

L-Moments법에 의한 낙동강유역 월강우량의 지역가뭄빈도해석

김 성 원

미국 콜로라도 주립대학교 공업연구소
(1998년 12월 31일 접수)

Regional Drought Frequency Analysis of Monthly Precipitation with L-Moments Method in Nakdong River Basin

Sung-Won Kim

Engineering Research Center, Colorado State University, Fort Collins, CO, 80523, U.S.A.
(Manuscript received 31 December, 1998)

In this study, the regional frequency analysis is used to determine each subbasin drought frequency with reliable monthly precipitation and the L-Moments method which is almost unbiased and has very nearly a normal distribution is used for the parameter estimation of monthly precipitation time series in Nakdong river basin. As the result of this study, the duration of '93-'94 is most severe drought year than any other water year and the drought frequency is established as compared the regional frequency analysis result of cumulative precipitation of 12th duration months in each subbasin with that of 12th duration months in the major drought duration. The Linear regression equation is induced according to linear regression analysis of drought frequency between Nakdong total basin and each subbasin of the same drought duration.

Therefore, as the foundation of this study, it can be applied proposed method and procedure of this study to the water budget analysis considering safety standards for the design of impounding facilities large-scale river basin and for this purpose, above all, it is considered that expansion of reliable precipitation data is needed in watershed rainfall station.

Key words : regional drought frequency, L-moments method, water year, partial duration series, linear regression analysis, L-coefficient of variation, L-skewness, L-kurtosis.

1. 서 론

최근에 이상기후로 인하여 전세계적으로 가뭄이 도처에 발생하고 있으며, 문명의 발전으로 인하여 물수요량은 날로 증가하게 되어 가뭄의 피해는 더욱 치명적으로 다가오고 있다. 가뭄을 단순히 수요와 공급의 차원에서 검토할 수 있으며, 물공급은 단기적으로 어느 정도의 유동성이 있으나, 장기적으로 보면 거의 일정한 수준이다. 반면에 물수요는 생활용수, 농업용수, 산업용수 등과 관계가 있는데, 인구의 증가와 산업발전으로 인하여 물수요는 증대되며, 이는 현상태의 수자원체계를 나타내고 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 있으나 가뭄의 효과는 거의 비슷하며, Warrick¹⁾은 인간, 식물, 동물들에게 어려움을 주는 충분한 상태라고 설명하였지만 강우의 부족현상이 장기화되면 가뭄을 설명하는데 더욱 밀접한 관련이 있다고 설명할 수 있다. 또한 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 Matalas²⁾는 확률분포형을 통한 빈도해석법을 제시하였으며, Yevjevich³⁾는 대륙에서의 수문학적 가뭄현상에 대한 연구가 있었고, Mallan 과 Yevjevich⁴⁾는 관측 갈수량의 확률분포형에 관한 연구가 있었으며, Sen⁵⁾은 년유출량의 가뭄기간에 관한 연구가 있었다. 또한 국내의 연구로는 허준행 등⁶⁾은 다변량모델인 MAR, MCAR 모델을 이용하여 낙동강유역의 가뭄특성에 관한 연구가 있었으며, 윤용남⁷⁾은 저유하량의 통계분석을 통한 급수용 저수지설계에 관한 연구가 있었으며, 윤용남과 박무종 등⁸⁾은 L-Moments법을 이용하여 월강우량의 지역빈도분석에 관한 연구가 있었다. 또한 김성원⁹⁾은 하천유역

의 물수지분석에 관한 연구에서 L-Moments법에 의한 가뭄기간계열의 산정에 따른 물수지분석을 시도하였으며, 김재형 등¹⁰⁾은 이수안전도를 고려한 한강유역의 지역별 가뭄빈도결정에 관한 연구가 있었으며, 김정덕 등¹¹⁾은 크기 및 기간차원을 이용한 한강유역의 가뭄해석에 관한 연구가 있었다. 그러므로 국내·외에서 가뭄해석에 관해 연구는 많은 방법론과 해석방법이 제시되면서 연구활동이 활발한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 낙동강유역을 수문학적 동질성이 유지될 수 있도록 25개의 소유역으로 분할한 후 낙동강유역 전체 및 각 소유역내의 가뭄 강우량계열을 작성하고 이를 L-Moments법에 의해 지역빈도해석을 실시하여 가뭄 지속기간 12개월에 대한 재현기간별 가뭄강우량을 추정하고자 한다. 또한 물수지년을 기준으로 낙동강유역의 주요 가뭄년도의 소유역별 강우량을 해당 소유역의 재현기간별 가뭄강우량과 비교하여 그 연도의 가뭄빈도를 내삽·추정하여 해당년도의 낙동강유역 전체 가뭄빈도와 임의 소유역의 빈도를 상관시켜 선형회귀분석을 실시하여 낙동강유역 전체의 가뭄빈도에 대응하는 각 소유역의 가뭄빈도를 결정하고자 한다.

2. 갈수빈도분석이론

2.1. 빈도분석방법론

Hann,¹²⁾ Matalas et al.,¹³⁾ Hosking과 Wallis¹⁴⁾와 WMO¹⁵⁾ 등은 종래의 모멘트법으로 결정된 확률분포형으로 모의된 자료계열과 관측자료 계열간에는 큰 편차가 항상 존재하며, 빈도해석의 유연성에 큰 문제가 있음을 지적한 바 있다. 반면에 L-Moments법은 확률가중모멘트(Probability Weighted Moment, PWM)^{16,17)}근거한 확률분포의 통계특성치의 선형조합으로 표시되며, 종래의 방법에 비하여 매개변수 추정에서 편의를 최소화 할 수 있고, 표본추출에 따른 편차를 줄일 뿐만 아니라 이상자료의 처리에 있어서도 융통성이 있는 등 여러 가지 장점이 있는 것으로 평가되고 있다.¹⁸⁾

L-Moments법은 임의 자료계열의 통계적 특성을 일반모멘트법에서와 다르게 나타내는 방법으로서 1차 L-Moments추정량(λ_1)은 일반모멘트에서의 평균값과 같다. 즉 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_1 = E[X] \quad (1)$$

여기서, X는 자료치이고, E[]는 기대치이다. X(i/n)을 크기가 n인 표본중에서 i번째 순위의 순차통계량이라고 할 때 2차 L-Moments(λ_2)는 표본 중에서 임의로 선택한 2개의 자료치간에 대한 기대치를 2로 나눈 값으로 표시되며, 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} E[X_{(1/2)} - X_{(2/2)}] \quad (2)$$

3차 및 4차 L-Moments도 다음 식(3)과 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_3 = \frac{1}{3} E[X_{(1/3)} - X_{(2/3)} + X_{(3/3)}] \quad (3)$$

$$\lambda_4 = \frac{1}{4} E[X_{(1/4)} - X_{(2/4)} + X_{(3/4)} - X_{(4/4)}] \quad (4)$$

식(2)-(4)에 표시된 L-Moments를 일반 모멘트법에서

의 변동계수, 왜곡도 및 첨도에 해당하는 통계특성치로 정의하면 다음 식(5)-(7)과 같다.

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \text{L-변동계수(L-Coefficient of variation)} \quad (5)$$

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} = \text{L-왜곡도(L-Skewness)} \quad (6)$$

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} = \text{L-첨도(L-Kurtosis)} \quad (7)$$

식(1)-(7)에서 보는 바와 같이 L-Moments의 표본추정량은 순서대로 정리된 자료치의 선형조합이므로 일반모멘트법에서와 같이 2차 혹은 3차 모멘트를 산정할 때 자료치를 2승하거나 3승하지 않으므로 무차원화된 L-Moments추정치는 일반 모멘트 추정치와는 달리 거의 편의되지 않고 정규분포에 가깝게 나타난다. L-Moments는 확률가중모멘트(PWM)의 선형함수이며, PWM은 다음 식(8)과 같이 정의된다.

$$b_r = E[X F_r(X)] \quad (8)$$

여기서 $F_r(X)$ 는 자료치 X의 누가확률분포함수이며, r은 모멘트의 차수이다. 따라서 r=0일 때 $b_0 = E[X] =$ 평균(μ)이며, 표본자료집단의 평균 $b_0 = m$ 으로 추정한다. 모든 고차수의 PWM도 자료치(X_i)에 대한 순차 통계치(Order statistics)의 선형조합일 뿐이다. 표본 자료집단에 편의되지 않은 PWM을 계산하는 식은 아래 식(9)-(12)와 같다.

$$b_0 = m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j \quad (9)$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n-1} \left[\frac{(n-j)}{(n-1)} \right] X_j \quad (10)$$

$$b_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n-2} \left[\frac{(n-j)(n-j-1)}{(n-1)(n-2)} \right] X_j \quad (11)$$

$$b_3 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n-3} \left[\frac{(n-j)(n-j-1)(n-j-2)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \right] X_j \quad (12)$$

여기서, n은 표본자료의 총수이며, X_j 는 j번째 순위의 값이다.

식(9)-(12)를 일반식으로 표시하면 다음 식(13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^r \left[\frac{\binom{n-j}{r}}{\binom{n-1}{r}} \right] X_j \quad (13)$$

L-Moments는 PWM의 일종으로서 기존의 PWM을 활용하기 편리하도록 개선한 것으로서 적정확률분포형을 결정할 경우에도 PWM에 의한 결과와 동일하나 다만, L-Moments는 기존의 모멘트와 유사한 L-Moments비를 활용할 수 있으므로 적정확률분포형을 선정하거나 수문학적 동질유역을 구분할 때 유리하다. PWM의 선형조합으로 표본자료의 L-Moments를 표시하면 다음 식(14)-(17)과 같다.

$$\lambda_1 = b_0 \quad (14)$$

$$\lambda_2 = 2b_1 - b_0 \quad (15)$$

$$\lambda_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \quad (16)$$

$$\lambda_4 = 20b_3 - 30b_2 - 12b_1 - b_0 \quad (17)$$

2.2. 지역빈도 분석절차

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 빈도계수의 매개변수산정(Estimation of regional frequency distribution)등의 단계를 거친다.

2.2.1. 지점별 자료의 검증

소유역내 임의 지점의 L-Moments값이 다른 지점의 값과 큰 차이를 보이는지를 확인하는 절차로서 불일치 척도 D(Discordancy measure)를 다음 식(18)과 같이 계산하여 자료의 오류를 판단하게 된다.

$$D_i = \frac{1}{3} (U_i - \bar{U})^T S^{-1} (U_i - \bar{U}) \quad (18)$$

여기서, $U_i = [i', i'_3, i'_4]^T$ 로서 i지점 자료의 L-Moments 비, i', i'_3, i'_4 (L-CV, L-Skewness, L-Kurtosis)의 벡터를 표시하며, \bar{U} 는 소유역내 N개 지점의 U_i 벡터의 산술평균 벡터로서 다음 식(19)와 같이 표시된다.

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i \quad (19)$$

그리고, S는 표본자료의 공분산벡터로서 다음 식(20)과 같이 표시된다.

$$S = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (U_i - \bar{U})(U_i - \bar{U})^T \quad (20)$$

식(18)로 계산되는 D_i 의 값이 과다하게 큰 지점은 소유역단위로 보았을 때 자료의 일치도가 떨어지는 지점임을 의미하며, 이러한 지점의 자료는 오류여부를 확인할 필요가 있다.

2.2.2. 동질성 지역의 구분

어떤 소유역에 소속된 지점의 자료계열이 수문학적 동질성을 가지는가를 평가하기 위하여 다음 식(21)과 같이 이질성 척도 H(Heterogeneity measure)를 사용한다.

$$H = \frac{V - \mu_v}{\sigma_v} \quad (21)$$

여기서 V는 지점별 표본자료의 L-CV(변동계수), i' 의 가중분산으로서 다음 식(22)로 계산된다.

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N n_i (i' - \bar{i})^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (22)$$

여기서 표본자료집단의 평균 L-Moments인 $1, \bar{i}, \bar{i}_3, \bar{i}_4$ 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(22)에 의해 가중분산 V를 계산한 후 이의 평균치와 표준편차를 계산하여 식(21)에 넣으면 이질성 척도 H를 구하게 된다. Hosking과 Wallis¹⁴⁾에 의하면 $H < 1$ 이면 동질성 지역으로 수용가능하며, $1 \leq H \leq 2$ 이면 이질성 지역일 가능성이 있으며, $H > 2$ 이면 확실한 이질성 지역으로 분류된다. 따라서, 만

약 $H > 1$ 이면 대상유역을 좀 더 작은 몇 개의 소유역으로 분할하여 분석할 필요가 있다.

2.2.3. 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 검증하고자 하는 확률분포형의 모멘트가 이들 평균값들과 일치하는가를 검사함으로써 적정분포형을 선정하게 되며, 다음으로 표본자료집단의 평균 L-Moments인 $1, \bar{i}, \bar{i}_3, \bar{i}_4$ 에 맞추어 위의 확률분포형을 적합시키고 적합시킨 분포형별로 L-Kurtosis, Z_4^{DIST} 를 다음 식(23)과 같이 계산한다.

$$\beta_4 = \frac{1}{N_{si}} \sum_{m=1}^{N_{si}} (\bar{i}_4^{(m)} - \bar{i}_4) \quad (23)$$

여기서 β_4 는 L-Kurtosis의 편이, N_{si} 는 모의발생된 N개의 지점의 수, $\bar{i}_4^{(m)}$ 는 M번째 지점의 평균 L-Kurtosis 이고 \bar{i}_4 는 평균 L-Kurtosis 이다. 또한 \bar{i}_4 의 표준편차는 다음 식(24)와 같이 계산된다.

$$\sigma_4 = \left[\frac{1}{N_{si}-1} \left[\sum_{m=1}^{N_{si}} (\bar{i}_4^{(m)} - \bar{i}_4)^2 - N_{si} \cdot \beta_4^2 \right] \right]^{0.5} \quad (24)$$

식(23)-(24)를 사용하여 적합성 척도 Z를 표시하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z^{DIST} = \frac{(\tau_4^{DIST} - \bar{i}_4 + \beta_4)}{\sigma_4} \quad (25)$$

여기서 τ_4^{DIST} 는 적합된 확률분포형의 L-Kurtosis 이고, DIST는 특정 확률분포(GEV, GLO등)를 나타낸다.

이와 같이 특정 확률분포(DIST)에 대하여 식(25)로 계산한 적합성척도가 영에 가까울수록 분포형의 적합성은 높은 것이며, 적합성인정의 최소기준은 $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ 이다. 식(25)의 Z^{DIST} 는 검사대상 확률분포형의 매개변수를 표본자료의 L-Moments를 사용하여 계산한 후 결정하게 된다. 본 연구에서 지역빈도분석을 위해 선정된 확률분포형은 3개 이상의 매개변수를 가지는 확률분포형인 Pearson Type-III(PE3), Generalized Logistic(GLO), Generalized Extreme Value(GEV), Generalized Normal(GNO), Generalized Pareto(GPA) 및 5변수 Wakeby(WKB5)분포형이며, 빈도분석을 위하여 검토된 확률분포형과 자료계열의 모의발생에 사용된 Kappa분포에 국한하여 각 분포형의 누가확률분포함수인 F(X)와 그 역함수인 X(F)는 다음 Table 1과 같으며, 각 확률분포의 L-Moments 및 L-Moments비를 구하면 분포형별 매개변수 결정이 가능하다.

2.2.4. 지역빈도분포의 매개변수 산정

지역빈도분포의 매개변수는 각각의 지점빈도분포의 매개변수를 종합하여 산술평균함으로서 지역평균을 나타내는

Table 1. Cumulative probability distribution function and inverse function

Type	F(X) or X(F)	Parameters
GEV	$F(X) = \exp\left\{1 - \left[\frac{(x-\xi)}{\alpha}\right]^{1/k}\right\}$, $X(F) = \xi + \frac{\alpha[1 - (-\ln F)^k]}{k}$	ξ, α, k
GLO	$F(X) = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{x-\xi}{\alpha}\right)^{1/k}\right]^k}$, $X(F) = \xi + \frac{\alpha[1 - (1-F)]}{F^k}$	ξ, α, k
GNO	$F(X) = \phi\left[-K^{-1} \ln\left[1 - \frac{K(x-\xi)}{\alpha}\right]\right]$, $X(F) =$ not explicitly defined	ξ, α, k
PE3	$F(X) = G\left(\frac{x-\mu+2\sigma}{\gamma}\right)/\frac{1}{2}$, $\delta > 1, 4/\gamma^2$, $\gamma < 0$ $F(X) = 1 - G\left[-\left(\frac{x-\mu+2\sigma}{\gamma}\right)/\frac{1}{2}\right]$, $\delta > 1, 4/\gamma^2$, $\gamma > 0$, $X(F) =$ not explicitly defined	μ, σ, γ
GPA	$F(X) = 1 - [1 - k(x-\xi)/\alpha]^{1/k}$, $k \neq 0$ $F(X) = 1 - \exp[(x-\xi)/\alpha]$, $k=0$, $X(F) =$ not explicitly defined	k, ξ, α
WKB5	$F(X) =$ not explicitly defined, $X(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta}[1 - (1-F)^\beta] - \frac{\gamma}{\delta}[1 - (1-F)^{-\delta}]$	$\xi, \alpha, \beta, \gamma, \delta$

확률분포의 매개변수를 추정하게 된다.^{19,20)} Table 1에 나타난 각 확률분포형중에서 3개의 매개변수를 가지는 분포형인 GEV, GLO, GNO와 GPA분포형의 ξ 는 위치매개변수, α 는 크기매개변수, k 는 형상매개변수를 나타내고 있다.

3. 월강우량 자료의 지역빈도분석

3.1. 소유역의 분할

낙동강유역에서 유출량의 지역빈도분석을 위하여 Fig. 1에서와 같이 낙동강 전유역을 수문학적 동질성을 유지하는 25개 소유역으로 분할하였으며, 각 소유역의 유역면적은 남강댐유역이 가장 큰 소유역으로서 2,285 km^2 미만으로 구성되어 있다. 또한 낙동강유역 내에는 56개 원적

계측(Telemeter, T/M)강우관측소, 44개 T/M 수위 및 댐 수위관측소, 6개 T/M 수질관측소등이 유역내에 설치되어 있고, 분석에 이용된 자료는 T/M 강우관측소를 비롯하여 65개 지점의 1966년 1월부터 1995년 12월까지의 30년의 장기간의 월별 강우량자료를 이용하였다.

3.2. 가뭄강우량 자료계열의 작성

본 연구에서의 지역빈도분석을 위한 강우량자료는 낙동강유역 65개 지점의 1966-1995년 기간의 월강우량 자료를 이용하였으며, 물수지분석에 적용되는 지속기간 12개월에 대한 소유역별 부분기간치계열(Partial duration series)을 작성하였다. 즉 관측소별 월강우량 자료계열로부터 지속기간 12개월의 이동누가 강우량계열을 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 나가므로써 관측소별 가뭄강우량 자료계열을 작성하였다. 이와 같은 절차에 의해 가뭄강우량 자료계열은 부분기간치계열이며 자료계열의 하한치(Threshold)로는 지속기간별 평균 월강우량을 채택하고, 자료의 개수는 자료년수와 동일하게 취하는 것이 보통이다. 다음 Table 2는 영주관측소(000272)의 지속기간별 가뭄강우량 자료 계열을 나타낸 것이다.

Table 2에서 재현기간(Return period)는 자료값의 총수(30)를 전 자료를 크기순으로 나열했을 때의 순위(제일 큰 값이 1)로 나눈 값이며, 초과확률(Exceedence probability)은 1에서 순위/30(자료값의 총수)을 제한 값에서 100를 곱한 것으로 구할 수 있다. 또한 우측의 1, 2, 4, 6, ...은 가뭄지속기간(월별)을 나타내었다.

3.3. 가뭄강우량계열의 지역빈도분석 결과

낙동강유역의 25개 소유역별로 작성된 가뭄강우량계열(지속기간 : 12개월)에 대한 지역빈도해석은 앞에서 언급한 L-Moments로부터 계산되는 각종 통계치를 기준으로 자료군의 이상치 검정, 소유역 단위의 수문학적 동질성검사, 적정 확률분포형의 선정 그리고 지역빈도분석에 사용될 적정 확률분포형의 지역평균 매개변수의 산정 등의 과정을 거치는 절차에 따라 개발된 Hosking²¹⁾의 Fortran 프

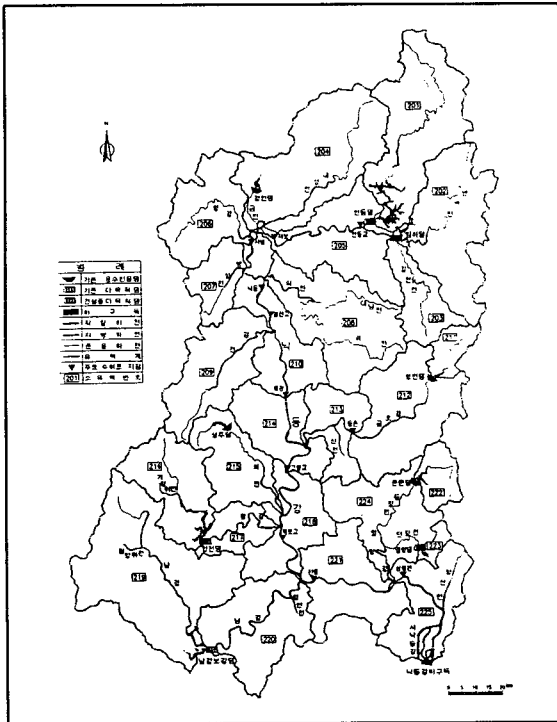


Fig. 1. Subbasin division of Nakdong river basin.

Table 2. Drought precipitation series of YeongJu station(000272) in Nakdong river basin

Rank	Return Period	Exceedence probability	(Unit : mm)												
			1	2	4	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
1	30.0	96.7	0.3	1.3	17.0	54.8	249.8	602.5	706.2	816.7	1121.8	1534.2	1727.5	1784.0	
2	15.0	93.3	0.8	2.0	36.9	97.3	252.7	697.5	835.6	936.6	1140.7	1658.6	1783.2	1915.4	
3	10.0	90.0	0.8	4.6	45.3	108.6	291.5	776.7	942.4	1080.2	1190.2	1796.3	1910.6	2020.6	
4	7.5	86.7	1.0	5.3	46.8	110.1	335.6	790.3	964.4	1103.2	1263.1	1979.7	2166.4	2287.3	
5	6.0	83.3	1.3	5.6	49.6	112.0	342.1	824.0	983.7	1169.0	1453.9	2018.8	2197.3	2436.1	
6	5.0	80.0	1.3	9.2	53.4	120.9	382.5	836.0	1055.7	1189.4	1537.6	2090.2	2286.6	2464.0	
7	4.3	76.7	1.5	10.6	57.8	124.6	387.6	877.7	1078.2	1254.2	1616.5	2240.5	2365.6	0.0	
8	3.8	73.3	2.6	11.4	58.1	125.4	388.2	883.0	1085.1	1261.3	1636.1	2326.7	0.0	0.0	
9	3.3	70.0	2.8	11.5	61.8	134.4	407.1	941.4	1091.2	1351.3	1711.6	0.0	0.0	0.0	
10	3.0	66.7	3.0	12.4	66.3	144.7	413.5	947.6	1165.7	1397.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
11	2.7	63.3	3.0	12.9	67.2	153.1	436.5	962.8	1169.6	1534.5	0.0	0.0	0.0	0.0	
12	2.5	60.0	3.5	15.4	69.4	159.4	449.4	973.3	1287.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
13	2.3	56.7	3.7	15.7	71.4	161.8	487.0	987.6	1473.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
14	2.1	53.3	3.7	16.5	72.8	162.6	495.1	1013.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
15	2.0	50.0	3.7	16.6	72.8	171.2	497.8	1099.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
16	1.9	46.7	3.8	19.5	75.6	180.9	503.6	1176.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
17	1.8	43.3	4.0	20.9	76.4	182.2	503.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
18	1.7	40.0	4.2	21.1	81.4	184.7	511.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
19	1.6	36.7	4.4	21.7	82.0	185.3	518.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
20	1.5	33.3	4.7	22.9	83.4	189.5	521.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
21	1.4	30.0	5.2	24.5	101.2	193.9	589.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22	1.4	26.7	5.5	25.6	107.4	202.7	748.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
23	1.3	23.3	5.8	26.9	109.8	204.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
24	1.2	20.0	5.9	27.7	115.0	209.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
25	1.2	16.7	6.4	28.7	123.6	216.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
26	1.2	13.3	7.4	28.7	125.8	224.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
27	1.1	10.0	7.6	29.2	126.4	253.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
28	1.1	6.7	7.9	29.7	137.3	263.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
29	1.0	3.3	8.3	33.1	143.2	352.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
30	1.0	0.0	8.7	33.3	177.0	428.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

로그그램을 이용하였으며, 본 연구의 낙동강유역에서는 각 소유역별로 3가지 검정을 통과한 분포형 중에서 가장 적합한 분포형으로 General Logistic(GLO)분포형이 가뭂강우량계열의 최적분포형으로 선정되었다. 다음 Table 3(a)-(d)는 낙동강유역의 다목적댐지점인 안동, 임하, 합천 및 남강댐지점의 확률분포형별 매개변수 및 적정 확률분포형을 산정하였으며, 지속기간별로 적정 확률분포형을 채택하였다.

또한 낙동강 25개 소유역에서 산정된 적정 확률분포형인 General Logistic(GLO)분포형에 의해서 구한 지속기간 12개월의 재현기간별 가뭂강우량을 산정하여 다음 Table 4와 같이 나타내었으며, 낙동강유역의 주요 다목적댐인 안동, 임하, 합천 및 남강댐지점에서 주요 가뭂빈도의 강우량의 빈도를 추정할 수 있는 지속기간 12개월의 재현기간-가뭂강우량의 관계를 다음 Fig. 2(a)-(d)과 같이 반대수지상에 나타낼 수 있으며, 내삽에 의한 추정이 가능하다.

4. 소유역별 가뭂빈도분석

4.1. 이수안전도에 따른 주요 가뭂기간의 선정

이수안전도란 하천이 정상기능을 유지하면서 수자원

공급시설로부터 계획된 용수수요량의 공급을 보장할 수 있는 특정 발생빈도의 갈수유황을 설정하여 시설계획의 규모를 결정하는 기준을 나타내고 있으며, 여기서 언급한 “특정 발생빈도의 갈수유황”을 일반적으로 이수안전도기준으로 삼고 있고, 이는 수자원 공급시설이 용수수요를 충족시킬수 있는 물 공급의 안정성 정도를 표시한다고 할 수 있다.²²⁾ 따라서 본 연구에서는 낙동강유역의 30년(1966-1995)동안 가장 극심한 물 수지년 가뭂기간을 이수안전도 30년, 2번째에 해당하는 가뭂기간을 이수안전도 20년, 3번째에 해당하는 가뭂기간을 이수안전도 10년으로 설정하여 가뭂해석의 기준으로 하였다.

낙동강유역 전반에 걸친 주요 가뭂기간을 선정하기 위하여 우선 소유역별로 해당 강우관측소의 기록기간동안의 월강우량자료를 티센가중치에 의해 계산하여 소유역평균으로 월강우량계열을 작성하였으며, 국내용수수요와 공급측면에서 기준월로 사용되고 있는 10월 기준의 물수지년별로 12개월 누가강우량을 작성하여 소유역별로 가장 작은 값부터 순위를 부여한 후, 다시 연도별로 소유역별 12개월 누가강우량의 순위를 산술평균하여 연도별 평균순위를 계산하였으며, 다음 Table 5와 같다.

Table 3(a). Optimal probability distribution function for Nakdong river basin(Andong)

Duration (month)	Discordancy	Heterogeneity measures			Goodness-of-fit measure		Selection
		L-CV	L-Skew	L-Kurto	Optimal distribution function(Z value)		
4	-	-1.46	-1.60	-1.82	GEV, GNO, PE3		
6	-	-1.82	-2.03	-1.75	GLO		
9	-	-1.48	-1.10	-1.48	GLO(-1.88)		
12	-	-0.87	-1.16	-1.48	GLO		
15	-	-1.76	-1.87	-2.08	GLO(-3.32)		
18	-	-2.11	-2.02	-2.91	GLO(-3.41)		GLO
21	-	-1.66	-1.99	-2.71	GLO(-3.02)		
24	-	-1.64	-2.47	-2.65	GLO(-3.19)		
27	-	-1.81	-3.33	-3.83	GLO(-3.60)		
30	-	-1.26	-2.33	-3.20	GLO(-4.10)		

Table 3(c). Optimal probability distribution function for Nakdong river basin(Hapcheon)

Duration (month)	Discordancy	Heterogeneity measures			Goodness-of-fit measure		Selection
		L-CV	L-Skew	L-Kurto	Optimal distribution function(Z value)		
4	-	0.07	-0.61	-0.60	GLO, GEV, GNO, PE3		
6	-	-0.35	0.31	-0.76	GLO, GEV, GNO, PE3		
9	-	-1.35	-1.30	-1.53	GEV, GNO, PE3		
12	-	-1.77	-1.74	-2.61	GLO, GEV, GNO, PE3		
15	-	-1.89	-1.93	-2.69	GLO, GEV, GNO, PE3		
18	-	-1.83	-1.48	-2.38	GLO, GEV, GNO, PE3		GLO
21	-	-1.56	-2.73	-3.20	GLO, GEV, GNO, PE3		
24	-	-1.87	-1.63	-2.25	GLO(-1.81)		
27	-	-1.50	-2.67	-3.11	GLO(-1.78)		
30	-	-1.72	-2.38	-2.99	GLO(-3.05)		

Table 3(b). Optimal probability distribution function for Nakdong river basin(Imha)

Duration (month)	Discordancy	Heterogeneity measures			Goodness-of-fit measure		Selection
		L-CV	L-Skew	L-Kurto	Optimal distribution function(Z value)		
4	-	-2.04	-1.64	-1.98	GEV, GNO, PE3		
6	-	-2.35	-1.45	-1.38	GLO, GEV, GNO, PE3		
9	-	-0.88	-1.02	-1.54	GLO		
12	-	-0.52	-1.10	-1.74	GLO		
15	-	-1.38	-1.52	-2.05	GLO		
18	-	-1.76	-2.18	-3.04	GLO(-2.23)		GLO
21	-	-1.68	-2.26	-2.84	GLO(-3.60)		
24	-	-1.25	-2.59	-2.58	GLO(-3.38)		
27	-	-1.89	-2.98	-3.28	GLO(-4.19)		
30	-	-2.27	-2.14	-3.29	GLO(-4.95)		

Table 3(d). Optimal probability distribution function for Nakdong river basin(Namgang)

Duration (month)	Discordancy	Heterogeneity measures			Goodness-of-fit measure		Selection
		L-C	L-Skew	L-Kurto	Optimal distribution function(Z value)		
4	-	0.0	-0.15	-0.47	GLO, GEV, GNO, PE3		
6	-	-0.4	-0.95	-1.33	GLO		
9	-	-0.9	-1.18	-1.21	GLO, GEV, GNO, PE3		
12	-	-1.9	-2.21	-2.10	GLO, GEV, GNO, PE3		
15	-	-1.9	-2.03	-3.01	GLO		
18	-	-1.7	-1.39	-1.89	GLO(-1.73)		GLO
21	-	-1.2	-3.04	-3.53	GLO		
24	-	-1.9	-2.80	-3.59	GLO(-2.41)		
27	-	-2.0	-2.31	-3.20	GLO(-2.41)		
30	-	-1.9	-2.80	-3.78	GLO(-3.86)		

Table 4. Drought precipitation according to each return period (duration : 12 months)

(Unit : mm)

subbasin	Type	Return period(year)						subbasin	Type	Return period(year)					
		2	5	10	20	30	50			2	5	10	20	30	50
201	GLO	802	654	571	496	454	404	214	GLO	800	654	573	501	462	415
202	GLO	773	640	564	495	457	409	215	GLO	873	670	554	450	392	321
203	GLO	811	680	604	534	494	445	216	GLO	906	689	569	462	403	332
204	GLO	850	707	629	561	525	480	217	GLO	935	726	610	506	450	381
205	GLO	794	658	578	505	463	412	218	GLO	898	710	606	513	462	399
206	GLO	935	773	677	588	537	474	219	GLO	1068	828	694	574	508	428
207	GLO	911	756	671	597	556	507	220	GLO	956	751	639	540	486	421
208	GLO	773	634	554	481	441	391	221	GLO	939	760	666	584	540	488
209	GLO	810	642	549	467	422	368	222	GLO	864	685	586	497	447	388
210	GLO	790	646	568	500	463	418	223	GLO	969	803	716	643	603	557
211	GLO	831	703	630	565	529	484	224	GLO	891	721	628	546	502	449
212	GLO	810	667	586	512	471	421	225	GLO	996	828	743	673	636	593
213	GLO	764	616	534	461	422	373	Total	GLO	893	720	623	538	490	433

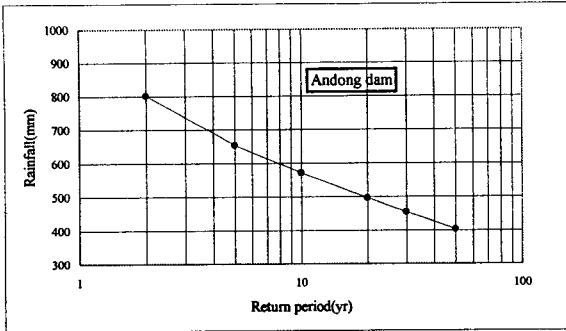


Fig. 2(a). Relationship of return period and drought rainfall for Andong dam(201).

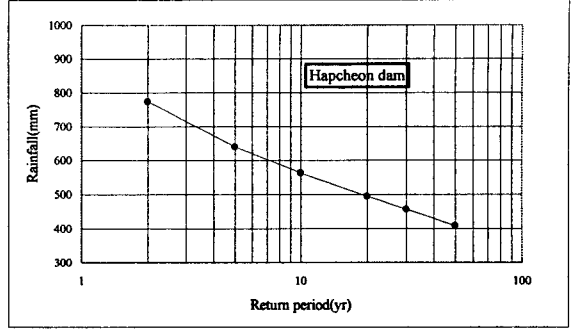


Fig. 2(c). Relationship of return period and drought rainfall for Hapcheon dam(216).

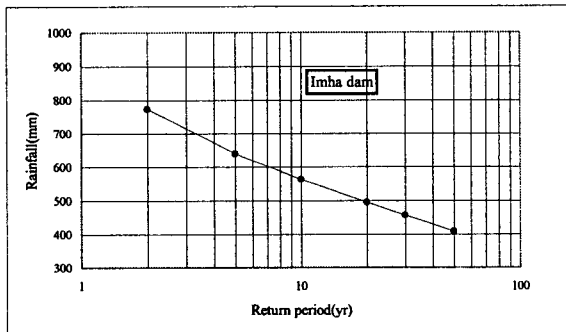


Fig. 2(b). Relationship of return period and drought rainfall for Imha dam(202).

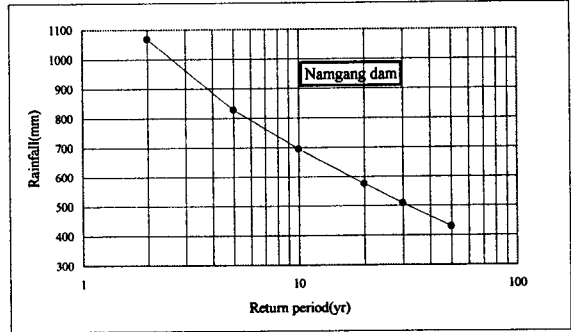


Fig. 2(d). Relationship of return period and drought rainfall for Namgang dam(219).

Table 5는 낙동강유역에서 '93-'94년의 가뭄심도가 가장 심각하여 낙동강유역의 이수안전도 30년에 해당하며, '76-'77년의 가뭄이 이수안전도 20년에 해당하며, '81-'82년의 이수안전도 10년에 해당되는 것으로 분석되었다. 또한 낙동강유역의 '67-'68 가뭄의 경우에는 5번째의 순위를 보이고 있으나 순위 8번째의 '66-'67년의 가뭄이 선행되어 있어 체감빈도는 더 심각한 가뭄이라고 사료된다.

4.2. 주요 가뭄기간의 소유역별 가뭄빈도 설정

주요 가뭄기간 연도들에서의 낙동강유역 가뭄빈도와 동기간의 소유역별 가뭄빈도간에 상관분석을 위한 주요 가뭄기간으로는 Table 5에서의 10위까지의 물 수지년 기준 가뭄연도를 선정하였다. 이들 10위까지의 각 연도의 소유역별 강우량의 가뭄빈도는 Fig. 2(a)-(d)에서와 같이 소유역별 재현기간-가뭄강우량의 관계로부터 해당 강우량을 내삽하여 추정하였으며, 주요 가뭄기간동안의 강우량 및 해당가뭄빈도는 Table 6과 같다.

4.3. 각 소유역의 가뭄강우량 빈도 결정

낙동강유역에서의 주요 가뭄기간인 10개 물 수지년들에 있어서의 낙동강전체의 강우량 가뭄빈도와 임의의 소유역 동일년도의 강우량 가뭄빈도를 상관시켜서 선형회귀 분석을 실시하였다. 따라서 각 소유역에서의 가뭄빈도는 가뭄빈도 기울기에 낙동강유역의 이수안전도인 가뭄빈

Table 5. Mean degree of each subbasin 12 months precipitation in Nakdong river basin

Rank	Year	Mean degree	Rank	Year	Mean degree
1	93-94	1.56	15	82-83	15.72
2	76-77	3.32	16	83-84	16.48
3	81-82	3.56	17	74-75	18.20
4	87-88	5.28	18	73-74	18.64
5	67-68	6.32	19	79-80	19.64
6	91-92	7.72	20	86-87	21.60
7	94-95	8.12	21	71-72	21.64
8	66-67	8.36	22	88-89	21.96
9	75-76	8.40	23	92-93	22.16
10	70-71	9.88	24	89-90	22.44
11	72-73	10.32	25	78-79	22.80
12	80-81	12.68	26	90-91	22.88
13	85-86	12.72	27	69-70	25.12
14	77-78	14.44	28	84-85	25.44

도를 곱하여 산출할 수 있으며, 각 소유역별 선형회귀방정식은 다음 Table 7과 같고, Fig. 3(a)-(d)는 낙동강유역의 주요 다목적댐지점인 안동, 임하, 합천 및 남강댐지

Table 6. Precipitation & drought frequency of Nakdong river subbasin (Unit : year, mm)

Rank		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Year		1993	1976	1981	1987	1967	1991	1994	1966	1975	1970
201	Freq.	2.27	0.96	3.02	1.21	2.14	1.33	1.54	1.99	0.99	3.96
	Prec.	778	933	733	889	788	871	845	800	927	692
202	Freq.	7.18	2.26	3.43	0.73	1.79	1.07	1.25	0.66	0.78	3.48
	Prec.	601	753	694	938	702	767	751	714	961	880
203	Freq.	9.51	2.49	8.95	1.27	3.31	1.73	2.30	1.27	0.45	1.35
	Prec.	600	774	607	880	733	829	786	880	1,072	869
204	Freq.	1.18	1.49	11.33	0.64	2.06	1.08	0.25	1.44	0.62	0.35
	Prec.	922	884	620	1,026	836	935	1,209	890	1,032	1,139
205	Freq.	9.29	2.52	6.19	1.80	4.66	4.02	1.49	2.13	1.06	1.07
	Prec.	584	759	634	812	671	691	844	785	904	902
206	Freq.	7.13	2.94	6.41	1.58	1.98	1.05	1.03	0.92	1.27	0.41
	Prec.	721	867	737	987	941	1,075	1,078	1,105	1,033	1,304
207	Freq.	10.34	3.10	12.24	3.19	5.37	1.02	0.90	0.71	1.88	0.49
	Prec.	671	833	651	829	755	1,018	1,041	1,087	912	1,162
208	Freq.	8.66	3.85	4.14	1.97	3.93	1.34	1.09	0.83	1.28	1.13
	Prec.	569	674	664	775	671	840	877	929	848	870
209	Freq.	7.10	2.83	4.80	1.92	2.25	1.62	1.56	1.37	1.27	0.91
	Prec.	595	743	654	816	786	851	859	886	902	977
210	Freq.	6.79	7.58	5.67	2.46	9.25	1.27	0.47	0.86	2.22	0.93
	Prec.	616	603	638	751	580	854	1,038	922	766	908
211	Freq.	4.60	1.19	2.08	1.40	1.07	0.78	0.48	0.75	0.19	0.27
	Prec.	719	899	820	876	915	964	1,045	971	1,220	1,148
212	Freq.	8.59	5.28	3.60	2.27	1.14	0.98	2.15	1.25	3.04	1.43
	Prec.	603	665	718	788	905	933	796	888	743	864
213	Freq.	7.26	2.72	1.82	2.81	1.74	1.33	1.17	0.85	1.33	1.52
	Prec.	573	711	776	706	784	832	855	917	832	808
214	Freq.	9.86	3.42	3.40	3.86	1.46	1.56	0.91	1.01	1.91	1.27
	Prec.	576	713	714	696	846	835	931	911	802	870
215	Freq.	2.05	1.57	1.33	1.61	1.01	1.40	1.39	1.12	1.28	1.06
	Prec.	573	730	850	714	1,087	808	814	990	876	1,040
216	Freq.	8.25	10.51	2.03	2.76	0.53	0.95	1.42	0.79	1.42	0.19
	Prec.	585	558	769	724	999	891	824	924	824	1,222
217	Freq.	9.76	4.44	1.86	3.39	2.20	3.48	3.35	2.97	1.61	1.78
	Prec.	608	755	959	813	916	807	816	843	997	970
218	Freq.	10.33	4.62	1.72	5.97	0.92	2.22	2.12	1.35	1.83	1.80
	Prec.	598	730	933	685	1,089	876	886	991	919	923
219	Freq.	5.31	4.91	2.10	5.42	2.55	2.33	1.40	2.63	1.57	0.97
	Prec.	819	837	1,061	814	1,005	1,031	1,189	997	1,151	1,317
220	Freq.	4.67	2.54	1.39	2.49	1.46	1.30	1.33	1.38	1.06	1.25
	Prec.	771	899	1,046	903	1,032	1,064	1,057	1,048	1,119	1,074
221	Freq.	9.56	4.24	2.42	8.83	1.10	1.11	2.19	2.34	2.57	1.98
	Prec.	677	797	892	688	1,044	1,043	910	898	881	929
222	Freq.	2.08	3.69	2.14	0.76	1.11	0.60	1.52	1.17	1.36	1.71
	Prec.	856	744	850	1,095	998	1,161	925	987	950	898
223	Freq.	2.98	3.91	1.67	0.81	1.04	0.51	0.86	0.76	1.32	0.82
	Prec.	890	850	982	1,110	1,064	1,200	1,099	1,122	1,022	1,059
224	Freq.	7.91	5.45	2.70	5.75	0.81	1.45	2.17	1.17	1.95	0.92
	Prec.	661	715	829	707	1,069	946	868	990	888	1,041
225	Freq.	3.65	2.40	1.28	1.63	1.12	0.50	1.09	0.98	1.14	0.84
	Prec.	886	947	1,046	1,007	1,068	1,214	1,074	1,092	1,065	1,118
Total	Freq.	6.30	3.65	3.38	2.68	2.09	1.71	1.50	1.67	1.52	1.15
	Prec.	690	779	792	834	881	922	949	926	946	1,007

[Note] Freq. : Frequency, Prec. : Precipitation

점에서의 회귀분석결과이다. Table 7에 의하면 낙동강유역 전체의 가뭄빈도와 각 소유역의 동일기간 가뭄빈도간 선형회귀분석 결과 결정계수는 소유역별로 0.48-0.99의 분포를 나타내고 있고, 평균 0.78로서 전반적으로 상관성이 높은 것으로 분석되었으며, 소유역별로 결정계수의 변동은 큰 것으로 분석되었다. 또한 유역의 경계선에 해당하는 지점과 강우량 관측지점의 보유개수가 작은 소유역에서는 대부분 결정계수의 값이 작은 것으로 분석되어서, 각 소유역들이 수문학적 동질성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

Table 7. Drought-precipitation frequency equation for Nakdong river subbasin

Subbasin	Formula	R ²
201	201 = 0.567 · Total	0.48
202	202 = 1.259 · Total - 1.300	0.88
203	203 = 1.682 · Total - 1.050	0.75
204	204 = 0.721 · Total	0.51
205	205 = 1.419 · Total - 0.216	0.78
206	206 = 1.357 · Total - 1.001	0.89
207	207 = 2.050 · Total - 1.332	0.68
208	208 = 1.481 · Total - 0.977	0.99
209	209 = 1.182 · Total - 0.470	0.99
210	210 = 1.419 · Total	0.53
211	211 = 0.320 · Total	0.53
212	212 = 1.424 · Total - 0.678	0.97
213	213 = 1.118 · Total - 0.613	0.99
214	214 = 1.655 · Total - 1.379	0.99
215	215 = 0.167 · Total + 0.954	0.81
216	216 = 1.455 · Total - 1.923	0.86
217	217 = 1.318 · Total + 0.102	0.83
218	218 = 1.626 · Total - 0.882	0.85
219	219 = 0.813 · Total + 0.428	0.71
220	220 = 0.656 · Total + 0.206	0.95
221	221 = 1.464 · Total - 0.122	0.65
222	222 = 0.542 · Total	0.48
223	223 = 0.540 · Total + 0.084	0.67
224	224 = 1.377 · Total - 0.503	0.85
225	225 = 0.555 · Total + 0.040	0.97
Mean		0.78

[Note] 201, 202 etc : Subbasin Frequency,
Total : Nakdong Total Basin Frequency

5. 연구의 고찰

본 연구에서는 전절에서 산정된 Table 7의 결과를 이용하여 주요 가뭄기간인 10개 물수지년들에 있어서의 낙동강유역 전체의 이수안전도 가뭄빈도 10년, 20년 및 30년에 해당하는 각 소유역의 가뭄 강우량을 산정하였으며, 다음 Table 8과 같이 나타낼 수 있다. Table 8에 의하면 낙동강유역 전체의 이수안전도 가뭄빈도 10년, 20년 및 30년에 해당하는 가뭄 강우량과 각 소유역의 가뭄 강우량을 비교해 볼 때, 이수안전도 10년 20년 및 30년에 대

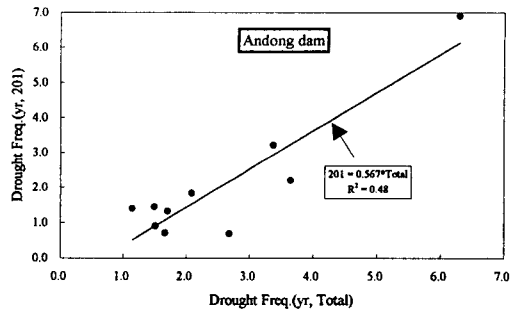


Fig. 3(a). Result of linear regression analysis for Andong dam(201).

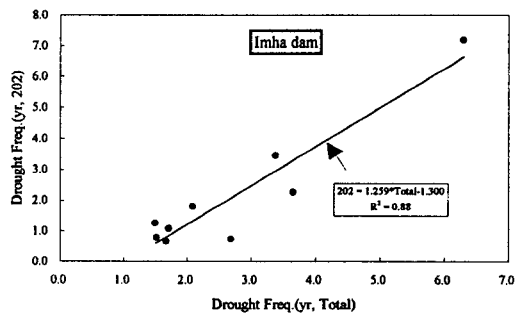


Fig. 3(b). Result of linear regression analysis for Imha dam(202).

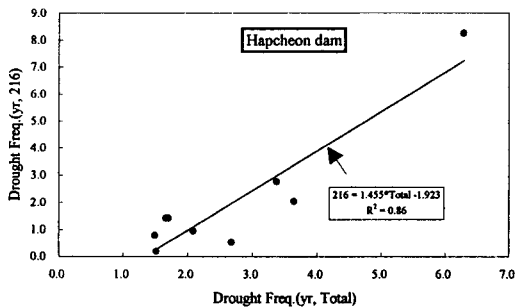


Fig. 3(c). Result of linear regression analysis for Hapcheon dam(216).

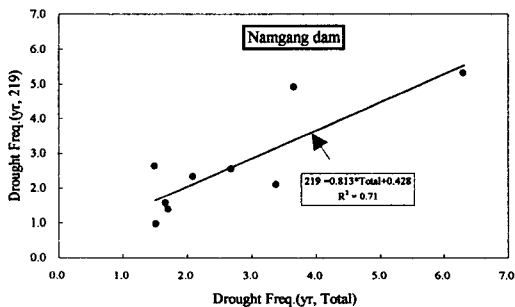


Fig. 3(d). Result of linear regression analysis for Namgang dam(219).

해서 201, 204, 206, 211, 219-223 및 225번 소유역의 가뭄심도가 낙동강유역 전체의 가뭄심도보다 양호한 결과를 나타내고 있지만 전반적으로 각 소유역의 가뭄심도는 낙동강유역 전체보다 심각한 것으로 나타났으며, 각 소유역별로 가뭄 강우량의 변동폭이 큰 것으로 분석되었다.

Table 8. Drought rainfall considering the safety standards for the design of impounding facilities (Unit : mm)

Subbasin	Drought frequency	10 years	20 years	30 years
201		642	554	509
202		550	476	438
203		545	475	439
204		671	594	554
205		538	467	430
206		641	550	504
207		601	527	489
208		516	443	406
209		531	447	405
210		534	466	431
211		764	681	636
212		550	476	438
213		528	450	411
214		528	455	418
215		458	293	218
216		513	443	408
217		559	462	414
218		542	453	409
219		717	594	532
220		703	593	536
221		623	541	499
222		677	571	517
223		803	715	667
224		593	510	468
225		830	743	696
Total		623	534	498

6. 결 론

본 연구에서는 낙동강유역에서 각 소유역의 가뭄빈도를 결정하기 위하여 전 유역을 25개의 소유역으로 분할하였으며, 분석에 이용된 자료는 65개 지점의 1966년 1월부터 1995년 12월까지의 30년의 장기간의 월별 강우량 자료를 이용하였다. 그리고 낙동강유역 전체 및 각 소유역내의 가뭄 강우량계열을 작성하고 이를 L-Moments법에 의해 지역빈도해석을 실시하여 가뭄 지속기간 12개월에 대한 재현기간별 가뭄강우량을 추정하여 다음과 같은 결론을 유도하였다.

(1) 본 연구의 낙동강유역에서는 '93-'94년의 가뭄심도가 가장 심각하여 낙동강유역의 이수안전도 30년에 해당하며, '76-'77년의 가뭄이 이수안전도 20년에 해당하며,

'81-'82년의 이수안전도 10년에 해당된다. 또한 낙동강유역의 '67-'68가뭄의 경우에는 5번째의 순위를 보이고 있으나 순위 8번째의 '66-'67년의 가뭄이 선행되어 있어 체감빈도는 더 심각한 가뭄이라고 사료된다.

(2) 각 소유역별 지속기간 12개월의 지역빈도분석결과와 주요 가뭄기간의 12개월 강우량을 비교하여 그 기간의 가뭄빈도를 설정하였으며, 동일 가뭄기간의 낙동강유역 전체의 가뭄빈도와 각 소유역간의 가뭄빈도를 선형회귀분석을 실시하여 각 소유역에서의 가뭄빈도는 가뭄빈도 기율기에 낙동강유역의 가뭄빈도를 곱하여 산출할 수 있는 선형회귀방정식을 유도하였다.

(3) 선형회귀방정식에 의한 회귀분석결과 유역의 경제선에 해당하는 지점과 강우량 관측지점의 보유개수가 작은 소유역에서는 대부분 결정계수의 값이 작은 것으로 분석되었으며, 각 소유역들이 수문학적 동질성을 가지고 있는 것으로 판단된다. 또한 선형회귀방정식을 이용하여 낙동강유역 전체의 이수안전도 가뭄빈도 10년, 20년 및 30년에 해당하는 각 소유역의 가뭄 강우량을 산정하였으며, 전반적으로 각 소유역의 가뭄심도는 낙동강유역 전체보다 심각한 것으로 나타났다.

(4) 본 연구의 결과를 기초로 하여 대하천유역에서의 이수안전도를 고려한 물수지분석에 있어서 본 연구에서 제시한 방법 및 절차가 적용가능할 것으로 분석되며, 이를 위해서는 신뢰성있는 강우량자료 및 유출량자료의 확충이 가장 급선무라고 생각된다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어서 가뭄해석에 많은 조언을 하여 주신 미국 콜로라도 주립대학교 토목공학과 Dr. Jose. D. Salas 교수님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Warrick, R. A., 1975, Drought hazard in the United States : A research assessment, NSF-RA-E-75-004, National Technical Information Service, Springfield, Va.
- 2) Matalas, N. C., 1963, Probability distribution of low flow, USGS Professional Paper, No. 434-A.
- 3) Yevjevich, V., 1967, An objective approach to definition and investigation of continental hydrologic droughts, Hydrology Paper, No. 23, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- 4) Mallan, J. and V. Yevjevich, 1971, Probabilities of observed droughts, Hydrology Paper, No. 50, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- 5) Sen, Z., 1976, Wet and dry periods of annual flow series, Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 102, No. 10, 1503-1514pp.
- 6) 허준행, 김경덕, 조원철, 1997, 다변량추계학적 모형을 이용한 낙동강유역의 가뭄해석에 관한 연구, 한국수자원학회논문집, 제 30권, 제 2호, 153-163pp.
- 7) 윤용남, 1972, 급수용 저수지설계를 위한 저유하량의

- 통계학적 해석에 관한 연구, 대한토목학회지, 제 20권, 제 1호, 37-46pp.
- 8) 윤용남, 박무중, 1997, L-Moments법을 이용한 월강우량자료의 지역가뭄빈도해석, 한국수자원학회 논문집, 제 30권, 제 1호, 55-62pp.
 - 9) 김성원, 1998, 하천유역의 물수지모델에 관한 연구, 영남대학교 박사학위논문.
 - 10) 김재형, 윤용남, 신현석, 1998, 이수안전도를 고려한 한강유역의 지역별 가뭄빈도 결정, 98' 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 68-75pp.
 - 11) 김경덕, 허준행, 조원철, 1998, 크기 및 기간차원을 이용한 한강유역의 가뭄해석, 98' 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 76-81pp.
 - 12) Haan, C. T., 1977, Statistical methods in hydrology, Iowa state university press.
 - 13) Matalas, N. C., J. R. Wallis, and J. R. Slack, 1975, Regional skew in search of a parent, Water resour. res., Vol. 11, No. 6, 815-826pp.
 - 14) Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis, 1993, Some statistics useful in regional frequency analysis, Water resour. res., Vol. 29, No. 2, pp. 271-281.
 - 15) World Meteorological Organization, 1989, Statistical distribution for flood frequency analysis, Operational Hydrology Report No. 33, WMO.
 - 16) Greenwood, J. A., J. M. Landwehr, N. C. Matalas, and J. R. Wallis, 1979, Probability weighted moments : Definition and relation to parameters of distributions expressible in inverse form, Water Resour. Res., Vol. 15, No. 5, 1049-1054pp.
 - 17) 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.
 - 18) 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, 105-124pp.
 - 19) Guttmann, N. B., 1993, The use of L-Moments in the determination of regional precipitation climates, J. of Climate, American meteorological society, Vol. 6, 2309-2325pp.
 - 20) Guttmann, N. B., J. R. M. Hosking, and J. R. Wallis, 1993, Regional precipitation quantile values for the continental united states computed from L-Moments, J. of Climate, American meteorological society, Vol. 6, 2326-2340pp.
 - 21) 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.
 - 22) 건설교통부, 1995, 가뭄기록 조사보고서.