

# SWMM의 식생수로 모의에 관한 문제점과 대안 고찰



**강 태 욱** |  
K-water연구원 수자원연구소  
위촉선임연구원  
ktw62@kwater.or.kr



**이 상 진** |  
K-water연구원 수자원연구소  
책임연구원  
peterlee@pknu.ac.kr



**구 영 민** |  
K-water연구원 수자원연구소  
위촉연구원  
greatkym@kwater.or.kr

## 1. 머리말

최근 국내에서는 신 도시 건설과 기존 도시의 재생 및 비점오염 저감 등의 목적으로 저영향개발(low impact development; LID) 기법이 활발하게 적용되고 있다. 저영향개발 기법은 유역 개발에 따른 수문 및 환경적 영향을 최소화하기 위한 기법으로서 자연상태를 가급적 보존하고, 개발이 요구되는 지역은 최대한 불투수 면적을 줄이도록 계획하여 개발 대상 지역이 본래의 자

연 상태에 가깝도록 모사하는 기법이다 (Coffman, 2000). 이러한 저영향개발 기법은 우수 발생지점에서부터 소규모 단위로 우수를 관리하는 분산식 우수배제 방식으로서 기존의 우수 관망, 저류지, 빗물 펌프장 등의 대규모 방재시설을 이용하여 신속히 우수를 배제하는 집중형 방식과 차별된다.

저영향개발 기법에 사용되는 소규모 시설에는 생태저류지(bio-retention), 빗물 정원(rain garden), 식생수로(vegetative swale), 옥상 녹화(green roof), 빗물통(rain barrel), 투수성 포장(pervious pavement) 등 매우 다양한 종류가 있다. 미 환경 보존국(US Environmental Protection Agency; EPA)은 증가하는 저영향개발 기법의 적용 및 분석의 수요에 부응하기 위해 기존의 SWMM(storm water management model)에 생태저류지, 빗물통, 투수성 포장, 침투 트렌치(infiltration trench), 식생수로를 모의할 수 있도록 기능을 개선하였다(Rossman, 2010).

본 고에서는 SWMM 내에 포함되어 있는 다양한 저영향개발 기법의 요소기술 가운데 식생수로의 적용성에 대하여 기술하고자 한다. 식생수로는 우수의 지체, 침투, 오염물질의 여과 기능과 함께 사전적 의미 그대로 수로의 역할을 병행하는 저영향개발의 요소기술이다. 하지만 현재의

SWMM에서는 수로의 역할을 모의할 수 없으므로, 본 고에서는 이에 따른 문제점과 이를 해결할 수 있는 대안에 대하여 기술하였다.

## 2. SWMM의 저영향개발 기법

### 2.1 저영향개발 기법 요소기술의 구현

기존의 SWMM은 소유역을 그림 1의 왼쪽 그림과 같이 침투가 발생하는 투수영역과 그렇지 않은 불투수영역으로 구분한다. Rossman(2010)은 저영향개발의 요소기술을 적용하기 위해 소유역 내에 그림 1의 오른쪽 그림과 같이 LID 영역을 추가하였다. 즉, SWMM에서 구현되는 저영향개발 기법은 기본적으로 소유역 내에 설치되는 저영향개발 요소기술의 면적 비율을 설정하여 구현된다. 한편, 그림 1의 오른쪽에서 보는 바와 같이 저영향개발 요소기술의 유입수는 LID 영역에 직접 내린 강우와 불투수영역에서 발생한 유출량의 특정 비율에 의해 결정된다. 이 때 불투수영역으로부터 유입되는 유출량의 비율은 사용자에게 의해 정의되고, 이는 후술되는 표 2에 제시되어 있다. 그리고 LID 영역은 다수의 저영향개발 요소기술로 구분되어질 수 있고, 불투수영역으로부터 유입되는 유출량의 비율은 각각의 요소기술에서 정의되며 이들의 합은 100 %를 초과할 수 없다.

SWMM에 저영향개발 요소기술을 구현할 수 있는 또 다른 방법은 하나의 소유역을 완전히 독립된 영역으로 구분하는 것이다. 즉, 저영향개발 요소기술에 해당하는 영역과 그렇지 않은 영역을 각각의 소유역으로 설정하여 고려할 수 있다. 이러한 경우, 소유역들은 직렬로 연결되고, 저영향개발 요소기술이 포함되지 않은 영역에서 발생한 모든 유출량은 저영향개발 요소기술로 정의된 소유역으로 유입되는 것으로 정의된다.

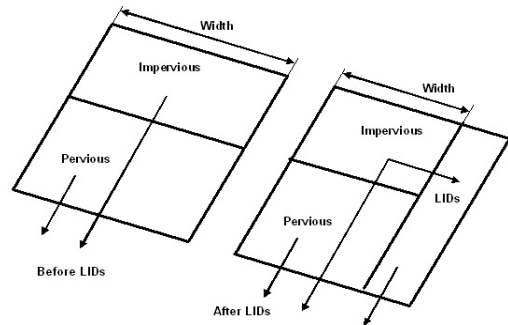


그림 1. LID 고려 유무에 따른 소유역의 영역 구분

### 2.2 저영향개발 기법 요소기술의 구성

SWMM의 저영향개발 요소기술에는 생태저류지, 투수성 포장, 침투 트렌치, 빗물통, 식생수로가 포함된다. 각각의 요소기술은 해당 시설의 특징을 고려하여 Table 1과 같이 5개의 수직층 중 일부가 포함된다. 그림 2는 가장 많은 수직층이 포함되는 생태저류지의 층별 모의 요소를 나타내는데, 전체적으로 물수지(water balance)가 유지된다.

그림 2에서 지표면(surface) 층에는 전 절에서 기술한 바와 같이 불투수영역 또는 직렬로 연결된 상류유역의 유출수가 유입(runon)되고, 해당 요소기술의 지배면적에 직접 떨어지는 강우가 유입된다. 저류시설인 빗물통을 제외한 모든 요소기술은 지표면 층을 가지게 되는데, 지표면 층에서는 시설물에 따라 토양(soil) 층, 포장(pavement) 층, 저류(storage) 층, 원지반 등으로 침투가 발생하고 증발산이 나타나며, 침투와 증발산량을 초과한 우수는 유출된다. 토양층은 생태저류지를 고려할 경우에만 사용되는데, 증발산이 나타나고 하부에 위치하는 저류(storage) 층으로 침투(percolation)가 발생된다. 저류층에서는 원지반으로 침투가 발생하고, 지하배수(underdrain)를 선택적으로 고려할 수 있다. 한편, 본 고의 대상 시설물인 식생수로는 지표면 층만 가지는 것을 확인할 수 있다(표 1).

표 1. 개별 LID 시설의 모의를 입력층

| LID Type            | Surface | Pavement | Soil | Storage | Underdrain |
|---------------------|---------|----------|------|---------|------------|
| Bio-retention cell  | ●       |          | ●    | ●       | ○          |
| Porous pavement     | ●       | ●        |      | ●       | ○          |
| Infiltration trench | ●       |          |      | ●       | ○          |
| Rain barrel         |         |          |      | ●       | ●          |
| Vegetative swale    | ●       |          |      |         |            |

●: required, ○: optional

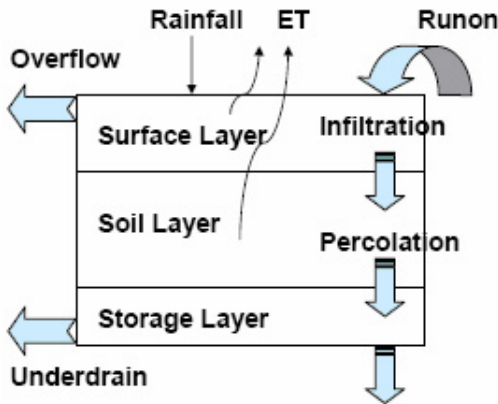


그림 2. 생태저류지의 모의 층과 물수지

표 2와 같이 크게 식생수로의 일반적인 형태 및 제원에 관한 정보와 특정 유역에 구현되는 정보로 구분된다. SWMM에 포함되어 있는 식생수로는 지표면 층만 가지므로 일반적인 식생수로의 형태 및 제원에는 지표면 층과 관련된 매개변수만 입력된다.

### 3.2 SWMM의 식생수로 모의의 한계

앞선 2.1절에서 SWMM의 저영향개발 요소기술은 소유역의 일부 영역을 대체하여 구현되는 것으로 기술하였다. 이에 따라 SWMM에서는 식생수로는 유역의 일부로서 고려되어 유역추적(watershed routing)에서 계산된다. 즉, SWMM 내 식생수로는 우수의 지체, 침투의 기능을 고려하고 있지만, 수로의 기능을 구현하지

## 3. SWMM을 이용한 식생수로의 모의

### 3.1 식생수로 모의를 위한 SWMM의 입력자료

식생수로를 모의하기 위한 SWMM의 입력자

표 2. SWMM을 이용한 식생수로 모의를 위한 입력자료

| Classification                   | Parameter                          | Unit           |
|----------------------------------|------------------------------------|----------------|
| General figure and dimension     | Storage depth                      | mm             |
|                                  | Vegetation volume fraction         | -              |
|                                  | Surface roughness (Manning's n)    | -              |
|                                  | Surface slope                      | %              |
|                                  | Swale side slope                   | run/rise       |
| Deployment within a subcatchment | Area of unit                       | m <sup>2</sup> |
|                                  | Top width of overland flow surface | m              |
|                                  | % of impervious area treated       | %              |
|                                  | Send outflow to pervious area      | checkbox       |

못하고 있다.

예로서 그림 3과 같이 2개의 소유역과 2개의 식생수로로 계획된 지역을 생각할 수 있다. SWMM은 그림 3의 계획을 소유역 내 식생수로의 구현을 통해 모의할 수 있다. 하지만 식생수로의 홍수에 대한 통수능과 단면 및 종단의 계획 등 수로가 가지는 기능을 검토할 수 없다. 이에 따라 일부에서는 그림 4와 같이 별도의 관거를 추가하여 고려하고 있지만, 이는 식생수로의 수로 역할을 완전히 배제한 것이므로 적절하지 않다.

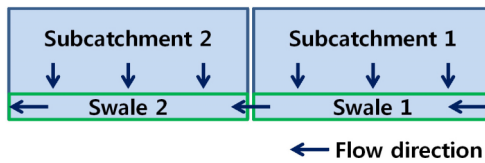


그림 3. 식생수로를 포함한 유역 계획의 예

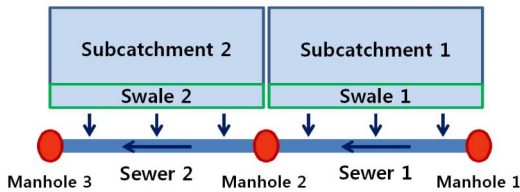


그림 4. 식생수로의 수로 기능을 포함하지 못한 SWMM의 한계

### 3.3 SWMM을 이용한 식생수로 모의의 대안

본 고에서는 SWMM으로 식생수로의 지체, 침투의 기능과 수로의 기능을 모두 고려하기 위해 그림 5와 같은 개념적인 방법을 사용하였다. 이를 위해 현재의 SWMM 내에 포함된 식생수로의 모의 모듈은 사용하지 않는다.

본 고에서 제시하는 식생수로 모의의 대안은 우선 그림 3의 소유역 1과 2를 각각 식생수로를 제외한 영역과 식생수로 영역으로 구분하고, 식생수로 영역은 100% 투수지역인 독립된 소유역으로 설정한다. 한편, 식생수로가 제외된 소유역의 유출은 식생수로 소유역으로 유입시켜 유입수

가 지체, 침투되도록 한다. 그리고 초과한 수량은 식생수로의 단면과 종단이 고려된 개수로로 유입되도록 한다. 이 때의 개수로는 식생수로의 수로 기능을 가지는 것이다. 즉, 본 고에서 제시한 식생수로의 모의 방법은 별도의 소유역과 개수로를 통해 식생수로의 지체, 침투의 기능과 수로의 기능을 이원화하는 방법이다.

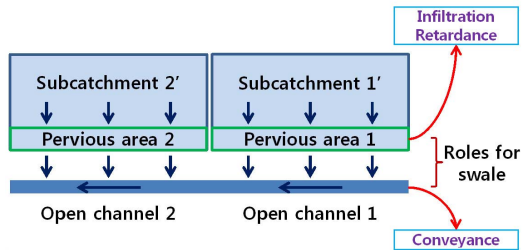


그림 5. 수로의 기능을 고려한 SWMM의 식생수로 모의 방안

### 3.4 SWMM을 이용한 식생수로의 모의

본 고에서 제시한 방법의 적절성을 검토하기 위해 그림 3의 식생수로를 포함한 유역 계획을 SWMM 내의 식생수로 모의 모듈을 이용하는 경우(그림 4)와 본 고에서 제시한 방법(그림 5)을 이용하여 모의하였다. 식생수로의 수로 기능을 검토하기 위해 홍수사상에 대하여 모의하였고, 각각의 소유역 면적은 2.5 ha, 식생수로의 면적비는 12%(0.3 ha)로 설정하였다. 한편, 홍수모의에 사용된 경우는 부산지방기상청의 60분 지속기간 10년 빈도 확률강우량이다.

그림 6은 유역 유출부에 대하여 SWMM 내 식생수로를 이용하여 계산한 홍수 수문곡선과 본 고에서 제시한 개념적 식생수로에 의한 홍수 수문곡선을 비교하기 위해 나타낸 그림이다. 본 고에서 제시한 개념적 식생수로에 의한 홍수 수문곡선이 SWMM 내 식생수로를 이용한 홍수 수문곡선보다 다소 지체되는 경향이 나타나긴 했지만, 두 홍수 수문곡선은 매우 유사한 것을 볼 수

있다. 특히, 홍수분석에서 중요한 첨두유량의 상대오차는 2.27 %로서 매우 작은 오차를 보였다.

한편, 그림 4에서와 같이 수로 기능이 없는 SWMM 내 식생수로 모의 모듈을 이용하고, 우수관거를 추가로 고려하는 경우를 분석하였다. 그 결과, 소유역 1의 유출량을 이송하기 위해  $\phi$  900 mm의 관거가 소요되었고, 소유역 2의 유출량과 상류의  $\phi$  900 mm 관거를 통해 유입되는 우수를 이송하기 위해  $\phi$  1,100 mm의 관거가 필요한 것으로 분석되었다(그림 7의 (a)). 반면에 본 고에서 제시한 식생수로의 모의 방법을 사용할 경우, 식생수로만으로도 충분히 우수를 배제할 수 있는 것으로 분석되었다(그림 7의 (b)). 따라서 합리적인 배수체계를 구성하기 위해서는 식생수를 수로로서 모의할 수 있도록 모형을 구성할

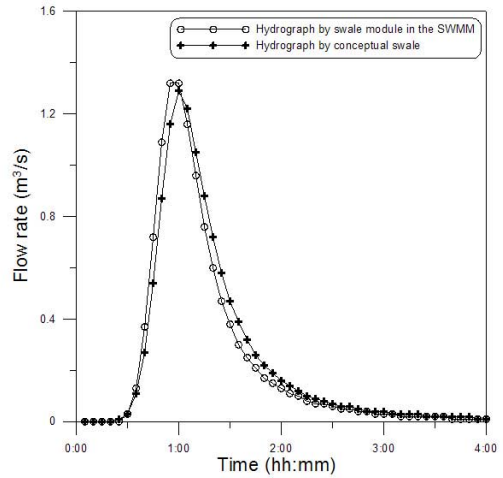
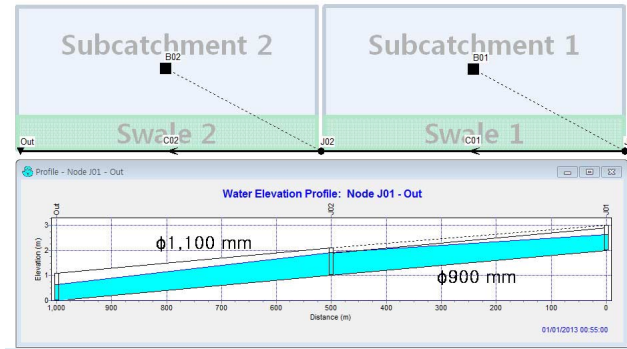
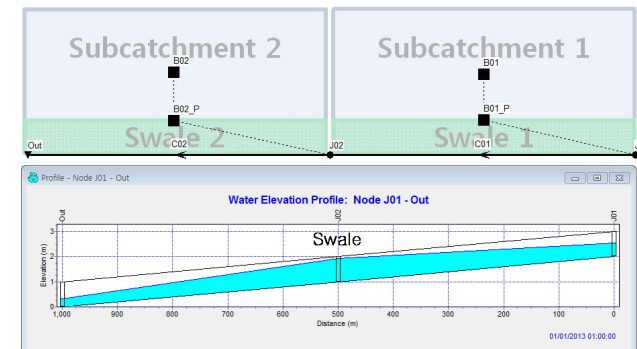


그림 6. SWMM의 식생수로와 개념적 식생수로에 의한 홍수 수문곡선의 비교



(a) 식생수로의 수로 기능이 배제된 상태의 모의(관거 추가)



(b) 식생수로의 수로 기능을 포함한 모의


그림 7. 수로의 기능을 고려한 식생수로 모의의 필요성

필요가 있다.

#### 4. 맺음말

본 고에서는 SWMM 내에 포함되어 있는 저영향개발 요소기술의 모의 모듈 중 식생수로의 모의 기능에 대하여 검토하였다. 식생수로는 유역 유출수의 지체, 침투와 수로의 기능을 가진 시설임에도 SWMM에서는 식생수로의 수로 기능이 배제되어 있다. 이에 따라 SWMM으로는 식생수로의 중·횡단의 계획을 수립할 수 없고 통수능을 검토할 수 없으며, 자칫 우수관거의 추가 설치를 계획하는 등 과다 설계의 가능성이 존재하게 된다.

본 고에서는 SWMM의 모의 특징을 고려하여 개념적으로 식생수로를 모의할 수 있는 방법을

제시하였다. 전체 유역 중 식생수로의 영역을 별도의 소유역으로 분리하고 해당 소유역을 100% 투수지역으로 설정하여, 식생수로의 지체, 침투가 모의될 수 있도록 고려하였다. 그리고 식생수로 유역을 통해 유출되는 우수는 식생수로의 형상을 모사한 개수로로 유입되도록 고려하였다. 본 고에서 제시한 방법은 비록 SWMM 내 식생수로와 유사한 거동을 보이는 것으로 검토되었지만, 이는 단순히 개념적 방법이므로 실제 식생수로 내의 흐름특성과 비교하여 적절성이 검토되어야 할 것으로 판단된다. 

#### 감사의 글

본 고는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원(12기술혁신C04)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Coffman, L. (2000). Low-impact development design strategies, an integrated design approach. Prince George's Country, Maryland, Department of Environmental Resource, Programs and Planning Division.
2. Rossman, L.A. (2010). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0. EPA/600/R-05/040, National Risk Management Research Laboratory, Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.