

# SWMM을 이용한 도시계획지역 유출량 분석을 위한 매개변수 산정

## Analysis of Parameter Estimates for Urban Planning Area Runoff Using Storm Water Management Model

구영민\*, 서동일\*\*

Youngmin Koo, Dongil Seo

### 요 지

대전 관평천 유역의 도시계획에 의해 개발된 도시지역을 대상으로 우수 관거 최종 유출부에 설치한 모니터링시스템을 이용하여 복수의 강우사상에 대해 연속으로 유출량 자료를 획득하였다. 본 연구는 연속적으로 획득한 유출량 자료를 바탕으로 SWMM(storm water management model)을 보정하고 최적의 수문학적 매개변수를 산정하는데 있다. SWMM의 수문학적 매개변수는 기본 침투식인 Curve Number, Horton 및 Green-Ampt를 바탕으로 각각의 경우에 맞는 유역의 조도계수 및 저류 깊이를 산정하였다. 현재 도시 개발에 따른 유출변화를 모의하는데 있어 국외에서 연구된 매개변수를 적용하고 있다. 본 연구에서 구한 매개변수는 향후 도시개발에 따른 유출 변화를 SWMM을 이용하여 분석하기 위한 기초자료를 활용 할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어 : SWMM, 유역 모델, 침투량, 자동 모니터링 시스템, 연속 모델링**

### 1. 서론

도시개발에 의한 수문학적 변화를 파악하고 해석하기 위해 수문모형이 사용되고 있다. 수문 모형들은 현상을 해석하기 위해 다양한 경험식을 포함하고 있으며, 경험식을 풀기 위해 다양한 매개변수들이 적용된다. 이러한 부분에 의한 모형의 불확실성이 내포되어 있으며, 이를 해결하기 위해 실측 자료와 모형결과를 비교하여 매개변수를 수정해가는 과정을 의미하는 보정을 수행해야 한다.

모형을 이용하여 수문학적 해석을 위해서는 보정이 되어 있어야 한다. 하지만 도시개발은 유역경사, 배수 분구, 토양 특성 및 토지이용 변화 등 유역의 물리적인 수문학적 요소의 변화가 발생한다. 이를 예측하는데 있어 개발 전 실측자료를 이용하여 모형을 보정한 결과를 사용하는 것은 타당하지 못하다. 특히, 국내에서는 토목공사에 따른 성토 및 토양다짐이 이루어지기 때문에 수문해석을 위해서는 매개변수를 새롭게 수정되어야 한다. 이러한 이유 등으로 개발 후 수문해석을 하는데 있어 대부분은 기존 연구에서 구한 매개변수를 참고하여 사용하고 있다. 대부분의 국외에서 연구된 결과를 사용하고 있으며, 국내 도시개발 특성과 상당 수 다른 부분이 있기 때문에 이를 고려하는데 어려움이 있다.

본 연구는 최근 국내 도시개발 계획에 따라 개발된 전형적인 도시유역에 최종 유출지역의 우수관에 모니터링 시스템을 설치하여 연속적으로 유량을 측정하였으며, 이 자료를 이용하여 SWMM의 수문학적 매개변수를 추적하는데 목적을 두고 있다. 기본 침투식인 CN(Curve Number), Horton 및 Green-Ampt을 바탕으로 각각의 경우에 맞는 유역의 조도계수 및 저류 깊이를 산정하고자 하였다.

\* 정회원 · 충남대학교 공과대학 환경공학과 박사과정 · E-mail : [greatkym@nate.com](mailto:greatkym@nate.com)

\*\* 정회원 · 충남대학교 공과대학 환경공학과 교수 · E-mail : [seodi@cnu.ac.kr](mailto:seodi@cnu.ac.kr)

## 2. 연구방법

### 2.1 SWMM

SWMM은 도시유역 모의하기 위해 1969 ~ 1971년 미국 환경부(United States Environmental Protection Agency, USEPA)의 지원에 Metcaf & Eddy 사, University of Florida, 그리고 WRE(Water Resources Engineers)사 등의 세 연구 그룹에 의해 개발되었다(이종태, 1998). 이 후 Huber 와 Dickinson에 의해 수정되었으며, 현재 까지 SWMM 5.1 version이 개발되었다. SWMM은 관거 내 흐름 모의가 가능하여 도시유역의 유출해석에 강점을 가지는 모형이다(강태욱 및 이상호, 2014).

SWMM은 유역에 내리는 강우로 인해 발생하는 지표면 유출, 지하수 및 증발 등 수문 분석을 할 수 있으며, 관수로 및 개수로 등 관망 및 하천에 대한 유출을 추적할 수 있다. 이 뿐만 아니라 저류지, 압력류 및 LID 등 유역 및 하천에서의 시설에 대한 설계 인자까지 모의할 수 있어 다양하게 활용되고 있다. 특히 SWMM은 도시유역의 홍수유출 해석에 관한 연구가 국내·외 적으로 활발히 이루어지고 있다(Barco et al., 2008; Shinma and Reis, 2011; 강태욱 등, 2012).

도시개발에 따른 적용으로는 이정민 등(2011)은 빗물관리 계획을 수립하는데 있어 SWMM 매개변수를 선행 연구 결과를 바탕으로 적용하였다. 박지영 등(2013)은 도시개발 전, 후 LID 기법 적용에 따른 물수지 및 오염부하 변동 특성을 분석하기 위해 SWMM을 사용하였으며, 매개변수는 선행 연구 결과를 사용하였다. 국내 뿐만 아니라 국외에서도 SWMM 적용에 있어 선행 연구 결과를 이용하여 매개변수를 적용하고 있다. HDR Engineering(2007)에서 수립한 Nevada주의 Boulder 지역의 우수관리계획 및 Wisconsin주의 Menasha 지역의 도로유출수 관리 계획에서도 기존에 연구된 매개변수를 사용하여 SWMM에 적용하였다.

### 2.2 SWMM 매개변수

SWMM은 실제 현황이나 개발 계획 등에 포함되어 있는 자료를 바탕으로 물리적 변수를 정확하게 구축해야 한다. 이러한 물리적 변수는 지형도, 항공사진 등 GIS(Geographic Information System) 및 CAD(Computer Aided Design)등의 자료를 바탕으로 추정할 수 있으며, 유역 경사, 투수 및 불투수층 비율 등으로 소유역에 대한 자료와 하도 및 관망의 길이, 관경, 하천 단면적 및 고도 등의 하천 및 관망에 대한 자료로 구성되어 있다.

유역에 포함되어 있는 매개변수로는 투수 및 불투수면의 Manning 계수, 지표면저류 및 지하수 모의에 필요한 매개변수 등이 있으며, 유역의 유출 보정을 위해서는 대상 유역에 맞는 변수들의 수정이 필요하다. 하도 및 관망에서는 Manning 계수, Energy 손실계수 및 하도 침투 계수 등으로 구성된다.

### 2.3 대상유역

본 연구의 대상유역은 2005년에 조성된 소규모 계획도시로 현재 개발되고 있는 전형적인 국내 도시유역의 형태를 가지고 있다. 그림 1은 본 연구 지역의 토지이용도, 배수분구 및 우수관망을 나타낸 그림이다. 배수분구를 기초로 하여 우수관이 설계되었으며, 분류식 관거로 강우가 발생할 경우 우수관을 통해 수변공원에 위치하고 있는 우수지로 유출된다.

우수지는 강우유출수의 침투유출량을 저감시키는 목적으로 만들어 졌으며, 완충작용 후 관평천으로 유출시킨다. 관평천은 지방 2급 하천으로 금강의 제 1지류인 갑천으로 유입된다. 대상유역은

국내의 상업, 주거, 상업 및 문화시설이 복합적으로 이루어져 있는 도시 지역의 특성을 상당히 잘 나타나고 있다. 따라서 향후 도시 개발에 따른 SWMM 적용을 위한 매개변수를 추정하는데 있어 적합한 도시유역이라고 판단된다.

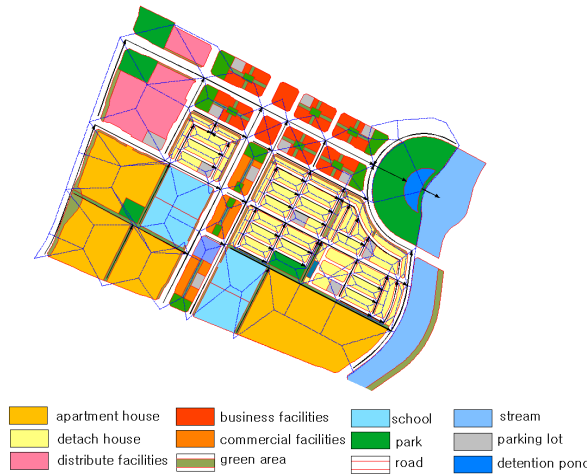


그림 1. Study area



그림 2. SWMM

## 2.4 모니터링 시스템

본 연구진은 우수지에 유입되는 수량 및 수질을 분석하기 위해 모니터링 시스템을 적용하였다 (서동일 및 방철호, 2012). 모니터링 시스템의 수위계는 실시간으로 수위를 측정하여 유량으로 변환되고 데이터 로고에 저장 및 연구실로 실시간으로 자동 전송된다. 본 연구는 SWMM 매개변수를 추정하기 위해 2015년 7월부터 11월까지의 자료를 수집하였으며, 현장에서 유량을 2회 측정하여 검토하였다.

## 3. 연구 결과

### 3.1 SWMM 구축

그림 2는 SWMM을 이용하여 대상유역을 구현한 그림이다. 대상유역을 구축하는데 있어 유역의 토지이용도, 배수분구, 면적 및 경사와 관망의 크기, 길이, 고도 및 깊이를 개발계획에 작성된 물리적 특성을 그대로 구현하였다. SWMM에서의 하도추적은 우수관망을 모의하기 위한 동역학과 모형(Dynamic Wave)을 선택하였다. 강우자료는 5분 단위로 수집하였으며, SWMM의 모의간격 또한 5분 단위로 수행하였다.

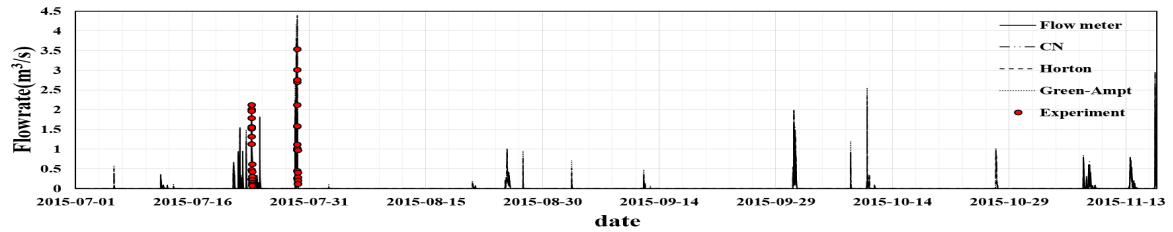
### 3.2 SWMM 매개변수 산정

그림 3은 5개월 연속 모의결과이며, 대표적인 유출 발생일에 선정하여 나타낸 그림이다. 표 1은 SWMM에서 적용 할 수 있는 침투 모형을 각각 이용하여 수문학적 매개변수를 산정한 결과이다.

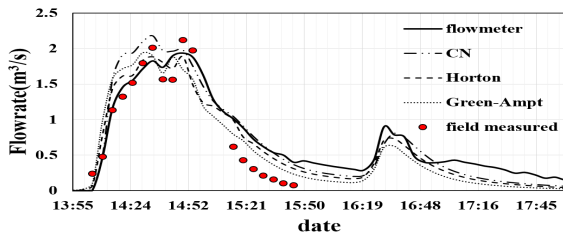
SWMM을 보정하기 위해 선형회귀 관계를 판단하는 결정계수(coefficient of determination,  $R^2$ )

를 이용하였으며, 결정계수가 1에 가까울수록 모형의 결과의 신뢰성이 높아진다. 결정계수를 산정하기 위해 유출이 없을 경우, 현장 수위계의 한계유량  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ 를 넘는 값을 제외하고 산정하였다.

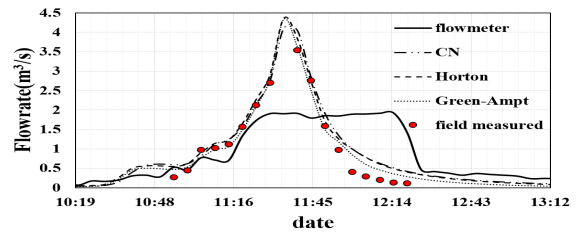
수위계와 SWMM을 비교한 결과 결정계수는 0.8 이상으로 나타났으며, 현장 측정된 결과는 0.9 이상으로 나타났다. 이 결과를 바탕으로 보정한 결과는 신뢰성이 있다고 판단되며, 이를 바탕으로 수문학적 매개변수를 산정하였다.



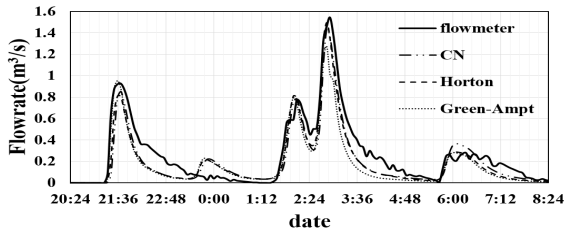
(a) 2015.7.1 ~ 2015.11.16



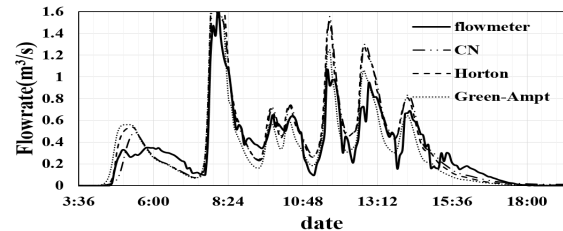
(b) 2015.7.23



(c) 2015.7.29

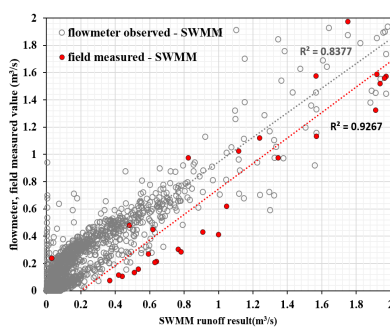


(d) 2015.7.21 ~ 2015.7.22

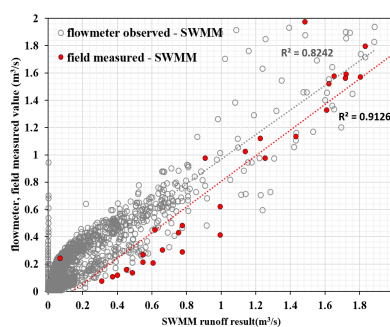


(e) 2015.10.1

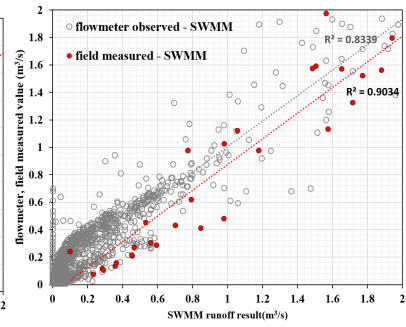
그림 3. Result of Calibration



(a) Curve Number



(b) Horton



(c) Green-Ampt

그림 4. Relationships between observed and SWMM

표 1. 수문학적 매개변수 산정 결과

Infiltration model	Manning's Roughness Coefficient		Depression Storage (mm)		coefficient of determination	
	N-impervious	N-pervious	impervious	pervious	SWMM - flowmeter	SWMM - measured
Curve Number	0.02	0.45	3.0	5.8	0.84	0.93
Horton	0.025	0.45	1.5	2.5	0.82	0.91
Green-Ampt	0.02	0.35	0.8	2.6	0.83	0.90

#### 4. 결론

우리나라의 개발 사업에 따른 환경영향평가를 하는데 있어 도시개발에 따른 유역의 수문 특성 변화를 파악하고 하천 및 호우재해 대책을 수립하기 위해 강우유출량의 변화를 개발 전·중·후에 따른 각각에 대해 분석하도록 하고 있다. 본 연구는 SWMM을 이용하여 개발 후를 분석할 수 있도록 SWMM의 수문학적 매개변수를 산정하였다. SWMM의 각각의 침투식을 바탕으로 산정된 수문학적 매개변수 값은 향후 도시개발에 따른 개발 후 지표면 유출량을 산정하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

1. 강태욱 및 이상호(2014). 유역유출 및 수질모의에 관한 SWMM의 자동 보정 모듈 개발, 한국수자원학회, 제47권 제 4호 pp. 343-356.
2. 강태욱, 이상호, 강신욱 및 박종표(2012). 집합체 혼합진화 알고리즘을 이용한 도시유역 홍수유출 모형의 자동 보정에 관한 연구, 한국수자원학회, 제 45권 제1호 pp. 15-27.
3. 박지영, 임현만, 이해인, 윤영한, 오현제 및 김원재(2013). 도시 개발 전·후 LID 기법 적용에 따른 물수지 및 오염부하 변동 특성, 대한환경공학회지, 제35권 제11호 pp. 795-802.
4. 서동일 및 방철호(2012). 빗물 자동모니터링장치와 SWMM 모델을 이용한 강우시 도시지역 오염부하량 예측에 관한 연구, 대한환경공학회지, 제34권 제6호 pp. 373-381.
5. 이경학, 현경학, 이윤상, 김정곤, 박용부 및 최중수(2011). SWMM-LID를 이용한 저탄소 녹색마을의 LID-분산형 빗물관리 계획에 따른 물순환 효과 분석, LHI Journal, 제2권 제4호 pp. 503-507.
6. Barco, J., Wong, K.M., and Stenstrom, M.K. (2008). Automatic calibration of the U.S. EPA SWMM model for a large urban catchment, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 134, No. 4, pp. 466-474.
7. Gremmer&Associates, Inc., 2003, Manitowoc Road Stormwater Management, City of Menasha, Technical Report.
8. HDR Engineering(2007). Stormwater Master Plan, City of Boulder, Technical Report.
9. Shinma, T.A., and Reis, L.F.R. (2011) Multiobjective automatic calibration of the storm water management model (SWMM) using non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGA-II), World Environmental and Water Resources Congress 2011, Palm Springs, CA, pp. 598-607.