

ORIGINAL ARTICLE

통계적 기법을 적용한 외도천의 단위유량도 제안

이준호 · 양성기* · 정우열

제주대학교 토목공학과

A Proposal of Unit Hydrograph Using Statistical Analysis in Oedo Stream, Jeju

Jun-ho Lee, Sung-kee Yang*, Woo-yul Jung

Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

Abstract

Rainfall-runoff model of Jeju Oedo Stream was used to compute the optimal unit hydrograph by HEC-HMS model that reflecting on watershed characteristics. Each rainfall event was comparatively analyzed with the actual flow measurement using Clark, Snyder and SCS synthetic methods for derived unit hydrograph. Subsequently, the null hypothesis was established as p-value for peak flow and peak time of each unit hydrograph by one-way ANOVA(Analysis of variance) was larger than significance level of 0.05. There was no significant difference in peak flow and peak time between different methods of unit hydrograph. As a result of comparing error rate with actual flow measurement data, Clark synthetic unit graph best reflected in Oedo Stream as compared to other methods, and error rate of Clark unit hydrograph was 0.02~1.93% and error rate at peak time was 0~2.74%.

Key words : HEC-HMS, Clark, Snyder, SCS, One-way ANOVA, Unit hydrograph

1. 서론

전 세계적인 기후변화로 인해 기상이변 현상 중 하나인 돌발홍수가 빈번하게 발생하고 있으며, 우리나라도 돌발홍수로 인한 수해의 규모도 점차 증가하고 있다. 기존의 강우-유출 해석 방법은 대부분 외국에서 개발된 방법으로서 국내 지형특성을 반영하기 위해 부분적으로 수정되어 이용되고 있으나, 현장 수문관측 자료의 부족으로 인해 대상유역별 대표 단위유량도를 결정할 수가 없는 한계점이 있다(Jung, 2002). 이러한 문제를 해결하기 위해 수문관측 자료는 지속적인 유량관측 자료가 매우

중요하지만 제주도의 지역특성상 현장관측 자료가 매우 부족하여 분석하는데 어려움이 있다(Yang 등, 2012).

수자원분야에서 GIS를 이용한 경우는 미국공병단 연구소(Hydrologic Engineering Center; HEC)의 연구진에 의해 수자원분야에서 GIS 적용이 처음 시도된 이래, Jung 등(2013)은 제주도 도심하천유역에 SWAT 모형과 HEC-HMS 모형을 이용하여 유출특성을 분석하였으며, Yang 등(2013)은 SMS-RMA2의 2차원 해석을 시행하고 1차원 하천흐름의 결과를 비교 하였다. 또한 Kim 등(2013)은 표면영상유속계(SIV)를 적용하여 유속 및 유량을 산정하였으며, Kang 등(2013)은 SWAT모형을

Received 14 January, 2015; Revised 10 April, 2015;

Accepted 13 April, 2015

*Corresponding author : Sung-kee Yang, Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea
Phone: +82-64-754-3451
E-mail: skyang@jeju.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이용한 강정천과 악근천의 유출특성을 분석하였다. Jung 등(2014)은 HEC-HMS 모형으로 한천의 매개변수에 대하여 민감도분석을 수행하였으며, Kim 등(2014)은 산지하천의 전자파 표면유속 측정에 기반한 유량 및 유속 관측 오차분석을 수행하였다. Yang 등(2014)에는 선행강우에 따른 제주하천의 유출특성 분석을 수행하였다.

최근 제주도는 극한사상의 기상발생빈도가 점차 증가하여 집중호우, 태풍 등에 의한 홍수 피해가 점차 커지고 있으며, 태풍 제 11호 ‘나리’는 2007년 9월 15일부터 16일까지 제주도에 내습하여 사상 초유의 14명의 사상자와 약 130,646백만원의 피해를 입혔다(Jeju Special Self-Governing Province, 2007).

제주도내 강우량 증가와 일강수량 극값 200 mm 이상인 해가 빈번히 발생하고 있으며, 홍수피해를 유발하는 극한사상의 발생횟수도 점차 증가하고 있어 예경보 없이 발생하는 홍수피해도 꾸준히 증가 될 것으로 보인다. 따라서 지역특성에 적합한 단위유량도 산정은 실제 하천 설계 및 치수방재를 위해 필수적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 HEC-HMS를 이용하여 각 단위유량도의 강우-유출을 특성을 파악하고 산정결과를 비교 분석하여 가장 적합한 단위유량도를 제시하였다. 이러한 결과는 향후 하천설계 및 치수방재에 유용한 정보로 활용될 수 있다.

2. 자료 및 방법

2.1. 연구방법

최근 제주도에서 발생한 5개의 호우사상에 대한 유량 자료를 이용하여 각 단위유량도를 비교 분석하고 통계적 기법을 적용하여 유의성을 검증하였다. 이를 위해 각 사상별(2011년 4, 5, 11월 그리고 2012년 04월 집중호우, 7월 제 7호 태풍 ‘카눈’의) 강우자료를 HEC-HMS에 입력하고 매개변수를 최적화하였으며 유출량을 산정한 후, 실측 유량자료와 모델링 모의치와 비교하여 각 단위유량도에 적정성 평가를 실시하였다.

HEC-HMS는 강우-유출모의를 하는데 있어 다양한 기능을 제공하고 있다. 한 유역을 수리-수문적 구성요소로 이루어지는 복잡한 시스템으로 상호연관에 의하여 나타내며, 이를 통해 그 유역에 강우로 인한 지표면 유출을 모의하는 단일사상 유출모형이다(Jung, 2013).

일원분산분석은 변동의 원인별 분해를 위한 방법으로 종속변수의 변동에 영향을 미치는 요인이 하나로서 F-분포는 정규분포를 이루고 있는 모집단으로부터 무작위로 추출한 두 개의 표본에서 얻어진 모집단의 분산의 두 불편추정량(unbiased estimates)의 비율에 대한 빈도를 기술하는 F-분포는 통계분석에서 가장 유용한 분포중 하나이며, F-분포의 확률 밀도 함수(probability density function)는 아래의 식과 같다.

$$f_X(x;m,n) = \frac{\Gamma\left(\frac{m+n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{m}{2}\right)\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \cdot \left(\frac{m}{n}\right)^{\frac{m}{2}} \cdot \frac{x^{\frac{m}{2}-1}}{\left[1 + \left(\frac{m}{n}\right)x\right]^{\frac{m+n}{2}}} \cdot I_{(0,\infty)}(x) \quad (1)$$

또한, 분산분석에 관심사들의 여러 수준들을 처리(treatment)라 한다(Hong, 1998).

기상청 관할 TM 및 AWS개소의 시간강우자료를 수집하고 Thiessen의 기중법을 적용하여 유역평균 강우량으로 산정하였으며 침투량은 NRCS Curve Number 방법을 적용하고 유역의 토지피복도는 2000년 Landset 위성영상을 이용하였다. 피복 분류된 자료를 이용하여 연구대상유역의 토지피복도(Landuse map)자료를 ArcGIS 프로그램을 사용하였고 토양도(Soil type map) 자료는 농업과학기술원의 농업토양정보시스템 제공하고 있는 1:25,000 정밀 토양도를 토양통별로 구분하고 입력자료를 구축하였다.

2.2. 연구대상 유역

적합한 단위유량도 산정하기 위한 외도천은 제주도 한라산 정상에서 발원하여 북부 해안으로 유입되는 전형적인 산지하천을 대상유역으로 선정하였다(Fig. 1). 해당 유역의 특성인자를 분석하기 위하여 1/5,000 수치지형 지도와 ArcGIS 프로그램을 이용하여 분석한 결과, 외도천 유역의 면적은 42.69 km², 유로연장은 18.7 km, 유역 평균폭은 2.28 km, 유역의 평균 고도는 870 m, 형상계수는 0.09이다(Table 1).

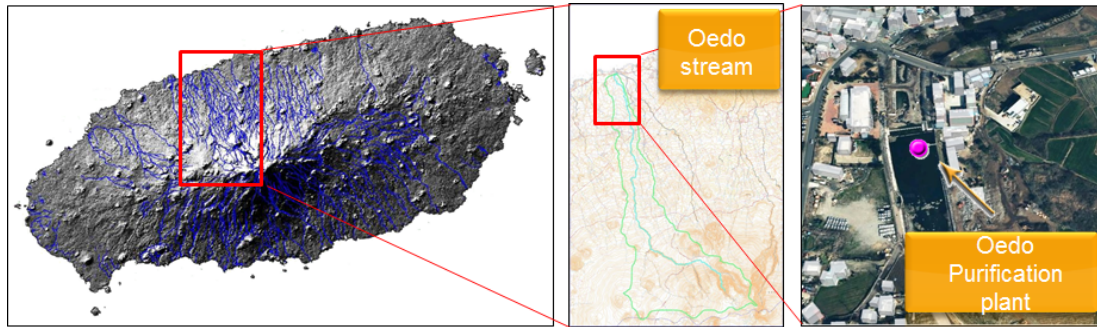


Fig. 1. Watershed for the study.

Table 1. Specification of rain gage stations

Watershed	Watershed Area (km^2)	Stream Length (km)	Average width (A/L)	Form factor (A/L^2)
Oedo stream	42.69	18.7	2.28	0.09

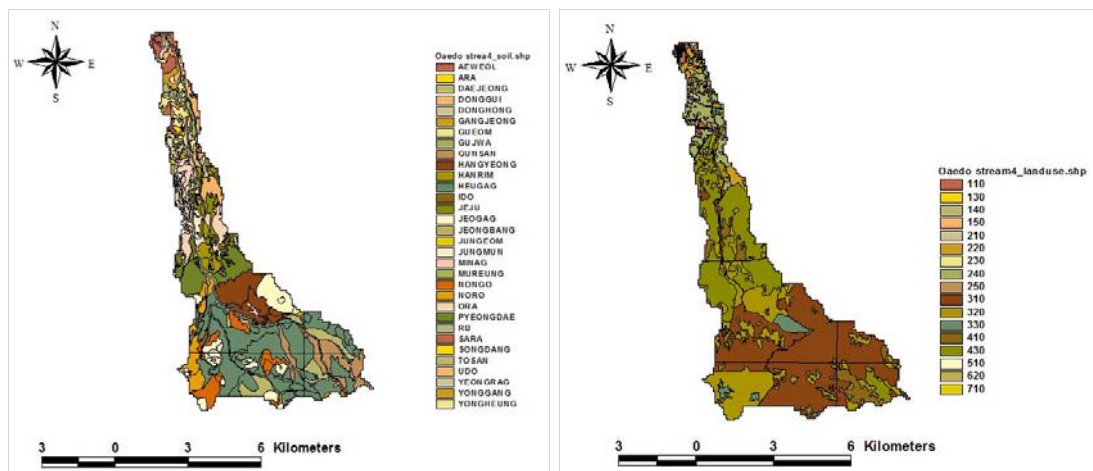


Fig. 2. Maps of soil, land use classes of the study area.

외도천 유역의 토지피복자료를 분석한 결과 산림지역이 16.91 km^2 로 38%를 차지하고 있으며, 초지가 11.44 km^2 으로 25.7%, 도심지가 1.69 km^2 으로 3.8%로 분석되었다. 토양도는 흑악토가 27.55%, 적악토 6.93%를 차지하고 있으며, 오라통, 행원순으로 분포를 보이고 있다(Fig. 2.).

2.3. 입력자료 선정

연구대상 유역에 대한 매개변수를 추정하기 위해 양

질의 관측된 강우-유출량 자료가 요구되지만 홍수기의 기상악화 및 빠른 유속으로 현장관측은 매우 어렵다 (Yang 등, 2012). 또한 제주도의 경우 호우 시에 짧은 기간(1~2일)동안만 유출이 발생함으로 많은 수문관측 자료를 얻기 매우 힘든 지역이다. 본 연구에서는 외도천 하류부에 정수장 부근에서 제주수자원 연구단에서 실측 유량자료와 제주수자원본부에서 운영하고 있는 Kalesto 관측 자료를 사용하였으며 강우자료는 외도천 유역에 4

Table 2. Rainfall observatory

Rain gage stations	E.L.(m)	Latitude	Longitude	Thiessen
Jeju	184	33° 30' 51.0''	126° 31' 46.7''	0.013
Eorimok	753	33° 23' 34.8''	126° 29' 42.0''	0.643
Wiseoreum	871	33° 21' 43.2''	126° 31' 4.8''	0.169
Seongpanak	777	33° 23' 6.0''	126° 37' 8.4''	0.175

Table 3. Rainfall according in observed point

Date	Jeju	Eorimok	Witsaerum	Seongpanak	Remarks
2011.04.02 ~2011.04.12	36.8	165	13.5	207	Heavy rainfall
2011.05.06 ~2011.05.16	12	224.5	384	197	Heavy rainfall
2011.11.13 ~2011.11.23	130	195.5	362.5	341	Heavy rainfall
2012.04.16 ~2012.04.26	110	406.5	642.5	806.5	Heavy rainfall
2012.07.13 ~2012.07.23	163.1	397	404.5	404.5	Typhoon 'KHANUN'

개의 기상관측소 자료를 활용하고 시강우량을 티센(Thiessen)의 가중법을 적용하여 면적강우량을 산정하였다(Table 2).

연구대상 유역인 외도천의 적합한 단위유량도 산정하기 위해 2011년 4월 21일, 5월 11일, 11월 18일, 2012년 4월 21일 집중호우, 2012년 07월 18일 태풍 '키눈' 사상으로 채택한 각 호우사상별 지점 강우량은 Table 3과 같다.

2011년 4월 8일에 발생한 사상은 외도천유역에 145.127 mm의 유역평균 강우량이 발생하였으며, 시간 최대 강우강도는 9.895 mm/hr, 5월 6일 집중호우는 243.862 mm의 유역평균 강우량이 발생하였으며, 시간 최대 강우강도는 22.871 mm/hr으로 측정되었다. 11월 18일 집중호우로 인하여 248.256 mm의 유역평균 강우량이 발생하였으며, 시간최대 강우강도는 37.175 mm/hr로 나타났고 2012년 4월 1일 집중호우는 512.393 mm의 유역평균 강우량이 산정되었으며, 시간최대 강우강도는 37.735 mm/hr로 나타났다. 2012년 7호 태풍 '키눈'은 07월 18일 제주도에 상륙하였으며 396.559 mm의 유역평균 강우량이 발생하였으며, 시간최대 강우강도는 38.304 mm/hr로 나타났다(Fig. 3).

3. 결과

3.1. 홍수유출량 산정

매개변수를 최적화하기 위해 제주도 외도천유역의 강우사상을 HEC-HMS에 입력하여 Clark, Snyder, SCS 합성단위유량도 방법을 적용한 유출량을 산정한 후, 외도정수장에서 측정한 실측유량과 비교·분석하였다.

2011년 4월 7일에 발생한 사상에 대하여 실측관측 자료와 각 단위유량도 유출량의 첨두유량 오차를 분석하였다. Snyder 단위유량도의 첨두유량 오차율은 10.56%, SCS 합성단위유량도는 0.08%으로 분석되었으며 Clark 단위유량도는 첨두유량 모의치와 실측값과 동일하였다. 또한, 첨두유량 및 첨두시간은 Snyder 단위유량도를 제외한 모의치가 실측치를 양호하게 모의되었다(Fig. 4).

2011년 5월 11일의 집중호우에 대하여 실측관측 자료와 각 단위유량도 유출량의 첨두유량 오차를 분석하였다. Clark 단위유량도의 첨두유량 오차율은 0.02%, Snyder 단위유량도는 0.01%, SCS 합성단위유량도는 0.11%으로 분석되었으며 SCS 합성단위유량도를 제외한 첨두유량은 모의치가 실측치를 양호하게 모의되었다(Fig. 5).

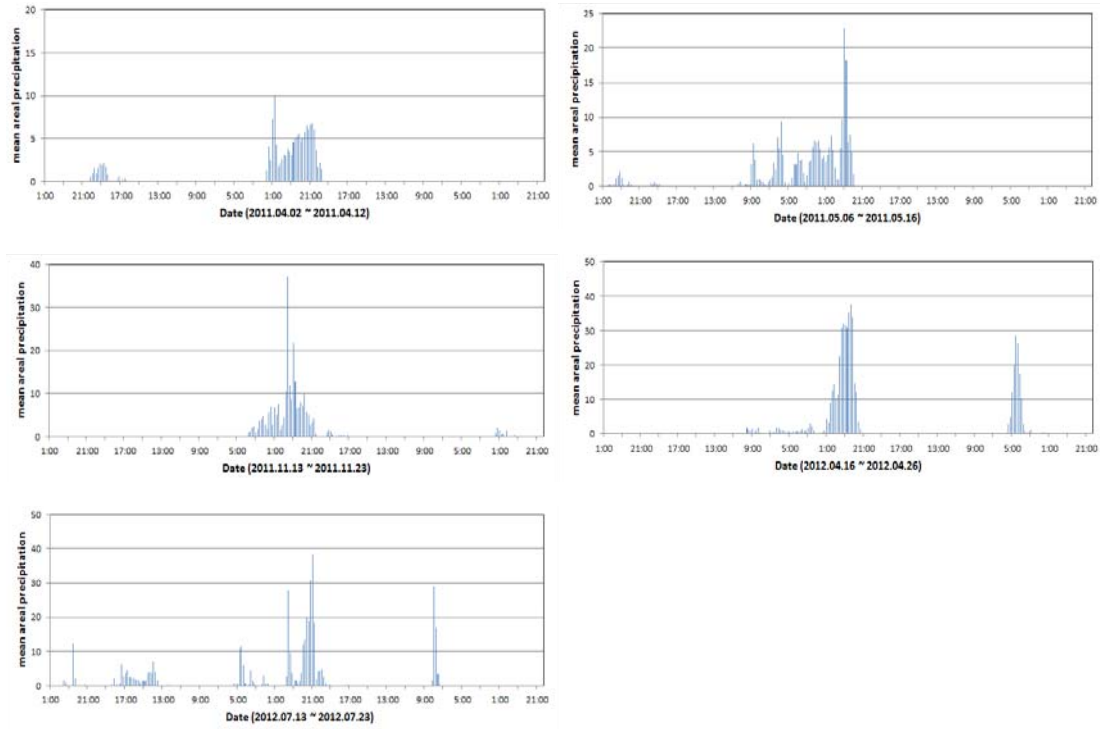


Fig. 3. Mean areal rainfall by heavy rain concept.

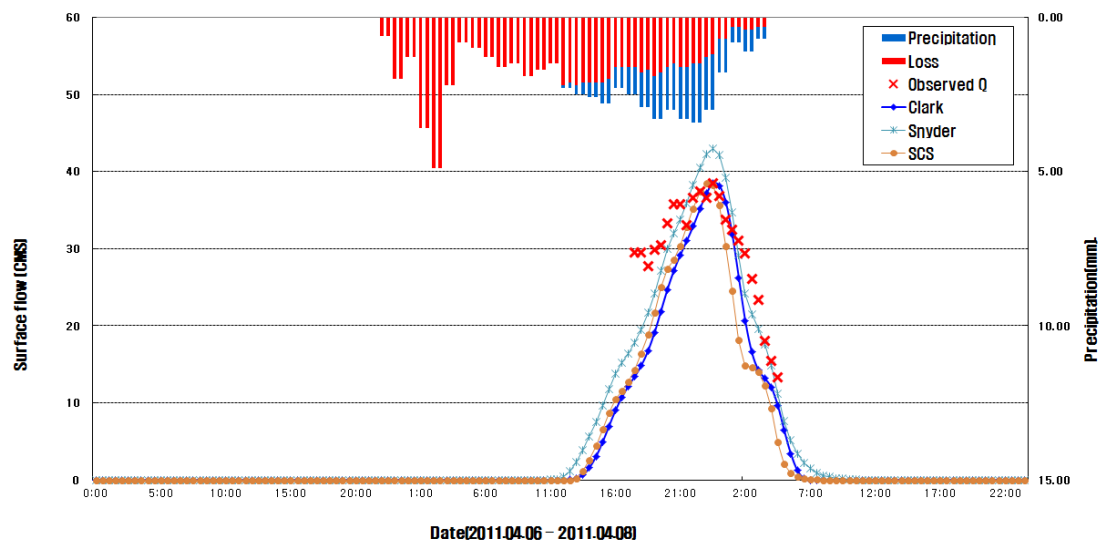


Fig. 4. Observed and simulated hydrograph according to calibration(2011.04.07).

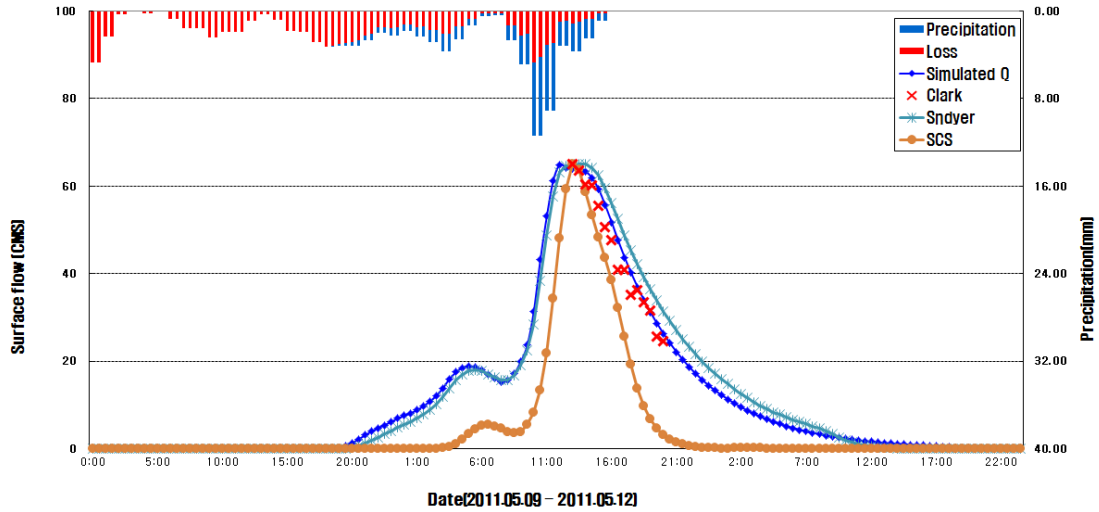


Fig. 5. Observed and simulated hydrograph according to calibration(2011.05.11).

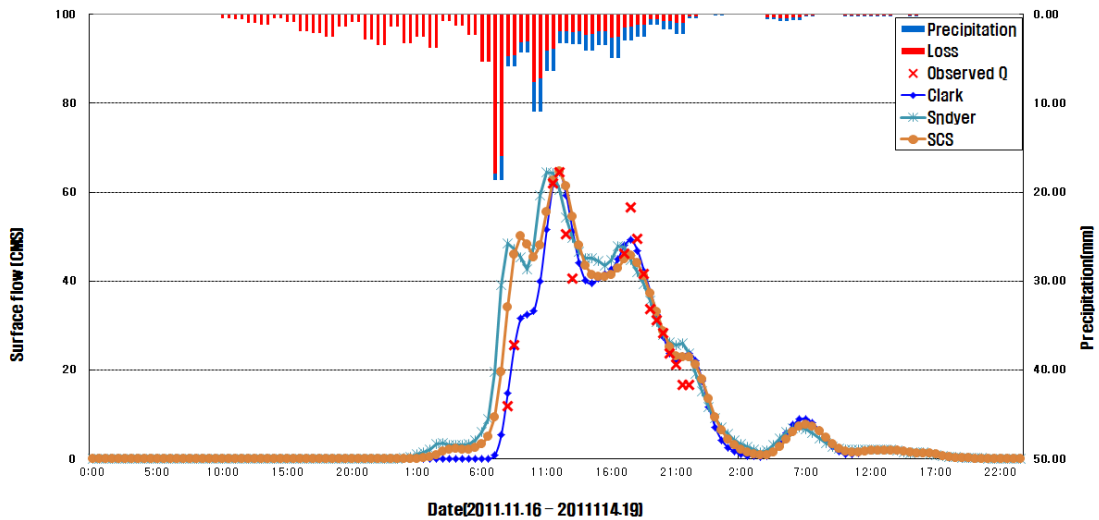


Fig. 6. Observed and simulated hydrograph according to calibration(2011.11.18).

2011년 11월 17일의 발생사상에 대하여 실측관측 자료와 각 단위유량도 유출량의 침투유량 오차를 분석하였다. Clark, Snyder 단위유량도 침투유량은 실측값과 동일하였으나 SCS 합성단위유량도의 침투유량 오차는 0.01% 으로 분석되었고 침투시간은 Snyder 단위유량도를 제외한 모의치가 실측치와 동일하였다(Fig. 6).

2012년 4월 17일의 발생한 사상에 대하여 실측관측 자료와 각 단위유량도 유출량의 침투유량 오차를 분석하

였다. Clark 단위유량도 침투유량은 실측값과 동일하였으나 Snyder 단위유량도의 침투유량 오차는 0.1%, SCS 합성단위유량도는 6.44% 으로 크게 발생하였다. 그러나 SCS 합성단위유량도는 실측 관측값과 경향성은 매우 비슷하고 Snyder 단위유량도는 추가 보정을 필요한 것으로 확인하였다(Fig. 7).

2012년 7월 18일의 발생한 태풍 '카눈'에 대하여 실측 관측 자료와 각 단위유량도 유출량의 침투유량 오차를

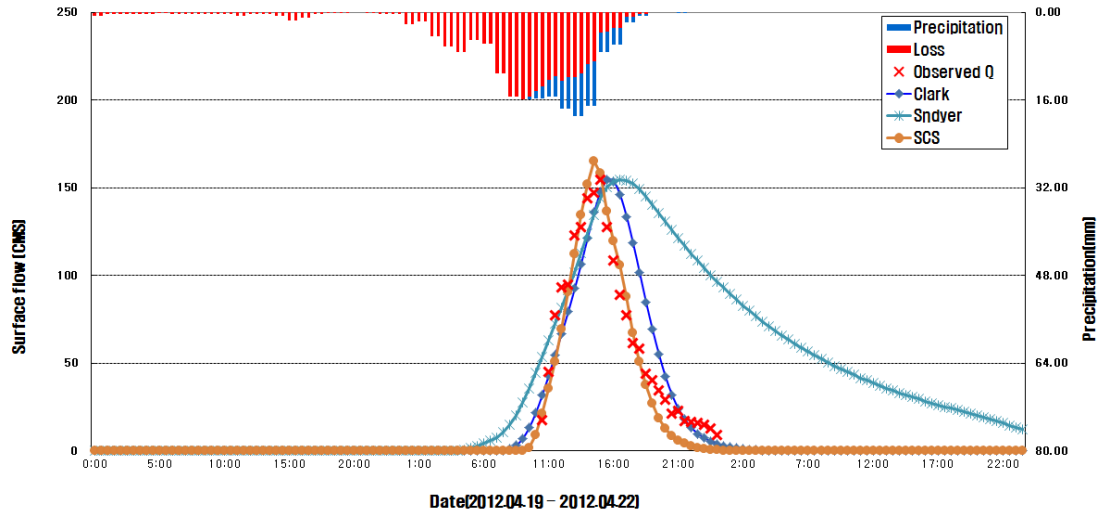


Fig. 7. Observed and simulated hydrograph according to calibration(2012.04.21).

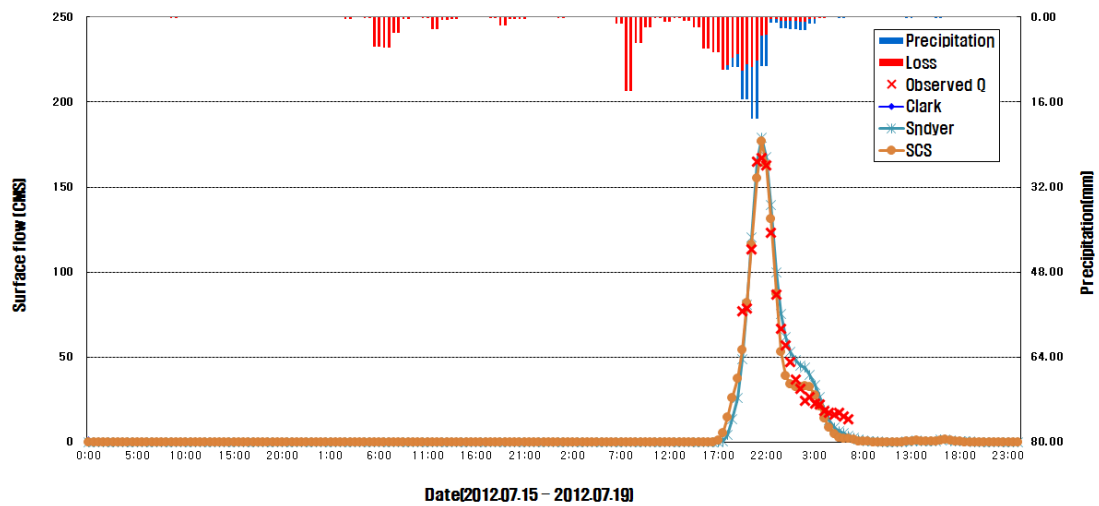


Fig. 8. Observed and simulated hydrograph according to calibration(2012.07.18).

분석하였다. Clark 단위유량도의 첨두유량 오차율은 1.93%, Snyder 단위유량도는 5.11%, SCS 합성단위유량도는 6.61%로 발생하였다. 첨두유량은 SCS 합성단위유량도를 제외한 모의치가 실측치를 양호하게 모의되었으며 첨두시간은 모든 단위유량도 모의치가 실측치와 동일하였다(Fig. 8).

각 사상에 대한 Clark, Snyder, SCS 합성단위유량도

방법으로 모의한 첨두유량 및 첨두시간과 실측관측 값을 비교하여 제시하였다(Table 4).

3.1. 단위유량도 유의성 분석

단위유량도의 적정성 검토는 유의성 분석을 실시하였으며 단위유량도간의 유의적 차이를 판단하기 위하여 일원분산분석을 통해 방법 간 유의적 차이를 비교·분석하였다. 분산분석법은 필요한 유의수준 계산의 어려움을

Table 4. Calibration results of HEC-HMS

Date	Clark		Snyder		SCS		Observed	
	Peak (m ³ /s)	Time (hr)	Peak (m ³ /s)	Time (hr)	Peak (m ³ /s)	Time (hr)	Peak (m ³ /s)	Time (hr)
2011.04.21	38.45	23:30	42.98	23:30	38.48	23:00	38.45	23:30
2011.05.11	64.95	12:00	64.96	14:00	65.02	13:30	64.95	13:30
2011.11.18	64.40	12:00	64.47	11:00	64.70	12:00	64.47	12:00
2012.04.21	154.40	15:30	154.56	16:30	165.02	14:30	154.40	15:00
2012.07.18	170.38	21:30	176.10	21:30	178.93	21:30	167.10	21:30

Table 5. one-way ANOVA table of result for Clark, Snyder, SCS

Item	sum of variation	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F	p-value
Peak runoff (m ³ /s)	Between group	43.73	3	14.58	0.0039	0.9886
	Within group	59,207.33	16	3,700.46		
	Total	59,251.06	19			
Time to Peak (hr)	Between group	0.7	3	0.233	0.0012	0.9979
	Within group	3140	16	196.25		
	Total	3140.7	19			

해결하고 전반적으로 포괄적인 정보를 제공하는 가장 효과적인 방법이라고 할 수 있다. 또한, 일원분산분석은 두 개 이상의 표본분산의 유의성을 검정하여 평균이 같은지를 검정하는 방법 중 하나이다(Table 5).

유의적 분석을 위해 귀무가설은 ‘각 단위유량도에 따른 첨두유량과 첨두시간이 유의적 차이가 없다’이며 이에 대한 대립가설은 ‘각 단위유량도에 따른 첨두유량과 첨두시간이 유의적 차이가 있다’라고 가설설정하였다.

일원분산분석 결과, 각 단위도의 첨두유량과 첨두시간에 대한 p-value가 유의수준 0.05보다 크기 때문에 귀무가설이 성립되며 각 단위유량도의 방법별 첨두유량 및 첨두시간의 유의적 차이는 없다고 분석되었다. 또한, 각 단위유량도의 모의치(첨두유량과 첨두시간)에 대한 유의적 차이는 없으나 오차율로 비교하면 Clark 합성단위도가 대상유역인 외도천의 유역특성을 가장 잘 반영하는 것으로 판단된다.

4. 결론

제주도는 기후변화로 인한 강우량 극한사상의 발생횟

수가 증가하고 있어 홍수피해도 점차 증가하고 있지만 수자원 계획, 관리에 활용하기 위한 다양한 연구는 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 유역특성을 반영한 최적 단위유량도를 산정하기 위해 제주도 외도천에 강우유출모형인 HEC-HMS모형을 이용하였으며, 단위도는 Clark, Snyder, SCS 합성단위유량도법으로 각 사상마다 실측유량자료와 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

최근 제주도에서 발생한 5개의 호우사상에 대한 유량 자료를 이용하여 각 단위유량도에 의해 계산된 첨두유출량과 첨두시간을 실측 유출량과 비교하여 매개변수를 보정을 실시하였다. Clark 단위유량도의 오차율은 0.02~1.93%로 나타났으며 첨두시간에 대한 오차율은 0~2.74%로 나타났다. Snyder 단위유량도의 오차율은 0~10.56%로 비교적 높은 오차를 보였으며, 첨두시간에 대한 오차율은 0.02~3.66%로 나타났다. 특히 2012년 4월 21일 사상에 대한 수문곡선은 실측값과 매우 상이한 경향성을 보고 있어 추가적인 보정이 필요할 것으로 보인다. SCS 합성단위유량도의 오차율은 0.01~6.61%로 나타났으며 첨두시간에 대한 오차율은 0~6.61%로 나타났다.

단위유량도간의 유의적 차이를 판단하기 위하여 일원 분산분석을 실시하여 5% 유의수준에서 유의적 차이가 없는 것으로 판단하였다. 또한 상기의 결과에 따라 모든 단위도가 비교적 높은 적용성을 제시하였으나 Clark 단위유량도 방법이 타 단위유량도 비해 신뢰도가 높은 것으로 분석되었다.

향후 홍수유출량 산정하기 위해 장기간 유량관측자료 확보 및 구축, 강우 및 차단으로 발생하는 손실부분에 대한 연구가 필요하며, 이러한 제주형 유도식 개발 및 최적의 매개변수와 단위도를 적용한다면 신뢰도 높은 유출 특성 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업 “제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반 구축 연구(10 지역기술혁신B02)”의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCE

- Hong, J. P., 1998, A Study of Statistical Data Analysis, Yonsei University.
- Jung, B. H., 2002, A study on Application of HEC-HMS Model to the Naerinchon Basin, Kangwon national university.
- Jung, W. Y., 2013, The Estimation of Parametric Runoff Characteristics and Flood Discharge based on Riverine In-situ Measurements in Jeju Island, doctoral thesis, Jeju national university.
- Jung, W. Y., Yang, S. K., Lee, J. H., 2013, Characteristics of Runoff on Urban Watershed in Jeju Island, Korea, *Journal of Environmental Science*, 22(5), 555-562.
- Jung, W. Y., Yang, S. K., Kim, D. S., 2014, Flood Discharge to Decision of Parameters in Han Stream, *Journal of Environmental Science*, 23(4), 533-541.
- Jeju Special Self-Governing Province, 2007, A damage form strom and flood white paper.
- Kang, M. S., 2012, A Study on Water Resource Analysis on Major Base Runoff Regions of southern area in Jeju Island, Jeju national university.
- Kim, Y. S., Yang, S. K., Yu, K. K., Kim, S. J., 2013, Flood Runoff Measurements Using Surface Image Velocimetry, *Journal of Environmental Science*, 22(5), 581-589.
- Kim, D. S., Yang, S. K., Jung, W. Y., 2014, Error Analysis for Electromagnetic Surface Velocity and Discharge Measurement in Rapid Mountain Stream Flow, *Journal of Environmental Science*, 23(4), 543-552.
- Yang, S. K., Kim, D. S., Jung, W. Y., 2014, Rainfall-Runoff Characteristics in a Jeju Stream considering Antecedent Precipitation, *Journal of Environmental Science*, 23(4), 553-560.
- Yang, W. S., Yang, S. K., 2013, Stram Flow Analysis of Dry Stream on Flood Runoff in Islands, *Journal of Environmental Science*, 22(5), 571-580.
- Yang, S. K., Kim, D. S., Yu, K. K., Kang, M. S., Jung, W. Y., Lee, J. H., Kim, Y. S., You, H. J., 2012, Comparison of Flood Discharge and Velocity Measurements in a Mountain Stream Using Electromagnetic Wave and Surface Image, *Journal of Environmental Science*, 21(6), 739-747.