

우리나라 가뭄 평가방법에 관한 연구

Methodology for Drought Evaluation in Korea

金顯榮*, 徐榮濟*, 吳壽勳*
Kim, Hyun-young Suh, Young-je Oh, Soo-hun

Abstract

Several drought indices, which indicate the severity of drought in a reservoir or an irrigated area, have been suggested in home and overseas. However, the indices have not been adopted because those were extremely difficult to be understood by the general public and the basic data for the indices computation have not been filed consistently.

In this study three methods for drought evaluation were suggested. The first method is to introduce the **drought duration** concept for evaluation of the climatological drought. The drought durations were computed at 9 weather stations for the period from 1960 to 1994. Also their drought frequencies were analyzed for the 9 weather stations. The second method is the **reservoir storage ratio(%)** to evaluate the hydrological drought. The reservoir storage ratio is computed from the reservoir stage data measured by the **Farmland Improvement Associations** from 1967 to 1994. Also their frequency analyses were made for the 8 provinces. The third one is the **drought depth** that is able to express the drought severity when a reservoir is depleted or when a group of several reservoirs to have the different capacity enduring drought are located in an area. Drought depths for total **Farmland Improvement Associations** reservoirs were calculated for the period from 1967 to 1994.

The three methods for the drought evaluation were proved to reflect well the historical drought events.

I. 서론

현재 가뭄이 들어 이를 일반 대중에게 알리고자 할때 지금의 가뭄 정도를 객관적으로 표시할 수 있는 방법이 필요하다. 이를 위해서는 먼저 가뭄의 정확한 정의가 요구되고 있다. 미국 기상국(U.S. Weather Bureau)은 "가뭄이란 어느 지역

의 동식물 생육에 피해를 가져올 수 있을 정도로 강수의 부족이 매우 심각하게 장기간 지속되는 상태이거나 생활용수와 수력발전엔 필요한 용수를 정상적으로 확보하지 못한 상태"로 정의하고 있다. 그러나 이러한 정의도 타지역 또는 지하수로부터 물 공급이 가능한 경우 포괄적인 정의로 볼수 없다. 따라서 좀더 포괄적으로 가뭄을 정의

* 농어촌진흥공사 조사설계처

키워드 : 가뭄지수, 과우량, 과우일수, 수문학적 가뭄, 기상학적 가뭄, 가뭄심도, 가뭄빈도, 저수율

할수 있어야 한다.

박성우 등(1984)의 수문학에서는 다음과 같이 가뭄을 정의하고 있다.

- ① 기상학적인 가뭄 : 주어진 기간의 강수량이나 無降水 계속일수 등으로 정의하는 가뭄
- ② 기후학적인 가뭄 : 월별 또는 연별 강수량을 동일 기간의 누년 평균치의 백분율로 표시하는 가뭄
- ③ 대기가뭄 : 기온, 바람 및 습도 등으로 정의하는 가뭄
- ④ 농업가뭄 : 농작물 생육에 직접 관계되는 토양수분으로 표시하는 가뭄
- ⑤ 수문학적인 가뭄 : 하천, 저수지, 지하수 등의 가용 수자원의 양으로 정의하는 가뭄

이러한 가뭄현상은 개별적으로 또한 독립적으로 발생하는 것이 아니며 서로 상관성이 있다. 기상학적인 가뭄이 오래 지속되면 토양 수분을 고갈시켜 작물생육을 저해함으로써 농업가뭄을 유발시키며, 하천이나 저수지의 수량을 감소시킴으로써 수문학적인 가뭄으로 이어지게 된다. 따라서 각 가뭄마다 그 정도를 표시할 수 있는 지표가 필요하다.

일반적으로 가뭄의 정도를 표시하는데는 “몇년 만의 가뭄이다”라는 표현을 사용하고 있다. 소위 가뭄의 빈도로 그 해의 가뭄의 정도를 파악하려고 하고 있다. 이 경우 가뭄빈도의 대상을 어떤 인자로 할 것인가? 등에 따라 가뭄의 빈도는 달라질 것이다.

가뭄빈도와 관련된 변수에는 여러가지가 있을 수 있다. Sikka(1972)는 강우량의 지역적 시기적 특성을 정해 놓고 실제 강우 발생 비율에 따라 가뭄을 표현하였다. Hershfield 등(1972)은 Dry-Day를 사용하여 가뭄의 정도를 나타내기도 하였다. Bidwell(1972)은 토양 수분과 기상인자를 조합한 새로운 수문변수를 사용하여 가뭄을 평가하기도 하였다. Millan(1972)과 Chow(1964)는 강수, 토양수분, 지하수위, 하천유량, 저수지 등의 부족 정도를 가뭄 발생의 확률분포 대상으로 간주하였다. Smart(1983)는 강우량과 증발량으로 토양수분의 부족 상태를 추정함으로써 가뭄의 빈도, 지

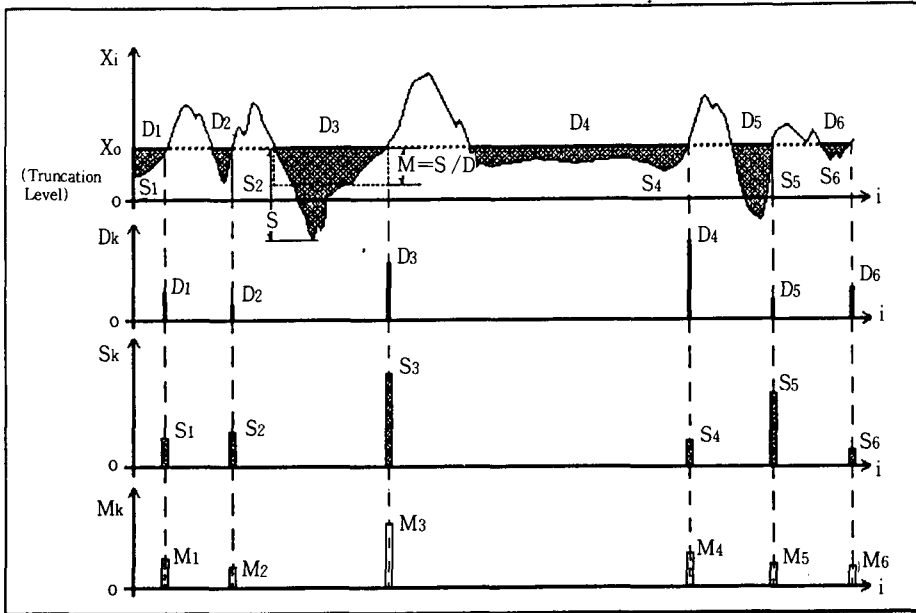
속시간 및 심도를 나타내었다. 박성우 등(1982)은 한발 기준년 재조정의 연구에서 과우량과 과우일수를 사용하여 가뭄의 빈도표와 과우량별 빈도별 等寡雨日數圖를 제시하였다. 이때 최초로 ‘寡雨’라는 용어를 사용한 바 있다. 이와 같이 가뭄의 정도를 표시하는데 사용되는 인자에는 강수량과 무강수 일수, 하천유량, 토양수분, 지하수위, 저수지와 호수등의 저수량, 과우량과 과우일수 등이 있음을 알수 있다.

가뭄을 평가하는 데는 가뭄에 관여하는 인자들을 지수화하여 나타내기도 한다. 가장 널리 알려진 가뭄지수는 Palmer(1965)의 PDSI(Palmer Drought Severity Index)이다. 이 가뭄지수는 어느 지역의 증발량, 지하수 보충량, 유역의 유출량 등을 물수지식으로 표현하였다. Bahlme, et al. (1980)은 PDSI를 간략화하여 강수량만을 사용하여 BMDI(Bahlme Mooley Drought Index)를 사용하였다.

일본에서는 저수지의 방류(급수)제한 기간과 방류제한 백분율(방류 제한량을 가뭄으로 인하여 보충해야 할 급수량으로 나눈 값)의 곱으로 표시하는 ‘%·day’를 사용하기도 한다(千賀裕太郎).

우리나라의 경우 박성우 등(1982)이 기상조건에 따라 한발 예측 농업 생산성을 분석하기 위하여 저수지의 유역면적, 관개면적, 저수량 등의 인자를 사용하여 내한능력 지수를 개발하였다. 안병기 등(1988)은 월별 강수량 자료를 이용하여 한발강도, 한발지속 기간 및 크기를 지수화하였다. 김현영 등(1993)은 저수지의 저수량과 고갈수지의 고갈일수를 이용하여 개별 및 群저수지의 가뭄심도를 계산하는 방법을 제시하였다.

이와같이 가뭄을 평가하기 위하여 사용되는 지수화 방법은 이제까지 활용되지 못하였다. 그 이유는 가뭄지수를 나타내는 데는 여러가지 인자가 있으며 이들 인자들이 일반 대중들이 쉽게 이해하기 어렵기 때문이기도 하지만 과거부터 자료로서 일관되게 정리되어 있지 못하기 때문이다. 따라서 좀더 쉽고 간단하면서 과거부터 일관되게 가뭄을 평가할 수 있는 기준의 확립이 시급하다. 이런 의미에서 다음에 기술하고자 하는 과우일수와 그 발생



〈Fig.1〉 Drought component by Runs theory

빈도는 가뭄평가에 있어 가뭄의 정도를 잘 표현하면서 매우 편리하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

다음으로 가뭄빈도에 의해 가뭄을 평가하고자 할때 가뭄빈도를 나타내는 대상변수에 대한 정확한 이해가 필요하다. 즉 가뭄을 구성하는 요소를 정확히 정의해야 한다. 가뭄의 구성 요소를 가장 잘 표현한 이론은 Yevjevich(1967)의 Runs 이론이다. 이후 Runs 이론이 발표된 후 여러 사람에 의해 그 적용 대상 변수가 달라졌다. 하천의 연유량을 대상으로 Runs 이론을 가뭄 발생 빈도 분석에 사용한 사람은 Millan(1972), Zakai Sen(1980), Dracup et al.(1980), 강관원 등(1986)이 있으며 Llamas, et al.(1969)은 강수 자료를, Smart(1983)는 토양 수분을 각각 Runs의 대상으로 하여 가뭄 발생 빈도를 계산하였다.

Runs 이론은 〈Fig. 1〉에서 보는 바와 같이 가뭄의 지속시간(Duration), 가뭄의 심도(Severity) 및 이의 크기(Magnitude)로 구성된다. 가뭄 지속 시간은 일정 유량 또는 강수량(Truncation Level)을 기준하여 이 보다 많으면 잉여(Surplus), 적으면 부족수량(Deficit)으로 할 때

부족 수량이 지속되는 기간으로 정의하고 부족되는 수량의 깊이를 가뭄심도라고 정의한다. 따라서 이때 가뭄의 크기 $M = \text{가뭄심도}(S) / \text{가뭄기간}(D)$ 로 표현한다. 이로 부터 가뭄크기, 가뭄심도, 가뭄기간 등의 시계열이 모두 확률 변수로 이루어져 있으므로(Random) 이들에 대한 빈도분석을 실시함으로써 가뭄빈도(Drought frequency)를 얻을 수 있다.

Ⅱ. 가뭄의 기상학적 지표

1. 寡雨量과 寡雨日數

박성우 등(1982)이 사용한 과우량과 과우일수는 통계학적으로 초과 확률 분포로 취급할 수 있기 때문에 가뭄빈도 변수로 매우 유용하다.

원래 寡雨의 '寡'는 '적다'라는 뜻이다. 다시말해 기준 강우량에 비해 적게 왔을 때 과우 상태라고 말할 수 있다. 여기서 기준 강우량이 얼마인가가 논란의 대상이 될수 있지만, 과우상태 즉 가뭄상태를 표시하기 때문에 기상학적인 가뭄을 평가하는데 유용한 용어임을 알 수 있다. Hershfield(1972)가 사용한 Dry-Day는 無降雨의 의미가 강

하다. Hershfield가 Dry-Day를 계산할 때 기준한 우량은 강우가 있긴 있되 강우로서 水文 및 농업에 아무런 영향을 미치지 않는 경우, 즉 무강우로 취급할 수 있는 $0.25''(6.4\text{mm})$ 였다. 따라서 이 때의 Dry-Day는 無降雨日數로 볼 수 있다. 박성우 등(1982)의 寡雨日數는 日우량을 累加하여 합계가 각각 0, 5, 10, 15, 20, 30mm가 될 때 까지의 일수로 정의하였다. 즉 예를들면 일우량이 30mm가 될 때 까지는 과우상태로 간주하는 것이며 이때 30mm는 과우량이 되는 것이다. 여기에서 문제되는 것은 30mm가 되면 과우상태가 끝나고 해결된 것으로 간주할 수 있느냐 하는 것이다. 우리가 가뭄을 겪을 때 느끼는 體感가뭄(예를 들어 신문지상에서 가뭄이 해결되었다고 보도하는 경우)과 일치해야 하는데 30mm로서는 어느 누구도 가뭄이 끝났다고 단정하기 어렵다.

따라서 Hershfield의 과우량을 무강우로 취급할 수 있는 下限 과우량이라고 한다면 해결 여부를 결정할 수 있는 上限 과우량의 개념이 도입되어야 한다.

여기에서 가뭄의 지속여부를 판단할 수 있는 새로운 상한 과우량의 기준을 마련하기 위하여 두가지 접근 방법을 시도하였다. 하나는 물리적인 의미에서 가뭄의 지속여부를 판단할 수 있는 과우량의 기준이고, 다른 하나는 이제까지 우리가 겪은 체감 가뭄을 기준으로, 과거의 가뭄지속일수를 계산하고 이 기간 동안의 강우량을 과우량으로 정의하는 것이다.

물리적인 의미의 과우량은 토양 수분의 포화도에서 그 기준을 마련할 수 있다. 즉 표토층의 경운 깊이에 토양수분이 작물 생육에 도움이 될 정도로 강우가 발생하였다면 가뭄이 종료되었다고 볼 수 있다. 물론 토양의 종류, 강우강도, 작물의 재배 방식 등에 따라 토양수분의 함유 정도는 상이할 것이다. 일반적인 평균치로부터 표토층의 경운 깊이를 15.0cm로 보면 이의 공극율은 60%이며, 이 공극의 약 50%가 물로 포화된다면 작물생육 조건은 만족한다고 볼 수 있다. 여기에서 강우의 손실이 작물에 의한 차단과 삼투능에 의해 약 25%가 발생하는 것으로 하면 다음 식과 같이 약 60mm가 된

다.

$$150 \times 0.6 \times 0.50 / (1 - 0.25) = 60\text{mm}$$

두번째 상한 과우량의 결정 방법인 체감 가뭄을 기준하여 과거 가뭄지속일수(과우일수)를 분석하는 방법을 상술했다면 다음과 같다.

우선 과우량을 50, 60, 70mm 별로 가정하고 관개기(5, 6, 7, 8, 9월)와 비관개기(10월 부터 다음해 4월 까지)로 나누어 각각의 기간 동안의 일강우량 자료로부터 누가하여 가정한 과우량이 될 때의 지속일수를 과우일수로 계산하고 그 일수가 해당 가뭄년의 가뭄지속일수와 비교하는 것이다. 과우량인 누가 강우량을 계산하는 방법을 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 또한 無降雨로 간주하는 하한 과우량의 기준은 Hershfield의 기준($0.25''=6.4\text{mm}$)에서 약 5mm로 준용할 수 있다.

- ① 5,6,7,8,9월의 일 강우량 자료로부터 단독 1일 강우량이 5mm 이하이거나 연속 2일 이상 강우량이 5mm 이하일 경우 무강우로 취급하고 일 강우량을 누가한다.
- ② 누가 강우량이 50mm, 60mm, 70mm 등 여러가지 기준에 달할 때 까지의 과우지속일수를 계산한다.
- ③ 계산 결과를 과거 가뭄 기록으로부터 비교하여 과우일수를 결정하고 이때의 누가 강우량을 과우량으로 정의한다.
- ④ Runs 이론에서 과우량은 Truncation Level 이 되고 과우일수는 Run-Length 즉 가뭄기간(Duration)이 됨으로써 가뭄발생 빈도의 시계열 자료로서 사용한다.

과우량 50,60,70mm별, 측후소별로 과우일수를 계산하면 다음 <Table 1>과 같다. 다음 <Table 1>에서 보는 바와 같이 광주 측후소의 과우일수만을 보더라도 과우량 70mm 때가 1967, 1968, 1992 및 1994년의 가뭄을 잘 표현하고 있음을 알 수 있으며, 특히 94년 경남의 경우 서부와 동부지역의 지형적인 특성의 영향을 받아 부산과 진주에서 같은해 인데도 불구하고 약 25일간의 차이를 보이고 있어 체감가뭄과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 '94년의 가뭄에 대한 신문보도나 농림수산부의 가뭄대책 상황실의 가뭄해소 일을 기준으로 가

(Table 1) Drought duration during irrigation season (May.~Sep.) in 9 weather stations (continued)

(unit: days)

Year	Accumulated drought rainfall	Seoul	Chun-cheon	Cheong-Ju	Tae-Jeon	Jeon-Ju	Kwang-Ju	Tae-Gu	Jin-Ju	Pu-San
1960	50mm	24	29	27	38	28	33	44	44	39
	60 -	25	30	27	38	28	37	44	44	39
	70 -	28	39	29	38	28	38	44	44	39
1961	50mm	28	26	24	24	28	24	34	18	23
	60 -	28	26	24	24	28	27	35	23	28
	70 -	33	27	28	27	31	28	36	24	35
1962	50mm	40	35	32	38	33	33	54	32	33
	60 -	44	37	38	39	36	33	55	32	33
	70 -	46	40	39	39	47	33	59	32	33
1963	50mm	24	24	32	24	18	25	22	24	16
	60 -	26	25	26	26	19	25	26	26	16
	70 -	26	26	26	26	21	25	27	32	19
1964	50mm	30	28	33	28	31	31	53	23	40
	60 -	31	31	35	31	34	37	54	30	49
	70 -	31	37	35	36	39	39	62	32	59
1965	50mm	68	68	46	44	46	35	43	37	36
	60 -	70	69	47	46	53	35	44	37	39
	70 -	71	70	48	46	61	37	61	37	46
1966	50mm	35	29	52	30	29	35	29	29	41
	60 -	36	40	53	35	35	35	44	35	41
	70 -	38	44	55	42	35	36	36	35	43
1967	50mm	32	34	51	53	56	55	37	50	48
	60 -	33	40	51	54	56	56	47	50	55
	70 -	33	49	51	55	56	56	48	55	56
1968	50mm	44	37	37	41	41	52	45	34	56
	60 -	45	37	44	41	41	60	59	43	57
	70 -	45	41	48	41	46	72	71	48	58
1969	50mm	42	39	47	35	28	31	37	22	24
	60 -	43	39	50	41	31	32	37	25	24
	70 -	43	42	60	43	33	37	40	27	27
1970	50mm	28	28	37	28	29	37	20	20	35
	60 -	36	39	37	28	29	37	29	30	35
	70 -	37	39	37	28	37	37	29	30	35
1971	50mm	32	30	37	30	24	24	36	24	24
	60 -	32	32	47	30	29	30	38	29	24
	70 -	33	34	48	30	30	33	42	30	29
1972	50mm	34	43	37	47	40	33	33	30	28
	60 -	37	45	43	48	47	47	33	30	30
	70 -	44	47	51	52	48	48	43	43	30
1973	50mm	49	40	40	40	43	49	43	40	40
	60 -	50	43	42	42	52	52	51	40	41
	70 -	50	43	43	49	52	52	55	41	42

<Table1> Drought duration during irrigation season (May.~Sep.) in 9 weather stations(continued)

(unit:days)

Year	Accumulated drought rainfall	Seoul	Chun-Cheon	Cheong-Ju	Tae-Jeon	Jeon-Ju	Kwang-Ju	Tae-Gu	Jin-Ju	Pu-San
1974	50mm	34	30	30	30	30	28	27	27	27
	60 -	34	34	43	32	30	28	35	27	28
	70 -	35	34	43	42	40	28	36	28	29
1975	50mm	53	44	39	29	21	32	32	21	21
	60 -	53	50	47	34	26	34	32	21	21
	70 -	63	52	48	35	29	40	32	21	25
1996	50mm	46	33	40	37	37	28	54	30	30
	60 -	51	44	50	37	37	28	55	30	34
	70 -	51	46	51	39	37	32	55	34	34
1977	50mm	32	34	45	39	34	34	34	27	40
	60 -	32	49	45	46	34	54	36	27	40
	70 -	40	50	45	50	38	54	46	32	40
1978	50mm	56	40	40	40	40	41	41	41	41
	60 -	56	43	40	41	40	41	41	41	41
	70 -	56	56	41	41	41	41	41	41	41
1979	50mm	18	25	22	22	25	28	25	20	23
	60 -	26	25	26	26	29	30	25	20	27
	70 -	29	33	29	29	34	33	28	26	29
1980	50mm	26	32	26	21	22	28	30	22	16
	60 -	26	35	26	26	26	30	30	22	22
	70 -	26	41	26	26	26	30	35	22	30
1981	50mm	42	23	50	43	39	42	42	38	42
	60 -	44	23	52	50	41	48	42	41	43
	70 -	44	30	53	50	47	50	43	42	43
1982	50mm	57	45	57	54	51	38	68	42	43
	60 -	59	50	58	54	51	41	77	43	43
	70 -	60	51	63	54	54	54	77	57	57
1983	50mm	56	56	44	44	43	51	51	43	36
	60 -	56	57	44	44	50	55	51	43	36
	70 -	56	63	44	51	50	62	51	44	37
1984	50mm	48	38	32	35	38	38	38	37	29
	60 -	48	38	37	37	39	39	39	38	29
	70 -	48	39	38	37	41	39	39	38	29
1985	50mm	44	52	50	44	40	30	40	34	35
	60 -	44	57	54	44	40	31	40	35	35
	70 -	44	57	54	50	40	35	40	40	38
1986	50mm	33	36	27	28	27	25	27	27	42
	60 -	36	39	28	30	28	27	27	28	43
	70 -	44	44	33	34	28	27	30	28	44
1987	50mm	33	32	28	28	33	33	34	33	21
	60 -	37	37	33	33	33	33	34	33	24
	70 -	37	37	33	33	34	33	34	33	29

Year	Accumulated drought rainfall	Seoul	Chun-Cheon	Cheong-Ju	Tae-Jeon	Jeon-Ju	Kwang-Ju	Tae-Gu	Jin-Ju	Pu-San
1988	50mm	37	34	37	39	52	44	39	27	30
	60 -	37	34	38	39	52	52	40	27	31
	70 -	40	34	40	49	63	52	41	27	31
1989	50mm	36	29	25	35	36	35	39	35	31
	60 -	36	36	36	36	39	35	39	36	36
	70 -	36	36	36	36	39	36	39	36	39
1990	50mm	23	25	42	32	32	31	28	34	36
	60 -	27	27	45	39	38	32	31	35	37
	70 -	31	31	46	42	42	32	31	36	37
1991	50mm	33	28	27	26	26	33	34	26	24
	60 -	33	28	27	33	27	33	34	26	24
	70 -	33	33	27	34	32	33	40	32	25
1992	50mm	35	30	55	57	64	59	62	52	44
	60 -	45	32	57	57	65	64	64	57	44
	70 -	57	34	62	63	65	65	72	62	45
1993	50mm	25	24	36	25	22	26	26	18	25
	60 -	25	24	37	25	22	36	35	19	26
	70 -	26	26	37	26	26	41	41	25	28
1994	50mm	35	38	41	42	42	46	35	60	36
	60 -	38	39	45	43	43	62	35	61	37
	70 -	35	41	46	46	43	68	38	62	37

물 지속일수를 계산한 결과 70mm 과우량을 기준했을 때의 과우일수가 가장 적합함을 알수 있었다. 따라서 체감가뭄을 기준할 때는 과우량 70mm가 상한 과우량에 해당한다. 또한 상기 과우량 70mm를 기준으로 하여 非관개기(10월~다음해 4월)의 寡雨日數도 같은 방법으로 계산하였다.

2. 과우일수에 의한 가뭄 빈도

<Table 1>을 가지고 Gumbel-Chow의 확률분포 함수를 이용 빈도값을 구하면 다음 <Table 2>와 같으며 비관개기 과우일수의 빈도값은 <Table 3>에 수록하였다.

<Table 2>에서 보는 바와 같이 동일한 가뭄빈도에서는 과우일수는 측후소마다 상이하며, 전국적

<Table 2> Drought frequency by means of drought duration during irrigation season (May.~Sep.)

(unit : days)

Return period (Years)	Seoul	Chun-Cheon	Cheong-Ju	Tae-Jeon	Jeon-Ju	Kwang-Ju	Tae-Gu	Jin-Ju	Pu-San
Average	39	40	41	39	42	39	40	36	35
3	44	44	45	43	47	43	45	40	39
5	49	49	50	47	53	48	51	44	44
10	56	55	56	53	61	55	58	50	50
20	62	60	62	58	68	61	65	55	56
50	70	68	69	65	77	69	74	63	64
100	77	73	75	70	84	75	80	68	70

<Table 3> Drought frequency by means of drought duration during non-irrigation season (Oct.~Apr. of next year)

(unit : days)

Return period (Years)	Seoul	Chun-Cheon	Cheong-Ju	Tae-Jeon	Jeon-Ju	Kwang-Ju	Tae-Gu	Jin-Ju	Pu-San
Average	132	138	124	115	113	109	137	114	106
3	140	145	131	122	119	116	144	121	113
5	154	157	145	134	131	128	157	135	125
10	172	173	161	148	146	144	174	152	140
20	189	180	177	162	160	159	189	168	154
50	211	207	198	181	178	178	210	189	173
100	227	222	214	194	192	192	225	205	187

으로 볼 때 10년 빈도 가뭄에 해당되는 寡雨日數는 약 50일에서 61일 사이인 것으로 나타났다. 이는 각 측후소마다 강우의 발생분포가 상이하기 때문이다. 한편 평년 寡雨日數는 경남 진주의 35일에서 경북 대구의 42일 사이를 나타내고 있어 <Table 1>의 과우일수로부터 크고 작은 가뭄 현상이 전국에서 자주 발생됨을 알 수 있다. 한편 비관개기의 과우일수는 비교적 중부지방이 남부지방에 비해 과우일수가 긴 것으로 나타났다. 이는 남부지방에 비관개기중 작은 강우가 비교적 자주 발생하고 있다는 사실을 말해 주는 것이라 할 수 있다. 최근들어 비관개기에 가뭄을 타는 이유는 인구 증가로 인해 도시의 생활용수가 부족하여 일어나는 현상으로 풀이할 수 있다.

결론적으로 <Table 2> 및 <Table 3>은 향후 과우일수를 기준으로 그 해의 가뭄 정도를 판단할 수 있는 충분한 기준이 될 것으로 사료된다. 그러나 과우일수와 가뭄상태와는 항상 일치할 수 없으며 수리시설의 내한능력에 따라 달라질 수 있다. 즉 기상학적인 가뭄과 수문학적인 가뭄의 정도가 상이하기 때문이다. <Table 2>의 가뭄빈도를 기준하여 '94년 광주 지역의 가뭄빈도를 추정하면 과우일수가 약 68일이므로 30년 빈도에 해당하고 할 수 있다.

Ⅲ. 가뭄의 수문학적인 지표

과우일수가 아무리 길더라도 저수지에 유효 수량이 많이 확보되어 있으면 가뭄이 들었다고 볼 수 없다. 그래서 가뭄을 평가하는데 있어서 기상학적인 가뭄만을 가지고 평가한다면 올바른 방법이 될 수 없다. 하천의 유량이나 저수지의 저수량을 가지고 가뭄을 평가할 수 있는 수문학적인 지표가 보완되어야 완전한 가뭄 평가가 가능할 것이다.

1. 저수율

저수지의 저수량을 알 수 있는 자료로서는 만수량에 대한 현재 저수량의 비인 저수율이 있으며, 이를 정기적으로 관측 정리하고 있다 (농림수산부, 가뭄대책 추진현황, 1995). 저수율에 의한 가뭄빈도 계산을 위해 최대 과우일수 발생기간 동안의 도별 최저 저수율 자료 <Table 4>를 이용하였다. 여기서 저수율은 도별 각 농조에서 보고한 저수율로서 각 저수지에서 2~3일 간격으로 관측한 값을 평균한 것이다.

<Table 4>에서 보는 바와 같이 가뭄년의 도별 최저 저수율은 약 30% 미만인 것으로 나타났으며, 특히 '92년과 같은 가뭄년의 경우에는 경기도가 58%인 반면, 전북의 경우는 12%를 나타내어 지역별로 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

2. 저수율에 의한 가뭄빈도

〈Table 4〉의 저수율 자료를 이용하여 Weibull Method로 頻度처리한 결과는 다음 〈Table 5〉와 같이 나타났다. 〈Table 5〉에서 보는 바와 같이 貯水率 頻度 역시 지역별로 상이하며, 전국적으로 10년 빈도 저수율은 충북의 15.5%에서 경북의 21.3% 사이인 것으로 나타났다. 도별 분포를 살펴보면 頻度年이 증가할수록 경남과 전남 지역의 저수율이 급격히 떨어지는 것으로 보아 이제까지 겪은 體感가뭄과 잘 一致하고 있음을 알 수 있다.

또한 최근 가뭄으로써 '94년의 전남 지역의 가뭄은 저수율이 17%를 기록하여 약 10년 빈도 가뭄에 해당하였다. 이는 대체적으로 10년 빈도 가뭄에 대해 설계한 저수지가 유역의 조건에 따라 고갈되거나 그렇지 아니한 상황이었음을 상기할 때 수문학

적인 가뭄의 평가 방법으로서 〈Table 5〉의 저수율 빈도 자료가 유용함을 알 수 있다.

3. 가뭄심도

저수율에 의한 가뭄빈도는 가뭄이 아무리 심하더라도 '0%' 밑으로는 나타낼 수 없다. 이 경우 저수지의 저수량은 고갈되더라도 그 후의 가뭄 지속 상태를 표현할 수 있는 도구가 필요하게 된다. 저수지가 고갈된 후의 경과 일수에 따라 가뭄 피해는 급격히 증가하기 때문에 이를 어떤 방법으로든지 표현해야 한다.

이러한 관점에서 김현영 등(1993)은 가뭄심도라는 개념을 도입한 바 있다. 각개 저수지의 가뭄심도를 정의하기 위해 다음과 같은 조건에서 출발하고 있다. ① 가뭄심도는 수리시설의 내한능력에

〈Table 4〉 The lowest reservoir storage ratio(%) in each province

(unit : %)

Year	Kyung-gi	Kang-weon	Chung-buk	Chung-nam	Jeon-buk	Jeon-nam	Kyung-buk	Kyung-nam	Mean
1967	42	35	39	25	33	5	43	15	27.78
1968	21	18	17	15	9	4	23	16	15.00
1969	20	39	26	35	62	59	56	72	43.78
1970	26	22	45	40	65	41	81	60	42.56
1971	56	46	61	60	81	84	76	63	59.22
1972	31	38	39	34	59	67	55	50	43.78
1973	34	33	30	33	44	28	17	5	29.00
1974	58	60	50	65	71	58	60	64	57.00
1975	15	38	39	48	79	53	64	50	45.33
1976	8	16	12	25	51	37	26	29	26.11
1977	27	25	16	30	26	29	13	25	27.00
1978	9	14	18	12	21	13	36	23	18.78
1979	79	75	73	74	62	85	87	92	74.56
1980	75	33	79	78	91	78	66	64	72.22
1981	54	32	27	37	37	46	33	45	39.44
1982	42	9	13	24	19	27	7	9	20.33
1983	63	27	57	61	51	41	66	56	51.33
1984	47	47	64	55	56	60	73	80	59.89
1985	64	40	53	49	63	73	71	64	59.22
1986	63	47	56	61	77	81	62	74	66.11
1987	74	58	70	64	51	68	69	64	68.67
1988	44	33	20	18	13	48	32	49	33.78
1989	47	34	22	32	23	50	50	74	41.00
1990	84	76	57	67	63	68	65	48	68.56
1991	62	47	49	57	62	77	48	80	63.11
1992	58	32	32	34	12	23	30	21	31.44
1993	69	76	63	63	60	60	71	80	63.56
1994	54	33	36	40	9	17	14	17	27.50

note) Data for the reservoirs under control of Farmland improvement Associations

<Table 5> Return period of reservoir storage ratio

(unit : %)

Return period	Kyung-gi	Kang-weon	Chung-buk	Chung-nam	Jeon-buk	Jeon-nam	Kyung-buk	Kyung-nam
Average	48.2	36.7	41.5	44.3	51.1	52.3	52.9	52.7
3	38.3	29.1	32.5	35.7	40.7	41.7	43.0	41.6
5	28.5	22.8	24.1	27.7	30.2	30.9	32.8	30.4
10	17.9	17.2	15.5	19.3	18.7	18.7	21.3	17.7
20	9.1	13.5	9.0	12.8	9.1	8.2	11.5	6.9
30	4.6	11.9	5.8	9.7	4.1	2.7	6.3	1.3

따라 매일 또는 매년 변한다. ② 가뭄의 정도를 잘 표현하기 위해서는 현재 저수잔량으로 관개 가능 일수와 고갈된 저수지가 발생하면 이의 경과일수도 포함할 수 있어야 한다. ③ 지수화의 단위는 현재 가뭄 정도를 잘 표현하고 누구나 이해하기 쉽게 “日數”로의 개념 도입이 요구된다. ④ 각 지역별 가뭄심도를 보편 타당한 방법에 의해 일관성 있게 지수화 함으로써 가뭄대책 비용을 합리적으로 배분할 수 있어야 한다.

상기 조건에 따라 가뭄 심도의 지수화는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$DD = \frac{ST}{A} \times 1000 \div C - LD$$

여기서 DD=가뭄심도, ST=저수잔량(ha-m)=유효저수량×저수율, A=관개면적(ha), LD=저수지 고갈 이후 경과일수(Lapsed days), 고갈되기 전에는 LD=0, C=일 관개수량을 나타내는 계

<Table 6> Drought depth of Farmland Improvement Association reservoirs in drought year

Year	① No. of reservoir (ea.)	② Effective storage capacity (ha-m)	③ Irrigation area (ha)	④ Lowest storage ratio (%)	⑤=②×④ Effective remained storage (ha-m)	⑥=⑤÷③×1000 Actual unit storage (mm)	⑦=⑥÷C Drought depth (days)
1967	1,332	107,001	236,307	45	48,150	204	20
68	1,331	107,325	258,406	14	15,025	58	6
69	1,337	107,509	263,698	53	56,979	216	22
70	1,351	120,631	269,021	61	73,584	274	27
73	1,468	152,070	238,548	38	57,786	242	24
74	1,813	(170,000)	263,572	30	(51,000)	193	19
77	2,082	179,615	293,840	30	53,884	183	18
78	2,154	192,132	300,030	21	40,347	134	13
81	2,237	(183,000)	302,516	43	(28,690)	260	26
82	2,245	(190,000)	311,612	25	(47,500)	152	15
87	2,561	158,330	343,510	61	96,581	281	28
88	2,578	191,509	350,286	32	61,282	175	18
89	2,779	194,013	356,732	44	85,365	239	24
92	2,750	220,000	420,400	26	52,000	124	12
94	2,942	207,423	364,839	30	62,226	170	17

note) 1. () means estimation

2. C is 10 in this table

3. The lowest storage ratio was obtained from storage ratios of successive 10 day periods

수로서 다음의 2가지로 계산할 수 있다.

① 개략적 방법은 보통 가뭄기간 동안에는 평균 10mm/일의 용수공급이 필요하다고 보고 $C=10$ 으로 간주

② 水文模型 중 소비수량 모형에 의하여 계산한 값을 C로 간주

또한 어느 지역에 대한 능력이 상이한 수개의 수리시설이 있다고 할 때 내한능력이 작은 저수지는 내한능력이 큰 저수지의 영향을 받아 실제로 가뭄피해가 발생하는 데도 불구하고, 그 지역의 가뭄정도를 잘 나타내지 못하는 경우도 있다. 지역적인 가뭄의 정도를 나타내는 지표에 상이한 내한능력을 가지는 수리시설물의 가뭄상황을 잘 반영할수 있어야 한다. 즉 단일 저수지의 가뭄정도 뿐만 아니라 어느 지역내 수개의 상이한 수리시설물의 가뭄 정도를 반영한 群저수지의 가뭄 정도도 필요하다. 실질적으로 군별, 도별 저수율의 평균치는 향후 군저수지의 가뭄심도로 대치할 필요가 있다. 군저수지의 가뭄심도는 상기 단일 저수지의 가뭄심도를 기초로 하여 관개 면적에 대한 가중 평균치를 취하면 된다.

이상의 논의를 기초로 하여 과거 주요 가뭄에 대해 전국 가뭄심도를 계산하였다. <Table 6>에서 보는바와 같이 가뭄심도가 가장 심각했던 해는 1968년으로서, 전국에 걸쳐 있는 유효 저수잔량으로는 겨우 6일 정도 관개 가능하였고, 1992년에는 12일 정도에 불과하였다.

IV. 요약 및 결론

가뭄을 평가할 수 있는 여러가지 지표나 지수들이 국내외에 많이 발표되었으나 일반 대중의 물 이해와 장기간의 자료 축적이 되지 않아 우리나라에서는 적용되지 못하였다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 기상학적인 가뭄으로서 비교적 장기간의 자료가 유효한 과우일수의 개념을 도입하였고, 수문학적인 가뭄으로서 농지개량조합 저수지의 저수율 자료를 가뭄 평가의 기초 자료로 사용하였다. 또한 수문학적인 가뭄에서 저수지가 고갈

된 경우와 群 저수지의 가뭄상황을 나타낼 수 있는 가뭄심도에 대해서도 정의하였다. 특히 일별 강우량 자료를 기초로 측후소별 관개기와 비관개기의 과우일수에 대한 초과 확율을 계산하고 실제 가뭄년의 과우량에 대한 과우일수를 검증한 결과 다음과 같은 결론을 얻었으며, 또한 농지개량조합 저수지의 저수율 자료를 기초로 가뭄빈도를 계산한 결과도 얻었다.

- ① 과우량별 과우일수는 과우량이 70mm일때 실제 가뭄년의 가뭄지속 일수와 가장 잘 부합하였다.
- ② 최근의 가뭄으로서 '94년의 가뭄을 평가한 결과 과우량 70mm일때의 과우일수는 광주 지역이 68일로서 약 30년 가뭄빈도에 해당하는 것으로 나타났다.
- ③ 수문학적인 가뭄의 지표로서 저수지 연 최저저수율 확률 빈도는 전남과 경남 지역이 낮은 것으로 나타났고, '94 저수율과 설계 빈도를 비교할때 실제 남부 지역의 가뭄발생과 잘 일치하였다.
- ④ 과우일수에 의한 기상학적 가뭄지수와 저수율에 의한 수문학적 가뭄지수는 상호 보완하여 사용해야 하며 우리나라의 가뭄평가 방법으로서 일관되게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.
- ⑤ 저수지 고갈 이후의 가뭄정도와 지역 가뭄정도를 표시할 수 있는 가뭄심도도 우리나라 수문학적인 가뭄 평가 방법으로서 매우 유용한 방법임을 알 수 있다.

참고문헌

1. 강관원, 안경수, 1986. 'Runs의 특성에 의한 지속기간별 저수부족량의 추정', 한국수문학회 Vol.19, No.4.
2. 김현영, 1991. '농어촌 용수의 최적 이용과 관리보전', 21세기 농어촌지역 용수 수급 및 개발보전 세미나, 농어촌진흥공사.
3. 김현영, 황철상, 정건배, 정종호, 1993. '저수관리 시스템 개발', 한국농공학회지 제35권 제2호.

4. 농림수산부, 1994. '전국 저수지 계획 저수량 현황 및 저수 상황표('67-'94)'.
5. 농림수산부, 1995. "'94 및 '95 가뭄대책 추진 현황'.
6. 농어촌진흥공사, 1994. '저수관리 시스템 개발', 농림수산부.
7. 박성우 외 5인, 1984. 응용수문학, 향문사.
8. 박성우, 안재숙, 이기춘, 1982. '한발 기준년 재조정', 농업개발시험연구, 서울대 농업개발연구소.
9. 박성우, 정하우, 권순국, 1982. '기상조건에 따른 한발예측과 농업생산성에 대한 영향분석', 농업개발시험연구, 서울대 농업개발 연구소.
10. 안병기, 김태철, 정도웅, 1988. '농업 한발지수 설정에 관한 연구', 한국농공학회지 제30권 제1호.
11. Bahlme, H.N. & B. Mooley, 1980. 'Large-scale Drought /Floods and Monsoon Circulation', Mon. Wea. Rev. 108:1197-1211.
12. Bidwell, V.J., 1972. 'A Methodology for Analyzing Agricultural Drought', Floods and Droughts, Fort Collins Colorado, USA.
13. Chow, V.T.,1964. 'Handbook of Applied Hydrology', McGraw-Hill.
14. Dracup, J.A., K.S.Lee & E.G.Paulson, 1980. 'On the Statistical Characteristics of Drought Events', Water Resources Research, Vol.16 No.2.
15. Hershfield,D.M., D.L.Branksiek, G.H. Comer, 1972. 'Some Measures of Agricultural Drought', Proc. of Second International Symposium in Hydrology.
16. Llamas, J. & M.M.Siddiqui, 1969. 'Runs of Precipitation Series', Hydrology Paper No. 33, Colorado State Univer. Fort Collins, Colorado.
17. Millan Jaime, 1972. 'Statistical Properties of Runs as Applied to Hydrologic Droughts', Proc. of Second International Symposium in Hydrology.
18. Palmer, W.C.,1965. 'Meteorologic Drought', Res. Report No.45, U.S.Dept. of Commerce, Weather Bureau, Washington D. C.
- 19 Palmer, Richard N. & Robert M.Tull, 1987. 'Expert System for Drought Management

- Planning', J. of Computing in Civil Eng. Vol. 1, No.4, ASCE.
- 20 Sikka, D. R.,1972. 'Integrated Hydrologic and Social Interactions to Floods and Droughts in India', Proc. of Second International Symposium in Hydrology.
21. Smart, G.M., 1983. 'Drought Analysis and Soil Moisture Prediction', ASCE, I & D Div., Vol.109,No.2.
22. Yevjevich, V., R.N.Downer & M.M. Siddiqui, 1967. 'Application of Runs to Hydrologic Droughts', International Hydrologic Sym., Fort Collins, Colorado.
23. Zekai Sen, 1980. 'Statistical Analysis of Hydrologic Critical Droughts', J. of the Hydraulics Div., Vol.106, No,HY1, ASCE.

약 력

김 현 영



1973. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
 1982. 강원대학교 대학원 농학석사
 1988. 서울대학교 대학원 농학박사
 1993. 수자원개발 기술사
 현재 농어촌진흥공사 조사설계처
 기술지원부장
 KCID 비구조홍수관리 분과위원장 /
 편집 및 학술분과위원
 ICID 비구조홍수관리 분과위원

서 영 제



1977. 영남대학교 공과대학 토목과 졸업
 1983. 건국대학교 대학원 수공학 석사
 1984. 화란 Delft대학부설 국제수문학회
 수문학 석사과정 Diploma 취득
 1991. 일본 경도대학 농학박사
 (수문학, 수공학전공)
 1995. 수자원개발 기술사
 현재 KCID 비구조 홍수관리분과위원
 한국수자원학회 편집위원

오 수 훈



1984. 강원대학교 농과대학 농공학과 졸업
 1986. 서울대학교 대학원 농학석사
 현재 농어촌진흥공사 조사설계처