

## 홍수기 신흥천 유역의 단위유량도 선정\*

김형산, 맹승진\*\*, 심지훈, 김태우

본 연구에서는 강우-유출모델인 HEC-HMS를 사용하여 홍수기 강우-유출의 체계적이고 합리적인 매개변수를 추정하고 신흥천 유역에 적합한 단위유량도를 선정하였다. 각 단위유량도의 초기 매개변수는 국내 적용사례가 많은 경험식을 이용하여 추정하였고 유출곡선번호는 선행함수조건 AMC-III에 따라 81로 추정하였다. 2011년 호우사상을 대상으로 단위도별 매개변수를 보정하여 최적의 매개변수를 산정하고, 2012년 호우사상을 사용하여 매개변수 검정을 실시하였다. 보정과 검정을 통해 모의한 유출량은 통계적 변량인 상대평균제곱오차와 상대절대오차를 이용하여 각 단위유량도를 평가하였다. 그 결과 Snyder 단위유량도의 오차가 타 단위유량도에 비해 대체적으로 작게 나타났다. 또한 각 단위유량도의 유의수준을 알아보기 위하여 일원분산분석을 실시하였다. 일원분산분석의 결과 유의수준 5%에서 각 단위유량도는 유의적 차이가 없는 것으로 나타났다. 향후 양질의 실측 유량자료와 선정된 최적매개변수 및 단위유량도를 사용한다면 보다 신뢰도 높은 유출량을 모의 할 수 있으리라 사료된다.

**주제어:** 강우-유출, HEC-HMS, 단위유량도, 매개변수, 일원분산분석

### 1. 서론

우리나라는 연평균 강수량의 대부분이 우기인 6월-9월에 편중 되어 있고, 지역적인 편차가 심하다. 또한 전 국토의 70%가 산악지형으로 구성 되어 있어 하천의 경사가 심하고 유출 시간이 짧으며 하상 계수가 큰 하천의 특성을 지니고 있다. 이러한 강우와 하천의 특성으로 인하여 우리나라는 다른 나라와는 다른 강우-유출의 특성을 보이며 이를 위한 하천 유역의 체계적이고 효율적인 계획 및 관리가 요구된다.

하천 유역의 체계적이고 효율적인 관리를 위해서는 유역의 지형 및 지리학적 특성뿐만 아니라 해당 하천 및 유역의 수문학적 특성인자들을 정확하게 파악해야만 한다. 지금까지 많은 국내의 연구자들이 강우-유출의 관계를 모의하기 위한 많은 연구를 수행한 바 있다. 이러한 연구에서 추출된 수문학적 특성인자들은 해당유역의 지형도나 기타 관측자료를 토대로 수작업 및 간단한 연산을 통해 얻어진 것

\* 본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

\*\* 교신저자.

으로서 많은 시간과 노력을 필요로 한다.

오늘날 수자원 분야에서는 대상유역의 강우-유출을 모의하는 과정에서 수문학적 특성인자를 추출하기 위하여 결과의 정확성과 신뢰성이 우수한 지리정보시스템(GIS : Geographic Information System)을 적용하여 유역의 특성을 파악하고 있다.

본 연구에서는 GIS를 이용하여 유출분석시 필요한 지형특성 인자를 추출하고 이를 HEC-HMS모형의 입력 매개변수로 사용하였다. 신흥천의 구재교 지점을 대상으로 3개의 단위유량도에 적용하여 유출특성을 분석한 후 실측유량과 모의유량을 비교함으로써 구재교 지점에 대한 최적의 매개변수 및 적합한 단위유량도를 결정하였다. 향후 신흥천 구재교 지점에 대한 홍수유출을 모의할 경우 본 연구에서 구한 매개변수와 적절한 단위유량도를 사용하면 신뢰도 높은 모의유출량을 선정할 수 있을 것으로 사료된다.

## II. 이론 분석 및 모형의 선정

### 1. 단위유량도

본 연구에서는 우리나라 하천기본계획 수립 시 많이 적용되고 있는 단위유량도인 Clark, Snyder 및 SCS 방법을 적용하였다.

#### 1) Clark 방법

Clark 단위유량도의 기본개념은 해당 유역의 선형수로와 유역출구에 위치한 선형저수지로 구성되어 있다고 가정하고, 선형수로에 의한 유출의 전이효과와 선형저수지에 의한 유역의 저류효과를 고려한 순간단위도를 작성하는 것이다. Clark 단위유량도의 도달시간 초기값은 유역의 물리적 특성을 고려하여 식 (1)인 Kraven(II)공식을 이용하여 결정하였다. 그리고 도달시간의 초기값은 최소 1.0hr를 초과하여야 한다.

$$T_c = \frac{L}{3.6V} \quad (1)$$

여기서,  $V$ 는 다음 조건과 같으며  $L$ 은 유로연장(km)이다.

( $S \leq 1/200$ :  $V=2.1\text{m/s}$ ,  $S > 1/100$ :  $V=3.5\text{m/s}$ ,  $1/200 \leq S \leq 1/100$ :  $V=3.0\text{m/s}$ ,  $S \geq 1/100$ :  $V=3.5\text{m/s}$ )

또한, Clark 단위유량도의 매개변수인 저류상수의 초기값은 식 (2)인 Salbol의 경험식으로 산정하며 관측값이 존재할 경우 관측값을 초기값 선정에 반영한다. 저류상수 초기값은 최소 0.5hr를 초과하여야 한다.

$$K = \frac{T_c}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}} \quad (2)$$

여기서,  $T_c$ 는 Clark 단위유량도의 도달시간,  $L$ 은 유로연장(km)이며,  $A$ 는 유역의 면적(km<sup>2</sup>)이다.

## 2) Snyder 방법

Snyder 단위유량도 방법은 미국 Appalachian 산맥 지역에서 유역면적이 30-30,000km<sup>2</sup>인 유역의 수문곡선을 분석하여 유역의 지형인자와 수문곡선 구성인자간의 관계식으로 개발되었다(응용수문학, 2000). Snyder 단위도에서는 유역의 지체시간인  $T_t$ 는 다음 식 (3)으로부터 구할 수 있다(Snyder, 1938).

$$T_t = C_t (LL_c)^{0.3} \quad (3)$$

여기서,  $C_t$ 는 유역특성 상수로서 보통 1.35 - 1.65의 범위이며  $L$ 은 유로연장(km),  $L_c$ 는 유역출구지점으로부터 유역 중심에서 본류에 내린 수선의 교차점까지의 거리(km)이다. 또한, Cudworth(1989)와 USACE(1987)의 연구에서 식 (4)와 같은 관계가 있는 것으로 나타났다(성충현, 2004).

$$T_t = 0.5 \sim 0.75 T_c \quad (4)$$

Snyder 합성단위유량도의 매개변수인  $C_p$ 는 유역의 특성에 따라 변하는 계수로서, 보통 0.4 - 0.8의 값을 갖는다(Bedient & Huber, 1992).

## 3) SCS 방법

SCS 합성단위유량도 방법은 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service)에서 합성단위도를 작성하기 위해 고안된 방법으로서, 미국 여러 지방의 대소 유역으로부터 얻은 실제 단위도를 해석한

결과와 같은 무차원단위도의 이용에 근거를 두고 있다.

SCS 합성단위유량도 방법의 지체시간  $T_{leg}$ 는 경험공식을 이용하여 결정하며 우리나라의 경우 다른 방법과 비교하여 검토한 결과 대체적으로 식 (5)의 McCuen 방법이 적절한 것으로 판단된다(수자원설계실무, 2003).

$$T_{leg} = 0.706 T_c \quad (5)$$

## 2. 모형의 선정

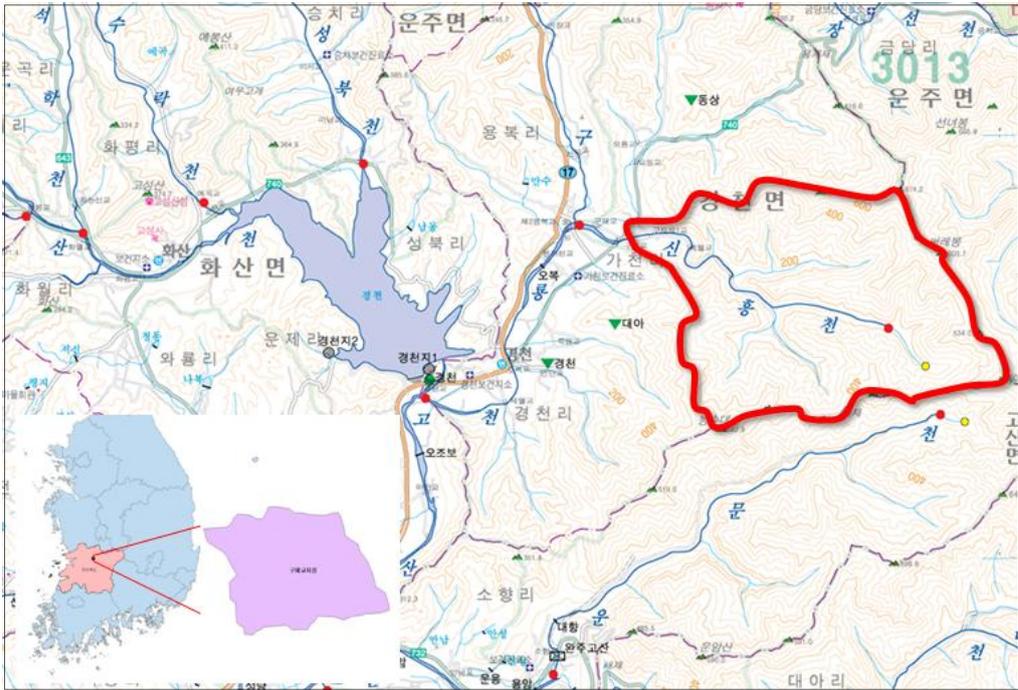
본 연구에서 적용되는 강우-유출 모형은 국내에 적용사례가 많은 HEC-HMS로 하였다. HEC-HMS는 1967년 미국 공병단 산하 수문공학연구소(Hydrologic Engineering Center, HEC)에서 개발된 HEC-1 모형에 포함되어 있는 단위도, 수문학적 홍수추적 과정을 모의한다. HEC-HMS 모형은 각각의 유출 성분을 모의하기 위해 유출량, 직접유출량, 기저유출량을 모의하며 하도구간에서의 흐름을 모의하기 위해 하천 홍수추적 모듈을 제공한다. 더불어 격자형 강우자료를 이용하여 적용할 수 있는 유출 변환과 장기연속유출에 적용 할 수 있는 간단한 수분감소 등을 포함하여 GUI가 보강된 윈도우 환경으로 개발된 모형이다(황주하, 2010).

## III. 대상유역 및 연구방법

### 1. 대상유역 선정 및 특성

본 연구에서는 홍수기 호우사상 기록과 실측유량자료가 많은 신흥천 구재교 지점 유역을 대상유역으로 선정하였다.

신흥천 구재교 지점 유역은 도시화된 지역이 드물며 경작지와 수원지도 거의 없는 지역이다. 대상유역은 동경 127° 27' 04" - 127° 32' 53", 북위 36° 01' 52" - 36° 04' 44" 사이에 위치하고 행정구역상 전라북도 완주군 경천면 가천리에 위치한다. 유역의 남쪽에는 봉수대산(EL.581m)이 위치하고 있으며 북동쪽에는 불명산(EL.438m)이 있다. 대상유역의 지리적 위치 및 유역은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> Map of watershed

수문모형을 이용한 강우-유출관계를 모의하기 위하여 본 연구에서는 지형정보시스템을 이용하여 유역의 특성을 분석하였다. 이를 위하여 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공하는 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM)을 수집하여 ArcGIS 9.3으로 유역면적 및 유역 특성인자를 <표 1>과 같이 추출하였다.

<표 1> Characteristics of Watershed

Area (km <sup>2</sup> )	Length (km)	Slope (H/L)
10.32	4.404	0.017

## 2. 연구방법

본 연구에서는 신뢰성이 확보된 실측 강우-유출 사상을 다수 확보하고 있으며 도달시간이 짧은 산지 소하천유역인 신흥천 유역을 대상으로 하였다. 신흥천 유역의 최적단위도 및 매개변수 선정을 위해 다음의 절차에 의해 연구를 수행하였다.

- 가. 실측된 강우-유출 사상들 중에서 단일호우 대비 유출된 호우사상을 선정한다.
- 나. 실무 적용사례가 다수 있으며 공개된 강우-유출 모형을 선정한다.
- 다. 선정된 강우-유출 모형의 매개변수 초기값을 경험식들에 의해 산정한다.
- 라. 선정한 호우사상을 통해 모형의 매개변수를 보정한다.
- 마. 보정한 매개변수를 통해 다른 호우사상에 적용하여 검증한다.
- 바. 최적의 단위유량도를 선정한다.

#### IV. 결과 및 고찰

##### 1. 호우사상 선정

대상유역에 대한 유출 매개변수를 추정하기 위해서는 양질의 관측된 강우-유출 자료가 필요하다. 본 연구에서는 신흥천 구재교 유역에 기록된 호우사상을 조사하였다. 가용 호우사상 선정을 위해 티센법을 이용하여 지배관측소를 선정한 후 시강우를 수집하였다. 그리고 2011년과 2012년에 구재교 지점에서의 유출량 자료를 수집하기 위하여 유량측정을 실시하였다. 최종적으로 채택된 4개 호우사상 및 호우사상별 총강우량과 침투유량은 <표 2>와 같다.

<표 2> Selection of rainfall-runoff event

Event	Duration	Total precipitation (mm)	Observed peak flow (m <sup>3</sup> /s)
1	Jul. 03 to Jul. 04, 2011	55.8	16.92
2	Jul. 10 to Jul. 11, 2011	191.0	69.94
3	Jul. 10 to Jul. 11, 2012	26.0	3.46
4	Aug. 12 to Aug. 13, 2012	144.5	56.17

##### 2. 매개변수 초기값 선정

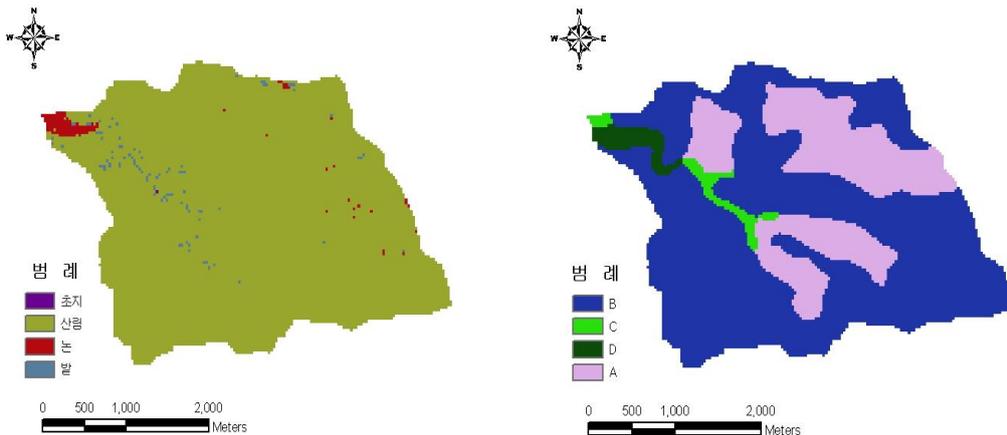
HEC-HMS 모형으로 강우-유출을 모의하기 위해서는 HEC-HMS 모형의 매개변수별 초기값을 결정하여야 한다. 초기 매개변수 중 각 단위유량도에 공통적으로 입력되는 매개변수의 초기값을 설정하기 위해 유역의 물리적 특성인자를 고려하며 합리적이라고 판단되는 경험식을 통해 산정하였다.

1) 유출곡선번호(CN)

CN값의 산정은 SCS방법을 사용하여 토지피복, 수문학적 토양군을 고려하여 결정하였다. SCS방법은 미 농무성 산하 자연자원보호청(Natural Resources Conservation Service; NRCS)에서는 유역내 토양의 배수특성과 토지이용 및 피복상태 등의 정보를 이용하여 총우량으로부터 유효우량을 산정할 수 있는 방법을 개발하였다(USACE, 2008).

유출곡선지수(CN)의 초기값은 우리나라의 경우 전국에 걸쳐 농업과학기술원에서 제공하는 개략토양도(1:50,000)를 이용하여, 각 토양의 성질별로 배수능력을 평가하여 A, B, C, D형으로 재분류하여 수문학적 토양군을 산정하였다. 이 결과와 국가수자원관리종합정보시스템에서 Landsat TM영상을 바탕으로 제작한 토지 이용도를 이용하여 대상 유역의 평균 CN값을 산정하였다.

유역에 대한 토지피복, 수문학적 토양군은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> Estimated results of land use and hydrologic soil group on Shinheung stream

신흥천 구재교 지점의 유역에 대해 산정된 CN값 결과를 이용하여 유역평균 CN값을 추출하였다. 매개변수 추정에 사용될 초기 CN값에 대해 설계의 안전성을 고려하여 선행토양함수 조건을 AMC-III의 상태로 지정하여 유출해석을 수행하였다. <표 5>는 시범유역에 대해 산정된 AMC-III 조건의 CN값을 나타낸 것이다.

<표 5> Estimation of CN value

Item	Study watershed
CN(AMC-III)	86

2) 감수상수(RC)

감수상수는 Sabol(1988)이 제안한 경험식을 사용하였으며 식 (6)과 같다.

$$RC = e^{-\frac{1}{K}} \tag{6}$$

여기에서 K는 저류상수이다.

3) 초기손실(IL)

초기손실의 초기값은 NRCS에서 제시한 다음의 식 (7)를 사용하였으며 CN값은 전술한 방법에 의해 산정된 값이다.

$$IL = 0.2S, CN = \frac{25,400}{(S + 254)} \tag{7}$$

4) 초기기저유량(IBF)

초기기저유량의 초기값은 호우 발생이 시작된 때의 평균유량으로 선정한다. 이는 HEC-HMS의 매뉴얼에서 추천한 방법이다.

5) Threshold(TQ)

Threshold 유량이 발생하는 변곡점은 강우가 끝난 시점에서 도달시간을 더하며 이때의 유량을 초기값으로 선정한다.

단위유량도별 매개변수는 위에서 언급한 단위유량도별 경험식을 이용하여 초기값을 선정하였다. 또한, 감수상수, 초기손실, 초기기저유량 및 Threshold의 초기값은 식 (1)-식 (7)에 의해 산정하였다. 대상유역의 호우사상 및 단위유량도별 매개변수 초기값은 <표 6> 및 <표 7>과 같다.

<표 6> Initial value of parameters by each event

Event	CN	IL	IBF	RC	TQ(m <sup>3</sup> /s)
1	86	8.27	0.5	0.02	4
2	86	8.27	1	0.02	4
3	86	8.27	0.5	0.02	4
4	86	8.27	1	0.02	4

<표 7> Initial value of parameters by each Unit Hydrograph

Clark UH		Snyder UH		SCS UH
$T_c$ (hr)	$K$	$T_l$ (hr)	$C_p$	$T_{leg}$ (hr)
1.0	0.50	0.706	0.50	0.706

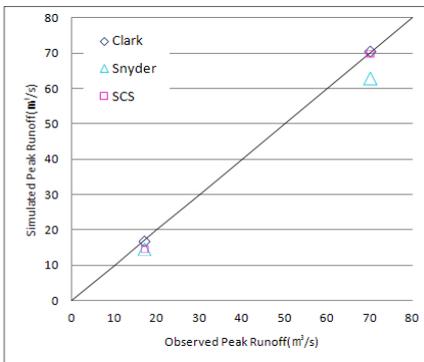
#### 4. 매개변수 보정

본 분석에서는 유출모형의 매개변수 중 민감도가 가장 높은 매개변수를 선택하고 2011년의 호우사상을 이용하여 매개변수 보정을 실시하였다(황주하, 2010). 매개변수 보정은 전절에서 산정된 초기매개변수를 사용하여 모의된 유출량과 실측유출량의 오차를 최소화하기 위해 시행착오법으로 수행하였다. 단위유량도별로 산정된 최적의 매개변수는 <표 8>과 같다.

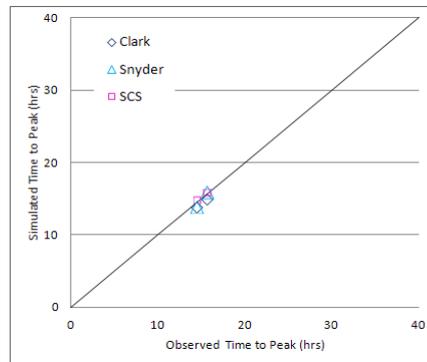
또한 보정된 매개변수들을 적용하여 산정된 모의치와 실측치를 비교하기 위하여 단위유량도별로 유도된 침투유량 및 침투시간을 <그림 3> 및 <그림 4>와 같이 도시하였다. 보정된 매개변수를 사용하여 모의된 침투유량 및 침투시간은 <표 9>와 같고 이들을 <그림 5> 및 <그림 6>과 같이 도시하였다.

<표 8> Optimized parameters by each Unit Hydrograph

Clark UH		Snyder UH		SCS UH
$T_c$ (hr)	$K$	$T_l$ (hr)	$C_p$	$T_{leg}$ (hr)
1.0	1.3	0.812	0.487	1.62



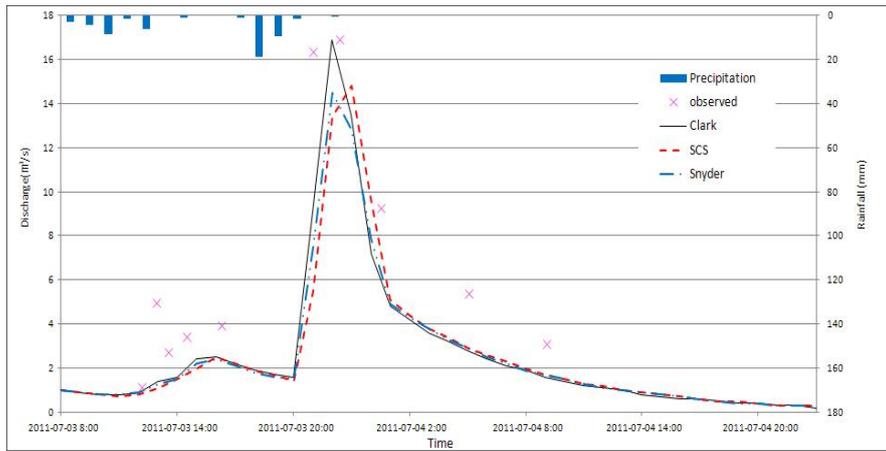
<그림 3> Comparison peak flows of simulation and observation



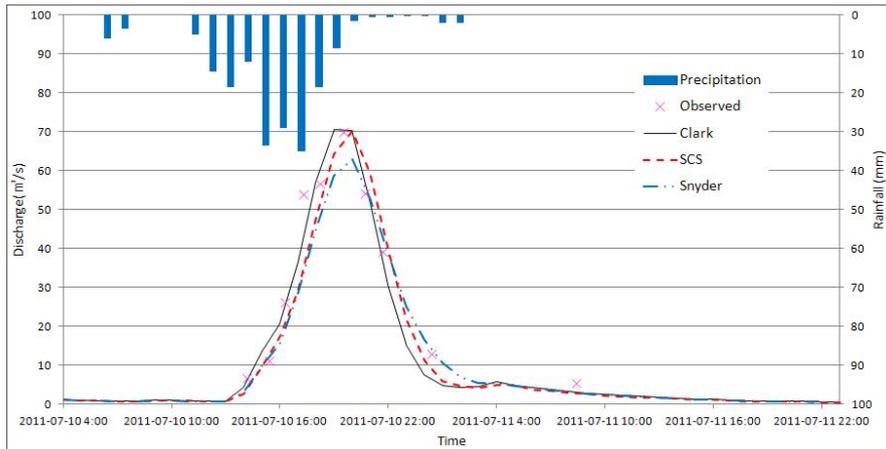
<그림 4> Comparison peak time of simulation and observation

<표> Calibration results of the HEC-HMS

Event	Peak flow (m <sup>3</sup> /s)				Time to peak (hrs)			
	Observation	Clark	Snyder	SCS	Observation	Clark	Snyder	SCS
1	16.92	16.90	14.8	14.8	14.38	14.0	14.0	15.0
2	69.94	70.50	63.0	70.1	15.53	15.0	16.0	16.0



<그림 5> Observed and simulated hydrograph according to calibration (Event 1)

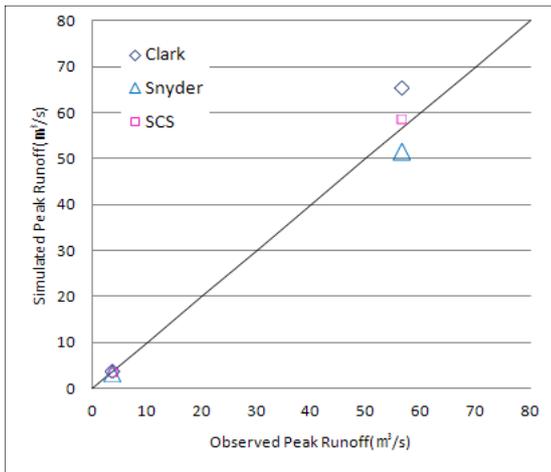


<그림 6> Observed and simulated hydrograph according to calibration (Event 2)

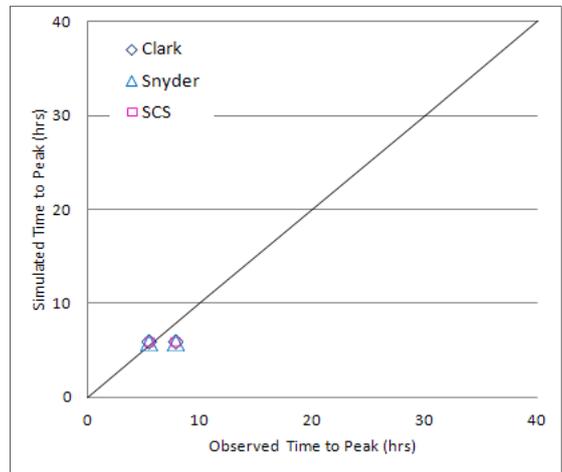
<그림 3> 및 <그림 4>에서 첨두유량은 실측치와 모의치가 거의 일치하는 것으로 나타났으나 Snyder 단위유량도는 타 방법에 의한 결과보다 상대적으로 실측유량과 모의유량의 차이가 크게 나타났다. 첨두시간은 3가지 방법 모두 실측치와 모의치가 비교적 일치하는 것으로 나타났다.

### 5. 매개변수 검정 및 유의성 분석

모형의 검정은 보정한 매개변수를 통해 보정에 이용하지 않은 2012년 호우사상을 대상으로 실시하였으며 보정과정을 거친 매개변수를 입력자료로 모의하였다. <그림 7> 및 <그림 8>은 <표 2>의 ‘호우사상3’과 ‘호우사상4’을 대상으로 보정된 매개변수를 사용하여 산정된 모의치와 실측치를 1:1비교한 것이다.



<그림 7> Comparison peak flows of simulation and observation after verification

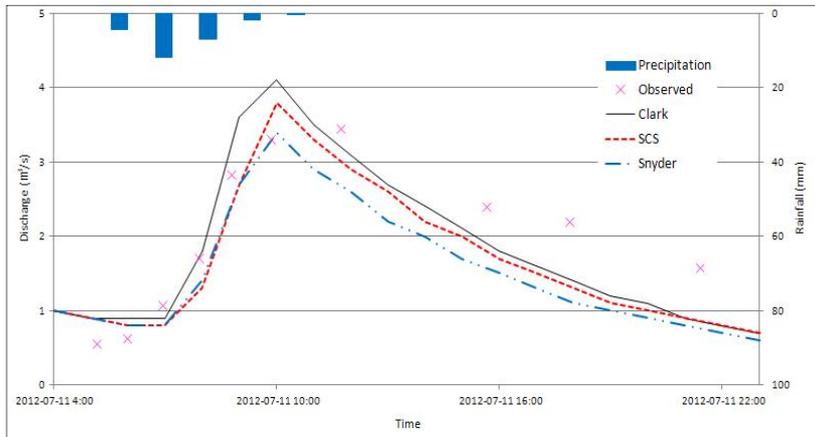


<그림 8> Comparison peak time of simulation and observation after verification

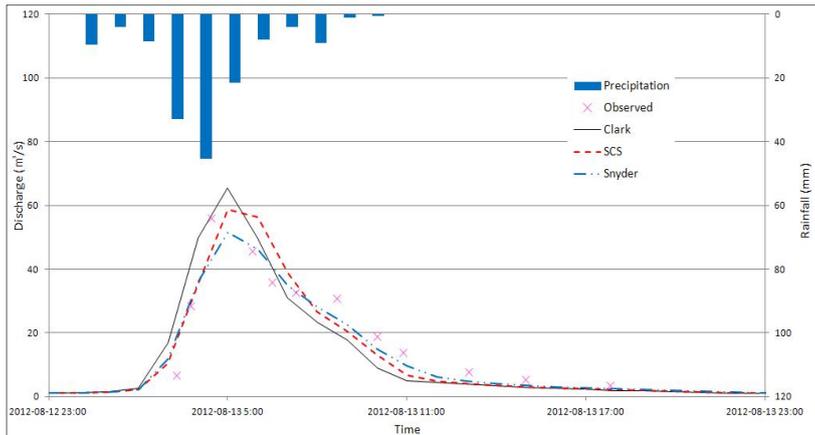
<그림 7> 및 <그림 8>에서 모의된 첨두유량은 실측된 첨두유량보다 크거나 작게 산정되는 경향이 나타났으며, 모의된 도달시간이 실측된 첨두유량보다 짧아지는 경향으로 나타났다. 보정된 매개변수를 이용하여 검정한 결과는 <표 10>과 같다. 보정된 매개변수를 이용하여 검정한 실측치와 모의치의 수문곡선을 <그림 9> 및 <그림 10>과 같이 도시하였다.

<표 10> Verification results of the HEC-HMS

Event	Peak flow (m <sup>3</sup> /s)				Time to peak (hrs)			
	Observation	Clark	Snyder	SCS	Observation	Clark	Snyder	SCS
3	3.46	4.1	4.4	3.8	7.72	6.0	6.0	6.0
4	56.17	65.5	51.6	58.7	5.41	6.0	6.0	6.0



<그림 9> Observed and simulated hydrograph according to verification (Event 3)



<그림 10> Observed and simulated hydrograph according to verification (Event 4)

검정을 통한 최적의 매개변수 평가를 위해 상대평균제곱근오차(Relative Root Mean Square Error, RRMSE)와 상대절대오차(Relative Absolute Error, RAE)등의 통계적 변량을 사용하였으며 그 식은 다음 (8), (9)와 같으며 그 결과는 <표 11>과 같다.

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \left( \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right)^2} \tag{8}$$

$$RAE = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \left| \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right| \tag{9}$$

여기서,  $Q_0$ 는 실측한 유출량이며,  $Q_c$ 는 최적 매개변수에 의한 HEC-HMS모의 유출량이다.

<표 11> Calibrated and Verified results from HEC-HMS model simulation at shinheung stream watershed

Item		Initial Parameter		Comparison		Verification	
		RRMSE	RAE	RRMSE	RAE	RRMSE	RAE
Peak flow	Clark	0.5515	0.3097	0.0081	0.0046	0.2114	0.1755
	Snyder	0.1708	0.0800	0.1330	0.1123	0.0823	0.0494
	SCS	0.3825	0.1960	0.0886	0.1755	0.0828	0.0717
Peak time	Clark	0.2499	0.0978	0.0392	0.0392	0.1906	0.1906
	Snyder	0.2493	0.0967	0.0355	0.0355	0.1906	0.1906
	SCS	0.2499	0.0978	0.0427	0.0427	0.1906	0.1906

상대평균제곱근오차와 상대절오차의 통계적 변량을 사용하였으나 각 단위유량도간의 유의적 차이를 판단할 수 없기 때문에 일원분산분석을 통해 각 방법간 유의적 차이를 평가하였다. 평가결과는 다음 <표 12>와 같다.

<표 12> one-way ANOVA table of result for Clark, Snyder and SCS

Item	Sum of variation	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F	p-value
Peak runoff (m <sup>3</sup> /s)	Between Group	74.2	2	37.123	0.0371	0.964
	Within Group	9015.4	9	1001.707		
	Total	9089.6	11			
Time to peak (hr)	Between Group	0.5	2	0.250	0.009	0.991
	Within Group	246.5	9	27.389		
	Total	247.0	11			

평가결과 각 단위도의 침투유량과 침투시간에 대한 p-value가 유의수준 5%인 0.05보다 크기 때문에 귀무가설이 성립된다. 따라서 각 단위도의 방법 간 침투유량과 침투시간의 유의적 차이는 없다고 판단된다.

이상의 분석 결과, 각 단위도의 침투유량과 침투시간에 대한 유의적 차이는 없으나 보정 및 검정결과에 따라 Snyder 단위도가 실측치와 모의치의 침투유량과 침투시간에 대한 RRMSE, RAE의 통계적 지표로 판단하였을 때 대상구역의 특성을 가장 잘 반영하는 것으로 판단된다.

## V. 결론

본 연구에서는 만경강 상류에 위치한 신흥천 유역에 대해 최적 단위유량도를 선정하고 합리적인 매개변수의 산정을 위해 홍수기 강우-유출모형인 HEC-HMS모형을 이용하였다. 강우-유출 모의방법은 Clark, Snyder, SCS 단위유량도 방법으로 각각의 매개변수 초기값을 경험식으로 산정하였다. 산정한 매개변수를 실측유량자료와 비교하여 보정하고 보정에 사용하지 않은 호우사상으로 검정하였다.

1. HEC-HMS에서 사용되는 매개변수를 산정하기 위해 GIS 자료를 구축하여 유역의 물리적 특성을 산정하였고 이를 바탕으로 경험식을 통해 초기매개변수를 산정하였다.

2. 신흥천 유역의 실측 유량자료가 있는 2011년의 2개 호우사상을 대상으로 각 단위유량도에 의해 모의된 유출량의 침투유량, 침투시간을 실측 유출량의 것과 비교하여 매개변수를 보정하였다. 단위도 별로 비교한 RRMSE 및 RAE의 결과 침투유량에 대한 RRMSE는 0.008 - 0.13로 나타났으며 RAE는 0.004 - 0.17로 나타났다. 그리고 침투시간에 대한 RRMSE는 0.035 - 0.042로 나타났으며 RAE는 0.035 - 0.043으로 나타났다.

3. 보정된 매개변수를 사용하여 2012년의 2개 호우사상을 통해 각 단위유량도의 매개변수 검정을 실시한 결과 침투유량에 대한 RRMSE는 0.08 - 0.21로 나타났으며 RAE는 0.05 - 0.17로 나타났다. 그리고 침투시간에 대한 RRMSE는 0.19 - 0.19로 나타났으며 RAE는 0.19 - 0.19로 나타났다.

4. '2'와 '3'의 결과에 따라 Clark, Snyder, SCS 방법 모두 우수한 적용성을 나타냈으나, 특히 Snyder 방법에 의해 모의된 유출량이 타 방법에 의한 것 보다 신뢰도가 높은 것으로 분석되었다. 또한 각 단위도간 유의적 차이를 판단하기 위해 일원분산분석을 실시하였으며 5% 유의수준에서 유의적 차이가 없는 것으로 분석되었다.

5. 향후 홍수기 호우사상 및 양질의 실측 유량자료를 보충하여 본 연구와 동일방법의 분석을 실시하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 권순국, 김선주, 김태철, 서승덕, 윤광식, 이순혁, 최예환, 최진규. 2000. 응용수문학. 향문사.
- 성충현. 2004. HEC-HMS 모형을 이용한 단위도 모형 비교연구. 서울대학교 대학원 농공학 석사학위 논문.
- 정중호, 윤용남. 2003. 수자원설계실무. 구미서관.
- 황주하. 2010. HEC-HMS의 유출곡선번호 변동에 의한 가능최대홍수량 비교 분석. 충북대학교 농공학 석사학위논문.
- Bedient, P. B., and W. C. Huber. 1992. *Hydrology and Floodplain Analysis*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Cudworth, A. G. 1989. *Flood Hydrology Manual*. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Washington, DC.
- Snyder, F. F. 1938. *Synthetic Unit-graphs*. Trans. Amer. Geophys. Union. 19: 447-454.
- Sabol, G. V. 1988. Clark Unit Hydrograph and R-parameter Estimation. *Journal of Hydraulics Engineering*. 114(1): 103-111.
- U.S. Army Corps of Engineers. 1987. Derivation of a Rainfall-runoff Model to Compute n-year Floods for Orange County Watersheds. US Army Engineer District. Los Angeles, CA.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2008. HEC-HMS Manual.
- 국가 수자원관리 종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr/>

---

**金炯山**: 충북대학교 지역건설공학과를 졸업하고, 동 대학원에서 공학석사 학위를 취득하였다(2011. 2). 현재 충북대학교 지역건설공학과에서 박사과정 중이다(kimhs@cbnu.ac.kr).

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

**沈智熏**: 충북대학교 지역건설공학과에서 공학사 학위를 취득하였으며(2012. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과에서 석사과정 중이다(jhshim@cbnu.ac.kr).

**金允祐**: 충북대학교 지역건설공학과에서 공학사 학위를 취득하였으며(2011. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과에서 석사과정 중이다(twkim@cbnu.ac.kr).

투 고 일: 2013년 02월 06일

수 정 일: 2013년 02월 23일

게재확정일: 2013년 02월 25일

## Selection of Unit Hydrograph in Sinheung Stream during Flood Season

Hyung San Kim, Seung Jin Maeng, Ji Hoon Shim, Tae Woo Kim

In this study, a systematic and rational parameter of rainfall-runoff during the flood season was estimated using HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), a rainfall-runoff model, and unit hydrographs appropriate for the Sinheungcheon basin were selected. The initial parameter of Clark, SCS and Snyder hydrograph was estimated using an empirical formula commonly applied to domestic cases, and the curve number was estimated to be 81 in accordance with antecedent moisture condition-III (AMC-III). The optimized parameters were estimated by calibrating the parameters using the unit hydrograph on 2011 flood events, and the parameters were verified using flood events in 2012. For the runoff volume simulated through calibration and verification, each unit hydrograph was evaluated using the relative root mean square error (RRMSE) and the relative absolute error (RAE), the statistical variance. From its results, errors of Snyder unit hydrograph were found to be generally smaller compared to those of other unit hydrographs. In addition, one-way ANOVA was conducted to determine the significance level of each unit hydrograph. According to the one-way (Analysis of Variance, ANOVA) results, each unit hydrograph showed no significant difference at a 5% significance level. It is expected that if measured flow rate data of high quality as well as optimized parameter and unit hydrograph selected is used, more reliable runoff volume can be simulated.

**Key words:** rainfall-runoff, HEC-HMS, unit hydrograph, parameter, one-way analysis of variance