

관개용 저수지의 한발지수산정

Drought Index Calculation for Irrigation Reservoirs

김 선 주* · 이 광 야** · 신 동 원***
Kim, Sun Joo · Lee, Kwang Ya · Shin, Dong Won

Summary

Drought index calculation based on the principal hydrological parameters, such as rainfall and reservoir storage, can estimate the duration and intensity of drought in irrigation reservoirs. It is difficult to build up a drought criteria since the conditions change variously by the reliability of rainfall.

Because of the increasing water demands, it is urgent to prepare a generalized positive countermeasure to overcome drought. Water demands can be calculated by the estimation of drought characteristics, and the effective water management method can be established.

The purpose of this study is to obtain a drought index and build up a data-base on the reservoir basins for establishing the fundamental hydrological data-base. This Index can observe the behavior of the WSI(Water Supply Index) and the component indices.

The results summarized through this study are as follows.

1. WSI value of zero does not correspond to 100% in average due to the skewness in the probability distributions.
2. WSI is not a linear index; that is, given change in terms of water volume or percentage of average does not result in a proportional change on the WSI scale.
3. WSI is not always between the reservoir and the rainfall index in magnitude. This is only true if the component indices are of opposite sign. If they are of the same sign, the SWSI will often have a magnitude greater than either of the component indices. This is easily understood, because the concurrence of extreme values of the same sign for the two components is rarer than the occurrence of extreme values for either of the two components individually.

* 건국대학교 농과대학

** 농어촌진흥공사 조사설계처

*** 농림수산부 농어촌용수과

키워드 : 한발예보, 물관리조작, 한발DB구축 한

발지표, WSI, DBWIS

I. 서 론

일반적으로 한발이란 강수량의 부족으로 인한 건조기간으로 인식되고 있으나, 관련된 전문 분야에 따라 다음과 같은 다섯 가지 기준으로 정의되고 있다²⁰⁾.

첫째, 주어진 기간 동안의 강수량이나 무강수 계속 일수 등으로 정의하는 기상학적 강수 한발, 둘째 월별 또는 연별 평균값과 당해연도의 월별 또는 연별 강수량과의 백분율로 정의하는 기후학적 강수한발, 셋째 기온, 바람 및 습도 등에 의해 정의하는 대기한발, 넷째 농작물의 생육에 직접 관계되는 토양수분에 의해서 정의하는 농업한발, 다섯째 하천, 저수지, 지하수 등의 수위에 중점을 두고 용수 부족에 의해 정의하는 수문한발로 나눌 수 있다.

강수량 부족과 증발산에 관련된 기상 변수들과 같은 농업상의 한발을 일으키는 요소들은 시간과 공간적인 측면에서 일정치가 않다²⁾. 홍수나 한발과 같은 일정치 않은 자연재해와 싸우는 보통 방법들은 보험이나 공학적인 구조물과 같은 실리적인 방법과 어떤 발생확률하에서 어느 정도의 피해를 감수하는 설계 방법이다^{2),3),4)}.

이런 방법들은 모두 시간과 공간적인 면에서 사건에 대한 확률분포 계산을 요구하며, 이는 사건에 대한 확률분포 연구 및 사건을 확률분포가 나타나도록 이끄는 다른 변수들과의 연관성 해석을 통해 얻을 수 있다²⁾.

본 연구에서는 기존의 정량적인 한발측정에서 정성적인 정의, 즉 한발의 정도를 수치화하여 지역적인 편차없이 용수공급의 활용성을 표현하는 지수를 개발하고, 이를 바탕으로 지역 용수공급의 원활함을 기하고자 하며 한발을 강우량과 저수지 저류량의 함수로 표현하여 정성적인 기준이 될 수 있도록 정의하고 자료의 통계적 확률분석을 통하여 국부적이고

지역적인 편차가 큰 우리나라의 한발특성을 구명하고 기초 수문자료로서 한발지수를 이용하는 계기가 되고자 한다.

II. WSI의 개발

1. 한발분석을 위한 추계학적 방법 고찰

어떤 대상구역의 실측 강우기록치에 대한 한발분석의 일반적 접근방법은, 기록치로부터 한계기간(critical period)을 추출하여 분석을 시행하는 것이다. 즉, 용수수요와 수문학적 입력자료의 극한적인 조합에 의해 이루어지는 한계기간을 한발분석의 경계조건으로 사용하는 것이다^{10,11),22)}

미국의 경우 1976~1977, 1980~1981년 서부지역에서 발생한 한해로 한발대처 방안에 대한 인식이 크게 고조되어 Palmer는 가뭄지수(drought index)로서 한발을 수치화하는 등 이에 적극적 대응을 하고자 하는 연구가 활발히 진행되었다.

한발피해를 최소화 하기 위한 한발 예측지표로서 DRP(Colonado Drought Respones Plan:1981)에서 표면유출인자(강우, 강설, 하천유출, 저수지, 저수량)로 구성된 SWSI(Surface Water Supply Index)를 개발하였다. 초기의 SWSI는 미토양보전국(SCS), 지질조사국, Colorado기상청에서 한발을 수치화 하므로써 한발에 대처 하기 위한 기초 자료를 얻기 위하여 사용되었다⁶⁾.

본래 표면유출공급지수의 목적은 산악수 의존구역에서 용수 유용성의 지표가 되고, 한해 평가가 가능하도록 구역에서의 용수공급 상태 비교가 가능하도록 하는 것이다(Shafer & Deznam, 1982)^{5), 6)}.

미국 서부지방의 경우 용수의 주 공급원은 저수지 저류량과 하천유출인 까닭에, 이러한 지수는 단순히 “젖은/마른”으로 표현하는 다

른 방법들 보다 더 특별한 것이다. 이 지수의 기본적인 개념은 각 인자들의 비초과 확률변수를 사용하는 것으로서, 다른 지역들에서도 용수 공급 능력의 비교를 가능케 하는 것이다^{13), 14)}. 여기서 비초과 확률(nonexceedance probability)은 변량의 누가확률 $P(X \leq x)$ 를 의미한다.

용수공급이 평균퍼센트로만 표시될 때는 확률적인 판단을 할 수 없다. 시계열상의 비초과 확률로서 용수공급의 표시는 모든 지역을 하나의 동일한 지점에 놓는다. 둘 혹은 더 많은 지역들의 동일한 확률이, 심지어 그 평균의 백분율이 다르다 할 지라도, 용수 공급이 발생 빈도 기간에 있어서 같다는 것을 가리킨다^{8), 9)}.

2. WSI의 개발

미국 서부지역에서 개발된 표면유출공급지수는 4개의 수문인자(설원, 강수, 유출, 저류량)의 비초과 확률을 누적하고, 가중치를 둔 합계로서 수식화 되었다.

$$WSI = \frac{aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{stream} + dP_{resv} - 50}{12}$$

여기서 a, b, c, d : 각 수문인자의 가중치 ($a+b+c+d=1$)

P : 각 인자의 비초과 확률(%)

식에서 50을 빼는 것은 WSI 값들을 0가까이 집중시키는 것이고, 12로 나누는 것은 -4.17과 +4.17 사이로 그 범위를 제한시키는 것이다. 비초과 확률은 각 수문인자들의 확률분포로부터 얻어지며, 설원이나 강수와 같은 변수들은 대상유역으로 부터 얻은 데이터의 일반적 총계나 가중된 총계이고, 유출과 저류량 변수들은 관측점 용량의 총계들이다^{5), 6), 8), 12)}.

본 연구에서는 용수수요에 대응하여 유역의

강우량과 저수지 저류량(저수율)의 순별 비초과 확률을 구하여 하나의 유역 안에서 서로 다른 변수들을 사용하여 용수 공급의 활용성을 비교해 보았다. 평균적인 퍼센트로 한발지표를 정의 한다면 그 수치는 아무런 유용성을 나타내지 못하므로, 확률적 해석치로 부터 한발을 정의할 수 있는 지표를 구하는 것은 결코 쉽지 않은 것이다.

관개유역에서의 주 용수공급원은 저류량과 강우이다. 이 수문학적 인자들을 사용하여 한발을 규정하기 위한 지표로서 Palmer의 가뭄지수(Drought Index)이후에 한발예측을 위하여 개발된 수정 SWSI를 적용하여 연구대상 유역의 WSI(Water Supply Index)를 도출하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$WSI = \frac{aP_{pre} + bP_{resv} - 50}{12}$$

이를 구하기 위한 단계적 절차는 다음과 같다.

가. 대상유역의 선정

나. 유역내의 강우량과 저류량을 파악

강우자료와 저수지 저류량은 시간적 자료로 구성되며, 각각의 측정치는 서로 큰 상관 성을 표현한다.

다. 확률분포함수 선정

Gamma, Normal, Log-Normal 등의 확률분포함수를 선정한다.

라. 저수지 저류량은 불규칙한 분포로 나타날 수 있으며, 현지 여건상 정확한 산정이 어려울 수 있다. 이런 경우 경험에 의해 저류량을 추정할 수 있다.

마. WSI의 순별 시계열 산정

세번째 단계의 확률분포를 이용하여 저류량과 강우 변수에 대한 비초과확률을 산정하고 WSI를 계산한다.

$$WSI = \frac{P - 50}{12}$$

여기에서, P: 수문인자의 비초과 확률

WSI의 이론적 발생주기는 다음의 범위에 속하게 된다.

- +2이상 : 시계열의 26%
- 2 ~ +2 : " 48%
- 3 ~ -2 : " 12%
- 4 ~ -3 : " 12%
- 4 이상 : " 2%

III. WSI의 적용

1. 한발 데이터베이스 시스템 구축

WSI를 적용하기 위해 Data Base for Water Supply Index System (DBWIS)를 개발하였다. 따라서 유역을 구분하고 해당 유역의 용수관리 체계를 파악하여 유역의 기상관측소로부터 분석에 필요한 수문자료를 수집하여 자료의 DB화와 분석을 실시하였다. 또한 저수지 저류량 자료를 수집 분석하여 용수 공급지수를 구할 수 있는 DB를 구축하였으며, DBWIS의 흐름도는 Fig. 1과 같다.

이때 확률 분석치의 정확도는 자료의 수집 기간이 길수록 좋다. 이렇게 해서 한발 DB 시스템이 완성되면 한발을 수치로 표현할 수 있으며, 기존의 자료를 이용하여 한발 예측이 가능하고 그 결과에 따라 용수공급을 모의조작함으로써 향후 한발이 발생할 때 적절한 물 관리를 위한 기초 자료를 제공하게 된다.

1. 내용 및 방법

기존의 한발회계가 있었던 기간의 유역 수문자료를 수집해서 저수지 저류량 자료로부터 일반화 또는 지역화 할 수 있는 인자를 산출하여 대상 유역의 WSI를 산정하며 동시에 한발특성을 분석하여 한발 데이터 베이스를 구축 한다.

각 인자들의 확률적 분석을 통해 계절적 차

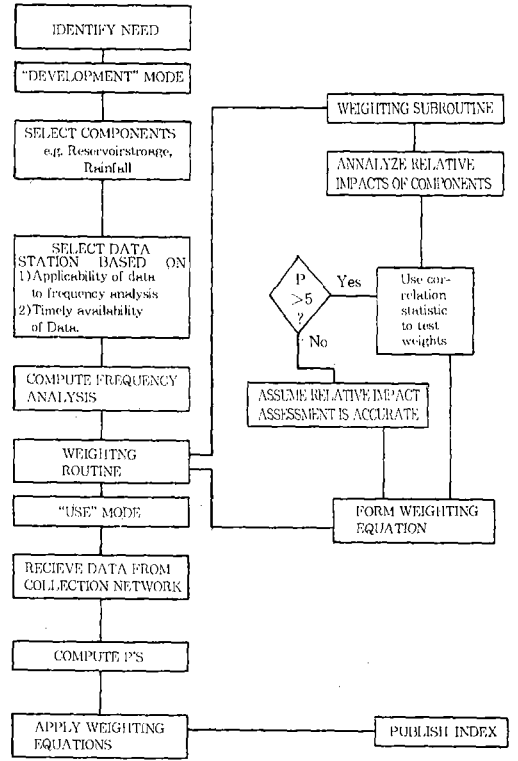


Fig. 1. Flow chart of the DBWIS model

이가 큰 우리나라의 기후 특성을 파악하고 현재까지의 한발을 수치로 기록하여 효율적인 용수관리에 필요한 기초 자료를 제공한다.

DB를 구축하기 위한 대상 유역의 저수지는 탐정, 예당, 대아, 나주호이며 대부분 대용량의 저수능력과 넓은 관개면적을 가지고 있다. 본 연구에서 비교적 큰 유역을 선정한 이유는 지역별 특색이 명확하며 기록의 보존이 잘되어 있고 각 유역이 우리나라의 관개 특색을 잘 표현하고 있기 때문이다.

1987년부터 1993년까지의 순별 저류기록을 수집하여 DB를 구축하였으며, 각 저수지의 제원은 Table-1에서 보는 바와 같다.

3. 저류량 분석

탐정, 예당, 대아, 나주호의 1987년부터

Table-1. Characteristics of the studied reservoirs

Name	Effective Storage(ha-m)	Basin Area(ha)	Year of Const.	Irrigated Arda(ha)	FLIA
Tabjung	3,161.1	21,880	1945	5,862.4	NonSan
Yaedang	4,607.1	37,360	1964	7,730.1	YaeDang
Dae-ah	5,464.6	12,000	1945	12,228.9	ChonBuk
Naju	9,083.2	10,470	1976	9,492.9	YongsanKang

1993년까지 순별 저류기록으로 저류량 자료의 DB를 구축하였고, 당시의 강우자료를 해당 구역의 관할 관측소별로 구분해서 저류량 자료와 연계하여 DB를 구축하였다.

구축된 DB를 이용하여 기존의 한발피해가 있었던 기간의 저수지 저류량 자료로부터 일반화 또는 지역화 할 수 있는 인자를 산출하여 대상 구역의 WSI를 산정하고 동시에 한발의 특성을 분석하여 저류량 예측이 가능하도록 하였다.

가. 예당지

예당저수지는 관개면적이 7,730.1ha로 비교적 크편이고 사수량이 아주 적으며 하류에 삼교호가 있다. 최근에는 삼교호와 일부 몽리대체 급수를 실시하였고 1991년 예당지의 관개 실적은 7,040ha였다.

예당지의 저수량 변화는 Fig. 2와 같으며, 1988년과 1992년의 저류량이 예년에 비해 낮게 나타났다. 한발의 원인이 되는 강우의 양적 변화에 따라 저류량의 변동이 순차적으로

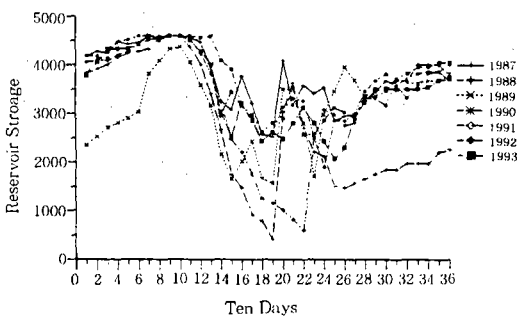


Fig. 2. Fluctuation of reservoir storage at Yeadang basin

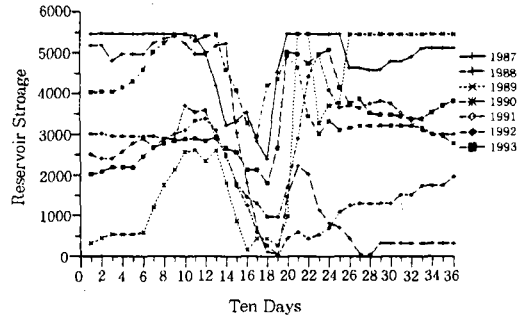


Fig. 3. Fluctuation of reservoir storage at Dae-ah basin

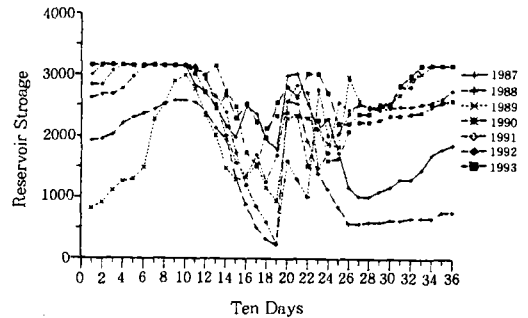


Fig. 4. Fluctuation of reservoir storage at Tabjung basin

변동함을 알 수 있으며 1988년부터 1989년까지 저류량의 부족이 연속적으로 발생하여 2년에 걸친 한발이 발생하였다.

나. 대아지

대아지의 저수량 변화는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 1988년과 1992년의 저류량이 예년에 비해 낮게 나타났다. 1989년의 저류량은 후반기에 회복되었는데 충분한 강우에 의해 저류량이 증가하였으며, 1991년 후반기의 강우부족으로 인해 저류량이 감소하여 1992년의 한

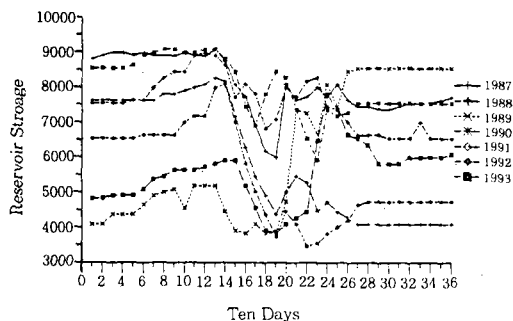


Fig. 5. Fluctuation of reservoir storage at Naju basin

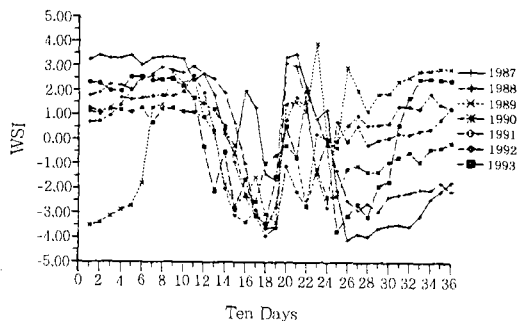


Fig. 8. Times series analysis of Tabjung basin

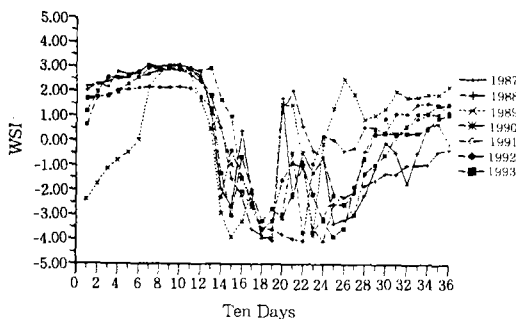


Fig. 6. Times series analysis of Yeadang basin

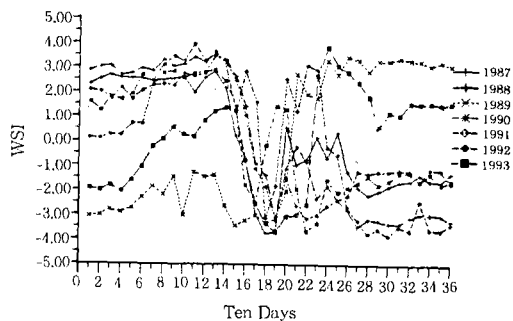


Fig. 9. Times series analysis of Naju basin

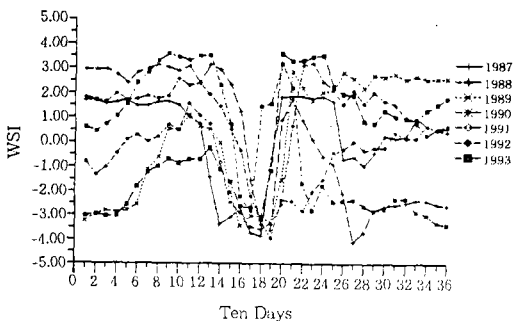


Fig. 7. Times series analysis of Dae-ah basin

발에 큰 영향을 준 것으로 판단된다.

다. 탐정 및 나주호

탐정과 나주호 유역의 저류량은 Fig. 4 및 Fig. 5에서 보는 바와 같이 서로 비슷한 양상으로 변화하였다. 탐정의 경우는 1988년과 1992년의 저류량이 예년에 비해 적게 나타났으며, 나주호의 경우는 1988년 후반기에 저류

량의 매우 부족하였다. 이때문에 1989년초의 저류량도 적게 나타났으며, 1992년 6월이후의 저류량도 부족하였다. 이와같이 본 연구에서 분석한 4개의 유역이 각기 다른 년도에 한발 피해를 보여 우리나라의 한발특징인 지역적 편차와 국부적인 한발을 확실히 나타내주고 있다.

IV. 결과 및 고찰

연구대상 4개유역의 WSI변화는 우리나라의 지형 및 기상특징을 잘 나타내 주었으며, 각기 다른 강우에 의한 지배를 받기 때문에 비주기적이고 국부적인 우리나라의 한발을 잘 표현하고 있다. 한해기록이 있는 1987년과 1988년에는 4개유역 모두 관계기의 WSI가 음의 성향을 나타내었다. 또한 소유역과 마찬가지로 관계가 시작되는 4월부터 급격히 감소

해서 장마기(6월~7월)에 증가하는 양상을 나타내는데, 한발시의 증가폭과 기간이 작아 전반적인 추세는 음의 성향을 띠게 된다.

Table-2는 비초과 확률에 사용된 가중계수를 나타내주고 있다. 비초과 확률에 사용된 가중계수는 소유역의 경우 강우계수가 높은 값을 나타내고, 유역이 커질수록 저수량 계수가 낮았다. 저류량과 WSI의 상관성은 Table-3에서 보는 바와 같이 높게 나타났으며, 대상 유역의 WSI를 도시해 보면 Fig. 6~Fig. 9에서 보는 바와 같다.

예당은 1992년과 1993년에 한발이 발생한 것으로 나타났으며, 대아는 1988년과 1990년

후반기와 1992년 중반에 한발이 발생하였고, 탑정은 한발의 지속기간이 짧아 거의 한발이 없었으며, 나주호의 경우 1988년과 1991년 후반과 1989년과 1990년 중반에 한발이 발생한 것으로 나타났다.

Table-2. Weight coefficient for WSI

Weight coefficient \ Basin Area	~1,000ha	1,000ha~10,000ha	10,000ha~
	a	0.7~0.8	0.5~0.6
b	0.2~0.3	0.4~0.5	0.7~0.8

a : weight coefficient of precipitation

b : weight coefficient of reservoir storage

Table-3. Correlation coefficient between reservoir storage and WSI

Name/Year	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Tabjung	0.987	0.985	0.988	0.990	0.990	0.986	0.989
Yeadang	0.995	0.989	0.994	0.992	0.992	0.994	0.996
Naju	0.981	0.995	0.991	0.975	0.975	0.990	0.976
Dae-ah	0.985	0.944	0.963	0.984	0.984	0.960	0.982

V. 결 론

2000년대에는 심각한 용수부족이 예상되고 있고, 환경오염에 따른 기상조건의 변화로 인해 수자원 이용 예측 또한 쉽지 않게 되었다. 현재까지는 주로 수리구조물을 신설하거나 증축함으로써 한발에 대처하고 있고, 대형의 수리구조물은 최선의 한해 예방책으로 평가를 받아왔다. 그러나 많은 재원을 필요로 하는 구조물을 무한정 만들 수는 없기 때문에 하드웨어의 증가와 더불어 소프트웨어의 증대가 반드시 필요한 것이다.

본 연구는 강우와 관개용 저수지의 저류량으로 한발을 표현하고 이를 바탕으로 저류량을 예측하고자 하였다. WSI 분석 결과 구축된 DB를 기본으로 하여 현재의 상황을 수치화 하였으며, 저류량 예측의 가능성을 발견할 수 있었다.

본 연구의 분석 대상인 8개 유역의 WSI값 분석으로부터 다음과 같은 확률적 특성을 알 수 있었다.

1) WSI가 0인 경우 확률분포의 왜곡도 때문에 저류량과 강우량의 WSI값의 평균에 100% 대응하지 않는다.

2) 5월부터 7월까지의 저류량 변화는 그다지 크지 않으며 음의 왜곡을 보여 주고 있으나, 적은량의 저류량 변화는 WSI에 큰 영향을 끼치게 된다.

3) WSI의 최대치는 수문인자의 변화가 크지 않았기 때문에 비초과확률 값에서 극치를 나타내지 않았다.

4) WSI는 강우와 저류량사이에서 선형변화를 나타낸다. WSI는 수량 또는 단계상의 비율적 확률변화로부터 유래하지 않는 확률변화 지수이다.

5) WSI는 항상 저류량 지표와 강우지표 사

이에 있는 것은 아니고, 각 인자의 지표가 반대부호를 가질때만 참값이 된다. 만약 각 인자의 지표가 같은 부호일때는 WSI는 각 수문 인자의 지표보다 큰 수치를 가지게 된다. WSI의 극치는 두 인자가 각각 지표의 극치를 나타낼 때보다 더 적은 확률적 빈도를 나타내게 된다.

6) 비초과 확률에 사용된 가중 계수는 소유역의 경우 강우 계수가 높은값을 나타내고 유역이 커질수록 저수량 계수가 높은 값을 나타내었다.

7) 예당저수지는 1992년과 1993년에 한발이 발생한 것으로 나타났으며, 대야는 1988, 1990년 후반기와 1992년 중반에 한발이 발생하였고, 탐정은 한발의 지속기간이 짧아 거의 한발이 없었으며, 나주호의 경우 1988년, 1991년 후반기와 1989, 1990년 중반에 한발이 발생한 것으로 나타났다.

8) 과거의 기록과 본 연구를 통하여 분석된 WSI값으로부터 +2이상은 충분한 용수공급, +2~-1은 거의 정상적 용수공급, -1~-2은 약간의 가뭄, -2~-4은 심한 가뭄, -4 이상은 매우 심한 가뭄으로 분류할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Alley, W. M, 1985. The palmer drought severity index as a measure of hydrologic drought, Water Resour. Bulletin, 21(1). pp 105-114
2. Biwell V. J. 1972. Agriculture Responesto Hydrologic Drought, Colorado state University 3. Chang T. J. 1987 Drought analysis in the Ohio River Basin, Proc. Engrg. Hydro., ASCE, 601-609
4. C. H. M. van Bavel. 1959. Water Deficits and Irrigation Requirements in the Southern United States. Journal Of Gkophysical research Vol 64(10). pp 1597~1604
5. Doesken, N. J, T. B. McKee and D. Garen, 1991a. Drought monitoring in the western United States using a Surface Water Supply Index, 7th Conf. Appl. climatology, Proc. American Meteorological Society, Boston, Mass.
6. Doesken, N. J, T. B. Mckee and J. Kleist, 1991b. Development of a Surface Water Supply Index for the western United States, Climatology Report Number 91-3, Colorado Climate Ctr. Dept. of atmospheric Sci. Colorado State Univ. Fort Collins, Colo.
7. Dracup J. A, K. S. Lee, and E. G. Paulson J. R, 1980. On the Definition of Droughts, Water Resources Research, 16(2), pp 297-302.
8. Garen, D. C, 1992. Improved techniques in regression-based streamflow volume forecasting, J. Water Resour. Plng. Mgmt. ASCE, 118(6), pp 654~670.
9. Graeme M. Smart. 1983. Drought Analysis and Soil Moisture Prediction. ASCE. Vol.109(2). pp 251~261
10. Gumble E. J., "Statistical Forecast of Drought National Science Foundation", Public Health Service W.P. 00457~01.
11. Gupta C. K., and Duckstein L. 1975. A stochastic analysis of extreme droughts, Water Resour. Res., 11(2). 221~228
12. Lamm, R. D, 1981. The Colorado drought response plan. state of Colorado, Office of the Governor, Div. of disaster Emergency Services.
13. Palmer, W. C., 1965. Meteorological drought, Research Paper No. 45, U.S weather Bureau, Washington, D. C.

14. 김선주, 여운식, 이광야, 1994. 소유역의 한발지표 정립, 한국관개배수위원회, 1(2), pp 186~192
15. 김시원, 1971, 한발기에 있어서 용수관리 방법이 수도생육과 그 수량에 미치는 영향에 관한 연구, 한국농공학회지, 13(1)
16. 농업진흥, 1985. 한발은 있어도 한해는 없다, pp 92-94
17. 농림수산부, 1993. 농업수자원 종합시스템 개발
18. 농림수산부 1994. 수리시설물 관리의 문제점 및 개선방안연구
19. 농림수산부, 1994. 저수관리시스템개발
20. 선우중호, 1995. 수자원 개발과 보존 대책, 한국수자원공사
21. 유태용, 1979. 한발과 홍수방지를 위한 항구대책, 대한 토목학회지, 27(3), pp 6-12
22. 이천복, 1981. 한발에 대비한 지하수개발의 제언, 한국농공학회지
23. 정상만, 1989. Negative Runs 이론에 의한 한발의 연구동향, 한국수문학회지, 22(1) pp 26-30
24. 한국수자원공사, 1990. 수자원장기종합계획보고서
25. 황은, 최덕구, 1984. 월 강우자료에 의한 한발측정, 한국농공학회지