

홍수기 소양천 유역의 단위유량도 선정*

김형산, 맹승진**, 심지훈, 김태우

본 연구에서는 강우-유출모델인 HEC-HMS(Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System)를 사용하여 소양천 유역에 적합한 매개변수 및 단위유량도를 선정하였다. 각 단위유량도의 초기 매개변수는 국내 적용사례가 많은 경험식을 이용하였으며 유출곡선번호는 선행함수조건 AMC-III에 따라 84로 추정하였다. 소양천 삼중일교 지점 유역의 면적강우량은 티센다각형법을 이용하여 산정하였다. 2011년의 호우사상을 선정하여 단위도별 매개변수를 보정한 후 2012년 호우사상으로 매개변수 검정을 실시하였다. 보정과 검정을 통해 모의한 유출량은 통계적 변량인 상대평균제곱오차와 상대절대오차를 이용하여 각 단위유량도를 평가하였다. 그 결과 Clark 단위유량도의 오차가 타 단위유량도에 비해 상대적으로 작게 나타났다. 가장 적절한 단위유량도를 선정하기 위하여 분산분석을 실시하였으며 일원분산분석의 결과 유의수준 5%에서 단위유량도의 유의적 차이가 없는 것으로 나타났다. 향후 실측유량자료와 적절한 매개변수를 통하여 분석을 실시한다면 신뢰도 높은 단위유량도를 선택할 수 있으리라 사료된다.

주제어: 강우-유출, HEC-HMS, 합성단위유량도, 매개변수, 일원분산분석

1. 서론

최근 기후변화로 인해 집중호우의 빈도가 증가함에 따라 하천 분류의 경우 유출특성분석이 진행되었으나 소하천의 경우 그 정도가 미비하다. 우리나라의 소하천 유역의 경우 경사가 급하고 해발고도가 높은 지역에 위치하기 때문에 강우강도가 큰 경우가 대부분이다. 따라서 홍수기 소하천 유역의 효율적인 관리 및 치수능력을 증대하기 위해서는 소하천 유역의 유출특성을 파악해야 한다. 유출특성을 파악하기 위해서는 양질의 유량자료와 홍수기 유출모형의 적절한 매개변수가 선정되어야 한다.

산지 소하천의 경우 하상변동이 활발하고 홍수량의 편차가 크기 때문에 수위-유량곡선을 통한 유량산정보다 실측을 바탕으로 산정한 유량자료의 신뢰도가 더 높으며 적절한 초기 매개변수 산정을 위해 유역의 물리적 특징을 추정할 필요가 있다.

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

** 교신저자.

따라서 본 연구에서는 전자파 표면 유속계를 이용하여 2011년과 2012년에 실측한 유속을 바탕으로 유량을 산정하였으며, 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 이용하여 유출분석시 필요한 유역의 물리적 특징을 추정하였다. 이를 HEC-HMS(Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) 모형의 입력 매개변수로 사용하여 소양천의 삼중일교 지점을 대상으로 3개의 단위유량도에 적용하여 실측유량과 비교함으로써 소양천 삼중일교 지점에 대한 최적의 매개변수 및 적합한 합성단위유량도를 결정하였다. 향후 소양천 삼중일교 지점에 대한 홍수유출을 모의할 때 본 연구에서 제시된 매개변수와 적절한 단위유량도를 사용하면 신뢰도 높은 유출량을 모의할 수 있을 것이라 사료된다.

II. 이론 분석 및 모형의 선정

단위유량도

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

Clark 단위유량도는 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 Kraven(II)공식을 이용하여 결정하였다(황주하, 2010).

Snyder 단위유량도 방법은 미국 Appalachian 산맥 지역에서 유역면적이 30~30,000km²인 유역의 수문곡선을 분석하여 유역의 지형인자와 수문곡선 구성인자간의 관계식으로 개발되었다(권순국 등, 2000).

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(정중호, 2003).

모형의 선정

본 연구에서 적용되는 강우-유출 모형은 국내에 적용사례가 많은 HEC-HMS로 하였다. HEC-HMS를 적용한 사례로는 김성민 등이 남강댐유역 내 주요 하천관측지점의 홍수유출량 추정을 위한 단위모형의 비교연구를 실시하였으며(김성민 외, 2012), 장인수는 HEC-HMS 모형을 이용하여 산지 소하천유역의 홍수유출량을 산정하였다(장인수, 2004).

HEC-HMS 는 1967년 미국 공병단 산하 수문공학연구소에서 개발된 HEC-1 모형이 포함되어 있으며 GUI가 보강된 윈도우 환경으로 개발되었다. HEC-HMS는 수문학적 홍수추적 과정 및 각각의 유출 성분을 모의하기 위해 유출량, 직접유출량, 기저유출량을 모의하며 유출 변환과 장기연속유출에 적용 할 수 있는 간단한 수분감소 등을 포함하고 있다(황주하, 2010).

III. 대상유역 및 연구방법

1. 대상유역 선정 및 특성

본 연구에서는 향후 소양천 유역의 수자원 개발과 관련하여 수자원 부존량 측정을 위해 2011부터 2012년까지 2년간 유량측정을 실시한 소양천 유역의 삼중일교 지점을 대상유역으로 선정하였다. 또한 소양천 삼중일교 지점은 2011년 여름철 홍수기에 교량 직하류부 지점의 범람이 예상되어 주민 대피 예정까지 발생하였던 지역으로 홍수기 소하천의 홍수량을 분석해야할 필요성이 있는 지역인 것으로 판단된다.

소양천 삼중일교 지점 유역은 도시화된 지역이 드물며 경작지와 수원지도 거의 없는 지역이다. 대상 유역은 동경 127° 15' 58" ~ 127° 18' 42", 북위 35° 47' 06" ~ 35° 50' 00" 사이에 위치하고 행정구역상 전라북도 완주군 소양면 화심리에 위치한다. 유역의 남서쪽에는 만덕산(EL.763m)이 위치하고 있으며 동쪽에는 부귀산(EL.806m)이 있어 경사가 급하고 도달시간이 짧은 특징을 갖고 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 사용하였으며 ARCGIS 9.3 을 이용하였다. 추출된 유역 면적 및 유역 특성인자는 <표 1>과 같다.

<표 1> Characteristics of Watershed

Area (km ²)	Length (km)	Slope (H/L)
11.19	4.28	0.025

2. 연구방법

본 연구에서는 신뢰성이 확보된 실측 강우-유출 사상을 다수 확보하고 있으며 도달시간이 짧은 산지 소하천유역인 소양천 유역을 대상으로 하였다. 소양천 유역의 최적단위도 및 매개변수 선정을 위해 실측된 강우-유출 사상들 중에서 단일호우 대비 유출된 호우사상을 선정하고 실무 적용사례가 다수 있으며 공개된 강우-유출 모형을 선정한 후, 선정된 강우-유출 모형의 매개변수 초기값을 각 단위도별 경험식들에 의해 산정한다. 선정한 호우사상을 통해 HEC-HMS 모형의 단위도별 초기 매개변수를 보정하며 보정한 매개변수를 통해 다른 호우사상에 적용하여 단위도별 보정 매개변수를 검정한다. 보정 및 검정을 통해 단위도별 모의결과를 실측자료와 비교하여 오차를 산정하여 최종적으로 최적의 단위유량도를 선정한다.

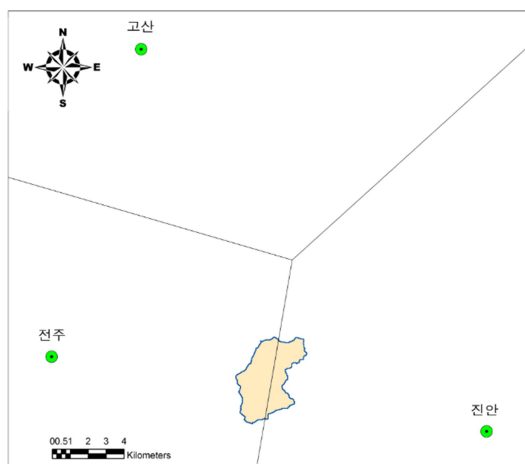
IV. 결과 및 고찰

1. 호우사상 선정

본 연구에서는 소양천 삼중일교 지점 유역을 티센다각형법으로 분배하여 지배관측소를 선정한 후 면적강우량을 산정하였다. 그리고 2011년과 2012년에 삼중일교 지점에서의 실측유량 자료를 수집하기 위하여 유속측정을 실시하였다. 소양천 삼중일교 유역의 티센다각형은 <그림 2>와 같고 각각의 티센수는 <표 2>와 같다. 최종적으로 채택된 3개 호우사상과 호우사상별 총강우량과 첨두유량은 <표 3>과 같다.

<표 2> Thiessen coefficient according to rainfall stations

Station	Jeonju	Jinan
Thiessen coefficient	0.593	0.407



<그림 2> Calculations using Thiessen Polygon method

<표 3> Selection of rainfall-runoff event

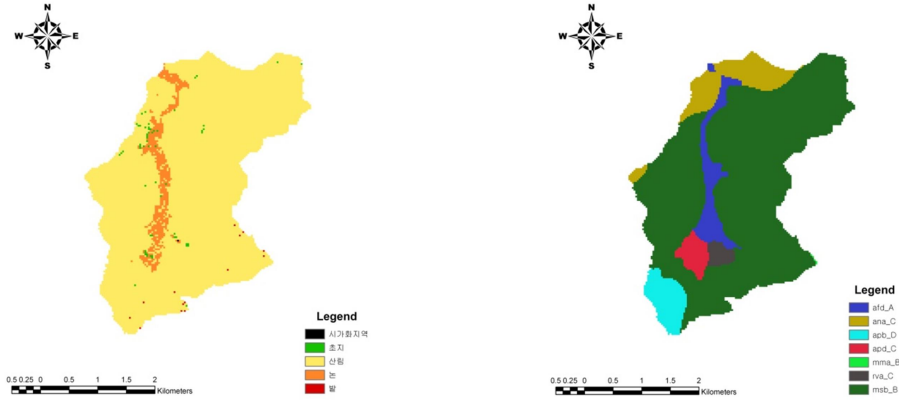
Event	Duration	Total precipitation (mm)	Observed peak flow (m³/s)
1	Jul. 10 to Jul. 11, 2011	220.5	53.75
2	Aug. 09 to Aug. 10, 2011	201.9	48.20
3	Jul. 14 to Jul. 15, 2012	73.7	13.22

2. 매개변수 초기값 선정

HEC-HMS 모형으로 강우-유출을 모의하기 위해서는 매개변수별 초기값을 결정하여야 한다. 초기 매개변수 중 각 단위유량도에 공통적으로 입력되는 매개변수인 유출곡선번호, 감수상수, 초기손실, 초기기저유량 및 Threshold Q의 초기값을 설정하기 위해 유역의 물리적 특성인자를 고려하며 합리적이 라고 판단되는 경험식을 통해 산정하였다(USACE, 2008).

유출곡선번호(CN)의 산정은 SCS방법을 사용하여 토지피복, 수문학적 토양군을 고려하여 결정하였다. SCS방법은 유역내 토양의 배수특성과 토지이용 및 피복상태 등의 정보를 이용하여 총우량으로부터 유효우량을 산정할 수 있는 방법이다. 유출곡선지수(CN)의 초기값은 우리나라의 경우 전국에 걸쳐 농업과학기술원에서 제공하는 개략토양도(1:5,000) 및 토지 이용도를 이용하여 대상 유역의 평균 CN 값을 산정하였다. 유역에 대한 토지피복, 수문학적 토양군은 <그림 3>과 같다. 산정된 CN값 결과를

이용하여 유역평균 CN값을 추출하였다. <표 4>는 시범유역에 대해 산정된 AMC-III 조건의 CN값을 나타낸 것이다.



<그림 3> Estimated results of land use and hydrologic soil group on Soyang stream

<표 4> Estimation of CN value

Item	Study watershed
CN(AMC-III)	84

감수상수는 Sabol(1998)이 제안한 경험식을 사용하였다. 초기손실의 초기값은 SCS(Soil Conservation Service)에서 제시한 식을 사용하였으며(Soil Conservation Service, 1971, 1986) CN값은 전술한 방법에 의해 산정된 값을 사용하였다(Sabol, 1988).

초기기저유량은 호우 발생이 시작된 때의 평균유량으로 선정하였다. 이는 HEC-HMS의 매뉴얼에서 추천한 방법이며, Threshold Q유량이 발생하는 변곡점은 강우가 끝난 시점에서 도달시간을 더하며 이 때의 유량을 초기값으로 선정하였다(USACE, 2008).

단위유량도별 매개변수는 단위유량도별 경험식을 이용하여 초기값을 선정하였다. 대상유역의 호우 사상 및 단위유량도별 매개변수 초기값은 <표 5> 및 <표 6>과 같다.

<표 5> Initial value of parameters by each event

Event	CN	IL	IBF	RC	TR
1	84	8.27	1	0.098	0.05
2	84	8.27	1	0.098	0.05
3	84	8.27	0.5	0.098	0.05

<표 6> 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	0.75	0.50	0.706

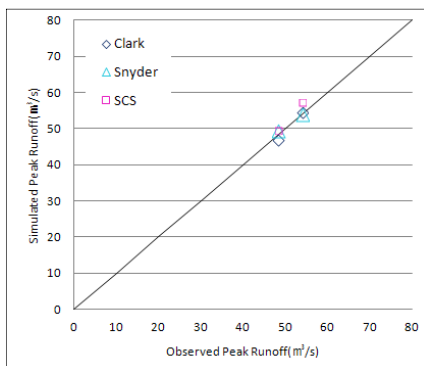
4. 매개변수 보정

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 7>과 같다.

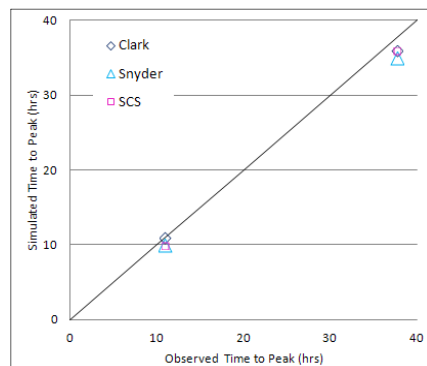
또한 보정된 매개변수들을 적용하여 산정된 모의치와 실측치를 비교하기 위하여 단위유량도별로 유도된 첨두유량 및 첨두시간을 <그림 4> 및 <그림 5>와 같이 도시하였다. 보정된 매개변수를 사용하여 모의된 첨두유량 및 첨두시간은 <표 8>과 같고 이들을 <그림 6> 및 <그림 7>과 같이 도시하였다.

<표 7> Optimized parameters by each Unit Hydrograph

Clark UH		Snyder UH		SCS UH
T_c (hr)	K	T_l (hr)	C_p	T_{leg} (hr)
2	2.4	0.73	0.445	2.478



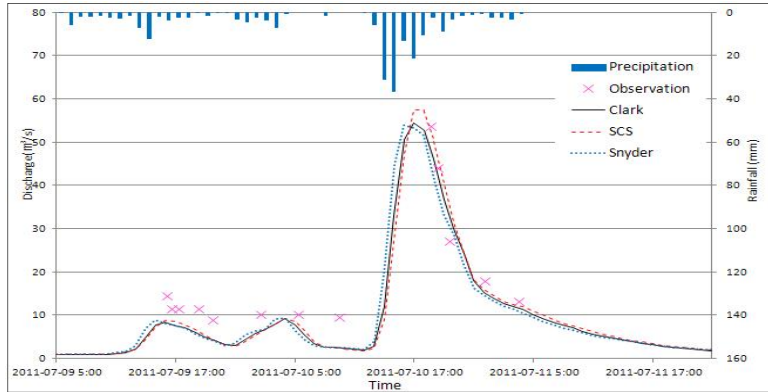
<그림 4> Comparison peak flows of simulation and observation



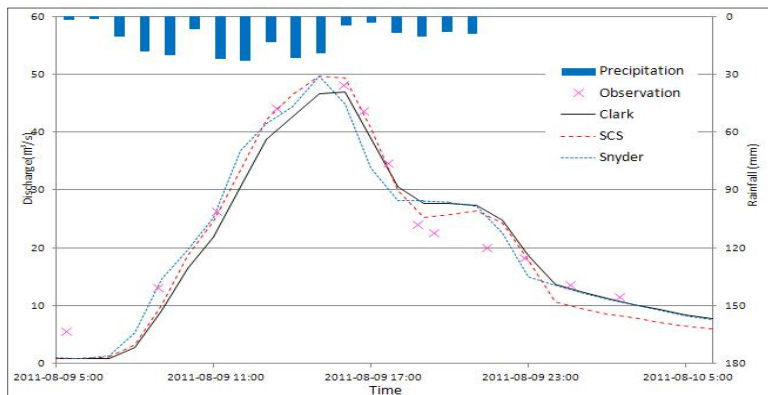
<그림 5> Comparison peak time of simulation and observation

<표 8> Calibration results of the HEC-HMS

Event	Peak flow (m ³ /s)				Time to peak (hrs)			
	Observation	Clark	Snyder	SCS	Observation	Clark	Snyder	SCS
1	53.75	54.4	54.0	57.4	37.0	36.0	35.0	36.0
2	48.2	46.9	49.6	49.7	10.92	11.0	10.0	10.0



<그림 6> Observed and simulated hydrograph according to calibration (Event 1)



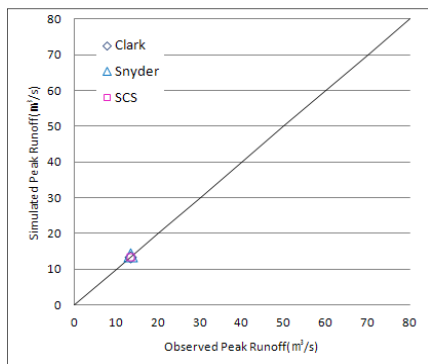
<그림 7> Observed and simulated hydrograph according to calibration (Event 2)

<그림 4> 및 <그림 5>에서 첨두유량은 모의치가 실측치를 양호하게 모의하는 것으로 나타났다. 첨두시간은 모의된 첨두시간이 실측된 첨두시간보다 짧은 것으로 나타났다.

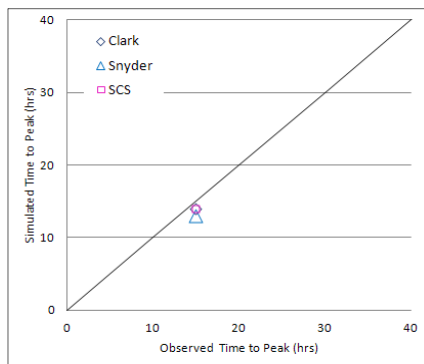
5. 매개변수 검정 및 유의성 분석

모형의 검정은 2012년 호우사상을 대상으로 실시하였으며 보정과정을 거친 매개변수를 입력자료로 모의하였다. <그림 8> 및 <그림 9>는 <표 2>의 ‘호우사상 3’을 대상으로 보정된 매개변수를 사용하

여 산정된 모의치와 실측치를 1:1비교한 것이다.



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

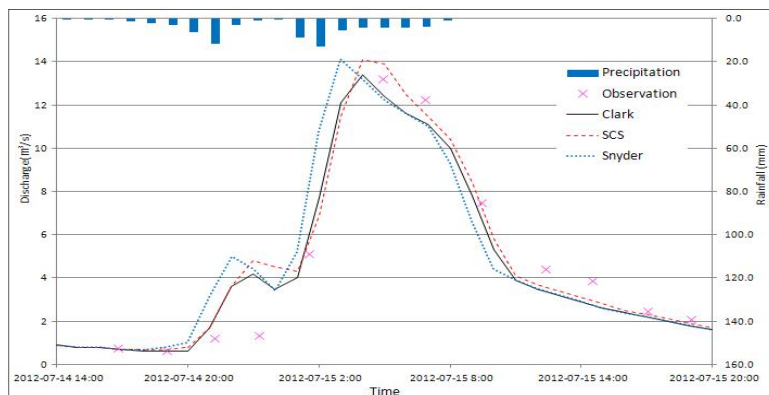


<그림 9> Comparison peak time of simulation and observation after verification

<그림 8> 및 <그림 9>에서 모의된 첨두유량은 실측된 첨두유량을 양호하게 모의하는 것으로 나타났으며 모의된 첨두시간이 실측된 첨두시간보다 짧은 것으로 나타났다. 보정된 매개변수를 이용하여 검정한 결과는 <표 9>와 같다. 보정된 매개변수를 이용하여 검정한 실측치와 모의치의 수문곡선을 <그림 10>과 같이 도시하였다.

<표 9> Verification results of the HEC-HMS

Event	Peak flow (m³/s)				Time to peak (hrs)			
	Observation	Clark	Snyder	SCS	Observation	Clark	Snyder	SCS
3	13.32	13.40	14.10	13.40	14.87	14.0	13.0	14.0



<그림 10> Observed and simulated hydrograph according to verification (Event 3)

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 (1), (2)와 같으며 그 결과는 <표 10>과 같다.

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

$$RAE = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \left| \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right| \tag{2}$$

여기서, Q_0 는 실측한 유출량이며, Q_c 는 최적 매개변수에 의한 HEC-HMS 모의 유출량이다.

<표 10> Calibrated and Verified results from HEC-HMS model simulation at Soyang stream watershed

Item		Initial Parameter		Comparison		Verification	
		RRMSE	RAE	RRMSE	RAE	RRMSE	RAE
Peak flow	Clark	0.8604	0.5688	0.0283	0.0195	0.0136	0.0136
	Snyder	0.3534	0.2274	0.0292	0.0168	0.0666	0.0666
	SCS	0.8217	0.5220	0.0572	0.0495	0.0136	0.0136
Peak time	Clark	0.0638	0.0363	0.0313	0.0313	0.0583	0.0583
	Snyder	0.1563	0.0929	0.0973	0.0973	0.1256	0.1256
	SCS	0.2175	0.1242	0.0893	0.0893	0.0583	0.0583

상대평균제곱근오차와 상대절대오차의 통계적 변량을 사용하였으나 각 단위유량도간의 유의적 차이를 판단하기 위해 일원분산분석을 통해 방법 간 유의적 차이를 평가하였다(성충현, 2008). 평가결과는 다음 <표 11>과 같다.

<표 11> 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 ³ /s)	Between Group	3.29	2	1.65	0.00267	0.997
	Within Group	1850.1	3	616.7		
	Total	1853.4	5			
Time to peak (hr)	Between Group	1	2	0.5	0.08823	0.918
	Within Group	17	3	5.67		
	Total	18	5			

평가결과 각 단위도의 첨두유량과 첨두시간에 대한 p-value가 유의수준 5%인 0.05보다 크기 때문에 귀무가설이 성립된다. 따라서 각 단위도의 방법간 첨두유량과 첨두시간의 유의적 차이는 없다고 판단된다.

이상의 분석 결과, 각 단위도의 첨두유량과 첨두시간에 대한 유의적 차이는 없으나 Clark 단위도가 실측치와 모의치의 첨두유량과 첨두시간에 대한 RRMSE, RAE의 통계적 지표로 판단하였을 때 대상 유역의 특성을 가장 잘 반영하는 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구에서는 만경강 상류에 위치한 소양천 유역에 대해 최적 단위유량도를 선정하고 합리적인 매개변수의 산정을 위해 홍수기 강우-유출모형인 HEC-HMS모형을 이용하였다. 적용한 단위도는 Clark, Snyder, SCS 방법으로 각각의 매개변수 초기값을 경험식으로 산정한 후 매개변수를 실측유량자료와 비교하여 보정 및 검정을 실시한 결과는 다음과 같다.

2011년 2개 호우사상을 대상으로 각 단위유량도에 의해 모의된 유출량의 첨두유량, 첨두시간을 실측 유출량과 비교하여 매개변수를 보정하였다. 단위도별로 비교한 RRMSE 및 RAE의 결과 첨두유량에 대한 RRMSE는 0.03~0.06로 나타났으며 RAE는 0.02~0.05로 나타났다. 첨두시간에 대한 RRMSE는 0.03~0.09로 나타났으며 RAE는 0.02~0.08로 나타났다.

보정된 매개변수를 사용하여 2012년의 1개 호우사상으로 각 단위유량도의 매개변수 검정을 실시한 결과 첨두유량에 대한 RRMSE는 0.01~0.06로 나타났으며 RAE는 0.01~0.07로 나타났다. 첨두시간에 대한 RRMSE는 0.06~0.13로 나타났으며 RAE는 0.06~0.13로 나타났다.

상기의 결과에 따라 모든 단위도가 우수한 적용성을 나타냈으나, 특히 Clark 방법에 의해 모의된 유출량의 신뢰도가 높은 것으로 분석되었다. 또한 각 단위도간 유의적 차이를 판단하기 위해 일원분산분석을 실시하였으며 5% 유의수준에서 유의적 차이가 없는 것으로 분석되었다.

향후 홍수기 호우사상 및 실측 유량자료를 보충하여 최적의 매개변수와 단위도를 적용한다면 신뢰도 높은 유출 특성 결과를 도출 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김성민, 김성재, 김상민. 2012. 남강댐유역 내 주요 하천관측지점의 홍수유출량 추정을 위한 단위도 모형 비교 연구. 한국농공학회논문집. 54(3): 65-74
- 권순국, 김선주, 김태철, 서승덕, 윤광식, 이순혁, 최예환, 최진규. 2000. 응용수문학. 서울: 향문사.
- 성충현, 김상민, 박승우. 2008. 농업소유역의 홍수유출량 추정을 위한 단위도 모형 비교연구. 한국농공학회논문집. 50(3): 17-27
- 장인수. 2004. HEC-HMS 모델을 이용한 산지 소하천유역의 홍수유출량 산정. 한국산업응용학회논문집. 7(3): 281-288
- 정종호, 윤용남. 2003. 수자원설계실무. 서울: 구미서관.
- 황주하. 2010. HEC-HMS의 유출곡선번호 변동에 의한 가능최대홍수량 비교 분석. 충북대학교 대학원 공학석사학위논문.
- Sabol, G. V. 1988. Clark Unit Hydrograph and R-parameter Estimation. *Journal Hydraulics Engineering*. 114(1): 103-111
- Soil Conservation Service. 1971. *National Engineering Handbok*, Section 4: Hydrology. USDA, Springfield, VA.
- Soil Conservation Service. 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Technical Release 55. USDA, Springfield, VA.
- 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).

金兌祐: 충북대학교 지역건설공학과에서 공학사 학위를 취득하였으며(2011. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과에서 석사후 연구원으로 활동 중이다(twkim@cbnu.ac.kr).

투 고 일: 2013년 03월 06일

수 정 일: 2013년 04월 23일

게재확정일: 2013년 04월 25일

Selection of Unit Hydrograph in Soyang Stream during Flood Season

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

In this study, parameters and unit hydrograph appropriate for the watershed of Soyang stream were selected using the HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System), which is a rainfall-runoff model. The initial parameters of each unit hydrograph were estimated using an empirical formula commonly applied to domestic cases. The curve number was estimated at 84 in accordance with the antecedent moisture condition -III (AMC-III). The areal rainfall on the watershed at the point of Samjungilgyo around Soyang stream was estimated using the Thiessen polygon method. The parameters by unit hydrograph were calibrated by selecting flood events in 2011, and these 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). Based on the results, errors of Clark unit hydrograph turned out to be generally smaller compared to those of other unit hydrographs. In order to select the most appropriate unit hydrograph, an analysis of variance was carried out, and the results of one-way ANOVA showed that there was no significant difference at a 5% significance level. It is expected that if an analysis is conducted using measured flow data and appropriate parameters in the future, a highly reliable unit hydrograph is to be selected.

Key words: rainfall-runoff, HEC-HMS, unit hydrograph, parameter, ANOVA