

# 낙동강 유역의 유역 유출량 산정에 따른 지역별 가뭄 빈도분석

## Regional Drought Frequency Analysis with Estimated Monthly Runoff Series in the Nakdong River Basin

김 성 원\* · 지 홍 기\*\*  
Kim, Sung Won · Jee, Hong Kee

### Abstract

In this study, regional frequency analysis is used to determine each subbasin drought frequency with watershed runoff which is calculated with Tank model in Nakdong river basin. L-Moments method which is almost unbiased and nearly normal distribution is applied to estimate parameters of drought frequency analysis of monthly runoff time series. The duration of '76-'77 was the most severe drought year than other water years in this study. To decide drought frequency of each subbasin from the main basin, it is calculated by interpolating runoff from the frequency-drought runoff relationship. And the linear regression analysis is accomplished between drought frequency of main basin and that of each subbasin. With the results of linear regression analysis, the drought runoff of each subbasin is calculated corresponding to drought frequency 10, 20, and 30 years of Nakdong river basin considering safety standards for the design of impounding facilities.

As the results of this study, the proposed methodology and procedure of this study can be applied to water budget analysis considering safety standards for the design of impounding facilities in the large-scale river basin. For this purpose, above all, it is recommended that expansion of reliable observed runoff data is necessary instead of calculated runoff by rainfall-runoff conceptual model.

### I. 서 론

최근에 이상기후로 인하여 전세계적으로 가뭄이 도처에 발생하고 있으며, 문명의 발전으로 인하여 불수요량은 날로 증가하게 되어 가뭄의 피해는 더

욱 치명적으로 다가오고 있다. 따라서 가뭄을 잘 이해하고 가뭄의 빈도와 정도를 결정하는 것은 가뭄에 따른 피해를 최소한으로 줄이기 위한 합리적인 계획과 운영을 가능하게 한다. 가뭄에 대한 정의는 연구분야별로 다양하게 정의되어 있다. Warrick

\* Engineering Research Center, Colorado State University, USA

\*\* 영남대학교 토목도시환경공학부

키워드 : 지역가뭄빈도, L-Moments, 탱크모델, 이수안 전도, 유역유출량, 선형회귀분석

(1975)<sup>25)</sup>은 인간, 식물, 동물들에게 어려움을 주는 충분한 상태라고 설명하였지만 강우의 부족현상이 장기화되는 현상이 가뭄을 설명하는데 더욱 밀접한 관련이 있다고 제시하였다. 한편 유역면적이 큰 유역일수록 유역의 지리·지형학적 특성 및 기후적인 특성분포가 다양할 가능성이 크며, 이로 인해 낙동강과 같은 대유역에서 임의빈도의 가뭄이 발생할 경우 유역전역에서 동일한 정도의 가뭄이 동시에 발생할 가능성은 작아지며, 소유역의 특성에 따라 심도가 다른 빈도의 가뭄이 발생하게 될 것이다.

가뭄문제를 해석하기 위한 연구로서 먼저 외국의 경우를 보면 Matalas(1963)<sup>18)</sup>는 확률분포형을 통한 빈도해석법을 제시하였으며, Yevjevich(1967)<sup>27)</sup>는 대륙에서의 수문학적 가뭄현상에 대한 연구를 수행하였고, Mallan & Yevjevich(1971)<sup>17)</sup>는 관측갈수량의 확률분포형에 관한 연구를 수행하였으며, Sen(1976)<sup>21)</sup>은 연유출량의 가뭄기간을 제시하였다. 국내의 연구로는 허준행(1997)<sup>8)</sup>등은 다변량모델인 MAR, MCAR모델을 이용하여 낙동강유역의 가뭄특성을 제시하였으며, 윤용남(1972)<sup>5)</sup>은 저 유하량의 통계분석을 통한 급수용 저수지설계에 관한 연구를 수행하였으며, 윤용남(1997)<sup>6)</sup>등은 L-Moments법을 이용하여 월강우량의 지역빈도분석을 제시하였다. 또한 김성원(1998)<sup>3)</sup>은 하천유역의 물수지분석에 관한 연구에서 L-Moments법에 의한 가뭄기간계열의 산정에 따른 물수지분석을 실시하였으며, 김재형(1998)<sup>4)</sup>등은 이수안전도를 고려한 한강유역의 지역별 가뭄빈도결정에 관한 연구를 수행하였고, 김경덕(1998)<sup>2)</sup>등은 크기 및 기간차원을 이용한 한강유역의 가뭄해석에 관한 연구를 수행하였다. 이와같이 국내·외에서 가뭄해석에 관해 연구는 많은 방법론과 해석방법이 제시되면서 연구활동이 활발한 실정이다.

본 연구에서는 낙동강유역을 수문학적 동질성을 가지는 25개의 소유역으로 분할한 후 낙동강유역 전체 및 각 소유역내의 유역유출량을 강우-유출모형인 탱크모델에 의해 계산하고, 이를 L-Moments

법에 의해 지역빈도해석을 실시하여 가뭄 지속기간 12개월에 대한 재현기간별 유출량을 산정하였다. 그리고 물수지년을 기준으로 낙동강유역의 주요 가뭄년도의 소유역별 유출량을 해당 소유역의 재현기간별 유출량과 비교하여 그 연도의 가뭄빈도를 내삽·추정하였으며, 해당 년도의 낙동강유역 전체 가뭄빈도와 임의 소유역의 빈도를 상관시켜 선형회귀분석을 실시하여 낙동강유역 전체의 가뭄빈도에 대응하는 각 소유역의 가뭄빈도를 결정하였다. 그리고 그 결과에 의하여 낙동강유역 전체의 이수안전도 가뭄빈도 10년, 20년, 그리고 30년에 해당하는 소유역별 유출량을 계산하였으며, 본 연구과정을 통하여 국내의 대하천유역의 가뭄분석에 있어서 가뭄빈도 및 크기해석을 위한 방법론을 제시하고자 한다.

## II. 유역유출량 산정모형

일본의 Sugawara(1967)<sup>23)</sup>가 최초로 개발한 탱크모델은 임의의 집수유역을 여러 개의 저류형탱크로 가상하여 강우-유출과정을 모형화한 것으로서 하천유출과 관련된 일종의 개념적인 수문모형인 동시에 집중형(lumped)모형이다. 따라서 하천의 지배유역이 보다 복잡할 경우 유역전체를 하나의 일체형으로 가상하여 모형화하는 방법이 보다 효율적이므로 탱크모형의 이점을 최대한 이용할 수 있다.

### 1. 탱크모델의 이론

유출공 및 침투공에서의 유출하는 유량은 단위 시간  $\Delta t$ 에 대하여, 탱크의 저류량에 따른 각 유출공의 수두에 비례하며, 가장 단순한 1단 탱크를 생각하면, 유출공  $Q(t)$ 는 탱크의 저류고에 비례하는 다음 식 (1)과 같다.

$$Q(t) = A \cdot h(t) \dots \dots \dots (1)$$

여기서  $A$ 는 저류공의 계수(단위:  $h^{-1}$ ,  $day^{-1}$ )이

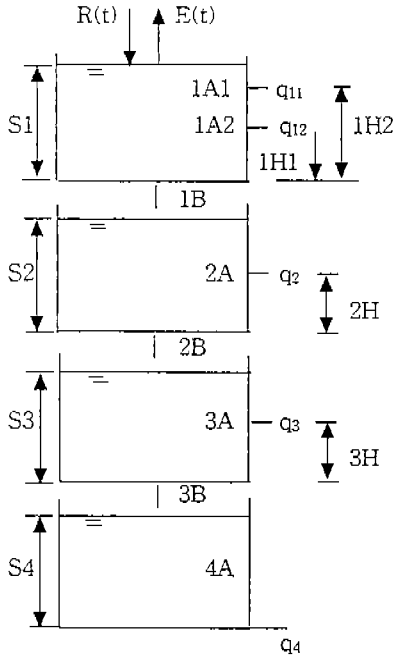


Fig. 1. Conceptual diagram of Tank model

고,  $h$ 는 탱크의 저류고(단위:mm)이다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 직렬 4단인 탱크모형을 이용하여, 유역을 4단 직렬로 배열한 저류형으로 임의 시간의 강우는 최상단탱크에 유입되어 저류되고, 일부는 유출공을 통하여 지표류( $q_s$ )가 생기고 나머지는 하단탱크로 침투된다. 또한 유역에서 발생한 증발은 최상단인 제 1단 탱크에서 증발되며, 강수시 상단탱크의 저류고가 0이 되면 하단탱크로부터의 증발이 일어난다. 각 탱크의 유출성분을 살펴보면 먼저 제 1단 탱크의 1, 2유출공으로부터의 유출은 지표면유출, 제 2단 탱크의 유출공의 유출은 중간유출 및 제 3단 및 제 4단 탱크의 유출공으로부터의 유출은 기저유출에 해당된다. 따라서 하천유출은 지표면유출, 중간유출 및 기저유출 등의 3가지 성분의 합으로 이루어진다.

## 2. 탱크모델 매개변수 산정

탱크모델에 입력되는 기본 입력자료는 주로 유역의 수문요소인 일강우량과 유역의 증발산량이

며, 지형요소인 유역면적, 유로연장, 유로중심장 및 유로경사 등으로 구성된다. 그리고 모형의 매개변수는 탱크의 저류고, 유출계수 및 침투계수 등으로 구성된다. 이들 매개변수는 정밀 유량관측점에서 강우량, 증발량 및 기타 수문자료들을 이용하여 추정하며, 각 탱크로부터 발생하는 유출량( $q$ )는 각 탱크의 사용가능한 저류고( $S-H$ )와 각 유출공의 유출계수( $A$ )의 곱에 의해 계산되고, 침투량( $Z$ )은 저류고( $S$ )와 침투공 침투계수( $B$ )의 곱으로 계산되며, 다음 식 (2)~(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 q_1 &= 1A1(S1 - 1H1) + 1A2(S1 - 1H2), \\
 q_2 &= 2A(S2 - 2H), \quad q_3 = 3A(S3 - 3H) \\
 q_4 &= 4A \cdot S4 \dots\dots\dots(2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= 1B \cdot S1, \quad Z_2 = 2B \cdot S2, \\
 Z_3 &= 3B \cdot S3 \dots\dots\dots(3)
 \end{aligned}$$

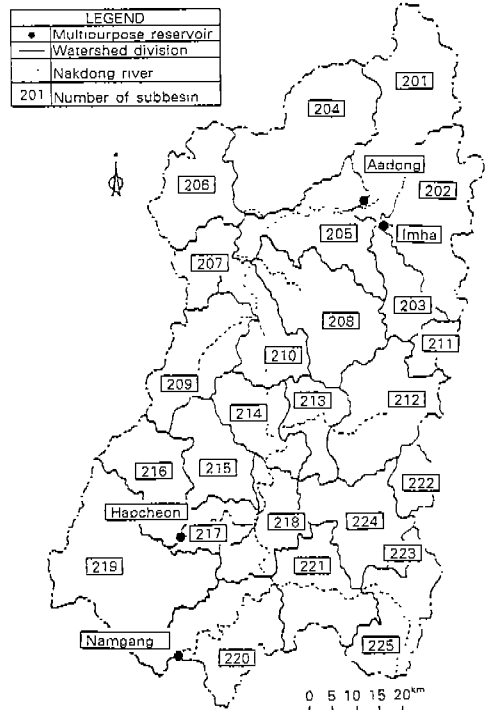


Fig. 2. Subbasin division of nakdong river basin

또한 탱크모델 매개변수의 보정은 탱크모델이 기존의 유출모델에 비교하여 구조가 비교적 간단하고 계산과정이 단순하지만 모델의 매개변수와 직결되는 수문자료나 그 현상을 찾기에는 난점이 많으므로, 모델 매개변수의 추정은 도해적 방법과 수치해석법에 의하여 시행착오적으로 실시할 수밖에 없다. 따라서 본 분석에서는 한국수자원공사(1989)<sup>7)</sup>의 낙동강수계 다목적댐 연계운영방안연구(1차)보고서에서 수치해석법에 의해 제시된 낙동강유역 탱크모델 매개변수를 이용하여 적용하였으며, 낙동강수계 다목적댐 연계운영방안연구(1차)보고서에서는 낙동강유역을 24개 소유역으로 분할하였으나, 23번 소유역의 경우는 본 연구에서의 23번 및 24번 소유역에 해당하므로 동일한 매개변수를 사용하였다. 다음 Fig. 2는 낙동강유역의 소유역 분할도를 나타내었으며, 각 소유역의 탱크모

델 매개변수는 Table 1과 같다.

### 3. 유역 유출량의 통계분석지표

유역 유출량 산정에 있어서 적용되고 있는 통계적 검증방법으로 실측유출량과 모형에 의해 산정된 계산유출량과의 오차를 비교·검토하여 각 목적함수를 최소화하는 방법을 이용하였으며, 다음 Table 2와 같다. Table 2에 의하면 평균오차(mean error), 평균계급오차의 제곱근(root mean square error), 평균절대편차(mean absolute deviation), 시계열오차(time series error), 체적오차(volume error) 및 상관계수(correlation coefficient)를 통계분석지표로 결정하였으며, 여기서  $X_i$ 는 실측유출량,  $Y_i$ 는 계산유출량,  $X_{im}$ 은 실측유출량의 평균치,  $Y_{im}$ 은 계산유출량의 평균치,  $\sigma_x$ 는

Table 1. Tank model parameters for each subbasin

Subbasin	Area (km <sup>2</sup> )	1H1	1A1	1H2	1A2	1B	2H	2A	2B	3H	3A	3B	4H	4A	4B	S3	S4
201	1,584.0	30	0.20	15	0.13	0.29	10	0.033	0.1	10	0.0006	0.0003	0.0	0.0012	0.0	30	300
202	1,376.3	30	0.23	15	0.11	0.19	10	0.017	0.073	10	0.0006	0.0001	0.0	0.0012	0.0	30	300
203	515.2	30	0.25	15	0.12	0.34	5	0.06	0.06	15	0.006	0.007	0.0	0.0026	0.0	30	300
204	1,808.2	25	0.25	17	0.20	0.33	5	0.08	0.09	18	0.003	0.013	0.0	0.0010	0.0	40	300
205	1,107.7	25	0.23	15	0.18	0.29	5	0.06	0.08	15	0.009	0.010	0.0	0.0020	0.0	30	300
206	921.8	30	0.24	15	0.14	0.33	10	0.05	0.08	10	0.005	0.008	0.0	0.0009	0.0	30	300
207	434.8	30	0.25	15	0.12	0.35	10	0.08	0.10	15	0.005	0.008	0.0	0.0006	0.0	30	300
208	1,404.8	30	0.28	15	0.18	0.32	10	0.75	0.12	10	0.008	0.007	0.0	0.0013	0.0	30	300
209	1,003.7	30	0.28	15	0.15	0.30	10	0.008	0.08	10	0.006	0.009	0.0	0.0010	0.0	30	300
210	918.6	25	0.25	17	0.20	0.33	5	0.08	0.09	18	0.003	0.013	0.0	0.0010	0.0	40	300
211	235.0	27	0.29	16	0.15	0.30	10	0.06	0.08	10	0.004	0.005	0.0	0.0018	0.0	30	300
212	1,293.9	27	0.27	15	0.18	0.29	5	0.06	0.09	15	0.005	0.007	0.0	0.0010	0.0	30	300
213	557.8	27	0.23	15	0.19	0.30	5	0.07	0.08	20	0.006	0.008	0.0	0.0011	0.0	30	300
214	766.3	25	0.25	17	0.20	0.33	5	0.08	0.09	18	0.003	0.013	0.0	0.0010	0.0	40	300
215	780.3	27	0.244	15	0.19	0.30	5	0.07	0.10	15	0.007	0.009	0.0	0.0010	0.0	30	300
216	925.0	30	0.26	15	0.18	0.26	10	0.03	0.05	15	0.04	0.028	0.0	0.0009	0.0	30	300
217	403.2	30	0.27	15	0.19	0.30	10	0.07	0.07	15	0.009	0.007	0.0	0.0015	0.0	30	300
218	807.0	25	0.25	17	0.20	0.33	5	0.08	0.09	18	0.003	0.013	0.0	0.0010	0.0	40	300
219	2,285.0	25	0.22	15	0.23	0.29	10	0.04	0.12	15	0.0036	0.015	0.0	0.0005	0.0	30	300
220	1,181.1	25	0.28	15	0.20	0.31	10	0.085	0.07	15	0.007	0.008	0.0	0.0011	0.0	30	300
221	1,023.5	25	0.25	17	0.20	0.33	5	0.080	0.09	18	0.003	0.013	0.0	0.0010	0.0	40	300
222	301.0	25	0.24	15	0.23	0.34	10	0.07	0.12	15	0.007	0.009	0.0	0.0010	0.0	30	300
223	95.4	25	0.23	15	0.22	0.31	10	0.07	0.10	15	0.008	0.009	0.0	0.0009	0.0	30	300
224	1,029.2	25	0.23	15	0.22	0.31	10	0.07	0.10	15	0.008	0.009	0.0	0.0009	0.0	30	300
225	899.0	25	0.25	17	0.20	0.33	5	0.08	0.09	18	0.003	0.013	0.0	0.0010	0.0	40	300

Table 2. Statistical analysis index

Index	Relation Equation
Mean Error(ME)	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)$
Root Mean Square Error(RMSE)	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}$
Mean Absolute Deviation(MAD)	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N  X_i - Y_i $
Time Series Error(TSE)	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{X_i - Y_i}{X_i} \right) \times 100$
Volume Error(VER)	$\frac{\sum_{i=1}^N X_i - \sum_{i=1}^N Y_i}{\sum_{i=1}^N X_i} \times 100$
Correlation Coefficient(CC)	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{X_i - X_m}{\sigma_x} \right) \left( \frac{Y_i - Y_m}{\sigma_y} \right)$

실측유출량의 표준편차,  $\sigma_y$  는 계산유출량의 표준편차이고  $N$  은 자료의 개수를 나타내고 있다.

### III. 가물빈도분석이론

#### 1. 빈도분석 방법의 선정

Hann(1977)<sup>12)</sup>, Matalas et al(1975)<sup>19)</sup>, Hosking & Wallis(1993)<sup>16)</sup>과 WMO(1989)<sup>26)</sup> 등은 종래의 모멘트법으로 결정된 확률분포형으로 모의된 자료 계열과 관측자료 계열간에는 큰 편차가 항상 존재하며, 빈도해석의 유연성에 큰 문제가 있음을 지적한 바 있다. 반면에 L-Moments법은 확률가중모멘트(probability weighted moment, PWM : Greenwood et al, 19799) : Hosking, 1989<sup>13)</sup>)에 근거한 확률분포의 통계특성치의 선형조합으로 표시되며, 종래의 방법에 비하여 매개변수 추정에서 편이를 최소화할 수 있고, 표본추출에 따른 편차를 줄일 뿐만 아니라 이상자료(outlier)의 처리에 있어서도 융통성이 있는 등 여러 가지 장점이 있는 것으로 평가되고 있다(Hosking, 1990<sup>14)</sup>). 따라서 본 연구에서는 L-Moments법을 사용하여 매개변수를 추정하면서 지역빈도분석을 실시함으로써 관측치와의 편이를 최소화하고자 하였다.(Vogel & Fennessey, 1993<sup>24)</sup>)

#### 2. 지역빈도분석절차

L-Moments법을 이용한 지역빈도분석을 위해서는 지점별 자료의 검증(screening of data), 동질성 지역의 검증(identification of homogeneous regions), 지역확률분포의 선정(choice of a regional frequency distribution) 및 지역 빈도분포의 매개변수산정(estimation of regional frequency distribution) 등의 단계를 거친다.

##### 가. 지점별 자료의 검증

소유역내 임의 지점의 L-Moments값이 다른 지점의 값과 큰 차이를 보이는지를 확인하는 절차로서 불일치 척도 Di(discordancy measure)를 다음 식 (4)와 같이 계산하여 자료의 오류를 판단하게 된다.

$$D_i = \frac{1}{3} (U_i - \bar{U})^T S^{-1} (U_i - \bar{U}) \dots \dots \dots (4)$$

여기서,  $U_i = [t_2^i, t_3^i, t_4^i]^T$ 로서  $i$ 지점 자료의 L-Moments비인  $t_2, t_3, t_4$ (L-CV, L-Skewness, L-Kurtosis)의 벡터를 표시하며,  $\bar{U}$ 는 소유역내  $N$ 개 지점의  $U_i$  벡터의 산술평균 벡터로서 다음 식 (5)와 같이 표시된다.

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i \dots \dots \dots (5)$$

그리고  $S$ 는 표본자료의 공분산벡터로서 다음 식 (6)과 같이 표시된다.

$$S = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (U_i - \bar{U})(U_i - \bar{U})^T \dots \dots \dots (6)$$

식 (4)로 계산되는 Di의 값이 과다하게 큰 지점은 소유역단위로 보았을 때 자료의 일치도가 떨어지는 지점임을 의미하며, 이러한 지점의 자료는 오류여부를 확인할 필요가 있다.

##### 나. 동질성 지역의 구분

어떤 소유역에 소속된 지점의 자료계열이 수문학적 동질성을 가지는가를 평가하기 위하여 다음

식 (7)과 같이 이질성 척도 H(heterogeneity measure)를 사용한다.

$$H = \frac{V - \mu_V}{\sigma_V} \dots\dots\dots(7)$$

여기서 V는 지점별 표본자료의 L-CV(변동계수)의 가중표준편차이고,  $\mu_V$ 와  $\sigma_V$ 는 V의 N개의 지점에서 모의발생된 평균과 표준편차이다. 또한 V는 다음 식 (8)로 계산된다.

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N n_i (t_2^i - \bar{t}_2)^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \dots\dots\dots(8)$$

따라서 표본자료집단의 평균 L-Moments인  $1, \bar{t}_2, \bar{t}_3, \bar{t}_4$ 를 가지는 Kappa분포를 적합시키고, Kappa분포에 맞추어 N개의 지점 각각에 대하여 임의성을 가정할 수 있을 만큼 표본의 자료수와 동일한 모의자료수로 충분한 회수의 모의발생을 실시한다. 모의 발생시킨 집단자료별로 식 (8)에 의해 가중표준편차 V를 계산한 후 이의 평균치와 표준편차를 계산하여 식 (7)에 넣으면 이질성 척도 H를 구하게 된다. Hosking & Wallis (1993)에 의하면  $H < 1$ 이면 동질성 지역으로 수용가능하며,  $1 \leq H < 2$ 이면 이질성 지역일 가능성이 있으며,  $H > 2$ 이면 확실한 이질성 지역으로 분류된다. 따라서, 만약  $H > 1$ 이면 대상유역을 좀 더 작은 몇 개의 소유역으로 분할하여 분석할 필요가 있다.

다. 적정 확률분포형의 선정

수문학적 동질성을 가지는 유역에 대한 적정분포형을 선정하는 척도로서 적합성 척도 Z(goodness-of-fit measure)를 사용한다. 적합성 척도를 산정하는 목적은 동질성을 갖는 한 지역 내에 있는 여러 지점들에 가장 적합한 확률분포형을 선정하기 위한 지표로 사용하기 위함이다. 동질성 지역내의 각 지점별 자료계열의 L-Moments의 평균은 지역의 특성을 충분히 대표하므로 검정하고자 하는 확률분포형의 모멘트가 이들 평균값들과 일치하는가를 검사함으로써 적정분포형을 선정하게

된다. 본 연구에서는 적정 확률분포형을 선정하기 위하여 3개의 매개변수 이상을 가지는 확률분포인 Generalized Logistic(GLO), Generalized Extreme Value(GEV), Generalized Normal(GNO), Pearson Type-III(PE3), Generalized Pareto(GPA) 및 5변수 Wakeby (WKB5)분포형등을 고려 대상으로 하고, 표본자료집단의 평균 L-Moments비인  $1, \bar{t}_2, \bar{t}_3, \bar{t}_4$ 에 맞추어 언급한 확률분포형을 적합시킨다. 다음으로 적합된 확률분포형의 L-Kurtosis를 계산한다. L-Kurtosis의 편이는 다음 식 (9)와 같이 계산된다.

$$\beta_4 = \frac{1}{N_{si}} \sum_{m=1}^{N_{si}} (\bar{t}_4^{(m)} - \bar{t}_4) \dots\dots\dots(9)$$

여기서  $\beta_4$ 는 L-Kurtosis의 편이,  $N_{si}$ 는 모의발생된 N개의 지점의 수,  $\bar{t}_4^{(m)}$ 는 M번째 지점의 평균 L-Kurtosis 이고  $\bar{t}_4$ 는 평균 L-Kurtosis 이다. 또한  $\bar{t}_4$ 의 표준편차는 다음 식 (10)과 같이 계산된다.

$$\sigma_4 = \left[ \frac{1}{N_{si} - 1} \left[ \sum_{m=1}^{N_{si}} (\bar{t}_4^{(m)} - \bar{t}_4)^2 - N_{si} \cdot \beta_4^2 \right] \right]^{0.5} \dots\dots\dots(10)$$

식 (9)~(10)를 사용하여 적합성 척도 Z를 표시하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z^{DIST} = \frac{(\tau_4^{DIST} - \bar{t}_4 + \beta_4)}{\sigma_4} \dots\dots\dots(11)$$

여기서  $\tau_4^{DIST}$ 는 적합된 확률분포형의 L-Kurtosis 이고, DIST는 특정 확률분포(GEV, GLO등)을 나타낸다.

이와같이 특정 확률분포(DIST)에 대하여 식 (11)로 계산한 적합성척도가 영에 가까울수록 분포형의 적합성은 높은 것이며, 적합성인정의 최소 기준은  $|Z^{DIST}| \leq 1.64$  이다. 식 (11)의  $Z^{DIST}$ 는 검사대상 확률분포형의 매개변수를 표본자료의 L-Moments를 사용하여 계산한 후 결정하게 된다.

라. 지역빈도분포의 매개변수 산정

지역빈도분포의 매개변수는 각각의 지점빈도분포의 매개변수를 종합하여 산술평균함으로서 지역 평균을 나타내는 확률분포의 매개변수를 추정하게 된다(Guttman, 1993<sup>10)</sup> ; Guttman et al, 1993<sup>11)</sup>).

IV. 가뭄 유출량분석

1. 소유역의 분할

낙동강유역에서 유출량의 지역빈도분석을 위하여 Fig. 2에서와 같이 낙동강 전유역을 수문학적 동질성을 유지하는 25개 소유역으로 분할하였으며, 각 소유역의 유역면적은 남강댐유역이 가장 큰 소유역으로서 2,285km<sup>2</sup>미만으로 구성되어 있다. 또한 낙동강유역내에는 56개 T/M 강우관측소, 44개 T/M 수위 및 댐수위관측소, 6개 T/M 수질관측소등이 유역내에 설치되어 있다. 탱크모델에 의한 유역유출량을 산정하기 위하여 사용한 수문자료인 일 강우량 및 증발산량자료는 1966년 1월부터 1995년 12월까지의 30년간의 자료를 사용하였다.

2. 유역 유출량의 산정

유역 자연유출량을 산정하기 위하여 탱크모델을 이용하였으며, 탱크모델의 검정을 위하여 전절에서 선정된 모델 매개변수와 기존의 유출자료가 있는 낙동강유역의 댐지점의 유입량자료를 이용하여 탱크모델을 검정하였으며, 검정방법은 Table 3과 같이 통계분석을 하였다. Table 3의 통계분석결과에 의하면 평균오차(ME)값은 (-)4.182~1.310m<sup>3</sup>/sec, 평균제곱오차의 제곱근(RMSE)값은 9.754~23.717 m<sup>3</sup>/sec, 평균절대편차(MAD)값은 6.125~16.331 m<sup>3</sup>/sec의 분포를 나타내고 있다. 또한 시계열오차(TSE)값은 (-)61.084~(-)23.468%, 체적오차(VER)값은 (-)13.969~8.390% 그리고 상관계수(CC)값이 0.913~0.945의 분포를 나타내고 있으므로 전반적으로 양호한 결과치를 나타내고 있다. 따라서 본 분석의 결과에 의하면 장기간의 신뢰성이 있는

유출자료가 존재하는 하천유역에서는 탱크모델을 이용하여 실측치에 가장 가까운 유역 유출량을 모의발생시킬 수 있을 것으로 사료된다.

다음 Fig. 3(a)~(d)는 낙동강유역 댐지점에서

Table 3. Calibration of Tank model by statistical analysis

Station	ME (m <sup>3</sup> /s)	RMSE (m <sup>3</sup> /s)	MAD (m <sup>3</sup> /s)	TSE (%)	VER (%)	CC
Andong Dam	-4.182	16.351	10.418	-23.468	-13.969	0.927
Imha Dam	1.310	12.950	8.089	-61.084	8.390	0.913
Hapcheon Dam	-1.735	9.754	6.125	-36.992	-9.581	0.913
Namgang Dam	-3.052	23.717	16.331	-32.354	-5.438	0.945

[Note] ME : Mean Error,  
 RMSE : Root Mean Square Error,  
 MAD : Mean Absolute Deviation,  
 TSE : Time Series Error,  
 VER : Volume Error,  
 CC : Correlation Coefficient

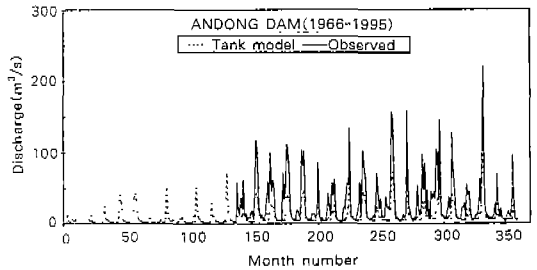


Fig. 3(a). Comparison of observed and calculated discharge for Andong dam(201)

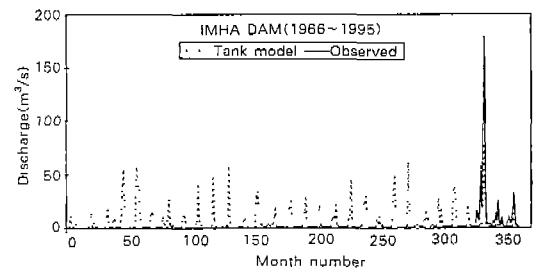


Fig. 3(b). Comparison of observed and calculated discharge for Imha dam(202)

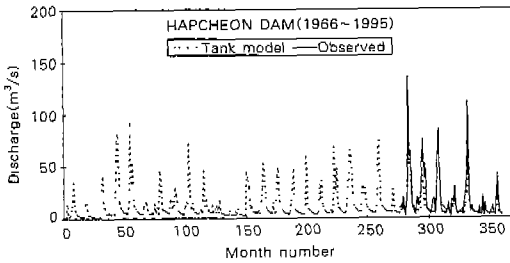


Fig. 3(c). Comparison of observed and calculated discharge for Hapcheon dam(216)

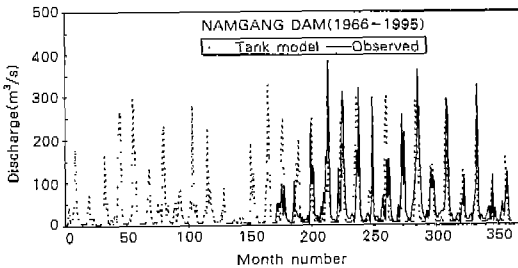


Fig. 3(d). Comparison of observed and calculated discharge for Namgang dam(219)

실측치 및 계산치의 월별 유출량에 대한 비교를 나타내었다. 댐지점유역에서 미측측기간의 유입량 자료 및 댐지점을 제외한 나머지 소유역은 실측유출량 기록치가 없으므로 전절에서 선정된 매개변수를 이용하여 탱크모델에 의해 산정된 유역유출량을 이용하였다.

### 3. 가뭄 유출량 자료계열의 작성

본 연구에서의 지역빈도분석을 위한 유출량자료는 탱크모델을 이용하여 산정한 낙동강의 25개 소유역에서의 월유출량 자료를 사용하였으며, 불수지분석에 적용되는 지속기간 12개월에 대한 소유역별 부분기간치계열(partial duration series)을 작성하였다. 즉 소유역별 월유출량 자료계열로부터 지속기간 12개월의 이동누가 유출량계열을 얻은 후, 가장 작은 값을 제 1순위로 선정하고 이 값에 영향을 주는 전·후 각각 11개월씩의 기간을 삭제시킨 후 두 번째로 작은 값을 제 2순위로 선정하는 동일한 방법으로 반복 선택해 나가는 가뭄유

출량 자료계열을 작성하였다. 또한 자료계열의 하한치(threshold)로는 지속기간별 평균 월유출량을 채택하였으며, 자료의 개수는 자료년수와 동일하게 결정하였다.

### 4. 가뭄 유출량계열의 지역빈도분석 결과

낙동강유역의 25개 소유역별로 작성된 가뭄 유출량계열(지속기간 : 12개월)에 대한 지역빈도분석은 앞에서 언급한 L-Moments로부터 계산되는 각종 통계치를 기준으로 자료군의 이상치 검정, 소유역단위의 수문학적 동질성검사, 적정 확률분포형의 선정 그리고 지역빈도분석에 사용될 적정확률분포형의 지역평균 매개변수의 산정등의 과정을 거치는 절차에 따라 개발된 Hosking(1991)<sup>15)</sup>의 Fortran 프로그램을 이용하였으며, 본 연구의 낙동강유역에서는 각 소유역별로 동질성분석 결과 모든 소유역이 II(1로 분석되어 동질성지역으로 수용가능한 것으로 분석되었다. 또한 각 소유역별로 3가지 검정을 통과한 분포형중에서 가장 적합한 분포형으로 General Logistic(GLO)분포형을 가뭄 유출량계열의 최적분포형으로 선정하였다. 다음 Table 4는 낙동강유역 전체의 지속기간별 표준화된 L-Moments비 및 최적 확률분포형을 나타내었다. Table 4에 의하면 지속기간 9개월과 30개월의 General Logistic(GLO)분포형의  $Z^{DIST}$ 는 적합성인정의 최소기준인  $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ 의 범위에 해당되지 않으나, 나머지 분포형의 값과 비교해 본 결과 적합성인정 범위에 가장 접근된 값으로 분석되었다. 그리고 General Logistic(GLO)분포형에 의해서 구한 지속기간 12개월의 재현기간별 가뭄유출량을 산정하였으며, 다음 Table 5와 같이 나타내었다. 또한 낙동강유역의 주요 다목적댐지점인 안동, 임하, 합천 및 남강댐지점에서의 주요 가뭄빈도의 빈도유출량을 추정할 수 있는 지속기간 12개월의 재현기간-가뭄유출량의 관계를 반대수지상에 다음 Fig. 4(a)~(d)과 같이 나타내었으며, 내삽에 의한 추정이 가능하다.



Table 4. Optimal probability distribution function for Nakdong river basin

Duration (month)	Discordancy	Heterogeneity measures			Goodness-of-fit measure(Z value)						Selection
		L-CV	L-Skew	L-Kurto	GLO	GEV	GNO	PE3	GPA	WKB5	
4	-	8.33	3.80	2.18	1.13	-3.06	-2.08	-2.13	-10.76	-3.13	GLO
6	-	5.64	1.82	-0.16	-0.56	-3.69	-3.47	-3.83	-10.00	-4.87	
9	-	1.10	-1.97	-2.84	-3.79	-6.29	-6.17	-6.51	-11.36	-6.23	
12	-	-1.02	-3.99	-5.74	-0.46	-2.65	-2.43	-2.63	-6.98	-2.80	
15	-	-2.63	-3.66	-4.21	-0.56	-2.52	-2.33	-2.51	-6.43	-2.88	
18	-	-2.74	-2.99	-3.48	-0.90	-2.75	-2.38	-2.42	-6.21	-3.05	
21	-	-2.46	-3.86	-5.19	-0.60	-2.39	-1.91	-1.92	-5.59	-2.34	
24	-	-2.84	-4.30	-5.82	-0.74	-2.26	-1.94	-1.97	-5.09	-2.13	
27	-	-2.87	-4.32	-6.10	-0.42	-1.71	-1.51	-1.58	-4.21	-1.94	
30	-	-3.72	-5.08	-6.43	-3.38	-4.58	-4.35	-4.38	-6.85	-4.71	

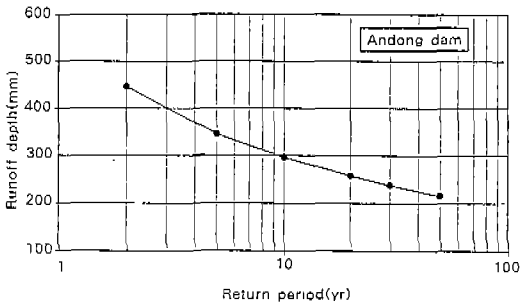


Fig. 4(a). Relationship of return period & drought runoff depth for Andong dam(201)

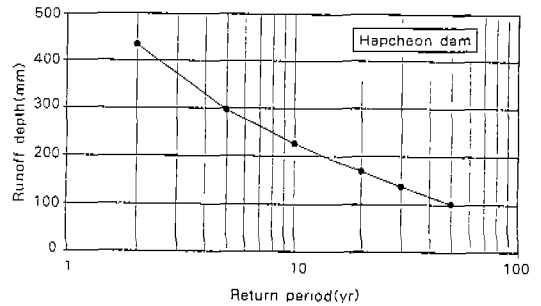


Fig. 4(c). Relationship of return period & drought runoff depth for Hapcheon dam(216)

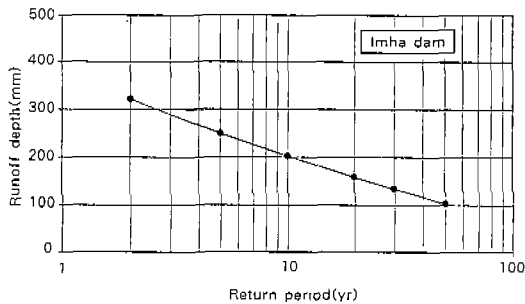


Fig. 4(b). Relationship of return period & drought runoff depth for Imha dam(202)

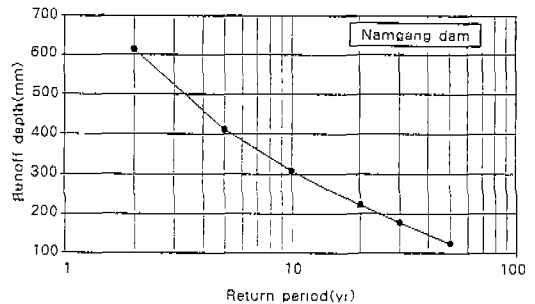


Fig. 4(d). Relationship of return period & drought runoff depth for Namgang dam(219)

## V. 소유역별 가뭄빈도분석

### 1. 주요 가뭄기간의 선정

낙동강유역 전반에 걸친 주요 가뭄기간을 선정

하기 위하여 우선 소유역별로 분석기간동안에 탱크모델에 의해 유역 유출량을 모의발생시켜서 월 유출량계열로 작성하였으며, 국내용수수요와 공급 측면에서 기준월로 사용되고 있는 10월 기준의 물 수지년별로 12개월 누가유출량을 작성하여 소유역

Table 5. Runoff depth due to each return period (duration : 12 months, GLO)

(Unit : mm)

Subbasin	Return period(year)					
	2	5	10	20	30	50
201	446	344	296	258	238	216
202	322	248	202	159	134	103
203	379	300	253	209	184	153
204	457	364	319	283	264	243
205	313	237	197	162	143	121
206	429	346	298	255	231	201
207	467	377	329	287	264	237
208	324	244	197	154	130	100
209	405	319	274	236	216	192
210	309	224	181	146	127	105
211	448	372	331	293	273	248
212	370	272	218	171	146	115
213	306	211	162	121	99	73
214	328	233	183	140	117	90
215	398	275	209	153	122	86
216	434	296	226	168	137	101
217	478	335	261	197	163	123
218	416	308	253	208	184	156
219	613	411	308	222	177	124
220	587	434	349	272	230	179
221	404	296	244	201	179	154
222	431	321	264	216	191	161
223	459	354	304	265	245	222
224	432	320	262	213	188	157
225	617	480	406	342	308	267
Total	424	317	260	212	186	155

Table 6. Mean order value of 12 months runoff calculated from each subbasin

Rank	Year	Mean order value
1	76-77	2.64
2	93-94	2.72
3	66-67	4.32
4	67-68	4.72
5	81-82	6.32
6	94-95	6.92
7	87-88	7.68
8	70-71	7.92
9	75-76	9.12
10	72-73	10.40
11	91-92	10.44
12	82-83	14.24
13	80-81	14.56
14	74-75	14.60
15	85-86	15.08
16	77-78	15.36
17	73-74	17.52
18	83-84	18.96
19	78-79	19.56
20	71-72	20.80
21	79-80	20.84
22	89-90	21.60
23	88-89	22.72
24	86-87	22.84
25	92-93	22.96
26	90-91	24.16
27	68-69	24.36
28	84-85	25.80

별로 가장 작은 값부터 순위를 부여한 후, 다시 연도별로 소유역별 12개월 누가유출량의 순위를 산술평균하여 연도별 순위평균치(mean order value)를 계산하였으며, 다음 Table 6과 같다.

Table 6에 의하면 낙동강유역에서는 '76~'77년의 가뭄심도가 가장 심각하여 낙동강유역의 이수안전도 30년에 해당하며, '93~'94년의 가뭄은 이수안전도 20년에 해당하고, '66~'67년의 가뭄은

이수안전도 10년에 해당된다. 또한 낙동강유역의 이수안전도 30년에 해당하는 '76~'77 가뭄은 낙동강유역의 순위 9번째인 '75~'76년의 가뭄이 선행되어 있어 체감빈도는 더 심각한 가뭄이라고 사료된다.

## 2. 주요 가뭄기간의 소유역별 가뭄빈도 설정

주요 가뭄기간 연도들에서의 낙동강유역 가뭄빈

낙동강 유역의 유역 유출량 산정에 따른 지역별 가뭄 빈도분석

Table 7. Runoff & drought frequency of Nakdong river subbasin (Unit : year, mm)

Subbasin	Rank	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Year	1976	1993	1966	1967	1981	1994	1987	1970	1975	1972
201	Freq.	0.91	1.91	3.12	2.98	2.10	1.66	0.58	10.88	0.77	1.95
	Run.	515	437	392	396	428	451	569	297	534	435
202	Freq.	1.41	2.21	1.76	1.61	1.48	1.62	0.95	1.22	0.88	1.17
	Run.	309	202	251	273	295	271	448	355	482	370
203	Freq.	3.01	5.17	4.59	6.66	5.05	4.00	1.20	1.37	0.56	1.25
	Run.	345	297	307	277	299	319	445	429	550	440
204	Freq.	3.98	0.71	9.87	6.88	8.47	0.34	0.39	0.56	0.69	1.47
	Run.	386	544	322	346	332	630	613	571	548	471
205	Freq.	3.28	8.84	2.66	4.90	3.78	1.36	1.18	1.17	0.73	1.30
	Run.	271	203	288	241	260	350	365	366	420	355
206	Freq.	6.45	7.68	2.11	3.50	5.96	1.00	0.97	0.41	0.99	1.60
	Run.	328	315	425	378	331	505	509	622	507	453
207	Freq.	3.68	4.25	1.96	11.51	4.36	1.26	1.22	0.93	1.60	2.59
	Run.	407	395	464	321	393	509	512	542	484	438
208	Freq.	2.13	3.26	1.18	1.93	1.59	1.17	1.30	1.40	1.17	1.08
	Run.	209	139	368	230	277	371	336	312	370	400
209	Freq.	7.86	7.86	3.11	3.99	4.20	2.15	0.93	1.31	1.56	1.30
	Run.	292	292	361	341	337	393	476	440	423	441
210	Freq.	2.45	1.90	1.04	2.08	1.44	0.76	1.15	1.10	1.22	1.16
	Run.	168	213	373	196	275	500	340	353	321	336
211	Freq.	2.25	7.94	4.22	7.57	1.71	1.03	1.93	0.56	0.31	1.09
	Run.	435	346	388	349	457	501	447	560	622	496
212	Freq.	7.14	6.52	3.75	2.10	2.56	3.16	2.07	2.48	3.10	1.24
	Run.	240	248	302	371	346	321	373	350	323	448
213	Freq.	5.21	23.01	1.81	1.99	1.34	2.18	3.14	2.86	1.70	1.16
	Run.	208	109	329	316	375	304	259	270	338	399
214	Freq.	5.91	15.44	2.22	1.78	1.77	1.33	3.22	2.64	2.41	0.96
	Run.	219	150	321	351	352	394	278	301	312	449
215	Freq.	7.26	9.93	2.40	1.12	1.66	3.76	3.66	1.73	2.56	0.84
	Run.	230	199	384	547	455	312	316	447	373	626
216	Freq.	7.27	9.39	5.38	3.03	1.86	5.78	3.03	1.98	1.90	0.87
	Run.	252	225	288	371	461	279	371	448	457	644
217	Freq.	7.79	6.28	6.19	4.27	1.84	5.16	2.46	2.04	1.93	0.93
	Run.	280	306	308	359	508	332	451	487	498	673
218	Freq.	6.08	6.74	3.44	1.27	1.00	3.05	3.90	2.26	1.63	0.56
	Run.	295	286	350	472	507	363	337	397	438	602
219	Freq.	6.84	6.35	3.63	3.25	2.12	2.04	6.39	1.37	1.90	1.15
	Run.	353	366	480	506	622	634	365	770	657	835
220	Freq.	5.69	4.08	8.31	5.65	1.78	2.48	2.93	2.87	2.18	1.17
	Run.	414	467	361	415	630	559	526	530	586	734
221	Freq.	5.90	3.40	3.61	1.46	1.25	2.08	3.92	2.25	1.74	0.98
	Run.	288	339	333	435	456	392	325	383	413	489
222	Freq.	7.93	4.36	4.62	1.90	1.63	2.69	5.01	2.91	2.26	1.29
	Run.	283	453	383	411	424	412	588	365	455	451
223	Freq.	10.33	3.31	0.98	1.19	0.96	1.35	0.78	1.32	1.36	1.05
	Run.	309	398	521	499	524	486	548	488	485	514
224	Freq.	8.30	4.32	3.20	1.38	1.82	3.01	3.20	1.18	1.87	0.76
	Run.	277	339	372	483	443	379	372	507	439	581
225	Freq.	3.62	2.08	6.94	4.62	1.48	1.80	1.69	1.56	1.56	1.07
	Run.	527	608	446	495	663	631	641	654	654	720
Total	Freq.	5.06	5.01	3.38	2.99	2.10	1.78	1.92	1.52	1.38	1.01
	Run.	319	320	361	375	418	440	430	462	476	524

[ Note ] Freq. : Frequency, Run. : Runoff

도와 동기간의 소유역별 가뭄빈도간에 상관분석을 위한 주요 가뭄기간으로는 Table 7에서의 10위까지의 물수지년 기준 가뭄연도를 선정하였다. 이들 10위까지의 각 연도의 소유역별 유출량의 가뭄빈도는 Fig. 4(a)~(d)에서와 같이 소유역별 재현기간-가뭄유출량의 관계로부터 해당 유출량을 내삽하여 추정하였으며, 주요 가뭄기간동안의 유출량 및 해당가뭄빈도는 Table 7과 같다

3. 선형회귀방정식에 의한 각 소유역의 가뭄 빈도 결정

본 연구에서는 낙동강유역에서의 주요 가뭄기간인 10개 물수지년들에 있어서의 낙동강유역 전체의 유출량 가뭄빈도와 임의 소유역 동일년도의 유역 유출량 가뭄빈도를 이용하여 선형회귀분석을 실시하여 낙동강유역 전체와 임의 소유역의 가뭄빈도의 상관성을 분석하여 낙동강 소유역의 가뭄정도를 수치적으로 분석하였다. 따라서 각 소유역에서의 가뭄빈도는 가뭄빈도 기율기에 낙동강유역의 가뭄빈도를 곱하여 산출할 수 있으며, 각 소유역별 선형회귀방정식은 다음 Table 8과 같고, Fig. 5(a)~(d)는 낙동강유역의 안동, 임하, 합천 및 남강댐지점에서의 회귀분석결과이다. Table 8에 의하면 낙동강유역 전체의 가뭄빈도와 각 소유역의 동일기간 가뭄빈도간 선형회귀분석 결과 결정계수는 소유역별로 0.58-0.97의 분포를 나타내고 있고, 평균 0.81로서 전반적으로 상관성이 높은 것으로 분석되었으며, 소유역별로 결정계수의 변동은 큰 것으로 분석되었다. 또한 결정계수가 0.81미만인 지역은 201, 202, 204, 211 및 219번 소유역으로서 대부분 유역경계에 위치한 소유역으로 분석되었으며, 회귀식의 기율기가 클수록 가뭄빈도가 심각한 지역이고, 기율기가 작을수록 가뭄빈도가 완만한 지역으로 구분되었다.

4. 이수안전도 가뭄빈도에 대한 각 소유역의 가뭄 유출량결정

이수안전도란 하천이 정상기능을 유지하면서 수

Table 8. Drought frequency equation for Nakdong river subbasin

Subbasin	Formula	R <sup>2</sup>
201	Sub = 0.773 · Total + 0.542	0.75
202	Sub = 0.188 · Total + 0.938	0.58
203	Sub = 1.150 · Total	0.81
204	Sub = 1.143 · Total	0.68
205	Sub = 1.297 · Total - 0.473	0.81
206	Sub = 1.474 · Total - 0.787	0.81
207	Sub = 1.154 · Total	0.82
208	Sub = 0.377 · Total + 0.635	0.81
209	Sub = 1.661 · Total - 0.916	0.97
210	Sub = 0.280 · Total + 0.698	0.81
211	Sub = 1.290 · Total - 0.513	0.69
212	Sub = 1.188 · Total + 0.305	0.90
213	Sub = 3.033 · Total - 3.492	0.87
214	Sub = 2.196 · Total - 1.974	0.81
215	Sub = 1.608 · Total - 0.712	0.84
216	Sub = 1.653 · Total - 0.274	0.85
217	Sub = 1.425 · Total + 0.162	0.88
218	Sub = 1.197 · Total - 0.136	0.89
219	Sub = 1.321 · Total - 0.141	0.72
220	Sub = 1.012 · Total + 1.067	0.85
221	Sub = 0.760 · Total + 0.671	0.82
222	Sub = 1.014 · Total + 0.807	0.84
223	Sub = 1.429 · Total - 1.473	0.81
224	Sub = 1.205 · Total - 0.246	0.84
225	Sub = 0.927 · Total	0.87
Mean		0.81

[ Note ] Sub : Subbasin drought frequency,  
Total : Nakdong total basin drought frequency

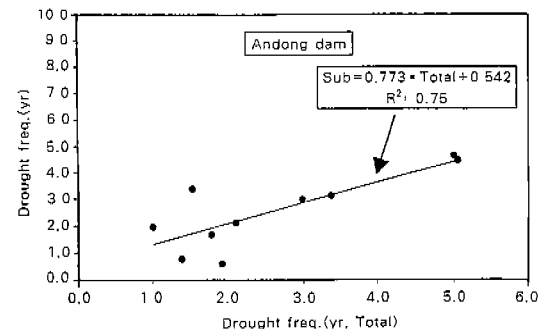


Fig. 5(a). Result of linear regression analysis for Andong dam(201)

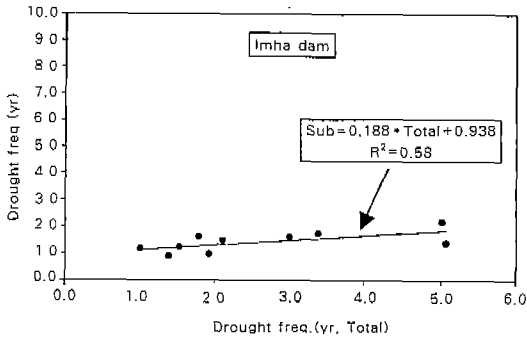


Fig. 5(b). Result of linear regression analysis for Imha dam(202)

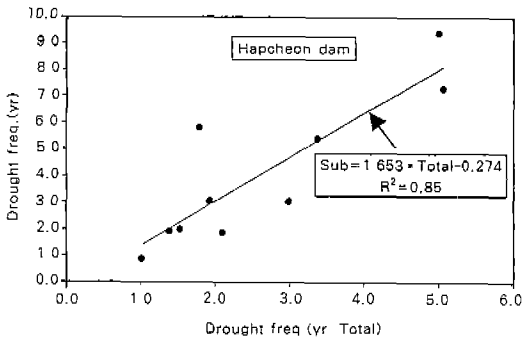


Fig. 5(c). Result of linear regression analysis for Hapcheon dam(216)

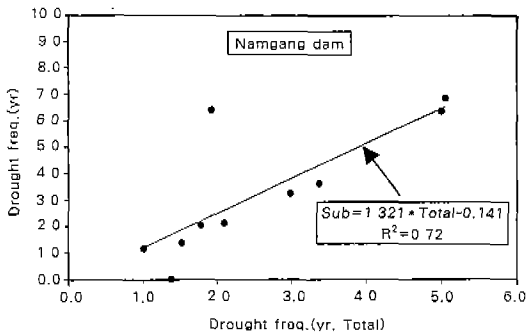


Fig. 5(d). Result of linear regression analysis for Namgang dam(219)

자원 공급시설로부터 계획된 용수수요량의 공급을 보장할 수 있는 특정 발생빈도의 갈수유황을 설정하여 시설계획의 규모를 결정하는 기준을 나타내 있으며, 여기서 언급한 “특정 발생빈도의 갈수유황”을 일반적으로 이수안전도기준으로 삼고 있

Table 9. Runoff depth considering the safety standards for the design of impounding facilities

(Unit : mm)

Subbasin	Drought frequenc		
	10 years	20 years	30 years
201	316	273	250
202	161	99	72
203	238	196	176
204	313	272	251
205	184	149	132
206	274	232	211
207	321	278	255
208	104	58	40
209	249	211	192
210	121	70	50
211	319	281	260
212	198	156	135
213	102	73	61
214	135	101	86
215	163	117	96
216	176	129	108
217	217	164	138
218	242	196	173
219	258	184	151
220	324	257	223
221	261	215	191
222	257	211	187
223	295	249	227
224	248	200	176
225	414	347	312
Total	259	209	185

고, 이는 수자원 공급시설이 용수수요를 충족시킬 수 있는 물 공급의 안정성 정도를 표시한다고 할 수 있다(건설교통부, 1995<sup>1)</sup>)

본 연구에서는 전절에서 산정된 Table 8의 결과를 이용하여 주요 가뭄기간인 10개 물수지년들에 있어서의 낙동강유역 전체의 이수안전도 가뭄빈도 10년, 20년 및 30년에 해당하는 각 소유역의 가뭄 유출량을 산정하였으며, 다음 Table 9와 같이 나타낼 수 있다. Table 9에 의하면 낙동강유역 전체의 이수안전도 가뭄빈도 10년, 20년 및 30년에 해당하는 가뭄 유출량과 각 소유역의 가뭄 유출량을 비교해 볼 때 전반적으로 각 소유역의 가뭄심도는 낙동강유역 전체보다 더 심각한 것으로 나타났으

며, 각 소유역별로 가뭄 유출량의 변동폭이 큰 것으로 분석되었다.

## VI. 결 론

본 연구에서는 낙동강유역에서 유역 유출량 산정에 따른 가뭄빈도분석을 위하여 낙동강유역 전체를 수문학적 동질성을 유지하는 25개의 소유역으로 분할하였으며, 유역 유출량을 탱크모델에 의해 산정하기 위하여 1966년 1월부터 1995년 12월까지의 30년간의 일강우량 및 증발산량 자료를 사용하였다. 또한 가뭄 지속기간 12개월에 대한 지역빈도해석을 L-Moments법을 적용하여 실시하여 다음과 같은 결론을 유도하였다.

1. 낙동강유역의 L-Moments 법에 의한 가뭄 유출량계열의 지역빈도분석결과 최적분포형으로 General Logistic(GLO) 분포형으로 선정되었으며, GLO 분포형에 의하여 지속기간 12개월의 재현기간별 가뭄유출량을 산정하였다.

2. 낙동강유역에서의 불수지년 기준 12개월 유역 유출량의 주요 가뭄기간을 설정하였으며, 그 결과 '76~'77년의 가뭄심도가 가장 심각하여 낙동강유역의 이수안전도 30년, '93~'94년의 가뭄이 이수안전도 20년, '66~'67년의 가뭄이 이수안전도 10년에 해당되는 것으로 분석되었다. 또한 낙동강유역의 이수안전도 30년에 해당하는 '76~'77 가뭄은 낙동강유역의 순위 9번째인 '75~'76년의 가뭄이 선행되어 있어 체감빈도는 더 심각한 가뭄이라고 사료된다.

3. 주요 가뭄기간에 대한 각 소유역별 유역 유출량의 가뭄빈도를 설정하였으며, 동일 가뭄기간의 낙동강유역 전체의 가뭄빈도와 각 소유역간의 가뭄빈도를 이용하여 선형회귀분석을 실시하였다. 그 결과 각 소유역에서의 가뭄빈도는 가뭄빈도 기울기에 낙동강유역 전체의 가뭄빈도를 곱하여 계산하는 선형회귀방정식을 유도하였다.

4. 선형회귀방정식에 의하면 상관성이 낮게 나타나는 소유역은 유역경계에 위치한 소유역으로 분석되었으며, 회귀식의 기울기가 클수록 가뭄빈

도가 심각한 지역이고, 기울기가 작을수록 가뭄빈도가 완만한 지역으로 분석되었다. 또한 선형회귀방정식을 이용하여 낙동강유역 전체의 이수안전도 가뭄빈도 10년, 20년 및 30년에 해당하는 각 소유역의 가뭄 유출량을 산정하였으며, 전반적으로 각 소유역의 가뭄심도는 낙동강유역 전체보다 심각한 것으로 나타났다.

따라서 본 연구의 결과를 기초로 하여 대하천유역에서의 가뭄빈도 및 크기를 해석하는 방법론을 제공할 수 있을 것이며, 이수안전도를 고려한 물수지분석에 있어서 본 연구에서 제시한 방법론이 적용가능할 것으로 분석된다. 또한 이를 위해서는 개념적 강우-유출모델에 의해 산정된 유역 유출량보다는 신뢰성있는 실측자료의 확충이 가장 급선무라고 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 1995, 가뭄기록 조사보고서.
2. 김경덕, 허준행, 조원철, 1998, 크기 및 기간차원을 이용한 한강유역의 가뭄해석, '98 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp. 76-81.
3. 김성원, 1998, 하천유역의 물수지모델에 관한 연구, 영남대학교 박사학위논문.
4. 김재형, 윤용남, 신현식, 1998, 이수안전도를 고려한 한강유역의 지역별 가뭄빈도 결정, '98 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp. 68-75.
5. 윤용남, 1972, 급수용 저수지설계를 위한 저유하량의 통계학적 해석에 관한 연구, 대한토목학회지, 제20권, 제1호, pp. 37-46.
6. 윤용남, 박무중, 1997, L-Moments법을 이용한 일강우량자료의 지역가뭄빈도해석, 한국수자원학회논문집, 제30권, 제1호, pp. 55-62.
7. 한국수자원공사, 1989, 낙동강수계 다목적댐 연계운영방안연구(1차)보고서.
8. 허준행, 김경덕, 조원철, 1997, 다변량추계학적 모형을 이용한 낙동강유역의 가뭄해석에 관한 연구, 한국수자원학회논문집, 제30권, 제2호, pp. 153-163.

9. Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C., and Wallis, J. R., 1979, Probability weighted moments : Definition and relation to parameters of distributions expressible in inverse form, *Water Resour. Res.*, Vol. 15, No. 5, pp. 1049-1054.
10. Guttman, N. B., 1993, The use of L-Moments in the determination of regional precipitation climates, *J. of Climate*, American meteorological society, Vol. 6, pp. 2309-2325.
11. Guttman, N. B., Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R., 1993, Regional precipitation quantile values for the continental united states computed from L-Moments, *J. of Climate*, American meteorological society, Vol. 6, pp. 2326-2340.
12. Haan, C. T., 1977, *Statistical methods in hydrology*. Iowa state university press.
13. Hosking, J. R. M., 1989, The theory of probability weighted moments, Research report, RC 12210, IBM research division, R. J. Watson research center, New York.
14. Hosking, J. R. M., 1990, L-Moments : Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics, *J. Royal Statistical Society*, Vol. 52, No. 1, pp. 105-124.
15. Hosking, J. R. M., 1991, Fortran routines for use with the method of L-Moments, Version 2, Research Report, RC 17097, IBM Research Division, T. J. Watson Research Center, New York.
16. Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R., 1993, Some statistics useful in regional frequency analysis, *Water resour. res.*, Vol. 29, No. 2, pp. 271-281.
17. Mallan, J., and Yevjevich, V., 1971, Probabilities of observed droughts, Hydrology Paper, No. 50, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
18. Matalas, N. C., 1963, Probability distribution of low flow, USGS Professional Paper, No. 434-A.
19. Matalas, N. C., Wallis, J. R. and Slack, J. R., 1975, Regional skew in search of a parent, *Water resour. res.*, Vol. 11, No. 6, pp. 815-826.
20. Saldarriaga, J., and Yevjevich, V., 1970, : Application of run-lengths to hydrologic series, Hydrology Paper, No. 40, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
21. Sen, Z., 1976, Wet and dry periods of annual flow series, *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 102, No. 10, pp. 1503-1514.
22. Stall, J. B., 1964, Low flow of Illinois streams for impounding reservoir design, Bulletin 51, Illinois State Water Survey, Urbana, Illinois.
23. Sugawara, M., 1967, The flood forecasting by a series storage type models, *Int. Symp., Flood and their computation*, Leningrad.
24. Vogel, R. M., and Fennessey, N. M., 1993, L-Moments diagram should replace product moment diagrams, *Water Resour. Res.*, Vol. 29, No. 6, pp. 1745-1752.
25. Warrick, R. A., 1975, Drought hazard in the United States : A research assessment, NSF-RA-E-75-004, National Technical Information Service, Springfield, Va.
26. World Meteorological Organization, 1989, *Statistical distribution for flood frequency analysis*, Operational Hydrology Report No. 33, WMO.
27. Yevjevich, V., 1967, An objective approach to definition and investigation of continental hydrologic droughts, Hydrology Paper, No. 23, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.