 -2.84, -0.11을 나타내었고 1995년 6월의 가뭄피해에 대하여 안고용수구역은 -3.07, 안서용수구역은 -3.04, 2001년 5월 대하여 안고용수구역은 -3.32, 안서용수구역은 -3.27를 나타내어 가뭄 상태를 잘 표현하고 있다.
- ④ 1994년 2차 가뭄피해가 발생했던 9월을 정상상태로 표현하고 있는 이유는 9월에 발생한 전국적인 가뭄피해는 각종 용수의 제한급수 및 운반급수에 의한 피해 사례로 조사된 반면, 용수구역내의 농업용 저수지는 저수지 하류의 논 수혜구역에 대한 관개를 목적으로 물을 저류하고 있기 때문에 대부분의 농업용 저수지의 9월 저수량은 만수상태를 유지하여 정상상태로 표현된 것이라 판단된다.
- ⑤ 기상학적, 수문학적 가뭄지수와 비교한 결과, 가뭄지수별로 다른 가뭄상태를 표현하고 있어 하나의 가뭄지수로 전국 혹은 지역적인 가뭄표현이 불가능하며 특히, 농업용 저수지로부터 수혜 받는 논 관개지역의 가뭄평가에는 저수지 유입량 및 방류량 자료가 필수적으로 사용되어야 함을 확인하였다. **KAGIS**

## 참고 문헌

- 권형중, 신사철, 김성준, 2005, NOAA/AVHRR 위성영상을 이용한 기후학적 물수지 분석. 한국농공학회논문집. 47(1):3-9.
- 농림부, 1995, 94, 95 가뭄조사보고서.
- 농어촌연구원, 2004. 농업가뭄평가를 위한 가뭄지수 활용방안.
- 김선주, 이광야, 신동원. 1995. 관개용 저수지 한발지수산정. 한국농공학회지 37(6):103-111.
- 류재희, 이동률, 안재현, 윤용남. 2002. 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구. 한국수자원학회논문집. 35(4):397-410.
- 이동률, 이대희, 강신욱. 2003. 가뭄 경보기준과 모니터링 시스템. 한국수자원학회논문집. 36(3):375-384.
- 임혁진, 권형중, 장철희, 김성준. 2004. SLURP 모형을 이용한 유출수문분석-소양강댐 유역을 대상으로-. 한국수자원학회논문집. 37(8):631-641.
- 한국수자원공사. 2002. 가뭄관리 종합대책 수립연구.
- 한국수자원공사. 2004. 가뭄관리모니터링체계수립.
- 한국수자원공사. 2001, 2001. 가뭄조사보고서.
- Easterling, W. E. 1998. Coping with drought hazard: recent progress and research priorities, In: Siccard, F. and Bras, R. L.(Eds), Natural disasters in European Mediterranean countries, NSF and NRC, Perugia(Italy), pp. 231-270.
- McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. 8th Conference on Applied Climatology, Jan., Anaheim, CA, pp. 179-184.
- Rossi, G., M. Benedini, G. Tsakiris and S. Giakoumakis. 1992. On Regional drought estimation and analysis. Water Resour. Manage., (6):249-277.
- Shafer, B. A and L. E. Dezman. 1982. Development of surface water supply index to assess the severity of drought condition in snowpack runoff areas. Proc. Western Snow Conf., pp. 164-175.
- Wilhite, D.A., 2000, Drought. A global assessment for drought, Westview Press, Boulder.
- Yevjevich, V., Da Cunha L. and E., Vlachos. 1983. Coping with droughts, Water Resources Publication, Littleton, Colorado. **KAGIS**