

# Generalized Gamma 분포 모형의 매개변수 유도 방법에 의한 설계홍수량의 비교분석

## Comparative Analysis of Design Flood by Different Methods for the Estimation of Parameters in Generalized Gamma Distribution Model

이 순 혁\*      맹 승 진\*\*      류 경 식\*\*  
Lee, Soon-hyuk      Maeng, Sung-jin      Ryoo, Kyong-sik

### Abstract

This study was conducted to derive optimal design floods by generalized gamma distribution model of the annual maximum series at six watersheds along Han and Nag Dong river systems. Design floods obtained by different methods for estimation of parameters and for plotting positions in the generalized gamma distribution model were compared by the relative mean errors, the relative absolute errors, and graphical fit along with 95% confidence limits plotted on gamma probability paper.

The results were analyzed and summarized as follows.

1. Design floods according to the return periods were obtained by different methods for estimation of parameters and for plotting positions in the generalized gamma distribution model.

2. It was found that design floods derived by sundry averages method for parameters and Hazen method for plotting position in the generalized gamma distribution are much closer to those of the observed data in comparison with those obtained by the other methods for parameters and for plotting positions from the viewpoint of relative absolute errors in the applied watersheds.

3. Reliability of design floods derived by sundry averages method in the generalized gamma distribution was acknowledged within 95% confidence interval.

### I. 서론

각종 수리구조물의 범람과 붕괴에 의한 위

험도를 제거하고 안정성 있는 농업용수공급  
을 위해서는 각종 수리구조물의 설계를 위한

\* 충북대학교 농과대학  
\*\* 충북대학교 대학원

키워드: Generalized Gamma 분포, W-W Test,  
M-W Test, 매개변수, 기본통계치, 설계홍수량,  
확률도시법

적정설계홍수량의 제시가 무엇보다도 중요하다.

이러한 설계홍수량의 추정은 크게 두 가지 방법으로 분류할 수 있다. 한 방법은 표본 자료의 확률 분포에 가장 이상적인 새로운 확률 밀도함수를 개발하여 적절한 설계홍수량을 추정하는 방법이며, 다른 한 방법은 기존에 발표된 확률 밀도함수의 매개변수를 유도하는데 있어서 그 방법을 달리하여 매개변수를 구한 후 확률 밀도함수에 의해 적절한 설계홍수량을 추정하는 방법이다. 현재 국내·외에서는 표본 자료에 대한 설계홍수량의 추정에 있어서 상기의 방법 중 후자의 방법에 대한 경향이 우세한 추세이다.

본 연구에서 적용된 Generalized Gamma 분포 모형은 국내적으로는 이에 관한 적용 및 연구가 전혀 없는 실정이고 국외적으로는 Amoroso<sup>20)</sup>에 의해서 1925년에 최초로 언급되었으며 그후, Lienhard와 Meyer<sup>36)</sup>에 의해 Generalized Gamma 분포 모형의 이론이 정립되었다. 그리고 Kritsky와 Menkel<sup>34)</sup>은 구 소련 지역에 대한 홍수빈도분석을 위해 Generalized Gamma 분포 모형을 적용하였고 Klemes<sup>33)</sup>는 상기 구 소련 지역의 연유출량 또는 월유출량 자료에 대한 적절한 분포 모형으로서 Generalized Gamma 분포 모형을 제시하였다.

본 연구에서는 홍수자료의 동질성, 독립성 및 Outlier 검정을 수행하여 홍수빈도분석의 타당성 여부를 확인하고 본 분석에서 사용하고자 하는 Generalized Gamma 확률분포 모형에 관한 특성의 고찰과 함께 매개변수 유도방법과 플로팅 포지션법을 달리했을 때의 빈도별 설계홍수량의 유도 및 비교 분석을 수행함으로써 적절한 매개변수 유도방법과 설계홍수량을 제시하고자 하며 이로서 우리나라 수자원개발 및 수방대책을 수립하는데 필수적인 설계기준을 제공하고자 하는데 그 역점을 두고 있다.

## II. Generalized Gamma 분포 모형의 이론적 분석

미국 수자원평의회(U.S. Water Resources Council)에서는 Log Pearson Type 3 분포를 홍수빈도분석에 적용하도록 권장하고 있으나, Log Pearson Type 3 분포형은 확률밀도함수의 매개변수인 척도매개변수,  $\alpha$ 가 음수일때 확률누가곡선의 형상이 좌간왜곡되며  $X_{max}$ 의 유한상한값을 가진다. 여러 학자들은 실제 홍수량을 변량으로 하여 Log Pearson Type 3 분포 모형에 적용하게 되면 상기의 조건하에서 홍수량의 적용은 불완전하기 때문에 이러한 문제가 보완된 모형을 개발해야 된다고 주장하였다. 이와 같은 문제를 보완하여 제시된 분포형이 Generalized Gamma 분포형이다<sup>24)</sup>.

Generalized Gamma 분포의 확률밀도함수는 다음의 식 (1)과 같다.

$$f_{GG}(x; s, \alpha, \lambda) = \frac{\alpha |s| e^{-[(\alpha x)]} (\alpha x)^{s\lambda - 1}}{\Gamma(\lambda)} \quad (1)$$

여기에서  $\alpha > 0$  일 때  $0 \leq x < +\infty$  이며  $\alpha < 0$  일 때  $-\infty < x \leq 0$  이다. 변수  $\alpha$  는 척도매개변수,  $\lambda$  는 형상/역매개변수(Power parameter),  $s$ 는 역매개변수(형상매개변수  $d = s\lambda$ )이며  $\Gamma(\lambda)$ 는 Gamma 함수이다.

### 1. 매개변수 산정법

#### 가. 모멘트법(Method of Moments, MM)

Generalized Gamma 분포의 매개변수인  $\alpha$ ,  $\lambda$  및  $s$ 는 원점에 관한 1, 2, 3차 모멘트 방정식인 다음의 식 (2), 식 (3) 및 식 (4)로

부터 산정될 수 있다.

$$m_1(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{\beta \Gamma(\lambda+1/s)}{\Gamma(\lambda)} \quad (2)$$

$$m_2(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 = \frac{\beta^2 \Gamma(\lambda+2/s)}{\Gamma(\lambda)} \quad (3)$$

$$m_3(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^3 = \frac{\beta^3 \Gamma(\lambda+3/s)}{\Gamma(\lambda)} \quad (4)$$

여기에서  $\beta = 1/\alpha$ 이며,  $\beta$ 는 다시 다음의 식 (5) 및 식 (6)에 의해 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$\beta^2 \Gamma(\lambda+2/s) - m_2(x) \Gamma(\lambda) = 0 \quad (5)$$

$$\beta^3 \Gamma(\lambda+3/s) - m_3(x) \Gamma(\lambda) = 0 \quad (6)$$

$$\beta = \frac{m_1(x) \Gamma(\lambda)}{\Gamma(\lambda+1/s)} \quad (7)$$

**나. 최우법(Maximum Likelihood, ML)**

Generalized Gamma 분포에 있어 크기 N의 표본에 대한 최우함수의 대수는 다음의 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$\ln L = N \ln |s| + N \lambda \ln a - N \ln \Gamma(\lambda) - a \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 + (s\lambda - 1) \sum_{i=1}^N \ln x_i \quad (8)$$

여기에서  $a = \alpha^s$  이다. 매개변수  $a$ ,  $\lambda$  및  $s$ 에 대한 L의 편미분을 영으로 놓고 결과되는 3개 방정식을 풀면 최우법에 의한 매개변수의 추정치  $a$ ,  $\lambda$  및  $s$ 를 구할 수 있으며 각각 다음의 식 (9), 식 (10) 및 식 (11)로 된다.

$$\frac{\lambda}{\alpha} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^s = 0 \quad (9)$$

$$\frac{1}{s} - a \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^s \ln x_i) + \frac{\lambda}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i = 0 \quad (10)$$

$$\ln \alpha - \frac{\partial \ln \Gamma(\lambda)}{\partial \lambda} + \frac{s}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i = 0 \quad (11)$$

식 (9), 식 (10)을  $a$ 와  $\lambda$ 로 정리하면 다음의 식 (12), 식 (13)으로 나타낼 수 있다.

$$a = \left\{ s \left[ \frac{\sum (x_i^2 \ln x_i)}{N} - \frac{\sum x_i^2 \sum \ln x_i}{N^2} \right] \right\}^{-1} \quad (12)$$

$$\lambda = \frac{a \sum x_i^2}{N} \quad (13)$$

**다. 썬드리 평균법(Sundry Averages Method, SAM)**

썬드리 평균법에서 3개의 매개변수  $a$ ,  $\lambda$  및  $s$ 는 산술평균, 조화평균 및 기하평균에 대한 다음의 식 (14), 식 (15) 및 식 (16)에 의해서 구해진다.

$$\bar{x} = m_1(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \beta \Gamma(\lambda+1/s) \Gamma(\lambda) \quad (14)$$

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{x_i} = \frac{1}{\beta} \Gamma(\lambda-1/s) / \Gamma(\lambda) \quad (15)$$

$$\ln G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i = \ln \beta + \Psi(\lambda) / s \quad (16)$$

여기에서  $\beta = 1/\alpha$ .

$\Psi(\lambda) = \frac{d \ln \Gamma(\lambda)}{d \lambda}$  : Digamma 함수이다.

**라. 혼합모멘트법(Method of Mixed Moments, MMM)**

3개의 매개변수  $\alpha$ ,  $\lambda$  및  $s$ 는 산술평균, 분산 및 기하평균에 대한 다음의 식 (17), 식 (18) 및 식 (19)에 의해 구해진다.

$$\bar{x} = m_1(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \beta \Gamma(\lambda + 1/s) \Gamma(\lambda) \tag{17}$$

$$m_2(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 = \beta^2 \Gamma(\lambda + 2/s) / \Gamma(\lambda) \tag{18}$$

$$\ln G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i = \ln \beta + \Psi(\lambda) / s \tag{19}$$

여기에서  $\beta = 1/\alpha$ ,  $\Psi(\lambda) = \frac{d \ln \Gamma(\lambda)}{d \lambda}$  : Digamma 함수이다.

**III. 기본수문자료와 분석방법**

**1. 기본수문자료와 유역특성**

본 분석에 사용된 대상유역은 한강수계의 황성, 정선, 여주, 낙동강 수계의 동춘, 왜관 및 진동유역을 선정하였으며 설계홍수량 유도를 위해 각 유역의 연최고치 자료<sup>1, 5, 7)</sup>를 사용하였고, 각 유역에 대한 유역 특성의 결과는 <Table 1>과 같으며 여기에서 유역면적은 445.2~20311.3km<sup>2</sup>의 범위를 나타내고 있고 주하천장은 49.1~432.1km에 이르며 평균폭은 9.07~47.01km이고 형상계수는 0.092~0.193의 범위를 나타내고 있다.

**2. 분석방법**

**가. 대상유역별 연최고치 자료의 기본통계치 분석**

매개변수 유도 방법별 Generalized Gamma 분포 모형을 사용하여 설계홍수량을 유도하는데 기본적으로 필요한 통계치로서

<Table 1> Gauging stations and physical characteristics of watersheds

River	Station	Area (km <sup>2</sup> )	Length of main stream (km)	Average basin width	Shape factor	Observed duration (yrs)	Location
Han	Heongsung	445.2	49.1	9.07	0.185	27 (1963~1989)	Long. 127° 59' Lati. 37° 29'
	Jungsun	1,709.7	100.8	16.01	0.159	21 (1962~1982)	Long. 128° 39' Lati. 37° 22'
	Yeoju	11,036.0	347.1	31.79	0.092	27 (1956~1982)	Long. 127° 39' Lati. 37° 18'
Nag Dong	Dongchon	1,544.0	89.4	17.27	0.193	40 (1953~1992)	Long. 128° 39' Lati. 35° 54'
	Waegwan	11,074.4	321.7	34.42	0.107	29 (1954~1982)	Long. 128° 24' Lati. 35° 59'
	Jindong	20,311.3	432.1	47.01	0.109	28 (1955~1982)	Long. 126° 29' Lati. 35° 23'

평균치, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수를 각 유역별로 구한다.

**나. 연최고치 자료의 독립성 및 동질성 검정**  
 대상유역별 연최고치자료의 독립성 및 동질성 검정을 위해 각각 Wald-Wolfowitz(W-W) Test와 Mann-Whitney(M-W) Test<sup>24)</sup>에 의해 각 유역별로 실시한다.

**다. 연최고치 자료의 Outlier 검정**  
 연최고치 자료의 일반적인 균형분포상태에서 벗어나는 Outlier의 유무를 위해 Grubbs-Beck 검정법을 각 유역별로 시행한다.

**라. 매개변수 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의한 사용수문 자료의 기본통계치 분석 및 매개변수 산정**

매개변수 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 필요한 기본 통계치로서 평균치, 표준편차, 왜곡도계수, 변동계수 및 매개변수를 각 유역별로 구한다.

**마. 매개변수 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의해 유도된 설계홍수량의 비교**

Generalized Gamma 분포 모형에 있어서 매개변수 유도방법과 서로 다른 플로팅 포지션

방법을 사용하여 빈도별 설계홍수량을 유도하고 플로팅 포지션 방법에 따른 매개변수 유도 방법별 Generalized Gamma 분포 모형의 적합도 판정을 위해 상대평균오차 및 상대절대 오차를 각 유역별로 비교 분석한다.

**바. 적정 매개변수 유도 방법에 따른 Generalized Gamma 분포 모형에 의해 유도된 설계 홍수량의 신뢰도 분석**

적정 매개변수 유도방법에 따른 Generalized Gamma 분포형의 빈도해석에 의해 구해진 설계홍수량을 95% 신뢰한계 분석에 의해 신뢰도를 검정한다.

**IV. 결과 및 고찰**

**1. 사용수문자료의 기본통계치 분석**

황성, 정선, 여주, 동춘, 왜관 및 진동유역에 대한 평균치, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수의 기본통계치를 각 유역별로 구한 결과는 <Table 2>와 같으며 전 유역에 걸쳐 평균치와 표준편차는 각각 545.3~5,809.9 및 212.9~2,443.5의 범위를 그리고 왜곡도계수와 변동계수는 각각 0.052~2.444 및 0.331~0.770의 범위를 나타내었다.

<Table 2> Basic statistic

River	Station	Mean ( $\bar{x}$ )	Standard deviation(S)	Coefficient of skewness(Cs)	Coefficient of variation(Cv)
Han	Heongsung	674.4	519.0	2.444	0.770
	Jungsun	545.3	212.9	1.286	0.390
	Yeaju	5443.1	2443.5	1.155	0.449
Nag Dong	Dongchon	865.7	608.6	1.447	0.703
	Waegwan	3736.7	1374.3	0.052	0.368
	Jindong	5809.9	1922.3	0.543	0.331

&lt;Table 3&gt; Test for independence and homogeneity of observed flows

River	Station	Wald-Wolfowitz's test for Independence			Mann-Whitney's test for Homogeneity		
		$ u _1$	$u_{\alpha/2}$	Test	$ u _2$	$u_{\alpha/2}$	Test
Han	Heongsung	0.311	1.96	○	1.60	1.96	○
	Jungsun	0.794	1.96	○	1.30	1.96	○
	Yeoju	0.733	1.96	○	0.07	1.96	○
Nag Dong	Dongchon	0.491	1.96	○	0.30	1.96	○
	Waegwan	0.580	1.96	○	1.31	1.96	○
	Jindong	0.144	1.96	○	0.87	1.96	○

$|u|_1, |u|_2$ : W-W and M-W test statistic

$u_{\alpha/2}$ : Standardized normal deviate corresponding to a probability of exceedance  $\alpha/2$

○: Accept at a 5% level of significance

## 2. 연최고치 자료의 독립성 및 동질성 검정

대상유역별 사용수문자료에 대한 독립성 검정은 Wald-Wolfowitz Test에 의해 실시하였으며, 본 분석에서 적용된 각 유역의 수문자료에 대한 독립성 및 동질성 검정에 대한 결과는 <Table 3>과 같다.

## 3. 연최고치 자료의 Outlier 검정

일련의 수문자료계열에서 자료의 일반적인 균형분포의 상태에서 훨씬 위나 또는 아래로 격리되는 Data Point를 나타내는 Outlier

의 유발로 인해 부적절한 통계학적 매개변수의 유도로서 설계수문량의 제시에 불확실성을 초래하게 된다. 이에 본 분석에서는 Grubbs-Beck에 의한 검정법을 사용하여 Outlier의 유무를 검정하였다.

본 분석에 적용된 유역의 수문자료에 대한 검정결과를 보면 <Table 4> 및 표본 예로 정선 및 왜관유역의 결과를 <Fig. 1> 및 <Fig. 2>에 도시하였으며, <Fig. 1> 및 <Fig. 2>에서 보는 바와 같이 High Outlier와 Low Outlier가 없으며 기타의 전 유역에 있어서도 Outlier가 없음이 확인되었다.

이상의 결과에서 보면 독립성, 동질성 및

&lt;Table 4&gt; Grubbs and Beck test for detection of outliers

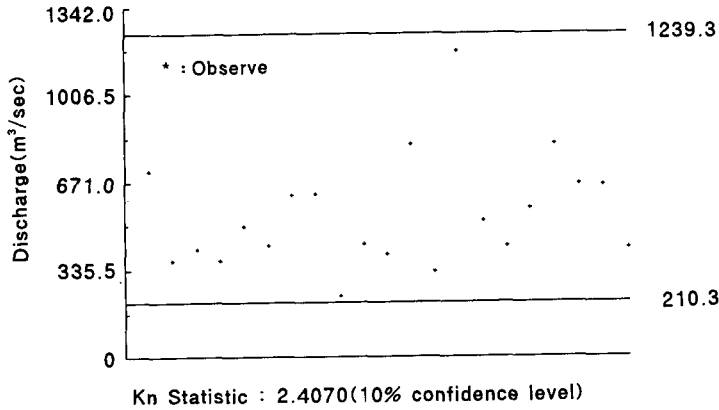
River	Station	Grubbs and Beck test			Test
		$K_N$	$X_H$	$X_L$	
Han	Heongsung	2.5180	2,809.5	106.2	○
	Jungsun	2.4070	1,239.3	210.3	○
	Yeoju	2.5180	14,720.3	1,681.7	○
Nag Dong	Dongchon	2.6810	4,496.1	105.7	○
	Waegwan	2.5490	10,095.4	1,185.8	○
	Jindong	2.5340	13,209.6	2,289.0	○

$K_N$ : G-B statistic tabulated for various sample size and 10% significance level

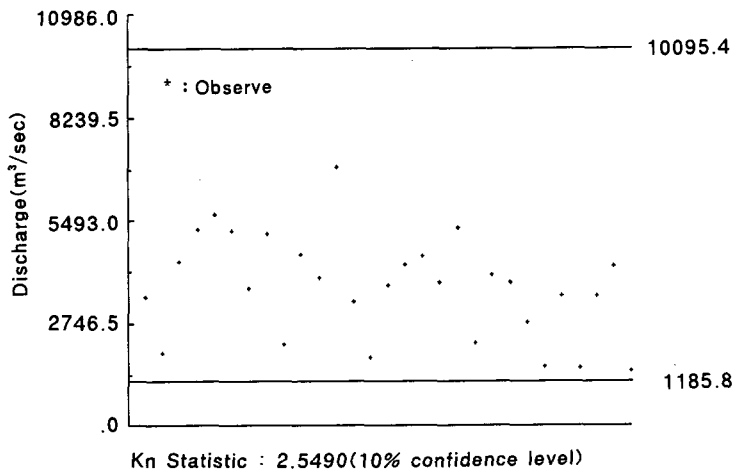
$X_H$ : Critical quantity of high outliers

$X_L$ : Critical quantity of low outliers

○: Accept at a level of 10% significance level



<Fig. 1> G-B test for detection of high and low outliers at Jungsun watershed of Han river



<Fig. 2> G-B test for detection of high and low outliers at Waegwan watershed of NagDong river

Outlier 검정 결과 대상구역의 연최고치 자료에 관한 독립성과 동질성이 인정됨과 동시에 연최고치 자료의 균형분포에서 상, 하로 격리되는 Outlier가 없음이 검정됨으로써 수문자료의 분석 타당성이 인정되었다. 이에 본 분석에서는 상기의 6개 유역을 대상으로 매개변수 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의한 재현기간별 홍수량을 유도하고 이들을 실측치의 플로팅 포지션법들에 의해 구해진 재현기간별 홍수량과

비교 분석하기로 한다.

#### 4. 매개변수 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의한 사용수문 자료의 기본통계치 분석 및 매개변수 산정

매개변수 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의한 평균치, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수의 기본통계치와 척도 매개

<Table 5> Parameters and basic statistic calculated by Generalized Gamma Distribution using Methods of Moments, Maximum Likelihood, Sundry Averages Method and Method of Mixed Moments

Method	River	Station	$\alpha$	$\lambda$	s	Mean	Standard deviation	Coefficient of skewness	Coefficient of variation
MM	Han	Heongsung	0.67E+07	58.30016	0.18453	674.407	18.979	2.444	0.769
		Jungsun	0.19E-29	658.496	-0.10426	545.333	212.927	1.286	0.390
		Yeoju	0.12822	22.29782	0.47776	5,443.148	2,443.469	1.155	0.449
	Nag Dong	Dongchon	0.0028	2.27792	0.94272	865.725	608.639	1.447	0.703
		Waegwan	0.21E-03	0.71446	3.68632	3,736.689	1,374.347	0.052	0.368
		Jindong	0.53E-03	4.86981	1.37432	5,809.893	1,922.307	0.543	0.331
ML	Han	Heongsung	0.32E-22	186.58315	-0.11487	671.758	490.580	2.787	0.730
		Jungsun	0.39E-05	27.74307	-0.53271	545.476	210.666	1.511	0.386
		Yeoju	0.58E-14	136.83742	-0.20258	5,446.505	2,458.851	1.584	0.451
	Nag Dong	Dongchon	714.99669	31.19924	0.26123	867.232	631.346	2.183	0.728
		Waegwan	0.22E-03	0.80755	3.50586	3,743.297	1,338.865	0.069	0.358
		Jindong	0.58E-03	5.26671	1.34448	5,809.930	1,888.331	0.542	0.325
SAM	Han	Heongsung	0.24E-16	111.93205	-0.14741	674.407	501.449	2.924	0.744
		Jungsun	0.16E-05	32.82498	-0.48953	545.333	209.688	1.477	0.385
		Yeoju	0.57E-17	196.77083	-0.16924	5,443.148	2,442.386	1.549	0.449
	Nag Dong	Dongchon	13349.758	40.55827	0.23014	865.725	630.803	2.226	0.729
		Waegwan	0.48E-03	2.75779	1.61570	3,736.689	1,408.551	0.539	0.377
		Jindong	0.79E-03	6.45850	1.20637	5,809.893	1,897.026	0.587	0.327
MMM	Han	Heongsung	0.95E-10	47.14955	-0.22913	674.407	509.277	3.177	0.755
		Jungsun	0.12E-08	82.0610	-0.30696	545.333	207.795	1.359	0.381
		Yeoju	0.19E+21	451.73533	0.11068	5,445.148	2,397.792	1.339	0.441
	Nag Dong	Dongchon	0.05519	7.53284	0.53624	865.725	600.983	1.770	0.694
		Waegwan	0.25E-03	1.14985	2.76897	3,736.689	1,350.443	0.214	0.361
		Jindong	0.57E-03	5.19871	1.35392	5,809.893	1,887.668	0.539	0.325

MM : Method of Moments

ML : Maximum Likelihood

SAM : Sundry Averages Method

MMM : Method of Mixed Moments



변수,  $\alpha$  형상/역매개변수(Power parameter),  $\lambda$  역매개변수(형상매개변수  $d = s \lambda$ ),  $s$ 를 각 유역별로 구한 결과는 <Table 5>와 같다.

**5. 매개변수 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의해 유도된 설계홍수량과 실측치의 플로팅 포지션법별 설계홍수량의 비교**

매개변수 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의해 유도된 각각의 재현기간별 홍수량을 2개 수계의 유역별로 구한 결과는 <Table 6>과 같고 매개변수 유도 방법별 Generalized Gamma 분포 모형의 적

합도 검정을 위하여 매개변수 유도 방법별로 Generalized Gamma 분포 모형에 의해 유도된 각각의 설계홍수량을 플로팅 포지션법에서 Weibull, Hazen, Chegodayev 및 Cunnane 공식에 의한 비초과확률인 다음의 식 (20), 식 (21), 식 (22) 및 식 (23)에 의해 Gamma 확률지에 도시하였다.

$$P = 1 - m / (N + 1) \tag{20}$$

$$P = 1 - (2m - 1) / 2N \tag{21}$$

$$P = 1 - (m - 0.3) / (N + 0.4) \tag{22}$$

$$P = 1 - (m - 0.4 / N + 0.2) \tag{23}$$

여기에서 N은 표본크기이며 m은 가장 큰값

<Table 6> Comparison of design floods calculated by different methods for estimation of parameters

River	Station	Methods for estimation of parameters	Return period(yrs)					
			5	10	20	50	100	200
Han	Heongsung	MM	963.81	1,299.65	1,656.66	2,167.47	2,586.23	3,034.71
		ML	932.28	1,243.48	1,580.92	2,076.46	2,494.33	2,953.75
		SAM	934.99	1,252.25	1,598.72	2,111.54	2,547.20	3,029.17
		MMM	930.04	1,249.79	1,603.0	2,132.91	2,589.02	3,099.19
	Jungsun	MM	695.84	822.13	944.15	1,104.06	1,226.03	1,349.95
		ML	688.0	814.46	939.75	1,108.65	1,241.01	1,378.51
		SAM	688.09	813.76	937.83	1,104.46	1,234.57	1,369.38
		MMM	690.07	813.76	934.32	1,093.93	1,216.91	1,342.97
	Yeoju	MM	7223.37	8,667.62	10,035.02	11,784.19	13,085.44	14,378.65
		ML	7087.68	8,584.61	10,074.03	12,084.94	13,660.81	15,297.29
		SAM	7084.31	8,568.70	10,040.64	12,020.64	13,566.85	15,167.86
		MMM	7123.26	8,562.17	9,957.73	11,790.36	13,188.09	14,606.02
Nag Dong	Dongchon	MM	1289.78	1,675.78	2,046.06	2,521.41	2,874.08	3,222.66
		ML	1238.66	1,646.30	2,071.17	2,666.83	3,146.25	3,652.19
		SAM	1233.66	1,640.65	2,066.37	2,665.70	3,149.98	3,662.77
		MMM	1252.33	1,637.99	2,024.43	2,543.98	2,946.19	3,357.47
	Waegwan	MM	4936.89	5,531.54	6,003.72	6,514.99	6,844.43	7,138.34
		ML	4806.53	5,492.66	5,961.46	6,472.36	6,803.31	7,099.67
		SAM	4885.03	5,620.41	6,259.25	7,010.26	7,528.73	8,015.12
		MMM	4889.75	5,520.42	6,039.07	6,618.51	7,001.62	7,349.74
	Jindong	MM	7366.51	8,369.82	9,247.37	10,286.9	11,009.84	11,692.05
		ML	7338.13	8,323.35	9,185.60	10,207.75	10,919.11	11,590.81
		SAM	7334.12	8,335.61	9,218.22	10,271.68	11,009.27	11,708.98
		MMM	7338.28	8,322.35	9,183.18	10,203.19	10,912.76	11,582.57

부터 나열한 순서이다.

이상의 4개 플로팅 포지션법과 매개변수 유도 방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량의 비교 분석을 위해 상대평균오차<sup>39)</sup>(Relative Mean Error,

$$RME = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N \left( \frac{Q_o - Q_c}{Q_o} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (24)$$

$$RAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_o - Q_c}{Q_o} \right| \quad (25)$$

RME)와 상대절대오차<sup>39)</sup> (Relative Absolute Error, RAE)를 다음의 식 (24) 와 식 (25)에 의해 대상유역별로 구한 결과는 <Table 7>과 같다.

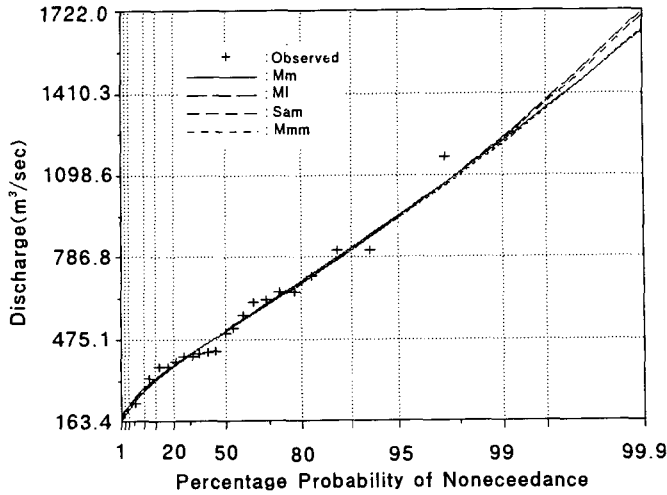
이상의 결과에서 보면 일반적으로 Generalized Gamma 분포 모형에 사용된 4개 플로

팅 포지션법 중에서 Hazen 플로팅 포지션 법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량의 상대평균 오차 및 상대절대오차가 Weibull, Chagodayev 및 Cunnane 플로팅 포지션법에 의한 것 보다 일부를 제외하고 전반적으로 작게 나타났다. Hazen 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량과 매개변수 유도 방법별 Generalized Gamma 분포 모형을 표본 예로 한강수계의 정선유역과 낙동강수계의 왜관유역에 대해 Gamma 확률지에 도시한 결과는 각각 <Fig. 3> 및 <Fig. 4>와 같다.

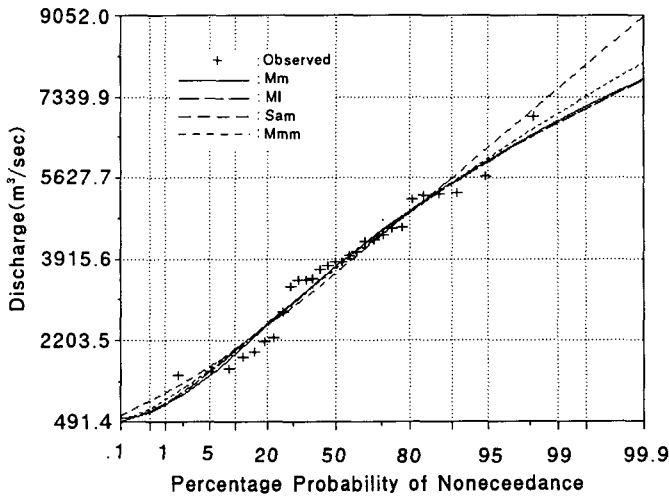
이상의 <Table 7>과 <Fig. 3> 및 <Fig. 4>의 결과를 보면 쉐드리 평균법에 따른 Generalized Gamma 분포 모형에 의한 설계홍수량의 상대평균오차와 상대절대오차가 타 매개변수 유도 방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의한 것 보다 작게 나타났고 기타의 대상유역들도 전반적으로 이와 같은 결과를 보여 주었다.

<Table 7> Relative Mean Error and Relative Absolute Error calculated by Generalized Gamma Distribution model using different plotting position formulas and different methods for parameters in selected watersheds

Plotting position formula	Methods for derivation of parameters	Han						Nag Dong					
		Heongsung		Jungsun		Yeoju		Dongchon		Waegwan		Jindong	
		RME	RAE	RME	RAE	RME	RAE	RME	RAE	RME	RAE	RME	RAE
Weibull	MM	2.95	11.98	1.51	5.44	1.51	6.50	1.84	9.14	1.85	6.93	1.16	4.44
	ML	3.13	12.39	1.50	5.44	1.50	6.29	1.48	7.81	1.88	7.09	1.23	4.63
	SAM	3.09	12.39	1.50	5.43	1.50	6.40	1.55	8.21	1.97	8.01	1.26	4.76
	MMM	3.07	12.37	1.57	5.44	1.57	6.74	1.52	8.19	1.89	7.26	1.21	4.60
Hazen	MM	3.15	12.87	1.64	4.86	1.64	7.04	2.28	10.21	1.82	6.87	0.81	3.33
	ML	2.73	11.14	1.37	4.83	1.37	6.01	1.43	7.49	1.83	6.91	0.85	3.57
	SAM	2.74	10.98	1.34	4.67	1.34	6.01	1.55	8.16	1.71	6.58	0.79	3.28
	MMM	2.66	10.83	1.45	4.93	1.45	6.36	1.60	8.42	1.80	7.06	0.83	3.49
Chegodayev	MM	3.05	12.50	1.51	5.24	1.51	6.46	2.05	9.75	1.73	6.68	0.93	3.78
	ML	2.86	11.62	1.37	5.20	1.37	5.78	1.44	7.67	1.79	6.85	0.99	3.97
	SAM	2.84	11.53	1.39	5.31	1.39	5.82	1.44	7.60	1.83	7.76	1.01	4.08
	MMM	2.88	11.83	1.47	5.37	1.47	6.35	1.56	8.22	1.78	7.15	0.97	4.06
Cunnane	MM	3.07	12.60	1.54	5.06	1.54	6.57	2.20	10.19	1.72	6.62	0.87	3.59
	ML	2.82	11.63	1.38	5.08	1.38	5.95	1.51	7.98	1.77	6.74	0.91	3.76
	SAM	2.74	11.24	1.35	5.41	1.35	5.85	1.52	8.01	1.82	7.76	0.95	3.91
	MMM	2.79	11.45	1.44	5.13	1.44	6.20	1.59	8.41	1.78	7.13	0.92	3.77



<Fig. 3> Comparison of design floods estimated using different methods for the parameters with Hazen plotting position at Jungsun watershed of Han river



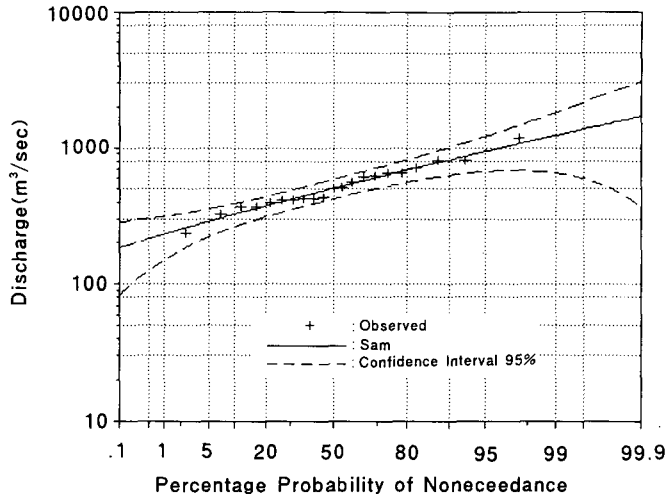
<Fig. 4> Comparison of design floods estimated using different methods for the parameters with Hazen plotting at Waegwan watershed of Nag Dong river

**6. Generalized Gamma 분포 모형의 적정 매개변수 유도방법에 의한 설계홍수량의 신뢰한계 검정**

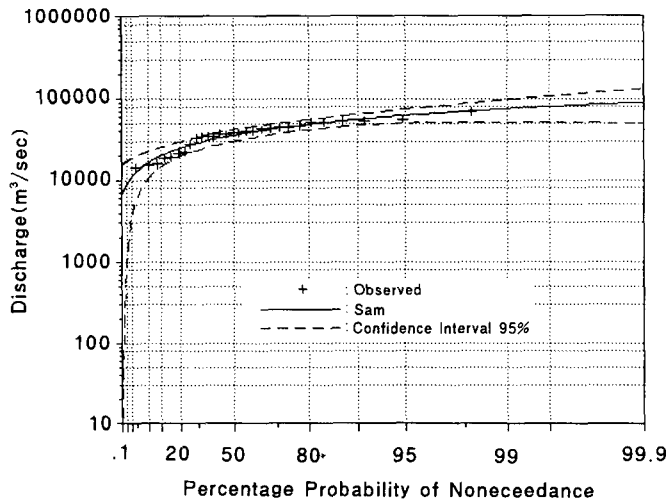
설계홍수량의 신뢰도 검정을 위해 본 분석에서는 적정 매개변수 유도방법으로 판정된

센드리 평균법에 따른 Generalized Gamma 분포 모형의 빈도해석에 의해 구해진재현기간별 홍수량의 95% 신뢰한계를 검정하고자 한다.

Generalized Gamma 분포 모형에 있어서 센드리 평균법에 의해 매개변수를 유도하고 이



<Fig. 5> Design Floods fitted by Generalized Gamma distribution using Sundry Averages Method with 95% confidence interval at Jungsun Watershed of Han river.



<Fig. 6> Design Floods fitted by Generalized Gamma distribution using Sundry Averages Method with 95% confidence interval at Waegwan watershed of Nag Dong river.

들에 의해 유도된 설계홍수량을 Gamma 확률 지에 도시하고 95%의 확률로서 설계홍수량을 포함할 수 있는 95%의 신뢰구간을 구하였으며 이에 관한 표본 예로 한강수계의 정선유역과 낙동강수계의 왜관유역에 대해 도시한 결과는 각각 <Fig. 5> 및 <Fig. 6>과 같다.

<Fig. 5> 및 <Fig. 6>의 결과에서 보는 바와 같이 Generalized Gamma 분포 모형에 있어서 썬드리 평균법에 의해 구해진 설계홍수량이 모두 95% 신뢰구간내에 포함됨을 보여주고 있으며 기타의 적용 유역에서도 같은 결과를 나타내었다.

## IV. 결론

본 연구는 한강 및 낙동강 수계의 6개 유역에 대한 연최고치 자료를 중심으로 독립성, 동질성 검정 및 Outlier 검정을 수행함으로써 자료분석 타당성 여부를 판정하고 대상 유역별 수문자료의 기본통계치인 평균치, 표준편차, 왜곡도계수, 변동계수를 구한 것을 근간으로하여 매개변수 유도방법별로 Generalized Gamma 분포 모형들의 매개변수를 구하였다. Generalized Gamma 분포 모형에 있어서 매개변수 유도방법과 플로팅 포지션 방법을 서로 달리하여 빈도별 설계홍수량을 유도하였고 플로팅 포지션법에 따른 Generalized Gamma 분포 모형의 적합도 판정을 위해 상대평균오차와 상대절대오차를 비교 분석하였으며 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Generalized Gamma 분포모형에 있어서 매개변수 유도방법과 플로팅 포지션법을 달리한 빈도별 설계홍수량을 대상 유역별로 구하였다.

2. Generalized Gamma 분포 모형에 있어서 매개변수 유도방법과 플로팅 포지션법을 달리하여 구한 설계홍수량의 상대평균오차와 상대절대오차를 비교한 결과 썬드리 평균법과 Ha-zen 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량이 타 매개변수 유도방법과 타 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량 보다 일반적으로 적정한 것으로 나타났다.

3. Generalized Gamma 분포 모형에 있어서 적정 매개변수 유도방법으로 판정된 썬드리 평균법에 의해 유도된 설계홍수량의 95% 신뢰한계를 검정한 결과 그 신뢰도가 인정 되었다.

## 참고문헌

1. 건설부, 1962 ~ 1978. 한국수문조사서 (우량,수위편).
2. 건설부, 1964. 한국수문조사년보.
3. 건설부, 1967 ~ 1969. 한국의 홍수.
4. 건설부, 1974. 한국하천조사서.
5. 건설부, 1979 ~ 1990. 한국수문조사년보.
6. 건설부, 1983. 홍수량측정조사보고서.
7. 건설부, 1991. 홍수수문자료집.
8. 윤용남, 1989. 공업수문학, 청문각: pp. 420~494.
9. 이순탁, 변규연, 1973. 낙동강유역의 홍수빈도분석에 대하여, 대한토목학회지 21(3): pp.107~111.
10. 이순탁, 조규상, 1974. 연유출량의 적정확률분포형에 관한 연구, 한국수문학회지 7(2): pp.107~111.
11. 이순혁, 박명근, 1983. 적정홍수빈도와 위험도분석에 관한 연구, 한국농공학회지 25(3) : pp.79~86.
12. 이순혁, 박명근, 1985. 수리구조물의 파괴위험도와 설계홍수량에 관한 수문학적 연구(I), 한국농공학회지 27(2): pp23~37.
13. 이순혁, 박명근, 1985. SMEMAX 변환에 의한 홍수빈도분석에 관한 연구, 충북대 논문집 31: pp.165~175.
14. 이순혁, 박명근, 1986. 수리구조물의 파괴위험도와 설계홍수량에 관한 수문학적 연구(II), 한국농공학회지 (28)3: pp.69~78.
15. 이순혁 외, 1984. 응용수문학, 향문사: pp.66~301.
16. 이순혁, 홍성표, 박명근, 1988. Low Outliers 를 고려한 홍수빈도분석에 관한 연구, 한국농공학회지 (30)4: pp.62~70.

17. 한국건설기술연구원, 1994. 1994년도 수자원관리기법개발연구조사 자료집-수위유량관계곡선
18. 한국건설기술연구원, 1996. 1996년 7월 임진강 유역 대홍수.
19. Aitchison, J. and J.A.C. Brown, 1957. The Log normal Distribution, Cambridge University Press: pp.1~176.
20. Amoroso, L. 1925. Ricerche intorno alla curva dei redditi, Annali di Matematica, Serie IV, Tomo II: pp.123~344
21. Beard, L.R., 1974. Flood Flow Frequency Techniques, Technical Report, University of Texas at Austin, Texas.
22. Benjamin, J.R. and C.A. Cornell, 1970. Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill, New York: pp.370~500.
23. Bethalamy, Nedavia, 1977. Flood Analysis by SMEMAX Transformation, Journal of the Hydraulics division, HY1: pp.69~78.
24. Bobee B. and F. Ashkar, 1991. The Gamma Family and Derived Distributions applied in Hydrology, Water Resources Publications.
25. Box, G.E.P. and D.R. Cox, 1964. Analysis of Transformation, Journal of the Royal Statistical Society B26: pp.211~252.
26. Cicioni, G., Giuliano, G. and F.M. Spaziani, 1973. Best fitting of Probability Functions to a Set of Data for Flood Studies, Proc. of the Second International Symposium on Hydrology of Floods and Droughts, Edited by W.R.P. Fort Collins, Colorado: pp.304~314.
27. Cross, W.P., 1946. Floods in Ohio, Magnitude and Frequency, Bull. 7, The Ohio Water Resources Board, Columbus, Ohio.
28. Foster, H.A., 1924. Theoretical Frequency Curves and Their Application to Engineering Problems, Trans. Am. Soc. Civil Engrs. 87: pp.142~173.
29. Fuller, W.E., 1914. Flood Flows, Trans. A.S.C.E. 77: pp. 564 ~617.
30. Hazen, A., Flood Flows, 1930. A Study of Frequencies and Magnitudes, (John Wiley & Sons Inc.) New York.
31. Gumbel, E.J., 1914. Probability Interpretation of the observed Return Period of Flood, Trans. Ame. Geophysics Union 21: pp.836~850.
32. Kite, G.W., 1977. Frequency and Risk Analysis in Hydrology, Water Resources Publication: pp.69~127.
33. Klemes, V., 1989. Comment on "The generalized method of moments as applied to the generalized gamma distribution", by Ashkar et al. (1988). Stochastic Hydrology and Hydraulics.
34. Kritsky, S.N. and M.F. Menkel, 1969. On principles of estimation methods of maximum discharge. Floods and Their Computation. I.A.H.S, no 84
35. Lee, H.L. and L.W. Mays, 1983.

- Improved Risk and Reliability Model for Hydraulic Structures, W.R.R. 19(16):pp.1415~1422.
36. Lienhard, J.H. and P.L. Meyer, 1967. A physical basis for the generalized gamma distribution, Quarterly of Applied Mathematics, 25: pp.330~334
  37. Rao, A.R. and P.S. Arora, 1987. An Empirical Study of Probability Distribution of Annual Maximum Floods, Proc. of the Int. Symposium on Flood Frequency and Risk Analysis in Hydrologic Frequency Modelling edited by Singh, V.P.: pp.449~466.
  38. Reich, B.M. and D.J. Jackson, 1971. Flood Prediction Methods for Pennsylvania Highway Crossings, Final Report to Penn. Dot, The Civil Engineering Dept., The Pennsylvania State University: pp.1~197.
  39. Singh, V.P. and K. Singh, 1989. Parameter Estimation for Log-Pearson Type 3 Distribution by POME, Journal of Hydraulic Engineering 114(1): pp.112~123.
  40. Tefaruk Haktanir, 1992 Comparison of Various Flood Frequency Distributions using Annual Flood Peaks Data of Rivers in Anatolia, Journal of Hydrology 136:pp.1~31.
  41. U.S. Water Resources Council, Hydrology Committee, A Uniform Technique for Determining, Flood Flow Frequency, Bill. 15, Washington, D.C.
  42. U.S. Water Resources Council, Hydrology Committee, Guidelines for Determining, Flood Flow Frequency, Bill. 17, Washington, D.C.
  43. Yevjevich, V., 1972. Probability and Statistics in Hydrology, W.R.P., Colorado: pp.118~167.