

식생형시설의 직접유출량 저감 효과분석 및 적용 방법 타당성 검토

이한용* · 우원희* · 박윤식**

*주식회사 고려엔지니어링 기업부설연구소 · **국립공주대학교 지역건설공학과

Direct Runoff Reduction Analysis and Application Feasibility Evaluation of Vegetation-type Facilities

Hanyong Lee* · Won Hee Woo* · Youn Shik Park**

*Research and Development team, Korea Engineering

**Department of Regional Construction Engineering, Kongju National University

ABSTRACT : As impervious area increases due to urbanization, rainfall on the impervious area does not infiltrate into the ground, and stormwater drains quickly. Low impact development (LID) practices have been suggested as alternatives to infiltrate and store water in soil layers. The practices in South Korea is applied to urban development projects, urban renewal projects, urban regeneration projects, etc., it is required to perform literature research, watershed survey, soil quality, etc. for the LID practices implementation. Prior to the LID implementation at fields, there is a need to simulate its' effect on watershed hydrology, and Storm Water Management Model (SWMM) provides an opportunity to simulate LID practices. The LIDs applied in South Korea are infiltration-based practices, vegetation-based practices, rainwater-harvesting practices, etc. Vegetation-based practices includes bio-retention cell and rain garden, bio-retention cells are mostly employed in the model, adjusting the model parameters to simulate various practices. The bio-retention cell requires inputs regarding surface layer, soil layer, and drain layer, but the inputs for the drain layer are applied without sufficient examination, while the model parameters or inputs are somewhat influential to the practice effects. Thus, the approach to simulate vegetation-based LID practices in SWMM uses was explored and suggested for better LID simulation in South Korea.

Key words : Bio-Retention Cell, Drain, Low Impact Development, Rain Garden, SWMM

I. 서 론

도시화와 산업화의 발전은 토양으로 이루어진 투수면이 콘크리트로 뒤덮이면서 불투수면적이 증가하고 물을 흡수하는 능력이 감소하며 물순환 왜곡현상이 일어나 해마다 여러 가지 문제를 야기한다. 대표적인 예로는 침투유출량 증가에 따른 도시홍수, 지하침투량 감소에 따른 지하수 고갈 및 하천 유지용수 부족, 비점오염물질 증가에 따른 수질오염 및 도시 열섬현상 등이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 빗물을 침투, 저류시켜 도시화로 인해 발생

된 물순환 왜곡현상을 회복하도록 하는 저영향개발(Low Impact Development; LID)기법이 제시되고 있다(ME, 2016). LID는 도시와 개발지역의 개발 이전 수문학적 체계의 유지와 향상을 위한 토지이용계획 및 공학적 설계를 고려하는 방식으로, 발생원에서 빗물을 관리함으로써 지표유출과 오염부하를 줄이기 위한 설계, 일련의 시설과 그 방법이(U.S EPA, 2007).

국내에서 LID 기법은 크게 식생형시설과 침투형시설로 구분되며(ME, 2020), 식생형시설은 토양의 흡착, 여과작용과 식물의 흡착작용을 통해 비점오염을 저감함과 동시에 동·식물의 서식공간 제공, 녹지공간 기능을 제공하며 식생수로, 식물재배화분, 옥상녹화 등이 식생형시설에 해당한다. 침투형시설은 빗물을 토양으로 침투시켜 토양의 여과, 흡착작용을 통해 비점오염을 저감함과 동시에 유출저감

Corresponding author : Park, Youn Shik

Tel : 041-330-1267

E-mail : park397@kongju.ac.kr

및 지하수를 충전하여 하천의 건천화 예방과 도시열섬을 저감하는 시설로 침투도랑, 침투측구, 침투빗물받이 등이 있다(ME, 2016). 국내에서 LID시설의 적용은 아산탕정, 부산에코델타와 같이 대단위 도시개발사업이나 환경부 국가 정책사업인 물순환선도도시, 그린빗물인프라사업과 같은 구도심에 적용하고 있다. 구도심에 적용하는 LID시설의 경우 공원법, 가로수법, 도로법 등 상위법령을 검토하면서 도로(보차도), 공원, 식수대 등의 기존 도시의 인프라시설을 훼손하지 않으면서 시설을 적용하고, 효과를 예측해야 하기 때문에 현장여건에 맞는 LID설계가 필요하다.

2015년 그린빗물인프라 조성사업을 시작으로 2018년 물순환선도도시, 2020년 스마트 그린도시를 통해 LID를 적용하는 실무에서는 유지관리가 어려운 침투형시설 보다는 열섬저감, 미기후개선 등 직접유출량 및 비점오염저감효과 외의 부수적인 효과가 발생하는 식생형시설의 적용비율이 높아졌다. 국내에서는 도로 내 식수대 구간 및 공원 녹지구간에 빗물정원(Rain Garden; RG)과 생태저류장치(Bio-retention Cell; BRC)를 적용하고 있으며, 일부 건축물의 옥상에 옥상녹화(Green Roof; GR)를 적용하나, 건축물 구조안전검사와 태양광 설치 등으로 인하여 옥상녹화의 적용이 용이한 편은 아닌 것으로 조사되었다.

Lee et al.(2011)은 신도시 택지개발 사업 중 저탄소 녹색마을 지구에 LID-분산형 빗물관리 계획을 수립하고 침투형 흡통받이, 빗물정원, 인공습지 등의 LID시설을 적용하여 토지이용계획과 연계한 LID시설이 물순환에 미치는 효과와 적용성을 확인하고, 개발 전·후의 토지이용 변화에 따른 유출변화를 분석하였으며, Jung et al.(2018)은 토지주택연구원을 대상유역으로 한 LID 단지재생 시범단지 구성에 따른 식생체류장치, 투수성포장, 침투트렌치, 빗물정원, 옥상녹화 등 8종류의 LID시설에 대한 유출저감효과를 분석하였다.

빗물정원과 생태저류장치의 경우 덕진유역 그린빗물인프라 조성사업 기본 및 실시설계 보고서(Jeonju, 2016), 청주시 오창과학산업단지 빗물유출제로화(1단계) 단지조성 시범사업(ME, 2019), 에코델타시티 T/K 설계도서(Busan, 2020), 젤미마을 그린빗물인프라 조성사업 기본 및 실시설계 보고서(Gimhae, 2019), 안동 물순환 선도도시 기본계획 보고서(Andong, 2018) 등 사례를 보았을 때 LID의 정확한 시설의 단면을 기준으로 적용하는 것이 아닌, 토양층, 저류층의 깊이를 상이하게 적용하거나, 일부 사례에서는 유공관을 설치하기도 하였다. 또한 유공관 설치 시 저류층 내 유공관 높이에 대한 부분도 혼용되어 적용되고 있는 실정이었다. 이는 저영향개발기법 설계 가이드라인(ME, 2016), 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼(ME, 2020)에서 표준지침을 정확히 제시하고 있지 않아 실무에서 적

용하는데 어려움이 있으며, 유공관(Drain)의 유·무, 저류층(Storage layer) 내 유공관 깊이, 저류층 및 토양층(Soil layer)의 깊이에 따른 정량적 효과를 분석하지 않아 실무에서 적용하는데 한계가 있는 것으로 나타났다. 실무에서 빗물정원과 생태저류장치에 대한 정확한 시설의 단면을 기준으로 적용하지 않고 혼용되어 효과분석에 적용하였을 때 시설의 단면에 비해 과대 및 과소평가가 될 우려가 있어 목표강우를 만족하는 시설용량을 검토해야 하는 경우 정확한 효과를 얻기 어렵다. SWMM 모형을 이용하여 LID 시설에 대한 효과를 분석한 사례는 많지만(Lee et al., 2011; Yeon et al., 2014; Kim et al., 2017; Jung et al., 2017; Jung et al., 2018; Moon et al., 2023), SWMM 모형에서의 LID시설의 매개변수를 비교 검토한 사례는 쉽게 찾아보기 어렵다(Kim, 2020; Won et al., 2021). LID시설의 효과 분석에서는 시설의 종류, 면적 등의 속성에서 효과에 큰 차이가 나타나지만, LID시설에 대한 상세 매개변수에 따라서도 효과가 달라질 수 있다. 따라서 저영향개발기법 설계가이드라인(ME, 2016)과 같은 지침에서 LID의 속성 값을 제시하여 모형을 이용한 비점오염 저감사업의 효과 분석 방법에 대한 기준을 제시할 필요가 있다.

이에, 본 연구에서는 국내에서 많이 적용하고 있는 식생형시설의 깊이와 유공관 높이에 대한 조건을 다양하게 적용하면서 직접유출량 저감효과를 모의하였으며, 나아가 수자원 관리를 위한 LID 식생형시설의 적용 방법에 대한 타당성을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지 현황

본 연구의 대상지역은 Figure 1에 제시한 바와 같이 경상남도 김해시에 위치하고 있다. 대상지역은 그린빗물인프라 사업대상지역으로 빗물을 효율적으로 관리해 물순환 체계를 개선하고자 하였으며, 본 연구에서는 대상지역에 식생형 LID시설 적용 전·후 효과를 비교하고자 하였다. 대상지역의 우수관로 분석결과 1개의 배수구역으로 구분되며, 대부분의 면적이 도로로 불투수지역이 상대적으로 많이 분포하고 있으며, 토양의 경우 현장에서 시료를 채취하여 분석한 결과 대부분의 토양이 수문학적 토양군 D에 해당하였다(Figure 2). 대상지 면적은 총 21,182.4 m²이며 투수지역은 7,412.0 m², 불투수지역은 13,770.4 m²로 환경부 환경공간정보서비스(ME, 2023)의 세분류 토지피복도에 의해서 정의되었다(Table 1).

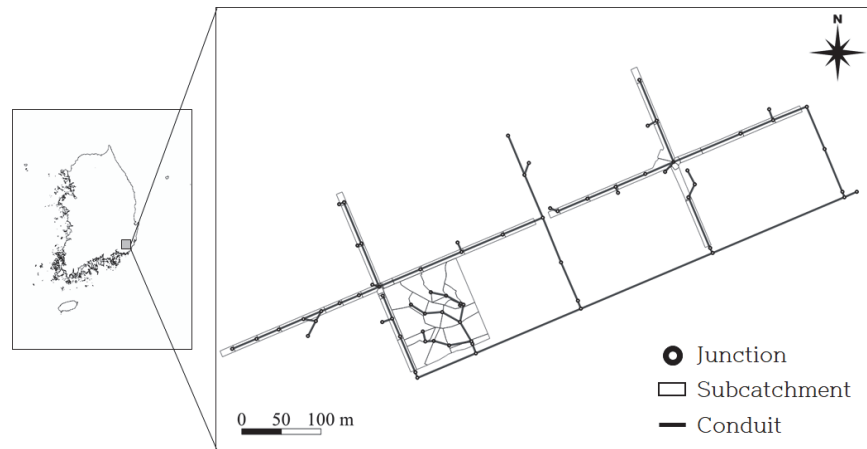


Figure 1. Location of study area

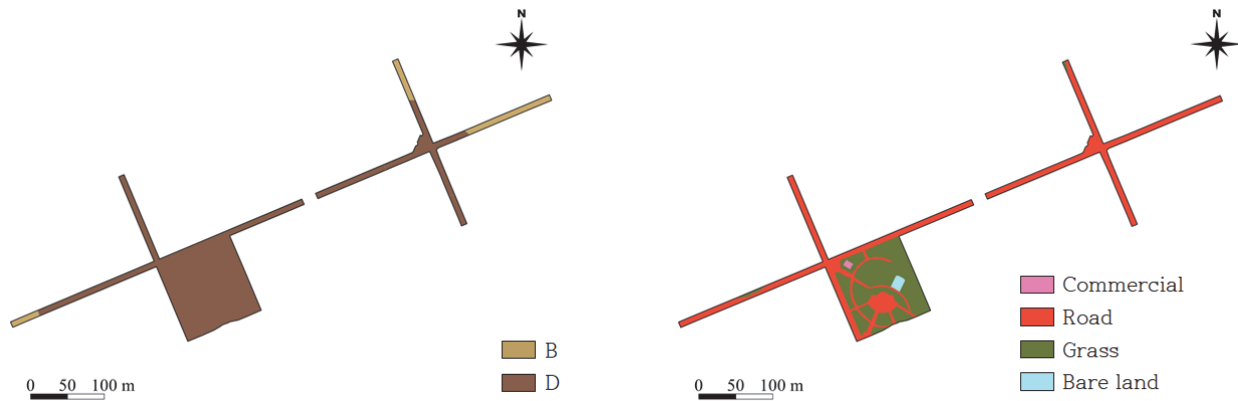


Figure 2. Soil and land cover maps for study area

Table 1. Pervious and Impervious by landuse

Landuse	Total area(m ²)	Pervious(m ²)	Impervious(m ²)	Percentage(%)
Commercial	100.10	-	100.10	0.47
Road	12,551.60	526.30	12,025.30	59.25
Grass	8,301.60	6,702.40	1,599.20	39.19
Bare Land	229.10	183.30	45.80	1.08
Total	21,182.40	7,412.00	13,770.40	100.00

2. SWMM 모형의 구축

Storm Water Management Mode(SWMM)(Rossman, 2010) 모형은 미국 환경보전국(Environmental Protection Agency; EPA)에 의해 개발되어 도시 우수관거망 내의 도시유출을 모의할 수 있는 종합적인 모형으로 도시 유역 내에서 지표유출과 침투, 배수관망 내의 유출량 추적, 수질

등을 모의할 수 있으며 단일 강우사상이나 장기 강우사상의 모의가 가능한 특징을 가지고 있어, 다양한 시나리오에 대한 모의가 가능하다. 2010년에는 LID시설에 대한 효과를 모의할 수 있도록 기능이 확장되어 LID시설의 각 층별 매개변수와 유공관 등의 모의가 가능하도록 개선되었다. 이후 SWMM 모형을 이용하여 다양한 LID시설의 효과에 대한 분석이 이루어졌는데, Shin et al.(2013)은 SWMM

모형을 이용하여 상습침수유역에 대해 옥상녹화, 투수성포장을 적용하여 유출저감 효과를 분석하였으며, Kim et al.(2017)은 LID 모형을 통해 LID시설별 지표수에 대한 저감효율을 모의하였다. 본 연구에서는 SWMM 모형을 이용하여 식생형 LID시설의 LID Control 적용방법과 각 layer의 깊이와 유공관 높이에 대한 조건을 반영하여 직접 유출량 저감효과를 모의하고자 하였다.

SWMM 모형의 구축을 위해서는 배수구역과 관련한 입력자료 이외에 관로, 맨홀과 관련한 입력자료 구축이 이루어져야 하며, 관로 입력자료로는 관로의 제원, 연장, 관저고, 조도계수 등의 입력이 필요하며, 도시개발사업의 시설 설계 수리계산서를 기준으로 산정하였다(Gimhae, 2019). 배수구역과 관련한 입력자료로는 구역에 대해서 면적, 폭, 경사, 불투수율, 지면저류량 및 침투매개변수가 있으며, 수문학적 매개변수 범위 또는 경험 등에 의한 제시값으로 산정하였다. 본 연구의 대상지역은 총 54개의 소유역으로 분할하였으며, Figure 3과 같이, 54개의 소유역과 71개의 관로, 71개의 맨홀, 그리고 1개의 방류구로 구성하였다(Table 2). 또한 모형에 적용된 LID시설은 식생형 LID시설에 의한 유출저감효과 모의에 중점을 두고 있기 때문에 Figure 3과 같이 대상지 내 식수대, 조경녹지, 공원녹지에 식생형 LID시설을 적용하였고, 총 적용면적은 7,356.5 m²이다.

LID시설 중 식생형시설을 모의하기 위하여 SWMM 모형 내 빗물정원(RG), 생태저류장치(BRC)를 이용하여 시나리오를 구축하였으며, BRC의 경우 유공관의 높이에 따라 유출저감효과가 달라질 수 있으므로 유공관의 높이에 따

른 유출계수와 유출지수를 분석하고자 시나리오를 LID시설이 없는 대조군을 포함하여 Figure 4와 같이 빗물정원에 대해서 1개(RG), 생태저류장치에 대해서 1개(BRC), 유공관을 포함하면서 높이에 다르게 적용된 BRC에 대해서 3개(BRC-D0, BRC-D75, BRC-D150)의 총 5개로 구축하였다. LID시설의 목표강우 선정을 위해 환경부 저영향개발(LID)기법 설계 가이드라인(ME, 2016)에 따라 백분위수 강우사상 관리기법을 통하여 수질관리 목표량에 해당하는 백분위수인 85퍼센타일에 해당하는 강우를 목표강우로 선정하고자 하였다. 이에, 김해시 기상관측소의 최근 10년(2013년~2022년) 일강우량 자료를 수집하였으며, 백분위수 분석을 통해 85퍼센타일인 39 mm를 빗물관리 목표강우로 선정하여 LID시설을 계획하였다. 이에 따라 유공관의 높이에 따른 유출계수와 유출지수를 식 (1)에 따라 계산하였다(U.S EPA, 2022). 이때 배수유량은 환경부(2020)에 따라 식생형시설 유입시간인 2시간을 목표강우량을 처리하기 위한 저류층 유공관의 배수시간으로 설정하여 19.5 mm/hr으로 선정하였다. 이를 이용하여 유공관의 유출계수와 유출지수를 환산하여 적용한 결과는 Table 3과 같다.

$$Q = Ch^n \quad \text{식 (1)}$$

여기서 Q는 유공관에서 시간당 방류되는 유출량(mm/hr)이고, C는 유출계수(무차원), h는 저류층 내의 유공관 높이(mm), n은 유출지수(무차원)를 의미한다.

Table 4는 RG, BRC, BRC-D0, BRC-D75, BRC-D150에

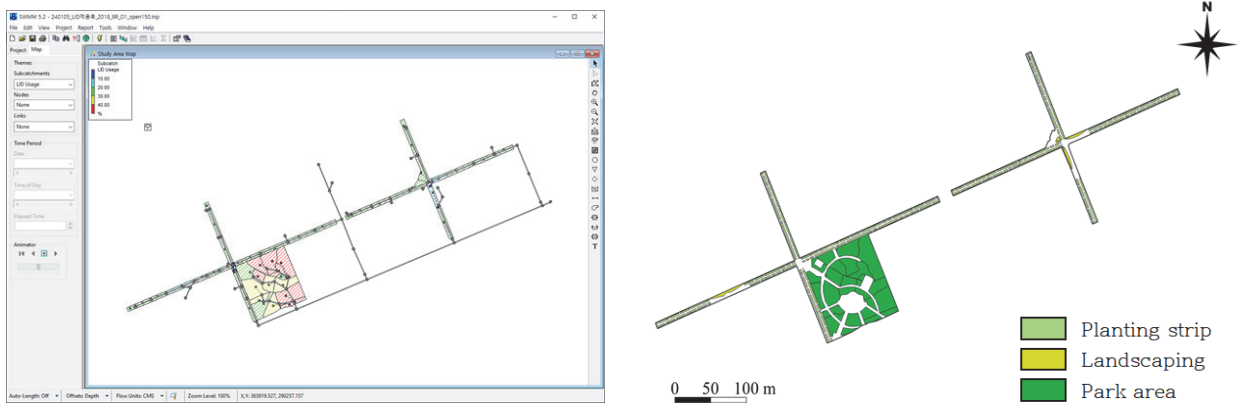


Figure 3. SWMM interface and Location of LID practice application

Table 2. The number of spatial components for model implementation

Subcatchment	Conduit	Node	Outfall
54EA	71EA	71EA	1EA

대한 SWMM모형의 매개변수이다. 표면층은 ME(2020)에 따라 담수심을 150 mm로 설정하였고, 식생부피는 SWMM 5.2 User's manual(U.S EPA, 2022)에 따라 0.1~0.2중 0.1을 적용하였다. 토양층 및 저류층의 두께는 국내 LID 사업 (Pyeongtaek, 2022; Jeonju, 2016) 및 환경부 비점오염저감

시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼(ME, 2020)에 근거하여 설정하였으며, RG의 경우 저류층이 설치되지 않으므로 BRC 최대 깊이를 토양층의 두께를 800 mm로 설정하였다. 저류층의 매개변수는 환경부 매뉴얼에 따라 수문학적 토양군 B에 해당하는 ‘Loam’을 적용하였다.

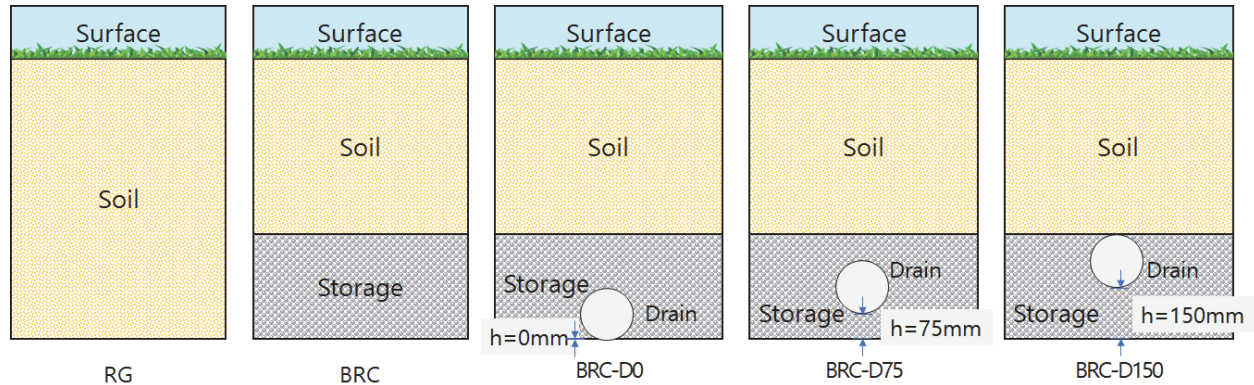


Figure 4. Scenarios for LID application

Table 3. Determination of drain parameters for managing rainfall target

Flow(Q, mm/hr)	Flow coefficient(C)	Flow exponent(n)	Offset(h, mm)	h ⁿ
19.5	1.6~2.3	0.5	75~150	8.7~12.2

Table 4. SWMM LID control parameters for scenarios

Parameter		w/o LID	RG	BRC	BRC-D0	BRC-D75	BRC-D150
Surface	Berm Height	-	150	150	150	150	150
	Vegetation Volume	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Surface Roughness	-	0	0	0	0	0
	Surface Slope	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Soil	Thickness	-	800	500	500	500	500
	Porosity	-	0.463	0.463	0.463	0.463	0.463
	Field Capacity	-	0.232	0.232	0.232	0.232	0.232
	Wilting Point	-	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116
	Conductivity	-	130.208	130.208	130.208	130.208	130.208
	Conductivity Slope	-	40	40	40	40	40
	Suction Head	-	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9
Storage	Thickness	-	-	300	300	300	300
	Void Ratio	-	-	0.47	0.47	0.47	0.47
	Seepage Rate	-	-	13.2	13.2	13.2	13.2
	Clogging Factor	-	-	0	0	0	0
Drain	Flow Coefficient	-	-	-	62.0	2.3	1.6
	Flow Exponent	-	-	-	0.5	0.5	0.5
	Offset	-	-	-	0	75	150

III. 연구결과 및 고찰

1. 모형의 보정 및 검증

본 연구에서는 SWMM 모형의 유출량과 관련된 변수를 시행착오법을 이용하여 보정하였다. 보정 매개변수로는 소유역의 폭을 조정하여 유출량을 보정하였으며, 2019년 4월 9일부터 4월 10일과 2019년 4월 23일부터 4월 24일까지 30분 간격의 모니터링 실측자료를 활용하여 유량에 대한 보정과 검정을 실시하였다(Figure 5). SWMM 모형 보정 시 실측치에 대한 모의치를 평가하기 위하여 결정계수(Coefficient of determination; R^2)와 유효지수(Nash-Sutcliffe Efficiency; NSE), 산포도를 이용하였으며, R^2 , NSE 산정은 식 (2)와 식 (3)에서 보이는 바와 같다(Nash and Sutcliffe, 1970).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2 \quad \text{식 (2)}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{식 (3)}$$

여기서 O_i 는 각 강우 시 실측된 값이고, P_i 는 모형에서 예측된 각 강우별 모의값이며, \bar{O} 는 모든 강우 시 실측값의 평균이다. NSE의 값이 1에 가까울수록 모형의 예측치가 실측치를 잘 예측하는 것을 의미하며, 실측치와 예측치의 적합도를 평가하는 지표이다. D.N. Moriasi. et al. (2015)가 제안한 바와 같이 R^2 가 0.6 이상이고 NSE가 0.5 이상일 때에 모형의 예측치가 실측치를 잘 모의하는 것으로 판단하였는데, 본 연구에서 구축한 SWMM 모형은 보정과검정에서 유출수에 대한 실측치와 예측치를 비교할 때 NSE가 0.61이고 R^2 는 0.85이었다. 그리고 검정과검정에서 NSE가 0.68이고 R^2 가 0.71으로 나타났기 때문에 대상지의 유출량에 대한 SWMM 모형 보정 및 검정이 잘 이루어졌다고 판단하였다. 또한 실측치와 예측치에 대한 1:1 산포도를 볼 때 보정과검정과 검정과검정에서 실측치와 예측치가 비교적 선형으로 분포하고 있어 경향이나 값의 차이가 크지 않은 것으로 판단하였다(Figure 6).

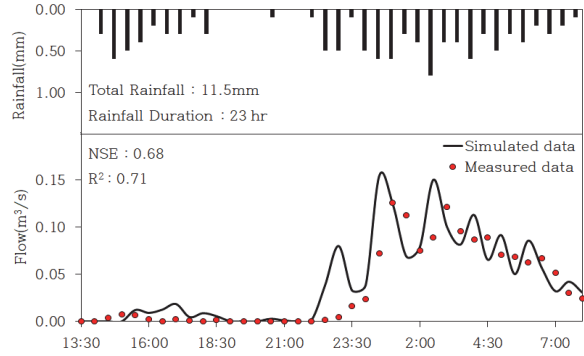
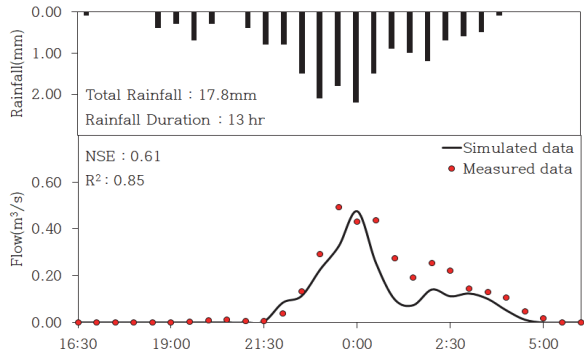


Figure 5. Calibration and Verification results of SWMM model

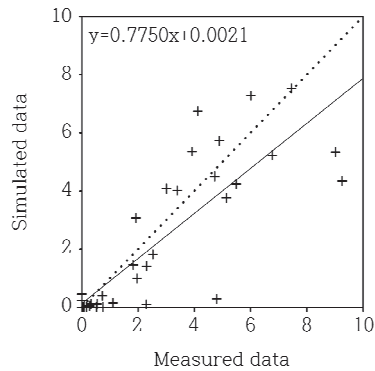
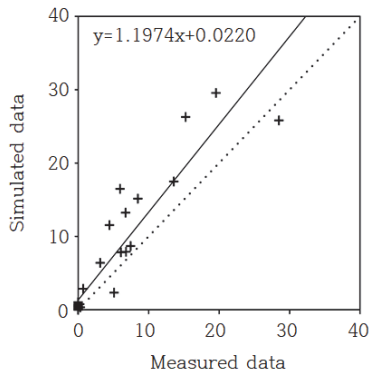


Figure 6. Scatter plot of measured and simulated flows during calibration and verification

2. LID 시나리오에 따른 저감효과 평가

LID 적용에 대한 시나리오를 평가하기 위해 구축된 SWMM 모형을 최근 10년간 연강수량 평균과 가장 유사한 2018년을 모의 연도로 하여, 2018년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지의 1시간 단위 강우자료를 이용하여 연 단위 결과를 모의하였다. 모의 결과 시나리오별 직접유출량은 LID적용전 21,722 m³/year이었으며, RG가 6,051 m³/year로 LID적용전 대비 82.73% 저감된 것으로 나타났고, BRC는 6,051 m³/year로 LID적용전 대비 72.14% 저감된 것으로 나타났으며, BRC-D75와 BRC-D150은 5,910 m³/year와 5,193 m³/year로 나타나 LID적용전 대비 각각 72.79%, 76.09% 저감된 것으로 나타났다(Figure 7). 침투유량으로 보았을 때 LID적용전 결과는 0.196 m³/sec이었으며, RG가 0.130 m³/sec로 LID적용전 대비 33.67% 저감된 것으로 나타났고, BRC는 0.074 m³/sec로 62.24% 저감된 것으로 나타났으며, BRC-D75와 BRC-D150은 0.075 m³/sec와 0.065 m³/sec로 나타나, 각각 61.73%, 66.84% 저감된 것으로 나타났다(Table 5). 즉, 식생형 시설에 의해서 연간 총 직접유출량 및 침투유량 저감 효과를 기대할 수 있는 것으로 보인다. 또한, 식생형 LID시설 중 빗물정원이 생태저류장치

에 비해서 직접유출량 저감효과가 큰 것으로 모의되었으며, 이와 반대로 침투유량 저감효과는 상대적으로 작은 것으로 모의되었다. 이는 식생형 LID시설에 대한 효과 분석 시, 설계 단면에 맞는 SWMM LID 기법을 선택하여야 함을 나타낸다. 유공관에 의한 직접유출량 효과를 보면, BRC-D0, BRC-D75, BRC-D150의 침투유량과 연간 직접유출량이 각각 0.074 m³/sec, 0.075 m³/sec, 0.065 m³/sec와 6,051 m³/year, 5,910 m³/year, 5,193 m³/year로 유공관의 깊이가 바닥면에서 높을수록 직접유출량 저감 효과가 좋은 것으로 나타났다. BRC와 BRC-D0, BRC-D75, BRC-D150의 연간 직접유출량 차이를 보면 최대 858 m³/year까지 차이가 발생하였다. 유공관을 설치하지 않은 조건인 BRC와 유공관을 설치한 BRC-D0의 결과를 비교하면, 침투유량 및 연간 직접유출량이 모두 동일하게 나타났으며, 이는 유공관을 설치하더라도 지표면에서 멀리 위치하거나 또는 침투가 일어나는 토양층과 가깝지 않다면 직접유출 저감 효과를 기대할 수 없는 것으로 보인다. 이러한 결과는 유공관의 높이가 낮으면 저류층에서 충분히 저류·침투되지 못하고 배수되기 때문에 이러한 차이가 나타나는 것으로 보이며, 유공관의 설계 시 높이 조건 역시 충분히 고려하여야 효과를 극대화할 수 있을 것으로 보인다.

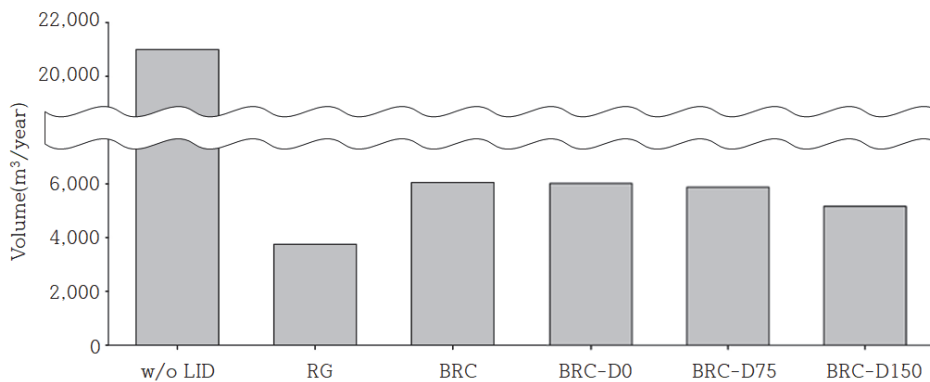


Figure 7. Simulation results of total runoff volume

Table 5. Simulation results summary

Category	w/o LID	RG	BRC	BRC-D0	BRC-D75	BRC-D150
Peak flow(m ³ /sec)	0.196	0.130	0.074	0.074	0.075	0.065
Peak flow Reduction efficiency(%)	-	33.67	62.24	62.24	61.73	66.84
Total direct runoff volume(m ³ /year)	21,722	3,751	6,051	6,051	5,910	5,193
Total direct runoff Reduction(%)	-	82.73	72.14	72.14	72.79	76.09

IV. 결론

본 연구에서는 국내에서 적용되고 있는 LID 식생형시설 인 빗물정원 및 생태저류장치에 대한 정확한 시설 단면 조건이 적용되는 것이 아니라, 혼용되어 효과분석이 이루어지고 있는 상황으로 시설의 단면 조건이 충분히 반영되고 있지 않는 것으로 보인다. 이에 SWMM 모형을 이용하여 빗물정원 및 생태저류장치에 대한 설계 조건을 다양하게 하여 직접유출량 저감효과를 분석하였다.

빗물정원 및 생태저류장치에 대한 설계는 환경부 비점 오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼(환경부, 2020), 저영향개발기법 설계가이드라인(환경부, 2016), SWMM 5.2 User's manual(U.S EPA, 2022)에 근거하였으며, 생태저류장치에 유공관을 적용하는 경우에 대해서는 유공관의 깊이를 빗물저장소의 바닥을 기준으로 0 mm, 75 mm, 150 mm로 하여 연간 직접유출량 및 침투유량의 변화에 대해서 분석하였다. 빗물정원의 경우 연간 직접유출량 저감이 82.73%로 가장 큰 것으로 예측되었으며, 다양한 조건의 생태저류장치도 약 72% 이상의 저감 효과를 기대할 수 있는 것으로 예측되었다. 본 연구의 주된 목적인 식생형시설의 설계 조건에 따른 직접유출량 저감 효과를 보면, 유공관을 설치하지 않는 것보다 유공관을 설치하는 것이 침투유량 및 연간 직접유출량을 약 5% 더 감소시킬 수 있는 것으로 예측되었기 때문에 식생형시설에 유공관을 함께 설치하는 것은 타당한 것으로 판단된다. 그런데 이 유공관의 위치에 따라 직접유출 저감 효과가 달랐는데 지표면에서 가까운 수록 침투유량 및 직접유출량 저감 효과가 좋은 것으로 나타났다. 즉, 직접유출 효과를 높이기 위해 LID를 설계하고 현장에 시공할 때에 유공관을 추가로 계획할 때에는 부가적인 비용이 발생하나, 만약 유공관의 위치에 대한 충분한 고려가 이루어지지 않는다면 그 효과를 기대할 수 없는 것으로 판단된다. 환경부의 LID시설에 대한 가이드라인을 살펴보면 대상지역을 고려한 시설에 대한 규모, 표면층, 저류부, 침투부에 대한 깊이와 토양 속성에 따른 공극 및 침투속도, 수목선정 등을 고려하도록 되어있다. 비점 오염원 관리사업의 경우 사업의 효과에 대한 분석을 필수로 하고 있는데, 연구결과로 미루어볼 때 모델링을 이용한 효과 분석단계에서 식생형 시설의 설계단면에 따른 속성이나, 유공관 높이 등에 따라 효과가 달라질 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 국내에서 설계 및 시공되고 있는 다양한 저영향개발기법에 대한 설계 기준에 이러한 상세한 내용이 제시되어야 할 것으로 보인다.

본 연구에서는 식생형 LID시설 중 빗물정원과 생태저류장치에 대한 설계 조건에 대해 조사하여 제시하였으며, 빗물정원과 생태저류장치에 대한 비교와 유공관에 따른 효과를 분석하였다. 그러나 설계 시 식생수로, 나무여과상자, 옥상녹화 등 다른 식생형 시설과 침투도랑, 투수성 포장 등의 침투형 시설도 많이 적용되고 있어, 이 기법들의 속성에 대한 연구가 필요하며, 동시에 각 기법에 대한 초기 설치비용, 유지관리비용, 기대수명, 설치 위치 등을 종합적으로 판단하여 경제성을 함께 고려할 필요도 있다.

References

1. Andong, 2018, Report on the basic plan for the water circulation leading city in Andong, pp.1-349.
2. Busan, 2020, Eco delta city T/K report, pp.70-76.
3. D. N. Moriasi, M. W. Gitau, N. Pai, P. Daggupati, 2015, Hydrologic and Water quality Model: Performance measures and evaluation criteria, American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), 58(6) pp.1763-1785.
4. Gimhae, 2019, Basic and detailed design of Zelmi village green infrastructure paper, pp.1-246.
5. Jeonju, 2016, Basic and detailed design of Deokjin watershed green infrastructure paper, pp.1-328.
6. Jung, J.S., Jung K.W., Kang, S.M., Hyun, K.H., 2018, Evaluation of Water Cycle improvement in LH Institute Using SWMM-LID Model, Journal of Korean Society on Water Environment, 34(3), pp.308-315.
7. Jung, K.W., Jung, J.S., Park, J.S., Hyun, K.H., 2017, Application of SWMM for Reduction of Runoff and Pollutant Loading in LID Facilities, LHI Journal of Land and Housing Research Institute, 8(4), pp.249-256.
8. Kim, B.Y., Lee, B.Y., 2019, Integrated Planning System for Low-Impact Development, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 19(3), pp.15-28.
9. Kim E.S., 2020, Analysis of Runoff According to Application of SWMM-LID Element Technology (I): Parameter Sensitivity Analysis, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 20(6), pp.437-444.
10. Kim, J.H., Choi, S.W., Joo, J.G., 2017, EPA SWMM-LID Modeling for Low Impact Development, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 17(2), pp.415-424.

11. Lee, J.M., Hyun, K.H., Lee, Y.S., Kim, J.G., Park, Y.B., Choi, J.S., 2011, Analysis of Water Cycle Effect by Plan of LID-decentralized Rainwater Management Using SWMM-LID Model in a Low-carbon Green Village, LHI Journal of Land and Housing and Urban Affairs 2(4), pp.503-507.
 12. Ministry of Environment (ME), 2016, Low-Impact Development design Guideline, Ministry of Environment, pp.1-116.
 13. Ministry of Environment (ME), 2019, White paper on zero rainwater runoff pilot project, Ministry of Environment, pp.19-42.
 14. Ministry of Environment (ME), 2020, Manual for installation, maintenance, and operation of reduction facilities for non-point pollution, Ministry of Environment, pp.1-202.
 15. Ministry of Environment (ME), 2023, Environmental Geographic Information Service (EGIS), <http://egis.me.go.kr> (accessed Feb. 2024).
 16. Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V., 1970, River flow forecasting through conceptual models Part I-A discussion of principles, Journal of Hydrology, 10(3), pp. 282-290.
 17. Moon, J.H., Park, J.R., Kwon, S.C., Kim, J.M., Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 23(3), pp.33-40.
 18. Pyeongtaek, 2022, Pyeongtaek smart green city paper, pp.1-249.
 19. Rossman, L.A., 2010, Modeling Low Impact Development Alternatives with SWMM, J. Water Manag. Model., 6062, pp.167-182.
 20. Ramanarayanan, T.S., Williams, J. R., Dugas, W. A., Hauck, L. M., and McFarland, A. M. S., 1997, Using APEX to identify alternative practices for animal waste management, ASAE International Meeting, Paper 97-2209, pp.1-7.
 21. Shin, D.S., Park, J.B., Kang, D.K., Jo, D.J., 2014, An Analysis of Runoff Mitigation Effect Using SWMM-LID Mode for Frequently Inundated Basin, Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation, 13(4), pp.303-309.
 22. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2007, <http://www.lowimpactdevelopment.org>
 23. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2022, SWMM 5.2 User's Manual, U.S. Environmental Protection Agency, pp.290.
 24. Won, J.E., Seo, J.Y., Kim, S.D., 2021, Hydrologically Route-based Green Infra facilities assessment Model: Focus on Bio-retention cells, Infiltration trenches, Porous Pavement System, and Vegetative Swales, Journal of Wetlands Research, 23(1), pp.74-84.
 25. Yeon, J.S., Jang, Y.S., Lee, J.H., Shin, H.S., Kim, E.S., 2014, Analysis of Stormwater Runoff Characteristics for Spatial Distribution of LID Element Techniques using SWMM, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 15(6), pp.3983-3989.
-
- Received 27 April 2024
 - Finally Revised 26 May 2024
 - Accepted 31 May 2024