

# 도시지역 용수관리를 위한 가뭄 예경보지수에 관한 연구

## A Study on the Index of Drought Warning and Emergency for the Municipal Water Supply Management

조 홍 제\*  
Cho, Hong-Je

---

### Abstract

The goal of the present research was to suggest a simple, reliable, and easily evaluated index of drought that could be used to consider a counterplan for water supply management against water shortage for municipal and industrial uses in city area. The index of drought was calculated by the Phillips drought index technique. The Phillips drought index is based on exceedence probabilities of monthly precipitation but it can also utilize daily data in order to present drought information on a real-time basis when needed. The application of the suggested technique was tested to municipal water supply system and management of Ulsan city and Pohang city, and showed promising. The Phillips drought index technique could be used for any other city's drought contingency plan.

---

### 요 지

본 연구에서는 가뭄지수를 간단하고, 신뢰성 있고 그리고 쉽게 구할 수 있는 방법을 제안함으로써, 가뭄시 도시지역의 생활용수 및 공업용수의 부족에 대비한 용수수급대책 마련에 이용할 수 있도록 하였다. 가뭄지수 산정은 Phillips 가뭄지수법을 이용하였다. Phillips 가뭄지수법은 월강수량의 초과확률에 근거를 두지만, 실시간 현 가뭄 상황을 파악할 필요가 있을 경우 일강수량자료를 이용할 수 있어 실용성이 아주 컸다. 적용성 검토를 위해 주요 공업지역인 울산시와 포항시의 생활용수 공급체계를 이용하였으며, 그 우수성이 확인되었다. 따라서 본 연구성과는 다른 도시 지역에서의 비상가뭄대책 수립에도 매우 유용한 방법으로 사용될 수 있다.

---

### 1. 서 론

가뭄을 단순히 한두 마디의 단어로 정의하기는 매우 어렵다. 일반적으로는 비가 오랫동안 오지 않

---

\* 울산대학교 토목공학과 교수

거나, 적게 오는 기간이 지속되는 현상으로 인식되고 있다. 하지만 가뭄현상을 정의하는 관점에 따라서 그 기준을 달리하게 된다. 수자원공학 측면에서 보면 물의 주요 공급원인 하천유출과 저수지 저수량의 결핍현상이 주된 인자가 되며, 수문학적 관점에서 보면 강수량부족과 그로 인한 유출량 결핍을 가뭄의 지표로 삼게된다. 농업 및 임업등 관개측면에서 보면 토양수분변화와 식물의 한계 성장조건 등이 주된 인자가 되지만, 홍수 발생시기에도 평년 이상의 홍수량보다 작은 양의 홍수가 발생하는 경우 가뭄현상으로 간주하게 된다. 또 용수의 수요 및 공급의 불균형에 의한 용수공급 부족시에도 가뭄현상으로 취급하게 된다.

가뭄은 국지적 특성이 강하게 나타나므로 가뭄의 진행상태나 심한 정도를 정의할 수 있는 객관적인 정의나 기준이 필요하다. 이를 위한 수단으로서 가뭄지수(Drought Index)가 이용되고 있으며, 가뭄지수란 가뭄의 심도를 객관적인 수치로 표현한 것으로서 가뭄의 경향이나 그 정도를 파악하는데 유용한 수단이다. 가뭄지수에는 사용되는 주요 변수들에 따라 여러 가지가 있으나 Palmer(1965)가 주로 농업을 위한 가뭄심도를 파악하기 위해 제안한 Palmer가뭄지수가 대표적이며, 미 기상청의 표준지수로 활용되고 있다.

Palmer 가뭄지수는 WMO(Drought and agriculture, 1975)에 의해 그 적용성이 검증된 것을 비롯하여서 Haines 등(1978)에 의해 산림방재 등 환경문제에, Karl(1983, 1986) 그리고 Drought management planning(1992)에 의한 가뭄관리 계획 등 그 적용성에 대한 많은 연구가 수행된 바 있다. 반면에 Dezman 등(1982)은 지표수 공급지수를 제안하였고, Rouhani 등(1989)은 저수지 저류량을 기준으로 한 실시간 가뭄지수 연구를, Kendall(1989)은 하천유출을 이용하여 수문학적 가뭄지수를 제안하였다. 그리고 Jordan 등(1982)과 미국 Delaware시 수자원관리위원회(Deiraware, 1983)는 도시에서의 용수공급에 필요한 가뭄예경보지수를 개발한 바 있다. 최근에는 Dracup(1991)이 가뭄예보의 기법과 필요성을 제안하였다. 국내에서는 가뭄의 감시나 예측 등에 대한 체계적인 연구가 수행된 바가 거의 없다. 기상

연구소(1993)의 강수량변동을 이용한 우리나라 가뭄특성 연구가 있으며, 가뭄지수에 관한 연구로서는 최영진등(1994)이 기후자료를 이용한 Palmer 가뭄지수에 관한 연구가 있다. 최근에는 1994년 발생한 전국규모의 가뭄에 의해 가뭄문제에 대한 관심이 높아지고 있으며, 김현영(1995), 김현준(1995) 등 다수의 가뭄사례연구 및 조사가 실시된 바 있다.

우리나라는 강우형태의 구조적 특성 때문에 10월부터 다음해 3월까지 약 5개월 정도 갈수기를 겪고 있으며, 봄의 농번기 가뭄과 장마철의 여름가뭄등이 수시로 발생하고 있어 용수확보 및 공급 등에 어려움을 겪고 있다. 특히 1994년과 같이 여름가뭄이 심화되는 경우 겨울철 갈수기를 대비한 용수확보가 어려워 이듬해까지 영향을 미치게 된다. 강수량의 부족으로 7월초 남부지방으로부터 시작되어 전국적으로 확산된바 있는 작년의 가뭄은 홍수기인 여름의 강우량이 평년의 30~70%에 불과한 여름가뭄에 해당된다. 특히 경북 내륙지방과 전남 내륙지방을 비롯한 남부 해안지방은 강수량의 지역차가 극심하였던 관계로 기상이변 등으로 간주되고 있다. 최근에는 도시화 등에 의한 인구 및 산업시설의 집중으로 용수수요의 형태가 뚜렷이 구분되고 있다. 관개용수 등은 계절적으로 수요가 큰 반면 도시에서의 생활용수 및 공업용수 등은 년중 일정한 량의 안정된 용수공급을 필요로 하고 있다. 가뭄에 대비해 충분한 용수공급시설이 요구되지만, 경제적 이유 등으로 인하여 완전한 용수공급시설을 갖출 수가 없으므로 가뭄시를 대비한 적절한 용수 공급체계 수립 및 관리가 필요하다. 따라서, 도시의 가뭄시 용수수급대책을 위한 객관적 수치기준을 마련하여 가뭄시 비상 급수대책 수립을 위한 지표를 구할 수 있는 적절한 방법에 관한 연구가 필요하다.

## 2. 연구목적 및 범위

본 연구의 목적은 도시지역의 생활용수나 공업용수 공급체계에 있어서 가뭄에 의한 용수공급부족시 가뭄예경보 및 가뭄심도에 따른 비상급수대책 수립에 필요한 객관적 수치인 가뭄지수를 제안하는데

표 1. 분석자료

울 산			포 항		
월강우량	사연댐	회야댐	월강우량	영천댐	안계댐
1951.1-1995.9 (44년)	1980-1994 (15년)	1987.8-1995.6 (9년)	1951.1-1995.9 (44년)	1980-1995 (15년)	1980-1995 (15년)

있다. 대상지역은 우리 나라 최대의 공업단지인 울산 주 대상으로 하였으며 포항지역을 참고지역으로서 비교에 이용하였다.

가뭄지수 산정법은 미 델라웨어시(Delaware, 1983)에서 개발 적용한 바 있는 Phillips 가뭄지수법을 이용하였으며, 주 분석자료는 월 강수량과 생활용수 및 공업용수 전용 댐의 수위 및 유효저수량을 이용하였다. 특히, 실무에서의 적용성을 고려하여 비교적 간략하고 신뢰성 있는 가뭄지수 산정에 주안점을 두었다. 분석에 이용된 자료는 표 1과 같다.

### 3. 이론적 배경

가뭄에 대한 심한 정도를 객관적인 수치로 설정하여 주의보나 경보를 내릴 수 있는 가뭄지수를 설정하는 방법에는 여러가지가 있다. 기상자료 및 토양수분 변화를 이용한 Palmer 가뭄지수가 대표적이며, 강수량이나 하천유출량을 이용한 가뭄지수계산법, 월강수량과 6개월 누가 강수량의 편차를 이용한 가뭄지수 산정법 그리고 월강수량과 하천유출량 및 우물수위의 월변화 등을 이용한 가뭄지수 산정법등이 주로 이용되고 있다. Palmer 가뭄지수가 미 기상청의 표준 가뭄지수법으로 채택된 바 있으나 가장 정확하다거나 표준방법으로서 기준은 설정된 바 없다. 하지만 가뭄지수는 가뭄정도의 변화를 충분히 반영할 수 있어야 하므로, 기후조건의 변화에 민감하게 대응하고 가뭄주의보나 경보를 적절히 나타낼 수 있어야 할 뿐만 아니라 지나치게 민감하거나 지나치게 민감하게 반응하지 않아야 한다.

이와 같은 관점에서 볼 때, 목적에 일치되는 적절한 가뭄지수 산정방법의 선택도 중요한 변수로 작용하게 된다. 본 연구에서는 미 델라웨어시 수자원관리위원회(1983)가 월 강수량을 이용하여 개발

한 비교적 해석이 용이하고 간결한 Phillips 가뭄지수 산정법을 이용하였다.

#### 3.1 Phillips 가뭄지수 산정법

가뭄의 발생 정도를 표현하기 위한 수단으로서 가뭄지수에 대한 연구가 다양하게 수행된 바 있으나 아직 가뭄을 정의할 수 있는 명확한 수치적 기준은 없다. 일반적으로 지난 수주간 또는 수개월간의 강우량이나 하천유출량이 지역에 따라 선정된 어떤 기준치보다 큰 경우에는 용수 공급에 지장이 없으므로 정상상태로 간주하고, 어떤 기준치 이하로 되어 장래 용수수급에 지장을 초래할 가능성이 있는 경우 가뭄주의 상태로, 그리고 계속되는 기준치 이하의 적은 강수량이나 유출량으로 인하여 용수수급에 차질이 생기는 경우 이를 가뭄으로 정의하게 된다. Phillips 가뭄지수법은 전술한 바와 같이 정상상태, 가뭄주의보 상태, 그리고 가뭄등 가뭄의 정도를 나타낼 수 있는 수치적 기준을 마련하는 데 있다. Phillips 가뭄지수 산정법은 분석 대상 지점의 관측된 월강수계열 자료를 기본자료로 이용한다. 각 월별 전기간자료에 대한 빈도해석을 실시한 후, 정상상태와 가뭄주의보 상태를 구분하는 하나의 기준치로서 평균확률치를 택한다. 기준치보다 작은 월강수량이 계속 되는 경우 가뭄현상이 발생하는 경우 가뭄현상으로 간주하여 그 크기 정도나 연속기간에 따라 가뭄심도의 규모를 나타낸다. 분석 자료인 월 강수량은 쉽게 획득할 수 있을 뿐 아니라 비교적 장기간의 관측자료를 보유하고 있어 신뢰성 있는 해석이 용이하고, 또 실제 가뭄 발생 기간 및 그 정도를 명확히 알 수 있어 실용성이 높다는데 본 방법의 장점이 있다. 즉 가뭄정도를 판단코자 하는 날자까지의 강수량을 그 달의 강수량으로 간주하는 경우, 분석시점까지의 가뭄정도를 알 수 있으므로 일단위의 가뭄예보까지 가능하게

표 2. 회귀인자 및 Phillips 가뭄지수

각 확률 구간 이하의 강수량 (확률 % ≥ 강수량)	회귀인자값 ( $l = ar^{n-1}$ )	가뭄지수 ( $l-10$ )
100 ≥ 강수량	100	90
90 ≥ 강수량	60	50
80 ≥ 강수량	36	26
70 ≥ 강수량	22	12
60 ≥ 강수량	13	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

주) 확률 55%일 때, 회귀인자값은 10

된다.

가뭄지수는 다음과 같은 절차에 의해서 유도된다.

첫째, 분석대상 지점내 관측된 월강수량 자료의 각 월별 전기간 자료에 대한 빈도해석을 실시하고, 10 개 구간으로 균등 분할된 확률치에 대한 비초과 월별강수량을 구한다.

둘째, 가장 낮은 확률의 계급값(0-10%)에 대한 회귀인자 값은 1로 정의하고, 가장 높은 확률의 계급 값(90-100%)에 대한 회귀인자 값은 100 으로 정의한다.

셋째, 각 월별 총강수량에 대한 회귀분석한 결과, Phillips는 식 (1)과 같은 회귀관계식을 제안하였으며, 회귀식의 결과는 각 구간별 확률계급치에 대한 회귀인자 값을 의미한다.

$$l = ar^{n-1} \quad (1)$$

여기서,  $n$ 은 확률구간 순위로서 1-10의 범위를 가지고  $l$ 은 확률구간별 회귀인자값을 나타내며 초기치( $a$ )는 1, 최대치는 100이 된다. 그리고  $r$ 은 상수로서 1.6681의 값을 가진다.

위와 같은 절차 및 식 (1)을 이용하여 각 확률구간에 대한 인자값을 구하면 표 2와 같다.

표 2에서 첫번째 열은 10%씩 균등하게 증가하는 10개의 확률계급 구간을 나타낸다. 두번째 열

은 식 (1)을 이용해서 구한 각 구간별 확률에 대한 회귀인자값을 나타낸다. 한편 가뭄을 정의하기 위해서는 일정한 기준이 필요하다. 식 (1)로 정의되는 각 확률 구간별 회귀인자 값은 최소 및 최대 확률을 모두 포함하고 있어 적절한 기준치의 설정이 어렵다. 따라서 각 확률 구간별 회귀인자 값이 가뭄의 심도를 나타낼 수 있도록 음의 값과 양의 값을 가지는 지수로 변환하는 것이 필요하다. 표 2의 첫번째 열에 나타낸 바와 같이 10개 구간으로 분할된 확률 10-100% 범위에서는 중앙값이 55%가 된다. 따라서 지수변환을 위해 필요한 기준치는 10개 구간으로 분할된 확률치의 중앙값인 55%를 사용하였다. 기준치로 선정된 확률치 55%에 대한 회귀인자 값을 구하면 식 (1)에서  $l=10$ 이 된다. 이를 이용해서 전 확률구간에 대한 회귀인자 값을 양의 값과 음의 값을 가지는 지수로 변환하기 위해서 기준치로 선정된 확률치 55%에 대한 회귀인자 값  $l=10$ 을 Zero로 두는 경우, 각 확률 구간에 대한 식 (1)의 회귀인자 값은 표 2의 세번째열에 나타낸 가뭄지수와 같게 된다. 즉 두번째 열의 각 확률 구간별 식 (1)의 인자값에 모두 10을 제하면 된다. 결과적으로 표 2의 세번째 열에 나타낸 인자 값은 가뭄지수를 의미하며, -9.0 에서 +90까지 99의 범위를 나타낸다. 이것은 표 2의 인자 값이 1에서 100까지 99의 범위를 나타내는 것과 같음을 알 수 있다. 여기서, 가뭄지수의 값이 음인 경

우는 가뭄상태를 나타내고 양의 값은 정상상태를 나타내며 수치의 크기는 가뭄의 심도를 의미 한다. 양의 수치가 큰경우는 강수량이 많음을 나타내고 음의 수치가 큰 경우에는 강수량이 매우 적어 가뭄 현상이 발생 할 가능성이 높음을 나타낸다.

#### 4. 가뭄지수 산정

##### 4.1 기본자료

본 연구의 적용을 위한 기본자료는 표 1에 나타낸 바와 같이 울산과 포항지역의 1951년 1월부터 1995년 9월까지의 측후소에서 관측한 월 강우량 자료를 이용하였다.

##### 4.2 비초과 확률별 월 강수량 산정

분석 대상지점의 관측된 월강수계열 자료를 이용하여 각 월별 전기간 자료에 대한 확률강우량을 산정하기 위해서 대수정규분포를 비롯한 다수의 분포형에 대한 적합도 검정을 K-S법으로 실시하였다. 적절하다고 판단되는 대수정규분포를 이용하여 빈도해석을 실시하였으며, 표 2에 나타낸 각 확률구간에 대한 비초과 확률강수량을 결정하였다. 빈도 해석 결과를 이용하여 전술한 방법으로 유도된 울

산및 포항시의 각 확률별 월별 강수량 및 가뭄지수는 표 3 및 표 4와 같다. 표 3 및 표 4에 나타낸 바와 같이 가뭄지수 90과 가뭄지수 50에 대한 월별 확률강수량이 같은 이유는 다음과 같다. 표 2에 나타낸 바와 같이 확률 100%이하 일때 가뭄지수는 90이 되고 확률 90%이하 일때는 가뭄지수가 50이 된다. 그러나 확률 100%에 대한 값은 구할 수 없으므로, 확률 100%이하 구간(90-100%)을 90%이상 구간(90-100%)으로 대치하여 사용하였다. 따라서 가뭄지수 90은 확률 90%이상 구간(90-100%)에 대한 가뭄지수를 나타내고 가뭄지수 50은 확률 90%이하 구간(80-90%)에 대한 가뭄지수를 나타내므로 표 3 및 표 4에서와 같이 동일한 값이 된다.

##### 4.3 월별 가뭄지수 산정

해당지역의 월별 가뭄지수를 산정하기 위해서는 댐, 저수지 등을 비롯한 급수시설 및 체계등과 연계 되어야 하겠으나, 일반적으로 중소규모의 도시 지역에 평균 이하의 강수량이 오랫동안 지속되거나 가장 극심한 강수 형태가 수개월째 지속 되는 경우 가뭄이 발생하게 된다. 울산시의 경우, 상수도 전용댐인 회야댐은 유효저수량 1200만톤으로서 94년 9월 기준으로 12만톤/일을 공급한 바 있다. 만

표 3. 울산지역 비초과 확률별 월별 강수량 및 가뭄지수

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
	확률 강수량(mm)											
가뭄지수												
90( $P_o \geq P_f$ )	89.6	122.7	158.3	209.7	205.7	359.6	395.6	424.6	372.3	167.3	162.4	96.4
50( $P_o \leq P_f$ )	89.6	122.7	158.3	209.7	205.7	359.6	395.6	424.6	372.3	167.3	162.4	96.4
26( " )	55.7	80.4	109.7	160.2	152.3	249.9	300.2	312.3	261.2	103.5	97.3	50.8
12( " )	58.7	59.8	85.6	135.6	121.7	190.3	249.6	251.7	204.7	74.2	67.8	32.9
3.0( " )	28.9	45.9	67.9	116.7	100.2	150.2	210.1	209.4	163.5	54.1	49.5	22.6
-2.6( " )	21.7	35.9	55.8	100.2	85.9	120.3	180.1	173.9	134.8	41.2	35.7	15.8
-5.4( " )	16.4	27.8	45.2	86.4	71.9	99.8	153.7	147.7	109.9	31.4	27.4	11.1
-7.2( " )	12.0	21.6	35.9	74.3	59.3	78.7	131.2	120.1	87.9	23.2	19.8	7.4
-8.3( " )	8.5	15.9	27.7	61.9	48.1	60.9	108.7	96.2	69.8	16.4	13.7	4.8
-9.0( " )	5.2	10.3	19.2	48.7	34.9	41.4	81.8	70.3	48.9	9.9	7.9	2.5

주)  $p_o$ : 관측 강수량

$p_r$ : 비초과 확률강수량(표 3)

표 4. 포항지역 비초과 확률별 월별강수량 및 가뭄지수

가뭄지수	월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
	확률 강수량(mm)												
90( $P_o \geq P_f$ )	101.0	139.6	133.3	139.8	140.0	250.0	390.0	353.2	324.5	194.6	143.7	87.1	
50( $P_o \leq P_f$ )	101.0	139.6	133.3	139.8	140.0	250.0	390.0	353.2	324.5	194.6	143.7	87.1	
26( " )	59.9	82.4	95.9	109.9	108.4	179.5	279.9	259.9	225.2	115.5	89.4	49.1	
12( " )	39.8	57.8	76.2	93.7	87.7	141.7	220.1	210.1	172.3	79.4	61.3	31.9	
3.0( " )	26.8	42.3	62.4	80.2	73.9	116.9	179.8	174.9	123.8	57.9	44.7	22.0	
-2.6( " )	18.4	32.1	51.9	69.8	63.9	95.8	149.9	147.6	111.2	43.2	33.4	15.8	
-5.4( " )	12.9	23.2	45.7	60.6	54.0	80.2	122.3	122.3	91.7	31.6	24.7	11.1	
-7.2( " )	8.5	16.9	34.9	52.2	45.7	66.0	100.0	102.1	73.6	22.4	17.9	7.6	
-8.3( " )	5.4	11.8	27.4	44.7	38.9	52.8	79.6	81.7	56.2	15.3	12.7	5.2	
-9.0( " )	2.9	6.9	20.0	34.5	28.2	38.0	57.8	60.0	48.7	9.4	7.4	2.7	

주)  $P_o$ : 관측 강수량

$P_f$ : 비초과 확률강수량(표 4)

약 2개월동안 연속으로 강수량이 전혀 없는 경우 댐의 저수율이 약 40% 정도로 떨어지게 되며, 무강수기간이 4개월 동안 연속되는 경우에는 사수량을 고려하여도 댐의 저수지가 비게 된다. 표 2에 나타난 바와 같이 비초과 확률 10% 이하의 강수가 발생하는 경우 가뭄지수가 -9이므로 2개월 연속시에는 가뭄지수가 -18이 되고 4개월 연속시에는 가뭄지수가 -36이 된다. 즉 누가가뭄지수가 -18보다 작을 경우에는 가뭄이 발생할 수 있는 가능성이 있게 되고, 누가가뭄지수가 -36보다 작을 때는 극심한 가뭄에 직면하게 됨을 알 수 있다. 서울지역과 같이 용수공급이 가능한 대규모의 댐군이 있고, 광역상수도 급수체계로서 용수공급을 하고 있는 대규모 도시지역과 울산이나 포항시처럼 단일 또는 2-3개의 작은 용량의 저수지에 용수공급을 의존하고 있는 중소규모의 도시지역은 가뭄발생에 대한 판단기준이 서로 다르게 된다. 앞으로 도시규모별 가뭄판단기준에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

이와같은 관점에서 월별 가뭄지수를 산정하는 절차를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 양의 월 가뭄지수나 2개월이상 연속양의 월가뭄지수 값은 단순히 (+)로 표시한다.

둘째, 전월의 가뭄지수가 음이고, 금월의 가뭄지수가 양일때 그 합의 결과로서 판단하며 양일때는

단순히 (+)로 표시한다.

셋째, 수개월 연속 누가가뭄지수의 값이 -18 보다 작을때는 가뭄주의 (Warning)로서 W를 표시한다.

넷째, 수개월 연속 누가가뭄지수의 값이 -36보다 작을때는 가뭄경보(Drought Emergency)로서 D를 표시한다.

다섯째, 가뭄주의보나 경보가 내려진 후에는 누가가뭄지수의 값이 양이될 때 해제된다.

여섯째, 가뭄주의보나 경보가 내려지면 누가일강수량을 월강수량으로 대체할 수 있다. 즉 분석지점까지의 강수사상에 대한 누가강수량을 월 강수량으로 간주하여 누가가뭄지수를 산정한 후, 양의 값을 나타내면 가뭄주의보 등을 해제할 수 있다.

위와 같은 절차에 의해 울산및 포항시에 대한 월별 가뭄지수를 결정하였으며, 지면 관계상 과거 가뭄의 심도가 비교적 크다고 판단되는 년도와 최근 10년 정도의 결과를 표 5와 표 6에 나타내었다. 표 5 및 표 6에 나타난 바와 같이 누가가뭄지수가 -18이하가 되어 일단 가뭄주의보(W)가 내려지거나 누가가뭄지수가 -36이하가 되어 가뭄경보(D)가 내려진 이후에는 누가가뭄지수가 + 값으로 환원되지 않으면, 가뭄이 계속되고 있음을 의미하므로 누가가뭄지수가 기준치(-18,-36)보다 작게 되더라도 가뭄주의보 및 가뭄경보가 계속되어야 한

다. 즉 가뭄주의보나 가뭄경보가 내려진 후, 다소 많은양의 비가 오더라도 가뭄해갈을 충분히 시켜주지 못하는 경우에는 가뭄주의보 상태나 가뭄경보상태가 지속되고 있거나 계속될 가능성이 있다는 것을 의미한다.

표 5. 울산지역의 월별 가뭄지수

월		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
55	precip	4.1	86.9	66.1	54.1	43.0	64.9	196.1	225.6	127.2	20.0	71.9	7.1
	M.I	-9.0	50	3.0	-8.3	-8.3	-7.2	3.0	12	-2.6	-7.2	26	-7.2
	n.I	-9.0	+	+	-8.3	-16.6	-23.8	-20.8	-8.8	-11.4	-18.6	+	-7.2
	con						W	W	W	W	W		
62	precip	9.0	12.8	18.4	90.6	41.9	81.0	168.7	331.7	222.9	40.7	65.9	13.1
	M.I	-7.2	-8.3	-9.0	-2.6	-8.3	-5.4	-2.6	50	26	-2.6	12	-2.6
	n.I	-7.2	-15.5	-24.5	-27.1	-35.4	-40.8	-43.4	+	+	-2.6	+	-2.6
	con			W	W	W	D	D					
64	precip	54.8	54.8	61.7	167.6	115.4	165.4	111.6	34.9	151.4	15.6	10.5	6.2
	M.I	26	12	3.0	50	12	12	-7.2	-9.0	3.0	-8.3	-8.3	-7.2
	n.I	+	+	+	+	+	+	-7.2	-16.2	-13.2	-21.5	-29.8	-37.0
	con										W	W	D
65	precip	35.7	12.9	34.2	81.0	102.5	29.6	451.2	201.6	53.4	40.3	133.9	22.9
	M.I	12	-8.3	-7.2	-5.4	12	-9.0	90	3.0	-8.3	-2.6	50	12
	n.I	-25.0	-33.3	-40.5	-45.9	-33.9	-42.9	+	+	-8.3	-10.9	+	+
	con	D	D	D	D	D	D						
81	precip	28.4	51.7	21.9	87.8	18.6	174.4	162.9	126.2	308.9	38.9	40.5	3.8
	M.I	3.0	12	-8.3	-2.6	-9.0	12	-2.6	-5.4	50	-2.6	3.0	-8.3
	n.I	-2.4	+	-8.3	-10.9	-19.9	-7.9	-10.5	-15.9	+	-2.6	+	-8.3
	con					W	W	W	W				
86	precip	2.0	32.1	56.6	52.8	108.3	338.3	115.6	52.2	124.2	68.1	8.0	43.5
	M.I	-9.0	-2.6	3.0	-8.3	12	50	-7.2	-9.0	-2.6	12	-8.3	26
	n.I	-14.2	-16.8	-13.8	-22.1	-10.1	+	-7.2	-16.2	-18.8	-6.8	-15.1	+
	con				W	W				W	W		
87	precip	47.7	33.1	70.3	78.3	82.7	187.1	213.7	421.4	36.8	37.1	57.1	0.2
	M.I	26	-2.6	12	-5.4	-2.6	12	12	50	-9.0	-2.6	12	-9.0
	n.I	+	-2.6	+	-5.4	-8.0	+	+	+	-9.0	-11.6	+	-9.0
	con												
88	precip	27.6	13.0	65.4	77.9	79.5	161.8	278.5	238.9	85.2	6.7	0.0	7.8
	M.I	3.0	-8.3	3.0	-5.4	-2.6	12	26	12	-7.2	-9.0	-9.0	-5.4
	n.I	-6.0	-14.3	-11.3	-16.7	-19.3	-7.3	+	+	-7.2	-16.2	-25.2	-30.6
	con					W	W					W	W
89	precip	99.9	109.2	130.1	24.3	25.4	198.9	260.6	132.6	212.1	20.1	90.4	67.7
	M.I	90	50	50	-9.0	-9.0	26	26	-5.4	26	-7.2	26	50
	n.I	+	+	+	-9.0	-18.0	+	+	-5.4	+	-7.2	+	+
	con					W							
90	precip	54.3	128.1	53.6	138.6	104.5	294.9	195.1	58.4	132.5	23.9	48.1	0.8
	M.I	26	90	-2.6	26	12	50	3.0	-9.0	-2.6	-5.4	3.0	-9.0
	n.I	+	+	-2.6	+	+	+	+	-9.0	-11.6	-17.0	-14.0	-23.0
	con												W
91	precip	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	12	3.0	26	50	-2.6	12	90	90	12	-9.0	-8.3	90
	n.I	-11.0	-8.0	+	+	-2.6	+	+	+	+	-9.0	-17.3	+
	con	W	W										
92	precip	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	26	3.0	-9.0	-8.3	50	12	-5.4	12	50
	n.I	+	-5.4	+	+	+	-9.0	-17.3	+	+	-5.4	+	+
	con												

월		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
93	precip	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	26	26	-2.6	-9.0	12	26	50	90	-9.0	26	26	3.0
	n.I	+	+	-2.6	-11.6	+	+	+	+	-9.0	+	+	+
	con												
94	precip	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	3.0	3.0	-7.2	-5.4	50	3.0	-8.3	-9.0	-8.3	50	3.0	-7.2
	n.I	+	+	-7.2	-12.6	+	+	-8.3	-17.3	-25.6	+	+	-7.2
	con									W			
95	precip	29.6	19.1	68.5	64.8	80.9	106.4	110.3	99.9	45.5			
	M.I	12	-7.2	12	-7.2	-2.6	-2.6	-8.3	-7.2	-9.0			
	n.I	+	-7.2	+	-7.2	-9.8	-12.4	-20.7	-27.9	-36.9			
	con							W	W	D			

표 6. 포항지역의 월별 가뭄지수

월		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
52	precip	0.8	55.0	73.6	43.9	33.7	14.1	56.0	121.5	142.8	40.7	73.7	53.8
	M.I	-9.0	12	12	-8.3	-8.3	-9.0	-9.0	-5.4	12	-2.6	26	50
	n.I	-9.0	+	+	-8.3	-16.6	-25.6	-34.6	-40.0	-28.0	-30.6	-4.6	+
	con						W	W	D	D	D	D	
62	precip	28.6	4.7	34.3	57.9	30.9	45.1	95.7	231.3	185.7	42.0	102.0	13.3
	M.I	12	-9.0	-7.2	-5.4	-8.3	-8.3	-7.2	26	26	-2.6	50	-2.6
	n.I	+	-9.0	-16.2	-21.6	29.9	38.2	-45.4	-19.4	+	-2.6	+	-2.6
	con				W	W	D	D	D				
63	precip	3.3	1.4	32.3	97.5	87.2	374.0	184.5	188.2	24.9	30.0	7.9	14.3
	M.I	-8.3	-9.0	-7.2	26	12	90	12	12	-9.0	-5.4	-8.3	-2.6
	n.I	-10.9	-19.9	-27.1	-1.1	+	+	+	+	-9.0	-14.4	-22.7	-25.3
	con		W	W	W							W	W
68	precip	1.1	1.6	37.9	23.8	58.1	48.8	199.5	198.5	139.3	77.9	13.9	4.6
	M.I	-9.0	-9.0	-5.4	-9.0	-2.6	-8.3	12	12	12	12	-7.2	-8.3
	n.I	-18.0	-27.0	-32.4	-41.4	-44.0	-52.3	-40.3	-28.3	-16.3	-4.3	-11.5	-19.3
	con	W	W	W	D	D	D	D	D	D	D	D	D
81	precip	19.1	47.9	29.2	48.5	12.3	128.5	46.9	215.1	236.4	26.4	39.0	4.8
	M.I	3.0	12	-7.2	-7.2	-9.0	12	-9.0	26	50	-5.4	3.0	-8.3
	n.I	-4.2	+	-7.2	-14.4	-23.4	-11.4	-20.4	+	+	-5.4	-2.4	-10.7
	con					W	W	W					
82	precip	17.1	29.5	60.3	42.6	31.0	86.3	132.4	209.1	47.6	43.7	89.1	5.7
	M.I	-2.6	-2.6	3.0	-8.3	-8.3	-2.6	-2.6	12	-9.0	3.0	26	-7.2
	n.I	-13.3	-15.9	-12.9	-21.2	-29.5	-32.1	-34.7	-22.7	-31.7	-28.7	-2.7	-9.9
	con				W	W	W	W	W	W	W	W	W
86	precip	5.5	24.6	73.8	33.3	81.8	196.3	122.9	116.1	79.9	67.4	9.4	47.4
	M.I	-7.2	-2.6	12	-9.0	12	50	-2.6	-5.4	-5.4	12	-8.3	26
	n.I	-17.0	-19.6	-7.6	-16.6	-4.6	+	-2.6	-8.0	-13.4	-1.4	-9.7	+
	con												
87	precip	44.5	64.9	72.7	48.7	51.1	121.5	206.1	357.9	27.5	32.1	54.4	11.8
	M.I	26	26	12	-7.2	-5.4	12	12	90	-9.0	-2.6	12	-2.6
	n.I	+	+	+	-7.2	-12.6	-0.6	+	+	-9.0	-11.6	+	-2.6
	con												
88	precip	27.8	33.3	6.8	43.7	60.9	95.3	297.7	99.6	243.5	18.6	0.0	5.6
	M.I	3.0	3.0	3.0	-8.3	-2.6	-2.6	50	-7.2	50	-7.2	-9.0	-7.2
	n.I	+	+	+	-8.3	-10.9	-13.5	+	-7.2	+	-7.2	-16.2	-23.4
	con												W



월		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
89	precip	139.9	105.1	134.9	24.4	48.4	134.9	156.8	228.6	232.4	1.7	127.1	143.0
	M.I	90	90	90	-9.0	-5.4	12	3.0	26	50	-9.0	50	90
	n.I	+	+	+	-9.0	-14.4	-2.4	+	+	+	-9.0	+	+
	con												
90	precip	30.5	157.8	52.2	79.7	80.7	171.2	174.6	91.7	119.3	33.1	43.3	1.1
	M.I	12	90	3.0	3.0	12	26	3.0	-7.2	3.0	-2.6	3.0	-9.0
	n.I	+	+	+	+	+	+	+	-7.2	-4.2	-6.8	-3.8	-12.8
	con												
91	precip	34.7	48.2	88.5	82.7	27.0	80.6	414.1	579.0	125.9	0.2	6.4	99.6
	M.I	12	12	26	12	-9.0	-2.6	90	90	12	-9.0	-9.0	90
	n.I	+	+	+	+	-9.0	-11.6	+	+	+	-9.0	-18.0	+
	con											W	
92	precip	64.2	23.6	84.0	119.0	55.0	25.2	105.0	273.5	130.4	16.4	13.3	40.6
	M.I	50	-2.6	26	50	-2.6	-9.0	-5.4	50	12	-7.2	-7.2	26
	n.I	+	-2.6	+	+	-2.6	-11.6	-17.0	+	+	-7.2	-14.4	+
	con												
93	precip	71.6	70.8	69.2	25.8	121.2	157.2	296.7	451.7	53.4	39.2	64.2	10.2
	M.I	50	50	12	-9.0	50	26	50	90	-8.3	-2.6	26	-5.4
	n.I	+	+	+	-9.0	+	+	+	+	-8.3	-10.9	+	-5.4
	con												
94	precip	24.0	28.5	29.0	38.9	157.1	105.7	16.9	19.8	11.4	122.7	41.9	4.1
	M.I	3.0	-2.6	-7.2	-8.3	90	3.0	-9.0	-9.0	-9.0	50	3.0	-8.3
	n.I	-2.4	-5.0	-12.2	-20.5	+	+	-9.0	-18.0	-27.0	+	+	-8.3
	con				W				W	W			
95	precip	21.1	17.1	56.5	64.7	69.1	64.4	116.9	221.7	68.4			
	M.I	3.0	-5.4	3.0	-2.6	3.0	-5.4	-5.4	26	-7.2			
	n.I	-5.3	-10.7	-7.7	-10.3	-7.3	-12.7	-18.1	+	-7.2			
	con						W						

주) precip : 강수량  
M . I : 월별 가뭄지수  
n . I : 누가 가뭄지수  
con : 가뭄 형태

표 7. 울산 및 포항지역의 가뭄발생 비교

	전 체 월 수	정 상	가 뭄 주 의 보	가 뭄 경 보
울 산	537	467	55	13
포 항	537	470	52	13

전술한 방법과 표 5 및 표 6의 결과에 의거 울산 및 포항의 전기록에 대한 가뭄심도의 정도를 판단할 때 기왕의 월 강수량에 대한 가뭄주의보나 가뭄경보를 내릴 수 있었던 기록을 정리하면 표 7과 같다.

여기서, 가뭄주의보란 가뭄에 의한 용수수급에 차질이 예상되므로 비상 급수대책 마련 등 경계가 필요한 시점을 의미하며, 가뭄경보란 가뭄에 따른 단계적 비상급수의 실시에 대한 필요성과 피해 경감 대책이 시급함을 나타낸다.

표 5, 표 6, 그리고 표 7에 따르면 총 537개월

의 분석 자료중 용수수급에 어려움이 예상되었던 가뭄전 단계는 울산 55회, 포항 52회로서 약 10%의 발생빈도를 나타내며, 실제 용수수급에 심각한 어려움이 있었을 것으로 판단되는 가뭄은 울산, 포항 모두 13회로서 약 2.5%에 불과하였다. 그러나, 실제 가뭄은 60년대 중반, 80년대 초, 그리고 94년과 95년 등 1-2년간 연속되는 적은 강수량에 의하여 발생하였으므로 가뭄시에는 심각한 어려움이나 피해를 겪었을 것으로 판단된다. 한가지 특기할 사항은 강우특성에 의한 계절적 겨울가뭄에 의한 용수부족 현상보다도 오히려 평수기인 봄, 가

을이나 홍수기인 여름가뭄에 의한 용수부족 현상이 두드러진 점이다.

### 5. 급수체계에 따른 가뭄현상

강수량의 변화에 따른 가뭄발생현상과 급수시설이나 용수 수요 및 공급에 따른 가뭄발생간에는 다소의 차이점이 발생할 수 있으므로 가뭄지수에 대한 신뢰성을 파악하기 위해서는 이에 대한 분석 및 검토가 선행되어야 한다. 분석에 앞서서 용수공급용 댐이나 주요 수리시설의 설계기준을 살펴 볼 필요가 있다. 우리나라 상수도 전용 댐의 법적 설계기준에 따르면 무강우시 계획 용수공급량을 최소 100일 동안 안정공급 가능하도록 유효저수량의 규모가 설정되어 있다. 분석대상인 회야댐은 이와같은 법적 설계기준에 따라 하루 12만톤 공급계획에 필요한 1,200만톤의 유효저수량으로 건설되었다. 수자원 장기종합계획 보고서(1990)는 용수의 안정적 공급을 위해서 이수안전도를 기준으로 한 용수수급 계획의 필요성을 강조한 바 있다. 우리나라에는 이에 대한 구체적 연구가 없으나 60년대 말에 발생한 가뭄을 기준으로 하고 있으며, 참고적으로 외국의 경우와 비교하여 나타내면 표 8과 같다.

표 8. 이수안전도

국명	이수 안전도 기준
우리나라	1967-1968 갈수량
일본	10년 빈도의 제1위 상당의 갈수량
영국	50년 빈도의 갈수량
미국	100년 빈도의 7일 평균 갈수량(위싱턴 수도) 과거기록 최대 갈수량(캘리포니아주)

#### 5.1 유효저수량에 의한 가뭄발생형태

용수공급시설중 상수도 전용댐인 회야댐에 의해 울산시의 상수도 급수능력이 좌우되고, 영천댐에 의해 포항시의 상수도 급수능력이 좌우되므로 회야댐 및 영천댐에서의 용수공급실태를 분석할 필요가 있다. 상수도 전용댐인 회야댐은 1986년 7월 완공

되었으며, 유효저수량 1,200만 톤으로서 1일 급수량 12만 톤기준으로 100일 분의 용수공급 능력을 가지고 있다. 회야댐의 유효저수량과 1일 급수량을 기준으로 가뭄 발생 형태를 분석하여 표 9에 나타내었다. 가뭄발생형태(W, D)의 판단기준은 울산시에서 실제 운영한 바 있는 겨울철 가뭄대비 상수도 비상급수대책(1993-1995)에 근거를 두었다. 즉 1일 급수량을 감량 공급하였거나, 감량 공급량 기준으로 유효저수량이 40일분 이하일 때에는 가뭄주의보(W)를 그리고 1일 공급량이 8만톤/일 이하였거나, 감량기준으로 유효저수량이 20일분 이하일 때에는 가뭄경보(D) 상태로 판단하였다. 회야댐 급수시설 및 정수시설능력 120,000 m<sup>3</sup>/day를 기준으로 할 때, 1988년의 가뭄현상은 댐의 유효저수량이 적어 수개월 지속되는 적은 강수량에 의해 용수공급 능력이 급격히 줄어들게 됨으로써 발생한 현상이다. 비록 표 5의 가뭄지수에 의한 가뭄현상과는 다소 차이가 있으나 가뭄발생 시기와 형태는 일치하고 있다. 즉 회야댐의 유효저수량이 보다 크거나 이수안전도 개념에서 현 회야댐의 용수공급 능력을 조절하는 경우, 두 현상은 잘 일치될 수 있을 것이다. 그리고 1991년과 1993년의 가뭄현상은 수요증가 및 정수시설 확장에 따라 댐용수공급 기준치를 초과하여 용수를 공급함으로써 발생한 것으로 판단되지만, 표 5의 가뭄지수를 기준으로 한 가뭄현상의 발생시기 및 형태가 거의 일치하고 있다. 1994년의 가뭄현상은 낙동강 계통상수도가 완공될 것으로 예상하여 설계치보다 훨씬 초과하여 1일 175,000~195,000m<sup>3</sup>을 공급하므로써 발생한 현상이며, 최근에는 26~27m 정도의 안정된 수위하에서 정상적인 공급이 이루어지고 있다. 따라서, 월별 강수량에 의한 가뭄지수의 적용성이 우수한 것으로 판단된다.

한편, 우리나라 강우특성을 고려할 때 회야댐과 같이 유효저수량을 상수도 전용댐 설계기준인 100일 분 안정 공급은 현실성이 없으며, 용수공급을 위한 댐등 주요 수리시설은 이수안전도를 고려한 용수공급 계획에 의해 건설되어야 할 것으로 판단된다.

한편 포항시의 용수수요는 1일 생활용수 135,000톤과 공업용수 163,000톤에 달한다. 주요 공급

표 9. 유효저수량에 의한 가뭄발생형태(회야댐)

시 기	수 위(m)	일급수량 (m <sup>3</sup> )	유효저수량 (일분)	가뭄발생 형태	비 고
1988. 1.12	25.6	110.000	45	W	유효저수량 부족
1.28	24.88	100.000	40	W	유효저수량 부족
2.2	24.60	90.000	40	W	유효저수량 부족
2.12	24.25	80.000	40	D	유효저수량 부족
3.12	23.10	80.000	20	D	유효저수량 부족
4.23	25.27	100.000	57	W	유효저수량 부족
12.31	24.60	100.000	36	W	가뭄
1989. 1.14	24.36	90.000	36	W*	가뭄
1.26	25.70	100.000	51	W*	가뭄
1990.12.31	25.35	120.000	38	W	가뭄
1991. 2. 5	23.05	129.000	12	D	공급증가,가뭄
3.9	21.70	130.000	1	D**	공급증가,가뭄
3.12	23.3	125.000	15	D**	공급증가,가뭄
4.17	24.0	120.000	23	W	공급증가
1993. 1. 8	26.00	96.000	58	W	유효저수량 부족
1.19	26.40	146.000	42		공급증가
1.29	26.0	96.000	57	W	유효저수량 부족
2. 7	25.5	121.000	40	W	유효저수량 부족
1994. 1.26	24.10	108.000	27	W	유효저수량 부족
4.11	22.5	108.000	9	D	유효저수량 부족
5.30	29.3	108.000	108		
10.8	22.10	170.000	5	D	낙동강계통 상수도 확장

주) \* : 1월말까지 가뭄계속, \*\* : 3월중순까지 가뭄계속

원은 영천댐, 안계댐 및 형산강 하류부인 부조일대의 하천수(복류수포함)이며 안계댐은 영천댐에 대한 조절지 역할을 주로 하고 있다. 따라서 포항시의 용수공급은 영천댐의 유효저수량과 형산강의 하천수에 좌우된다. 형산강의 하천수는 강우량 변동에 따라 하천수위 및 취수량이 직접 관계되므로, 영천댐의 저수량 변동이 급수조절의 주요 변수가 된다. 안계댐과 연계하여 이에 대한 변화를 검토하였으며 그 결과는 표 10과 같다. 포항시의 경우 제한급수 실시에 대한 수치적 기준은 없으나 상수도 공급현황 및 비상급수대책(1995)에 따르면 장기간 동안 평년 이하의 강우량이 계속되고, 댐의 유효저수량이 약 10~20%에 달할 때 여건에 따라 제한급수를 실시한 바 있다. 따라서 총 유효저수량(8,100

만톤)의 20%을 가뭄주의보(W)로, 그리고 10%를 가뭄경보(D)로 간주하여 나타내었다. 표 10에 나타낸 바와 같이 94년 9월 4일부터 유효저수량이 약 10% 정도이며, 실제 9월 1일부터 최근까지 제한급수를 시행한 바 있다. 표 6에 나타낸 포항지역의 가뭄지수와 비교하면 94년 8, 9월의 가뭄주의보 등과 잘 일치하고 있다. 10월은 다소 많은 강우량으로 인해 일시적으로 해갈된 것으로 나타났으나 실제 영천댐의 저수량은 크게 증가하지 못하였고 갈수위가 시작되는 관계로 제한급수를 계속한 것으로 판단된다. 한편, 실제 용수공급을 하고 있는 조절지 안계댐의 유효저수량은 총유효저수량의 약 70%를 상회하여 계속 유지되었으나 이것은 급수체계에 따른 구조적 특성에 기인한다.

표 10. 유효저수량에 의한 가뭄 발생형태

영 천 댐					안 계 댐				
시 기	유효저수량	최저저수량	가뭄정도	비 고	시 기	유효저수량	최저저수량	가뭄정도	비 고
1988.6.19	16,060				88.6.19	3,762			
~	~	10,400	W*	가뭄심화	~	~	2,094		
7.15	14,910				7.16	2,140			
12.26	16,120				12.26	9,190			
~	~	12,860	W**	가뭄심화	~	~	9,190		
1989.2.20	16,000				89.2.20	11,030			
1993.1.21	16,160				93.1.21	7,410			
~	~	10,932	W	가뭄심화	~	~			
2.22	15,840				2.22	7,040			
1994.7.29	16,188				94.7.29	7,410			
~	~	8,180	W	가뭄심화	~	~	6,630		
9.4	8,180				9.4	6,959			
9.4	8,180				9.4	6,959			
~	~	601	D	제한급수	~	~	7,920		
12.31	1,619				12.31	10,428			
1995.1.1	1,619				95.1.1	10,428			
~	~		D	제한급수	~	~			
8월현재	11,660				8월현재	6,295			

주) 영천댐 만수량 = 81,000천톤, \* : 7월중순까지 가뭄계속  
 안계댐 만수량 = 13,000천톤, \*\* : 89년 1월중순까지 가뭄계속

## 6. 결 론

가뭄발생시 도시지역의 비상급수대책에 유용한 한편하고, 신뢰성 있고, 쉬운 가뭄지수 산정법에 대해서 연구하였다. 주요 공업지역인 울산시 및 포항시의 실제 급수시설 및 관리체계를 이용하여 그 적용성을 검토하였으며 결과는 다음과 같다.

- (1). 월 강수량의 초과확률을 이용한 Phillips 가뭄지수 산정법은 가뭄시 비상급수대책에 필요한 지표 산정을 위해 간결하고, 신뢰성있는 수단이 될 수 있다.
- (2). Phillips 가뭄지수법을 이용하는 경우, 실시간 현재 가뭄현상을 알 수 있을 뿐아니라 일단위의 가뭄심도를 예보할 수 있다.
- (3). 주요 저수시설의 유효저수량 및 급수체계 등과 연계하는 경우보다 실제적인 가뭄예경보가 가능하며, 이에 대한 보완 연구가 필요하다.

(4). 단일 저수지등에 도시지역의 급수체계를 의존하는 경우, 이수안전도를 기준으로 안정적으로 용수공급이 가능한 유효저수량(댐)을 확보하는 것이 필요하다.

## 감사의 글

본 연구를 위해 귀중한 자료를 제공해주신 울산시 상수도사업본부, 울산시 수도과 그리고 포항시 수도과에 진심으로 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 기상연구소 (1993). "우리나라 가뭄에 관한 연구: 강수량변동에 관한 기후학적 특성연구." MR93A-005.
- 겨울철 가뭄대비 상수도 비상급수대책(격일제급수 시행). (1993-1995). 울산시 수도과.

- 김현영 (1995). “우리나라 가뭄의 정의와 특성분석.”  
대한토목학회지, 제43권, 제5호, pp. 23-32.
- 김현준 (1995). “1994-1995 가뭄현저조사.” 제 36회  
수공학 연구발표회 논문집, pp. 548-553.
- 수자원 장기종합계획보고서. (1990). 한국수자원공사.
- 회야댐 관리일지. (1986-1995). 울산시 상수도 사업본  
부.
- 최영진, 김현미, 최병철 (1994). “한국의 기후자료를  
이용한 Palmer 가뭄지수와 습윤이상 지수의 비교  
분석.” 제 36회 수공학 연구발표회 논문집, pp.  
233-239.
- 상수도 공급현황 및 비상급수대책 (1995). 포항시 수  
도과.
- Delaware Comprehensive Water Resources Man-  
agement Committee. (1983). “The manage-  
ment of water resources in Delaware.” *Water  
conservation, water shortage subcommittee re-  
port*, Document No. 40-80/82/12/12.
- Dezman, L.E., Shafer, B.A., and Simpson, H.D.  
(1982). “Development of a surface water  
supply index: A drought severity indicator  
for Colorado.” *Proceeding Inter. Symp. on  
Hydrometeorology*, AWWA, Bethesda, MD, pp.  
126-131
- Dracup, J.A. (1991). “Drought monitoring.” *Sto-  
chastic hydrology and hydraulics*, Vol. 5, pp.  
261-266.
- Drought management planning* (1992). AWWA.,  
ISBN 0-89867-627-4, pp. 1-38
- Haines, D.A., and Main, W.A. (1978). “Variation  
of six measures of fire activity associated  
with drought.” *Fifth National Conf. on Fire  
and Forest Meteorology*, Atlantic City, Ameri-  
can Meteorology Society, pp. 4-6.
- Jordan, R.R., and Woodruff, K.D. (1982). “A nu-  
merical indicator of water conditions for  
northern Delaware.” *Open File Report* NO. 18,  
State of Delaware Geological Survey, Univ.  
of Delaware, Newark.
- Karl, T.R. (1983). “Some spatial characteristics  
of drought duration in the United States.” *J.  
Climate Applied Meteorology*, Vol. 22, pp. 1356  
-1366.
- Karl, T.R. (1986). “The sensitivity of the Palmer  
drought severity index and Palmer Z-index  
to their calibration coefficients including po-  
tential evapotranspiration.” *J. Climate and Ap-  
plied Meteorology*, Vol. 25, pp. 77-86.
- Kendall, D.R. (1989). “Drought analysis using re-  
newal-reward model and a hydrologic  
drought index,” Ph.D. dissertation, *UCLA*.
- Palmer, W.C. (1965). “Meteorological drought.”  
*Research Paper No. 45*, U.C. Weather Bureau,  
Washington D.C.
- Ronhani, S., and Cargile, K.A. (1989). “A  
geostatistical tool for drought management.”  
*J. of Hydrology*, Vol. 108, pp. 257-266.
- Drought and Agriculture* (1975). Tech., Note NO.  
138, WMO NO. 392, World Meteorological  
Organization, Geneva.

〈접수: 1995년 9월 21일〉