

저수지 저수용량을 고려한 가뭄지수 산정과 가뭄관리에 대한 연구

조홍제* , ○김수현**,이호철**

1. 서 론

가뭄은 불가항력적인 자연현상이며 다른 어떤 자연재해보다 많은 사람들에게 악영향을 끼치는 위험한 것이다. 최근 20년간 세계 각국에서는 극심한 가뭄을 겪고 있으며, 우리나라는 1994년부터 1995년까지 전국 평균 강수량의 70~80% 수준에 불과하였다. 그리고 1996년에도 지역에 따라 심각한 가뭄현상을 보이고 있다. 우리나라의 수자원 공급구조는 하천의 유량에 절대적으로 좌우되고 장기간 가뭄이 발생할 가능성은 충분하며 이로 인한 피해는 매우 심각하다고 판단된다.

도시 지역의 생활 용수나 산업용수의 수급 체계에 있어서 가뭄에 의한 용수공급 부족시 가뭄관리 및 가뭄 심도에 따른 비상 급수대책 수립을 위해 가뭄예경보 시스템이 필요하다. 가뭄 지수의 산정은 월 강우량의 초과확률에 근거를 두고 있는 기존의 Phillips 가뭄지수법을 이용하였다. 도시지역의 급수체계가 댐이나 저수지 등으로 이루어지는 경우, 월 강우량만으로는 가뭄현상을 적절히 설명할 수 없게 된다(조홍제, 1996). 본 연구에서는 가뭄관리의 주요변수인 댐의 수위 및 저수량, 방류량 및 공급량등을 포함한 가뭄지수 계산법을 개발하였다. 울산지역의 주요 생활용수 공급원인 사연댐을 대상으로 하였으며, 1980년부터 1996년까지의 수문자료를 이용하였다.

2. 가뭄지수 산정의 개요

가뭄지수를 산정하는 방법은 여러 가지가 있다. 기상자료 및 토양수분 변화를 이용한 Palmer 가뭄지수가 대표적이며, 강수량이나 하천 유출량을 이용한 가뭄지수 계산법, 월 강수량과 6개월 누가강수량의 편차를 이용한 가뭄지수 산정법, 그리고 월 강수량과 하천 유출량 및 우물수위의 월 변화 등을 이용한 가뭄지수 산정법 등이 주로 이용되고 있다. 하지만 가뭄지수는 가뭄정도의 변화를 충분히 반영할 수 있어야 하므로, 기후조건의 변화에 민감하게 대응하고 가뭄주의보나 경보를 적절히 나타낼 수 있어야 할 뿐만 아니라 지나치게 민감하게 반응하지 않아야 한다. 본 연구에서는 미 델라웨어시 수자원 관리위원회(1983)가 월 강수량을 이용하여 개발한 비교적 해석이 용이하고 간결한 Phillips 가뭄지수 산정법을 이용하여 울산지역의 가뭄정도를 나타내어 보았다.

*울산대학교 토목환경공학부 교수

**울산대학교 토목환경공학부 대학원

3. 가뭄지수 산정

3.1 기본자료

본 연구의 적용을 위한 기본자료는 울산지역의 월 강우량 및 주요 상수공급원인 사연댐의 유입량, 저수량, 공급량, 방류량 자료를 이용하였다.

3.2 비초과 확률별 월 확률인자 산정

분석 대상지점의 관측된 월 강우계열과 월 저수계열 자료를 이용하여 빈도해석을 실시하고 가뭄지수를 산정하였다. 그리고 댐, 저수지 등의 급수시설과 체계와 연관된 용수공급을 고려하여 유입량과 방류량, 그리고 공급량을 조합하여 확률인자를 선정하였다. 월별 전기간 자료에 대한 확률인자를 산정하기 위하여 대수정규분포를 비롯한 다수의 확률지에 대한 적합도 검정을 실시한 결과 대수정규분포가 가장 적합하다고 판단되었다. 대수정규분포를 이용하여 빈도해석을 실시하였으며, 각 확률구간에 대한 비초과 확률인자를 표 1에 나타내었다.

표 1 울산지역 비초과 확률별 월별 확률인자 및 가뭄지수

월		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
%	가뭄지수	확률인자(강우량+저수량+유입량-방류량-공급량),단위(mm)											
100	90($P_o \geq P_f$)	155.6	328.6	290.0	385.7	328.6	845.0	650.0	800.0	645.0	342.9	288.0	188.0
90	50($P_o \geq P_f$)	155.6	328.6	290.0	385.7	328.6	845.0	650.0	800.0	645.0	342.9	288.0	188.0
80	26($P_o \geq P_f$)	122.2	188.9	220.0	284.0	250.0	565.0	522.7	581.8	466.7	260.0	206.0	138.9
70	12($P_o \geq P_f$)	98.0	133.3	177.8	236.0	200.0	420.0	440.0	460.0	371.4	200.0	172.2	105.6
60	3.0($P_o \geq P_f$)	84.0	90.0	155.6	194.4	172.2	328.6	385.7	377.1	300.0	177.8	144.5	86.0
50	-2.6($P_o \geq P_f$)	72.5	66.0	133.0	170.0	150.0	260.0	340.0	314.3	260.0	153.3	122.2	70.0
40	-5.4($P_o \geq P_f$)	64.0	48.3	105.6	150.0	127.8	200.0	300.0	260.0	210.0	127.8	95.6	60.0
30	-7.2($P_o \geq P_f$)	55.0	35.7	88.0	122.2	101.3	161.1	260.0	216.0	177.8	104.0	79.0	49.0
20	-8.3($P_o \geq P_f$)	46.7	24.0	70.0	95.0	81.0	116.7	220.0	177.8	144.4	82.0	63.0	40.0
10	-9.0($P_o \geq P_f$)	38.5	14.4	53.0	70.0	52.0	75.0	177.8	127.8	100.0	62.0	46.7	29.0

여기서, P_o : 관측값

P_f : 비초과 확률인자

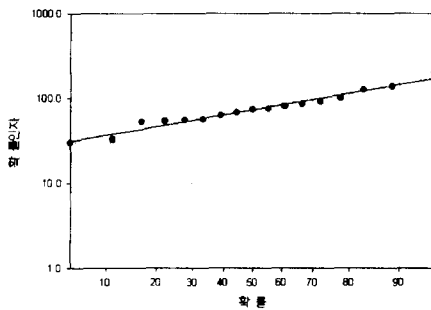


그림 1 1월의 빈도해석 예

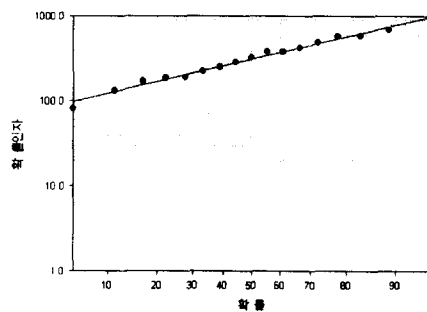


그림 2 8월의 빈도해석 예

3.3 월별 가뭄지수 산정

실제 용수공급에 대한 가뭄지수, 기존의 Phillips 가뭄지수법을 이용한 가뭄지수, 저수지 저수용량을 고려한 가뭄지수를 산정하는 순서로 저수지 저수용량을 고려한 가뭄지수의 우수성을 평가하였다.

3.3.1. 가뭄발생현황

실제 울산지역의 주요상수공급원인 사연댐의 급수실적에 대한 분석을 실시하였으며, 대표적으로 1991년부터 1996년까지의 내용만을 표 2에 나타내었다. 표 2는 실제 급수실적을 기준으로 표현한 가뭄지수이며, 그 기준은 다음과 같다. 사연댐은 유효저수량이 2,000만 톤으로서 1일 급수량 10만 톤기준으로 200일 분의 용수공급 능력을 가지고 있다. 사연댐의 유효저수량과 1일 급수량을 기준으로 가뭄발생 형태를 분석하여 표 5에 나타내었다. 가뭄발생형태(W,D)의 기준은 1일 급수량을 감량 공급하였거나, 감량 공급량 기준으로 유효저수량이 80일분 이하일 때에는 가뭄주의보(W)를 그리고 1일 공급량이 6.7만톤/일 이하였거나, 감량기준으로 유효저수량이 40일분 이하일 때에는 가뭄경보(D) 상태로 판단하였다.

표 2 유효저수량에 의한 가뭄발생 형태

단위 : 천m³/월

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1991	3791.9	2326	2651.3	3684.3	5502.4	7449.7	8190.6	15882.8	10718.7	6878.7	3841.5	3821.7
	W	D	W	-	W	-	-	-	-	-	-	-
1992	3240.9	2688.7	2948	6483.4	6955.4	3099.7	4644.5	3962	4409.6	4091.3	4139.9	4328.6
	-	-	-	-	-	W	W	-	-	-	-	-
1993	3722.3	3458.3	3617.3	3551.8	3403.6	5684.1	10671.9	12892.7	7272.5	3719.8	2602.9	3270.4
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	3596	3013.2	2893.3	2172.5	1852	2931.7	4749.1	5045.3	3550.6	2824.1	2163.9	2325.7
	W	W	D	D	-	-	-	W	W	W	W	D
1995	1860	560	627	1933	2687	2183	2602	2660	2578	2698	634	0
	D	D	D	D	D	W	W	W	W	D	D	D
1996	230	170	379	1955	612	1256	7453	4115	2419	2265	1833	1956
	D	D	D	D	D	-	-	-	-	-	-	-

W : 유효저수량 ≤ 80일분
 D : 유효저수량 ≤ 40일분
 - : 정상상태
 수치 : 공급량

3.3.2. 월 강우량을 이용한 가뭄지수 산정

기존의 가뭄지수 산정방법과 비교하기 위해서 분석 대상지점의 관측된 월강수계열 자료를 기본자료로 사용되는 기존의 Phillips 가뭄지수 산정법을 이용한 울산지역의 월별 가뭄지수를 1991년부터 1996년까지 표 3에 나타내었다.

표 3 월 강수량을 이용한 울산지역의 월별 가뭄지수

년도		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1991	강우량	38.2	36.6	108.6	164.5	84.8	171.0	449.6	698.7	169.1	2.8	12.4	122.6
	M.I	26	3.0	50	50	3.0	12	90	90	12	-9.0	-8.3	90
	n.I	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-9.0	-17.3	+
	con												
1992	강우량	41.5	26.9	96.1	152.7	86.3	29.2	103.5	318.4	168.0	24.8	53.6	54.4
	M.I	26	-5.4	26	50	3.0	-9.0	-7.2	50	12	-5.4	12	50
	n.I	+	-5.4	+	+	+	-9.0	-16.2	+	+	-5.4	+	+
	con												
1993	강우량	52.4	75.7	55.4	22.8	119.9	236.7	327.2	559.5	30.1	78.4	69.9	21.4
	M.I	50	50	-2.6	-9.0	26	26	50	90	-9.0	26	26	3.0
	n.I	+	+	-2.6	-11.6	-	+	+	+	-9.0	+	+	+
	con												
1994	강우량	28.2	44.9	31.0	83.6	186.9	122.1	103.3	61.2	68.2	142.7	43.0	6.3
	M.I	12	12	-7.2	-5.4	90	-2.6	-7.2	-9.0	-7.2	50	3.0	-7.2
	n.I	+	+	-7.2	-12.6	+	-2.6	-9.8	-18.8	-26	+	+	-7.2
	con								W	W			
1995	강우량	29.6	19.1	68.5	64.8	90.3	115.1	110.3	99.9	45.5	47.6	2.1	0.2
	M.I	12	-7.2	12	-7.2	3.0	-2.6	-7.2	-7.2	-9.0	3.0	-9.0	-9.0
	n.I	+	-7.2	+	-7.2	-4.2	-6.8	-14.0	-21.2	-30.2	-27.2	-396.2	-45.2
	con								W	W	W	D	D
1996	강우량	32.5	2.5	160.1	63.8	42	371	116.8	74.6	26.8	25.9	61.7	27.3
	M.I	12	-9.0	90	-7.2	-8.3	90	-7.2	-8.3	-9.0	-5.4	26	12
	n.I	-33.2	-42.2	+	-7.2	-15.5	+	-7.2	-15.5	-24.5	-29.9	-3.9	+
	con	W	D							W	W		

M.I : 월별 가뭄지수

n.I : 누가 가뭄지수

con : 가뭄 형태

3.3.3 댐의 용수공급능력을 고려한 가뭄지수 산정

전술한 바와 같이 강수량 뿐만 아니라 저수량, 유입량, 공급량, 방류량을 조합하여 하나의 확률인자를 결정하여 가뭄지수를 다시 산정하여 보았다. 조합된 확률인자에 의한 가뭄지수 산정은 표 4와 같다.

표 4 댐의 용수공급능력을 고려한 가뭄지수 산정

년도		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1991	probab	56.3	58.8	172.1	241.4	142.1	235.6	597.0	912.8	359.3	103.6	97.7	160.1
	M.I	-5.4	-2.6	12.0	26.0	-2.6	-2.6	50.0	90.0	12.0	-7.2	-2.6	50.0
	n.I	-32.0	-34.6	-22.6	+	-2.6	-5.2	+	+	+	-7.2	-9.8	+
	con	W	W	W									
1992	probab	90.2	97.4	173.2	333.1	148.7	68.6	120.9	491.0	437.5	178.3	140.8	97.0
	M.I	12.0	12.0	12.0	50.0	-2.6	-9.0	-9.0	26.0	26.0	12.0	3.0	12.0
	n.I	+	+	+	+	-2.6	-11.6	-20.6	+	+	+	+	+
	con							W					

년도		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1993	probab	125.9	187.4	158.3	77.4	226.3	414.5	482.6	691.5	127.3	154.8	170.8	83.8
	M.I	50.0	26.0	12.0	-8.3	26.0	12.0	26.0	50.0	-8.3	3.0	12.0	3.0
	n.I	+	+	+	-8.3	+	+	+	+	-8.3	-5.3	+	+
	con												
1994	probab	62.0	61.6	44.4	109.1	286.9	238.0	208.3	81.5	61.7	249.6	74.9	17.9
	M.I	-5.4	-2.6	-9.0	-7.2	50.0	-2.6	-8.3	-9.0	-9.0	26.0	-7.2	-9.0
	n.I	-5.4	-8.0	-17.0	-24.2	+	-2.6	-10.9	-19.9	-28.9	-2.9	-10.1	-19.1
	con				W				W	W			W
1995	probab	29.9	34.7	113.3	106.3	92.9	163.0	203.7	131.9	79.9	18.6	5.8	7.4
	M.I	-9.0	-7.2	-2.6	-7.2	-7.2	-5.4	-8.3	-8.3	-9.0	-9.0	-9.0	-9.0
	n.I	-28.1	-35.3	-37.9	-45.1	-52.3	-57.7	-66.0	-74.3	-83.3	-92.3	-101.3	-110.3
	con	W	W	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
1996	probab	32.6	0.9	175.8	69.0	71.9	682.0	214.6	168.9	117.7	108.8	129.6	83.3
	M.I	-9.0	-9.0	12.0	-9.0	-8.3	50.0	-8.3	-8.3	-8.3	-5.4	3.0	3.0
	n.I	-119.3	-128.3	-116.3	-125.3	-133.6	-83.6	-91.9	-100.2	-108.5	-113.9	-110.9	-107.9
	con	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D

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

4. 비교 및 고찰

월강수량을 기본자료로 사용되는 기존의 Phillips 가뭄지수 산정법(표 3)과 실제 용수공급 실적(표 2)을 비교해 보면 1991년에서 1993년까지는 어느정도 적합하나 1994년부터 시작된 가뭄에 대해서는 잘 반영하지 못한 것으로 나타났다. 1996년 3월의 경우 다소 많은 양의 강우로 인해 해결된 것으로 나타났지만 실질적으로 사연댐의 저수량은 크게 증가하지 못하였다. 가뭄발생 시기는 거의 일치되나 가뭄현상을 표현하는데 있어서는 실제 현상과의 반영비율면에서 떨어지는 것으로 나타났다.

댐의 용수공급 능력을 고려한 가뭄지수 산정법(표 4)과 실제 용수공급 실적(표 2)을 비교해 보면 가뭄발생 시기 및 가뭄현상을 적절하게 나타내었다. 1996년 6월부터는 정상적인 공급이 이루어졌지만 계속적인 가뭄경보를 나타낸다. 이것은 6월의 강우량만 높을 뿐 풍수기인 7월부터의 강우량이 그다지 높지 않다. 하지만 강우량이 높을 것으로 예상하고 정상공급을 하여 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다. 표 5에서 기술한 댐의 용수공급 능력을 고려한 가뭄지수의 산정은 가뭄발생 시기와 가뭄형태가 거의 일치하고 있으며, 실제 가뭄현상에 대한 적용성이 상당히 우수한 것으로 나타났다.

5. 결론

기존의 Phillips 가뭄지수 산정법으로는 실제 발생한 가뭄정도를 적절히 재현을 하지 못했다. 이를 보완하기 위해 저수지 저수량을 고려한 Phillips 가뭄지수법은 가뭄발생 시기와 가뭄형태가 거의 일치하고 있으며, 그 적용성도 매우 우수하였다. 그러므로 본 연구의 성과는 용수공급 및 체계등과 연관된 저수지 저수량을 고려한 Phillips 가뭄지수 계산법을 개발한 데 있다.

6. 참고문헌

1. 조흥제, 한국수자원학회지, 제 29권, 1996.2)
2. 한국수자원공사, 수도관리연보(1980~1996년).
3. 김현영, 우리나라 가뭄의 정의와 특성분석, 대한토목학회지, 1995.
4. 심재현, 외국의 가뭄대응과 물관련법, 대한토목학회지, 1995.
5. 한국건설기술연구원, 항구적 가뭄대책을 위한 수자원 확보 및 이용방안 연구, 1996.12.