



도시지역 유역유출 해석 프로그램(SWMM-GE) 소개



김 유 진 |
(주)웹솔루스 부설연구소 소장



오 정 환 |
(주)웹솔루스 부설연구소 수석연구원



박 순 영 |
(주)웹솔루스 부설연구소 책임연구원

이러한 도시유역의 유출 및 물순환 과정을 해석하기 위해 미국 EPA의 SWMM과 이를 변형한 XP-SWMM, 캐나다의 PC-SWMM 등이 사용되어 왔으나 이들은 빗물의 땅속 침투를 증진시키는 투수성 포장이나 침침투 트렌치를 모의하지 못하는 한계를 가지고 있다. 그리고 일본의 WEP 모형은 침투증진 시설은 모의할 수 있으나 도시의 하수도 흐름을 계산하는데 취약하다.

이러한 문제점을 해결하고자 부경대 이상호 교수 연구진은 21세기 프론티어 연구개발사업인 ‘수자원의 지속적 확보기술개발사업’을 통해 기존의 SWMM을 침투증진시설(투수성포장, 침투트렌치)과 지하수양수의 효과분석 및 모의가 가능하도록 수정하였으며, 수정된 모형은 SWMM-GE(Groundwater Enhanced)라 명명하였다.

나아가 하수관거를 통한 도시 유출뿐만 아니라 투수성 포장, 침투트렌치의 하천수량 회복효과 등을 모의하는데 있어 사용자의 프로그램 입력과 출력이 쉽도록 (주)웹솔루스에서는 SWMM-GE GUI를 개발하였고, 2011년 정식버전을 출시하여 상용 프로그램으로써 판매를 하고 있다. 본 글에서는 이러한 SWMM-GE의 특성 및 개발 구성요소, 그에 대한 사용자 편의환경에 대해 소개하고자 한다.

1. 개발배경

도시하천의 경우 도시화에 따른 불투수 면적의 증가로 기존의 정상적인 물 순환 체계가 변형되어 지하수위는 낮아지고 평상시 하천의 유량은 감소되어 생태계 유지 등 하천의 정상적인 기능이 저해되고 있다. 도시 하천의 물 순환 요소로는 강수, 증발산, 관로유출, 하도유출, 지하수 유출, 하수량 등의 성분이 있다. 그리고 도시 유역의 평상시 수량을 회복시키는 방법으로는 침투 증진시설(투수성 포장, 침투 트렌치, 침투 측구 등)의 설치, 하수의 고도처리 후 방류, 저수지에 의한 유황 개선, 지하철 용출수 활용 등이 있다(이정민, 2007).

2. SWMM-GE 개요 및 구성

SWMM-GE는 미국 EPA SWMM(버전 4.4h)을 기반으로 하여 국내에서 최초로 수정, 개발된 하수관을

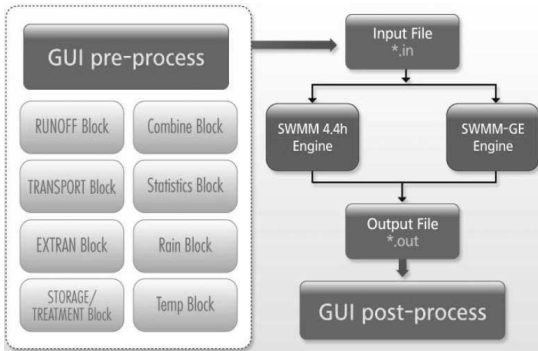


그림 1. SWMM-GE 구성

중심으로 한 도시유출 모의프로그램이다. 도시의 복잡한 물순환을 효과적으로 해석할 수 있도록 기본 SWMM의 기능뿐 아니라 투수성 포장, 침투트렌치, 지하수양수를 고려하여 모의할 수 있도록 개발되었으며 사용자의 편의성을 최대한 배려한 GUI를 갖추고 있다.

SWMM 모형은 1971년 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf&Eddy사가 Florida 대학 및 W.R.E와의 공동연구로 도시유역 하수 시스템 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 보완시켰다. SWMM 모형은 도시유역내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다. 현재는 GUI버전인 EPA SWMM 5.0 버전까지 개발된 상태이며, SWMM-GE에서는 최종 DOS버전 엔진인 SWMM4.4h 엔진을 적용하였다.

3. SWMM-GE 기능

3.1 기본 기능

SWMM-GE는 단일/연속 강우에 의한 계산기능,

항목	RUNOFF	TRANSPORT	EXTRAN
흐름 추적 방법	비선형저류	운동파	동역학과
배수 효과	불가능	불가능	가능
과적 흐름 추적	악함	악함	가능
압력류	불가능	불가능	가능
수지형 관망	가능	가능	가능
고리형 관망	불가능	불가능	가능
도수로 형상수	3	16	8
펌프, 위어	불가능	가능	가능
오염물질 추적	가능	가능	불가능

그림 2. 흐름추적(Routing) 특징

최대 3,000개의 소유역 및 2,000개의 관로 구성, Horton, Green-Ampt 침투량 산정, 비선형 저수지식 지표면 유출, 운동파식 및 St.Venant식, 하도/관망 추적, 하수관의 과적(Surcharge), 배수(Backwater), 압력류 개선의 기본 기능을 가진다.

RUNOFF Block

RUNOFF Block은 강우사상에 대해 배수유역의 유출현상과 수질 변화를 모의, 각 노드에서 수문곡선과 오염도 곡선을 산출하고 실행결과는 다른 블록에서 기본(입력)자료로 사용한다.

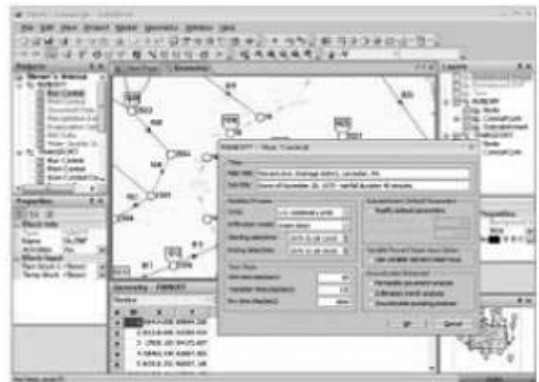


그림 3. RUNOFF Block



TRANSPORT Block

TRANSPORT Block은 수지형 관거를 통한 자유 흐름 모의, 오염물의 추적과 RUNOFF 블록의 결과 유입되는 유출량, 건기하수 추정값이 계산되나 과적 상태의 수두와 수심 계산은 불가하다.



그림 4. TRANSPORT Block

EXTRAN Block

EXTRAN Block은 과거시스템의 수리학적 하도 추적과 RUNOFF 블록의 결과/직접입력을 통한 유입되는 유출량을 계산할 수 있으며 이는 과적상태의 수두와 수심을 계산하고 배수 영향을 계산하는 특징을 갖는다.

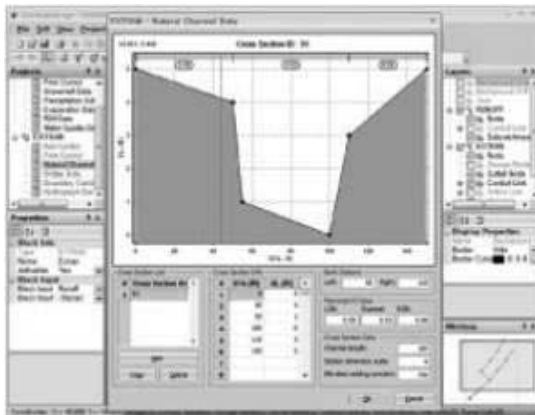


그림 5. EXTRAN Block

3.2 추가 기능

기존 SWMM 4.4h코드를 침투증진시설(투수성포장, 침투트렌치)과 지하수 양수의 효과분석 및 모의가 가능하도록 기능을 추가하였다.

투수성 포장 효과 분석

투수성 포장을 고려하기 위해 먼저, RUNOFF 블록의 지표면 유형에 투수성 포장을 포함시키기 위해 필요한 코드를 변경하고 추가하였다. RUNOFF 블록의 지표면 유형은 평상시 3가지이고, 용설이 추가되

A2		A5 투수성 포장 소유역
A1	A3	A6 침투 트렌치 소유역
세부 구역	투수성	지면 저류
A1	불투수	O
A2	투수	O
A3	불투수	X
A5	투수	O
A6	불투수	X

그림 6. 지표면 유출 계산(침투증진시설)



그림 7. 투수성 포장 효과 분석/모의



면 4가지의 지표면 유형으로 구분된다. SWMM-GE에서는 투수 영역을 분할하여 투수성 포장 영역을 추가시켰다.

침투트렌치 효과 모의

침투 트렌치를 고려한 SWMM-GE는 MIDUSS (Smith, 2004) 모형이 가지고 있는 침투 트렌치 모듈의 기본 이론과 방법을 이용하여 기존의 SWMM 모형을 수정한 것이다. MIDUSS 모형이 고려하고 있는 침투 트렌치의 기본이론 및 방법은 다음과 같다. MIDUSS 모형은 유입량을 통하여 지하로 빠져나가는 침투량을 침출(exfiltration)로 표현하고 있으며 이러한 트렌치를 침출 트렌치로 명명하고 있다.

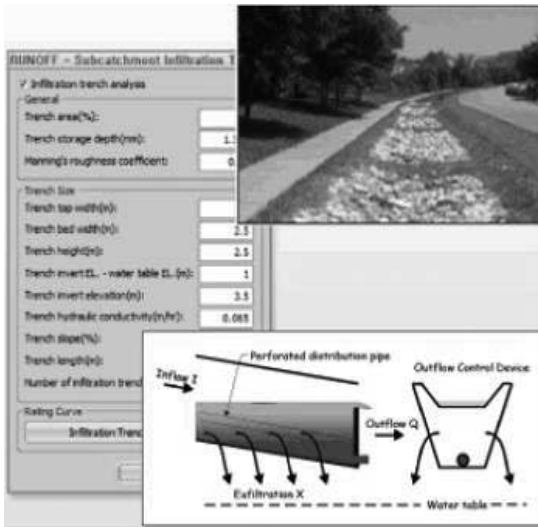


그림 8. 침출트렌치 효과 분석/모의

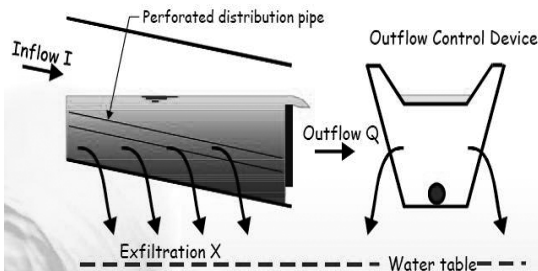


그림 9. 침출 트렌치의 모식도

지하수 양수 효과 모의

SWMM DOS 버전은 지하수가 하천으로 흐르는 것을 묘사하는 반면 하천으로부터 지하수로 유입되는 흐름을 고려하지 않는다. 그렇지만 지하수를 과다 양수하면 지하수위가 하천 수위보다 낮아져 하천수가 지하로 유입되므로 지하수와 하천수의 양방향 이동이 가능하도록 기존의 SWMM 지하수위 상승 및 하강식을 수정하였으며, 지하수 양수에 의한 지하수위 강하율을 고려하여 모형을 수정하였다.(이정민 등, 2007).

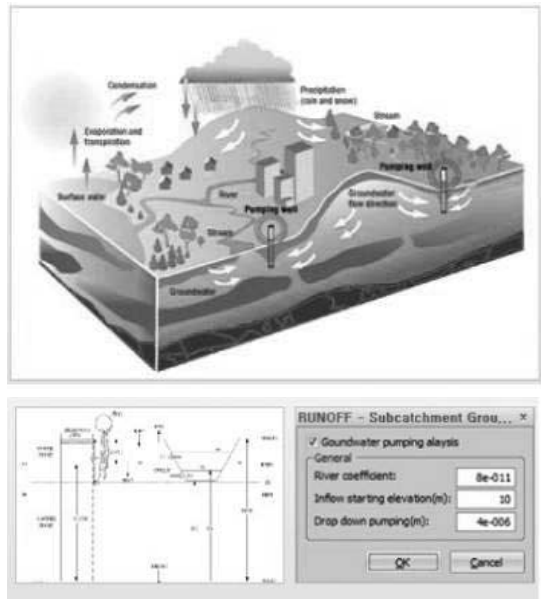


그림 10. 지하수양수 효과 분석/모의

4. SWMM-GE GUI

4.1 GUI 주요 기능 및 효과

익숙한 사용자 편의의 환경 구현을 통해 처음 사용자의 프로그램 접근성을 증대시키고, 하나의 파일 (*.sge)로 모든 SWMM 블록을 관리함으로써 프로젝트 관리가 용이해졌다. 또한 Geometry View지원을 통해 그래픽 환경에서 블록의 직접적인 편집이 가능하다. Geometry View는 Undo/Redo지원, Layers Tress지원, 배경 이미지 좌표 및 스케일 조정 기능,



Background객체 DXF 파일 지원, Overview지원을 통해 블록 객체의 편집이 용이하고, 블록 내 객체들의 직관적인 구분이 가능하다. 뿐만 아니라 Geometry 객체 Properties Grid 지원은 객체 선택과 동시에 관련 매개변수 편집이 가능하며 입력 및 출력 파일 보기 지원으로 별도의 문서 편집기 없이 바로 확인이 가능하다. 그리고 Output Plot, Output Table을 지원함으로써 모의결과를 그래프 및 표로 확인하고 보다 용이하게 보고서 작성 등이 가능하도록 했다.

4.2 메인화면 GUI

- ① Main Menu : SWMM-GE의 대부분의 기능을 포함하는 메뉴
- ② Main Toolbar : Main Menu의 기능 중 자주 사용하는 기능을 버튼으로 설정

- ③ Project Pane : 프로젝트에 포함된 블록과 각 블록에서 필요한 데이터 목록을 보여주고 각각의 종류에 대한 데이터를 입력
- ④ Properties Pane : Geometry Window에서 생성한 관망의 각 객체를 선택하였을 때 선택한 객체의 데이터 호출, 입력/수정
- ⑤ Geometry Window : 그래픽 요소 작업(노드, 링크와 같은 관망 생성)을 수행, 입력데이터/결과데이터를 출력
- ⑥ Geometry Pane : Geometry Window에 생성된 객체(노드, 링크 등)에 대한 정보를 테이블 형태로 표출
- ⑦ Layers Pane : Geometry Window에 생성되는 객체를 보이거나 보이지 않도록 설정하고, 객체의 색깔이나 모양을 변경
- ⑧ Minimap : Geometry Window의 모습을 간

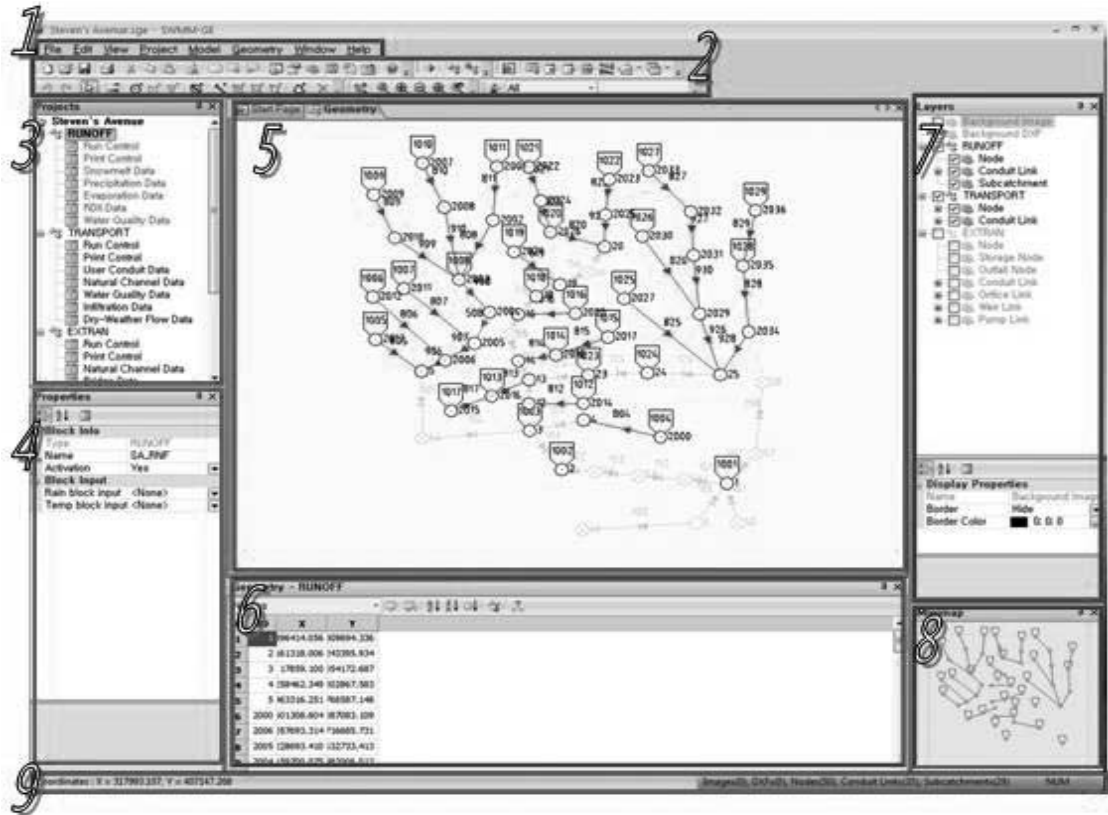


그림 11. SWMM-GE 메인화면



략하게 표출

- ⑨ Statusbar : 진행 상황 및 모델 수행과 관련된 정보를 표출

5. SWMM-GE 적용

5.1 도시유역의 장기 유출모의

SWMM-GE는 침투증진시설의 지하수 모의가 가능하고 10년 이상 강우, 증발량 자료에 모의가 가능하다.

SWMM 4.4h

- 침투 증진시설 모의불가
- 장기 모의 시 증발계산 부분 1년 이상 모의 불가

SWMM-GE

- 침투 증진시설의 지하수 모의 가능
- 10년 이상 강우, 증발량 자료 모의 가능

구분	모의항목	기존코드	개발코드
지표수	강수량	○	○
	침투량	○	○
	증발량	○	○
	지표유출량	○	○
지하수 모의	기존 지하수 모의	○	○
	투수성 포장	X	○
	침투 트렌치	X	○
	지하수 양수	X	○

그림 12. 모형 수행항목 비교

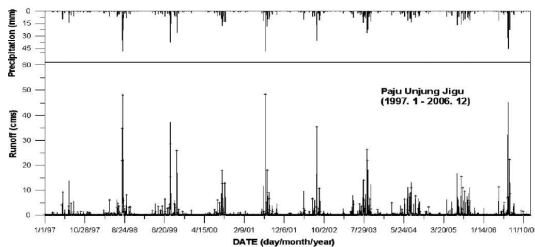


그림 13. 장기유출 모의 결과

5.2 침투증진 시설 설치 효과 분석

침투트렌치, 투수성 포장의 배수유역 추가로 침투증진시설에 대한 모의가 가능하며, 침투증진시설 설치에 따른 전체 유역 물순환 모의 및 치수, 이수 효과에 대한 분석을 수행할 수 있다.

SWMM 4.4h

- 침투량 계산식 (Horton식, Green-Ampt식)에 의한 침투량만 계산

SWMM-GE

- 침투 트렌치, 투수성 포장의 배수유역 증가로 침투증진시설에 대한 모의 가능
- 침투증진시설 설치에 따른 전체 유역 물순환 모의 및 이/치수 효과 분석

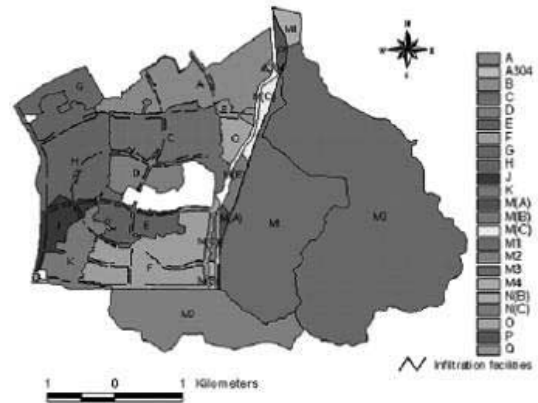


그림 14. 장기유출 모의 결과 (파주운정지구 침투증진시설 제안)

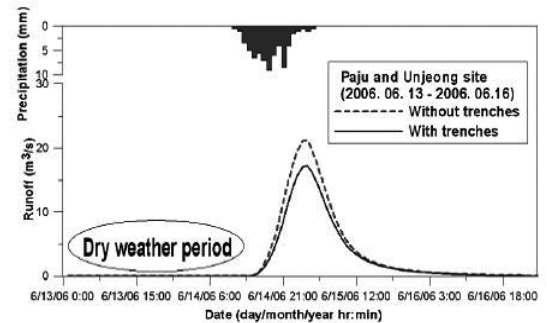


그림 15. 침투증진시설 설치에 따른 효과



6. 소개를 마치며

이상으로 기존 SWMM모형을 토대로 한 도시 유역의 유량 및 수질을 시뮬레이션 하고 침투증진시설 및 지하수 양수를 고려하여 도시 유출을 해석을 할 수 있는 SWMM-GE 프로그램을 소개하였다.

SWMM-GE는 기존의 SWMM의 한계를 극복하고자 하수관거를 통한 도시 유출뿐만 아니라 투수성 포장, 침투 트랜치의 하천수량 회복효과를 모의할 수 있으며 사용자의 프로그램 입력과 출력이 쉽도록 사용

자 편의환경의 GUI를 제공하고 있다. SWMM-GE는 2011년 정식 버전을 출시한 상용 프로그램으로써 (주)웹솔루스 홈페이지([www. websolus.co.kr](http://www.websolus.co.kr)) 등을 통해 구매가 가능하다.

향후 SWMM-GE 프로그램은 LID(Low Impact Development) 해석 모듈 등이 추가될 예정이며, 지속적인 기능 업그레이드를 통해 국내는 물론 해외 시장까지도 진출할 수 있는 경쟁력을 갖추어 나갈 것으로 기대된다. ☺

참고문헌

1. 이정민, 이상호, 박재현, 이길성(2007). “투수성 포장과 침투 트랜치를 고려한 수정 SWMM의 개발 및 적용.” 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.326-330.