

확률가중모멘트의 차수 변화에 따른 홍수량 변동 특성 분석

맹승진^{1*}, 황주하¹
¹충북대학교 지역건설공학과

Analysis on Characteristics of Variation in Flood Flow by Changing Order of Probability Weighted Moments

Seung-Jin Maeng^{1*} and Ju-Ha Hwang¹

¹Dept. of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk University

요약 본 연구에서는 우리나라 수위관측소들 중에서 관측 유량이 검증된 총 19개 유역을 선정하고 관측된 홍수량을 사용하여 적정 설계홍수량을 유도함으로써 우리나라의 설계홍수량 특성을 분석하였다. 대상유역별로 관측개시년도에서부터 분석 시작년을 기준으로 1년씩 증가 시키는 점진적 구성 방식으로 연최대홍수량에 대한 빈도분석을 실시하기 위해, 연강수량 변동특성을 이동평균법에 의해 분석하였다. 19개 대상유역에 대한 연최대홍수량 계열 구성 기간별로 기본통계치를 산정하고 독립성, 동질성 및 Outlier 검정을 실시하였다. Gumbel, Generalized Extreme Value, Generalized Logistic 및 Generalized Pareto 분포의 적합도 검정을 LH-모멘트비도와 Kolmogorov-Smirnov 검정에 의해 수행하였다. 적정 확률분포로 선정된 GEV 분포의 매개변수를 확률가중모멘트의 차수 변화에 의한 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 추정하고 대상유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별 설계홍수량을 유도하였다. 본 연구에서 사용한 변동률 분석에 따라 최근 지구온난화에 따른 우리나라 기후 변화를 고려한 적절한 수리구조물의 설계 조건 변경시기는 2002년 전후로 하여야 할 것이다.

Abstract In this research, various characteristics of South Korea's design flood have been examined by deriving appropriate design flood, using data obtained from careful observation of actual floods occurring in selected main watersheds of the nation. 19 watersheds were selected for research in Korea. The various characteristics of annual rainfall were analyzed by using a moving average method. The frequency analysis was decided to be performed on the annual maximum flood of succeeding one year as a reference year. For the 19 watersheds, tests of basic statistics, independent, homogeneity, and outlier were calculated per period of annual maximum flood series. By performing a test using the LH-moment ratio diagram and the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test, among applied distributions of Gumbel (GUM), Generalized Extreme Value (GEV), Generalized Logistic (GLO) and Generalized Pareto (GPA) distribution was found to be adequate compared with other probability distributions. Parameters of GEV distribution were estimated by L, L1, L2, L3 and L4-moment method based on the change in the order of probability weighted moments. Design floods per watershed and the periods of annual maximum flood series were derived by GEV distribution. According to the result of the analysis performed by using variation rate used in this research, it has been concluded that the time for changing the design conditions to ensure the proper hydraulic structure that considers recent climate changes of the nation brought about by global warming should be around the year 2002.

Key Words : Watershed, Annual maximum flood, Distribution, LH-moment, Variation rate

이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 학술진흥재단 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-003-D00736).

*교신저자 : 맹승진(maeng@cbnu.ac.kr)

접수일 09년 02월 18일

수정일 (1차 09년 04월 29일, 2차 09년 05월 12일)

계재확정일 09년 05월 27일

1. 서론

우리나라는 세계적인 기후 변화에 따른 영향으로 홍수와 가뭄 피해가 심화되고 있는 실정이다. 최근 10년간 자연재해 피해액이 17조원에 이르고 있으며 연간 1조원 이상의 홍수 피해발생은 1998년을 비롯하여 1999년, 2001년, 2002년, 2003년, 2004년, 2006년에 걸쳐 7회에 달하고 있다. 1998년 8월 경기북부지역의 홍수를 시작으로 전국에 걸친 호우피해와 1999년에 발생한 경기북부지역 홍수 및 2001년 낙동강 유역의 태풍 오사마이에 의한 피해가 매우 컸다. 특히 2002년 8월 31일부터 9월 1일 사이에 우리나라를 통과한 태풍 루사와 2003년 9월 11일 남해안 지역으로 상륙하여 9월 13일 빠져 나간 태풍 매미에 의한 피해액은 무려 9조 4천여억원에 달하였다. 2006년 7월 14일에서 9월 21일까지 약 3개월 동안에는 태풍 에위니아와 태풍 빌리스 및 산산의 영향으로 오래 동안 장마전선이 형성되었고 이 때 발생한 강원지역의 집중호우는 62명의 인명손실과 약 1조 5천억원의 홍수피해를 가져 왔다[3]. 홍수 피해를 저감하기 위한 대책을 수립하기 위해서 우선적으로 선행되어야 할 것은 각종 댐 및 수리구조물의 설계시 신빙성 있는 설계홍수량을 유도하는데 있다. 관행의 방법은 관측시작시부터 현재까지의 관측된 자료를 사용하여 설계홍수량을 유도하는 것이 통상적이었다. 그러나 이 방법은 관측 기록년 이후에 기록된 수문량보다 월등히 큰 수문량이 발생한다면 과거의 자료에 기초하여 추정된 설계홍수량의 신뢰성이 급격히 저감되는 단점을 갖고 있다. 또한 이러한 문제점을 극복하기 위해 가능최대강수량과 가능최대홍수량을 기준으로 수리구조물을 설계할 경우 과대 설계가 되어 사회 및 경제적으로 큰 손실을 가져오게 된다.

신빙성 있는 설계홍수량 유도를 위해, Wang은 오스트레일리아 Wickliffe 및 Savage's Crossing 유역의 연최대홍수량을 대상으로 Generalized Extreme Value 분포형의 매개변수를 LH-모멘트법으로 추정하여 빈도분석을 실시한 결과 LH-모멘트의 차수가 2인 L2-모멘트법에 의한 빈도분석이 적절한 것으로 제안함과 동시에 LH-모멘트법에 의해 추정된 설계홍수량이 실측치의 Outlier에 민감하지 않고, 실측치를 계급별로 분포시켰을 때 분포곡선의 말단(tail)부에 대한 특성을 적절히 재현 할 수 있는 LH-모멘트의 차수를 결정해야 한다고 제안하였다[14,15].

따라서 본 연구에서는 Wang이 'LH-모멘트의 적정 차수 결정에 관한 연구'를 제안한 것에 착안하여, 장기간의 홍수 관측자료를 보유한 우리나라 주요 수계의 19개 유역을 선정하고 관측된 유출량으로 연최대홍수량계열의 점진적 구성을 통해 유역에 따른 빈도별 홍수량을 유도

한다[2]. 유역별로 연최대홍수량계열의 점진적 구성에 의한 자료는 선정된 적정 확률분포와 차수 변화에 따른 확률가중모멘트법에 의해 설계홍수량을 산정한다[1]. 산정된 설계홍수량은 변동률 분석에 의해 유역 및 재현기간별 변동특성을 분석하여 우리나라 기후 변화에 따른 적절한 수리구조물의 설계 조건 변경시기를 추정해 냄으로써 수리구조물의 설계기준 변경을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 차수 변화에 따른 확률가중모멘트 이론

본 연구에서는 우리나라의 주요 지점별 설계홍수량의 변동 특성을 분석하기 위해 Gumbel(GUM), Generalized extreme value(GEV), Generalized logistic(GLO) 및 Generalized pareto(GPA) 분포를 적용하였다. 적용되는 확률분포의 매개변수는 확률가중모멘트의 차수를 0에서부터 4까지 변화하여 추정하는 LH-모멘트법에 의해 산정하고자 한다.

차수 변화에 따른 확률가중모멘트인 LH-모멘트법을 정리하면 다음과 같다.

누가분포함수 $F(X)$ 을 갖는 확률변수 X 에 대한 확률가중모멘트의 일반식은 식(1)과 같다[5,8,11].

$$M_{p,r,s} = E[X^p \{F(X)\}^r \{1-F(X)\}^s] \quad (1)$$

$$= \int x^p \{F(x)\}^r \{1-F(x)\}^s dF(x)$$

여기서, p, r, s 는 정수이고, $r = s = 0$ 인 $M_{p,0,0}$ 이면 p 는 비부성정수(非負性定數)가 되고 $M_{p,0,0}$ 은 원점에 대한 기존의 p 차 모멘트와 동일한 값을 나타낸다. 확률가중모멘트의 차수를 증가시켜 이들을 선형조합한 LH-모멘트법은 Wang에 의해 제시되었다[14,15].

여기서 Wang은 LH-모멘트를 식(2)~(5)와 같이 정의하였다.

$$\lambda_1^\eta = E[X_{(\eta+1):(\eta+1)}] \quad (2)$$

$$\lambda_2^\eta = \frac{1}{2} E[X_{(\eta+2):(\eta+2)} - X_{(\eta+1):(\eta+2)}] \quad (3)$$

$$\lambda_3^\eta = \frac{1}{3} E[X_{(\eta+3):(\eta+3)} - 2X_{(\eta+2):(\eta+3)} + X_{(\eta+1):(\eta+3)}] \quad (4)$$

$$\lambda_4^\eta = \frac{1}{4} E[X_{(\eta+4):(\eta+4)} - 3X_{(\eta+3):(\eta+4)} + 3X_{(\eta+2):(\eta+4)} - X_{(\eta+1):(\eta+4)}] \quad (5)$$

여기서, η 는 차수이며, $E[X_{j:m}]$ 은 누가분포함수 $F(x) = P_r(X \leq x)$ 을 갖는 임의 표본크기 m 의 j 차 기댓값이며 다음의 식(6)과 같다.

$$E[X_{j:m}] = \frac{m!}{(j-1)!(m-j)!} \int_0^1 x(F)^{j-1}(1-F)^{m-j} dF \quad (6)$$

또한 Wang은 식(2)~(5)에 해당하는 LH-모멘트 추정식을 식(7)~(10)과 같이 제시하였다[14,15].

$$\hat{\lambda}_1^\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{\eta+1}^{i-1} C_\eta x_{(i)} \quad (7)$$

$$\hat{\lambda}_2^\eta = \frac{1}{2} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (i^{-1} C_{\eta+1} - i^{-1} C_\eta^{n-i} C_1) x_{(i)} \quad (8)$$

$$\hat{\lambda}_3^\eta = \frac{1}{3} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (i^{-1} C_{\eta+2} - 2^{i-1} C_{\eta+1}^{n-i} C_1 + i^{-1} C_\eta^{n-i} C_2) x_{(i)} \quad (9)$$

$$\hat{\lambda}_4^\eta = \frac{1}{4} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (i^{-1} C_{\eta+3} - 3^{i-1} C_{\eta+2}^{n-i} C_1 + 3^{i-1} C_{\eta+1}^{n-i} C_2 - i^{-1} C_\eta^{n-i} C_3) x_{(i)} \quad (10)$$

여기서,

$${}^m C_j = \binom{m}{j} = \frac{m!}{j!(m-j)!} \quad (11)$$

상기의 식(7)~식(10)을 재정리하면 식(12)~(15)와 같다.

$$\hat{\lambda}_1^\eta = B_\eta \quad (12)$$

$$\hat{\lambda}_2^\eta = \frac{1}{2!} (\eta+2) [B_{\eta+1} - B_\eta] \quad (13)$$

$$\hat{\lambda}_3^\eta = \frac{1}{3!} (\eta+3) [(\eta+4)B_{\eta+2} - 2(\eta+3)B_{\eta+1} + (\eta+2)B_\eta] \quad (14)$$

$$\hat{\lambda}_4^\eta = \frac{1}{4!} (\eta+4) [(\eta+6)(\eta+5)B_{\eta+3} - 3(\eta+5)(\eta+4)B_{\eta+2} + 3(\eta+4)(\eta+3)B_{\eta+1} - (\eta+3)(\eta+2)B_\eta] \quad (15)$$

여기서,

$$B_\eta = \frac{\int_0^1 x(F)^r dF}{\int_0^1 F^r dF} \quad (16)$$

$$= (r+1) \int_0^1 x(F)^r dF = (\eta+1)\beta_\eta$$

$$\beta_\eta = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-\eta)}{(N-1)(N-2)\dots(N-\eta)}$$

LH-모멘트법의 경우에도 일반 모멘트법에서의 변동계수, 왜곡도 및 첨예도에 해당하는 LH-모멘트비인 LH-변동계수, LH-왜곡도 및 LH-첨예도를 가지며, 각각 식(17)~(19)와 같이 정의된다.

$$\tau_2^\eta = \frac{\hat{\lambda}_2^\eta}{\hat{\lambda}_1^\eta} \equiv \text{LH-변동계수} \quad (17)$$

$$\tau_3^\eta = \frac{\hat{\lambda}_3^\eta}{\hat{\lambda}_2^\eta} \equiv \text{LH-왜곡도} \quad (18)$$

$$\tau_4^\eta = \frac{\hat{\lambda}_4^\eta}{\hat{\lambda}_3^\eta} \equiv \text{LH-첨예도} \quad (19)$$

본 연구에서는 LH-모멘트의 차수 η 를 0부터 4까지 변화하여 적용 확률분포의 매개변수를 추정하고자 하며 이들을 확률가중모멘트의 차수에 따라 순차적으로 L-모멘트, L1-모멘트, L2-모멘트, L3-모멘트 및 L4-모멘트라 한다. 여기에서 LH-모멘트의 차수 η 가 0인 L-모멘트는 Hosking이 제안한 L-모멘트와 동일하다[8,10,11,14].

본 연구에서 적용한 4개 확률분포의 매개변수 추정을 위한 확률밀도함수, 누가밀도함수 등은 Hosking[7,9], Wang[15] 및 Lee와 Maeng[12]에 의해 제시되었다.

3. 사용 수문자료

본 연구에서는 설계홍수량 변동 특성을 분석하기 위해 전국을 대상으로 한강수계의 25개 유역, 낙동강수계의 46개 유역, 금강수계의 23개 유역, 섬진강수계의 8개 유역, 영산강수계의 8개 유역 및 기타수계 8개 유역으로 총 118 유역의 홍수량 자료를 사용하였다. 118개 유역에서 사용된 연최고수위와 수위-유량 곡선식은 국가수자원관리 종합정보시스템에서 제공하는 자료를 활용하여 연최대홍수량 계열을 구성하였다[16]. 구성된 연최대홍수량 계열은 후술할 연최대홍수량 계열의 점진적 구성을 위한 시작년을 기준으로 1년씩 추가된 연최대홍수량 계열을 작성하여 독립성, 동질성 및 Outlier 검정을 통한 통계학적 분석여부를 판정하였다. 그 결과 최종적으로 19개 유역이 선정되었다. 한강수계에서는 여주, 청평, 목계, 홍천, 주천유역이며 낙동강수계에서는 수산, 낙동, 동촌, 봉화, 김천, 이안, 양산유역이다. 금강수계에서는 규암, 양강교, 용담, 회덕 유역이며 섬진강수계에서는 송정유역, 영산강수계에서는 남평유역, 만경강수계에서는 대천유역이다. 이상의 19개 유역에 대한 설계홍수량 유도를 위해 선정

된 대상유역별 특성은 표 1과 같다.

[표 1] 대상유역별 특성

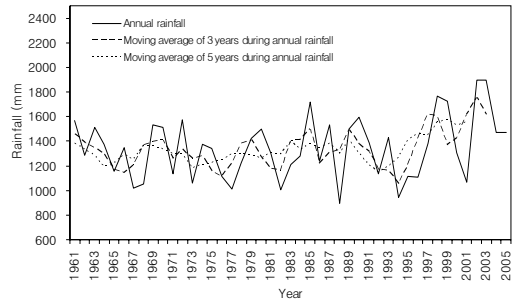
수계	유역	유역면적 (km ²)	주하천장 (km)	평균폭 (km)	관측기간(년)
한강	여주	11,036.0	347.1	31.8	1963~2005(43)
	청평	10,455.5	207.8	50.3	1962~2005(44)
	목계	8,433.8	307.6	27.4	1962~2005(44)
	홍천	874.3	78.5	11.1	1963~2005(43)
	주천	528.8	72.0	7.3	1963~2005(43)
낙동강	수산	20,996.7	450.4	46.6	1962~2003(42)
	낙동	9,369.0	261.4	35.8	1962~2005(44)
	동촌	1,544.0	89.0	17.3	1962~2005(44)
	봉화	712.5	97.4	7.3	1963~2005(43)
	김천	413.3	42.0	9.8	1962~2005(44)
	이안	195.5	46.1	4.2	1969~2005(37)
	양산	184.3	25.6	7.2	1963~2005(43)
금강	규암	8,253.4	338.1	24.4	1962~2003(42)
	양강교	2,948.9	156.5	18.8	1963~2004(42)
	용담	989.5	69.8	14.2	1963~2004(42)
	회덕	604.2	43.1	14.0	1962~2001(40)
섬진강	송정	4,255.7	185.7	22.9	1957~2004(48)
영산강	남평	576.2	41.1	14.0	1962~2002(41)
만경강	대천	879.2	45.0	19.5	1963~2002(40)

4. 결과

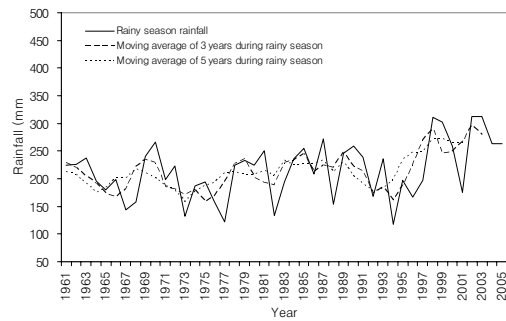
4.1 강우량 변동 기준년 및 연최대홍수량의 점진적 구성 시작년 설정

LH-모멘트법에 의한 설계홍수량 변동 특성을 분석하기 위해서는 연최대홍수량의 점진적 구성을 실시하여야 한다. 연최대홍수량의 점진적 구성을 하기 위해 우선적으로 유출에 직접적인 영향을 미치는 강우량의 변동 기준년을 파악한다. 강우량 변동 기준년을 설정하는데 있어서는 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 수와 관련이 있을 것으로 판단된다.

우리나라 주변에서 매년 발생하는 태풍과 우리나라에 직·간접적으로 영향을 미치는 태풍의 횟수를 기반으로 강우관측이 전국적으로 개시된 1961년부터 2004년까지의 연강우량을 3개년과 5개년에 걸친 이동평균법과 우기인 6월부터 9월까지의 누가강우량을 3개년과 5개년에 걸친 이동평균법에 의해 분석하여 우리나라 강우량의 변동 기준년을 설정하였다. 연강우량 및 3개년과 5개년 이동평균법에 의한 결과를 도시한 것은 그림 1과 같고 우기강우량 및 3개년과 5개년 우기 이동평균법에 의한 결과를 도시한 것은 그림 2와 같다.



[그림 1] 이동평균법에 의한 연강우량 변동



[그림 2] 이동평균법에 의한 우기 강우량 변동

그림 1과 그림 2에서 보는 바와 같이 최근 우리나라의 강우량 변동이 1994년을 기준으로 현저하게 증가하고 있는 것으로 나타남에 따라 강우량 변동 기준년을 1994년으로 설정하였다. 따라서 본 연구에서는 대상유역별로 관측개시년도에서부터 1994년을 기준으로 1년씩 증가한 연도의 연최대홍수량에 대한 빈도분석을 실시하고자 하였다. 그러나 1994년 이전의 설계홍수량 변동 특성을 반영하고 이에 대한 원활한 분석을 위해 타년에 비해 태풍의 영향을 비교적 많이 받기 시작한 1990년을 연최대홍수량 계열의 점진적 구성을 위한 분석 시작년(이하 '분석 시작년'으로 칭함)으로 정하였다. 19개 대상유역별로 관측개시년도부터 분석 시작년인 1990년까지의 연최대홍수량 계열에 대한 빈도분석을 실시하고, 관측개시년도부터 1990년을 시작으로 점진적으로 매 1년씩 증가된 연도까지의 연최대홍수량에 대한 빈도분석을 실시하고자 한다.

4.2 사용 수문자료의 기본통계치 분석

본 연구를 위해 선정된 19개 유역에 대한 기본통계치인 평균치, 표준편차, 왜곡도, 변동계수 및 첨예도를 각 유역별로 구하였다.

표본 예로 한강수계의 홍천, 낙동강수계의 봉화, 금강수계의 용담유역에 대한 결과는 표 2~표 4와 같다.

[표 2] 한강수계 홍천유역의 기본통계치

연최대 홍수량 구성기간	평균(\bar{x}) (m^3/s)	표준편차 (S)	왜곡도 (C_S)	변동계수 (C_V)	첨예도 (C_K)
1963-1990	1,330.1	1,477.9	2.371	1.111	6.811
1963-1991	1,345.3	1,453.6	2.364	1.081	6.938
1963-1992	1,369.1	1,434.3	2.322	1.048	6.937
1963-1993	1,337.4	1,421.2	2.361	1.063	7.159
1963-1994	1,306.2	1,409.2	2.398	1.079	7.373
1963-1995	1,360.9	1,422.1	2.201	1.045	6.655
1963-1996	1,337.6	1,407.0	2.246	1.052	6.879
1963-1997	1,314.6	1,392.8	2.290	1.059	7.099
1963-1998	1,290.8	1,380.1	2.330	1.069	7.308
1963-1999	1,287.9	1,361.0	2.366	1.057	7.539
1963-2000	1,266.4	1,349.0	2.404	1.065	7.748
1963-2001	1,248.4	1,335.8	2.446	1.070	7.974
1963-2002	1,293.0	1,348.8	2.272	1.043	7.281
1963-2003	1,291.0	1,331.5	2.302	1.031	7.484
1963-2004	1,337.1	1,348.6	2.127	1.009	6.766
1963-2005	1,315.3	1,340.0	2.157	1.019	6.913

[표 3] 낙동강수계 봉화유역의 기본통계치

연최대 홍수량 구성기간	평균(\bar{x}) (m^3/s)	표준편차 (S)	왜곡도 (C_S)	변동계수 (C_V)	첨예도 (C_K)
1963-1990	641.4	355.9	0.904	0.555	2.808
1963-1991	627.4	357.6	0.927	0.570	2.840
1963-1992	613.2	359.8	0.943	0.587	2.868
1963-1993	612.8	353.7	0.961	0.577	2.974
1963-1994	599.2	356.4	0.967	0.595	2.992
1963-1995	601.9	351.1	0.954	0.583	3.053
1963-1996	593.4	349.2	0.997	0.589	3.125
1963-1997	593.9	344.1	1.006	0.579	3.024
1963-1998	604.5	345.1	0.910	0.571	3.024
1963-1999	627.0	366.6	0.883	0.585	2.799
1963-2000	628.0	361.6	0.884	0.576	2.867
1963-2001	625.2	357.3	0.916	0.571	2.959
1963-2002	683.9	512.2	2.543	0.749	10.593
1963-2003	707.8	528.3	2.282	0.746	9.027
1963-2004	701.1	523.6	2.320	0.747	9.244
1963-2005	698.0	517.7	2.358	0.742	9.498

[표 4] 금강수계 용담유역의 기본통계치

연최대 홍수량 구성기간	평균(\bar{x}) (m^3/s)	표준편차 (S)	왜곡도 (C_S)	변동계수 (C_V)	첨예도 (C_K)
1963-1990	664.0	331.5	-0.031	0.499	1.749
1963-1991	661.8	325.7	-0.011	0.492	1.811
1963-1992	663.4	320.2	-0.027	0.483	1.875
1963-1993	674.4	320.7	-0.093	0.475	1.849
1963-1994	655.0	334.0	-0.114	0.510	1.852
1963-1995	662.9	332.0	-0.173	0.501	1.865
1963-1996	666.7	328.0	-0.209	0.491	1.917
1963-1997	677.4	328.9	-0.257	0.486	1.905
1963-1998	684.4	326.9	-0.308	0.478	1.930
1963-1999	671.5	331.8	-0.250	0.494	1.841
1963-2000	674.9	327.9	-0.282	0.486	1.889
1963-2001	658.0	340.4	-0.290	0.517	1.880
1963-2002	653.9	336.9	-0.256	0.515	1.898
1963-2003	651.2	333.2	-0.233	0.512	1.929
1963-2004	637.7	340.5	-0.206	0.534	1.870

4.3 연최대홍수량 계열의 독립성, 동질성 및 Outlier 검정

본 분석에서는 전술한 바와 같이 선정된 유역 및 분석 기간별 연최대홍수량 계열의 통계학적 분석 여부를 판단하기 위해 독립성 및 동질성 검정을 각각 Wald-Wolfowitz 및 Mann-Whitney 방법에 의해 실시하였다 [1,2,4]. 또한 구성된 자료의 통계학적 분석을 실시하고자 할 때 극치자료를 포함하여 분석하면 결과가 왜곡될 가능성이 커지기 때문에 이를 방지하기 위한 방편으로 상한과 하한의 극치자료가 포함되었는지의 여부를 판단하는 Outlier 검정 방법인 Grubbs-Beck Test를 실시하였다 [1,2,4]. 그 결과 19개 유역에서 분석기간별로 구성된 연최대홍수량 계열의 독립성, 동질성 및 Outlier가 모두 인정되었다.

4.4 적합도 검정

4.4.1 LH-모멘트비도에 의한 방법

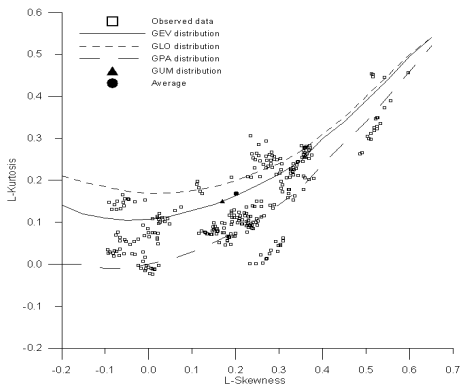
본 연구에서 선정된 대상 유역의 연최대홍수량에 대한 적정 확률분포의 선정은 LH-모멘트비인 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트비의 산정과 함께 LH-모멘트비도를 도출함으로써 이루어질 수 있다.

따라서 본 분석에서 사용된 GUM, GEV, GLO 및 GPA 분포의 L, L1, L2, L3 및 L4-왜곡도(LH-skewness)와 L, L1, L2, L3 및 L4-첨예도(LH-kurtosis)의 관계인 L, L1,

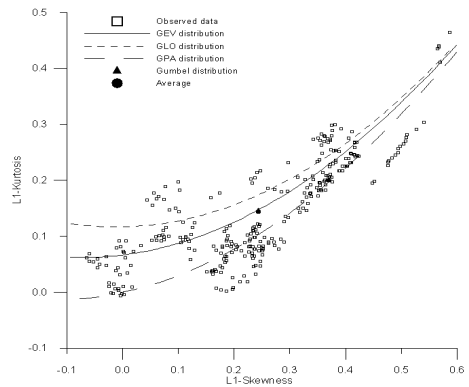
L2, L3 및 L4-모멘트비도를 도시하고, 각 대상 유역별 연최대홍수량의 L, L1, L2, L3 및 L4-왜곡도와 L, L1, L2, L3 및 L4-첨예도를 적용 분포별로 구한다. 각 분포별로 구해진 L, L1, L2, L3 및 L4-왜곡도는 x 축에, L, L1, L2, L3 및 L4-첨예도는 y 축에 플로팅하여 LH-모멘트비도를 작성함으로써 이를 근거로 적절한 확률분포를 선정한다.

대상유역에 대한 연최대홍수량의 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트비인 L, L1, L2, L3 및 L4-왜곡도와 L, L1, L2, L3 및 L4-첨예도를 구하였다. 대상유역별로 구해진 LH-모멘트비와 LH-모멘트비의 평균값을 LH-모멘트비도인 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트비도에 도시한 결과는 그림 3과 같다. 그림 3에 나타난 바와 같이 대상 유역별 연최대홍수량 계열을 L, L1, L2, L3 및 L4-왜곡도와 L, L1, L2, L3 및 L4-첨예도의 무차원 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트 플로팅 위치선점이 GEV 분포의 곡선에 고루 산재해 있으며, LH-모멘트비의 평균값에서 LH-왜곡도인 L, L1, L2, L3, 및 L4-왜곡도의 평균값이 각각 0.202, 0.244, 0.262, 0.271 및 0.277로써 타 확률분포의 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트비 곡선 보다 GEV 분포의 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트비 곡선에 보다 근접되어 있음을 볼 수 있다.

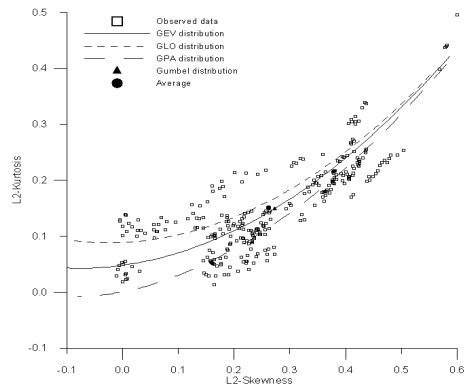
결론적으로, 대상 유역별 연최대홍수량에 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법을 적용하여 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트비를 플로팅한 결과 GEV 분포가 적절한 확률분포로 나타났다.



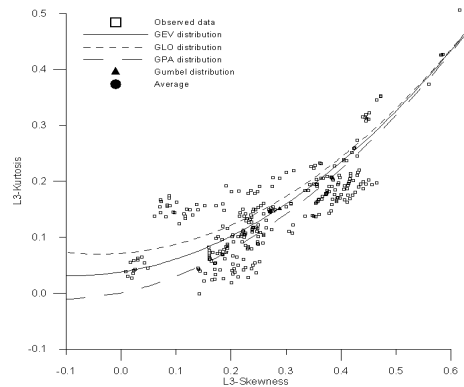
(a) L-모멘트비도



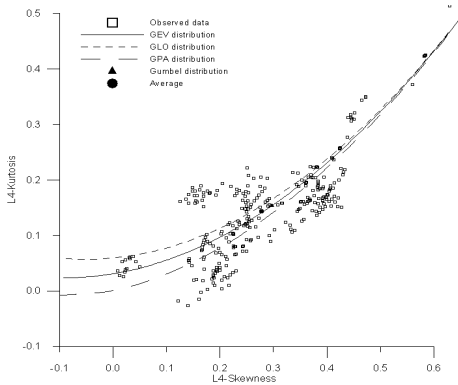
(b) L1-모멘트비도



(c) L2-모멘트비도



(d) L3-모멘트비도



(e) L4-모멘트비도

[그림 3] LH-모멘트비도

4.4.2 Kolmogorov-Smirnov 검정

19개 유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별로 LH-모멘트법에 따른 6개 확률 분포에 대한 적합도 판정을 위해 전술한 LH-모멘트비도에 이어서 비매개변수 방법인 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 검정을 이용하였다.

K-S 검정 결과 5% 유의수준에서 유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별 연최대홍수량 자료가 GEV, GLO 및 GPA 분포를 따르는 것으로 인정되었다.

이상의 2개의 적합도 검정인 LH-모멘트비도에 의한 검정과 K-S 검정을 수행한 결과 적용된 4개 확률분포 중 GEV 분포가 타 확률분포에 비해 적정한 것으로 검정되었다. 이와 같은 사실에 비추어 양 방법에서 유일하게 적정 확률분포로 판정된 GEV 분포를 최종적으로 선정하였다.

4.5 LH-모멘트법에 의한 GEV 분포의 매개변수 및 설계홍수량 산정

본 분석에서는 적정 확률분포로 선정된 GEV 분포에 대한 유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별 설계홍수량을 유도하기 위해 GEV 분포의 매개변수인 위치매개변수, 척도매개변수 및 형상매개변수를 LH-모멘트의 차수 변화에 따른 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 각각 추정하였다. 또한 LH-모멘트의 차수변화에 따라 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 추정된 GEV 분포의 매개변수를 이용하여 대상 유역별로 설계홍수량을 유도하였다.

4.6 LH-모멘트의 적정 차수 선정

대상 유역의 연최대홍수량을 각각 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법을 적용함으로써 각각의 빈도별 설계홍수량이 추정되었다. 본 분석에서는 Gringorten 플로팅 포지

션법에 의한 연최대홍수량과 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법별로 추정된 각각의 빈도별 설계홍수량의 차이를 나타내는 상대절대오차(Relative Absolute Error, RAE)에 의한 분석을 실시함으로써 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 빈도별 설계홍수량간의 적정성 여부에 관해 비교 분석을 수행하였다[1,6,12,13]. 단, 본 연구에서는 신뢰성 있는 홍수량 산정에 목적을 두었기 때문에 19개 유역별로 재현기간 2년 이상의 설계홍수량을 대상으로 상대절대오차 분석을 실시하였다.

이들의 결과를 표본 예로 한강수계의 홍천, 낙동강수계의 봉화, 금강수계의 용담유역에 대해 나타낸 결과는 표 5~표 7과 같다.

표 5~표 7에서 보는 바와 같이 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의한 상대절대오차는 연최대홍수량 구성 기간 전반에 걸쳐 LH-모멘트법의 차수가 증가할수록, 즉 L-모멘트법 보다는 L1-모멘트법이, L1-모멘트법 보다는 L2-모멘트법이, L2-모멘트법 보다는 L3-모멘트법, L3-모멘트법 보다는 L4-모멘트법에 의한 상대절대오차가 감소하였다.

[표 5] 한강수계 홍천유역에 대한 LH-모멘트법과 GEV 분포에 의해 추정된 상대절대오차

연최대 홍수량 구성기간	GEV 분포				
	L	L1	L2	L3	L4
1963-1990	1.03	0.98	0.87	0.73	0.59
1963-1991	1.10	1.02	0.88	0.71	0.54
1963-1992	1.06	0.95	0.77	0.58	0.48
1963-1993	1.17	1.03	0.83	0.62	0.51
1963-1994	1.48	1.37	1.22	1.05	0.95
1963-1995	1.62	1.43	1.23	1.03	0.93
1963-1996	1.89	1.76	1.58	1.40	1.28
1963-1997	2.09	1.99	1.85	1.68	1.54
1963-1998	2.23	2.17	2.05	1.89	1.72
1963-1999	2.19	2.17	2.08	1.93	1.76
1963-2000	2.24	2.26	2.18	2.03	1.83
1963-2001	2.30	2.34	2.27	2.11	1.88
1963-2002	2.63	2.61	2.48	2.28	2.06
1963-2003	2.50	2.52	2.40	2.21	2.02
1963-2004	2.86	2.85	2.71	2.51	2.26
1963-2005	2.90	2.93	2.79	2.55	2.35

[표 6] 낙동강수계 봉화유역에 대한 LH-모멘트법과 GEV 분포에 의해 추정된 상대절대오차

연최대 홍수량 구성기간	GEV 분포				
	L	L1	L2	L3	L4
1963-1990	0.18	0.11	0.08	0.08	0.09
1963-1991	0.30	0.19	0.15	0.14	0.14
1963-1992	0.47	0.32	0.26	0.24	0.24
1963-1993	0.49	0.34	0.29	0.25	0.24
1963-1994	0.54	0.35	0.29	0.26	0.25
1963-1995	0.47	0.35	0.33	0.31	0.31
1963-1996	0.56	0.44	0.42	0.41	0.40
1963-1997	0.56	0.50	0.49	0.49	0.47
1963-1998	0.59	0.50	0.49	0.49	0.49
1963-1999	0.70	0.59	0.56	0.55	0.52
1963-2000	0.71	0.66	0.64	0.63	0.61
1963-2001	0.76	0.74	0.73	0.71	0.68
1963-2002	0.84	0.83	0.82	0.84	0.86
1963-2003	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86
1963-2004	0.88	0.88	0.89	0.90	0.91
1963-2005	0.94	0.95	0.96	0.96	0.95

[표 7] 금강수계 용담유역에 대한 LH-모멘트법과 GEV 분포에 의해 추정된 상대절대오차

연최대 홍수량 구성기간	GEV 분포				
	L	L1	L2	L3	L4
1963-1990	0.20	0.18	0.19	0.17	0.16
1963-1991	0.21	0.20	0.22	0.19	0.18
1963-1992	0.21	0.22	0.22	0.19	0.18
1963-1993	0.25	0.25	0.26	0.23	0.21
1963-1994	0.27	0.26	0.27	0.24	0.22
1963-1995	0.28	0.33	0.34	0.27	0.22
1963-1996	0.30	0.37	0.36	0.29	0.25
1963-1997	0.31	0.36	0.35	0.29	0.26
1963-1998	0.37	0.43	0.41	0.35	0.30
1963-1999	0.43	0.45	0.45	0.39	0.35
1963-2000	0.46	0.48	0.47	0.41	0.37
1963-2001	0.49	0.50	0.48	0.43	0.39
1963-2002	0.51	0.48	0.48	0.44	0.39
1963-2003	0.55	0.49	0.49	0.46	0.41
1963-2004	0.66	0.53	0.54	0.51	0.46

이런 결과는 타 대상 유역에서도 동일한 양상을 나타내었다.

따라서 연최대홍수량 구성 기간별 설계홍수량은 LH-모멘트의 차수가 4인 L4-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량이 전반적으로 적절한 것으로 판정되었다.

4.7 연최대홍수량 계열 구성 기간에 따른 설계홍수량 변동 특성

본 분석에서는 각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간을 달리하여 L4-모멘트법에 의해 산정된 빈도별 홍수량의 변화를 파악하고자 한다.

각 유역별로 관측개시년도부터 1990년의 연최대홍수량 계열에 대한 빈도별 홍수량과 관측개시년도부터 1990년에서 1년씩 증가된 년도의 연최대홍수량 계열이 포함된 빈도별 홍수량간의 재현기간별 홍수량 변동 특성을 구할 수 있는 변동률 식(20)에 의해 규명하고자 한다.

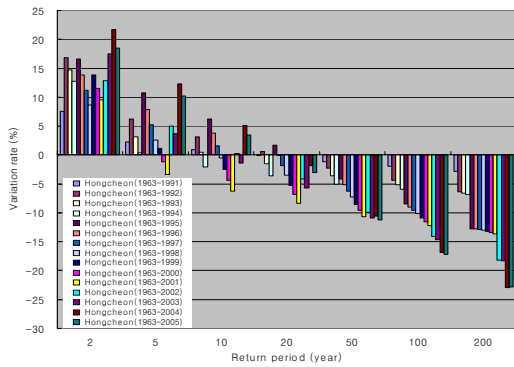
$$R_v = \frac{(Q_{y,t}^* - Q_{y,t})}{Q_{y,t}} \times 100 \quad (20)$$

여기에서 R_v 는 변동률, $Q_{y,t}$ 는 관측개시년부터 분석 시작년까지의 연최대홍수량에 의해 산정된 재현기간 t 년의 홍수량, $Q_{y,t}^*$ 는 관측개시년부터 분석 시작년을 중심으로 1년씩 증가한 분석년까지의 연최대홍수량에 의해 산정된 재현기간 t 년의 홍수량이다. 변동률의 값이 양의 값이면 관측개시년부터 분석년까지의 연최대홍수량에 의해 산정된 재현기간 t 년의 홍수량이 관측개시년부터 분석 시작년까지의 연최대홍수량에 의해 산정된 재현기간 t 년의 홍수량보다 크다는 것을 의미하며, 음의 경우에는 반대로 작다는 것을 의미한다.

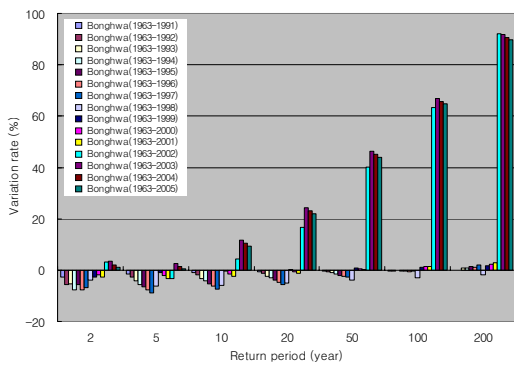
따라서 본 분석에서는 각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따른 변동률을 산정하였다. 표본 예로 한강수계의 홍천, 낙동강수계의 봉화, 금강수계의 용담, 섬진강수계의 송정, 영산강수계의 남평, 만경강수계의 대천 유역에 대한 재현기간별 변동률의 결과는 그림 4~그림 6과 같다.

그림 4~그림 6에서 보는 바와 같이 각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따른 설계홍수량의 재현기간별 변동률은 재현기간이 증가함에 따라 전반적으로 커짐을 알 수 있다.

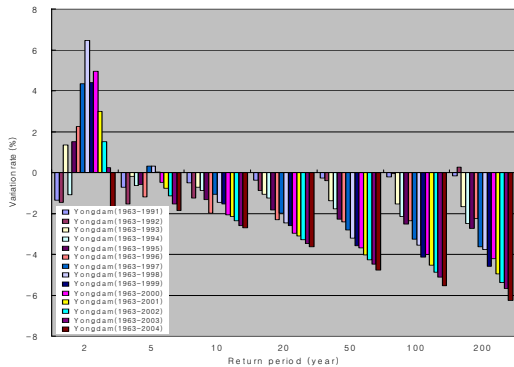
이는 재현기간이 증가함에 따라 설계홍수량간의 값에 대한 편차가 커짐을 나타내며, 사용된 연최대홍수량 계열에서의 최대값은 확률론적 분석시 재현기간이 큰 설계홍수량 산정에 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다.



[그림 4] 한강수계 홍천유역의 설계홍수량 변동률



[그림 5] 낙동강수계 봉화유역의 설계홍수량 변동률



[그림 6] 금강수계 용담유역의 설계홍수량 변동률

그림 4와 같이 한강수계의 홍천유역에서는 관측개시년 부터 분석 시작년인 1990년까지의 연최대홍수량 계열에 의해 산정된 설계홍수량(이하 기준 설계홍수량)을 중심으로 연최대홍수량 계열 구성 기간의 점진적 증가에 따라 산정된 설계홍수량(이하 대상 설계홍수량)과 비교한

변동률은 재현기간 20년 이하에서는 전반적으로 양의 값을 나타내며 재현기간이 50년 이상에서는 음의 값을 나타내었다.

그림 5와 같이 낙동강수계 봉화유역에서의 변동률은 모든 재현기간에서 2001년까지 음의 값을 나타내며, 이후 급격히 증가한 양의 값을 나타내었다.

그림 6과 같이 금강수계 용담유역에서의 변동률은 재현기간 5년 이하에서 양의 값을 나타내며, 10년 이상의 재현기간에서는 음의 값을 나타내었다.

이상을 수계별로 분석하면, 한강과 금강수계의 경우 재현기간이 커짐에 따라 기준 설계홍수량에 비해 대상 설계홍수량이 감소하는 경향을 보였으며, 낙동강수계의 경우 재현기간이 커짐에 따라 기준 설계홍수량에 비해 대상 설계홍수량이 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 타 수계의 경우 만경강은 한강과 금강수계, 섬진강과 영산강은 낙동강수계와 같은 경향을 나타내었다.

특히 낙동강, 섬진강 및 영산강 수계에 속한 유역에서는 2002년 이후의 대상 설계홍수량에서 뚜렷하게 증가하는 양상을 나타내었다. 즉 2002년의 태풍 루사에 의해 대상 설계홍수량이 증가한 것은 우리나라 전 수계에 걸친 것이 아니라 경상남도, 경상북도 및 남해안 지역에 위치한 낙동강, 섬진강 및 영산강 수계에 직접적인 영향을 미친 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구의 연최대홍수량의 점진적 구성에 따른 설계홍수량의 변화 추이를 분석한 결과, 최근 지구온난화에 따른 우리나라 기후 변화를 고려하여 2002년 이후 설계되는 수리구조물의 경우에 설계 빈도 등과 같은 설계 조건들은 사회경제적인 측면과 환경적 요인을 고려하여 수문통계학적 분석에 의한 설계치 보다 큰 값을 사용하여야 할 것이다.

특히 설계재현기간이 증가함에 따라 예상되는 자연재해의 피해는 감소 할 수 있지만 수공구조물 설치에 소요되는 총 투자비용은 증가하기 때문에 앞으로 수문경제학적 분석이 함께 수행되어 최적설계재현기간 결정에 의한 설계홍수량의 제시가 무엇보다도 중요하다고 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 우리나라 수위관측소들 중에서 관측기록년수가 20년 이상이고, 수위-유량곡선식이 검증된 한강수계의 5개 유역, 낙동강수계의 7개 유역, 금강수계의 4개 유역, 섬진강수계, 영산강수계 및 만경강수계 각 1개 유역, 총 19개 유역을 선정하고 관측된 홍수량을 사용하여 적정 설계홍수량을 유도함으로써 우리나라의 설계홍

수량 특성을 고찰하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

1. 대상유역별로 관측개시년도에서 부터 분석 시작년을 기준으로 1년씩 증가 시키는 점진적 구성 방식으로 연최대홍수량에 대한 빈도분석을 실시하기 위해, 연강우량 변동특성을 이동평균법에 의해 분석한 바 1990년이 분석 시작년으로 결정 되었다.
2. 19개 대상유역에 대한 연최대홍수량 계열 구성 기간별로 기본통계치를 산정한 다음 독립성, 동질성 및 Outlier 검정을 실시한 후 LH-모멘트비도인 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트비도에 의한 검정과 K-S 검정을 수행한 결과 적용된 4개 확률분포 중 GEV 분포가 타 확률분포에 비해 적절한 것으로 검정되었다.
3. 적정 확률분포로 선정된 GEV 분포에 대한 대상유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별 설계홍수량을 유도하기 위해 GEV 분포의 매개변수를 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 추정하여 설계홍수량을 유도한 결과 LH-모멘트의 차수가 4인 L4-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량이 전반적으로 적절한 것으로 판정되었다.
4. 각 유역별로 L4-모멘트법과 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따른 설계홍수량은 재현기간별로 다소의 차이가 있었으며 재현기간이 증가함에 따라 점차적으로 커지는 경향을 나타내었다. 농업용 저수지의 설계기준인 200년 빈도 홍수량은 한강, 금강 및 만경강수계의 유역에서 연최대홍수량 계열의 점진적 구성 기간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 낙동강, 영산강 및 섬진강수계의 유역에서는 연최대홍수량 계열의 점진적 구성 기간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.
5. 변동률에 의한 분석 결과 한강, 금강 및 만경강수계의 경우 재현기간이 커짐에 따라 기준 설계홍수량에 비해 대상 설계홍수량이 감소하는 경향을 보였으며, 낙동강, 섬진강 및 영산강수계의 경우 재현기간이 커짐에 따라 기준 설계홍수량에 비해 대상 설계홍수량이 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 낙동강, 섬진강 및 영산강 수계에 속한 유역에서는 2002년 이후의 대상 설계홍수량에서 뚜렷하게 증가하는 양상을 나타내었다.
6. '4'의 결과에 의하면 최근 지구온난화에 따른 우리나라 기후 변화를 고려한 적절한 수리구조물의 설계 조건 변경시기는 2002년 전후로 하되 차후에 수문경제학적 분석이 함께 수행됨으로써 최적설계재현기간의 결정에 의한 설계홍수량 제시가 요망된다.

참고문헌

- [1] 맹승진, "LH-모멘트의 적정 차수 결정에 의한 설계홍수량 추정", 충북대학교 박사학위 논문, 2002.
- [2] 송기현, "연최대홍수량의 점진적 구성에 따른 L-모멘트법에 의한 설계홍수량 특성", 충북대학교 박사학위 논문, 2009.
- [3] 최홍식, "수리시설 정비 및 안전관리 세미나 자료", 2008.
- [4] B. Bobée and F. Ashkar, "The Gamma Family and Derived Distributions Applied in Hydrology", Water Resources Publications, 1991.
- [5] D. R. Maidment, "Handbook of Hydrology", McGraw-Hill, Inc., pp. 17.1~17.55, 1992.
- [6] I. I. Gringorten, "A Plotting Rule for Extreme Probability Paper", Journal of Geophysical Research, Vol. 63, No. 3, pp. 813~814, 1963.
- [7] J. R. Hosking, et al., "Estimation of the Generalized Extreme-Value Distribution by the Method of Probability-Weighted Moments", Tachnometrics, Vol. 27, No. 3, 1985.
- [8] J. R. Hosking, "The Theory of Probability Weighted Moments", IBM Research Division T.Y. Watson Research Center Yorktown Heights, NY 10598, 1986.
- [9] J. R. Hosking, "Fortran Routines for Use with the Method of L-Moments version 2", Research Report RC17079, IBM Research Division, T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York, 1991.
- [10] J. R. Hosking, "On the Characterization of Distribution by Their L-Moments," Journal of Statistical Planning and Inference, 136, pp. 193-198, 2006.
- [11] J. A. Greenwood, et al., "Probability Weighted Moments : Definition and Relation to Parameters of Several Distributions Expressed in Inverse Form", Water Resources Research, Vol. 15, No. 5, pp. 1049 ~ 1064, 1979.
- [12] S. H. Lee and S. J. Maeng, "Comparison and Analysis of Design floods by the Change in the Order of LH-moment", Irrigation and Drainage, Vol. 52, No. 3, pp. 231~246, 2003.
- [13] Q. J. Wang, "Unbiased Plotting Positions for Historical Flood Information", Journal of Hydrology, 124, pp. 197~205, 1991.
- [14] Q. J. Wang, "LH Moments for Statistical Analysis of Extreme Events", Water Resources Research, Vol. 33, No. 12, pp. 2841~2848, 1997a.
- [15] Q. J. Wang, "Using Higher Probability Weighted Moments for Flood Frequency Analysis", Journal of Hydrology, 194, pp.95~106, 1997b.

[16] 국가수자원관리종합정보 시스템, <http://wamis.go.kr>

맹 승 진(Seung-Jin Maeng)

[정회원]



- 1990년 2월 : 충북대학교 농공학과(농학사)
- 1995년 8월 : 충북대학교 농공학과(농학석사)
- 2002년 2월 : 충북대학교 농공학과(농학박사)
- 1996년 4월 ~ 2005년 2월 : 한국수자원공사 수자원연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 지역건설공학과 부교수

<관심분야>

강우-유출, 방재공학, 물관리 시스템

황 주 하(Ju-Ha Hwang)

[준회원]



- 2008년 2월 : 충북대학교 지역건설공학과(공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 지역건설공학과 석사과정

<관심분야>

강우-유출, 수문학