



산림지역의 유출특성을 고려한 남강댐유역내 주요 하천관측지점에 대한 홍수유출량 추정

Flood Runoff Estimation for the Streamflow Stations in Namgang-Dam Watershed Considering Forest Runoff Characteristics

김성재* · 박태양* · 장민원* · 김상민*†

Kim, Sung Jae · Park, Tae Yang · Jang, Min Won · Kim, Sang Min

ABSTRACT

The objective of this study is to estimate the flood runoff for three gauged stations within Namgang-Dam watershed which are operated by KWATER. For a flood runoff simulation, HEC-HMS was applied and the simulated runoff was compared with observed from 2004 to 2008. The watershed area of Sancheong, Shinan, and Changchon were 693.6 km², 413.4 km², and 346.48 km², respectively. The average runoff ratio of observed runoff for three watersheds were 0.725, 0.418, and 0.586, respectively. The dominant land cover of three watersheds are forest with the value of 71.6 %, 73.1 %, and 82.0 %. Three different cases according to the potential maximum retention of forest areas for calculating the curve number were applied to decrease the error between the simulated and observed. The simulated peak runoff of case 3 which applied the 90 % of potential maximum retention of curve number which is equivalent to AMC I for all the AMC I, AMC II, and AMC III conditions showed least root mean square error (RMSE). The case 1, which was suggested by previous study, showed high discrepancy between the simulated and observed. Since the forest area consists of more than 70 % for all three watersheds, the application of curve number for forest is critical to improve the estimation errors. Further research is required to estimate the more accurate curve number for forest area.

Keywords: HEC-HMS; Namgang-Dam; peak runoff; forest; curve number

1. 서 론

홍수피해를 줄이고, 수자원의 효율적인 배분을 위해서는 하천의 유역면적, 유역경사, 유역의 토지이용, 유량, 하폭, 하도의 길이, 토양의 성질 등 수문학적 인자와 이에 영향을 미치는 강우 등의 기상인자를 파악하여 유출을 정확히 예측하는 강우-유출관계의 규명이 선행되어야 한다 (Kim, 1999; Kim, 2001). 강우-유출 현상을 물리적으로 표현하기 위해 여러 가지 모형들이 개발되어 왔다 (Seong et al., 2008). HEC-HMS 모형 (USACE, 2001a)은 미공병단 (USACE)에서 유역의 홍수량 추정을 위해 기존에 개발되어 사용되던 HEC-1 모형 (USACE, 1998)을 사용자 편의 시스템과 다양한 기능을 추가하여 만든

것으로 국내에서는 수리구조물의 설계홍수량 추정을 위해 실무에서 많이 이용되고 있는 모형이다.

국내에서 HEC-HMS를 이용한 유출해석 사례를 살펴보면, Park et al. (2000)은 남강댐 유역에 대해 HEC-HMS를 적용하여 홍수량을 산정, 관측된 홍수량과 비교 분석하여 홍수예경보 시스템으로의 활용가능성을 제시하였고, Jang (2004)은 산지 소하천 유역인 청주시 자사 계곡 유역에 대하여 HEC-HMS를 적용하여 홍수 유출량을 산정하였다. Kim et al. (2006)은 안성천 유역의 소유역인 진위천 유역을 대상으로 GIS와 HEC-HMS를 결합한 모형을 적용하여 유역의 수문곡선과 강우-유출 관계 분석을 통해 유출량을 산정하였고, Lee et al. (2008)은 국립공원 산지하천 유역에 대한 홍수량 산정 및 침수 피해를 모의하기 위하여 지리산 국립공원 달궁 유역을 대상으로 HEC-HMS를 이용하여 유역의 홍수유출량을 산정하고, HEC-RAS를 이용하여 홍수위를 산정하여 달궁 유역의 침수지도를 제작한 바 있다. Kim et al. (2003)은 농업소유역에서의 홍수량을 추정하기 위해 미공병단에서 개발한 HEC-GeoHMS와 HEC-HMS를 이용하여 경기도 화성시 발안면과 팔탄면에 위치한 발안 시험

* 경상대학교 지역환경기반공학과(농업생명과학연구원)

† Corresponding author Tel.: +55-751-5431

Fax: +82-55-752-0884

E-mail: smkim@gnu.ac.kr

2010년 10월 14일 투고

2010년 11월 8일 심사완료

2010년 11월 9일 게재확정

유역을 대상으로 1997년부터 2003년까지 주요한 폭우사상에 대하여 침투유량과 침투시간을 추정하여 실측치와 비교하였고, Seong et al. (2008) 또한 1996년부터 서울대학교 농업수자원연구소에서 수문관측을 실시하고 있는 발안 시험유역을 대상으로 강우-유출 모의를 위해 Synder, Clark, SCS 단위도 방법을 적용하여 실측자료와 비교하여 모형의 적용성을 평가하여 농촌 소유역의 홍수량을 추정하는데 Synder, Clark, SCS 단위도 방법의 이용이 가능할 것이라는 평가를 한 바 있다. Kim et al. (2009)은 지리산 국립공원내의 대원사 계곡을 대상유역으로 선정하여 HEC-HMS 모형의 SCS 단위도법을 모듈로 1973년부터 30년간 강우자료를 바탕으로 재현기간별 강우강도-지속시간을 산정하여 미계측 산림지역의 재현기간별 침투홍수량의 기반으로 홍수 및 침수에 대한 피해방지대책을 마련하는데 효과적으로 사용할 수 있다고 판단한 바 있다.

모형의 적용성을 평가하기 위해서는 시험유역을 대상으로 지형, 토양, 토지이용 등의 자료로부터 모형의 입력자료를 구축하고 강우자료와 유출량 자료를 이용하여 모형의 보정과 검정을 하게 된다. 현재 국내에서는 국토해양부에서 운영하는 수자원관리정보시스템 (<http://www.wamis.go.kr/>)을 이용하여 주요 관측지점의 수문자료를 구득할 수 있다. 수자원관리정보시스템에서는 각 관측지점의 수위자료와 연도별 수위-유량관계 자료를 제공하고 있으며, 이 자료를 이용하여 대상지점의 유출특성을 파악할 수 있다.

본 연구에서는 남강댐 유역의 주요하천관측 지점 중 산청, 신안, 창촌 지점을 선정하여 GIS를 이용하여 유역을 구분하고 수문모형의 매개변수를 추출하였다. 이 추출한 매개변수를 HEC-HMS에 입력하고, 대상유역에서 수집 분석된 강우자료와 하천유량자료를 이용하여 해당유역에 대한 매개변수를 최적화시켰다. 지점 별 2004년부터 2008년까지의 시간별 강우자료와 국토해양부에서 제공한 수위-유량관계를 이용하여 얻어진 유량을 실측자료로 사용하여 HEC-HMS상에서 얻어진 호우사상 유형에 따른 강우-유출량 관계와 비교하였다.

II. 재료 및 방법

1. HEC-HMS 모형의 개요

HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)은 미 육군 공병단에서 개발된 강우-유출과 홍수추적 과정을 모의하는 프로그램이다. HEC-HMS는 HEC-1 프로그램이 윈도우기반으로 발전되었고 사용자 편의 시스템을 도입되었으며, HEC-1 모형이 가지고 있던 기능의 개선과 분포형 모형 및 연속모의기능이 추가되었다 (USACE, 1998). HEC-HMS의 유출모의 과정에서는

보이지 않는 수문순환 성분들은 생략하거나 일괄처리하고 있다. 예를 들면 HEC-HMS는 물의 침투모형을 포함하고 있지만, 토양층 내에서의 물의 수직이동과 저류모형은 생략하였으며, 직접 유출은 지표유출 (overland flow)과 지표하유출 (sub surface flow)을 결합하여 계산하도록 되어 있다. 또한 중간유출이나 지하대수층 흐름을 세부적으로 모의하지 않는 대신에 이들 흐름을 결합하여 기저유출 (base flow)로만 표현한다 (USACE, 2001a). HEC-HMS는 크게 유역에서의 손실량, 직접유출량, 기저유출량, 하도구간 흐름 모의 등 유출과정의 각 성분을 모의하는 모형과 유역의 기상자료에 관한 모형과 모형의 구동시 시간에 관계되는 부분을 설정해 주는 부분으로 구성된다 (Seong et al., 2008).

HEC-HMS 모형에서 유효우량의 계산은 총강우량에서 침투, 차단, 증발, 증산, 지표저류 등의 손실량을 뺀 값으로 계산된다. HEC-HMS 모형에서는 손실량을 산정하기 위해 초기 손실 및 일정 비율 손실량 모형 (Initial and constant-rate loss model), NRCS (Natural Resources Conservation Service)의 유출곡선지수 (Curve Number, CN) 모형, Green and Ampt의 손실량 모형 등을 지원한다. 본 연구에서는 유효우량 산정방법으로 NRCS의 유출곡선지수 (CN) 방법을 적용하였다. 이 방법에서 총강우량과 초과우량과의 관계는 다음의 식 (1)과 같다.

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1)$$

여기서, P_e 는 누가 초과우량, P 는 누가 강우량, S 는 최대잠재보유수량을 나타낸다. 식 (1)에서 최대잠재보유수량 S 는 다음의 식 (2)와 같으며, 유출곡선지수 CN 은 토지이용, 토양종류, 수문학적 토양군 등에 의한 값으로 0~100의 범위를 갖는다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (2)$$

유효우량 Q 는 SCS 무차원단위도법을 이용한 단위도 합성을 통하여 유출수문곡선을 생성하게 된다. 침투시간 (t_p)은 삼각형 단위도로부터 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$t_p = \frac{1}{2}D + t_L \quad (3)$$

여기서, D 는 유효강우의 지속시간 (hr)이고, t_L 은 지체시간 (hr)을 나타낸다. 또한, SCS의 실험결과로부터, 유역의 지체시

간 (t_L)과 홍수도달시간 (t_C)과의 관계는 다음의 식으로 계산할 수 있다 (Kim et al., 2009).

$$t_L = 0.6t_c \quad (4)$$

HEC-HMS에서 지원되는 기저유량 모의모형으로는 월별 일정 기저유량 모형, 지수감수모형, 토양수분량 계산모형과 연계하여 사용되는 선형 저수량 계산모형 등 3가지 모형이 있으며, 본 연구에서는 지수감수모형을 사용하였다.

2. 대상 유역

본 연구의 대상유역은 남강댐 유역내에 위치한 3개의 주요 수문관측지점인 산청, 신안, 창춘으로 한국수자원공사에서 수문관측을 실시하고 있다. 남강댐 유역은 유역면적 2,293 km², 유역평균 표고 426 m, 유역평균경사 35 %, 형상계수 0.42의 유역특성을 가지고 있으며, 유로연장은 110.84 km에 이른다. 남강댐 유역에는 현재 기상청에서 운영하는 기상관측소 1개소 (산청), 수자원공사에서 운영하고 있는 수위관측소 11개소, 낙동강 유역환경청에서 운영하고 있는 하천수 수질측정망 9개소, 수자원공사에서 운영하고 있는 호소수 수질측정망 3개소 등의

기상, 수문, 수질 관측망이 운영중에 있다. 남강은 경상남도 거창군 서상면의 덕유산에서 발원하여 남쪽으로 흐르면서 함양군 함양읍 지점에서 함양위천, 산청군 신암면 지점에서 남강의 제 1지류인 양천과 합류하며, 이후 남쪽으로 흐르다가 덕천강과 합류한 후 남강댐에 유입된다 (Kim et al., 2010). 다음의 Fig. 1은 남강댐유역내의 주요 하천과 본 연구의 대상이 되는 3개의 수문관측지점인 산청, 신안, 창춘의 유역경계를 표시하여 보여주고 있다.

Table 1 The stage–discharge relationships and coefficient of determination for Sancheong, Shinan, and Changchon stations

Station	Stage range	Stage-discharge relationship	Year
Sancheong	H<0.12	$Q=0.0997H^{2.0482}$	2004
	$0.12 \leq H \leq 2.71$	$Q=2.9240(H+0.6680)^{4.0390}$	
	$2.71 \leq H \leq 8.25$	$Q=3.4910(H+1.94)^{3.085}$	
	$0.42 \leq H \leq 3.27$	$Q=27.8133H^{2.169}$	2005
	$0.4 \leq H \leq 8.87$	$Q=28.373H^{2.386}$	2006
	$0.15 \leq H \leq 4.61$	$Q=30.505(H-0.021)^{2.567}$	2007
	$4.61 < H \leq 8.14$	$Q=133.211(H+0.042)^{1.585}$	
	$0.33 \leq H \leq 1.10$	$Q=172.580(H-0.227)^{1.536}$	2008
$1.10 < H \leq 14.97$	$Q=34.715(H+0.462)^{2.212}$		
Shinan	H<0.95	$Q=0.7176H^{0.22}$	2004
	$0.95 \leq H \leq 1.25$	$Q=20.29(H-0.5290)^{2.0}$	
	$1.25 \leq H \leq 4.8$	$Q=25.933(H-0.5540)^{2.4980}$	
	H<0.89	$Q=0.7674H^{0.1609}$	2005
	$0.89 \leq H < 2.21$	$Q=21.017977(H-0.546)^2$	
	$2.21 \leq H \leq 3.06$	$Q=30.610602(H-0.935)^{2.625}$	2006
	$0.850 \leq H \leq 3.878$	$Q=4.806(H-0.034)^{3.598}$	
	$3.878 \leq H \leq 7.540$	$Q=26.833(H+0.381)^{2.157}$	2007
	$0.80 \leq H \leq 3.08$	$Q=42.349(H-0.636)^{2.584}$	
	$3.08 < H \leq 5.94$	$Q=96.128(H-0.646)^{1.676}$	2008
$0.85 \leq H \leq 3.02$	$Q=16.832(H-0.379)^{3.508}$		
$3.02 < H \leq 7.54$	$Q=96.913(H-0.128)^{1.562}$		
Changchon	$0.40 \leq H \leq 0.65$	$Q=118.798(H-0.006)^{3.352}$	2004
	$0.65 \leq H \leq 2.95$	$Q=94.508(H-0.02)^{2.614}$	2005
	$0.22 < H < 2.24$	$Q=41.08H^{4.29}$	
	$2.24 < H < 2.73$	$Q=200.05H^2 + 365.74H - 509.12$	
	$2.73 < H < 6$	$Q=162.20H^{2.53}$	2006
	$0.400 \leq H \leq 1.966$	$Q=136.638(H-0.151)^{2.354}$	
	$1.966 < H \leq 4.230$	$Q=139.674(H-0.137)^{2.287}$	2007
	$0.37 \leq H \leq 1.25$	$Q=193.235(H-0.232)^{2.17}$	
$1.25 < H \leq 3.79$	$Q=218.108(H-0.295)^{1.724}$		
$0.37 \leq H \leq 0.66$	$Q=894.948(H-0.250)^{3.605}$	2008	
$0.66 < H \leq 4.20$	$Q=193.566(H-0.255)^{1.881}$		

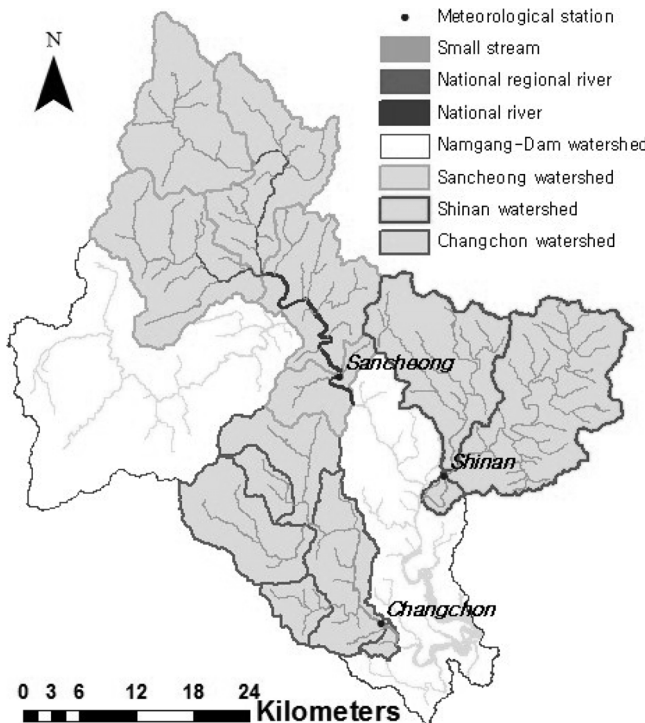


Fig. 1 Streamflow monitoring stations and sub-watershed within the Namgang–Dam watershed

3. 강우, 유량자료

남강댐 유역으로 유입되는 일별 유량자료는 수위관측지점별 수위자료를 Table 1의 연도별 수위-유량 관계식에 적용하여 산출하였고, 산출된 유량자료와 2004년부터 2008년까지 산청, 신안, 창촌 지점의 강우자료를 바탕으로 연간 유출량과 유출율을 산정하였다. Table 2에서 각 유역별 연 강우량과 연간 유출량, 유출율을 산정한 결과를 보여주고 있다. 산청, 신안, 창촌 유역의 2004년부터 2008년까지 5년간의 연평균 유출율은 각각 72.5 %, 41.8 %, 58.6 %로 나타났으며, 유역별로는 산청 유역의 유출율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 연도별로는 2007년의 유출량이 가장 높은 값을 보여주고 있다. 2008년의 경우 상대적으로 낮은 강우량을 보여주고 있다. 신안의 경우 2008년 유출율이 25.6 %로 매우 낮은 값을 보였고, 창촌의 경우 2005년 유출율이 19.3 %, 2008년 36.9 %로 낮은 값을 보였으나, 2005년 유출율이 매우 낮은 값을 보인 것은 실측치에 문제가 있는 것으로 평가된다. 2008년의 경우 낮은 강우량으로 인해 신안과 창촌에서 낮은 유출율을 보였다.

모형의 적용을 위해 각 년도별 주요 강우사상 중 강우-유출 관계에서 특이치를 제외한 강우사상을 선정하였으며, 산청 10개, 신안 14개, 창촌 14개로 총 38개의 강우사상을 선정하였다. 선정된 강우사상은 산청 92~240 mm, 신안 90~333 mm, 창촌 82~282 mm의 범위를 보였다. 대상유역의 하천 수위는

국토해양부에서 운영하는 수자원관리정보시스템 (<http://www.wamis.go.kr/>)에서 제공하는 각 지점별 일별 수위자료를 이용하였다.

4. GIS자료

GIS의 자료구축을 위해 지형자료, 토지이용자료, 토양자료를 구축하여 자료를 분석하였다. 지형자료의 구축을 위해 ESRI에서 개발한 ArcGIS 모듈을 이용하였다. 대상유역의 지형도는 국립지리원에서 제작한 1/5,000 NGIS 수치지도를 이용하였으며, 중분류 토지피복 분류도는 1/25,000 지도를 이용하였고, 국토해양부에서 운영하는 수자원관리정보시스템 (<http://www.wamis.go.kr/>)에서 제공하는 남강댐 유역의 유역도, 수문관측망도, 국가하천도, 지방1급하천도, 지방2급하천도 등을 이용하여 자료를 구축하였다. 구축한 지형자료의 속성정보를 바탕으로 HEC-HMS 모형구동에 필요한 입력자료를 구축하였고, 산청, 신안, 창촌 각 유역의 유역도는 하천도와 유역도 및 DEM지도를 이용하여 경계를 나누었다. 토양자료는 WAMIS에서 제공하는 1/25,000 정밀토양도를 이용하여 유역에 대한 토양분류를 실시하여 각 토양별 수문학적 토양군을 분류하였다. 다음의 Table 3은 각 유역별 경사도, 토지이용, 수문학적 토양군의 분류결과를 본 연구에 이용된 주요 수문사상의 유출율과 함께 표시한 결과를 보여주고 있다.

Table 2 Observed rainfall, runoff, and runoff ratio for the monitoring stations within Namgang-Dam watershed.

Year	Sancheong			Shinan			Changchon		
	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Runoff ratio (%)	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Runoff ratio (%)	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Runoff ratio (%)
2004	1,874.0	1,266.2	67.6	1,813.0	943.5	52.0	1,964.0	1,528.5	77.8
2005	1,219.0	746.0	61.2	1,122.0	478.5	42.7	1,239.0	239.0	19.3
2006	1,517.0	1,140.9	75.2	1,540.0	715.1	46.4	1,684.0	1,268.7	75.3
2007	1,623.0	1,551.3	95.6	1,911.0	812.3	42.5	1,747.0	1,460.9	83.6
2008	814.0	512.3	62.9	967.0	247.9	25.6	938.0	346.2	36.9
Mean	1,409.4	1,043.3	72.5	1,470.6	639.5	41.8	1,510.8	968.7	58.6

III. 결과 및 고찰

1. 유출곡선번호 추출

SCS 방법을 이용한 유출량의 산정을 위해 선행강우조건에 따른 유출곡선번호 (CN)를 추출하였다. 이를 위해 유역의 토양자료와 토지이용자료를 이용하였다. 토양도는 1/25,000 정밀토양도를 이용하여 유역에 대한 토양분류를 실시하였고, Heo et al. (1988)의 연구 결과를 토대로 수문학적 토양군을 분류하였다. 토지이용자료는 위성영상자료를 이용하여 토지이용분류를 실시하였고, 논에서의 CN값은 Lim et al. (1997)에 관한 연구

Table 3 Runoff ratio, average slope, land cover, and hydrologic soil group for sub-watershed.

Sub-watershed	No. of storm event	Average slope (%)	Average runoff ratio (%)	Percent of land cover (%)					Hydrologic soil group (AMC II) (%)			
				Paddy area	Upland	Forest	Residential area	Other land use	A	B	C	D
Sancheong	10	29.7	47.1	13.7	8.3	71.6	1.7	4.7	57.7	18.9	9.8	13.7
Shinan	14	27.3	29.7	16.0	5.5	73.1	1.7	3.7	74.2	7.7	14.6	3.5
Changchon	14	38.2	32.5	8.3	4.6	82.0	1.3	3.8	72.4	14.9	6.6	6.0

를 바탕으로 산정하였다. 대상유역에 대한 수문학적 토양군자료와 토지이용자료를 토지이용별 수문학적 토양군으로 분류하였다 (Table 5). 이를 토대로 선행토양함수조건 (Antecedent Moisture Condition, AMC)에 따른 대상유역의 유출곡선번호 (CN)를 추출하였다. 국내 산지의 경우 부식토 층의 두께가 얇지 않은 것으로 알려져 있으며, SCS의 CN Table에 있는 Forest의 값은 부식토 층이 가장 얇은 조건에서의 값이다 (Cho, 1998). 본 연구에서는 산림에 대한 CN값을 추정하기 위해 산림유역에

대한 Yoon (1995)의 연구결과를 인용하여 임상분류에 따른 CN값을 추정하였다. 이 결과에 따르면 산림에서의 CN값은 최대잠재보유수량 (S)의 백분율 10 %, 50 %, 90 %에 따라 활엽수림에서는 82, 72, 59의 값을 나타냈고, 침엽수림에서는 84, 74, 62의 값을 나타냈으며, 혼효림에서는 87, 80, 70의 값을 나타내었다 (Table 6). Table 7에서는 대상유역 중 산청유역의 토지 피복별 CN값을 보여주고 있고, Table 8에서 각 유역별 토지피복 면적비를 보여주고 있다. Table 7, 8을 토대로 수문학적 토양군 별 면적 가중치를 적용하여 토지피복별 평균 CN값을 산정하였고, 토지피복별로 다시 면적 가중치를 적용하여 대상유역별 평균 CN값을 산정 하였다. Table 8에서 다른 토지피복에 비해 면적비율이 작은 공업지역, 상업지역, 교통지역, 공공시설지역, 채광지역을 기타지역으로 합산하여 나타내었다. 추출된 CN값은 산림지역의 최대잠재보유수량 10 %, 50 %, 90 %별로 산청유역의 경우 CN I 66, 56, 46, CN II 82, 75, 67, CN III 91, 87, 82를 나타냈고, 신안유역의 경우

Table 4 Classification of AMC

AMC Group	5-day Antecedent rainfall, RF5 (mm)	
	Growing season (Jun. ~ Sep.)	Dormant season (Oct. ~ May)
I	RF ₅ < 35.6	RF ₅ < 12.7
II	35.6 < RF ₅ < 53.3	12.7 < RF ₅ < 27.9
III	RF ₅ > 53.3	RF ₅ > 27.9

Table 5 CN values for each land use and hydrologic soil group

Land use	Hydrologic soil group			
	A	B	C	D
Paddy	78	78	78	78
Upland	63	75	83	87
Residential area	77	85	90	92
Reservoir	100	100	100	100
Forest	57	73	82	86

Table 6 Potential maximum retention and CN for forest type

Percent of potential maximum retention (%)	Potential maximum retention			CN		
	Coniferous forest	Deciduous forest	Mixed forest	Coniferous forest	Deciduous forest	Mixed forest
10	49	56	37	84	82	87
50	88	100	64	74	72	80
90	156	176	110	62	59	70

Table 7 Applied curve number (CN) for each land cover according to the hydrologic soil group for Sancheong

Category	Total Area		Hydrologic soil group (AMC II)								
			A		B		C		D		
	km ²	%	Area (km ²)	CN	Area (km ²)	CN	Area (km ²)	CN	Area (km ²)	CN	
Residential area	11.9	1.7	1.4	77	5.3	85	5.1	90	0.1	92	
Industrial area	0.7	0.1	0.1	81	0.3	88	0.2	91	0.0	93	
Business area	1.1	0.1	0.0	89	0.1	92	0.8	94	0.0	95	
Traffic area	4.3	0.6	1.0	98	1.2	98	2.1	98	0.0	98	
Public facilities area	1.0	0.1	0.2	81	0.3	88	0.5	91	0.0	93	
Paddy area	95.1	13.7	14.9	78	40.1	78	39.9	78	0.3	78	
Upland	57.3	8.2	21.4	63	28.2	75	7.2	83	0.6	87	
Forest	Deciduous	150.3	21.7	96.3	72	6.9	72	0.7	72	46.4	72
	Coniferous	279.2	40.3	207.5	74	32.7	74	5.5	74	33.4	74
	Mixed	66.6	9.6	49.6	80	3.5	80	0.4	80	13.1	80
Grassland	8.3	1.2	3.9	49	3.0	69	0.8	79	0.5	84	
Mine area	0.7	0.1	0.5	81	0.2	88	0.0	91	0.1	93	
Bare land	8.0	1.2	2.5	89	3.7	92	1.6	94	0.2	95	
Water	9.0	1.3	4.2	100	5.5	100	2.9	100	0.5	100	
Total	693.6	100.0	400.0		131.1		67.8		94.7		

Table 8 Land cover status of Sangcheong, Shinan, and Changchon

Sub-watershed	Percent of land cover (%)										
	Residential area	Paddy area	Upland	Forest			Grassland	Bare land	Water	Other land use	Total
				Deciduous	Coniferous	Mixed					
Sancheong	1.7	13.7	8.3	21.7	40.3	9.6	1.2	1.2	1.3	1.1	100.0
Shinan	1.7	16.0	5.5	13.7	39.7	19.7	0.8	0.4	1.9	0.7	100.0
Changchon	1.3	8.3	4.6	45.0	21.7	15.3	0.7	1.0	1.5	0.6	100.0

CN I 67, 57, 46, CNII 83, 76, 67, CNIII 92, 88, 82를 나타냈으며, 창춘유역의 경우 CN I 67, 56, 44, CNII 83, 75, 65, CNIII 92, 87, 81을 나타냈다.

2. HEC-HMS 입력자료 추출

HEC-HMS 모형의 구동을 위해 대상유역별로 프로젝트를 생성하여 유역별 지도와 개략적인 하도를 구성해 준다 (Fig. 2). 대상유역별로 입력된 인자는 유역특성자료와 하천특성자료로 구분하여 다음의 Table 9에 보여주고 있다. 모형의 구동을 위해

유역 홍수 유출량은 SCS의 CN방법을 사용하였고, 하천에서의 홍수추적은 Kinematic wave방법을 적용하였다. Table 9의 값은 각 대상유역 내에서 소유역으로 구분하여 값을 산정한 것으로 하류의 소유역의 경우 상류의 소유역과 합산하지 않은 값을 산정하여 보여주고 있다. Table 9의 계산결과는 각 소유역에 대한 계산값으로 유역출구에서의 도달시간 (산청 401.4 분, 신안 318.1 분, 창춘 288.3 분)과 지체시간 (산청 240.9 분, 신안 190.9 분, 창춘 173.0 분)은 각 소유역별 값을 더하여 얻을 수 있으며, 전체 유역면적 (산청 694.5 km², 신안 413.4 km², 창춘 346.5 km²) 역시 각 소유역의 면적을 더하여 얻어진다.

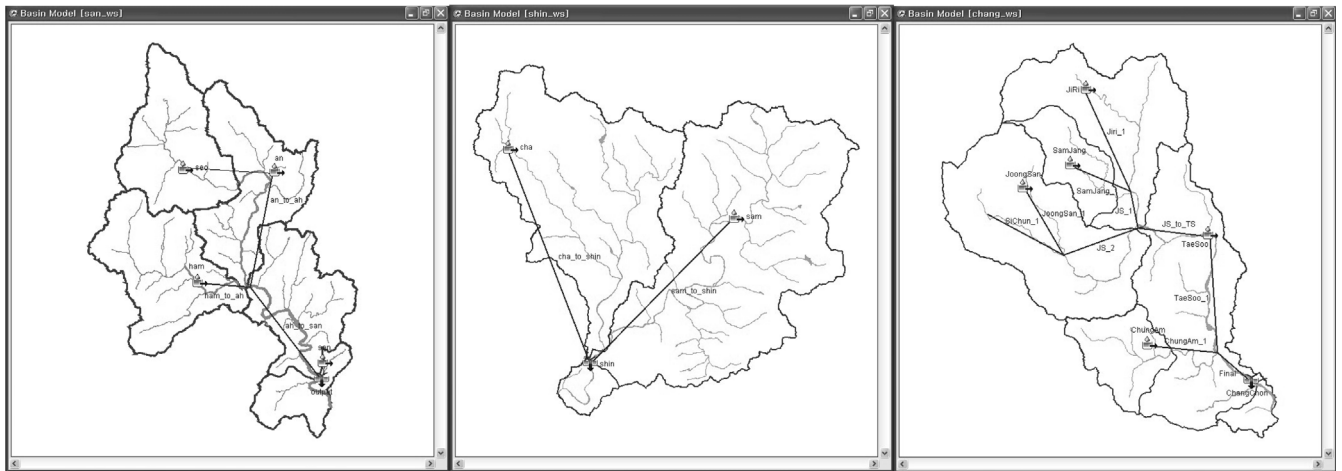


Fig. 2 Delineated subwatershed and established HEC-HMS input data for Sancheong, Shinan, and Changchon

Table 9 Watershed and stream characteristic input parameters for HEC-HMS simulation

HEC-HMS Parameters		Sancheong				Shinan		Changchon				
		Seosangha	Anui	Ham yang	San cheong	Cha hwang	Samga	Jirisan	Sam jang	Jung san	Taesoo	Chang chon
Watershed parameters	Watershed area (km ²)	159.93	161.36	177.86	195.33	172.17	241.24	78.20	27.12	106.26	103.88	31.02
	CN for AMC II	82	82	82	82	83	83	83	83	83	83	83
	Lag time (min)	42.09	68.96	28.61	101.20	62.86	128.00	30.70	25.37	31.96	40.91	44.04
	Time of concentration (min)	70.14	114.93	47.68	168.66	104.76	213.34	51.16	42.29	53.27	68.18	73.39
Stream parameters	Stream length (km)	14.73	14.48	6.01	21.25	22.00	26.88	10.743	5.329	6.712	8.590	9.247
	Average stream slope (m/m)	0.0109	0.0042	0.0035	0.0018	0.0127	0.0016	0.0303	0.0890	0.0469	0.0002	0.0348
	Manning's n	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035

3. HEC-HMS 모형의 적용 및 평가

대상유역별로 HEC-HMS 모형을 적용하여 산정한 유량에서 얻어진 강우사상별 유출량, 유출율 및 시간당 최대 유출량과 국토해양부에서 운영하는 수자원관리정보시스템에서 제공하는 일평균 수위자료와 연도별 수위-유량관계식을 적용하여 얻어진 유량에서 얻어진 사상별 실제 유출량, 유출율 및 시간당 최대 유출량 자료를 대상 유역별로 비교하여 Table 10, 11, 12에서

보여주고 있다. Table 10, 11, 12에서의 모의값 Case 1, 2, 3은 산림지역의 최대잠재보유수량 (S)을 AMC I, II, III에 따라 다르게 적용한 것으로 Case 1은 S가 90 %, 50 %, 10 % 인 경우, Case 2는 S가 90 %, 90%, 50 %, Case 3는 S가 90 %, 90 %, 90 %인 경우의 산림지역 CN값을 적용하여 도출된 유역별 평균 CN값을 적용한 것이다.

이상에서 얻어진 값들 중 수위-유량 관계식의 범위를 벗어나는 수위값을 포함하거나 강우 지속시간이 5시간 미만인 값

Table 10 Comparison of simulated runoff and peak runoff with observed for Sancheong

Sancheong						Runoff (mm)			Runoff ratio (%)			Peak runoff (m ³ /s)					
AMC	Total5-day antecedent rainfall (mm)	Date	Rainfall (mm)	Rainfall duration (hr)	Max. hourly rainfall (mm)	Observed	Simulated			Observed	Simulated			Observed	Simulated		
							Case 1	Case 2	Case 3		Case 1	Case 2	Case 3		Case 1	Case 2	Case 3
I	2	20040910	163	49	17	67	24	24	24	41.1	14.9	14.9	14.9	627	405	405	405
	0	20080617	129	31	15	18	11	11	11	14.0	8.5	8.5	8.5	381	319	319	319
II	42	20060708	130	22	44	21	60	44	44	16.2	46.2	33.9	33.9	660	3,325	2,423	2,423
III	102	20070904	240	64	40	179	195	183	169	74.6	81.1	76.3	70.3	1,162	2,997	2,952	2,875
	61	20040618	235	38	23	55	190	179	164	23.4	80.8	76.2	69.8	791	2,765	2,724	2,652
	329	20040821	170	37	12	101	130	120	107	59.4	76.6	70.6	62.7	1,151	1,361	1,322	1,257
	62	20050820	152	34	39	12	115	104	92	7.9	75.5	68.4	60.5	80	2,981	2,794	2,530
	88	20070916	144	21	44	100	104	94	82	69.4	72.2	65.3	57.1	3,670	4,798	4,496	4,065
	167	20070813	111	34	51	94	79	70	59	84.7	71.1	63.1	53.1	829	3,610	3,096	2,500
	72	20070831	88	32	8	71	58	50	41	80.7	66.2	56.8	46.1	1,119	1,102	999	859

Table 11 Comparison of simulated runoff and peak runoff with observed for Shinan

Shinan						Runoff (mm)			Runoff ratio (%)			Peak runoff (m ³ /s)					
AMC	Total5-day antecedent rainfall (mm)	Date	Rainfall (mm)	Rainfall duration (hr)	Max. hourly rainfall (mm)	Observed	Simulated			Observed	Simulated			Observed	Simulated		
							Case 1	Case 2	Case 3		Case 1	Case 2	Case 3		Case 1	Case 2	Case 3
I	0	20070914	284	71	39	125	84	84	84	44.0	29.6	29.6	29.6	1,570	1,867	1,867	1,867
	0	20080617	146	28	16	14	17	17	17	9.6	11.3	11.3	11.3	138	175	175	175
	0	20060506	112	14	20	5	7	7	7	4.5	6.3	6.3	6.3	110	149	149	149
	23	20050820	109	27	34	33	7	7	7	30.3	6.0	6.0	6.0	292	129	129	129
	1	20070630	95	27	16	8	3	3	3	8.4	3.5	3.5	3.5	87	43	43	43
	19	20050808	94	28	44	7	4	4	4	7.4	3.8	3.8	3.8	44	77	77	77
	0	20080628	90	35	12	22	3	3	3	24.4	2.9	2.9	2.9	243	38	38	38
II	25	20070806	325	55	66	98	240	206	206	30.2	73.8	63.4	63.4	687	2,915	2,687	2,687
	38	20040817	226	32	45	88	149	120	120	38.9	65.9	53.3	53.3	707	1,344	1,086	1,086
	51	20060708	98	21	19	35	38	24	24	35.7	38.8	24.7	24.7	1,024	918	604	604
III	249	20040822	220	35	23	98	191	179	160	44.5	86.8	81.4	72.9	905	1,617	1,586	1,520
	59	20040618	171	38	22	62	143	131	115	36.3	83.6	76.6	67.0	550	1,302	1,194	1,012
	116	20070904	136	62	8	94	110	99	84	69.1	80.7	72.8	61.4	512	711	654	556
	85	20070901	91	21	11	29	67	58	45	31.9	73.7	63.7	49.8	326	713	637	516

Table 12 Comparison of simulated runoff and peak runoff with observed for Changchon

Changchon						Runoff (mm)			Runoff ratio (%)			Peak runoff (m ³ /s)					
AMC	Total5-day antecedent rainfall (mm)	Date	Rainfall (mm)	Rainfall duration (hr)	Max. hourly rainfall (mm)	Observed	Simulated			Observed	Simulated			Observed	Simulated		
							Case 1	Case 2	Case 3		Case 1	Case 2	Case 3		Case 1	Case 2	Case 3
I	10	20070807	314	45	49	68	82.4	82.4	82.4	21.7	26.2	26.2	26.2	493	1,294	1,294	1,294
	1	20040817	274	36	60	99	76.7	76.7	76.7	36.1	28.0	28.0	28.0	1,556	1,028	1,028	1,028
	0	20070914	257	57	57	115	50.5	50.5	50.5	44.7	19.7	19.7	19.7	1,731	1,667	1,667	1,667
	4	20040703	138	36	30	55	10.5	10.5	10.5	39.9	7.6	7.6	7.6	579	142	142	142
	0	20080617	132	28	14	25	5.2	5.2	5.2	18.9	4.0	4.0	4.0	230	77	77	77
	8	20050808	121	29	31	9	5.0	5.0	5.0	7.4	4.1	4.1	4.1	57	52	52	52
	0	20060506	121	13	21	11	1.0	1.0	1.0	9.1	0.8	0.8	0.8	226	65	65	65
	0	20080628	84	24	12	18	0.1	0.1	0.1	21.4	0.1	0.1	0.1	154	2	2	2
	2	20070630	84	27	10	10	0.1	0.1	0.1	11.9	0.1	0.1	0.1	97	2	2	2
III	286	20040821	227	36	25	74	187.9	172.9	154.6	32.6	82.8	76.2	68.1	446	1,309	1,278	1,235
	52	20040618	191	45	29	72	164.3	149.0	130.9	37.7	86.0	78.0	68.5	355	1,615	1,477	1,239
	104	20060710	182	13	50	181	142.3	128.2	110.9	99.5	78.2	70.3	61.0	3,448	2,881	2,713	2,447
	59	20060708	102	21	23	16	67.5	55.9	42.6	15.7	66.2	54.9	41.7	395	1,355	1,237	1,040
	67	20070901	82	39	8	48	56.8	45.7	34.7	58.5	69.2	56.1	42.4	247	495	438	370

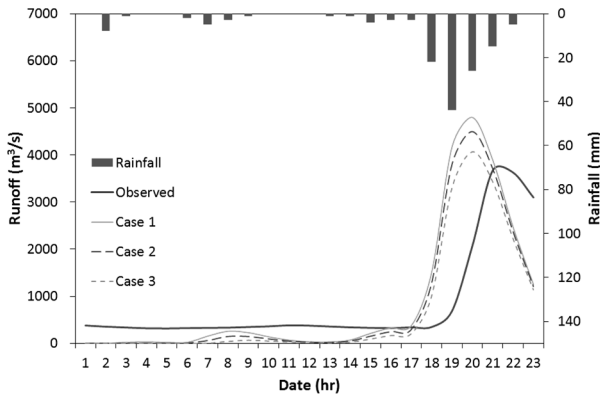


Fig. 3 Observed runoff compared with simulated runoff for 3 cases (2007/09/16).

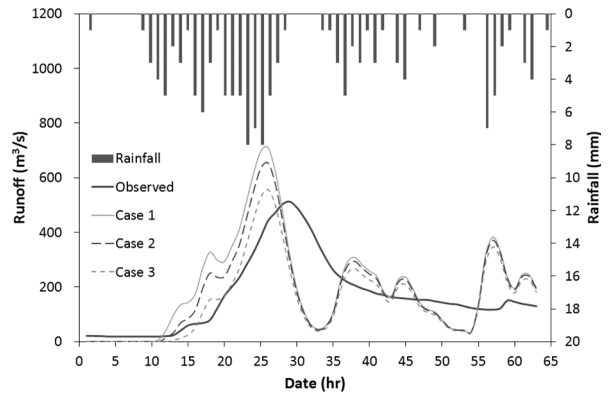


Fig. 4 Observed runoff compared with simulated runoff for 3 cases (2007/09/04).

및 수위자료의 값이 비정상적인 경우를 제외한 결과를 살펴보면 산청 유역은 Case 3의 경우가 Case 1, 2에 비해 비교적 실측값에 유사하게 나왔으나 AMC I의 경우 모의값이 실측값에 비해 작게 나타났으며, AMC II의 경우 유출량은 실측값에 비해 모의값이 작게 나왔으나 유출율과 시간당 최대 유출량은 모의값이 크게 나왔으며, AMC III의 경우 모의값이 실측값에 비해 대부분 크게 나타나는 양상을 보였다. 신안 유역은 Case 3의 경우가 비교적 실측값과 유사하게 나왔으나 강우량이 100 mm 이상이 되는 경우는 AMC I, II, III 모두 실측값과 모의값에서 많은 차이를 보였으며, 특히 강우량이 200 mm를 넘어가는 경우에는 실측값과 모의값이 2배정도 차이가 나는 양상을

나타내었다. 창촌 유역의 경우 ACM I의 강우량 200~300 mm의 경우와 AMC III의 강우량 100 mm 이하의 경우 Case 2가 Case 1, 3에 비해 비교적 실측값과 유사한 양상을 보였으나, 대부분 실측값과 큰 차이를 보였다. 창촌 유역의 경우 5일 선행강우량 조건에서 AMC II 조건에 맞는 강우량이 없어 나타 내지 못하였다. 대상유역별로 유출량 및 시간당 최대 유출량의 실측치와 모의치를 비교하였을 때 값이 유사하게 도출되는 사상을 하나씩 선정하여 실측모의 수문곡선을 제시하였다 (Fig. 3, 4, 5). 각각의 수문곡선을 살펴보면 전체적인 변화모습은 실측치와 모의치가 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있으나, 시간당 최대 유출

Table 13 Comparison of RMSE for three cases in terms of peak runoff for Sancheong, Shinan, and Changchon.

RMSE	Peak runoff (m ³ /s)								
	Case 1			Case 2			Case 3		
Lo.	Sancheong	Shinan	Changchon	Sancheong	Shinan	Changchon	Sancheong	Shinan	Changchon
AMC I	200.8	2.3	265.3	200.8	2.3	265.3	200.8	2.3	265.3
AMC II	2,665.0	1,592.9	-	1,763.0	1,131.0	-	1,763.0	1,131.0	-
AMCIII	4,086.3	1,025.2	1,235.8	3,621.3	889.0	1,007.1	2,999.5	655.5	643.7
Total	4,171.8	1,283.7	525.8	3,497.5	997.2	389.1	2,977.3	872.3	171.9

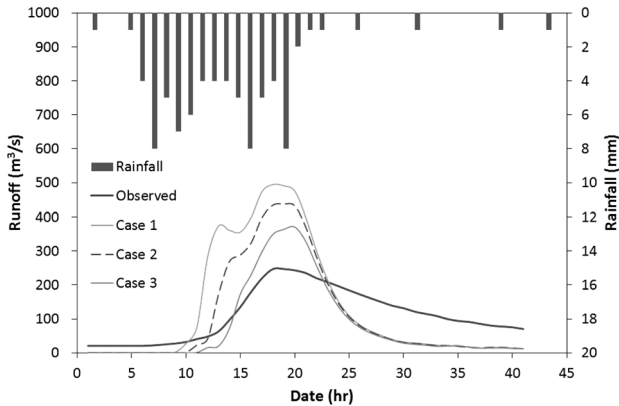


Fig. 5 Observed runoff compared with simulated runoff for 3 cases (2007/09/01).

량 값이 전체적으로 실측치에 비해 모의치가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

HEC-HMS 모형의 적용 결과를 평가하기 위하여 통계적 변량중 하나인 평균제곱근오차 (Root Mean Square Error, RMSE) 를 적용하였다. Table 13는 Case 1, 2, 3별 시간당 최대 유출량 모의 결과를 각 대상유역별로 나타내고 있다.

RMSE 결과를 살펴보면 대상유역 모두 Case 3값이 Case 1, 2에 비해 비교적 실측값과 유사하게 나왔으며, 특히 신안 유역의 AMC I 의 경우가 가장 실측값과 유사하게 나타났다. 창춘 유역의 경우 5일 선행강우량 조건에서 AMC II 조건에 맞는 강우량이 없어 나타내지 못하여 RMSE 식 적용을 하지 못하였다.

이상의 결과를 살펴보면 산림지역에서의 CN값의 적용에 있어 선행강우조건에 따라 일률적으로 산림에서의 최대잠재보유수량을 적용하여 CN값을 적용할 경우 모형의 적용오차가 커지는 것을 알 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 남강댐 유역 내 주요 하천관측지점인 산청, 신안, 창춘 유역의 홍수량을 추정하기 위하여 GIS와 미 공병단에

서 개발한 HEC-HMS 모형을 이용하여 지형정보를 추출하였다. 강우-유출 모의방법으로 SCS 단위도 방법을 적용하였고, 논의 CN값을 기존의 연구결과들을 바탕으로 수정하고, 산림의 경우 최대잠재보유수량 별로 CN값을 다르게 적용하여 실측값과 모의값을 비교하였으며, RMSE 식을 통하여 실측값과 모의값의 유사성을 평가하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. HEC-HMS를 이용하여 시험유역을 대상으로 2004년부터 2008년까지의 강우자료를 바탕으로 강우사상이 80 mm 이상인 자료를 추출하여 유출량, 유출율 및 시간당 최대 유출량을 추정하고 이를 실측치와 비교해 보았다.

2. 산청, 신안, 창춘 유역으로 유입되는 하천의 수위-유량관계와 수위자료를 이용하여 연간 유출량을 산정한 결과 산청, 신안, 창춘 유역의 2004년부터 2008년까지 5년간의 연 평균 유출량은 1,043.3 mm, 639.5 mm, 968.7 mm로 유출율은 각각 72.5 %, 41.8 %, 58.6 %로 나타났다. 산청의 경우 강우량과 유출량이 모두 매우 높은 값을 나타냈다.

3. 산림의 최대잠재보유수량별로 CN값을 다르게 적용하여 산청, 신안, 창춘 유역별 평균 CN값을 산정하여 모형에 적용한 결과에 대한 유출량의 모의치와 실측치의 RMSE를 산정하였다.

4. 산청 유역의 산림지역 최대잠재보유수량을 AMC I, II, III 별로 90 %, 50 %, 10 % 적용과 90 %, 90 %, 50 % 적용과 90 %, 90 %, 90 %의 적용 결과 RMSE는 각각 4,171.8, 3,497.5 및 2,977.3 m³/s로 분석되었다.

5. 신안 유역의 산림지역 최대잠재보유수량을 AMC I, II, III 별로 90 %, 50 %, 10 % 적용과 90 %, 90 %, 50 % 적용과 90 %, 90 %, 90 %의 적용 결과 총 RMSE는 각각 1,283.7, 997.2 및 872.3 m³/s로 분석되었다.

6. 창춘 유역의 산림지역 최대잠재보유수량을 AMC I, II, III 별로 90 %, 50 %, 10 % 적용과 90 %, 90 %, 50 % 적용과 90 %, 90 %, 90 %의 적용 결과 총 RMSE는 각각 525.8, 389.1 및 171.9 m³/s로 분석되었다.

본 연구의 결과를 정리하면 산림지역에서의 CN값의 적용에 있어 선행강우조건에 따라 일률적으로 산림에서의 최대잠재보

유수량을 적용하여 CN값을 적용할 경우 모형의 적용오차가 커지는 것을 알 수 있다. 일반적으로 산림지역이 유역에서 차지하는 비중이 크기 때문에 산림지역에 대한 보다 정확한 CN값의 추정은 모형의 정확도를 높이는 데 중요한 인자가 될 것으로 판단된다. 산림지역의 경우 선행강우에 따른 AMC 조건의 적용에는 문제가 있는 것으로 판단되며, 추후 산림지역에 대한 적절한 CN값을 산정하기 위한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Kim, S. M., S. J. Im, S. H. Lee, H. H. Kim, H. S. Ma, and W. O. Jeong, 2009. Estimation of Design Flood Runoff in Ungaged Forest Watershed to Reduce Flood Damage within the National Park. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(5): 107-113 (in Korean).
- Seong, C. H., S. M. Kim, and S. W. Park, 2008. A Comparative Study of Unit Hydrograph Models for Flood Runoff Simulation at a Small Watershed. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(3): 17-27 (in Korean).
- Kim, S. M., C. H. Sung, and S. W. Park, 2003. Flood Runoff Analysis for Agricultural Small Watershed Using HEC-HMS Model and HEC-GeoHMS Module. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(6): 119-127 (in Korean).
- Kim, S. M., M. S. Kang, and S. W. Park, 2003. Estimation of Pollutant Loadings from Agricultural Small Watershed Using the Unit Loading Factor and Water Quality Monitoring. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(3): 94-102 (in Korean).
- Kim, S. M., S. M. Kim, and T. Y. Park, 2010. Spatial Analysis of BOD Data in Namgang-Dam Watershed for TMDLs. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(3): 81-88 (in Korean).
- Lee, E. S., D. J. Jin, and J. H. Heo, 2002. Estimation of Flood-Wave Travel Time in Geum River Basin. *Annual meeting of KSCE* 2002(11): 1410-1413 (in Korean).
- Kim, K. T., T. S. Kim, S. Y. Kim, and J. H. Heo, 2008. Application of Intensity-Duration-Frequency Curve to Korea Derived by Cumulative Distribution Function. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 28(4B): 363-374 (in Korean).
- Shim, J. H., J. H. Chung, J. S. Lee, J. C. Ahn, Y. T. Kim, J. K. Lee, and B. J. Jang, 2002. A study on the Storage and Infiltration Facilities for Reducing of Runoff Quantity (V). National Institute for Disaster Prevention NIDP-2002-01 (in Korean).
- Seong, K. W., 2008. A Practical Approach Determining and IDF formula with Limited Rainfall-Duration Data Availability. *Journal of Korea Water Resources Association* 41(6): 587-595 (in Korean).
- Lee, E. H., C. S. Yoo, D. J. Jo, and J. H. Kim, 2004. Estimation of Inter Event Time by Exponential decay Function. *Annual meeting of KSCE* 2004: 4151-4156 (in Korean).
- Kim, G. T., 2003. Suggestion of CN estimation using precise soil map. *Magazine of Korea Water Resources Association* 36(4): 45-53 (in Korean).
- Kim, S. H., M. J. Park, S. M. Kang, and S. J. Kim, 2006. Modeling Rainfall-Runoff Simulation System of JinWie Watershed using GIS based HEC-HMS Model. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 9(4): 119-128 (in Korean).
- Woo, K. J., 2002. The Analysis of a Flood Outflow Through the Combination of GISd and HEC-HMS. Department of civil Engineering Graduate School Chonnam National University (in Korean).
- Lee, S. H., D. Y. Kim, S. J. Ahn, H. S. Ma, and S. J. Im, 2008. Inundation Simulation of the Dalgung Watershed, Jirisan National Park, using HEC-HMS and HEC-RAS. *Journal of Agriculture & Life Science* 42(2): 21-29 (in Korean).