

Generalized Gamma 분포형에 의한 매개변수 유도 방법별 설계홍수량의 유도

이순혁*·맹승진**·정연수***·류경식***

1. 서 론

우리나라는 매년 6, 7, 8월에 태풍동반 및 지역성 저기압의 생성에 따른 집중호우로 말미암아 막대한 인명과 재산상의 피해를 연례행사 처럼 겪고 있는 실정이다.

이와 같은 홍수로 부터 야기되는 각종 수리구조물의 범람과 붕괴에 의한 위험도를 제거하고 안정성 있는 농업용수공급을 위해서는 각종 수리구조물의 설계를 위한 적정설계홍수량의 제시가 무엇보다도 중요하다.

설계홍수량의 추정은 크게 두 가지 방법으로 분류 할 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 확률밀도함수에 의해 적절한 설계홍수량을 추정하는 방법이다. 현재 국내·외에서는 표본 자료에 대한 설계홍수량의 추정에 있어서 상기의 방법 중 후자의 방법에 대한 경향이 우세한 추세이다.

따라서 본 연구에서는 홍수유출빈도분석을 위해 홍수자료의 동질성, 독립성 및 Outlier 검정을 수행하고 Generalized Gamma 확률분포 모형에 관한 특성의 고찰과 함께 매개변수 유도방법과 프 로팅 포지전법을 달리했을 때의 빈도별 설계홍수량의 유도 및 비교 분석을 수행하므로써 적절한 매개변수 유도방법과 설계홍수량을 제시하고자 하며 이로서 우리나라 수자원개발 및 수방대책을 수립하는데 필수적인 설계기준을 제공하고자 하는데 그 역점을 두고자 한다.

2. 기본수문자료와 분석방법

1. 기본수문자료와 유역특성

본 분석에 사용된 대상유역은 한강수계의 황성, 정선, 여주, 낙동강수계의 동춘, 왜관 및 진동유역을 선정 하였으며 설계홍수량 유도를 위해 각 유역의 연최고치 자료를 사용하였고, 각 유역에 대한 유역 특성인 유역면적은 445.2 ~ 20311.3 km²의 범위를 나타내고 있고 주하천장은 49.1 ~ 432.1 km에 이르며 평균폭은 9.07 ~ 47.01 km 이고 형상계수는 0.092 ~ 0.193의 범위를 나타내고 있다.

2. 분석방법

가. 대상유역별 연최고치자료의 기본통계치 분석

매개변수 유도 방법별 Generalized Gamma 분포 모형을 사용하여 설계홍수량을 유도하는데 기본적으로 필요한 통계치로서 평균치, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수를 각 유역별로 구한다.

* 충북대학교 농과대학장

** 충북대학교 대학원 박사과정

*** 충북대학교 대학원 석사과정

나. 연최고치자료의 독립성 및 동질성 검정

대상유역별 연최고치자료의 독립성 및 동질성 검정을 위해 각각 Wald-Wolfowitz(W-W) Test 와 Mann-Whitney(M-W) Test에 의해 각 유역별로 실시한다.

다. 연최고치자료의 Outlier 검정

연최고치자료의 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 기본통계치로서 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 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형의 적합도 판정을 위해 상대평균오차 및 상대절대오차를 각 유역별로 비교 분석한다.

바. 적정 매개변수 유도 방법에 따른 Generalized Gamma 분포 모형에 의해 유도된 설계홍수량의 신뢰도 분석

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

3. 결과 및 고찰

1. 사용수문자료의 기본통계치 분석

황성, 정선, 여주, 동촌, 왜관 및 진동유역에 대한 평균치, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수의 기본통계치를 각 유역별로 구한 결과, 전 유역에 걸쳐 평균치와 표준편차는 각각 545.3 ~ 5809.9 및 212.9 ~ 2443.5의 범위를 그리고 왜곡도계수와 변동계수는 각각 0.052 ~ 2.444 및 0.331 ~ 0.770의 범위를 나타내었다.

Table-1 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. 연최고치자료의 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-1과 같다.

3. 연최고치자료의 Outlier 검정

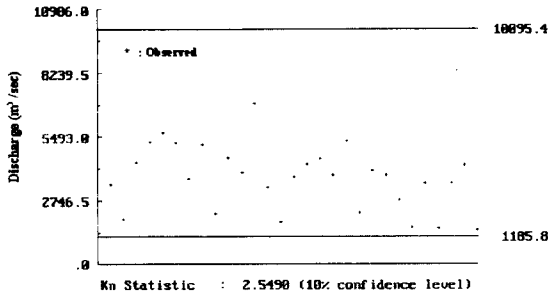


Fig. 1. G-B test for detection of high and low outliers at Waegwan watershed of Nag-Dong river.

일련의 수문자료계열에서 자료의 일반적 인 균형분포의 상태에서 훨씬 위나 또는 아래로 격리되는 Data Point를 나타내는 Outlier의 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 검정결과로서 표본 예로 왜관유역의 결과를 Fig. 1에 도시하였으며, 그림에서보는 바와 같이 High Outlier와 Low Outlier가 없으며 기타의 전 유역에 있어서도 Outlier가 없음이 확인되었다.

Table-2. 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	α	λ	s	Mean	Standard deviation	Coefficient of skewness	Coefficient of variation
MM	Han	Heongsung	0.67E+07	58.30016	0.18453	674.407	518.979	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	5443.148	2443.469	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	3736.689	1374.347	0.052	0.368
		Jindong	0.53E-03	4.86981	1.37432	5809.893	1922.307	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	5446.505	2458.851	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	3743.297	1338.865	0.069	0.358
		Jindong	0.58E-03	5.26671	1.34448	5809.930	1888.331	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	5443.148	2442.386	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	3736.689	1408.551	0.539	0.377
		Jindong	0.79E-03	6.45850	1.20637	5809.893	1897.026	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	5445.148	2397.792	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	3736.689	1350.443	0.214	0.361
		Jindong	0.57E-03	5.19871	1.35392	5809.893	1887.668	0.539	0.325

MM : Method of Moments
 ML : Maximum Likelihood
 SAM : Sundry Averages Method
 MMM : Method of Mixed Moments

이상의 결과에서 보건데 독립성, 동질성 및 Outlier 검정 결과 대상유역의 연최고치 자료에 관한 독립성과 동질성이 인정됨과 동시에 연최고치 자료의 균형분포에서 상, 하로 격리되는 Outlier가 없음을 검정되므로서 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 사용수문자료의 기본통계치 분석 및 매개변수 산정

매개변수 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의한 평균치, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수의 기본통계치와 척도매개변수, α 와 형상매개변수/역매개변수(Power parameter)인 λ , 역매개변수(형상매개변수 $d=s\lambda$)인 s 를 각 유역별로 구한 결과는 Table-2와 같다.

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

Table-3 Comparison of design floods calculated by different methods for derivation of parameters.

River	Station	Methods for derivation of parameters	Return period(yrs)					
			5	10	20	50	100	200
Han	Heongsung	MM	963.81	1299.65	1656.66	2167.47	2586.23	3034.71
		ML	932.28	1243.48	1580.92	2076.46	2494.33	2953.75
		SAM	934.99	1252.25	1598.72	2111.54	2547.20	3029.17
		MMM	930.04	1249.79	1603.0	2132.91	2589.02	3099.19
	Jungsun	MM	695.84	822.13	944.15	1104.06	1226.03	1349.95
		ML	688.0	814.46	939.75	1108.65	1241.01	1378.51
		SAM	688.09	813.76	937.83	1104.46	1234.57	1369.38
		MMM	690.07	813.76	934.32	1093.93	1216.91	1342.97
	Yeoju	MM	7223.37	8667.62	10035.02	11784.19	13085.44	14378.65
		ML	7087.68	8584.61	10074.03	12084.94	13660.81	15297.29
		SAM	7084.31	8568.70	10040.64	12020.64	13566.85	15167.86
		MMM	7123.26	8562.17	9957.73	11790.36	13188.09	14606.02
Nag Dong	Dongchon	MM	1289.78	1675.78	2046.06	2521.41	2874.08	3222.66
		ML	1238.66	1646.30	2071.17	2666.83	3146.25	3652.19
		SAM	1233.66	1640.65	2066.37	2665.70	3149.98	3662.77
		MMM	1252.33	1637.99	2024.43	2543.98	2946.19	3357.47
	Waegwan	MM	4936.89	5531.54	6003.72	6514.99	6844.43	7138.34
		ML	4806.53	5492.66	5961.46	6472.36	6803.31	7099.67
		SAM	4885.03	5620.41	6259.25	7010.26	7528.73	8015.12
		MMM	4889.75	5520.42	6039.07	6618.51	7001.62	7349.74
	Jindong	MM	7366.51	8369.82	9247.37	10286.9	11009.84	11692.05
		ML	7338.13	8323.35	9185.60	10207.75	10919.11	11590.81
		SAM	7334.12	8335.61	9218.22	10271.68	11009.27	11708.98
		MMM	7338.28	8322.35	9183.18	10203.19	10912.76	11582.57

매개변수 유도방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의해 유도된 각각의 재현기간별 홍수량을

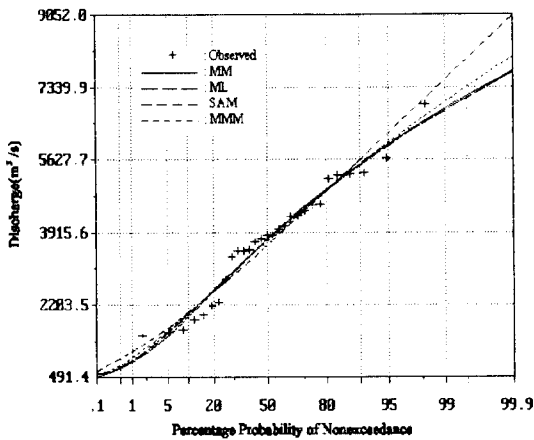


Fig. 2. Comparison of design floods estimated using different methods for the parameters with Hazen plotting position at Waegwan watershed of NagDong river

플로팅 포지션법에 의한 것 보다 전반적으로 작게 나타났다. Hazen 플로팅 포지션법에 의한 설계 홍수량과 매개변수 유도 방법별 Generalized Gamma 분포 모형의 결과를 표본 예로 낙동강수계의 왜관유역에 대해 Gamma 확률지에 도시한 결과는 Fig. 2와 같다.

2개 수계의 유역별로 구한 결과는 Table-3과 같고 매개변수 유도 방법별 Generalized Gamma 분포 모형의 적합도 검정을 위하여 매개변수 유도 방법별로 Generalized Gamma 분포 모형에 의해 유도된 각각의 설계홍수량을 플로팅 포지션법에서 Weibull, Hazen, Chegodayev 및 Cunnane 공식에 의해 구한 결과를 Gamma 확률지에 도시하였다.

상기의 4개 플로팅 포지션법과 매개변수 유도 방법별 Generalized Gamma 분포 모형에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량의 비교 분석을 위해 상대평균오차(Relative Mean Error, RME) 및 상대절대오차(Relative Absolute Error, RAE)를 대상유역별로 구한 결과는 Table-4와 같다.

이상의 결과에서 보건대 일반적으로 Generalized Gamma 분포 모형에 사용된 4개 플로팅 포지션법 중에서 Hazen 플로팅 포지션법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량의 상대

평균오차가 Weibull, Chagodayev 및 Cunnane

Table-4 Relative Mean Errors calculated by Generalized Gamma Distribution model using different plotting position formulas and different methods for parameters in the applied watersheds

Plotting position formula	Methods for derivation of parameters	Han						Nag Dong					
		Heong-sung		Jungsun		Yeju		Dongchon		Waegwan		Jindong	
		RME	RAE	RME	RAE	RME	RAE	RME	RAE	RME	RAE	RME	RAE
Weibull	MM	2.95	11.98	1.58	5.44	1.51	6.50	1.84	9.14	1.85	6.93	1.16	4.44
	ML	3.13	12.39	1.71	5.44	1.50	6.29	1.48	7.81	1.88	7.09	1.23	4.63
	SAM	3.09	12.39	1.70	5.43	1.50	6.40	1.55	8.21	1.97	8.01	1.26	4.76
	MMM	3.07	12.37	1.70	5.44	1.57	6.74	1.52	8.19	1.89	7.26	1.21	4.60
Hazen	MM	3.15	12.87	1.31	4.86	1.64	7.04	2.28	10.21	1.82	6.87	0.81	3.33
	ML	2.73	11.14	1.26	4.83	1.37	6.01	1.43	7.49	1.83	6.91	0.85	3.57
	SAM	2.74	10.98	1.21	4.67	1.34	6.01	1.55	8.16	1.71	6.58	0.79	3.28
	MMM	2.66	10.83	1.30	4.93	1.45	6.36	1.60	8.42	1.80	7.06	0.83	3.49
Chego-dayev	MM	3.05	12.50	1.42	5.24	1.51	6.46	2.05	9.75	1.73	6.68	0.93	3.78
	ML	2.86	11.62	1.45	5.20	1.37	5.78	1.44	7.67	1.79	6.85	0.99	3.97
	SAM	2.84	11.53	1.49	5.31	1.39	5.82	1.44	7.60	1.83	7.76	1.01	4.08
	MMM	2.88	11.83	1.49	5.37	1.47	6.35	1.56	8.22	1.78	7.15	0.97	4.06
Cunn-ane	MM	3.07	12.60	1.36	5.06	1.54	6.57	2.20	10.19	1.72	6.62	0.87	3.59
	ML	2.82	11.63	1.35	5.08	1.38	5.95	1.51	7.98	1.77	6.74	0.91	3.76
	SAM	2.74	11.24	1.51	5.41	1.35	5.85	1.52	8.01	1.82	7.76	0.95	3.91
	MMM	2.79	11.45	1.38	5.13	1.44	6.20	1.59	8.41	1.78	7.13	0.92	3.77

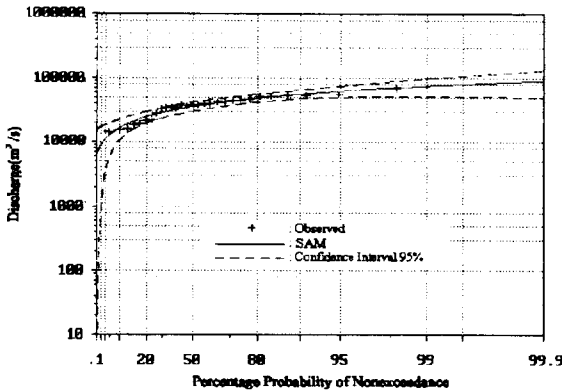


Fig. 3. Design Floods fitted by Generalized Gamma distribution using Sundry Averages Method with 95% confidence interval at Waegwan watershed of NagDong river.

정된 썬드리 평균법에 따른 Generalized Gamma 분포 모형의 빈도해석에 의해 구해진 재현기간 별 홍수량의 95% 신뢰한계를 검정하고자 한다.

Generalized Gamma 분포 모형에 있어서 썬드리 평균법에 의해 매개변수를 유도하고 이들에 의해 유도된 설계홍수량을 Gamma 확률지에 도시하고 95%의 확률로서 설계홍수량을 포함할 수 있는 95%의 신뢰구간을 구하였으며 이에 관한 표본 예로 낙동강수계의 왜관유역에 대해 도시한 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3의 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 낙동강수계의 6개 유역에 대한 연최고치자료를 중심으로 독립성, 동질성 검정 및 Outlier 검정을 수행하므로써 자료분석 타당성 여부를 판정하고 대상 유역별 수문자료의 기본통계치인 평균치, 표준편차, 왜곡도계수, 변동계수를 구한 것을 근간으로하여 매개변수 유도 방법별로 Generalized Gamma 분포 모형들의 매개변수를 구하였다. Generalized Gamma 분포 모형에 있어서 매개변수 유도방법과 플로팅 포지션 방법을 서로 달리하여 빈도별 설계홍수량을 유도하였고 이에 따른 Generalized Gamma 분포 모형의 적합도 판정을 위해 상대평균오차 및 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 상대평균오차 및 상대절대오차를 비교한 결과 썬드리 평균법과 Hazen 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.

이상의 Table-4와 Fig. 2의 결과를 보건데 Hazen 플로팅 포지션법과 매개변수 유도법에 있어서 썬드리 평균법에 따른 Generalized Gamma 분포 모형에 의한 설계홍수량의 상대평균오차가 타 플로팅포지션법과 매개변수 유도 방법에 따른 Generalized Gamma 분포 모형에 의한 것 보다 작게 나타나는 좋은 결과를 나타내었고 기타의 대상유역들도 전반적으로 이와 같은 결과를 보여 주었다.

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

설계홍수량의 신뢰도 검정을 위해 본 분석에서는 적정 매개변수 유도방법으로 판