한국위기관리논집 제11권 제5호 2015. 5 135~149쪽

기후변화에 따른 확률 일최대유량 산정(II)*

- 빈도분석을 중심으로 -

Estimating Probable Annual Maximum Daily Streamflow on Climate Change

- On the Frequency Analysis -

Hyung San Kim**, Seung Jin Maeng***, Man Ha Hwang

Department of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk National University,

1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Korea

Abstract

In this study probable annual maximum daily streamflow was computed through the frequency analysis of daily annual maximum flood and then further change in probable annual maximum daily streamflow was analyzed according to the future climate change by applying climate change scenarios. After the extraction of RCP scenarios and new greenhouse gas scenario from the selected meteorological station in the Geum River watershed, daily runoff was simulated by applying the SSARR runoff model. The independent test, homogeneity test and outlier test were conducted after configuring the existing measured annual maximum daily streamflow and annual maximum daily streamflow series calculated by the SSARR model. Results of L-moment ratio diagram and Kolmogorov-Smirnov test showed that among the Gumbel, Generalized extreme value, Generalized logistic, Generalized pareto, Generalized normal and Pearson type 3 distributions, Pearson type 3 distribution was found to be more appropriate compared to other probability distributions. Parameters of the PT3 distribution such as scale, location and shape were estimated by means of the L-moment method and then Probable annual maximum daily streamflow of the target watershed was designed by using the estimated parameters of PT3 distribution. Variation rate was analyzed using climate change scenarios at the major control

* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

** Tel. +82-70-8227-2762. E-mail. kimhs@cbnu.ac.kr

*** Corresponding author. Tel. +82-43-261-2576. Fax. +82-43-271-5922. E-mail. maeng@cbnu.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Apr. 22, 2015 / Revised: May. 10, 2015 / Accepted: May. 20, 2015

1738-8368 © 2015 Crisis and Emergency Management: Theory and Praxis. All rights reserved.

www.kci.go.kr

points of Geum River watershed. The findings of this study are expected to be used as basic data required for the hydraulic structures at Geum River watershed to cope with climate change in the future.

Key words: RCP scenario, Geum River watershed, probable annual maximum daily streamflow

국문초록

본 연구에서는 일 단위 기반의 연최대홍수량의 빈도분석을 통하여 확률 일최대유량을 유도하고, 이를 기후변화 시나리오에 확장하여 적용함으로써 미래 기후변화에 따르는 확률 일최대유량의 변화를 분석하였다. 새로운 온실가스 시나리오인 RCP 시나리오를 금강유역의 선정된 기상관측소로부터 추출하였으며 이를 유출모형인 SSARR 모형에 적용하여 일단위 유출량을 모의하였다. 기존 관측된 일최대유량과 SSARR 모형에 의해 산정된 일최대유량의 계열을 구성한 후, 독립성, 동질성 및 이상치 검정을 실시하였다. L-모멘트비도에 의한 검정과 Kolmogorov-Smirnov 검정을 수행한 결과 적용된 Gumbel, Generalized extreme value, Generalized logistic, Generalized pareto, Generalized normal 및 Pearson type 3 분포 중 Pearson type 3 분포가 타 확률분포에 비해 적정한 것으로 검정되었다. PT3 분포의 매개변수인 척도매개변수, 위치매개변수, 형상매개변수를 L-모멘트법에 의해 추정하고 L-모멘트법에 의해 추정된 PT3 분포의 매개변수를 이용하여 대상유역의 확률 일최대유량을 유도하였으며, 금강유역 주요지점의 기후변화 시나리오 적용에 따른 변동율을 분석하였다. 본 연구의 결과는 향후 금강유역의 기후변화에 대응하는 수공구조물에 필요한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

주제어: RCP 시나리오, 금강유역, 확률 일최대유량

Ⅰ. 서론

국내외적으로 기후변화가 수문학적 극한사상에 미치는 영향에 대한 주제는 지난 수십 년간 수자원 관련 분야에 많은 관심을 이끌어 왔으며, 많은 선행 연구들에서는 극한수문사상의 규모 및 빈도가 증가한다는 결과와 배수관련 기반시설물의 첨두홍수량과 빈도를 변화시킬 것으로 예상하고 있다(김병식 등, 2013). 실제로 우리나라의 경우 계획빈도를 초과하는 홍수 발생으로 피해가 발생 하였는데 2011년 7월 곤지암천 유역에 발생된 홍수의 경우, 하천기본계획에서 제시한 계획홍수위보다 홍수흔적수위가 높았고, 기존제방고보다 높아 월류로 인해 광주하수처리장과 삼육재활원 등에 극심한 피해를 입혔다(박종윤, 2012). 이는 수공구조물의 설치 시점에 따라 설계에 적용된 홍수량이 기후변화로 인하여 증가된 홍수량에 비해 적게 산정되어 발생된 경우라고 할 수 있다. 따라서 앞으로 발생할 수 있는 이러한 상황에 대처하기 위해서는 장차 계획하고 있는 수공구조물의 설계시 적용되는 확률홍수량의 신뢰성 확보가 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

확률홍수량 산정방법은 관측된 연최대치홍수량 계열을 대상으로 빈도분석하는 방법과 확률강우량-단위도법에 의해 추정하는 방법으로 구분된다. 실제 수공구조물의 설계시 필요한 확률홍수량은 관측된 홍수량 자료를 이용하여 분석하는 것이 최선이다. 그러나 우리나라의 경우 과거 홍수량 자료의 부

www.kci.go.kr

족과 신뢰성 문제로 홍수량 자료에 의해서 직접설계, 평가되지 못하고, 소위 설계강우-단위도법에 의해서 빈도홍수량을 추정하는 등 간접적인 빈도홍수량 추정방법이 표준방법으로 자리매김하고 있다(김남원, 2013). 홍수량 자료의 부족을 이유로 설계강우-단위도법에 의해 산정된 빈도별 홍수량은 현재 우리나라 대부분의 유역에 적용되어 있는 실정이며 대부분의 연구도 간접적인 확률홍수량 추정방법에 초점을 맞추고 있다. 그러나 최근 들어 우리나라도 양질의 홍수량 자료가 지속적으로 확보되고 있어, 간접적인 빈도별 홍수량 추정보다 관측된 연최대치홍수량 자료에 대한 확률홍수량 추정이 바람직하고 이와 관련된 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

확률홍수량은 지속시간별로 산정하여 최대 확률홍수량이 발생하는 임계지속시간을 찾는 것이 매우 중요하다. 그러나 본 연구에서는 기후변화 시나리오에 의한 강수량이 일단위로 제공되고 있어 임계지속시간을 고려한 확률홍수량은 물리적으로 산정할 수가 없었다.

따라서 본 연구에서는 일 단위 기반의 연최대홍수량을 산정하기 위해 기 관측된 홍수량자료에 대한 빈도분석을 실시하여 확률 일최대유량을 유도하고, 동일한 방법으로 기후변화 시나리오에 확장하여 적용함으로써 미래 기후변화에 따르는 확률 일최대유량의 변화를 분석하고자 하였다. 상기의 결과는 홍수를 발생시키는 임계지속시간을 제시 할 수는 없으나 기후변화로 인해 미래에 발생할 수 있는 확률 일최대유량을 제시함으로써, 현재 설치되어 있는 기존 수공구조물의 기후변화로 인해 발생하는 피해 규모를 파악하거나 미래의 홍수 양상 변화 추이를 살필 수 있는 자료로 활용되어질 것이다.

II. 수문자료 및 분석방법

1. 수문자료 구성

금강유역 주요지점에 대한 확률 일최대유량 산정을 위해 연구 I에서 산정된 기 관측 일최대유량과 RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오가 반영된 일최대유량 자료를 적용하였다. 금강유역의 용담댐, 대청댐, 공주, 규암 및 강경지점의 1981년부터 2013년까지의 수위-유량관계곡선식으로부터 산정된 홍수량과, 유출모형에 의해 분석된 2014년부터 2100년까지의 RCP 시나리오별 홍수량의 장기추세를 분석하기 위해 2020년부터 10년 단위로 <그림 1>과 같이 수문자료를 구성하였다.

2. 빈도분석

일반적으로 확률홍수량을 산정하기 위해 사용되는 분포는 10여 가지에 이르나 본 연구에서는 자연현상을 비교적 잘 모의할 수 있는 매개변수가 3개인 확률분포를 대상으로 하였다. 적용한 분포는 Gumbel(GUM), Pearson type 3(PT3), Generalized Extreme Value(GEV), Generalized Logistic(GLO),

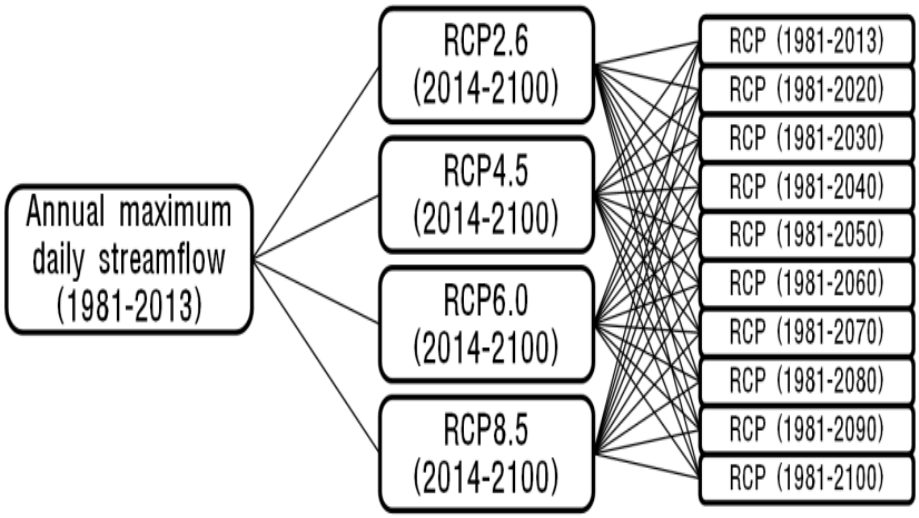
www.kci.go.kr

Generalized Pareto(GPA) 및 Generalized Normal(GNO)이다. 적용 분포 중에서 매개변수가 2개인 Gumbel 분포는 Generalized Extreme Value 분포 계열이기 때문에 적용분포에 포함하여 분석하기로 하였다.

적용되는 확률분포의 매개변수 추정법에는 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법 등이 있으나 확률가중모멘트법의 선형조합으로 인해 편의가 제거된 모멘트를 구하는 방법인 L-모멘트법의 효용성이 검증되어 적용분포의 매개변수를 L-모멘트법에 의해 산정하기로 하였다. 적용된 분포의 매개변수 추정방법인 L-모멘트는 확률가중모멘트의 선형조합으로서 이들의 관계는 각각 Hosking(1990; 1997), Maidment(1992) 및 WMO(1989)에 의해 언급되었으며, 우리나라 에서도 홍수량 빈도분석에 적용되었다(김남원 외, 2004; 맹승진 외, 2006; 맹승진 외, 2009;; Choo, *et. al.*, 2012).

3. 분석방법

본 연구의 분석과정은 다음과 같다. 기 관측된 일최대유량 계열을 기준으로 2020년부터 10년씩 추가된 기후변화 시나리오에 의한 일최대유량 자료를 <그림 1>과 같이 구성한 후 수문자료의 통계적 분석 가능여부를 검정한다. 일최대유량 계열의 기본통계치 분석을 실시한 후 독립성, 동질성 및 이상치 검정을 통한 분석여부를 판정한다. 적합도 검정을 통하여 GUM, PT3, GEV, GLO, GPA 및 GNO 분포를 대상으로 적정 분포를 선정한다. 지점 및 분석기간에 따른 적정 분포의 매개변수를 L-모멘트법에 의해 산정하고 선정된 적정 분포를 이용하여 확률 일최대유량을 추정한다. 기후변화 시나리오가 적용된 확률 일최대유량을 분석한다.



<그림 1> Composition of Annual Maximum Daily Streamflow

www.kci.go.kr

III. 결과 및 고찰

1. 수문자료의 통계적 분석 가능여부 검정

점진적으로 구성된 수문자료를 Grubbs-Beck에 의한 검정법을 사용하여 이상치의 유무를 검정하였다. 이 방법은 정규분포로 가정하고 평균과 표준편차를 이용하여 상한치 또는 하한치가 유의수준 10% 내에 있는지 여부를 검정하는 방법으로, 분석결과 시나리오별 점진적 구성된 몇 개의 수문자료에서 하한치가 발생되었다. 본 연구에서는 일최대유량을 대상으로 수문자료를 구성하고 분석하는데 목적이 있으므로, 하한치의 수문자료는 제거한 후 수문자료를 재구성하였다.

2. 기본통계치 분석

재구성된 금강유역 용담댐, 대청댐, 공주, 규암 및 강경지점의 수문자료에 대한 기본통계치인 평균(Mean), 표준편차(Standard deviation), 왜곡도계수(Coefficient of skewness), 변동계수(Coefficient of variation) 및 첨예도(Coefficient of kurtosis)를 각 지점별로 산정하였다. 표본 예로 규암지점의 RCP 8.5 시나리오를 적용한 결과는 <표 1>과 같다. <표 1>에서 보는 바와 같이 규암지점의 일최대유량 계열 구성 기간별 평균치와 표준편차는 각각 2,341.0~2,952.0 및 1,282.0~1,400.5의 범위를, 왜곡도계수와 변동계수는 각각 0.491~1.171 및 0.468~0.588의 범위를 그리고 첨예도는 2.192~4.564의 범위를 나타내었다.

<표 1> Basic Statistics for Gyuam Watershed Using RCP 8.5 Scenario

Duration of observed data	Mean($\overline{x}$) (m^3/s)	Standard Deviation (S)	Coefficient of Skewness (C_S)	Coefficient of Variation (C_V)	Coefficient of Kurtosis (C_K)
1981-2013	2,894.384	1,358.085	0.532	0.469	2.388
1981-2020	2,951.965	1,396.440	0.491	0.473	2.192
1981-2030	2,859.120	1,339.158	0.508	0.468	2.406
1981-2040	2,767.783	1,363.782	0.644	0.493	2.580
1981-2050	2,645.661	1,314.635	0.827	0.497	2.898
1981-2060	2,536.697	1,304.646	0.846	0.514	3.010
1981-2070	2,479.858	1,302.601	0.892	0.525	3.045
1981-2080	2,435.553	1,282.419	0.904	0.527	3.115
1981-2090	2,340.960	1,282.033	0.879	0.548	3.228
1981-2100	2,380.762	1,400.511	1.171	0.588	4.564

3. 일최대유량 계열의 독립성, 동질성 및 이상치 검정

www.kci.go.kr

기후변화 시나리오가 적용된 유역의 분석기간별 일최대유량 계열의 통계학적 분석 여부를 판단하기 위해 독립성 및 동질성 검정을 각각 Wald- Wolfowitz 및 Mann-Whitney 검정을 통하여 수행하였다 (Wald & Wolfowitz, 1940; Mann & Whitney, 1947). 또한 구성된 일최대유량의 통계학적 분석을 위해 상한과 하한의 극치자료가 포함되었는지를 판단하는 이상치 검정 방법인 Grubbs-Beck Test를 수행하였다. 표본 예로 규암지점의 RCP 8.5 시나리오를 적용한 결과는 <표 2> 및 <표 3>과 같다.

<표 2> Independence and Homogeneity Tests at Gyuam Watershed Using RCP 8.5 Scenario

Duration of Observed Data	Wald-Wolfowitz's Test for Independence			Mann-Whitney's Test for Homogeneity		
	u	$u_{\alpha/2}$	Test	Z	$Z_{\alpha/2}$	Test
1981-2013	0.275	1.96	○	-0.79	1.96	○
1981-2020	-0.444		○	-0.28		○
1981-2030	-0.696		○	-0.53		○
1981-2040	-0.855		○	-1.05		○
1981-2050	-0.372		○	-1.66		○
1981-2060	-0.179		○	-1.25		○
1981-2070	-0.037		○	-1.87		○
1981-2080	0.002		○	-1.62		○
1981-2090	0.474		○	-1.72		○
1981-2100	1.382		○	-1.89		○

u : W-W test statistic

Z : M-W test statistic

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

○ : Accept at a 5% level of significance

<표 3> Grubbs and Beck Test for Detection of Outliers at Gyuam Watershed Using RCP 8.5 Scenario

Duration of Observed Data	Grubbs and Beck test			Test
	K_N	X_L	X_H	
1981-2013	2.603	667.8	9,894.9	○
1981-2020	2.661	655.4	10,440.9	○
1981-2030	2.744	614.6	10,471.9	○
1981-2040	2.817	543.9	10,885.8	○
1981-2050	2.087	536.8	10,183.0	○
1981-2060	2.926	453.6	10,821.3	○
1981-2070	2.969	431.1	10,821.0	○
1981-2080	3.006	415.9	10,812.9	○
1981-2090	3.046	318.0	12,495.4	○
1981-2100	3.075	287.2	13,829.0	○

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

www.kci.go.kr

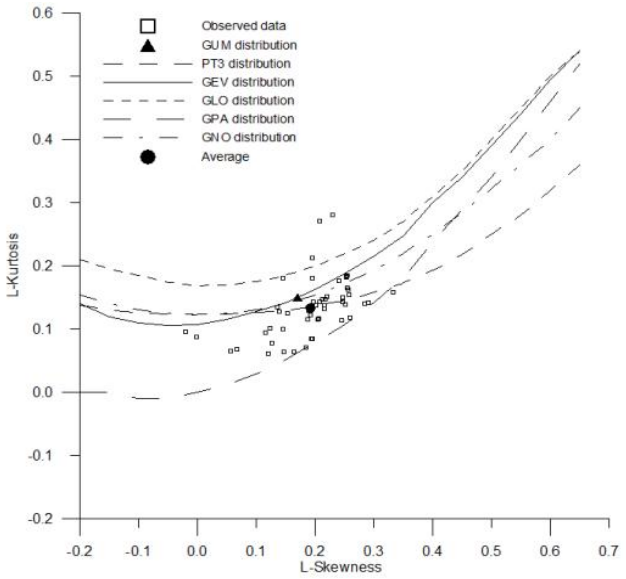
분석결과 금강유역 주요지점과 RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오의 일최대유량 계열에 대한 독립성, 동질성 및 이상치 검정결과 독립성과 동질성이 인정되었고 이상치가 없음이 검정되었다. 따라서 본 연구에서 적용된 일최대유량 계열의 자료는 수문자료로서 분석하기에 타당한 것으로 인정되었다.

4. L-모멘트비에 의한 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도 산정

선정된 GUM, PT3, GEV, GLO, GPA 및 GNO 분포의 매개변수와 L-모멘트비도에 의한 적합도 검정을 위해 L-왜곡도 및 L-첨예도를 산정의 산정이 필요하다. 본 연구에서는 표본자료의 크기가 작거나 왜곡된 자료일 경우에도 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있는 확률가중모멘트의 선정조합인 L-모멘트값을 구하고 L-왜곡도 및 L-첨예도를 산정하였다.

5. 적합도 검정

선정된 분포에 대한 적합도 검정은 L-모멘트비도에 의한 방법과 비매개변수 방법인 K-S검정을 사용하였다. 적정 확률분포의 선정은 L-모멘트비에 의해 L-모멘트비도를 도시함으로써 이루어질 수 있다. 본 연구에서 산정된 GUM, PT3, GEV, GLO, GPA 및 GNO 분포의 L-왜곡도를 x축에, L-첨예도를 y축에 플로팅하여 L-모멘트비도를 작성한다면 이를 근거로 적정한 확률분포를 선정 할 수 있다. 표본 예로 RCP 8.5 시나리오를 적용한 L-모멘트비도는 <그림 2>와 같고, 규암지점의 RCP 8.5 시나리오를 적용한 K-S검정 결과는 <표 4>와 같다.



<그림 2> L-moment Ratio Diagram Using RCP 8.5 Scenario

www.kci.go.kr

<표 4> Kolmogorov-Smirnov Test for 6 Probability Distributions Using L-moment Method Considering the RCP 8.5 Scenario at Gyuam Watershed

Duration of Observed Data	D_n												$D_{0.05}$
	GUM	Test	GEV	Test	GLO	Test	GPA	Test	GNO	Test	PT3	Test	
1981-2013	0.0592	○	0.0608	○	0.0788	○	0.0648	○	0.0597	○	0.0556	○	0.2367
1981-2020	0.0536	○	0.0546	○	0.0722	○	0.0592	○	0.0535	○	0.0493	○	0.2206
1981-2030	0.0523	○	0.0453	○	0.0575	○	0.0696	○	0.0460	○	0.0446	○	0.1984
1981-2040	0.0356	○	0.0388	○	0.0563	○	0.0636	○	0.0378	○	0.0360	○	0.1801
1981-2050	0.0694	○	0.0626	○	0.0775	○	0.0618	○	0.0601	○	0.0549	○	0.1674
1981-2060	0.0835	○	0.0747	○	0.0871	○	0.0763	○	0.0728	○	0.0687	○	0.1550
1981-2070	0.0853	○	0.0711	○	0.0841	○	0.0642	○	0.0692	○	0.0655	○	0.1458
1981-2080	0.0780	○	0.0647	○	0.0774	○	0.0548	○	0.0624	○	0.0591	○	0.1381
1981-2090	0.0588	○	0.0502	○	0.0610	○	0.0580	○	0.0497	○	0.0483	○	0.1303
1981-2100	0.0674	○	0.0494	○	0.0589	○	0.0629	○	0.0489	○	0.0478	○	0.1247

○ : Significance level can be acknowledged

× : Significance level can't be acknowledged

<표 4>에 나타난 바와 같이 5% 유의수준에서 6개 분포를 따르는 것으로 인정되었으며, 이러한 결과는 RCP 2.6, 4.5, 6.0 시나리오에서도 동일한 결과를 나타내었다. <그림 2>의 결과와 기후변화 시나리오 모두 L-모멘트비의 평균값에서 L-왜곡도의 평균값이 타 확률분포의 L-모멘트비 곡선보다 PT3 분포의 L-모멘트비 곡선에 보다 근접되어 있었다. 따라서 적합도 검정인 L-모멘트비도에 의한 검정과 K-S 검정을 수행한 결과 적용된 6개 확률분포 중 PT3 분포가 타 확률분포에 비해 적정한 것으로 검정되어 적정 확률분포로 PT3 분포를 최종적으로 선정하였다.

6. L-모멘트법에 의한 적정 분포의 매개변수 산정

적정 확률분포로 선정된 PT3 분포의 매개변수인 위치매개변수 ξ, 척도매개변수 α 및 형상매개변수 β를 L-모멘트법에 의해 각각 추정하였다. 표본 예로 규암지점의 RCP 8.5 시나리오를 적용한 결과는 <표 5>와 같다.

www.kci.go.kr

<표 5> Parameters Calculated by PT3 Distribution Using L-moment Method Considering the RCP 8.5 at Gyuam Watershed

Duration of Observed Data	Parameter		
	ξ	α	β
1981-2013	-482.7412	592.8914	5.6960
1981-2020	-516.3131	612.2413	5.6649
1981-2030	-726.8786	535.1303	6.7012
1981-2040	-257.2570	654.7929	4.6198
1981-2050	315.9273	789.4081	2.9512
1981-2060	270.5576	793.1274	2.8572
1981-2070	354.8877	846.7509	2.5096
1981-2080	337.0785	829.1870	2.5308
1981-2090	86.6438	760.5764	2.9640
1981-2100	198.1053	916.7891	2.3808

7. 적정 분포의 L-모멘트법에 의한 확률 일최대유량 유도

적정 확률분포로 선정된 PT3 분포에 대한 유역 및 기후변화 시나리오의 일최대유량 계열 구성 기간별 확률 일최대유량을 PT3 분포의 매개변수인 위치매개변수, 척도매개변수 및 형상매개변수에 의해 유도하였다. 표본 예로 규암지점의 RCP 8.5 시나리오를 적용한 결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> Probable Annual Maximum Daily Streamflow at Gyuam Watershed Using RCP 8.5 Scenario

(Unit : ㎥/s)

Duration of Observed Data	Return Period						
	2	5	10	20	50	100	200
1981-2013	2,699	3,992	4,787	5,507	6,390	7,021	7,629
1981-2020	2,750	4,082	4,901	5,644	6,553	7,204	7,831
1981-2030	2,682	3,943	4,709	5,399	6,240	6,838	7,414
1981-2040	2,553	3,845	4,653	5,392	6,303	6,958	7,592
1981-2050	2,388	3,645	4,464	5,228	6,187	6,886	7,569
1981-2060	2,279	3,522	4,334	5,094	6,048	6,745	7,425
1981-2070	2,205	3,451	4,277	5,054	6,037	6,756	7,461
1981-2080	2,167	3,392	4,203	4,966	5,931	6,637	7,328
1981-2090	2,093	3,307	4,097	4,834	5,759	6,434	7,092
1981-2100	2,084	3,399	4,275	5,103	6,151	6,920	7,674

RCP 8.5 시나리오를 적용한 200년 빈도 일최대유량은 금강유역의 용담댐, 대청댐, 공주, 규암 및 강경지점에서 일최대유량 계열의 구성기간이 증가함에 따라 확률 일최대유량의 값이 일반적으로 감소하고 구성기간 일부에서 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 분석 시작계열을 기준으로 점진적으로 구성된 일최대유량 계열에서 극치의 일최대유량이 포함되지 않거나 적게 포함되었음을 의미한다.

www.kci.go.kr

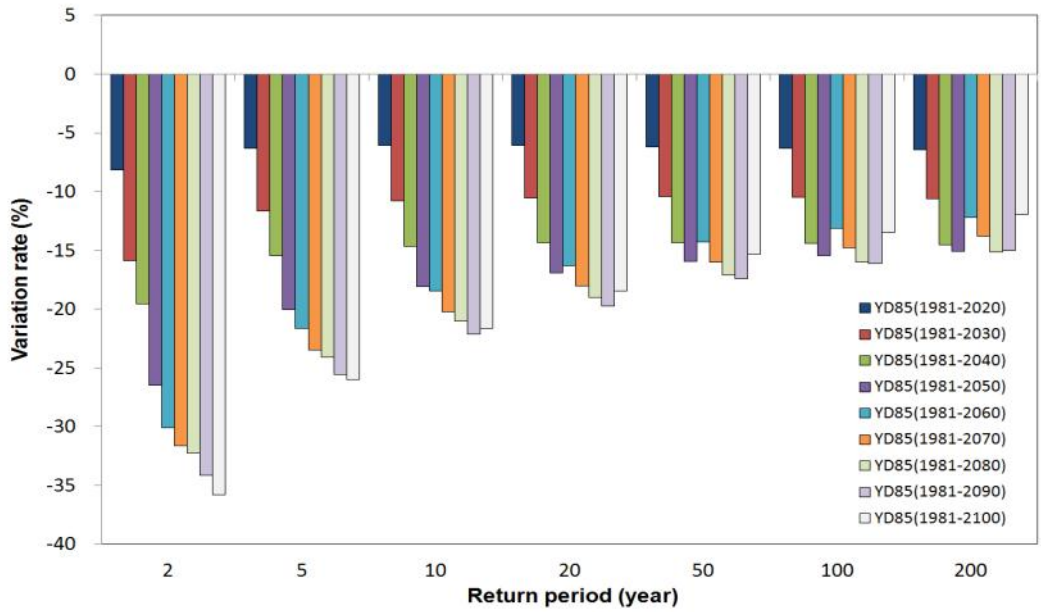
8. 기후변화 시나리오 적용에 따른 확률 일최대유량 분석

1981년부터 2013년의 일최대유량 계열에 대한 빈도별 홍수량을 기준으로, 기후변화 시나리오가 적용된 일최대유량 계열의 빈도별 홍수량간의 재현기간별 변동률을 식 (3.1)을 이용하여 산정하였다.

$$R_v = \frac{(Q_{y',t} - Q_{y,t})}{Q_{y,t}} \times 100 \tag{3.1}$$

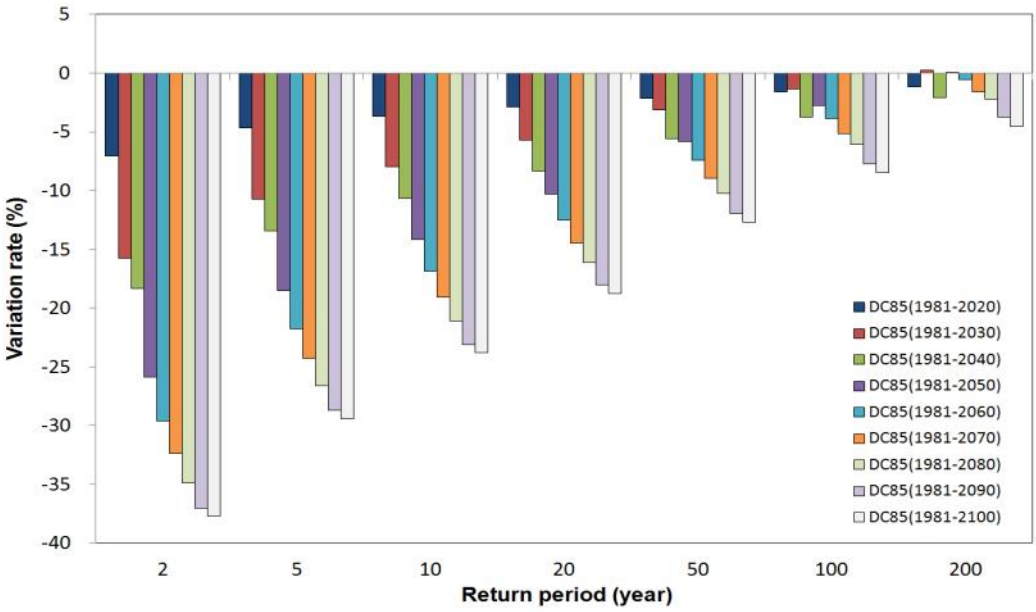
여기에서 R_v는 변동률, $Q_{y,t}$는 1981년부터 2013년까지의 일최대유량에 의해 산정된 재현기간 t년의 홍수량(이하 기준 홍수량), $Q_{y',t}$는 기후변화 시나리오가 적용된 일최대유량 계열에 의해 산정된 재현기간 t년의 홍수량(이하 대상 홍수량)이다.

변동률의 값이 양의 값이면 기준 홍수량보다 대상 홍수량이 크다는 것을 의미하며, 음의 경우에는 반대로 작다는 것을 의미한다. 금강유역 용담댐, 대청댐, 공주, 규암 및 강경지점의 RCP 8.5 시나리오를 적용한 재현기간에 따른 변동률은 <그림 3>~<그림 7>과 같다.

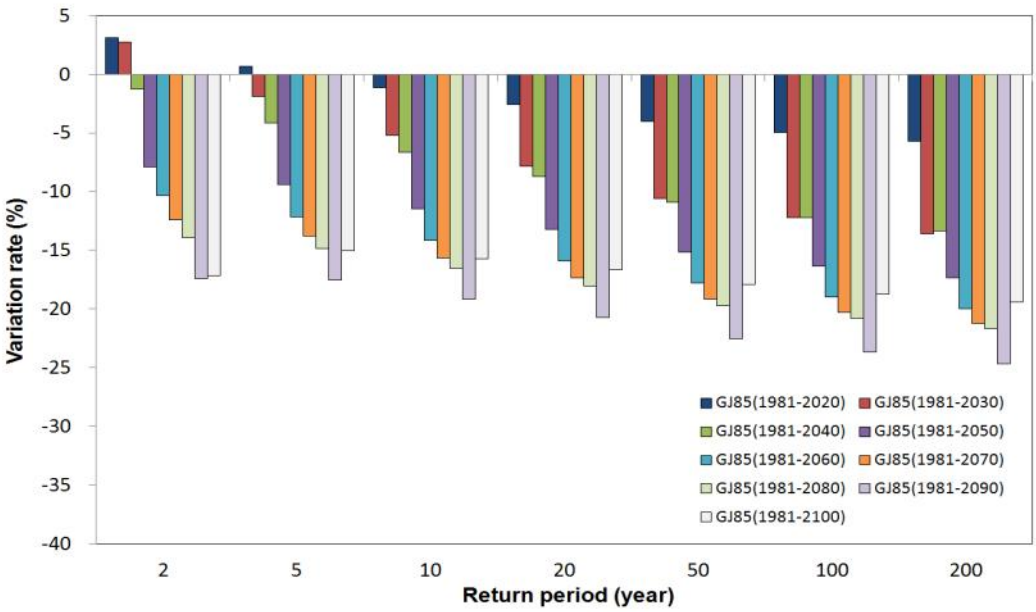


<그림 3> Variation Rate of Probable Annual Maximum Daily Streamflow at Yongdam Watershed Using RCP 8.5 Scenario

www.kci.go.kr

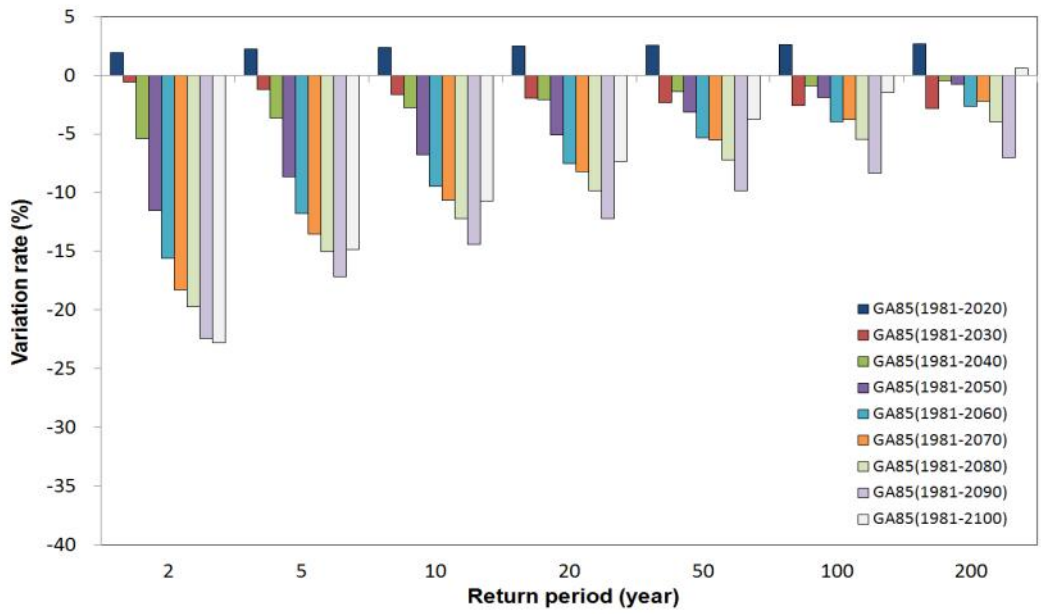


<그림 4> Variation Rate of Probable Annual Maximum Daily Streamflow at Daecheong Watershed Using RCP 8.5 Scenario

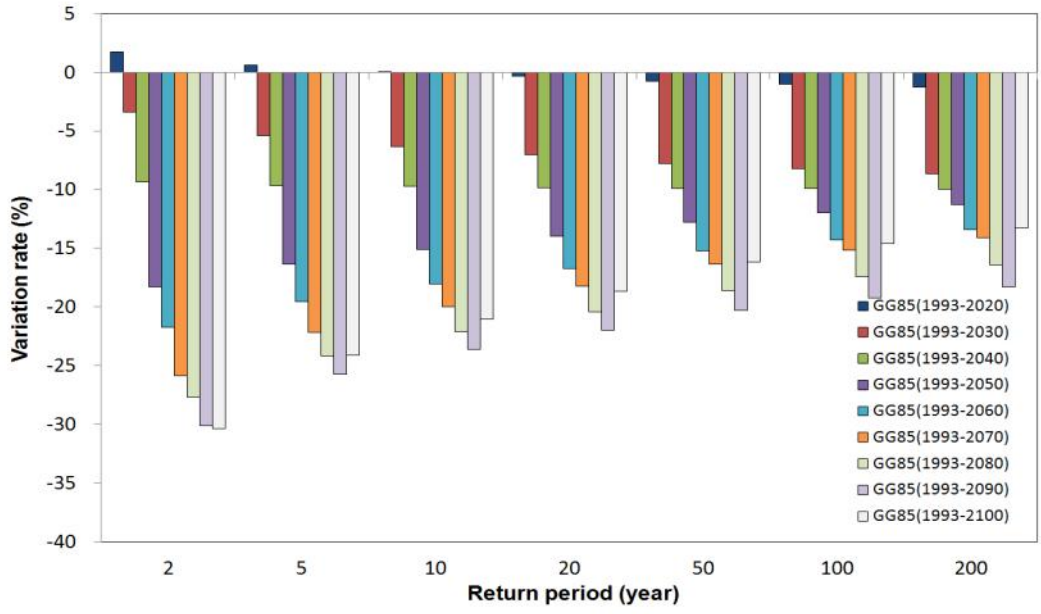


<그림 5> Variation Rate of Probable Annual Maximum Daily Streamflow at Gongju Watershed Using RCP 8.5 Scenario

www.kci.go.kr



<그림 6> Variation Rate of Probable Annual Maximum Daily Streamflow at Gyuam Watershed Using RCP 8.5 Scenario



<그림 7> Variation Rate of Probable Annual Maximum Daily Streamflow at Ganggyeong Watershed Using RCP 8.5 Scenario

www.kci.go.kr

<그림 3>~<그림 7>에서 보는 바와 같이 RCP 8.5 시나리오가 적용된 각 유역별 재현기간에 대한 변동률은 음의 값을 나타내고 있어 기준 홍수량보다 대상 홍수량이 작게 분석되어 확률 일최대유량의 감소가 예상되었다. 또한 음의 변동률은 공주유역을 제외한 모든 유역에서 재현기간이 증가함에 따라 감소하고 있다. 이는 재현기간이 증가함에 따라 기준 홍수량에 근접함을 의미한다. 공주유역의 경우 타 유역에 비해 재현기간 증가에 따라 일최대유량이 감소하여 다른 양상을 보이는 것으로 나타났다.

RCP 2.6 시나리오가 적용된 유역별 재현기간에 대한 변동률은 대부분 음의 변동률을 나타내고 있으며, 대청댐과 규암 지점의 재현기간 100년 및 200년 일부계열에서 양의 변동률을 보여 확률 일최대유량의 증가 및 감소가 예상되었다. 음의 변동률은 공주유역을 제외한 모든 유역에서 재현기간이 증가함에 따라 기준 홍수량에 근접하였다.

RCP 4.5 시나리오가 적용된 유역별 재현기간에 대한 변동률은 용담댐과 공주 지점 모두 음의 변동률을 나타내고 있으며, 재현기간이 증가함에 따라 용담댐은 기준 홍수량에 근접하고 공주 지점은 음의 변동률이 커졌다. 대청댐, 규암 및 강경 지점의 대부분은 음의 변동률을 보이나 재현기간 20년 이후를 기점으로 지점마다 상의하게 양의 변동률을 보여 확률 일최대유량의 증가 및 감소가 예상되었다. 재현기간이 증가하면서 대청댐, 규암 및 강경 지점의 음의 변동률은 기준 홍수량에 근접하고 일부 양의 변동률로 변경되었다.

RCP 6.0 시나리오가 적용된 유역별 재현기간에 대한 변동률은 용담댐과 공주 지점모두 음의 변동률을 나타내고 있으며, 재현기간이 증가함에 따라 용담댐은 기준 홍수량에 근접하고 공주 지점은 음의 변동률이 커졌다. 대청댐과 강경 지점의 대부분은 음의 변동률을 보이나 재현기간 50년 이후를 기점으로 지점마다 상의하게 양의 변동률을 보여 확률 일최대유량의 증가 및 감소가 예상되었다. 규암 지점은 재현기간 20년 이하에서는 전반적으로 음의 변동률을 나타내다 50년 이상의 재현기간에서 급격한 양의 변동률을 나타내었다.

IV. 결론

본 연구에서는 일 단위 기반의 기 관측된 일최대유량과 기후변화 시나리오를 반영한 일최대유량 계열의 구성에 따른 확률 일최대유량을 산정한 후, 기후변화 시나리오에 따른 확률 일최대유량의 변화를 분석하였다. 이상의 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

기 관측된 일최대유량은 대상지점별로 수위-유량곡선식에 의해 구성하였고, 2100년까지의 기후변화 시나리오별 일최대유량은 기후변화 시나리오에 따른 일 강수량 및 온도자료를 유출모형인 SSARR 모형의 입력자료로 사용하여 SSARR 모형의 모의에 의해 생산하였다.

대상지점별로 구성된 일최대유량 계열의 독립성, 동질성 및 이상치 검정을 통해 통계학적 분석 여부를 판정한 결과, 최초로 검정된 자료에서 일부 부적절하게 판정되었으나 부적절하게 판정된 원인인 이상치를 제외하고 재검정을 시도하였다. 그 결과 대상지점의 일최대유량 계열 모두가 수문자료로서

www.kci.go.kr

통계학적 분석이 가능한 것으로 판정되었다.

실측 홍수량 자료와 기후변화 시나리오가 적용된 일최대유량 계열을 대상으로 적합도 검정인 L-모멘트비도와 K-S 검정을 수행한 결과 적용된 6개 확률분포 중 PT3 분포가 타 확률분포에 비해 적정한 것으로 나타났다.

기후변화 시나리오 적용에 따른 대상 지점의 확률 일최대유량 분석 결과 용담댐과 공주지점의 확률 일최대유량은 전체적으로 감소하는 것으로 분석되었으며, 대청댐과 규암유역의 확률 일최대유량은 각각 10%의 증가 및 감소되는 것으로 분석되었다. 강경유역의 확률 일최대유량은 현재와 유사하거나 감소하는 것으로 분석되었다.

확률 일최대유량이 증가되는 것은 RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오에 따른 영향을 크게 받지 않는 것으로 분석되었다. 동일한 지점을 대상으로 RCP 시나리오별 분석 결과는 RCP 8.5 시나리오에서 확률 일최대유량이 감소된 반면, RCP 4.5와 RCP 6.0 시나리오에서는 확률 일최대유량이 증가되었다.

상기의 연구 결과는 향후 기후변화에 대응하여 금강수계의 수공구조물 설계 및 수해예방에 필요한 기초자료로 제공될 수 있으며, 현재 금강수계에 설치되어 있는 기존 구조물이 기후변화로 인해 얼마 정도의 영향을 받을 수 있는지 판단하는 의사결정 자료로 유용하게 사용되어 질 것이다.

참고문헌

김남원. 2013. 홍수빈도해석에 의한 설계홍수량 산정방법 일반화. 한국수자원학회지. 46(5): 35-42.

김남원, 원유승. 2004. 우리나라의 빈도홍수량의 추정. 한국수자원학회논문집. 37(12): 1019-1032.

김병식, 하성룡. 2013. RCP 기후변화시나리오를 이용한 기후변화가 미호천 유역의 설계홍수량에 미치는 영향평가. 한국습지학회지, 15(1): 105-114.

맹승진, 김병준, 김형산. 2009. 3변수 및 4변수 Kappa 분포에 의한 설계홍수량 추정. 한국농공학회논문집. 51(4): 49-55.

맹승진, 이순혁, 이현규, 류경식, 송기헌. 2006. Wakeby 및 kappa 분포의 L-모멘트법에 의한 홍수빈도분석. 한국농공학회논문집. 48(5): 17-27.

박종윤. 2012. 재해복구정책의 패러다임 전환. 정책브리핑. 소방방재청.

Choo, T. H., Maeng S. J., Kim H. S. and Lee S. W. 2012. Characteristic of Design Floods Using L-Moment Based on Gradual Composition of Annual Maximum Flood Flow. *Irrigation and Drainage*. 61: 497-506.

Hosking, J. R. M. 1990. L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*. 52(2): 105-124.

www.kci.go.kr

Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. 1997. *Regional Frequency Analysis*. Cambridge University Press.

Maidment, D. R. 1992. *Handbook of Hydrology*. Texas. McGraw-Hill Inc.

Mann, H. B, and D. R. Whitney. 1947. On a Test of Whether One of Two Random Variables is Stochastically Larger Than the Other. *Annals of Math Statistics*. 18(1): 50-60.

Wald, A. and J. Wolfowitz. 1940. On a Test Whether Two Samples are from the Same Population. *Annals of Math Statistics*. 11(2): 147-162.

World Meteorological Organization. 1989. *Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis*. Operational Hydrology Report No. 33. WMO: Geneva. Switzerland.

김형산: 충북대학교 "기후변화에 따른 확률 일최대유량 산정"으로 공학박사 학위를 취득하였으며(2015. 2), 현재는 지역건설공학과에서 박사후 과정에 있다. 주요 연구 분야는 수자원관리 분야이다(kimhs@cbnu.ac.kr).

맹승진: 충북대학교에서 "LH-모멘트의 적정 차수 결정에 의한 설계홍수량 추정"으로 농학박사 학위를 취득하였으며(2002. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과 교수로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 수문통계, 강우-유출 모형 개발, 수문자료 측정 분야이며, 현재 한국농공학회 이사 등으로 활동 중이다.
(maeng@cbnu.ac.kr).

황만하: 전북대학교 "칼만필터를 이용한 추계학적 조석예측에 관한 연구"로 공학박사 학위를 취득하였으며(1992. 2), 현재는 한국수자원공사 K-water 연구원 수석연구원으로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 댐운영, 수자원관리 및 계획 분야이다(hwangmh@kwater.or.kr).

www.kci.go.kr

www.kci.go.kr