

저수용량을 고려한 가뭄지수 산정과 가뭄관리에 관한 연구*

조홍제* · 박한기**
토목환경공학부

<요 약>

본 연구에서는 도시지역의 생활용수나 공업용수의 수급 체계에 있어서 가뭄에 의한 용수공급 부족시 가뭄관리 및 가뭄 심도에 따른 비상 급수대책 수립에 필요한 가뭄 예경보지수의 산정법을 개발하였다. 울산지역의 주요 생활용수 공급원인 사연댐을 대상으로 하였으며, 1980년부터 1996년까지의 저수량, 유입량, 공급량, 방류량 등의 실측된 수문자료를 이용하였다. 가뭄지수의 산정은 월 강우량의 초과확률에 근거를 두고 있는 기존의 Phillips 가뭄지수법을 이용하였다. 도시지역의 급수체계가 댐이나 저수지 등으로 이루어지는 경우, 월 강우량을 기본자료로 사용하는 Phillips 가뭄지수 산정법은 가뭄현상을 적절히 설명할 수 없으므로 가뭄관리의 주요변수인 유입량, 저수량, 방류량 및 공급량 등을 포함한 가뭄지수 계산법을 개발하였다. 그 결과 용수공급 능력을 고려한 Phillips 가뭄지수 산정법은 실제 가뭄현상에 대한 적용성이 상당히 우수한 것으로 나타났다.

A Study on the Index of Drought and Drought Management Considering Reservoir Storage

Cho, Hong-Je* · Park, Han-Ki**
Dept. of Civil and Environmental Engineering

<Abstract>

The goal of the present research was to develop a means to determine indices of drought

본 연구는 1997학년도 학술연구비(교비)에 의하여 수행되었음.

* 울산대학교 토목환경공학부 교수.

** 한국수자원공사 울산지사장

warning and emergency necessary to manage drought and establish water supply contingency plan for the municipal and industrial water supply system in urban areas. To do this, we worked on the Sayun catchment which is the main water source of Ulsan and used the measured hydrologic data (storage, inflow, supply, outflow) from 1980 to 1996. The indices of drought calculated by the method of Phillips drought index based only on monthly precipitation do not pertinently represent drought phenomena in case water supply is from dam or reservoir in an urban area. Therefore, we developed the drought index technique including inflow, storage, outflow and supply which are the chief factors of drought management. The result showed that the method of Phillips drought index considering the capacity of water supply was excellent when applied to practical drought phenomena.

1. 서론

가뭄은 불가항력적인 자연현상이며 다른 어떤 자연재해보다 많은 사람들에게 악영향을 끼치는 위험한 것이다¹⁾. 최근 20년간 세계 각국에서는 극심한 가뭄을 겪고 있으며, 우리나라는 1994년부터 1995년까지 전국 평균 강수량이 예년강우량의 70~80% 수준에 불과한 극심한 가뭄이 발생한 바 있다. 그리고 1996년에도 지역에 따라 심각한 가뭄현상이 계속되었다. 우리나라의 수자원 공급구조는 하천의 유량에 절대적으로 좌우되어 장기간 가뭄이 발생할 가능성은 충분하므로 이로 인한 피해는 매우 심각하다고 판단된다²⁾.

일반적으로 가뭄은 비가 오랫동안 오지 않거나, 적게 오는 기간이 지속되는 현상으로 인식되고 있다. 하지만 가뭄현상을 정의하는 관점에 따라서 그 기준을 달리하게 된다. 수자원 공학 측면에서는 물의 주요 공급원인 하천유출과 저수지 저수량의 결핍현상이 주된 인자가 되며, 수문학적 측면에서의 가뭄은 강수량부족과 이로 인한 유출량 결핍현상이 주된 인자가 된다고 표현할 수 있다. 이 외에도 여러 관점에 따라서 주어질 기간의 강수량이나 무강수 계속일수 등으로 정의되는 기상학적 가뭄, 월별 또는 년별 강수량을 동일기간의 누년평균치의 백분율로 표시되는 기후학적 가뭄, 기온, 바람 및 습도 등으로 정의되는 대기가뭄, 농작물 생육에 직접 관계되는 토양수분으로 표시되는 농업가뭄 등 가뭄에 대한 여러 가지 정의들을 내릴 수 있다³⁾. 이러한 가뭄에 대한 정의를 대별하면 강우량의 부족에 의한 가뭄과 용수공급의 부족에 의한 가뭄으로 크게 나눌 수 있다. 이는 강수뿐만 아니라 용수공급, 즉 도시지역의 주요 수자원인 하천이나 댐의 상황과 매우 밀접하게 관련되어 있음을 나타낸다.

국내외 가뭄관리 및 가뭄지수에 대한 연구를 살펴보면, 외국의 가뭄지수에 대한 연구에는 Haines 등⁴⁾에 의해 산림방재 등 환경문제에, Karl⁵⁾ 그리고 Drought management planning⁶⁾에 의한 가뭄관리계획 등 Palmer 가뭄지수의 적용성에 대한 많은 연구가 수행된 바 있다. 국내의 경우, 김선주(1995) 등은 관개지역에서의 한발지수 산정법에 대해 연구하였으며, 조원철 등⁷⁾은 다변량 추계학적 모형을 이용한 낙동강유역의 가뭄해석에 관하여 연구하였다. Palmer 가뭄지수에 관해서는 비교적 많은 연구가 있었는데 최영진, 윤용남 등^{8,9)}이 Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석에 관하여 연구하였다. 그리고, 조홍제¹⁰⁾는 Phillips 가뭄지수 산정법^{11,12)}으로 도시지역의 가뭄 예경보지수의 산출 및 그 적용성을 검토하였다.

도시지역의 가뭄발생은 주요 급수시설 및 급수체계에 좌우되므로 이를 연계한 가뭄관리 시스템의 구성이 필수적이라 하겠다. 실무에서의 적용성을 고려하여 월 강수량만을 기본자료로 활용하는

기존의 Phillips 가뭄지수 산정법은 간편성은 인정되나 평수기 및 갈수기의 강우량에 지나치게 민감하게 반응하므로써 실제 가뭄현상을 적절히 표현하지 못하는 단점을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 Phillips 가뭄지수법을 보완하고, 저수지 저수용량 및 급수구조를 고려한 도시지역 용수관리를 위한 가뭄예경보 및 가뭄관리의 연구에 주안점을 두었다. 대상지역은 우리나라 최대의 공업단지인 울산지역의 주요 생·공용수 공급원인 사연댐을 대상으로 하였으며, 현 급수체계의 주요인자인 월 강수량과 댐의 유입량, 공급량, 방류량 및 저수량 등 실측된 자료를 이용하였다.

2. Phillips 가뭄지수 산정법

Phillips 가뭄지수는 다음의 절차에 의해 유도된다.

- ① 분석대상 지점내 관측된 월 강수량 자료의 각 월별 전기간 자료에 대한 빈도해석을 실시하고, 10개 구간으로 균등 분할된 확률치에 대한 비초과 월별강수량을 구한다.
- ② 가장 낮은 확률의 계급값(0~10%)에 대한 회귀인자 값은 1로 정의하고, 가장 높은 확률의 계급값(90~100%)에 대한 회귀인자 값은 100으로 정의한다.
- ③ 각 월별 총 강수량에 대한 회귀분석한 결과, Phillips는 아래의 식과 같은 회귀관계식을 제안하였으며, 회귀식의 결과는 각 구간별 확률계급치에 대한 회귀인자 값을 의미한다.

$$l = ar^{n-1}$$

- 여기서, l = 확률구간별 회귀인자값
 a = 확률구간별 계급값(1~100)
 r = 상수(1.6681)
 n = 확률구간순위(1~10)

표 1 회귀인자 및 Phillips 가뭄지수

각 확률 구간 이하의 강수량 (확률% ≥ 강수량)	회귀인자값 ($l = a r^{n-1}$)	가뭄지수 ($l-10$)
100 % ≥ 강수량	100	90
90 % ≥ 강수량	60	50
80 % ≥ 강수량	36	26
70 % ≥ 강수량	22	12
60 % ≥ 강수량	12	3
50 % ≥ 강수량	7.4	-2.6
40 % ≥ 강수량	4.6	-5.4
30 % ≥ 강수량	2.8	-7.2
20 % ≥ 강수량	1.7	-8.3
10 % ≥ 강수량	1	-9.0

이상과 같은 절차 및 위 식을 이용하여 각 확률구간에 대한 인자값을 구하면 표 1과 같다. 그리고 월별 가뭄지수를 산정하는 절차를 요약하면 다음과 같다.

- ① 양의 월 가뭄지수나 2개월이상 연속 양의 월 가뭄지수 값은 단순히 (+)로 표시한다.
- ② 전월의 가뭄지수가 음이고, 당월의 가뭄지수가 양일 때 그 합외 결과로서 판단하며 양일 때에는 단순히 (+)로 표시한다.
- ③ 수개월 연속 누가 가뭄지수의 값이 -18보다 작을 때는 가뭄주의로서 W로 표시한다.
- ④ 수개월 연속 누가 가뭄지수의 값이 -36보다 작을 때는 가뭄경보로서 D로 표시한다.
- ⑤ 가뭄주의보나 가뭄경보가 후에는 누가 가뭄지수의 값이 양이 되면 해제된다.

여기서 가뭄지수의 값이 양인 경우에는 정상상태를 나타내고 음인 경우에는 가뭄상태를 나타내며 -18과 -36의 값을 기준으로 각각 가뭄주의보, 가뭄경보로 표시되며 가뭄예경보 및 가뭄심도에 따른 비상급수대책 수립에 필요한 객관적인 수치를 제공해 준다는 것을 알 수 있다.

3. 강우자료에 의한 울산지역의 가뭄특성

울산지역의 가뭄특성을 파악하기 위해 1951년부터 1996년까지의 강우자료를 기본자료로 사용하였으며 1951년부터 1996년까지 12개월 누가우량을 계산하여 울산지역의 년 평균강우량과 비교하여 그림 1에 나타내었다.

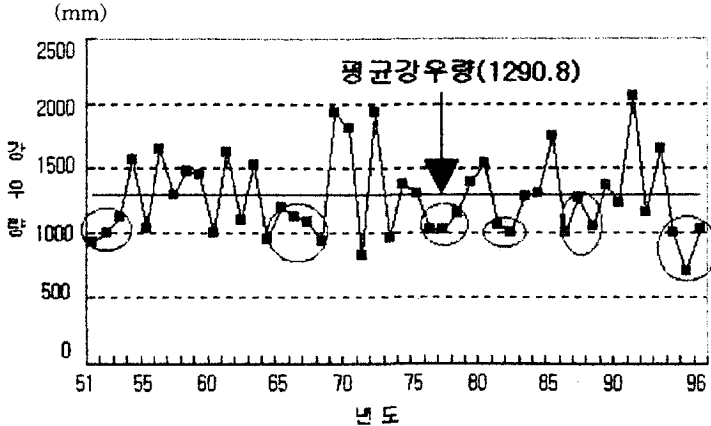


그림1 울산지역 강우특성('51~'96년)

1951년부터 1996년까지 울산지역의 년 평균강우량이 1290.8mm이며 27차례 평균강우량에 미치지 못한 것으로 나타났다. 그리고 연속적인 갈수현상이 51-53, 64-68, 76-78, 81-83, 86-88, 94-96 총 6차례 발생하였으며 최근 들어 연속적인 갈수현상이 빈번히 발생하는 것으로 나타났다.

강우자료에 의해 가뭄발생빈도를 분석하기 위해 강우량의 계속기간(12, 18, 24, 30, 36개월 등)별 최소강우량에 대한 각 계속기간별 점진 이동평균강우량 곡선을 작성하고, 이들

최소강우량과 점진이동평균강우량을 비교하여 1년 이상의 가뭄이 발생하였던 기간을 정리 분석하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2 울산지역의 가뭄발생기간 및 심도

기간 계속 기간	'51 ~ '53	'64 ~ '65	'67 ~ '69	'76 ~ '78	'81 ~ '83	'94 ~ '96
12개월	④	①	③			②
18개월		②	④		③	①
24개월	②	④	③			①
30개월			③	②	④	①
36개월	②		③	④		①

표 2에서의 숫자는 계속기간별 갈수 순위를 나타내고 있으며, 표 2에서 알 수 있듯이 울산지역에서는 우리나라의 이수안전도 기준인 1967년에서 1968년의 갈수량보다 여타 연속 가뭄기록의 가뭄이 극심한 것으로 나타났다. 따라서 이수안전도 기준의 보완과 그에 따른 댐이나 저수지 등의 급수시설에 대한 설계기준의 마련 및 도시급수체계 수립이 필요한 것으로 판단된다.

4. Phillips 법에 의한 가뭄지수 산정

4.1. 용수공급실적에 의한 가뭄발생 현황

실제 울산지역의 주요 상수공급원인 사연댐의 재원은 아래의 표 3와 같으며 급수실적에 대한 분석을 실시하여 가뭄지수를 산정하여 보았고, 대표적으로 최근 1991년부터 1996년까지의 내용만을 표 4에 나타내었다.

표 3 사연댐의 재원 (교무댐 설치전)

유역 면적	1일 급수량	총 저수량	유효 저수량
124.5km ²	10만톤	2,500만톤	2,000만톤

표 4 유효저수량에 의한 실제 가뭄발생 형태

단위 : 천m³

년도		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1991	S	3791.9	2326	2651.3	3684.3	5502.4	7449.7	8190.6	15882.8	10718.7	6878.7	3841.5	3821.7
	E.S	5367	3974	6748	10881	7491	8534	29004	20094	20094	16420	13593	11318
	con	W	D	W	-	W	-	-	-	-	-	-	-
1992	S	3240.9	2688.7	2948	6483.4	6955.4	3099.7	4644.5	3962	4409.6	4091.3	4139.9	4328.6
	E.S	9096	7655	9330	13641	10398	7847	5149	16284	20705	19617	16677	13855
	con	-	-	-	-	-	W	W	-	-	-	-	-
1993	S	3722.3	3458.3	3617.3	3551.8	3403.6	5684.1	10671.9	12892.7	7272.5	3719.8	2602.9	3270.4
	E.S	12078	12893	12682	9860	11399	17728	21758	20368	15878	13515	12410	10011
	con	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	S	3596	3013.2	2893.3	2172.5	1852	2931.7	4749.1	5045.3	3550.6	2824.1	2163.9	2325.7
	E.S	7088	5251	3310	3310	9544	10705	9929	7828	4744	5948	4922	3077
	con	W	W	D	D	-	-	-	W	W	W	W	D
1995	S	1860	560	627	1933	2687	2183	2602	2660	2578	2698	634	0
	E.S	1765	1978	3632	3877	2395	4643	6226	5099	4043	1960	1089	841
	con	D	D	D	D	D	W	W	W	W	D	D	D
1996	S	230	170	379	1955	612	1256	7453	4115	2419	2265	1833	1956
	E.S	587	301	2466	1232	1418	20050	17407	14114	12576	10569	9805	8281
	con	D	D	D	D	D	-	-	-	-	-	-	-

S : 실제공급량
 E.S : 유효저수량
 con : 가뭄지수
 W : 유효저수량 ≤ 80일분
 D : 유효저수량 ≤ 40일분

가뭄발생형태(W,D)의 판단기준은 울산시에서 실제 운영한 바 있는 겨울철 가뭄대비 상수도 비상급수대책(1993~1996)⁴⁴⁾에 근거를 두었다. 표 4는 실제 급수실적을 기준으로 표현한 가뭄지수이며, 그 기준은 다음과 같다. 사연댐은 유효저수량이 2,000만 톤으로서 1일 급수량 10만 톤 기준으로 200일 분의 용수공급 능력을 가지고 있다. 즉, 200일간에 걸쳐 지속적으로 공급할 수 있는 공급가능량을 확보할 수 있도록 설계되어 있다. 사연댐의 유효저수량을 기준으로 가뭄발생 형태를 분석하여 표 4에 나타내었다. 가뭄발생형태(W,D)의 기준은 1일 급수량을 감량 공급하였거나, 감량 공급량 기준으로 유효저수량의 80일분 이하일 때에는 가뭄주의보(W)를 그리고 감량 기준으로 유효저수량이 40일분 이하일 때에는 가뭄경보(D) 상태로 판단하였다.

1991년의 가뭄현상을 보면 강수량은 평년보다 다소 높은 수치를 보이고 있지만 용수 수요의 증가 및 정수시설의 확장에 따라 댐 용수공급 기준치를 초과하여 용수를 공급함으로써 발생한 것으로 판단되며 1994년부터 1996년까지의 가뭄예경보 지수는 우리가 느꼈던 가뭄정도를 잘 나타내고 있다. 실제 급수실적을 기준으로 하여 나타낸 표 4의 가뭄지수를 기준으로 기존의 Phillips 가뭄지수법과 저수용량을 고려한 Phillips 가뭄지수법과의 비교 및 검토가 필요하다.

4.2. 월 강우량을 이용한 가뭄지수 산정

분석 대상지점의 관측된 월 강수계열 자료를 기본자료로 사용하는 기존의 Phillips 가뭄지수 산정법을 이용한 울산지역의 월별 가뭄지수를 1991년부터 1996년까지 표 5에 나타내었다.

표 5 월 강수량을 이용한 울산지역의 월별 가뭄지수

년도		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1991	강우량	37.6	36.2	94.5	119.7	107.9	157.3	455.7	660.1	196.7	0.0	10.0	86.3
	M.I	26	12	26	12	12	-2.6	90	90	12	-9.0	-7.2	90
	n.i	+	+	+	+	+	-2.6	+	+	+	-9.0	-16.2	+
	con	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	강우량	33.9	46.3	83.4	187.8	91.2	26.1	100.5	270.8	228.0	28.3	26.5	7.2
	M.I	12	12	12	50	3.0	-9.0	-9.0	12	26	-2.6	3	3
	n.i	+	+	+	+	+	-9.0	-18.0	-6	+	-2.6	+	+
	con	-	-	-	-	-	-	W	-	-	-	-	-
1993	강우량	42.0	76.2	57.0	19.8	121.3	220.1	274.3	537.9	34.8	64.3	79.4	22.1
	M.I	26	26	-2.6	-9.0	12	12	12	50	-9.0	26	50	26
	n.i	+	+	-2.6	-11.6	+	+	+	+	-9.0	+	+	+
	con	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	강우량	28.2	33.4	31.8	82.4	159.3	141.4	133.4	34.1	46.9	190.7	42.2	6.5
	M.I	3	12	-8.3	3	50	-2.6	-8.3	-9.0	-8.3	90	12	3
	n.i	+	+	-8.3	-5.3	+	-2.6	-10.9	-19.9	-28.2	+	+	+
	con	-	-	-	-	-	-	-	W	W	-	-	-
1995	강우량	24.7	16.0	69.4	71.9	84.0	106.4	139.3	97.9	54.3	18.0	1.0	0.0
	M.I	-2.6	-5.4	3	-2.6	3	-5.4	-8.3	-7.2	-7.2	-5.4	-9.0	-8.3
	n.i	-2.6	-8.0	-5	-7.6	-4.6	-10	-18.3	-25.5	-32.7	-38.1	-47.1	-55.4
	con	-	-	-	-	-	-	W	W	W	D	D	D
1996	강우량	30.0	1.0	159.0	69.0	59.0	384.0	96.0	82.0	29.0	40.0	57.0	29.0
	M.I	3	-9.0	90	-2.6	-7.2	50	-9	-8.3	-9.0	-3.0	26	50
	n.i	-52.4	-61.4	+	-2.6	-9.8	+	-9	-17.3	-26.3	-23.3	+	+
	con	D	D	-	-	-	-	-	-	W	W	-	-

여기서, M.I : 월별 가뭄지수
 n.I : 누가 가뭄지수
 con : 가뭄 형태

월 강수량을 기본자료로 사용하는 기존의 Phillips 가뭄지수 산정법(표 5)과 실제 용수공급실적에 의한 가뭄정도(표 4)를 비교해 보면 1991년부터 1993년까지는 어느 정도 적합되나 1994년부터 시작된 가뭄에 대해서는 잘 반영하지 못한 것으로 나타났다. 표 5에 따르면, 1994년 10월 및 1996년 3월의 경우 다소 많은 양의 강우로 인해 '94년 10월 이후 약 9개월 그리고 '96년 3월 이후 6개월 정도 해갈된 것으로 나타났지만, 표 4에 나타난 바와 같이 실질적으로는 사연댐의 저수량은 크게 증가하지 못하였다. 즉 평수기 또는 갈수기에 다소 많은 비가 오는 경우, 표 1의 회귀분석결과에 따라 높은 +지수를 가지게 되므로 지수상으로는 가뭄이 해갈되는 것으로 나타나는 단점이 있다. 우리나라 강우량이 6~9월에 집중되고 월 강우량의 변동이 매우 큰 점을 고려하면, 강우량을 기준으로 한 가뭄지수 산

정법은 실제 가뭄현상을 적절히 표현하지 못하는 것으로 나타났다.

5. 댐의 용수공급능력을 고려한 가뭄지수 산정

표 5에 따르면, 월 강수량만을 이용한 기존의 Phillips 가뭄지수 산정법에서는 실제의 가뭄현상을 표현하는데 있어서 적용성이 상당히 떨어지는 것으로 나타났다. 그러므로 주요 급수시설 및 용수공급체계에 의한 유입량-저수량-공급량-방류량과의 관계에 대한 분석에 의해 저수지의 용수공급능력을 고려하여 기존의 Phillips 가뭄지수 산정법의 보정이 필요하다. 저수지에서 공급할 수 있는 물의 양은 저수량과 유입량에 의해 결정되며, 임의 시점에서의 저수량은 이전의 유입량과 공급량으로부터 독립적일 수 없다¹⁵⁾. 본 연구에서는 이를 착안하여 저수지의 저수량과 유입량, 방류량, 공급량을 포함한 Phillips 가뭄지수 산정법을 새로이 개발하였다.

5.1. 비초과 확률별 월 확률인자 산정

분석 대상지점의 댐, 저수지 등의 급수시설과 체계와 연관된 용수공급을 고려하여 실측된 저수량, 유입량, 방류량, 그리고 공급량을 조합하여 확률인자를 산정하였다. 각 월별 전기간 자료에 대한 확률인자를 산정하기 위하여 대수정규분포를 비롯한 다수의 확률지에 대한 적합도 검정을 실시한 결과 대수정규분포가 가장 적합하다고 판단되었으며, 이것에 의해 빈도해석을 실시하였고, 표 6에 나타난 각 확률구간에 대한 비초과 확률인자를 결정하였다. 그리고 그림 2과 3는 대수정규분포에 의한 빈도해석의 예이다.

표 6 울산지역 비초과 확률별 월별 확률인자 및 가뭄지수

월		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
%	가뭄지수	확률인자(저수량+유입량-방류량-공급량),단위(mm)											
100	90($P_o \geq P_f$)	146.1	139.8	177.3	230.8	195.7	295.4	352.5	344.4	275.0	283.3	214.3	145.7
90	50($P_o \geq P_f$)	146.1	139.8	177.3	230.8	195.7	295.4	352.5	344.4	275.0	283.3	214.3	145.7
80	26($P_o \geq P_f$)	89.0	92.0	118.2	163.6	130.4	233.3	240.0	223.1	200.3	183.6	160.0	102.9
70	12($P_o \geq P_f$)	64.3	72.5	88.0	122.7	89.0	176.2	183.3	167.6	173.1	140.9	125.0	83.3
60	3.0($P_o \geq P_f$)	49.0	58.7	70.0	90.5	66.9	142.9	146.7	128.6	146.2	107.3	95.0	68.8
50	-2.6($P_o \geq P_f$)	38.2	47.5	55.6	73.0	50.0	109.5	112.2	94.5	119.2	82.5	80.0	58.0
40	-5.4($P_o \geq P_f$)	30.0	39.2	44.8	59.0	39.2	85.0	88.3	72.5	97.0	65.0	68.0	49.2
30	-7.2($P_o \geq P_f$)	23.1	32.0	35.6	45.7	29.0	67.5	68.0	56.0	80.0	50.0	56.7	41.0
20	-8.3($P_o \geq P_f$)	17.3	25.0	26.9	35.6	21.4	50.0	50.0	40.0	64.7	37.8	44.8	32.9
10	-9.0($P_o \geq P_f$)	10.8	18.0	18.6	23.8	14.3	34.8	33.8	26.2	48.8	25.2	34.0	25.0

P_o : 관측값

P_f : 비초과 확률인자

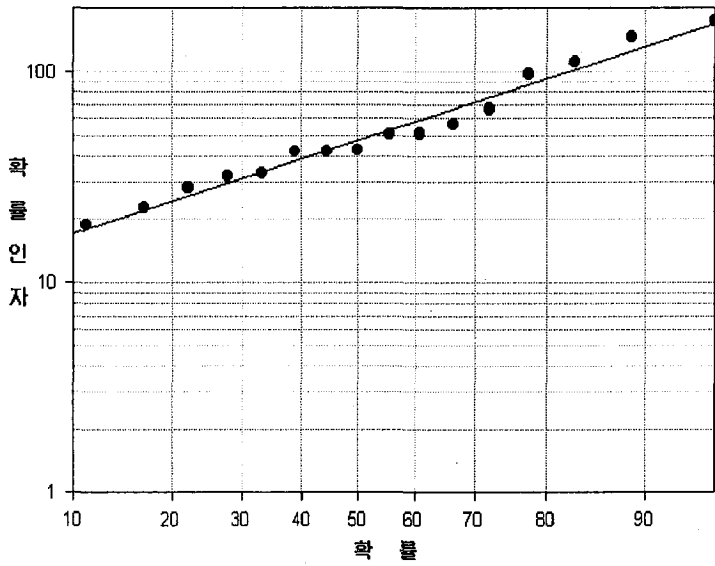


그림 1 2월의 빈도해석

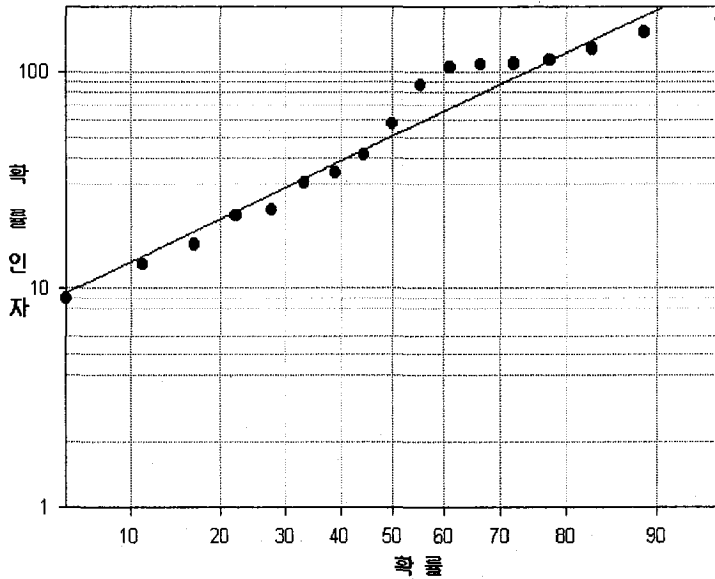


그림 2 5월의 빈도해석

5.2. 댐의 용수공급능력을 고려한 가뭄지수 산정

전술한 바와 같이 저수량, 유입량, 공급량, 방류량을 조합하여 하나의 확률인자를 결정하여

가뭄지수를 다시 산정하여 보았다. 조합된 확률인자에 의한 가뭄지수 산정은 표 7과 같다.

표 7 댐의 용수공급능력을 고려한 가뭄지수 산정

년도		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1991	probab	17.7	22.6	77.6	121.7	34.2	78.3	141.3	252.7	162.6	103.6	87.7	73.8
	M.I	-7.2	-8.3	12	12	-5.4	-5.4	3	50	12	3	3	12
	n.I	-20.0	-28.3	-16.3	-4.3	-9.7	-15.1	-12.1	+	+	+	+	+
	con	W	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	probab	56.3	51.1	89.8	145.3	57.5	42.5	20.4	220.2	209.5	150.0	114.3	89.8
	M.I	12	3	26	26	3	-8.3	-9	26	50	26	12	26
	n.I	+	+	+	+	+	-8.3	-17.3	+	+	+	+	+
	con	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	probab	83.9	111.2	101.3	57.6	105.0	194.4	208.3	153.6	92.5	90.5	91.4	61.7
	M.I	26	50	26	-5.4	26	26	26	12	-5.4	3	3	3
	n.I	+	+	+	-5.4	+	+	+	+	-5.4	-2.4	+	+
	con	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	probab	33.8	28.2	12.6	26.7	127.6	96.6	74.9	47.4	14.8	58.9	32.7	11.4
	M.I	-2.6	-7.2	-9	-8.3	26	-2.6	-5.4	-7.2	-9	-5.4	-9	-9
	n.I	-2.6	-9.8	-18.8	-27.1	-1.1	-3.7	-9.1	-16.3	-25.3	-30.7	-39.7	-48.7
	con	-	-	W	W	-	-	-	-	W	W	D	D
1995	probab	5.2	18.7	43.9	34.4	8.9	56.6	64.4	34.0	25.6	0.6	4.8	7.4
	M.I	-9	-8.3	-5.4	-8.3	-9	-7.2	-7.2	-8.3	-9	-9	-9	-9
	n.I	-57.7	-66.0	-71.4	-79.7	-88.7	-95.9	-103.1	-111.4	-120.4	-129.4	-138.4	-147.4
	con	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
1996	probab	2.6	-0.1	16.8	0.0	12.9	298.0	118.6	86.9	88.7	68.8	72.6	54.3
	M.I	-9	-9	-9	-9	-9	90	3	-2.6	-5.4	-2.6	-2.6	-2.6
	n.I	-159.4	-165.4	-174.4	-183.4	-192.4	+	+	-2.6	-8.0	-10.6	-13.2	-15.8
	con	D	D	D	D	D	-	-	-	-	-	-	-

여기서, probab : 관측치의 확률인자
M.I : 월별 가뭄지수
n.I : 누가 가뭄지수
con : 가뭄 형태

댐의 용수공급 능력을 고려한 가뭄지수 산정법(표 7)과 실제 용수공급 실적(표 4)을 비교해 보면 가뭄발생 시기 및 가뭄현상을 적절하게 나타내었다. 1991년 초에 나타난 가뭄현상은 실제 용수공급 실적에 나타난 것과 같이 매우 유사하게 재현을 하고 있는 것으로 나타났다. 1995년 6월부터 9월까지 표 4에서 알 수 있듯이 실제 가뭄발생 형태는 가뭄주의보를 나타내고 있지만 여기서는 계속적인 가뭄경보를 나타낸다. 이것은 풍수기인 점을 감안하여 6월부터 강수량이 많을 것으로 예상하고 생·공용수의 공급을 정상적으로 수행하여 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다. 반면에 표 7의 '96년 6월은 집중호우 발생으로 저수지의 저수량이 만수되었으므로, 월별 가뭄지수가 90이다. 그러나 누가가뭄지수는 - 값을 가지게 되므로써 가뭄이 계속되는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 전술한 바와 같이 우리나라 월 강수량의 변동특성에 기인하는 것으로 사료되므로, 풍수기인 6~9월 사이에 발생하는 회귀인자 100(월 가뭄지수 90)에 대한 저수지 공급능력의 누가가뭄지수는 +(*)로 회복되는 것으로 가정하였다. 이와 같은 경우, 표 7에 나타난 가뭄발생정도와 실측된

표 4의 성과는 매우 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 즉, 표 7에서 기술한 댐의 용수공급 능력을 고려한 가뭄지수의 산정은 가뭄발생 시기와 가뭄형태가 거의 일치하고 있으며, 실제 가뭄현상에 대한 적용성이 상당히 우수한 것으로 나타났다.

6. 결론

월 강우량만을 기본자료로 활용하는 기존의 Phillips 가뭄지수 산정법은 평수기 및 갈수기에 강우량에 지나치게 민감하게 반응하므로써 실제 가뭄발생 및 해결여부를 적절히 표현하지 못한다. 도시지역 가뭄발생이 댐이나 저수지와 같은 주요급수시설 및 용수공급체계에 좌우되므로 본 연구에서는 도시지역 급수체계에 따른 가뭄관리의 주요변수인 댐의 유입량, 공급량, 저수량 및 방류량을 고려한 가뭄지수 계산법 및 가뭄관리기법을 개발하였으며, 이를 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 울산지역은 1~3년의 연속적인 가뭄발생 주기가 짧아지고 있으며, 우리나라 이수안 전도 기준인 '67~'68년 갈수량보다 더 가뭄심도가 크고 가뭄계속기간이 긴 장기적인 가뭄이 자주 발생하고 있으므로 상수도 전용댐의 건설시 이에 대한 검토가 필요하다.

(2) 용수수급체계와 연계된 저수지 저수용량을 고려한 Phillips 가뭄지수 산정법은 가뭄발생 시기와 가뭄형태가 거의 일치하고 있으며, 그 적용성 또한 상당히 우수한 것으로 나타났다.

(3) 단일 저수지 또는 광역급수체계에 의존하는 도시지역 용수수급 관리에 저수지 저수용량을 고려한 가뭄지수 산정법을 고려하는 경우, 도시지역 가뭄관리 및 가뭄예경보에 효과적일 것으로 판단된다.

7. 참고문헌

1. Donald A. Wilhite, "Drought Assessment, Management, and Planning : Theory and Case Studies", Kluwer Academic Publishers, pp. 3~15, 1993.
2. 김 승, 우효섭., "항구적 가뭄대책을 위한 수자원 확보 및 이용방안 연구", 한국건설기술 연구원, pp. 1~3. 1996.
3. 김현영, "우리나라 가뭄의 정의와 특성분석", 대한토목학회지, 제43권, 제5호, pp. 23~32, 1995.
4. Haines, D.A., and Main, W.A., "Variation of six measures of fire activity associated with drought." Fifth National Conf. on Fire and Forest Meteorology, Atlantic City, American Meteorology Society, pp.4~6. 1978.
5. Karl, T.R., "Some spatial characteristics of drought duration in the United States." J. Climate Applied Meteorology, Vol.22, pp. 1356~1366, 1983.
6. Drought management planning, AWWA., ISBN 0-89867-627-4, pp. 1~38, 1992.
7. 허준행, 김경덕, 조원철., "다변량 추계학적 모형을 이용한 낙동강 유역의 가뭄해석에 관

- 한 연구”, 한국수자원학회지, 제30권, 제2호, pp. 155~163, 1997.
8. 최영진, 김현미, 최병철., “한국의 기후자료를 이용한 Palmer 가뭄지수와 습윤이상 지수의 비교분석”, 수공학 연구발표회 논문집, 제36회, pp. 233~239, 1994.
 9. 윤용남, 박무중., “L-Moment법을 이용한 월 강우량자료의 지역가뭄빈도 해석”, 한국수자원학회지, 제30권, 제1호, pp. 55~62, 1997.
 10. 조홍제, “도시지역 용수관리를 위한 가뭄 예경보지수에 관한 연구”, 한국수자원학회지, 제29권, 제1호, pp. 221~233, 1996.
 11. Delaware Comprehensive Water Resources Management Committee, “The management of water resources in Delaware.” Water conservation, water shortage subcommittee report, Document No. 40-80/82/12/12, 1983.
 12. Jordan, R.R, and Woodruff, K.D., “A numerical indicator of water conditions for northern Delaware.” Open File Report NO. 18, State of Delaware Geological Survey, Univ. of Delaware, Newark, 1982.
 13. 수도관리연보, 한국수자원공사, 1980~1996년.
 14. 겨울철 가뭄대비 상수도 비상급수대책(격일제 급수시행), 울산시 수도과, 1993~1996년.
 15. 정상만, 신현민., “다목적댐의 용수공급능력 평가방법의 개선”, 한국건설기술연구원, pp. 32~33, 1994.