

HEC-HMS을 이용한 안성천 유역의 강우 유출 특성 분석

황병기*, 양승빈²

¹상명대학교 건설시스템공학과, ²상명대학교 환경자원학과

Analysis of stormwater and runoff characteristics in Anseongcun basin using HEC-HMS

Byung-Gi Hwang^{1*}, Seung-Bin Yang²

¹Department of Civil Engineering, Sangmyung University

²Department of Environmental Resources, Sangmyung University

요약 과거 홍수로 인한 침수피해가 자주 발생하였던 안성천 하류 저지대의 홍수-유출 특성을 파악하기 위해서 HEC-HMS 모형을 적용하였다. 모형은 SCS-CN 방법으로 손실계산을, Clark의 단위도법으로 강우의 직접유출 변환을, 지수함수적 감소 방법으로 기저유량을, Muskingum 방병으로 하도추적을 하는 과정을 포함한다. 모형에서 매개변수는 중요한 역할을 하므로, 최적화 기법을 시행착오법과 병행하여 최적화 변수를 도출하였다. 또한, 민감도 분석을 통하여 도달시간, 저류함수, 기저유량 관련 상수들이 모형에 미치는 영향을 파악하였다. 도달시간은 침투유량 발생 시각에 영향을, 저류상수는 침투 유량의 증감에 영향을 기저유량 감소비는 수문곡선 하강부의 기울기에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 최적화 과정을 통하여 모형 보정을 거친 변수를 사용하여 2건의 강우 사상에 대하여 유출모의를 수행하여 실측 자료와 비교를 하였으며, 유출체적, 침투유량, 침투시각을 포함한 중요 수문현상에 대하여 상당히 정확하게 모사하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구의 결과는 정책입안자가 홍수관리대책을 수립하는 데 유용한 도구로서 사용되어 질 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract The HEC-HMS model was applied to identify the rainfall-runoff processes for the Anseongchun basin, where the lower part of the stream has been damaged severely by tropical storms in the past. Modeling processes include incorporating with the SCS-CN model for loss, Clark's UH model for transformation, exponential recession model for baseflow, and Muskingum model for channel routing. The parameters were calibrated through an optimization technique using a trial and error method. Sensitivity analysis after calibration was performed to understand the effects of parameters, such as the time of concentration, storage coefficient, and base flow related constants. Two storm water events were simulated by the model and compared with the corresponding observations. Good accuracy in predicting the runoff volume, peak flow, and the time to peak flow was achieved using the selected methods. The results of this study can be used as a useful tool for decision makers to determine a master plan for regional flood control management.

Keywords : Clark's UH, HEC-HMS, Muskingum, Optimization technique, SCS-CN

1. 서론

지구 온난화 등의 영향으로 우리나라에서 최근 국지성 호우가 빈번히 발생하고 있으며 그로 인한 침수 피해

가 점차로 증가하고 있으나, 도시화와 개발사업의 증가로 인해 유역의 유출환경이 좋지 않은 방향으로 변화하고 있는 실정이다. 이러한 도시화는 불투수면적의 증대, 표면조도 계수의 감소 등과 같은 수문현상의 변화를 초

본 연구는 상명대학교 2017년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Byung-Gi Hwang(Sangmyung Univ.)

Tel: +82-41-550-5307 email: bh4a@smu.ac.kr

Received December 19, 2017

Revised March 29, 2018

Accepted April 6, 2018

Published April 30, 2018

래하고 이에 따라 동일 강우에도 침투 유량과 유출 용적이 증가되어 유출수문곡선의 변화로 저지대 및 하류지역에는 도시형의 재해를 초래하기도 한다[1-2].

연구 대상지역인 안성천 유역은 하천주변 저지대 대부분이 내수배제가 어려운 평탄지로 구성되어 있으며, 외수범람뿐만 아니라 내수에 의한 침수 가능성이 높으며, 안성천 중상류는 짧은 구간에 입장천, 성환천, 청룡천, 한천 등의 지류 하천이 유입, 수위상승에 의한 내수배제 지체로 상습침수 확률이 높고 1998년, 2000년 지류 하천 하류와 지천 유입부 분류 저지대에 발생하였으며[3], 이에 홍수로 인한 피해를 줄이기 위해서 그 유역의 강우-유출 특성을 정확히 해석하여 홍수유출특성을 파악하고 있는 것이 중요하다.

홍수 유출 모의에 사용되는 모형은 SWAT, HEC-HMS, SWMM 등이 있다. SWAT 모형은 일단위 유출 결과를 도출하기 때문에 장기적인 유출 모의에는 적합하나[1], 재해적인 측면에서 도시화가 홍수유출에 미치는 영향을 시간/분 단위로 분석하는데 어려움이 있다. SWMM 모형은 단일사상에 대한 강우-유출 및 수질 모의를 할 수 있는 모형으로 개발되어[4], 최근 연속형 수문 및 수질 모의를 할 수 있도록 개선되었으나[5], 수질 모의가 우선으로 개발된 모형으로 시시각각으로 변하는 다양한 시간 및 공간적 분포의 수문 환경에 대응하기에는 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 미 연방 공병단에서 개발하여 HEC1[6]을 시작으로 수차례 수정 및 보완을 거쳐 전처리 및 후처리를 포함한 GUI 기능이 강화된, 국내외 선행연구에서 다양하게 적용된 바 있는 HEC-HMS[7]를 선정하였다.

HMS 모형의 국내외 적용 사례를 살펴보면, 국내에서 지표면 유출에 대한 토지이용변화가 미치는 영향을 분석하기 위해 한천 유역에 적용된 바 있으며[1], 홍수량 산정 시 HMS 모형의 매개변수가 미치는 영향을 파악하기 위해 민감도 분석을 수행한 바 있으며[8], 그 외에도 금강 유역[9], 강릉 남대천 유역[10]등 다수의 적용 사례가 있다. 국외에서 강우에 따른 손실량 산정을 위해 다양한 침투 모형에 따른 모의 예측 결과를 비교하는 연구를 이탈리아 Mesima 유역에 적용하였으며[11], 요르단 Wadi Dhuliel 유역의 출구점에서 홍수 유출량을 성공적으로 모의한 바 있으며[12], HMS 모형에서 제공하는 다양한 서브모형의 적합성을 검토하기 위해 중국 Jinhae 시범 유역에 적용한 바 있으며[13], Snyder 단위도법,

Clark's 단위도법에 대하여 유출변환 특성을 비교하는 연구를 수행하였으며 일본 Attanagalu Oya 유역에 적용한 바 있다[14].

본 연구는 안성천 유역의 수문환경변화에 따른 홍수 유출 변동을 분석하기 위해서 HEC-HMS의 유출체적, 침투유량 및 침투 발생시각, 도달시간 등에 관한 모의 능력을 평가하고, 최적화기법을 활용하여 유역에 적합한 최적의 매개변수를 구하고, 민감도 분석을 통하여 각 매개변수가 유출에 미치는 영향을 파악하고, 다양한 강우-유출 사상에 대한 수문현상 모의의 적용성을 평가하고자 한다. 또한, 유역에서 실제 관측한 수문사상과 모형의 여러 가지 방법으로 산출한 수문사상과 비교 및 분석함으로써, 안성천 중상류 지역 하천 특성에 가장 적절한 유출 모의 방법을 찾아내는 데 목적이 있다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 안성천 중상류 유역으로 진원천 합류 전까지 안성천 수계를 포함하며, Fig. 1과 같다. 안성천 유역은 북위 36°50' ~ 37°20', 동경 126°50' ~ 127°00'에 걸쳐 한반도 중서부에 위치하고 있으며, 북동쪽으로 한강 유역, 남동쪽으로는 금강 유역, 남서쪽으로 삼교천 유역과 접한다. 유역 면적은 540.9 km², 유로 연장은 23.5 km, 형상계수는 0.47, 유역형태는 수지상이며, 평균 고도는 68.7(EL m), 평균 경사는 7.1(deg)이다[3].

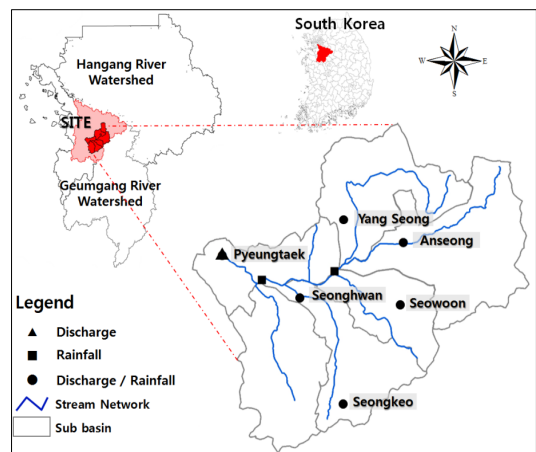


Fig. 1. Location of study site and observatory stations

대상 유역 내 수위-유량관측소 2개소, 우량 관측소 5개소, 강우량, 유량 동시 관측소 1개소가 있으며 Fig. 1에 나타나 있다. 시유량은 평택관측소, 강우량은 안성, 양성, 서운, 성거, 성환 관측소 자료를 사용하였으며, 국가수자원종합관리시스템[15]을 이용하였다. 본 연구에 사용된 관측소명, 위치 및 측정 항목은 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Observatory stations for rainfall and discharge

stations	location		remarks
	longitude	latitude	
Pyeongtaek	127-04-50	36-58-50	discharge
Anseong	127-16-44	37-00-29	rainfall
Yangseong	127-12-12	37-01-45	rainfall
Seowoon	127-15-47	36-56-41	rainfall
Sengkeo	127-11-57	36-52-41	rainfall
Seonghwan	127-08-53	36-56-59	rainfall

2.2 HEC-HMS 모형 이론

모형은 강우 사상이 발생하였을 때 손실을 산정하여 유효우량으로 변환하고, 여기에 기저유출을 산정하여 합하여 소유역의 총 유출을 구하고, 각 소유역별 총 유출을 합류점에서 합한 뒤, 하도추적을 통하여 대상유역의 출구점에서 유출수문곡선을 예측 또는 모의할 수 있도록 개발된 시스템이다.

본 연구에 적용한 HEC-HMS는 수문요소와 연결 구조를 가진 유역모형 (Basin Model), 기상학적 자료를 저장하고 처리하는 기상모형 (Meteorologic Model), 시간과 관련된 변수를 조정하는 제어지정모형 (Control Specification Model)으로 구성되어 있다. 각 모형의 기능은 선행연구[1,8-10]나 사용자 매뉴얼[7]에, 적용 사례 연구는 응용지침서[16]에 서술되어 있다. 모형을 이용한 모의는 수문요소들로 구성된 유역을 표현하여 다양한 강우-유출 기법을 활용하여 원하는 결과를 도출하는 것이며, 수문요소로는 소유역(sub-basin), 하도구간(reach), 저수지(reservoir), 합류점(junction), 분류점(diversion), 수원점(source), 함몰점(sink) 을 포함하는 7개가 있다.

2.3 HEC-HMS 모형 구축

대상유역을 총 7개의 소유역(S1-S7)으로 구분하고, 5개의 합류점(J1-Jout) 및 4개의 하도 추적구간 (R1-R4)으로 연결망을 구성하여 모형을 구축하였으며, Fig. 2와

같다. 소유역은 안성천 상류(S1), 한천(S2), 청룡천(S3), 입장천(S5), 성환천(S7), 평택수위표 상류(S4) 및 하류(S6) 등이며, 각 소유역 관련 자료는 Table 2에 정리하였으며, 합류점 및 하도 추적구간 특성 인자는 Table 3에 정리하였다.

Table 2. Topographical parameters of sub-basins for Anseongchun basin

sub-basin	area (km^2)	length (km)	slope (%)
S1	147.3	20.0	0.421
S2	89.7	22.0	0.188
S3	60.5	14.4	1.014
S4	40.9	6.0	0.173
S5	80.2	16.1	0.587
S6	25.0	3.0	0.094
S7	80.5	16.0	0.151

모형의 안정성과 수문곡선의 정확성을 담보하기 위해서 추적 구간 수(number of steps)의 산정이 필요하며, 구간별 산정된 구간 수를 Table 3에 정리하였다.

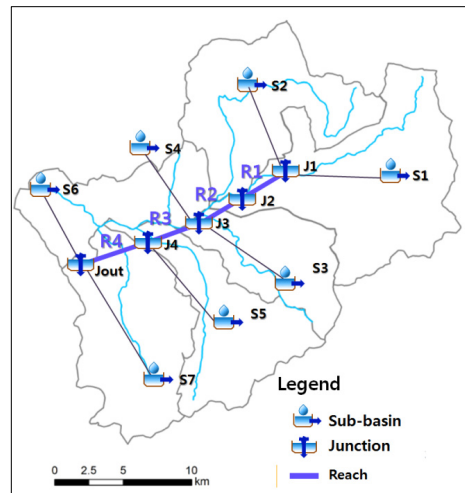


Fig. 2. Model implementation generated by HEC-HMS

Table 3. Channel characteristics of sub-reaches for Muskingum routing

sub-reach	from	to	length (km)	num. of steps
R1	J1	J2	2.0	2
R2	J2	J3	5.1	4
R3	J3	J4	2.9	3
R4	J4	Jout	3.1	3

초기 손실을 계산은 SCS-CN 방법을 적용하였으며, 매개변수인 CN 값을 구하기 위해 국가수자원종합정보 시스템에서 제공하는 유역 및 기상관련 정보[15], 환경부에서 제공하는 토지피복도[17], 농업과학원에서 제공하는 정밀토양도[18]자료를 이용하여 ArcView GIS 소프트웨어를 사용하여 수문학적 토양군으로 분류하여 소유역별 평균 유출곡선지수를 산정하였으며 결과는 Fig. 3과 같다. 소유역 내에서 직접유출 산정은 Clark 유역 홍수추적법을 적용하였으며, 주 매개변수인 도달시간과 저류상수는 국토해양부에서 제시한 환경사부와 급경사부의 유속을 보완한 연속형 Kraven 공식[19], Peters 공식[20]을 각각 적용하였다.

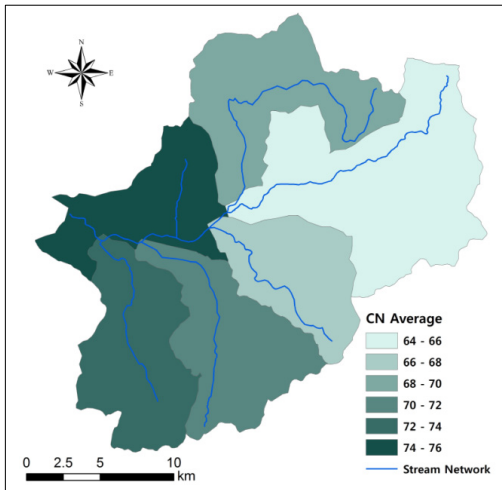


Fig. 3. Calculated Values of Curved Number for Sub-basins

하도추적을 위해 Muskingum 방법을 사용하였으며, 주 매개변수인 하도저류상수 K값은 추적구간의 홍수파의 통과시간을 이용하여 구하였으며, 홍수파의 저류정도를 결정하는 무차원 상수인 X값은 대부분의 하천에서 사용하는 권장치[0.1-0.3]를 사용하였다. 기저유량은 기존에 산정된 값이 없으며, 유역마다 결정할 수 있는 적절한 방법이 없으므로 강우 시작 전 유역 출구점의 유출량 자료를 기초로 소유역별로 면적에 비례하여 할당하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 모형의 보정

모형 보정을 위하여 수작업(시행착오법)과 목적함수를 이용한 자동조정 방법(최적화법)을 병행하였다. 최적화법의 경우 모의치와 실측치에 가장 근사한 매개변수를 빠르게 제공하는 장점은 있으나, 종종 소유역의 특성과 부합하지 않은 경우가 있어[13], 시행착오법으로 수정보완 하여야 한다.

대상 유역에 적합한 모형을 구축하기 위해서, 저류상수(R), 도달시간(Tc), 기저유량 관련 매개변수 유량감소비 상수(k), 침투율(ratio) 및 초기유량(Qo)에 대하여 최적화 과정을 수행하였다. 목적함수는 USACE[21]에서 제시한 PRMSE(Peak-weighted Root Mean Square Error)를 적용하였으며, 식(2)와 같다.

$$Z = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (q_o(i) - q_s(i))^2 \cdot \left(\frac{q_o(i) + q_m}{2q_m} \right) \right]} \quad (2)$$

여기서, Z=목적함수; $q_o(i)$ =관측유량; $q_s(i)$ =계산유량; q_m =관측유량의 평균; N=목적함수 계산에 사용되는 종거의 총수이다.

Table 4. Rainfall characteristics for storm events of Anseong observatory station

storm events	duration (hr)	amount (mm)	ave. int. (mm.hr)
2011.6.23. - 6.26.	78	173	2.2
2011.6.29. - 6.30.	24	83	3.5
2011.7.3. - 7.4.	24	102	4.2
2012.7.5. - 7.6.	35	153	4.4

모형의 보정은 2011년 6월 29일부터 30일까지, 2011년 7월 3일부터 4일까지 강우 사상 자료를 이용하였으며, 강우지속기간(duration), 기간 내 총강우량(rainfall amount), 평균 강우강도(average intensity) 등 관련 자료는 Table 4에 정리하였다.

Clark 방법을 적용하여 유역 홍수추적을 수행하였으며, 최적화 과정을 통하여 보정된 매개변수 도달시간(Tc), 저류상수(R)에 대하여 소유역별로 Table 5에 정리하였다. 도달시간은 소유역 면적이 제일 작고, 유역이 좌안/우안으로 나누어져 도달시간이 가장 짧은 (0.33 hr) S6부터, 소유역 면적은 2번째로 크지만, 유역 내 하천연장이 가장 길고, 유역 경사도 비교적 완만하여 도달시간

이 가장 긴 (4.83 hr)까지 분포하는 것으로 나타났다. 저류상수는 도달시간의 함수로 나타낼 수 있으며, Peter 공식[20]에 의하면, 하천경사와 저류능력이 보통인 유역은 $R=Tc$ 이고, 하천경사와 저류능력이 큰 유역은 $R=1.5Tc$ 로 제시한 바 있으며, 보정 결과도 하천경사가 비교적 급한, S1, S3 소유역은 저류상수와 도달시간이 거의 1:1이며, 경사가 비교적 완만한 S2, S7 소유역은 1:1.5에 근접하는 것으로 나타났다.

수문곡선의 기저유량을 고려하는 방법(recession)은 지수함수적 감소방법을 사용하였으며, 매개변수 보정 결과를 Table 5에 나타내었다. 초기유량(Q_0)는 강우가 없는 상태에서도 지속적으로 존재하는 유량으로 선행강우의 함수이며, 0.06 안팎인 것으로, 기저유량 감소비(k)는 감쇄상수라고도 하며, 하강 곡선의 변곡점 이후의 어떤 유량과 하루 경과후의 감소유량과의 비이며 0.5- 0.75로 산정되었으며 이는 매뉴얼[21]에서 제시한 범위[0.1,0.9] 내에 있는 것으로 나타났다. 하강 곡선 상의 지수함수적으로 감소하기 시작하는 유량은 침투 유량과의 비(w)로 나타내며 0.1 안팎으로 산정되었으며, 이는 매뉴얼[21]에서 제시한 범위[0.05,0.15]내에 있으며 산정된 값은 중간 정도의 값인 것으로 나타났다.

하도추적은 Muskingum 방법을 적용하였으며, 보정 결과는 Table 6에 정리하였다. 하도 저류상수(K)는 추적구간의 길이를 반영하여 구간 길이가 짧은 R1은 0.22부터, 길이가 가장 긴 R2는 0.59까지로 산정되었다. 홍수파의 저류정도를 결정하는 무차원 상수(X)는 0.2 안팎으로 산정되었으며, 이는 제시한 범위[0-0.5] 내에 있다. 미계측 유역의 X 값 추정은 어려운 문제이나, 대부분의 하천에서 0-0.3의 값을 적용하는 것으로 알려져 있다[21].

Table 5. Calibration results of model parameters for sub-basins

sub-basin	Clark's UH		recession		
	tc(hr)	R(hr)	Qo	k	w
S1	4.34	4.34	0.06	0.75	0.098
S2	4.83	7.08	0.06	0.75	0.098
S3	1.81	1.81	0.06	0.75	0.098
S4	0.68	1.00	0.058	0.50	0.100
S5	2.84	2.85	0.06	0.75	0.098
S6	0.33	0.46	0.058	0.50	0.100
S7	3.73	4.20	0.06	0.75	0.098

Table 6. Calibration results of model parameters for sub-reaches

parameters	sub-reaches			
	R1	R2	R3	R4
K (hr)	0.22	0.59	0.34	0.36
X	0.21	0.23	0.18	0.27

3.2 민감도 분석

모의 결과는 매개변수의 변화에 지배를 받게 되는데, 각 매개변수가 모의 결과에 미치는 영향을 파악하기 위해서 2011년 6월 29일부터 30일까지 발생한 강우 사상 (Table 4)을 이용하여 민감도 분석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그래프에서는 민감도에 의한 시간 분포를 효율적으로 파악하기 위해 횡축을 상대적인 시간으로 나타내었다.

손실계산 시 SCS-CN 방법을 적용하였으므로 유출곡선지수(CN)이 미치는 영향을 파악하기 위해 CN 값을 최적치에 비하여 10 % 증가 및 감소하여 시뮬레이션 하였으며 결과는 Fig.4(a)와 같다. CN 값이 큰 경우는 유출이 큰 폭으로 증가하여 수문곡선이 전체적으로 상승하였으며 침투유량은 $847 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 최적치 $673 \text{ m}^3/\text{s}$ 에 비하여 크게 증가하였고, 감소한 경우는 반대 현상으로 침투유량이 $506 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 크게 감소한 것을 볼 수 있다.

도달시간을 최적치보다 30 % 증가 및 감소하여 시뮬레이션 한 결과는 Fig.4(b)와 같다. 이 경우, 침투유량의 증감에 미치는 영향은 상대적으로 미미하나, 증가한 경우 소유역의 최원거리에서 소유역 출구까지 도착하는 데 걸리는 시간이 지체됨에 따라, 전체 유역의 출구점에서 침투유량 발생시각이 1시간 정도 지체(시간 축에서 오른쪽으로 이동)되는 효과를 나타내었으며, 감소시키면 반대의 현상으로 침투시각이 1시간 정도 단축되는 것을 반영하는 것을 알 수 있다.

침투율(또는 침투 유량비)의 영향을 파악하기 위해서 허용범위 (0.05 ~ 0.15)에서 하한치와 상한치를 사용하여 시뮬레이션 하였으며, 그 결과는 Fig. 5(e)와 같다. 침투유량의 증감 뿐 만 아니라, 침투유량 발생시각에도 전혀 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 작은(낮은) 침투유량비를 사용한 경우(점선) 하강부가 빠르게 감소하여 횡축과 가까워지는 것으로 나타났고, 높은 유량비를 사용한 경우 하강부가 상대적으로 높은 유량에서 서서히 감소하여 횡축과는 멀리 떨어져 있는 것으로 나타났다.

3.3 강우유출 모의

모형의 검증과정을 통하여 구한 매개변수를 강우 사상 2건에 대하여 강우-유출 모의를 수행하였다. 첫 번째 강우 사상은 2011년 6월 23일 06시에 강우가 시작되어 26일 11시에 종료되었고, 두 번째 강우 사상은 2012년 7월 5일 12시에 강우가 시작되어 6일 23시에 종료되었으며, 상세한 내용은 Table 4에 정리되어 있다. 첫 번째 강우 사상에서 첨두 유량은 6월 24일 22시에 발생하였으며, 강우 시작 후 40시간 후이며, 두 번째 강우 사상에서 첨두 유량은 7월 6일 13시에 발생하였으며, 강우 시작 후 25 시간 후 인 것으로 나타났다.

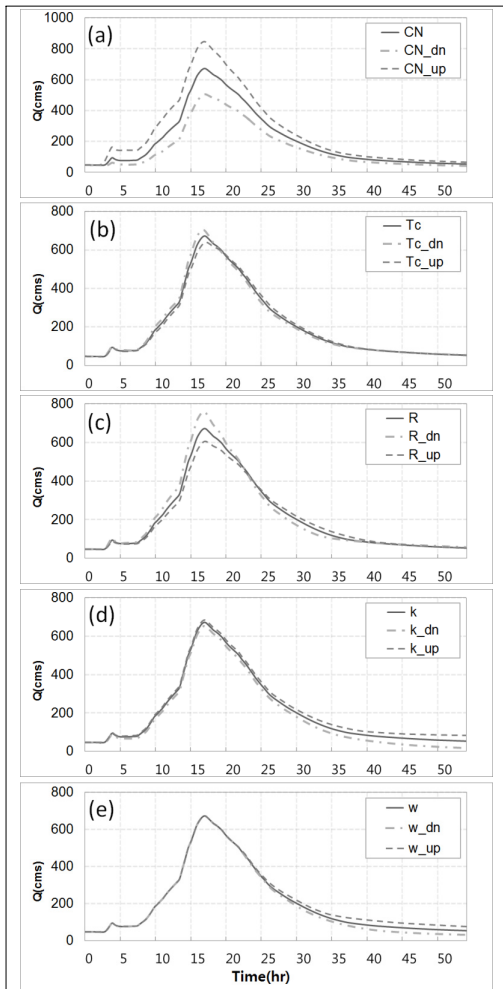


Fig. 4. Model sensitivity analysis, a) CN=curve number b) Tc=time of concentration; c) R=storage coefficient d) k=decay rate; e) w=ratio

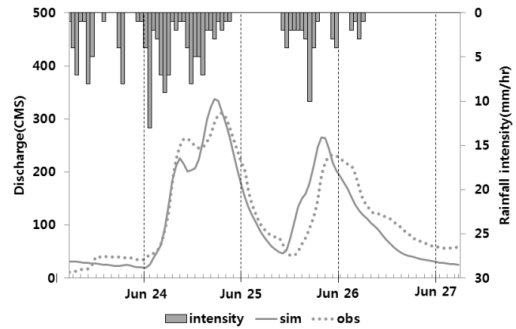


Fig. 5. Comparison of calculated and observed results for storm event (June 23 - 26, 2011)

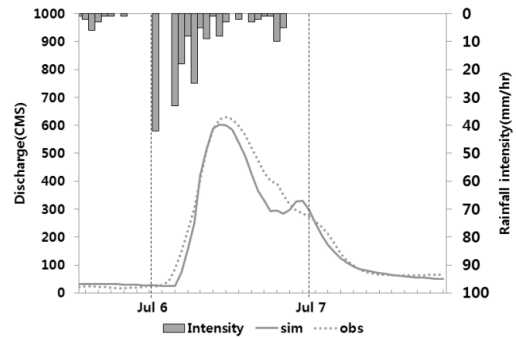


Fig. 6. Comparison of calculated and observed results for storm event (July 5 - 6, 2012)

2건의 강우 사상에서 첨두유량이 발생하는 데 차이를 보인 것은 강우강도의 시간적 분포에도 기인하나, 본 연구에서는 선행함수 토양조건이 다른 것에 기인한 것이 큰 것으로 판단된다. 제1 강우사상이 발생하기 5일 전 상당히 건조한 상태였으나, 제2 강우 사상 전에는 상대적으로 토양이 습윤한 상태여서 직접유출이 발생하는 데 걸리는 시간이 단축되었던 것으로 사료된다.

Fig. 5는 첫 번째 강우 사상에 대하여 모의유량과 실측유량을 비교한 그래프이며, 중요한 결과 값은 Table 7에 정리하였다. 모의(calculated) 유출 체적(runoff volume)은 89.5 mm로 실측(observed) 값 (89.9 mm)와 거의 유사하게 모의하였으며, 첨두유량(peak flow) 또한 모의치가 실측치의 10.7 %로 비교적 정확하게 모의된 것으로 나타났다. 첨두유량 발생 시각(time of peak flow)은 모의치가 실측치보다 1시간 35분 빨리 발생하는 것으로, 도달시간은 실측치보다 1시간 정도 빠르게 나타나는 것으로 모의되었다.

Table 7. Comparison of calculated and observed results at outlet of basin for two storm events

parameters	comparison		percent
	calculated	observed	dif.(%)
storm event #1 : Jun23_06:00 - Jun26_11:00, 2011			
runoff vol. (mm)	88.5	89.9	-1.5
peak flow (cms)	344.0	310.9	10.7
time of peak	jun24,20:25	jun24,22:00	-
time of conc.	jun25,12:28	jun25,13:36	-
storm event #2 : Jul05_12:00 - Jul06_23:00, 2012			
runoff vol. (mm)	78.2	79.3	-1.4
peak flow (cms)	644.2	629.0	2.4
time of peak	jul06,13:30	jul06,13:00	-
time of conc.	jul06,18:26	jul06,18:23	-

Fig. 6은 두 번째 강우 사상에 대하여 모의유량과 실측유량을 비교한 그래프이며, 중요한 결과 값은 Table 7에 정리하였다. 모의 유출 체적은 78.2 mm로 실측 값(79.3 mm)와 거의 유사하게, 첨두유량은 644.2 m³/s로 실측 유량(629.0 m³/s)와 오차가 5% 이내로 상당히 정확하게 모의된 것으로 나타났다. 첨두유량 발생 시각, 도달 시간 모두 표에 나타난 바와 같이 모의치와 실측치 차이가 근소한 것으로 나타났다.

강우 사상 2건을 비교하면, 단일 강우 사상인 두 번째 강우 사상은 첨두 유량, 첨두 발생 시각, 도달시간 등에서 복합 강우 사상인 첫 번째 강우보다 정확히 모의되는 것으로 나타났다. 이는 복합 강우 사상의 경우, 제1 피크를 적합시키는 데 적용한 매개변수가 제2 피크를 재현하는 데 적합하지 않을 수 있기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 안성천 중상류 유역의 강우-유출 특성을 파악하기 위해서 HEC-HMS 모형을 적용하였으며, 도출된 결과는 다음과 같다.

1. 모형의 보정과정에서 2건의 강우사상에 대하여 최적화 기법을 적용하여 매개변수를 산정하였으며, 도달시간은 소유역의 특성을 반영하여 0.33-4.83으로, 저류상수는 0.46-7.08로 나타났다. 저류상수는 소유역의 상태에 따라 도달시간과 1:1에서 1:1.5 관계가 있는 것으로 나타났다.

2. 민감도 분석을 수행하여 매개변수의 특성을 파악하였다. 유출곡선지수는 선행토양함수조건의 함수이며, 지수를 10% 증가한 경우, 수문곡선이 상승하여, 첨두유량은 30% 이상 증가한 것으로, 첨두 시각에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 도달시간은 첨두시각에 영향을 미치는 것으로, 저류상수는 첨두유량의 증감에 다소 영향을 미치는 것으로, 기저유량감소비는 수문곡선 하강부의 기울기에 영향을 미치는 것으로, 첨두유량비는 수문곡선 하강부의 빠른 또는 늦은 하강 시작을 조절하는 데 영향을 미치는 것으로 나타났다.
3. 강우사상 2건에 대하여 유출모의를 실시하여 실측 수문곡선과 비교하였다. 2건 모두 모의치가 실측치를 상당히 유사하게 모사하는 것으로 나타났으며, 단일강우의 경우 복합강우보다 정확도가 높은 것으로 나타났다. 이는 복합 강우 사상의 경우, 제1 피크를 적합시키는 데 적용한 매개변수가 제2 피크를 재현하는 데 적합하지 않을 수 있기 때문인 것으로 사료된다.

References

- [1] S. C. Yang, S. K. Yang, J. H. Lee, W.Y. Jung, K.H. Ko, "Flood Discharge Analysis on Land Use Changes in Han Stream in Jeju Island", *Journal of Environmental Science*, vol. 24, no. 4, pp. 425-435, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5322/JESI.2015.24.4.425>
- [2] J. H. Choi, J. J. Lee, H. H. Kwon, "An Analysis of Runoff Variation due to Urbanization in Cho-Kyung Stream Watershed", *Korean Wetland Society*, vol. 11, no. 3, pp. 161-169, 2009.
- [3] Ministry of Land and Maritime Affairs, "Comprehensive Flood Damage Mitigation Measures and Stream Valleys of Master Plan for Anseongchun Basin", *Water*, vol. 7, pp. 5155-5172, 2005.
- [4] Huber, W. C. and R. E. Dickinson, "Storm Water Management Model. User's Manual Ver. IV", U.S. EPA, Cincinnati, OH, 1988.
- [5] L. A. Rossman, "Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0", U.S. EPA, 2010.
- [6] US Army Corps of Engineers(USACE), "HEC1 Flood Hydrograph Package User's Manual", Davis, CA, 1998.
- [7] US Army Corps of Engineers(USACE), "Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User's Manual (version 4.1)", Davis, CA, 2015.
- [8] W. U. Jung, S. K. Yang, D. S. Kim, "Flood Discharge to Decision of Parameters in Han Stream", *Journal of Environmental Science*, vol. 23, no. 4, pp. 533-541,

2014.

DOI: <http://doi.org/10.5322/JESI.2014.4.533>

- [9] S. J. Jin, C. H. Ham, K. H. Cho, G. S. Kim, "An Application in the Geum River Basin Using HEC-HMS Model", 38th Convention and Civil Expo, *Korean Society of Civil Engineers*, pp. 525-528, 2012.
- [10] J. H. Lim, B. H. Lee, B. S. Kim, "Analysis of Flood Runoff Characteristics in the Youngdong Region Using HEC-HMS Hydrologic Model", 38th Convention and Civil Expo, *Korean Society of Civil Engineers*, pp. 718-721, 2012.
- [11] D. A. Zema, "Comparing Different Infiltration Methods of the HEC-HMS Model : The Case Study of The Mesima Torrent (Southern Italy)", *Land Degradation and Development*, vol. 28, pp. 294-308, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2591>
- [12] E. Abushandi, B. Merkel, "Modeling Rainfall Runoff Relationships Using HEC-HMS for a Single Rain Event in an Arid Region of Jordan", *Water Resources Management*, vol. 27, pp. 2391-2409, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0293-4>
- [13] H. Jin, R. Liang, P. Tumura, "Flood Runoff in Semi-arid and Sub-humid Regions, A case Study: A Simulation of Jianghe Watershed in Northern China", *Water*, vol. 7, pp. 5155-5172, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.3390/w7095155>
- [14] Halwatura. D, Najim. M. M. M, "Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment", *Environmental Modeling and Software*, vol. 46, pp. 155-162, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.03.006>
- [15] Ministry of Land, transport and Maritime Affairs, "Water Resources Management Information System (WAMIS)", 2012.
- [16] US Army Corps of Engineers(USACE), "Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Application's Guide", US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2015.
- [17] Ministry of Environment, "Environmental Geographic Information System (EGIS)", 2012.
- [18] National Institute of Agricultural Science, "Soil Environment Information System", 2010.
- [19] Ministry of Land, transport and Maritime Affairs, "Design Flood Estimation Tips", 2012.
- [20] J. Peters., "Flood Plain Hydrology Program HEC-1 on IBM Compatible Personal Computers: Lec. 6: Unit Hydrograph Development Course", UC Davis, CA, 1993.
- [21] US Army Corps of Engineers(USACE), "Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual)", Davis, CA, 2010.

황 병 기(Byung-Gi Hwang)

[종신회원]



- 1989년 5월 : (미) Virginia Tech. (공학석사)
- 1996년 5월 : (미) Univ. of Virginia (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 건설시스템공학과 교수

<관심분야>

수자원공학, 상하도공학, 수질관리모델링

양 승 빈(Seung-Bin Yang)

[준회원]



- 2014년 2월 : 상명대학교 환경조경학과 (학사)
- 2016년 2월 : 상명대학교 환경조경학과 (석사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 상명대학교 환경자원학과 박사과정

<관심분야>

환경생태계획, 습지생태, GIS