

기후변화에 따른 확률 일최대유량 산정(Ⅰ)*

- 유출분석을 중심으로 -

Estimating Probable Annual Maximum Daily Streamflow on Climate Change

- One the Runoff 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

With the recent increase in frequency of extreme hydrological events due to global warming and climate change, the number of natural disasters especially by flood have rapidly increased in Korea. To prevent this damage, there is a need of proper flood flow designing for dams and hydraulic structures considering climate changes. In this study annual maximum daily streamflow was computed considering the climate change scenarios and in next study probable annual maximum daily streamflow was analyzed according to the future climate change. Past hydrological data was collected from 83 rainfall stations and 8 weather stations situated at Geum River watershed, temperature and daily precipitation data of the RCP scenarios was extracted from the year 2014 to 2100. Average relative error during the calibration of model at Geum river watershed for the year 2006 and 2007 was 10.5% and 9.2% respectively and verification result for 2004 was 9.2%. Finally, by using the determined parameters, annual maximum flood was computed at the main points corresponding to RCP scenarios that was further utilized for computation of probable annual maximum daily streamflow.

Key words: Flood, climate change, annual maximum flood, rainfall-runoff model

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

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

*** Corresponding author. Tel. +82-42-261-2576. 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

국문초록

최근 들어 우리나라는 지구온난화와 기후변화에 따른 극치수문사상의 발생 빈도 증가로 자연재해 횡수와 피해 규모가 급증하고 있다. 자연재해 중 홍수에 의한 피해규모가 가장 크게 발생하고 있으며, 이를 예방하기 위해서는 기후변화에 따른 댐 및 수리구조물의 적정 설계홍수량 유도가 필요하다. 본 연구에서는 기후변화 시나리오를 반영한 일 단위 기반의 연최대홍수량을 산정하였으며, 다음 연구(2)에서는 미래 기후변화에 따른 확률 일최대유량의 변화를 분석하였다. 금강유역의 83개 강우관측소와 8개 기상관측소를 선정하여 과거 수문자료를 수집하였으며, RCP 시나리오의 일 강수량 및 온도자료를 2014년부터 2100년까지 추출하였다. 금강유역 주요지점의 기존 관측된 강수량과 유량자료를 일단위로 구성한 후 유출모형의 매개변수 감보정을 실시하였다. 2006년과 2007년 모형의 보정 후 지점에 대한 상대오차의 평균은 10.5%, 9.2%로 나타났으며, 2004년 검증결과 9.2%로 나타났다. 최종적으로 결정된 매개변수를 이용하여 RCP 시나리오별 주요 지점의 연최대홍수량을 추출하였으며 확률 일최대유량 산정에 활용하고자 하였다.

주제어: 홍수, 기후변화, 연최대홍수량, 강우-유출모형

1. 서론

우리나라는 평야부가 적고 대부분이 급준한 산지에다가 연평균강우량의 2/3가 여름 6, 7, 8월의 3개월에 걸쳐 집중되는 기상특성을 보이고 있다. 이로 인해 하천유황의 계절적인 진폭이 심하여 수해와 가뭄으로 인한 피해를 받기 쉬운 자연적 조건을 갖고 있어, 인명피해는 물론 재산상의 막대한 피해가 매년 반복되고 있는 실정이다.

특히 2002년 8월 우리나라를 통과한 태풍 루사의 영향으로 강릉지역에 24시간 최고 870.5 mm의 강우가 쏟아져 가능최대강우량(Probability Maximum Precipitation, PMP) 수준의 강우량을 기록하였다. 이 호우로 인해 246명의 인명피해와 5조 1,479억 원의 재산피해를 보게 되었다. 이듬해인 2003년 9월 발생한 태풍 매미에 의해 131명의 인명피해와 4조 2,225억 원의 재산피해가 발생하였으며, 2006년 7월부터 9월까지 태풍 에위니아, 빌리스 및 산산의 영향으로 62명의 인명피해와 1조 8,344억 원의 재산피해가 발생하였다(소방방재청, 2013). 2010년 9월 21일 13시부터 17시까지 및 2011년 7월 27일 2시부터 9시까지 2년에 걸쳐 단 몇 시간 만에 유례없는 집중호우로 인해 우리나라 수도 서울의 심장부인 광화문 광장이 침수되는 등 도심시가지 침수 피해가 극심하였다. 2011년 7월 우면산과 춘천 천전지구 산사태, 밀양 양지마을 산사태 등으로 많은 인명피해가 발생하였다. 이러한 호우로 인해 발생하는 지구온난화에 따른 기상이변의 일부로 받아들여지고 있으며, 앞으로 이와 같은 호우는 빈번히 발생될 것으로 예상되고 있다.

2013년 기준으로 재산 피해가 가장 크게 발생한 10번의 재해 중 5번이 2000년 이후에 발생하였다. 이러한 피해는 앞으로 증가할 것으로 예상되며 피해를 줄이기 위해 근본적으로 선행되어야 할 것은 용수공급을 위한 각종 댐 및 수리구조물의 설계지침인 적정 설계홍수량을 유도하는데 있다(맹승진 등,

2009). 특히 향후 기후변화 시나리오에 따른 확률홍수량의 변화를 파악하여 적용 할 수 있다면 더욱 홍수예방에 대비할 수 있을 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 장기간 유출량자료를 보유하고 있는 금강유역의 주요 지점을 선정하여 설계 홍수량에 기초가 되는 홍수량을 산정하고 유출모형에 적용하여 지점별 적정 매개변수를 선정한 후, 기후변화 시나리오를 적용하여 기후변화에 따른 주요 지점의 일최대유량을 산정하였다. 본 연구에서 산정된 일최대유량은 기후변화에 따른 홍수량 빈도분석의 자료로 활용하였다.

II. 기후변화 시나리오 및 모형의 선정

1. 기후변화 시나리오

1988년 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)와 유엔환경계획(UN Environment Program, UNEP)이 공동으로 기후변화 문제에 대처하고자 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)를 설립하였으며 기후변화에 의한 미래 변화 환경을 모의함에 있어 가장 공신력 있는 보고서를 출간하고 있다. 우리나라 기상청에서는 CMIP5 국제사업의 표준 실험체계를 통해 전지구 135 km 해상도의 기후변화 시나리오를 영국 기상청 해들리센터의 기후변화예측모델인 HadGEM2-AO를 도입하여 산출하였다. 미래 기후변화 전망을 평가하기 위해서 기본적으로 1860년의 온실가스 농도로 고정하여 최소 200년 이상 적분하는 제어적분 실험을 수행하였으며, 1860년부터 2005년까지 관측된 자연과 인위적인 강제력에 대한 과거기후 모의실험 후 RCP 시나리오에 따라 2100년까지 미래 기후변화를 전망하였다. 전지구 기후변화 시나리오 산출과 함께 한반도 지역 기후변화 시나리오를 영국 기상청 해들리센터 지역기후모델인 HadGEM3-RA를 사용하여 해상도 12.5 km의 한반도 지역 기후변화 시나리오를 산출하였다. 지역기후모델을 통해 생산된 한반도 기후변화 시나리오에서 각 격자점별로 계절 변동을 제거한 편차자료를 추출하여 PRIDE(PRISM based Downscaling Estimation Model)에 적용된 관측자료(2000~2010년)에서 얻은 기후값에 지역기후모델의 편차를 더하여 모델 계통오차가 제거된 새로운 1 km 격자형 남한상세 기후변화 시나리오를 생성하였다(김맹기 외, 2012; 김맹기 외, 2013; 기후변화정보센터).

본 연구에서는 통계학적 상세화 과정을 통해 생성된 남한상세 1 km의 기후변화 자료를 연구에 활용하였다. 현재 기후변화정보센터에서 제어적분 400년에 해당하는 남한상세 RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오를 제공하고 있으며 시나리오별 일 강우량과 일 평균온도 자료를 수집하였다. 수집된 기후변화 자료를 기후분야에서 보편적으로 사용하고 있는 바이너리포맷인 NetCDF 자료 포맷으로 변환한 후 R을 이용하여 추출하였다.

2. 모형의 선정

본 연구에서는 일단위로 제공되고 있는 기후변화 시나리오를 이용하여 유출분석을 실시하여야 하므로 장기유출분석이 가능한 SSARR 모형을 선정하였다. SSARR 모형은 하천유역의 장기 유출을 모의하고 평가할 수 있을 뿐만 아니라 유역 및 하천의 홍수유출에 대한 예보를 수행하기 위해 적용되어 왔다. 국내의 경우 한국수자원공사에서 4대강 유역에 적용한 사례가 있고, 한강, 금강 및 기타유역에 적용되었으며(류경식 외, 2007; 추태호 외, 2008; 맹승진 외, 2010; 이상진 외, 2010; 맹승진 외, 2013; 김진수 외, 2014; 맹승진 외, 2015), 국외에서는 캐나다 앨버타주 남부의 엘보강에 캐나다 지역기후모델(CRCM)의 결과를 사용하여 기후변화에 따른 홍수량 분석에 적용하였다(Valeo, *et. al.*, 2007). 또한 현재 우리나라 국토교통부 산하 홍수통제소 및 K-water와 같은 물관리 실무에서 활용중인 모형으로 본 연구에 적용하였다.

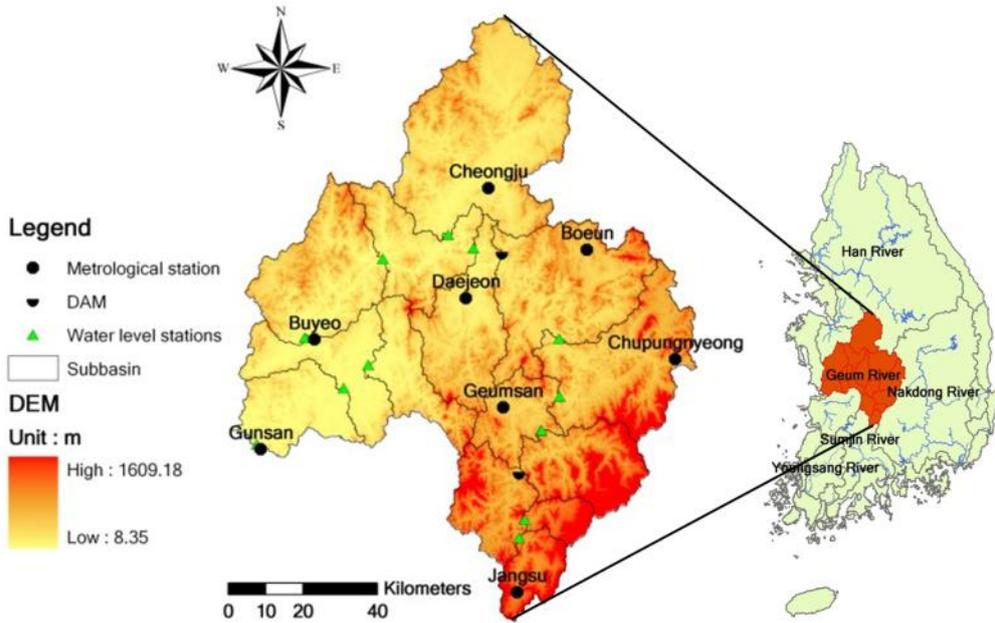
III. 대상유역 및 연구방법

1. 대상유역 선정

본 연구에서는 금강유역을 대상으로 하였으며 유역의 주요지점인 용담댐, 대청댐, 공주, 규암 및 강경지점을 대상으로 기후변화 시나리오를 적용한 일최대유량을 산정하고자 하였다. 용담댐, 대청댐, 공주, 규암 및 강경지점은 금강유역의 다른 지점에 비해 지속적인 유량관측이 이루어져 상대적으로 신뢰도가 높은 관측 자료를 보유하고 있으며, 대상지점이 지리적으로도 상류, 중류, 하류에 위치하여 선정하였다.

2. 대상유역 현황

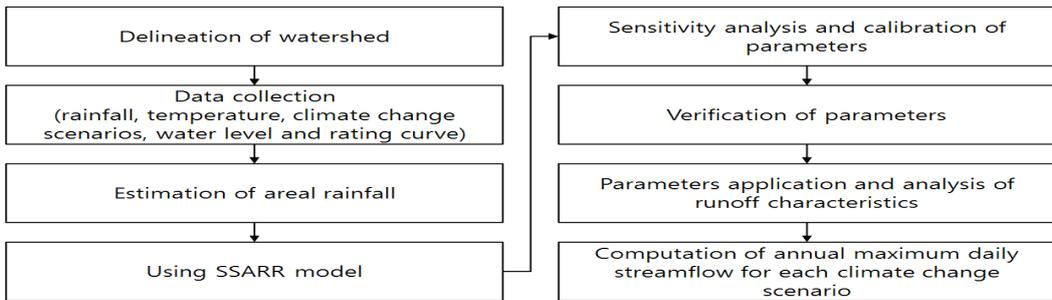
금강유역은 동경 126°41' ~ 128°25', 북위 35°35' ~ 37°05' 에 걸쳐 남한의 중앙 북서측에 위치하며 우리나라 면적의 약 1/10을 차지한다. 유역의 지세는 북쪽으로 차령산맥을 끼고 한강유역에 접해 있으며, 동쪽은 소백산맥에 접해 있어 낙동강유역과 접하고 있다. 또한 남쪽은 섬진강 및 만경강 유역에 접해있고 서쪽으로는 황해에 연하여 있다. 유역내 댐 현황을 살펴보면 금강 하구로부터 약 150 km 상류인 금강본류의 하류 중부에 위치한 다목적댐인 대청댐이 위치해 있고, 대청댐으로부터 190 km 상류 금강본류 지점에 용담 다목적댐이 있다. 또한 농업용수 전용댐으로는 미호천 상류에 미호지, 백곡지가, 논산천에는 탑정지가 위치해 있으며 금강본류 하구에는 금강 하구둑이 위치해 있다. 본 연구의 대상지역인 금강유역을 도식화한 것은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> Map of Geum River Watershed

3. 연구방법

기후변화 시나리오에 따른 일최대유량을 분석하기 위한 절차는 <그림 2>와 같다. 선정된 유출모형에 대한 대상유역의 수문자료 구성을 위해 주요 지점별로 유역을 분할한다. 일 강수량 자료와 분석지점의 일 수위 및 수위-유량곡선식을 수집한다. 수집된 강우관측소와 기상관측소를 대상으로 기후변화 시나리오의 일 강수량과 온도자료를 추출하고 면적강우량을 산정한다. 유출모형에 의한 일최대유량 산정을 위해 모형의 초기 매개변수를 선정한다. 주요 매개변수를 보정하고 보정된 매개변수를 사용하여 모형의 검증을 실시한다. 최종적으로 검증된 매개변수를 적용하여 기후변화 시나리오별 일최대유량 자료를 추출한다.



<그림 2> Study Flow Chart

IV. 결과 및 고찰

1. 유역분할

금강유역은 4대강 살리기 사업을 통해 세종보, 공주보 및 백제보가 건설되면서 금강수계의 유역을 표준유역단위로 구분하였다. 그러나 본 연구에서는 4대강 살리기 사업을 통하여 구분된 표준유역을 사용하지 않고, 금강수계의 주요 지점을 기준으로 14개 소유역으로 분할하였다. 금강유역의 유역면적은 9,913.9 km², 본류의 유로연장은 396.4 km, 유역평균폭 25.0 km, 유역형상계수 0.06으로 산정되었으며 지점별 유역면적 및 유로연장은 <표 1>과 같다.

<표 1> Characteristics of Geum River Watershed

Station	Area (km ²)	Length (km)	A/L (km)	A/L ²
Cheoncheon	165.7	8.9	18.7	2.10
Donghyang	284.8	9.5	30.0	3.16
Yongdam	479.5	37.3	12.8	0.34
Sutong	604.2	45.1	13.4	0.30
Hotan	376.8	35.8	10.5	0.29
Okcheon	1,074.0	45.4	23.7	0.52
Daechong	1,202.4	94.1	12.8	0.14
Maepo	738.9	12.4	59.6	4.81
Hapgang	1,854.3	63.7	29.1	0.46
Gongju	594.8	37.6	15.8	0.42
Gyuam	956.1	32.2	29.7	0.92
Nonsan	468.1	40.0	11.7	0.29
Ganggyeong	581.6	21.4	27.2	1.27
Hagueon	532.7	35.0	15.2	0.44

2. 수문자료 구성

강수량은 국가수자원관리종합정보시스템(Water Management Information System, WAMIS)에서 제공하는 일 단위 자료를 수집하였다. 금강유역 인근의 국토교통부 및 한국수자원공사의 강우관측소 103개를 선정한 후 1981년부터 2013까지 관측소별 강수량의 결측치, 이상치 및 금강유역에 영향이 미비한 관측소를 제외하고 최종적으로 83개의 강우관측소를 선정하였다<그림 3>. 선정된 관측소의 강수량을 이용하여 소유역별 티센계수에 의해 유역별 면적강수량 산정하였다.

평균기온은 1981년부터 2013년까지 금강수계의 장수, 금산, 추풍령, 보은, 대전, 청주, 부여, 군산관측소의 일 단위 자료를 기상청(Korea Meteorological Administration, KMA)을 통하여 수집하였으며 기상관측소의 위치는 <그림 1>과 같다.

기후변화 시나리오는 기후변화정보센터에서 제어적분 400년에 해당하는 남한상세 RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오를 이용하였으며, 83개 강우관측소와 8개 기상관측소의 위·경도를 이용하여 2014년부터 2100년까지의 일 강수량과 평균기온을 추출하였다. 시나리오별 강수량 자료와 소유역별 티센계수를 이용하여 면적강우량을 산정하였다.

기 관측 일최대유량은 1981년부터 2013년까지 금강유역의 용담댐, 대청댐, 공주, 규암 및 강경지점의 수위, 수위-유량 관계곡선식, 댐 유입량의 일 자료를 국가수자원관리종합정보시스템에서 수집하였다. 대청댐의 경우 모든 자료는 댐 유입량 자료를 이용하였으나, 용담댐은 댐건설 이전의 1981년부터 2000년까지는 용담수위표의 수위와 수위-유량곡선을 이용하고, 댐건설 이후의 2001년부터 2013년까지는 댐 유입량 자료를 이용하여 홍수량을 산정하였다. 강경지점의 경우 1981년부터 1992년까지는 일 수위자료가 없어 이 기간 동안의 홍수량은 산정하지 못하였으며, 1993년부터 2013년까지는 기 관측된 수위와 수위-유량곡선을 이용하여 홍수량을 산정하였다.



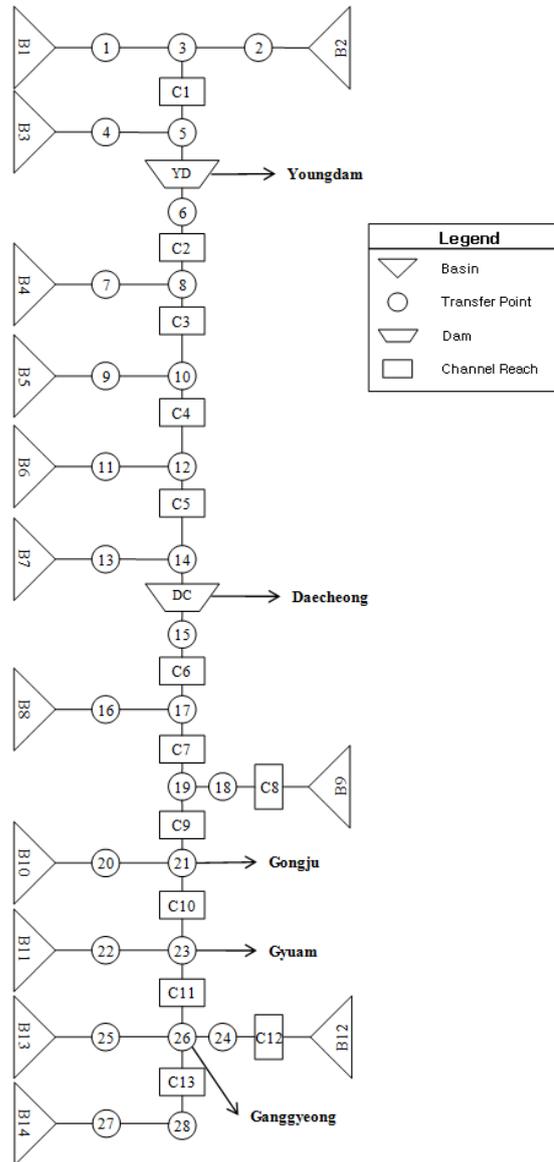
<그림 3> Rainfall Station of Watershed

3. 초기 매개변수 선정

수문모형에서 설정되는 매개변수는 크게 물리적 매개변수와 수문기상 매개변수 및 내부처리 매개변수로 구분될 수 있다.

물리적 매개변수를 설정하기 위하여 금강유역을 14개 소유역으로 분할하였으며 SSARR 모형에 입

력될 소유역과 하도 및 댐의 관계를 <그림 4>에 도시하였다. 물리적 매개변수에 해당하는 고도별 면적비는 유역면적과 고도별 면적비를 이용하였으며, 저수지의 경우 용담댐과 대청댐의 방류량 자료를 이용하였다.



<그림 4> Schematic Diagram of Geum River flow

수문기상 매개변수의 강우자료는 면적강우량을 이용하여 산정하였으며, 고도별 강우 가중치(ELPP)는 건설부(1987)에서 적용한 방법을 사용하였다. 강우강도별 ETI 가중치(EKE), 기온별 증발산 지수

(ETP), SMI별 ETI 가중치(DKE), 고도별 ETI 가중치(ETEL), 월별 ETI 가중치(ETM), 최대 차단량(TINTMX)은 SSARR 매뉴얼(1991)을 참조하여 설정하였다. 기온자료의 경우 금강수계 8개 기상관측소의 일평균 자료를 적용하였으며 강설에 대한 모의는 생략하였다.

내부처리 매개변수의 토양습윤상태별 유출율(SMI-ROP), 침투량별 지하수 유입률(BII-BFP) 및 지표수와 복류수 분리(S-SS)는 총 14개 소유역의 CN값에 따라 4개의 중유역으로 나누었다. 1번 소유역에서 3번 소유역까지는 a, 4번 소유역에서 7번 소유역까지는 b, 8번 소유역에서 10번 소유역까지는 c, 그리고 나머지 소유역은 d로 각각 매개변수를 적용하였다.

4. 모형의 보정

모형의 매개변수 보정을 위해서는 유출량의 모의값과 관측값 자료로부터 유역별 매개변수가 결정되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 금강수계의 용담댐, 대청댐, 공주, 규암 및 강경 수위표 지점의 5지점을 제어지점으로 선정하여 매개변수를 보정하였다. 보정을 위해 금강수계 모든 지점에 대해 저수시와 고수시의 관측유출량과 모의유출량을 동시에 만족하는 매개변수를 찾는 것은 현실적으로 어려운 문제이다(김태우, 2013). 본 연구에서는 기후변화 시나리오가 적용된 금강수계 지점별 일최대유량을 수집하는데 목적이 있으므로 매개변수의 보정은 최고유량값을 일치시키는 방향으로 하였다.

모형의 모의결과는 식 (4.1)의 상대오차(Relative error)를 적용하여 검토하였다.

$$R_e = \frac{|Q_o - Q_s|}{Q_o} \times 100 \quad (4.1)$$

여기서, R_e 는 상대오차, Q_o 는 관측된 연최대홍수량, Q_s 는 모의된 연최대홍수량이다.

모형의 보정 전에 초기 결정된 매개변수를 SSARR 모형에 적용하여 결과를 분석하였다. 비교적 최근 자료이며 4대강 정비사업으로 인한 수위의 영향을 받지 않는 2006년과 2007년을 분석기간으로 선정하여, 2006년 1월 1일부터 2007년 12월 31일까지 모의하였다.

SSARR 모형의 민감도 분석은 기 발표된 민감도 분석 결과를 참고하였다(한국수자원공사, 2000; 한국수자원공사, 2008; 김태우, 2013; 오득근, 2013; 정지혜, 2014). 기 발표된 민감도 분석결과 고수시 SSARR 모형에 민감한 내부처리 매개변수는 토양의 습윤상태를 나타내는 SMI, 총 유출량 중 지하수로 유입되는 비율을 나타내는 BII, 지표수와 복류수를 구분하는 S-SS, 지표수와 복류수의 저류시간인 T_s 로 나타났다.

최종적인 매개변수의 값은 기 발표된 민감도 분석 결과 민감도가 큰 매개변수를 대상으로 시행착오법에 의해 결정하였다. 5개 지점을 대상으로 각 지점별로 관측된 일최대유량과 모의된 일최대유량간의 상대오차가 최소화 되도록 하였다. 내부처리 매개변수 중 고수시에 민감도가 큰 SMI, BII, S-SS

및 Ts를 제외한 나머지 매개변수는 처음에 설정한 기준값으로 고정하였다. 규암 및 강경 지점은 저유량 구간에서 실제유출량과 모의유출량의 차이가 발생하였는데, 이는 하류 하구언의 배수위 영향으로 수위가 높게 측정된 것이 원인이라 판단하였다. 본 연구에서의 매개변수 보정은 일최대유출량을 일치시키는 데 목적이 있으므로 저유량 수위에 따른 배수위는 고려하지 않고 매개변수를 결정하였다.

최종적으로 결정된 매개변수 값은 <표 2>~<표 5>와 같고, 보정 후 관측유출량과 모의유출량의 비교는 <표 6>과 같다.

<표 2> SMI-ROP of Geum River after Calibration

SMI (cm)	ROP (%)			
	SMI-a	SMI-b	SMI-c	SMI-d
0	30	25	27	26
1	55	40	43	45
2	75	66	53	57
3	85	78	79	82
4	90	88	91	96
5	99	97	98	99
10	100	100	100	100
999	100	100	100	100

<표 3> BII-BFP of Geum River after Calibration

BII (cm/day)	BFP (%)			
	BII-a	BII-b	BII-c	BII-d
0.0	25	36	40	42
1.0	18	14	16	15
1.5	15	11	14	12
2.0	13	10	12	11
2.5	11	10	11	10
3.0	10	10	10	10
5.0	10	10	10	10
100.0	10	10	10	10

<표 4> S-SS of Geum River after Calibration

Input Rate (cm/hr)	Surface Comp. (cm/hr)			
	S-SS-a	S-SS-b	S-SS-c	S-SS-d
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.05	0.15	0.25	0.27
1.0	0.29	0.57	0.75	0.78
1.5	0.69	1.07	1.25	1.26
2.0	1.19	1.57	1.75	1.78
2.5	1.59	2.07	2.25	2.30
3.0	2.10	2.57	2.75	2.79

<표 5> Ts of Geum River after Calibration

Discharge (m^3/sec)	Ts (hr)				
	Ts	Tss-a	Tss-b	Tss-c	Tss-d
0	10	9	6	6	6
10	8	8	3	5	3
15	7	7.5	2	4	0
20	6	6	0	3	1
40	5	0	0.3	1	0
100	4	0	0	0	0
400	3	0	0	0	0
1,000	2	0	0	0	0

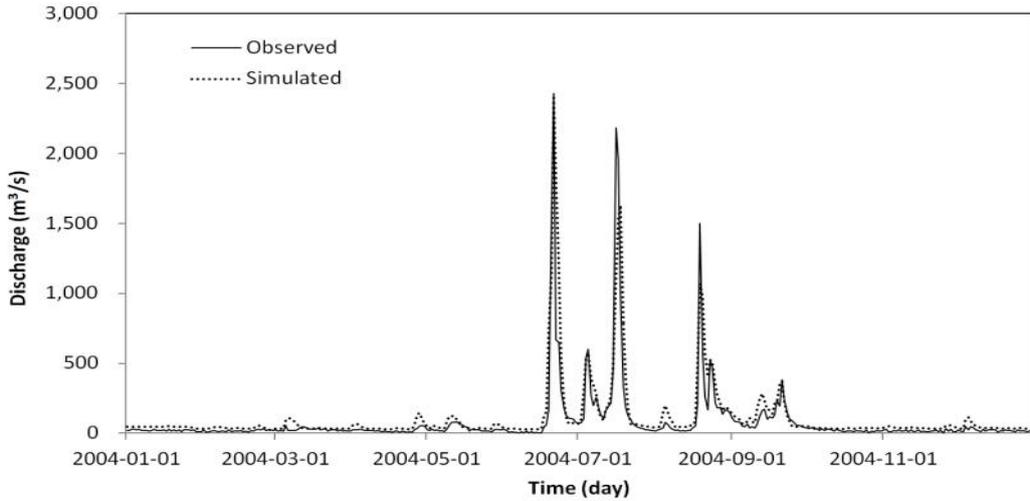
<표 6> Result after Calibration of Major Points Using SSARR Model

Period	Point	Before Calibrations for Peak Discharge (m^3/s)		Relative error (%)	After Calibrations for Peak Discharge (m^3/s)		Relative Error (%)
		Observation	Simulation		Observation	Simulation	
2006	Youngdam	671.3	540.0	19.6	671.3	654.0	2.6
	Daecheong	3,295.1	2,150.0	34.8	3,295.1	2,570.0	22.0
	Gongju	3,404.9	2,840.0	16.6	3,404.9	2,990.0	12.2
	Gyuam	3,793.8	3,320.0	12.5	3,793.8	3,380.0	10.9
	Ganggyeong	4,178.1	3,760.0	10.0	4,178.1	3,980.0	4.7
	Average			18.7			10.5
2007	Youngdam	640.6	589.0	8.1	640.6	690.0	7.7
	Daecheong	2,459.2	2,000.0	18.7	2,459.2	2,780.0	13.0
	Gongju	2,324.8	2,350.0	1.1	2,324.8	2,430.0	4.5
	Gyuam	3,182.6	2,650.0	16.7	3,182.6	2,730.0	14.2
	Ganggyeong	3,385.1	2,890.0	14.6	3,385.1	3,160.0	6.7
	Average			11.8			9.2

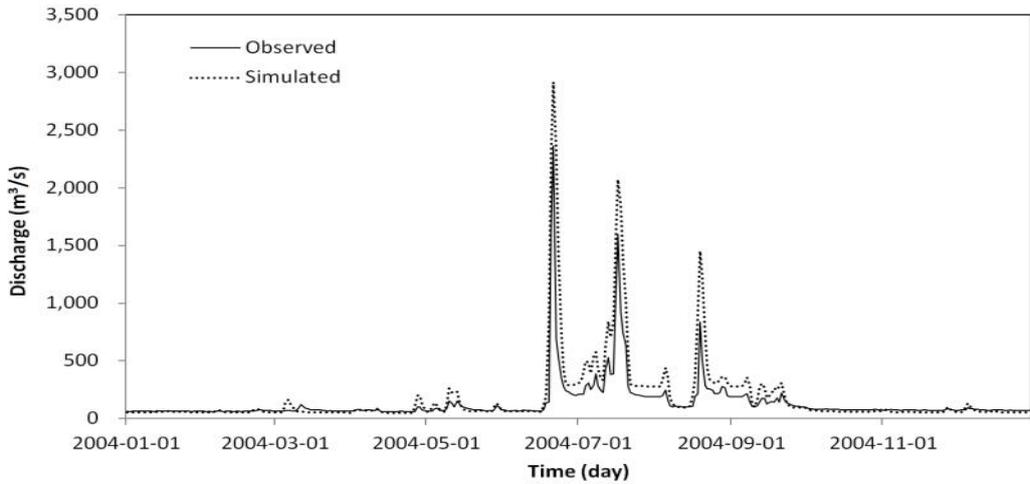
<표 6>에서 나타난 바와 같이 2006년의 보정 전 주요 지점에 대한 상대오차의 평균이 18.7%에서 보정 후 10.5%로 감소하였고 2007년에는 11.8%에서 9.2%로 감소하였다. 2006년의 경우 지점별로 모의 값이 대부분 작게 산정되었으나 2007년의 경우 크게 산정된 경향을 나타내었다.

5. 모형의 검증

SSARR 모형의 검증은 보정을 통해 결정된 모형의 매개변수를 2004년 1월 1일부터 12월 31일까지 적용하여 실시하였다. 검증 기간 동안 대청댐과 공주지점의 적용된 결과는 <그림 5> 및 <그림 6>과 같고, 관측유출량과 모의유출량의 비교는 <표 7>과 같다.



<그림 5> Verification of Model at Daecheong Watershed in 2004 Year



<그림 6> Verification of Model at Gongju Watershed in 2004 Year

<표 7> Result Verification of Major Points Using SSARR Model

Period	Point	Verification for Peak Discharge (m ³ /s)		Relative Error (%)
		Observation	Simulation	
2004	Youngdam	402.7	387.0	3.9
	Daecheong	2,431.1	2,400.0	1.3
	Gongju	2,363.2	2,920.0	23.6
	Gyuam	3,780.5	3,570.0	5.6
	Ganggyeong	4,480.5	3,960.0	11.6
	Average			9.2

공주 지점의 경우 검증 후 상대오차가 23.6%로 상대적으로 높게 산정되었으나, 2006년 보정 후 결과에서 12.2%로 관측유출량에 비해 모의유출량이 과소산정 되었고, 2007년 4.5%로 과다산정 되어 매개변수의 보정만으로는 좀 더 정확한 모의가 불가능하였다. 그러나 <표 7>에서와 같이 주요 지점에 대한 상대오차의 평균은 9.2%로 보정 후와 비슷한 상대오차를 나타내었고, 보정 전에 비해 낮은 상대오차를 나타내고 있어 적절한 검증이 이루어진 것으로 판단하였다.

5. 시나리오별 일최대유량 산정

RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오에서 추출된 소유역별 면적일강수량과 기상관측소의 일평균기온을 SSARR 모형의 검증된 매개변수와 함께 입력자료로 하여 시나리오별 일유출량을 모의하였다. 2014년부터 2100년까지 모의된 RCP 시나리오에 따른 지점별 일최대유량은 <표 8>과 같다. 4개 시나리오중 RCP 4.5 시나리오에서 모의된 일최대유량값이 강경지점을 제외하고 지점별로 가장 크게 산정되었으며, RCP 8.5 시나리오에서 강경지점이 가장 크게 산정되었다. 또한 일최대유량의 발생 시기는 시나리오 및 지점별로 상이하게 발생되었다.

2014년부터 2100년까지 모의된 시나리오별 유출량 중 연간 일최대유량 자료를 추출하여 “기후변화에 따른 확률 일최대유량 산정(Ⅱ)”의 빈도분석 부분에서 확률 일최대유량 산정을 위한 자료로 구성하였다.

<표 8> Maximum Daily Streamflow at each Point According to RCP Scenario

RCP scenarios	Point (m ³ /s)				
	Youngdam	Daecheong	Gongju	Gyuan	Ganggyeong
2.6	1,330	3,450	5,050	7,030	8,380
4.5	2,320	5,150	6,490	8,410	9,360
6.0	1,710	3,540	4,990	7,460	7,900
8.5	1,940	3,550	6,200	8,110	9,410

IV. 결론

본 연구에서는 기후변화 시나리오를 반영한 일 단위 기반의 일최대유량을 산정하기 위해 SSARR 모형을 이용하였다. 금강유역의 주요 지점을 대상으로 유역을 구성하였으며, 모형의 물리적 매개변수와 수문기상 매개변수 및 내부처리 매개변수를 산정하였다. 산정된 매개변수의 보정 및 검증을 실시하였으며 분석 결과는 다음과 같다.

금강유역의 83개 강우관측소와 8개 기상관측소를 선정하여 과거 수문자료를 수집하였으며, RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오의 일 강수량 및 온도자료를 2014년부터 2100년까지 추출하였다.

2006년과 2007년의 유출을 모의하여 금강유역의 대청댐, 용담댐, 공주, 부여, 강경 수위표 지점의 최고유량값을 일치시키는 방향으로 매개변수 보정을 수행하였다. 2006년의 보정 전 주요 지점에 대한 상대오차의 평균이 18.7%에서 보정 후 10.5%로 감소하였으며, 2007년에는 11.8%에서 9.2%로 감소하였다.

보정을 통해 결정된 매개변수를 2004년 1월 1일부터 12월 31일까지 적용하여 분석한 결과 주요 지점에 대한 상대오차의 평균은 9.2%로 보정 후와 비슷한 상대오차를 나타내었으나, 보정 전에 비해 낮은 상대오차를 나타내고 있어 적절한 검증이 이루어진 것으로 판단되었다.

최종적으로 결정된 매개변수를 이용하여 RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오별 주요 지점의 연간 일최대유량 자료를 산정한 결과 4개 시나리오중 RCP 4.5 시나리오에서 모의된 일최대유량값이 강경지점을 제외하고 지점별로 가장 크게 산정되었으며, RCP 8.5 시나리오에서 강경지점이 가장 크게 산정되었다. 산정된 지점별 연간 일최대유량 자료는 홍수량 빈도분석에 활용하고자 하였다.

참고문헌

- 건설부 한강홍수통제소. 1987. 낙동강 홍수예경보 및 저수관리 프로그램개발 최종보고서(저수관리부문).
- 김맹기, 이대희, 김진욱. 2013. 남한 1km 해상도의 격자형 일 기상자료 생산과 검증. 기후연구. 8(1): 13-25.
- 김맹기, 한명수, 장동호, 백승균, 이우섭, 김연희, 김성. 2012. 1km 해상도의 관측 격자자료 생산 기술. 기후연구. 7(1): 55-68.
- 김진수, 맹승진, 정지혜, 김형산. 2014. 홍수 및 가뭄년을 포함한 금호강 수계 표준유역별 유출특성 분석. 한국위기관리논집. 10(4): 133-152.
- 김태우. 2013. 금강수계 표준유역 구분에 따른 SSARR 모형에 의한 주요 지점별 유출특성 분석. 충북대학교 대학원 석사학위논문.
- 류경식, 황만하, 맹승진, 이상진. 2007. 유역관리모형을 이용한 금강유역 유출특성 해석. 한국물환경학회지. 23(4): 527-534.
- 맹승진, 김병준, 김형산. 2009. 3변수 및 4변수 Kappa 분포에 의한 설계홍수량 추정. 한국농공학회논문집. 51(4): 49-55.
- 맹승진, 김형산, 정지혜, Azam Muhammad, 황만하. 2015. 기후변화 시나리오에 의한 강수량과 관측강수량을 사용한 유출 분석. 한국위기관리논집. 11(2): 241-259.
- 맹승진, 이상진, 류경식, 황만하, 김형산. 2010. 금강유역 논산지점의 수위-유량곡선식과 RRFSS에 의한 유출 분석. 한국위기관리논집. 6(1): 51-63.

- 맹승진, 이승욱, 황길순, 김동역. 2013. 홍수기를 고려한 가곡천 하류부 하상변동 특성 분석. 한국위기 관리논집. 9(5): 103-115.
- 소방방재청. 2013. 통계연보.
- 오득근. 2013. 용수사용량이 반영된 SSARR 모형에 의한 섬진강유역의 유출특성 분석. 충북대학교 대학원 석사학위논문.
- 이상진, 김주철, 노준우. 2010. 대청유역 물수지 분석을 위한 장기 유출모의. 한국환경과학회지. 19(10): 1211-1217.
- 정지혜. 2014. SSARR 모형에 의한 금호강 수계 표준유역별 유출특성 분석. 충북대학교 대학원 석사학위논문.
- 추태호, 맹승진, 옥치율, 송기현. 2008. 한강수계의 고수 및 저수기 유출모형 매개변수 민감도 분석. 한국산학기술학회논문지. 9(5): 1334-1343.
- 한국수자원공사. 2000. 저수유출 수문모형 개발.
- 한국수자원공사. 2008. 한강수계 실시간 저수지 운영시스템 구축(분석모형개발) 보고서.
- USACE. 1991. *SSARR User Manual*. Portland: North Pacific Div.
- Valeo, C., Z. Xiang, F. C. Bouchart, P. Yeung, and M. C. Ryan. 2007. Climate Change Impacts in the Elbow River Watershed. *Canadian Water Resources Journal*. 32(4): 285-302.
- 국가수자원관리종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr/>
- 기상청. <http://www.kma.go.kr/>
- 기후변화정보센터. <http://www.climate.go.kr/>

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).

