

단기 유출모형에 의한 대청댐 상류 홍수기 유출 분석*

Runoff Analysis Using Rainfall-Runoff Model During Flood Season at Daecheong Dam Upstream

Hyung San Kim**, Seung Jin Maeng***, Woo Seok Jang, Ju Young Son, Man Ha Hwang

Department of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Korea

Abstract

In this study HEC-HMS rainfall-runoff Model was used for flood season discharge analysis at Sutong watershed located at upstream of Daecheong dam. Initial parameters were computed by using empirical formula commonly applied at domestic level. The runoff Curve Number(CN) estimated to be 88 according to AMC-III. Rating curve was estimated on the basis of measured discharge of major rainfall events from 2012 to 2014 for the calibration and validation of the model. Calibration was performed using the estimated rating curve for major rainfall event of 2014 and verification was performed for major rainfall events of 2012 and 2013. The quantitative comparison between observed and simulated runoff through the calibration and verification showed a good result of relative error within 5%. Applying the parameters calibrated in this study, future flood season runoff analysis at Daecheong dam upstream is believed to be able to simulate a more reliable flood runoff.

Key words: Dam, rainfall-runoff model, calibration, verification

국문초록

본 연구에서는 단기 유출모형인 HEC-HMS를 이용하여 대청댐 상류에 위치한 수통 유역의 홍수기 유출을 분석 하였다. 모형의 초기 매개변수는 국내 적용사례가 많은 경험식을 이용하였으며, 유출곡선번호는 선행함수조건 AMC-III에 따라 88으로 추정하였다. 모형의 보정과 검증을 위해 2012년부터 2014년까지 호우사상을 대상으로

* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C01)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: Jan. 16, 2015 / Revised: Feb. 5, 2015 / Accepted: Feb. 20, 2015

유량측정을 실시하였으며 이를 바탕으로 수위-유량관계곡선식을 산정하였다. 산정된 수위-유량관계곡선식을 이용하여 2014년 호우사상을 대상으로 매개변수를 보정하고, 2012년과 2013년의 호우사상으로 매개변수 검증 실시하였다. 보정과 검증을 통해 모의한 홍수기 유출량을 상대오차를 이용하여 실제 유출량과 비교한 결과 5% 이내의 양호한 결과를 나타내었다. 향후 대청댐 상류지역의 홍수기 유출 분석 시 본 연구에서 선정된 최적매개변수를 적용한다면 보다 신뢰도 높은 홍수기 유출량을 모의 할 수 있을 것으로 사료된다.

주제어: 댐, 강우-유출모형, 보정, 검증

1. 서론

자연재해 중 우리나라에서는 6월에서 9월까지 집중호우에 의한 홍수피해가 자주 발생하고 있다. 이러한 홍수피해를 줄이기 위해서는 유역의 강우-유출과정을 정확히 해석하여 홍수기 유출특성을 파악하는 것이 중요하다. 특히 우리나라의 경우에는 연평균 강수량의 대부분이 우기인 6월부터 9월까지 집중되어있고, 지역적인 편차가 심하다. 또한 전체 국토의 70%가 산악지형으로 구성되어 있어서 하천의 경사가 심하고 유출시간이 짧으며 하상계수가 큰 하천의 특성을 지니고 있다. 이러한 이유로 인하여 다른 나라와는 다른 강우-유출의 특성을 보이고 있으므로 우리나라만의 특성을 고려한 하천 유역의 체계적이고 효율적인 계획 및 관리가 요구된다(김형산 등, 2013).

본 연구에서는 대청댐 상류에 위치한 수동 유역의 홍수기 유출을 분석하기 위해 단기 유출모형인 HEC-HMS(Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) 모형을 이용하였다. HEC-HMS 모형은 홍수기 유출을 분석하는데 주로 적용되고 있다. 강우-유출 분석에 대한 연구를 살펴보면, 장인수(2004)는 미계측 급경사 산지 소하천 유역에 대한 홍수유출량산정을 위한 하나의 방법론을 제시하기 위하여 충북 충주시 살미면 토계리에 위치한 자사골유역을 대상으로 HEC-HMS 모형을 적용하여 수문학적 분석을 실시하였다. 김상호 등(2006)은 안성천 유역의 일부인 진위천 유역을 대상으로 HEC-HMS를 이용하여 관측된 강우-유출 자료를 통해 매개변수의 검정 및 보정을 실시하고 유출량을 산정하였다. 김학관 등(2012)은 경기도 남양주시에 위치한 일패천과 안곡천을 대상으로 HEC-HMS와 HEC-RAS를 이용하여 집중호우시 하천 범람에 따른 농촌마을의 침수량을 정량적으로 산정하고 방재 방안을 제안하였다. 채수권 등(2013)은 보령댐 유역을 대상으로 HEC-HMS를 사용하여 가능최대홍수량의 합리적인 추정을 위해 대표단위도의 최적 매개변수를 산정하였다.

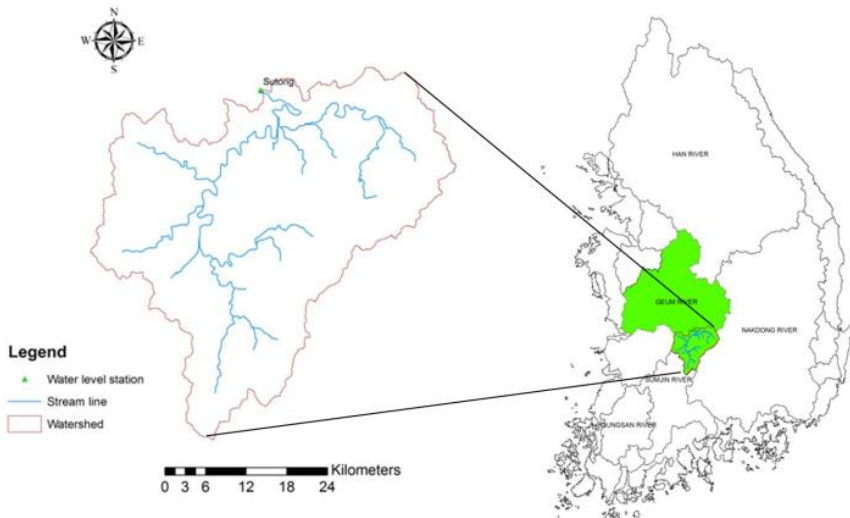
HEC-HMS 모형의 초기 매개변수 산정을 위해 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 이용하여 유출분석에 필요한 유역의 물리적 특징을 추정하였으며, 모형의 보정과 검증을 위해 홍수기 유량측정을 실시하고 수위-유량관계곡선식을 산정한 후, 실측유량과 모형에 의해 산정된 유출량을 비교하여 수동 유역에 대한 최적의 매개변수를 제시하였다. 향후 수동 지점에 대한 홍수량을 모의할 때 본 연구에서 산정된 매개변수를 적용한다면 보다 신뢰도 높은 홍수기 유출량을 산정할 수 있을 것이라 사료된다.

II. 대상유역 및 연구방법

1. 대상유역 현황 및 특성

수통 유역은 금강수계 대청댐 상류의 동경 127° 21' 20" ~ 127° 54' 29", 북위 36° 17' 46" ~ 36° 02' 33" 사이에 위치하고 있으며, 유역의 동측으로는 경상남도 거창군, 서측으로 전라북도 완주군, 남측으로는 충청남도 금산군, 충청북도 영동군이 위치하고 있다. 유역의 상류에 용담댐이 포함되어 있으며, 금강수계 유역면적의 약 16%를 차지하는 비교적 큰 유역이다. 유역의 80% 이상이 산림으로 구성되어 있고 용담댐 하류 41km지점에 수위관측소가 위치한다. 수통 유역의 유역도는 <그림 1>과 같다.

수통 유역이 포함되어 있는 금강수계의 기후는 대륙성 기후와 여름의 해양성 기후의 특성이 있어 겨울에는 현저한 대륙성 고기압의 영향으로 한랭 건조하여 0°C이하의 맑은 날이 오래 지속되고, 여름에는 습한 해양성 기후로써 고온다습하며 여름동안에는 일반적으로 연강우량의 60~70%를 기록한다(국토해양부, 2011).



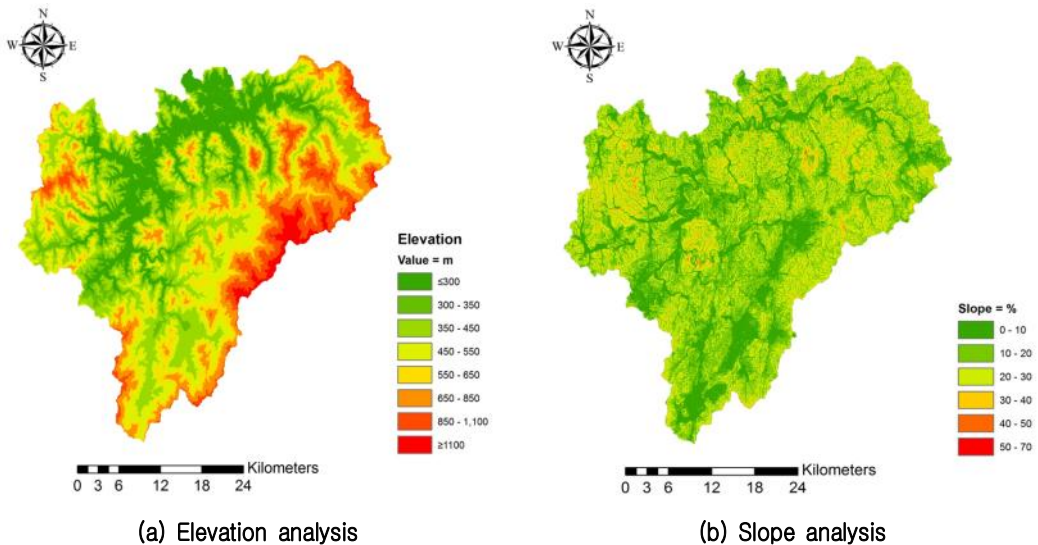
<그림 1> 대상 유역도

수통 유역의 특성은 <표 1>과 같다. 유역면적은 1,555.74km², 본류의 유로연장은 104.56km, 유역 형상계수는 0.14로 산정되었다. 유역의 형상계수가 크면 유로연장에 비하여 그 너비가 넓고, 반대로 작으면 가늘고 긴 유역이 된다. 형상계수가 클 경우에는 유출기간이 짧지만 첨두유량이 크고, 작을 경우에는 유출기간이 길고 첨두유량이 작은 현상이 나타난다(권순국 외, 2000).

<표 1> 유역특성

유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역평균폭 (km)	형상계수
1,555.74	104.56	14.88	0.14

수통 유역의 표고 및 경사분포는 <그림 2>와 같다. 유역의 표고별 면적분포를 살펴보면 유역의 약 54.18%에 해당하는 면적이 EL.400m~EL.600m 구간에 분포하는 것으로 나타났으며, 유역의 평균표고는 EL.555m로 분석되었다. 또한 경사별 면적분포를 살펴보면 유역의 약 65%에 해당되는 면적이 10°~30° 구간에 고르게 분포하는 것으로 나타났으며, 유역의 평균경사는 17.6°로 분석되었다.

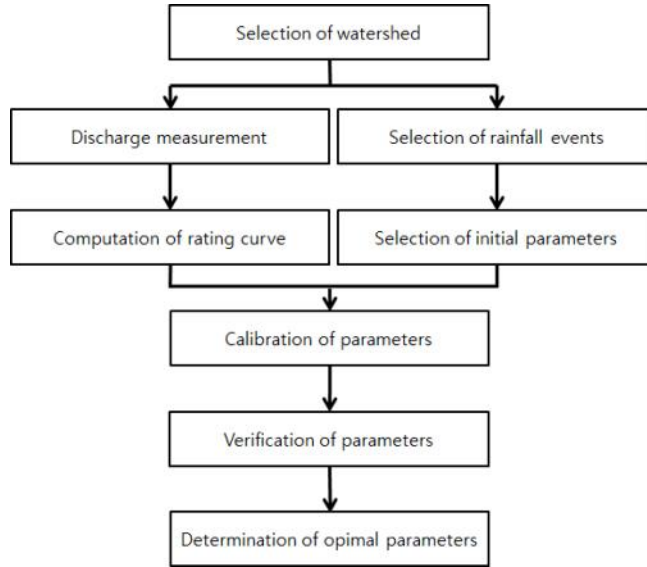


<그림 2> 유역의 표고 및 경사분포

2. 연구방법

본 연구에서는 단기 유출모형에 의한 대청댐 상류 홍수기 유출 분석을 위해 수통 유역을 대상 유역으로 선정하였다. 선정된 유역의 관측소를 대상으로 유량측정을 실시한 후 수위-유량관계곡선식을 산정 하였으며, 대표 호우사상을 선정하고 HEC-HMS 모형의 초기 매개변수를 경험식에 의해 산정하였다. 선정된 대표 호우사상을 적용하여 매개변수의 보정과 검증을 수행 하였으며, 유역의 최적 매개변수를 선정하였다.

이상의 절차에 대한 흐름도는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 흐름도

III. 결과 및 고찰

1. 수위-유량관계곡선식 산정

수통 유역의 수위-유량관계곡선식을 산정하기 위해 2012년부터 2014년까지 수통 수위관측소 지점에서 전자과 표면 유속계를 이용하여 각각 58회, 35회 및 58회 홍수기 유량측정을 실시하였다. 측정된 자료를 바탕으로 산정된 수위-유량관계곡선식은 <표 2>와 같다.

<표 2> 수위-유량관계곡선식

이용자료 년도	적용범위	수위-유량관계곡선식	R ²
2012	$0.21 \leq h \leq 1.99$	$Q = 60.439h^2 + 20.018h + 12.322$	0.9923
	$1.99 \leq h \leq 3.86$	$Q = 66.2h^2 + 244.53h - 420.98$	0.9983
2013	$0.48 \leq h \leq 1.15$	$Q = 30.335h^2 + 102.42h - 21.751$	0.9863
	$1.15 \leq h \leq 2.48$	$Q = 150.86h^2 - 276.45h + 270.14$	0.9936
2014	$0.22 \leq h \leq 1.32$	$Q = 36.43h^2 + 70.824h + 3.5691$	0.9836
	$1.32 \leq h \leq 2.89$	$Q = 106.19h^2 - 87.373h + 95.494$	0.9905

2. 호우사상 선정

모형의 초기 매개변수는 국내 적용사례가 많은 경험식을 이용하였다.

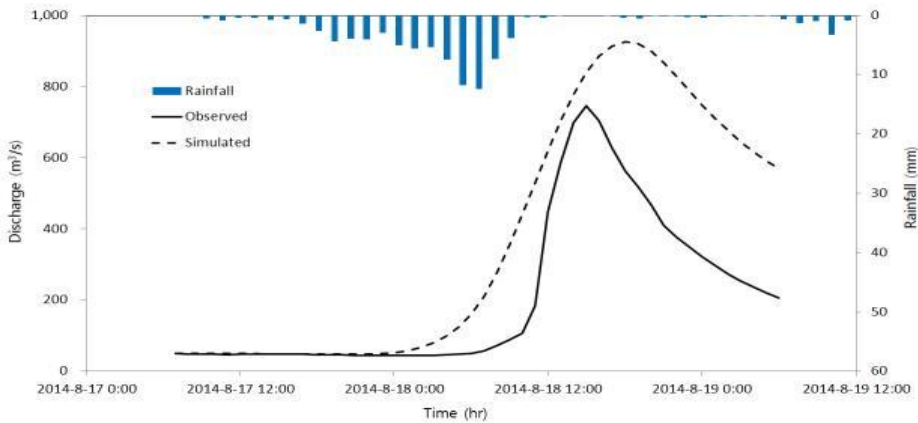
유출곡선번호(Curve Number, CN)값의 산정은 미 농무성 산하 자연자원보호청(Natural Resources Conservation Service, NRCS)에서 개발한 SCS방법을 사용하여 토지피복, 수문학적 토양군을 고려하여 유출률이 대단히 높은 상태인 AMC-III 조건으로 CN값을 결정하였다. 도달시간(TC)은 하천경사에 따라 평균유속이 고려된 Kraven(II)공식의 결과가 가장 합리적이라 판단하여 이 결과를 초기 도달시간 값으로 채택하였으며, 저류상수(K)는 유역면적, 유로연장, 도달시간 등의 유역특성인자를 이용하여 유역의 형상을 고려할 수 있는 장점을 가지고 있는 Sabol 공식이 적용하였다. 감수상수(RC)와 초기손실(IL)은 Sabol(1988)이 제안한 식과 NRCS에서 제시한 식을 적용하여 산정하였다. 초기기저유량은 HEC-HMS의 매뉴얼에서 추천한 방법인 호우 발생 시작된 때의 평균유량으로 선정하였다(USACE, 2008).

상기의 방법에 의해 산정된 유출곡선번호, 도달시간, 저류상수, 감수상수 및 초기손실의 매개변수 초기값은 <표 4>와 같다.

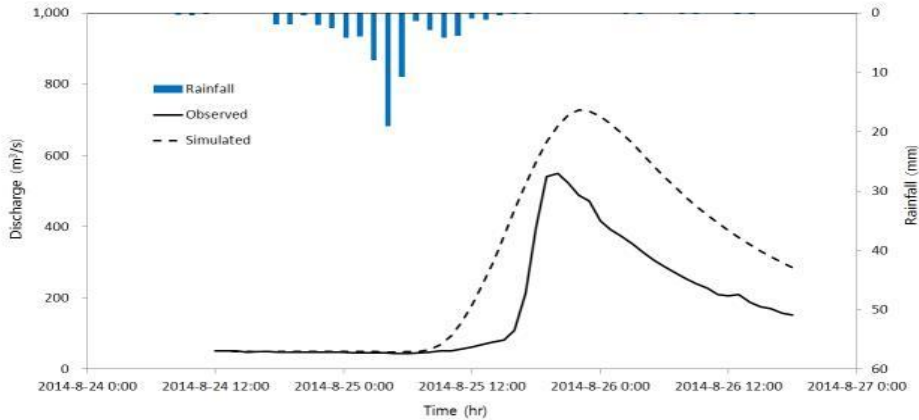
<표 4> 매개변수 초기값

호우 사상	기간	유출곡선 번호 (CN)	도달시간 (TC)	저류상수 (K)	감수상수 (RC)	초기손실 (IL)
1	2014.08.17~2014.08.19	88	13.83	16.25	0.94	6.93
2	2014.08.24~2014.08.26					

산정된 수통 유역의 매개변수 초기값을 2014년 호우 사상에 적용하여 관측유량과 모의유량을 비교한 결과는 <그림 5> 및 <그림 6>과 같다.



<그림 5> 호우사상 1에 대한 보정 전 수문곡선



<그림 6> 호우사상 2에 대한 보정 전 수문곡선

매개변수 초기값을 적용하여 모의한 결과 2014년의 2개의 호우사상에서 관측유량에 비해 모의유량의 첨두유량이 크게 산정되었으며, 첨두유량 발생시간 또한 2~3시간의 차이가 발생하였다.

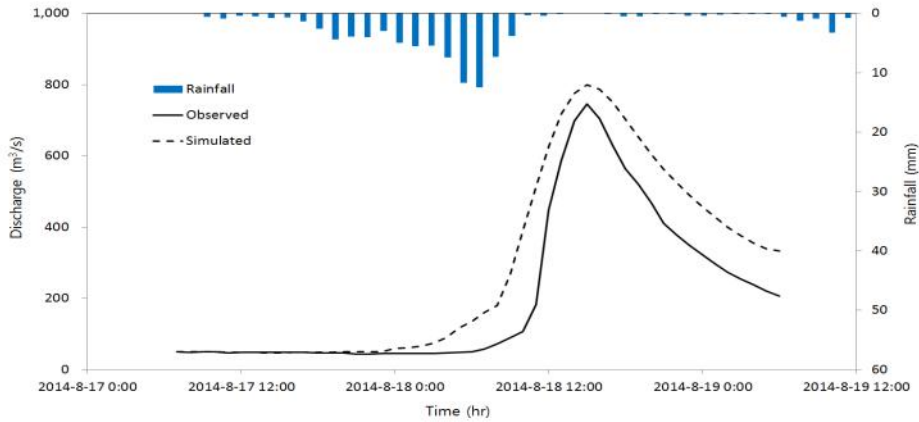
4. 매개변수 보정

모형의 매개변수 보정을 위해서는 유출량의 모의값과 관측값 자료로부터 매개변수가 결정되어야 한다. 본 연구에서는 수통 구역의 홍수기 유출 분석에 목적이 있으므로 매개변수의 보정은 최고유량값과 첨두시간을 일치시키는 방향으로 하였다. 선정된 호우사상의 관측값과 모형에 적용하여 산정된 모의값의 오차를 최소화하기 위해 시행착오법으로 보정을 수행하였다.

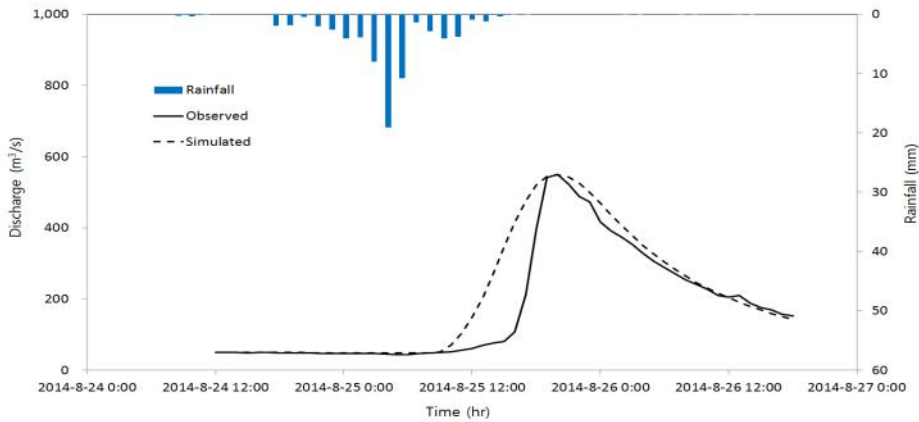
최종적으로 결정된 매개변수 값은 <표 5>와 같고, 보정 후 관측유출량과 모의유출량의 비교는 <그림 7> 및 <그림 8>과 같다.

<표 5> 보정 후 매개변수

호우 사상	기간	유출곡선 번호 (CN)	도달시간 (TC)	저류상수 (K)	감수상수 (RC)	초기손실 (IL)
1	2014.08.17 ~ 2014.08.19	88	9.52	11.76	0.94	28.38
2	2014.08.24 ~ 2014.08.26					



<그림 7> 호우사상 1에 대한 보정 후 수문곡선



<그림 8> 호우사상 2에 대한 보정 후 수문곡선

보정 후 관측유출량과 모의유출량의 첨두유량 발생시간 및 첨두유량을 <표 6>에 나타내었으며, 첨두유량의 상대오차를 산정하여 비교하였다.

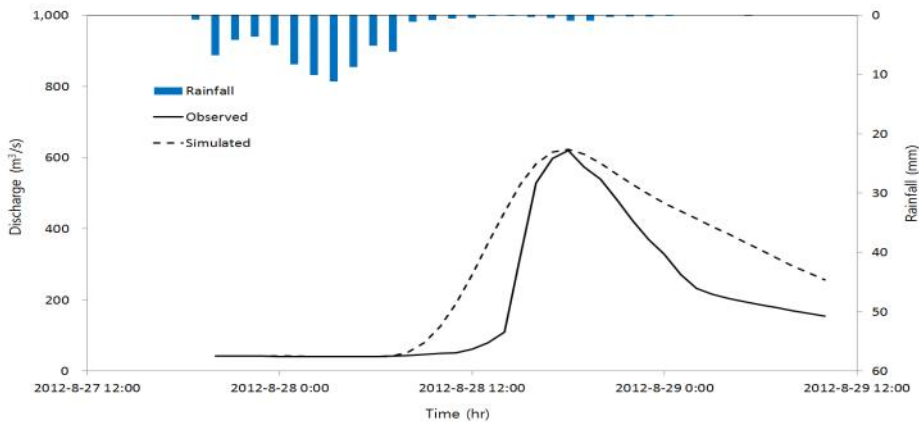
<표 6> 매개변수 보정 후 결과 비교

호우 사상	매개변수	관측유출		모의유출		상대오차 (%)
		첨두유량 발생시간	첨두 유량 (m³/s)	첨두유량 발생시간	첨두 유량 (m³/s)	
1	보정 전	2014.08.18. 15:00	745.8	2014.08.18. 18:00	926.0	24.2
	보정 후	2014.08.18. 15:00	745.8	2014.08.18. 15:00	798.9	7.1
2	보정 전	2014.08.25. 20:00	549.7	2014.08.25. 22:00	728.7	32.6
	보정 후	2014.08.25. 20:00	549.7	2014.08.25. 20:00	549.0	0.1

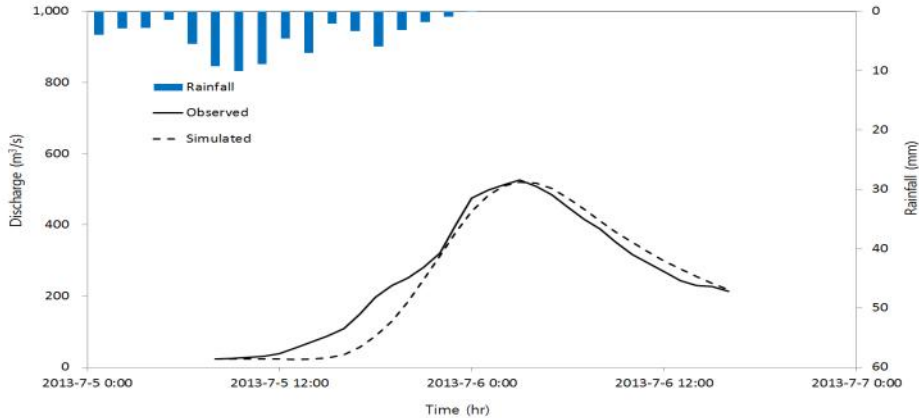
<표 6>에 나타난 바와 같이 2014년의 보정 전 1번 호우사상에 대한 상대오차는 24.2%에서 7.1%로 감소하였으며 첨두유량 발생시간 또한 3시간에서 동일시간으로 변경되었다. 2번 호우사상에 대한 상대오차와 첨두유량 발생시간은 32.6%에서 0.1%로, 2시간에서 동일시간으로 오차와 첨두시간이 감소하였다. 보정 후의 상대오차는 8% 미만의 값을 나타내어 보정이 적절하게 이루어진 것으로 판단되었다.

5. 매개변수 검증

수통 유역의 매개변수 검증은 보정을 통해 결정된 매개변수를 2014년 호우사상으로부터 산정하고, 2012년 및 2013년 호우사상에 적용하여 실시하였다. 검증 후 관측유출량과 모의유출량의 비교는 <그림 9> 및 <그림 10>과 같다.



<그림 9> 호우사상 3에 대한 검증 후 수문곡선



〈그림 10〉 호우사상 4에 대한 검증 후 수문곡선

검증 후 관측유출량과 모의유출량의 첨두유량 발생시간 및 첨두유량을 <표 7>에 나타내었으며, 첨두유량의 상대오차를 산정하였다.

〈표 7〉 매개변수 검증 결과

호우사상	관측유출		모의유출		상대오차 (%)
	첨두유량 발생시간	첨두유량 (m³/s)	첨두유량 발생시간	첨두유량 (m³/s)	
3	2012.08.28. 18:00	620.9	2012.08.28. 18:00	622.8	0.3
4	2013.07.06. 03:00	526.7	2013.07.06. 03:00	520.7	1.1

검증 후의 상대오차는 보정 전에 비해 낮은 상대오차를 나타내고 있으며, 2% 미만의 오차를 보여 적절한 검증이 이루어진 것으로 판단되었다.

IV. 결론

본 연구에서는 단기 유출모형에 의한 대청댐 상류 수통 구역의 홍수기 유출을 분석하였다. 2012년부터 2014년까지 측정된 홍수기 유량측정 자료를 바탕으로 수위-유량관계곡선식을 산정하였으며, 매개변수 초기값을 경험식으로 산정한 후 매개변수 보정 및 검증을 실시하였다. 분석한 결과는 다음과 같다.

단기 유출모형인 HEC-HMS 모형에 적용되는 매개변수를 산정하기 위해 GIS 자료를 구축하여 구역의 물리적 특성을 분석하였으며, 이를 바탕으로 경험식을 통해 초기 매개변수를 산정하였다. 산정된 초기 매개변수로 2014년 호우사상에서 강우-유출분석을 한 결과 관측유출량에 비해 모의유출의 첨두유

량이 크게 산정되었으며, 침투유량 발생시간 또한 2~3시간의 차이가 발생하였다.

2014년 2개의 호우사상을 선정하여 최고유량값과 침투시간을 일치시키는 방향으로 매개변수 보정을 수행하였다. 모형의 보정 전 상대오차는 24.2%와 32.6%에서 보정 후 상대오차는 7.1%와 0.1%로 감소하였으며 침투유량 발생시간은 동일시간으로 일치하였다. 보정 후의 상대오차는 8% 미만의 값을 나타내었다.

보정된 매개변수를 2012년과 2013년의 호우사상으로 검증한 결과 상대오차는 0.3%와 1.1%로 나타났으며 침투유량 발생시간은 동일하였다. 검증 결과 2% 이내의 오차를 보여 적절한 검증이 이루어진 것으로 판단되었다.

상기의 결과에 따라 향후 본 연구에서 검증된 매개변수를 적용하여 수통 유역의 홍수기 유출분석을 실시한다면 신뢰도 높은 유출모의를 할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

국가 수자원관리 종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr/>

국토해양부. 2011. 금강수계 하천기본계획(금강, 미호천, 갑천, 유등천). 국토해양부.

권순국, 김선주, 김태철, 서승덕, 윤광식, 이근후, 이순혁, 최예환, 최진규. 2000. 응용수문학. 서울: 향문사.

김상호, 박민지, 강수만, 김성준. 2006. GIS 기반 HEC-HMS를 이용한 진위천 유역의 강우-유출모형 구성. 한국지리정보학회지. 9(4): 119-128.

김학관, 강문성, 송인홍, 황순호, 박지훈, 송정현, 김지혜. 2012. HEC-HMS와 HEC-RAS를 이용한 농촌 저지대 침수해석. 한국농공학회논문집. 54(2): 1-6.

김형산, 맹승진, 심지훈, 김태우. 2013. 홍수기 신흥천 유역의 단위유량도 선정. 한국위기관리논집. 9(4): 103-116.

장인수. 2004. HEC-HMS 모델을 이용한 산지 소하천유역의 홍수유출량 산정. 한국산업응용학회지. 7(3): 281-288.

채수권, 맹승진, 황주하, 김태우, 김형산. 2013. PMF 산정을 위한 단위도의 최적 매개변수 추정. 한국위기관리논집. 9(2): 147-162.

Sabol, G. V. 1988. Clark Unit Hydrograph and R-parameter Estimation. *Journal of Hydraulic Engineering*. 114(1): 103-111.

USACE(United States Army Corps of Engineers). 2008. *Hydrological Modeling System HEC-HMS user's Manual*. C.A.: United States Army Corps of Engineers.

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).

장우석: 충북대학교 지역건설공학과를 졸업하고, 현재 충북대학교 지역건설공학과에서 석사과정 중이다
(jws5479@naver.com).

손주영: 충북대학교 지역건설공학과를 졸업하고, 현재 충북대학교 지역건설공학과에서 석사과정 중이다
(son4037@naver.com)

황만하: 전북대학교 “갈만필터를 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).