

XP-SWMM 모형을 이용한 단위유량도 변화에 따른 유출량 산정

Analysis of Runoff based on Unit Hydrograph using XP-SWMM

Jin Young Lee*, Kye Won Jun**

Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346 Joongang-ro, Samcheok-si,
Gangwon-do, Korea

Abstract

Model assessment for discharge rate at Seo-cho pump station and discharge rate by each method draw the proper unit hydrograph. The discharge is estimated by time series analysis of elevation relationship at beginning and end time of pump operation and calculation of reservoir elevation-volume polynomial regression equation. As a result of study on the least deficiency is found at Time-Area method from each rainfall time series comparison of discharge volume. Kerby formula is more effective. Result of this study could be used for base data of runoff analysis at urban basin.

Key words: unit hydrograph, rainfall-runoff model, XP-SWMM

국문초록

본 연구에서는 서울시 서초구를 대상으로 XP-SWMM을 적용하여 단위유량기법에 따라 유출량을 산정하였으며 서초 빗물펌프장의 수위를 이용한 추정 유입량과 비교검토를 수행하였다. 유입량의 추정은 서초 빗물 펌프장의 운영실적과 우수지 수위-용량 관계로부터 추정하였다. 분석결과 도시구역에서의 적합한 단위유량도는 시간-면적 법이며 도달시간 산정공식은 Kerby 공식인 것으로 분석되었다. 본 연구가 도시구역의 유출해석시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주제어: 단위유량도, 강우-유출모형, XP-SWMM

* Tel. +82-01-2110-0516. E-mail. villainjin@nate.com

** Corresponding author. Tel. +82-33-570-6816. E-mail. kwjun@kangwon.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: July. 11, 2014 / Revised: Aug. 4, 2014 / Accepted: Aug. 12, 2014

I. 서론

우리나라의 도시지역은 산업 발전의 영향으로 인구증가와 산업시설의 집중이 빠른 시간 안에 이루어져 도시화가 급속히 진행되었다. 그 결과 기존의 경작지나 초지, 녹지 등의 투수지역이 주택지, 공업시설, 상업지, 도로 등 불투수지역으로 대체되었다. 또한, 최근에는 기후변화의 영향으로 국지적 집중호우가 빈번히 발생하여 도시 우수관망 시스템을 마비시키며 기존 우수관망시스템의 치수안전성에 대한 불확실성을 증대시키고 있다. 이렇듯 도시 유역의 홍수는 밀집된 인구나 재산으로 인하여 도시 유역에서의 수해 대응 및 대책에 대한 중요성이 부각되고 있다.

도시유역에서 발생하는 각종 수해는 다른 지역에 비해 개발정도와 인구집중에 따른 피해가 상대적으로 증가하여 도시화유역에 대한 정확한 유출 해석이 필요하므로 도시유역의 강우-유출모의시 중요 매개변수 중 하나인 합성단위유량도의 변화에 따른 유출량의 비교·검토가 필요하다.

서울시 서초구는 최근 2010년 태풍 ‘곶파스’에 의해 저지대 지하주택 1,100여 가구가 극심한 침수 피해를 입었고 또한, 매년 집중호우로 인하여 침수피해가 발생하는 지역으로 본 연구에서는 서초 빗물펌프장의 운영실적을 통한 유입량을 추정하고 XP-SWMM 모형을 이용한 단위유량도 변화에 따른 유출량을 산정하여 그 결과를 비교하고 도시유역의 강우-유출 모형에 의한 유출량 산정시 적합한 단위유량도를 제시하고자 한다.

II. 모형의 원리 및 합성단위유량도

1. SWMM 모형의 원리

SWMM(Storm Water Management Model)은 1971년 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf & Eddy사가 Florida 대학 및 W.R.E와의 공동 연구로 도시유역 하수시스템 내의 유량과 수질을 시뮬레이션 할 수 있도록 개발하였다. 1981년에는 SWMM 모형내의 TRANSPORT 블록을 확장, 보완하기 위해 수공구조물의 월류, 배수, 압력류 등의 계산이 가능하도록 설계된 EXTRAN 블록을 SWMM 모형에 포함시켜 보완하였다(Huber와 Dickinson, 1988; Singh, 1988).

SWMM 모형은 도시유역내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정 등을 모의할 수 있다(Huber & Dicknson, 1988). 단일·연속강우에 의한 계산이 가능하고, 강우간격은 임의로 설정할 수 있으며, 연산 시간간격은 강우사상에 대해 임의조정이 가능하다. 공간적 특성은 작은 배수유역에서 큰 배수유역까지 적용이 가능하고 배수유역은 수천개 소유역 및 관로를 구성할 수 있으며, 도시유역내에 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오·배수 관망에서의 유출량 추적, 저류량 등을 산정할 수 있는 종합적인 모형이다.

2. 합성단위유량도

1) Clark 유역추적법

Clark 단위도법은 순간단위도 원리를 이용한 유역추적방법으로 자연 하도구간에서의 유출수문곡선은 추적구간으로의 유입수문곡선이 저류효과와 단순전이(translation)효과에 의해 감쇄(attenuation) 및 지체(lag)현상을 거치면서 하류로 이동되어간다. 유역의 도달시간과 유역의 저류능을 대표하는 유역저류상수 등 2개의 매개변수의 결정만으로 단위도를 합성할 수 있을 뿐 아니라 지역성을 가지지 않는 비교적 객관적인 방법이며, 유출의 전이현상뿐 아니라 유역의 저류효과도 고려하여 실제유역의 유출특성을 보다 더 구체적으로 기술할 수 있으므로 자연유역에 적용하기 적합한 방법이다.

저류상수는 여러 유역특성인자와의 복합적인 관계에서 저류상수를 결정하므로 가장 타당한 것으로 판단되는 Sabol 공식을 채택하였으며, Sabol 공식에서 저류상수는 다음 식(1)에 의하여 결정된다(정중호 외, 2007).

$$K = \frac{T_c}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}} \quad (1)$$

여기서, K는 저류상수, T_c 는 도달시간(hr), L은 유로연장(km), A는 유역면적(km²)이다.

2) Snyder 합성단위도법

Snyder 합성단위도법은 Snyder가 미국 Appalachian Highland 지역의 연구결과 발표한 방법이다. 이 방법은 단위도의 기저폭(base width, or base time), 첨두유량(peak flow) 및 유역의 지체시간(basin lag time) 등 3개의 매개변수(parameter)로서 단위도를 대략 정의하는 것이다.

본 연구에서는 지체시간 t_p 및 첨두계수 C_p 를 경험공식인 Tulsa Rural Method(CSU, Flood Plain Hydrology Using Computer Program HEC-1 on IBM Computer, 1993)를 이용하였다.

$$t_p = 1.42 \times (L \times L_{ca} / S^{0.5})^{0.390} \quad (2)$$

$$C_p = (380 \times t_p^{0.08}) / 640 \quad (3)$$

여기서, L은 유역길이(mi), L_{ca} 는 유역하구로부터 유역도심까지의 길이, S는 최대유로연장의 경사(ft/mi)이다.

3) 시간-면적 방법

시간-면적방법은 기존 RRL 모형, ILLUDAS 모형 및 이후의 ILSAX 모형과 같은 여러 도시유출해석 모형에서 기본적으로 사용되고 있는 방법으로 시간-면적 주상도의 추적개념에 의하여 유효우량주상도를 유출수문곡선으로 변환시키는 방법이다.

3. 도달시간

1) 유입시간

유입시간 산정방법으로 “하천시설기준(1993, 건설부)”에는 산지유역 30분, 급경사유역 20분을 설정한바 있으나, 개정판인 “하천설계기준·해설(2005, 한국수자원학회)”에는 이러한 내용이 삭제되었으나, 대안은 제시되지 않고 있다. 본 연구의 대상유역인 서초 빗물펌프장 유역은 유역면적이 작고 도심지임을 고려 직접 계산방법인 Kerby(도시유역)공식을 이용하여 유입시간을 산정하였다.

$$T_{ov} = 36.264 \left(\frac{N \cdot L^{1.5}}{H^{0.5}} \right)^{0.467} \text{(도시유역)} \quad (4)$$

여기서, T_{ov} 는 표면류흐름의 유하시간(min), L 은 지표거리(km), H 는 표고차(m), N 은 피복 조도계수로서 포장지역 0.02, 거친 나대지 0.10, 거칠고 풀이 없는 지역 0.30, 잔디 0.40, 나무나 풀이 뺏뺏한 지역 0.80이다.

본 연구에서는 Kerby식의 지체계수 N 을 도심지임을 감안하여 0.02를 적용하였다.

<표 1> Kerby식의 지체계수(N)

지표의 상태	N 치
아스팔트, 콘크리트 면	0.013
평활한 불침투면	0.020
평활하고 다짐된 흙표면	0.100
낮은 밀도의 잔디면	0.200
잔디 및 목초면	0.400
낙엽수림	0.600
침엽수림	0.800

※ 자료: 국토해양부(2008).

2) 유하시간

유하시간 산정에 있어 우리나라의 경우 자연유역의 유하시간에는 다음과 같이 외국에서 개발된 Kirpich 공식, Rziha 공식, Kraven 공식(I), Kraven 공식(II) 등의 경험공식들을 주로 사용하고 있다.

- Kirpich 공식: 농경지 소유역을 대상으로 유도된 공식

$$T_{ch} = 0.0663 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (5)$$

- Rziha 공식: 자연하천의 상류부($S \geq 1/200$)에 적용되는 공식

$$T_{ch} = 0.0139 \frac{L}{S^{0.6}} \quad (6)$$

- Kraven 공식(I): 자연하천의 하류부($S \leq 1/200$)에 적용되는 공식

$$T_{ch} = 0.0074 \frac{L}{S^{0.515}} \quad (7)$$

- Kraven 공식(II): 자연하천의 경사별 유속을 적용하는 공식

$$T_{ch} = \frac{L}{3.6V} \quad (8)$$

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

여기서, L 은 유로연장(km), S 는 평균경사(무차원), V 는 평균 유속(m/sec)이다.

위에서 제시한 공식은 모두 하도에서의 유하시간을 산정하는 공식이지만 Kirpich 공식을 제외하고는 유역최원점에서 하도시점까지의 표면류흐름의 유입시간 산정에도 사용할 수 있을 것이다(정종호, 2007).

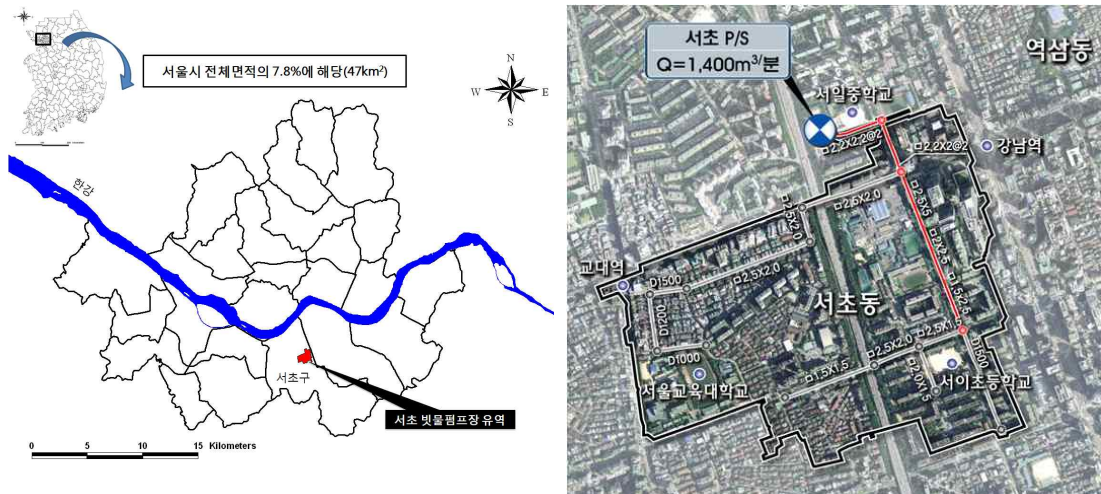
서초 빗물펌프장 유역의 소유역별 도달시간 산정시 도심지임을 감안하여 Kirpich 공식은 농경지 소유역을 대상으로, Rziha 공식은 자연하천의 상류부에 적용하는 공식으로 부적합하다고 판단되어 제외하였고 Kraven(II) 공식은 경사구간에 따른 유속을 제시함으로써 서초 빗물펌프장 유역같은 경사가 매우 완만한 지역은 유속의 불연속성이 발생하게 되어 적용하기 곤란하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 Kerby(도시유역) 공식과 Kraven(I) 공식을 적용하여 유입시간을 산정하고 최종 도달시간은 유입시간과 유하시간의 합으로 산정하였다.

III. 연구대상지역 및 강우자료 조사

1. 대상지역의 설정

본 연구에서는 단위유량도 변화에 따른 유출 특성을 분석하고자 서울시 서초구 소재인 서초 빗물펌프장 유역을 대상지역을 설정하였다.

서초 빗물펌프장의 설치년도는 1989년으로 반포천 수계에 설치되어 있으며 집수구역은 106ha에 이른다. 현재 서초 빗물펌프장은 20년 빈도의 시설로 운영되고 있으며, 펌프장내 유수지의 용량은 2,600m³, 펌프현황은 700hp(Ø1500)×5대로 구성되어있어 대당 분당 토출량은 280톤이다.

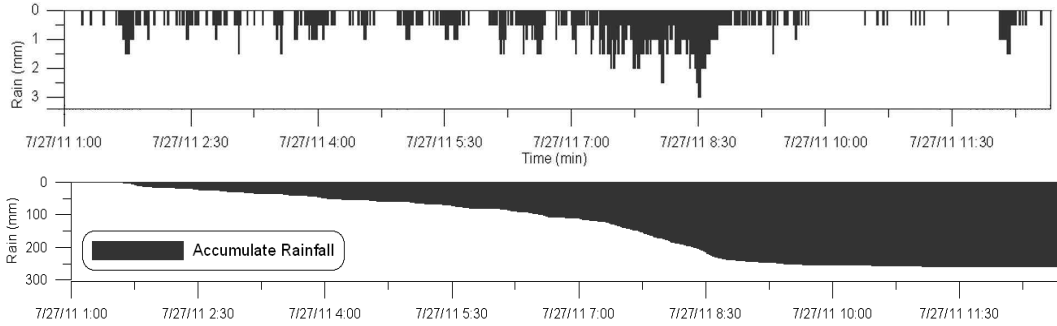


<그림 1> 대상지역 위치 및 배수구역도

2. 강우자료 조사

본 연구의 입력 강우사상은 2011년 7월 27일 강우로 2011년 7월 26일 ~ 27일 집중호우로 서울에만 일강우 301.5mm의 비가 내렸다. 수도권을 중심으로 시간당 100mm가 넘는 집중호우가 쏟아지면서 주택과 도로가 침수되었다.

강우 측정 자료는 빗물펌프장 관내 강우량계에서 측정된 실시간 시강우를 사용해야 하나 보다 신뢰성이 있는 서초 구청 AWS(Auto Weather System) 강우자료를 사용하였다. 서초구청 AWS 15분 누가강우를 1분 단위로 분포 시켜 입력 강우로 사용하였다. 조사한 AWS 자료는 2011년 7월 27일로 <그림 2>와 같다.



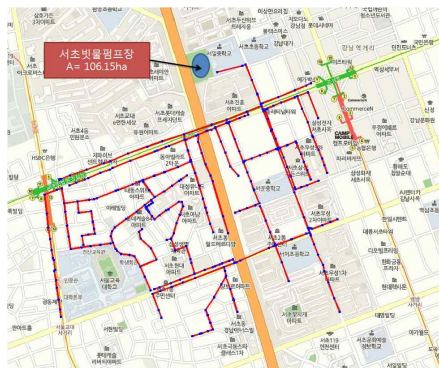
<그림 2> 2011년 7월 27일 강우

IV. 모형구축 및 결과분석

1. SWMM 모형 구축 및 적용

서초 빗물펌프장 유역의 정확한 강우-유출 모의를 위하여 현장조사 및 서울시 GIS 관망 자료를 검토하였으며, 서초 빗물펌프장 유역을 총 330개의 소유역으로 분할하였다.

SWMM 모형에서 지표면 유출해석과 관련된 입력자료는 맨홀이름, 유역면적, 도달시간, 강우 등이 있으며, 관거 유출해석과 관련된 입력자료는 관거이름, 상류측 맨홀 이름, 하류측 맨홀 이름, 관경, 관거 길이, 관거 경사, 조도계수 등이다. 조도계수는 원형관의 경우 0.013, BOX의 경우 0.015를 적용하였다. 유효우량 산정방법은 정밀토양도와 토지이용도를 이용하여 유출곡선지수(CN) 값을 산정하여 입력하였으며, 서초 빗물펌프장의 AMC(Ⅲ)는 92.88로 분석되었다. 본 연구 대상지역의 우수관망도는 <그림 3>과 같고 입력자료는 아래 <표 2>에 정리하였다.



<그림 3> 서초 빗물펌프장 유역 모형 구축

<표 2> Node 및 Link 입력자료

관명	관 형상	상류 노드	하류 노드	연장 (m)	하부 너비 (m)	높이 (m)	상류 관저고 (m)	하류 관저고 (m)
0025-100	원형	0025-10001	0025-200-1	28.18	0.00	1.50	14.13	13.71
1003-100	사각형	1003-10000	1003-20000	87.47	2.00	1.50	14.52	13.74
0025-105	원형	0025-105-1	0025-106-1	74.01	0.00	0.60	16.64	15.19
0025-200	원형	0025-200-1	0025-300-1	49.60	0.00	1.50	13.71	12.98
중략								
0020-404	원형	0020-404-1	0020-405-1	20.97	0.00	0.45	16.50	16.15
0020-405	원형	0020-405-1	0020-400-1	28.98	0.00	0.45	16.15	15.97
0011-101	원형	0011-10101	0011-102-1	44.75	0.00	0.45	16.01	15.61
0008-300	원형	0008-300-1	0008-400-1	60.43	0.00	1.20	15.61	14.65
0022-500	원형	0022-500-1	0023-100-1	54.80	0.00	0.60	14.56	14.03

2. 서초 빗물펌프장 관측 유입량 추정

서초 빗물펌프장에서는 홍수 및 청천시 운영을 위해서 우수지내에 내수위계, 유입수로에 외수위계가 있어 수문 개폐수위에 의해 운영하고 있으며 이를 통하여 운영실적을 관리하고 있다.

본 연구에서는 내수위계의 운영실적과 우수지의 수위-용량 관계를 통하여 실제 유입량은 추정하였다. 즉, 자연 방류가 없는 기간에 대해서 펌프운영과 우수지내 수위-면적에 따라 실제 유입량을 추정하였다. 이러한 추정유입량은 강우사상에 의한 유입량이 펌프 토출량보다 클 경우 추정유입량 곡선이 평행한 부분이 발생하게 되며 수문 운영으로 인한 자연유하되는 유량과 배수위에 의한 영향은 반영하지 못한다.

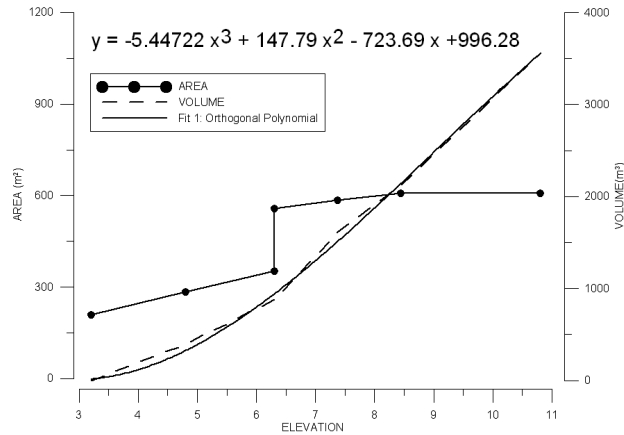
현장조사를 통하여 서초 빗물펌프장의 실시간 강우 관측 자료, 배수문 개폐현황, 내·외수위 측정 자료, 펌프가동현황 등의 펌프장 운영실적 자료를 수집하였으며, 우수지 면적-용량 관계 곡선은 빗물펌프장 설계도를 이용하여 작성하고 수위별 용량곡선을 3차식으로 회귀하였다. 관측 유입량 추정식은 아래 식(9)와 같다(강태욱, 2012).

$$Q_i = S_t - S_{t-1} + O_{pump} \tag{9}$$

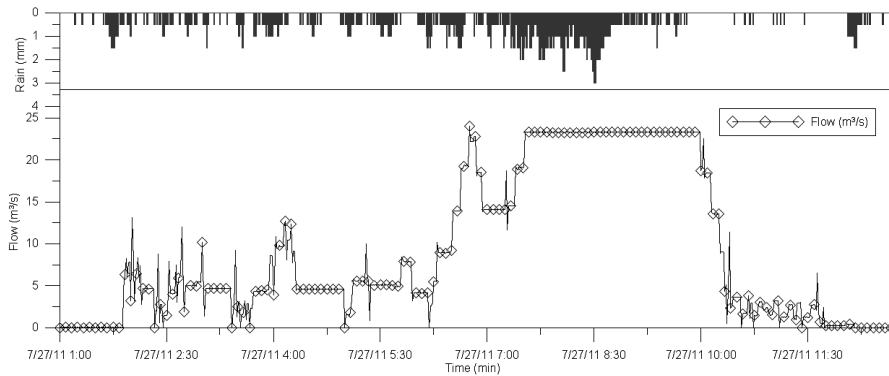
- 여기서,
- Q_i : 현재 시간까지 유입량(m^3/n 분)
 - S_t : 현재 시간의 우수지 저류량(m^3)
 - S_{t-1} : n분전 시간의 우수지 저류량(m^3)
 - O_{pump} : n분간 펌프 토출량(m^3/n 분)

<표 3> 2011년 7월 27일 펌프 운영실적

펌프 호기	가동 시작			가동 정지			가동 시간 (h:m:s)
	시각 (h:m:s)	내수위 (EL. m)	외수위 (EL. m)	시각 (h:m:s)	내수위 (EL. m)	외수위 (EL. m)	
4호	1:54:11	5.98	9.60	2:00:17	5.50	9.76	0:06:06
5호	1:56:21	6.61	9.59	2:20:16	5.52	9.35	0:23:55
3호	2:01:51	6.21	9.83	2:03:57	5.66	9.78	0:02:06
...
3호	10:54:36	8.06	9.32	11:06:11	4.71	9.24	0:11:35
3호	11:17:32	7.29	9.32	11:25:12	4.76	9.26	0:07:40
4호	11:38:48	7.80	9.32	11:44:51	5.62	9.26	0:06:03
2호	12:08:53	6.59	9.26	12:10:32	5.56	9.37	0:01:39



<그림 4> 서초 빗물펌프장 면적-용량 관계곡선



<그림 5> 2011년 7월 27일 강우량 및 관측 유입량

3. 적합도 평가지표

도시구역의 홍수유출 해석은 주로 홍수량의 추정과 우수저류시설, 강제배제배수시설 등의 설계를 목적으로 하므로 침투유량과 유출체적의 정확도가 중요하다. 따라서 추정유입량과 합성단위유량도 변화에 따른 적절성을 판단하기 위해서 아래 <표 4>의 6가지 방법을 이용하였다.

일반적으로 강우-유출 모형의 정확성을 평가하기 위한 많은 통계적 적합도 기준이 제안되었으나, 적합도 기준보다는 모의 발생된 값과 측정된 값 사이의 불일치에 더 중점을 두고 있다. 즉, 관측치와 예측치 사이의 차이인 잔차 분석이 계통적으로 과소 또는 과대 추정되는 것을 파악하여 모형 수행능력을 평가하는데 사용되고 있다. 본 논문에서는 통계적 평가 수단으로 편차의 비율(NSE), 평균편차의 비율(PBIAS), 오차비율 추정량(PEE), 체적비(ROV), 평균제곱오차(RMSE), 침투유량의 차이(EPF)를 사용하여 적합도 평가를 실시하였다. 특히 Nash-Sutcliffe Efficiency는 Nash and Sutcliffe(1970)가 제안한 통계적 기준으로 편의를 줄일 수 있는 무차원계수이다. 모의된 수문곡선이 실제 수문곡선과 잘 일치할수록 1에 가까워지는 성질이 있다. 이 기준은 무차원양으로서 자료의 개수에 관계없이 절대적 평가기준이 될 수 있다(권현한 외, 2008).

<표 4> 적합도 평가지표

Criteria	Equation	Optimal Value	Criteria	Equation	Optimal Value
Nash-Sutcliffe Efficiency: NSE	$1 - \frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_t^{\sim})^2}{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_{mean}^{obs})^2}$	1	Ratio of Volume: ROV	$\frac{\sum_{t=1}^N q_t^{\sim}}{\sum_{t=1}^N q_t^{obs}}$	1
Percent Bias: PBIAS	$\frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_t^{\sim})^2}{\sum_{t=1}^N q_t^{obs}} \times 100 (\%)$	0	Root Mean Square Error: RMSE	$\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_t^{\sim})^2}{N}}$	0
Proportional Error of Estimate : PEE	$\sqrt{\sum_{t=1}^N \left(\frac{q_t^{obs} - q_t^{\sim}}{q_t^{obs}} \right)}$	0	Error of Peak Flow: EPF	$ q_{max}^{obs} - q_{max}^{\sim} $	0

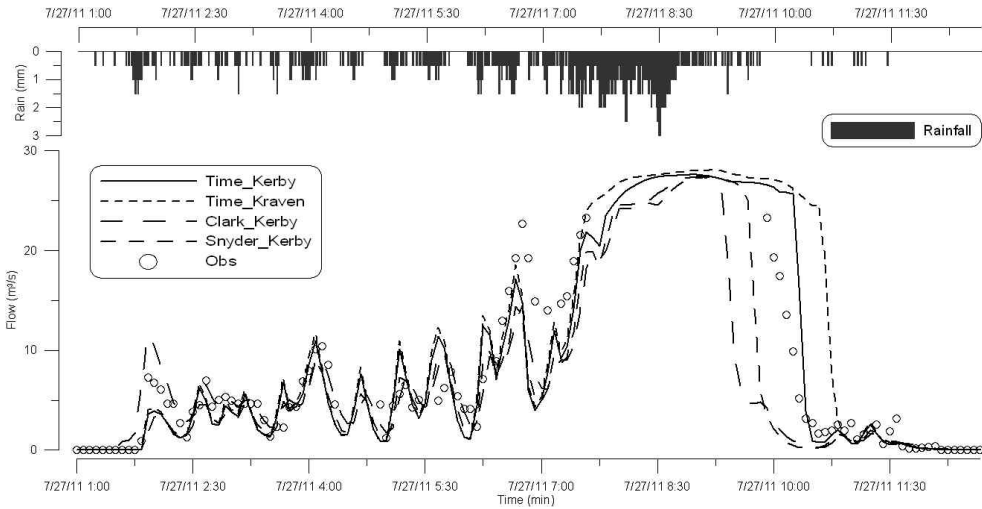
여기서 q_t^{obs} 와 q_t^{\sim} 은 관측 및 모의된 유량 시계열, N 은 시계열 값의 개수, q_{max}^{obs} 와 q_{max}^{\sim} 은 관측 및 모의된 유량의 침투유량, q_{mean}^{obs} 는 관측 유량의 평균값을 의미한다.

4. 결과 분석

Clark 유역추적법은 다른 Snyder 합성단위도법, 시간-면적법보다 초기 유출에 대하여 민감하게 발생하는 것으로 분석되었고 침투홍수량은 27.60m³/s로 시간-면적법이 가장 크게 분석되었다.

적합도 판정지표를 이용한 적절성 검토는 PEE를 제외한 모든 적합도 판정에서 시간-면적법이 가

장 적절한 것으로 분석되었으며 도달시간 산정공식은 Kerby(도시구역) 공식인 것으로 분석되었다. 특히, 적합도 판정지표 중 NSE의 경우 시간-면적법 중 Kerby 식 적용이 가장 오차가 적은 것으로 분석되었다.



<그림 6> 추정유입량 및 유량 수문곡선(2011.07.27.)

<표 5> 적합도 평가지표 판정결과(2011.07.27)

단위유량도 기법	NSE	PBIAS (%)	PEE	ROV	RMSE (m³/s)	EPF (m³/s)
Clark 유역추적법(Kerby)	0.56	0.23	7.93	0.77	3.43	7.68
Snyder 합성단위도법(Kerby)	0.56	0.29	6.84	0.71	3.43	5.07
시간-면적법(Kerby)	0.71	0.13	8.18	0.87	2.78	4.26
시간-면적법(Kraven (I))	-0.30	-0.15	23.52	1.15	5.88	5.33

V. 결론

본 연구는 도시구역의 강우-유출 모의시 가장 적절한 단위유량도 기법을 제시하기 위한 것으로 XP-SWMM 모형을 이용하여 분석을 수행하였고 각 단위유량도 기법별 유출량과 추정 유입량을 비교 검토하여 적합도를 평가하였다.

서초 빗물펌프장의 2011년 7월 27일 강우사상을 적용한 결과, PEE를 제외한 모든 적합도 평가에서 Kerby(도시구역) 공식을 적용한 시간-면적법이 가장 적절한 것으로 분석되었다.

향후 연구에서는 수문을 개방하고 자유유출에 대한 부분과 펌프용량을 초과하는 유량이 유입시 추정 유입량 산정에서 제외되므로 펌프장 유입관로에 유량계를 설치하여 보다 정확한 유출특성 분석이

수행되어야 하고 여러 도시유역에 대한 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.

참고문헌

- 강태욱, 이상호, 강신욱, 박종표. 2012. 집합체 혼합진화 알고리즘을 이용한 도시유역 홍수유출 모형의 자동 보정에 관한 연구. 한국수자원학회논문집. 15-27.
- 권현한, 문영일, 김병식, 윤석영. 2008. Bayesian Markov Chain Monte Carlo 기법을 통한 NWS-PC 강우-유출 모형 매개변수의 최적화 및 불확실성 분석. 대한토목학회. 대한토목학회논문집. 383-392.
- 국토해양부. 2008. 도시 우수 배수 시설의 설계 가이드 라인. 국토해양부.
- 한국수자원학회. 2009. 하천설계기준·해설. 한국수자원학회.
- 이진영. 2014. 단위유량도에 따른 SWMM 모형의 도시유역 유출 해석방안 연구: 서초 빗물펌프장 유역을 중심으로. 강원대학교 석사학위논문.
- 정중호, 윤용남. 2007. 수자원설계실무. 구미서관.
- Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe. 1970, River Flow Forecasting Conceptual Models Part I - A Discussion of Principles. *J. Hydrol.* 10: 282-290.
- Huber, W. C. and R. E. Dickinson. 1988. *Stormwater Management Model, Version 4: User's Manual Ver. 2.1.* U.S. Army Corps of Engineers.
- Singh, V. P. 1988. *Hydrologic System Volume I Rainfall-Runoff Modeling.* N. J.: Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- XP Software. 2006. XP-SWMM Manual

이진영: 충북대학교 토목공학과를 졸업하고 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 석사과정으로 재학중이며 주식회사 헥코리아에서 근무중으로 수공구조물 설계, 내·외수 침수 분야에 관심을 두고 연구 중이다 (villainjin@nate.com).

전계원: 충북대학교에서 공학박사 학위를 취득하고(논문: 홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 개발, 2004. 2), 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 부교수로 재직중이다. 관심분야는 풍수해 방재, 산지제해 방재, 자연재해관리 등이며, 자연재해란 무엇인가?(공저, 2008) 등의 저서와 주요 논문으로 “산악지역돌발홍수 기준우량 결정에 관한 기초연구(2010)”, “지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 추정에 관한 기초연구(2010)” 등이 있다 (kwjun@kangwon.ac.kr)