

저영향개발기법 설계 및 평가를 위한 LIDMOD3 개발

전지홍** · 서성철**

*국립안동대학교 환경공학과

**한국환경공단 수생태시설처

LIDMOD3 Development for Design and Evaluation of Low Impact Development

Ji-Hong Jeon** · Seong-Cheol Seo**

*Department of Environmental Engineering, Andong National University

**Aquatic Ecosystem Conservation Department, Environmental Management Corporation

(Received 15 May 2018, Revised 19 June 2018, Accepted 17 July 2018)

Abstract

In this study, the LIDMOD3 was developed to design and evaluate low impact development (LIDMOD). In the same fashion, the LIDMOD3 employs a curve number (NRCS-CN) method to estimate the surface runoff, infiltration and event mean concentration as applicable to pollutant loads which are based on a daily time step. In these terms, the LIDMOD3 can consider a hydrologic soil group for each land use type LID-BMP, and the applied removal efficiency of the surface runoff and pollutant loads by virtue of the stored capacity, which was calculated by analyzing the recorded water balance. As a result of Model development, the LIDMOD3 is based on an Excel spread sheet and consists of 8 sheets of information data, including: General information, Annual precipitation, Land use, Drainage area, LID-BMPs, Cals-cap, Parameters, and the Results. In addition, the LIDMOD3 can estimate the annual hydrology and annual pollutant loads including surface runoff and infiltration, the LID efficiency of the estimated surface runoff for a design rainfall event, and an analysis of the peak flow and time to peak using a unit hydrograph for pre-development, post-development without LID, and as calculated with LID. As a result of the model application as applied to an apartment, the LIDMOD3 can estimate LID-BMPs considering a well spatical distributed hydrologic soil group as realized on land use and with the LID-BMPs. Essentially, the LIDMOD3 is a screen level and simple model which is easy to use because it is an Excel based model, as are most parameters in the database. This system can be expected to be widely used at the LID site to collect data within various programmable model parameters for the processing of a detail LID model simulation.

Key words : LID-BMPs, LIDMOD3, Low impact development, Non-point source pollution, Storm water management

1. Introduction

저영향개발기법이란 자연의 물순환에 미치는 영향을 최소로 하여 개발하는 것을 의미(ME, 2013)하거나 홍수 및 수질오염 저감을 위한 우수의 침투, 저류, 물순환 체계를 고려한 토이용 기법(MOLIT, 2012)로 정의된다. 최초의 저영향개발기법은 개발지역의 수문학적 상태를 개발이전의 상태로 되돌리는 것을 목표로 하여 불투수면의 증가로 인한 홍수피해를 최소화하는 것을 목표로 하였으며(PGCo, 1999), 최근 들어서는 강우유출수와 함께 유출되는 비점오염물질 부하량을 저감시키거나 비점오염물질 발생빈도를 감소시키는 목적으로 저영향개발기법이 적용되고 있어 환

경학적 측면에서도 주요 관심을 받고 있다. 이에 발맞추어 제2차 비점오염원관리 종합대책의 도시분야 대책에 저영향개발기법 적용확대를 포함하고 있으며(Prime Minister's Office and Ministry of Environment, 2012), 환경영향평가 시 저영향개발기법 적용 매뉴얼과 환경영향평가서 작성 등에 관한 규정을 마련한바 있다(ME, 2016).

저영향개발기법 적용을 위한 Low Impact Development (LID) 기술요소에는 식생수로, 나무여과상자, 투수성포장, 식생체류지 등과 같은 다양한 요소들이 있으며 어떠한 기술요소를 어떻게 배치하느냐에 따라 저영향개발기법에 의한 유출량과 비점오염물질 저감효과에 영향을 준다. 선행 연구에 따르면 토양의 배수상태에 따라 LID 기술요소별 유출량 저감효과가 상이한 것으로 나타나 토지배수상태에 따라 적합한 LID 기술요소 선정이 필요하며(Jeon et al., 2009), 배수면적이 다른 다수의 식생체류지를 개별적으로 운영할 경우보다는 식생체류지간 연결할 경우 유출량 저감 효과가 더 큰 것으로 보고하고 있다(Jeon et al., 2016). 따라서 저영향개발기법의 효율적인 적용을 위해서는 저영향

* To whom correspondence should be addressed.
jhjeon@andong.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

개발기법의 효과를 평가할 수 있는 모형적용이 필요하다.

도시 우수해서의 대표적인 상세모형인 SWMM은 버전5.0부터 LID를 모의할 수 있도록 수정되었다. SWMM 5.0은 국내에서도 저영향개발기법 평가를 위하여 적용된 바 있으며(Cho et al., 2013; Kim and Jeon, 2015), SWMM을 기반으로 하여 비용분석을 통한 최적의 LID 기술요소 제원을 결정할 수 있는 SUSTAIN이 적용된 바 있다(Jeon et al., 2014; Lee et al., 2013). SWMM 모형은 상세모형으로 보다 상세한 다량의 입력자료를 필요로 하며 입력자료가 불확실하거나 검·보정의 과정을 거치지 않을 경우 모의결과의 불확실성이 높다(Shoemaker et al., 1997). 저영향개발기법은 개발이전의 설계단계에서 개발이후에 대한 평가가 이루어져야 하기 때문에 토지피복의 구성 및 배치, 우수관거의 제원 및 배치 등과 같은 상세모형에 필요한 입력자료 획득이 어려운 경우 단순한 모형 적용 또한 빈번하게 이루어지고 있다. PGC0 (1999)는 개발 전·후의 직접유출량을 유출곡선지수방법(NRCS-Curve number method)을 이용하여 개발에 의한 직접유출량 증가량을 계산하고 이를 토대로 LID 기술요소의 저류용량을 산정하는 방법을 제시하였다. Sample et al. (2001)은 LID-기술요소별 CN값을 할당하여 유출곡선지수방법에 의해 저영향개발기법의 유출량 저감효과를 분석하였으며, Liu et al. (2015)는 유출곡선지수방법에 의해 개발 전·후의 직접유출량을 산정하고 각 LID-기술요소별 연평균 직접유출량과 비점오염물질 저감효율을 할당하여 저영향개발기법의 효과를 분석할 수 있는 LID-LTHIA모형을 개발한바 있다.

LIDMOD2는 마이크로소프트사의 엑셀프로그램을 기반으로 LID적용에 따른 직접유출량 및 비점오염물질 저감효과를 분석하기 위해 개발된 Site Evaluation Tool (SET)모형(Tetra Tech, Inc, 2005)을 일별 유출량을 산정하도록 수정한 LID평가 모델이다(Jeon et al., 2010). LIDMOD2는 경기도 용인시의 모현 도시개발지역(Kim et al., 2011)과 세종시 6생활권(Kang and Lee, 2017), 안동시청(Jeon et al., 2015), 수변지역 도시재생구역(Kim and Choi, 2013)을 대상으로 LID 적용시 유출량 및 비점오염물질 부하량 저감효과를 분석한바 있다. KEI (2014)는 LIDMOD2를 이용하여 부산광역시 사상구의 새밭마을과 해운대구 필봉오름마을을 대상으로 기후변화 적응형 공간계획에 따른 LID 효과를 분석한바 있다.

본 연구는 기존의 개발된 LIDMOD2의 단점을 보완하여 모의 결과에 대한 정확성을 높이기 위해 LIDMOD3를 개발하였으며 서울특별시 강남구에 위치한 아파트 단지를 대상으로 저영향개발기법을 적용에 따른 유출량 저감효과를 분석하여 적용성을 평가하였다.

2. Materials and Methods

2.1 LIDMOD3 기본이론

2.1.1 유출량 예측

LIDMOD3는 유출곡선지수방법에 의해 설계강우량과 연

간 일별강우량에 의해 유출량을 산정하며 유출량 계산은 식 (1)~(5)과 같다.

$$P = Q + I_a + F_a \quad (1)$$

$$\frac{F_a}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (2)$$

$$I_a = 0.2S \quad (3)$$

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (4)$$

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (5)$$

여기서, P 는 강우량(mm), Q 는 직접유출량(mm), I_a 는 초기손실량(mm), F_a 는 실제 침투량(mm), S 는 최대잠재보유수량(mm)이다.

LIDMOD2는 연구대상지역의 전체 토양배수상태의 비율을 입력하면 각 토지이용과 LID 기술요소에 동일한 비율로 할당하여 유출량을 계산한다. 저영향개발기법은 토양의 배수상태에 영향을 받기 때문에 LIDMOD3에서는 토지이용별·LID 기술요소별 토양배수상태를 개별적으로 할당하여 직접유출량을 계산하도록 개선하였다. 또한, LIDMOD2에서는 토양배수상태에 따라 동일한 연간 침투량과 LID 기술요소별 연간침투비율을 할당하여 연구대상지역의 연간침투량을 계산하였으나 LIDMOD3에서는 개별 토지이용에서의 침투량은 식 (2)와 (3)을 실제 침투량(F_a)에 대하여 정리한 식 (6)에 의해 일별 침투량을 계산한다. 이에 따라 LIDMOD3에서는 LID 기술요소별 침투량은 일별 시설로 유입되는 유량과 기술요소 원지반의 침투율에 의한 침투량 중 작은 값을 일별 침투량으로 계산함으로써, 연간 일별 강우패턴과 LID 기술요소별 유입유량과 저류용량에 따라 침투량을 계산하도록 개선하였다.

$$F_a = \frac{S \cdot Q}{P - 0.2S} \quad (6)$$

2.1.2 부하량 산정

부하량 산정은 유출지수곡선식에 의해 계산된 토지피복별 직접유출량에 유량가중평균농도(Event mean concentrations, EMCs)를 곱하여 계산하며 부하량 예측 항목으로는 TSS, BOD, T-N, T-P이다. 부하량 계산방법은 LIDMOD2와 동일하다(Jeon et al., 2010).

2.1.3 LID 기술요소 처리효과

LIDMOD2의 LID 기술요소별 처리효과분석은 기존의 SET 모형의 계산방식을 그대로 준용하였으나 기술요소별 연간 처리효율을 할당함으로써 LID 기술요소의 처리용량에 상관없이 동일한 처리효과를 나타내었다. LIDMOD3에서는 연구대상지역을 최대 10개의 배수구역으로 구분하고 기술요소별 물수지를 식 (7)에 의해 분석한다.

$$\frac{dV}{dt} = V + I_{da} + P - E_T - I_{BMP} \quad (7)$$

여기서, dV/dt 는 일별 LID 기술요소 유량변화(m^3/day), V 는 전날 저류용량(m^3/day), I_{da} 는 배수구역에서의 강우시 LID 기술요소로 유입되는 유입량(m^3/day), P 는 LID 기술요소로 직접 유입되는 강우량(m^3/day), E_T 는 증발산량(m^3/day), I_{BMP} 는 LID 기술요소에서의 침투량(m^3/day)이다. 침투량이 남아 있는 저류용량보다 클 경우 남아 있는 저류용량 만큼 침투하며, 옥상녹화는 구역에서의 유입과 토양내의 침투가 없어 I_{da} 와 I_{BMP} 는 없는 것으로 하였다.

시설별 저류(지하침투)에 의한 부하량 저감량은 배수구역에서의 부하량에 연간 LID가 설치되지 않는 개발 후의 부하량에 유출량저류효율을 곱한 식 (8)에 의해 계산되며, 배수구역별 LID 기술요소의 저류용량 이상의 유입량이 발생하여 LID 기술요소에서 유출이 발생할 경우 저류 후 유출 부하량에 시설별 처리효율을 곱한 식 (9)에 의해 LID 기술요소내 침전/필터 등과 같은 처리에 의한 부하량 저감량을 산정한다.

$$R_S = L_{DA} \times E_S \tag{8}$$

$$R_T = L_{DA}(1 - E_S) \times E_T \tag{9}$$

여기서, R_S 는 저류에 의한 부하량 저감량, L_{DA} 는 배수구역에서의 부하량, E_S 는 저류에 의한 유출량저감효율, R_T 는 LID 기술요소의 수질처리에 의한 부하량 저감량, E_T 는 침전/필터에 의한 시설별 수질저감효율이다.

식생여과대의 주요 오염물질 제거 메커니즘은 식생여과대 내에서의 여과이며 식생여과대 폭이 오염물질의 제거효과에 영향을 미친다. 식생여과대의 수질개선효율은 SET모형에서 제시한 식생여과대 폭에 따른 제거효율(Desbonnet et al., 1994)공식을 국내에서 실제 모니터링에 의한 식생여과대의 제거효율(Lee, 2008)과 비교하여 계수를 수정한 식 (10)~(13)을 적용하였다(Table 1). 이때 기존의 공식이 과대평가된 경우에는 최대저감효율을 조절하여 실측치와 유사하게 조정하였으며, 과소평가된 경우에는 기존의 공식을 그대로 사용하여 식생여과대에 의한 과대평가를 최소화 하였다.

$$E_{TSS} = \frac{8.0769 \ln(W) + 36.323}{82.4} \times 70 \text{ Max.} = 70\% \tag{10}$$

$$E_{TN} = \frac{10.928 \ln(W) + 23.586}{85.9} \times 40 \text{ Max.} = 40\% \tag{11}$$

Table 1. Comparison of the pollutant removal efficiency of the observation and calculation by a vegetative filter strip with a 20 m width

	Removal efficiency (%)			
	BOD	TSS	T-N	T-P
Observed*	41	59	40	27
Calculated	41	60	40	24

* Lee (2008)

$$E_{TP} = \frac{10.693 \ln(W) + 20.851}{81.8} \times 30 \text{ Max.} = 30\% \tag{12}$$

$$E_{BOD} = \frac{9.502 \ln(W) + 29.955}{84.1} \times 50 \text{ Max.} = 50\% \tag{13}$$

여기서, E 는 수질처리효율, 아래첨자는 수질항목, W 는 식생여과대 폭(ft), Max.은 최대 저감효율이다.

2.1.4 단위유량도

단위유량도는 유역전체에 균일하게 내린 유효우량(직접 유출고) 1 cm로 인한 직접유출수문곡선을 의미하며, 단위유량도를 통해 저영향개발기법에 의한 침투유량 저감효과와 침투유량 발생의 지체시간을 평가할 수 있다. 단위유량도 작성법에는 다수의 방법이 제시되어 있으나, LID 기술요소를 고려할 수 있는 단위유량도 작성방법 적용해야 된다. Sample et al. (2001)은 LID 기술요소별 CN 값을 할당한 점을 고려하여 LIDMOD3에서의 단위유량도는 SCS 합성단위도법(USDA, 1972)을 사용하였다. 침투발생시간과 침투유량은 각각 식 (14)와 식 (15)에 의해 계산되며, 무차원 단위도의 시간비에 침투발생시간을 곱하고 유량비에 침투유량을 곱하여 SCS 합성단위도를 생성한다. LID 기술요소별 CN값을 할당하여 저영향개발기법 적용 후의 SCS 합성단위도를 생성하였으며, LID 기술요소별 CN값은 Table 2와 같다.

$$t_p = \frac{D}{2} + 0.008164L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} S^{-0.5} \tag{14}$$

$$Q_p = 2.08 \times \frac{A}{t_p} \tag{15}$$

여기서, t_p 는 침투유량 발생시간, L 은 흐름의 길이(m), CN 은 유출곡선지수, S 는 유역평균경사, D 는 유효유량의 지속시간(hr), Q_p 는 침투유량(m^3/sec), A 는 유역면적(km^2)이다. 흐름의 길이는 유역을 정사각형으로 간주하여 산정하였다.

2.2 LIDMOD 적용

2.2.1 사례연구지역

서울특별시 강남구 대치동에 위치한 R아파트를 대상지역으로 하여 LIDMOD3의 적용성을 평가하였다(Fig. 1). 전체면적은 71,674 m^2 이며 이 중 투수면이 64%, 불투수면이 36%를 차지하고 있으며 불투수면 중 인도(18%), 지붕(13%), 도로(2%), 놀이터(2%), 테니스코트(1%) 순이었다

Table 2. CN value of the LID-BMP (Sample et al., 2001)

LID-BMPs	Hydrologic soil group			
	A	B	C	D
Greenroof	85	85	85	85
Porous pavement	70	80	85	87
Other LID-BMPs	15	20	35	40

Table 3. Hydrologic soil group and land use classification of a study area (m²)

Classification		Hydrologic soil group		
		A	B	Total
Pervious	Lawn	16,617	29,155	45,772 (64%)
	Tennis court	0	770	770 (1%)
Impervious	Rooftop	2,940	6,641	9,581 (13%)
	Playground	0	1,174	1,174 (2%)
	Driveway	1,148	574	1,722 (2%)
	Sidewalk	3,484	9171	12,655 (18%)
Total		24,189 (34%)	47,485 (66%)	71,674 (100%)



Fig. 1. Study area for the LIDMOD3 application.

(Table 3). 토양배수상태는 토양배수 B가 66%, A가 34%로 비교적 배수상태가 양호하였다(Table 2).

2.2.2 영향개발기법 적용 방법

저영향개발기법 적용 시나리오는 옥상에서의 강우유출수를 식생체류지에 유입시키고, 인도에 투수블록을 설치하도록 하였다. 투수블록의 경우 저류용량만큼 강우유출수가 유입되면 그 이상의 용량은 우수배제시설로 직접 유출되고 식생체류지의 경우 저류용량 이상의 용량은 침전/필터 효과없이 우수배제시설로 유출되는 것으로 가정하여 투수블

록과 식생체류지에서의 수질처리효과 없이 저류 후 침투에 의해 비점오염물질이 저감되는 것으로 가정하였다. 일반적으로 비점오염물질 저감 목적의 설계강우량은 24.5 mm (1 inch)가 주로 사용(PGCo, 1999)되어 본 연구에서의 식생체류지는 24.5 mm의 강우에 의한 유출수를 저류할 수 있는 용량으로 소요 면적을 산정하였다. 본 연구대상지역에서의 배수구분은 Fig. 2와 같이 4개의 배수구역으로 구분하였다. 아파트단지내 잔디에서의 강우유출수는 별도의 우수배제시설 없이 직접 인도로 유출되는 것으로 가정하여 배수구역 1(DA1)은 잔디의 유출수가 투수블록으로 유입되도록 하였다. 옥상유출수의 식생여과대 처리는 하나의 배수구역으로 모의할 수 있으나 원지반의 배수상태에 따라 식생체류지의 처리효과를 분석하기 위하여 토양배수등급 A, B에 따라 배수구역 2(DA2)와 3(DA3)으로, 그 외 LID 기술요소가 유입되지 않는 불투수면적은 배수구역4(DA4)로 구분하여 모의하였다.

3. Results and Discussions

3.1 LIDMOD3 개발

3.1.1 LIMDMOD3 구성

LIDMOD3은 General information, Annual precipitation, Land use, Drainage area, LID-BMPs, Cals-cap, Parameters, Results 시트로 구성되어 있다(Fig. 3~4).

General information에서는 기본적인 정보, 대상면적, 기울기, 설계강우량 등의 정보를 입력하며, Annual precipitation

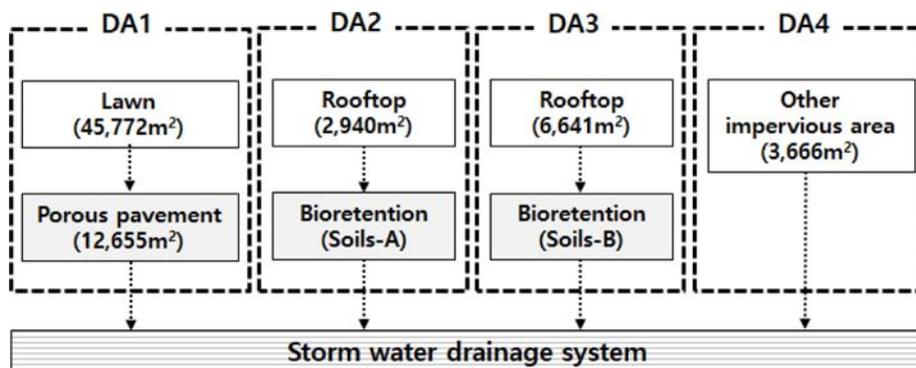


Fig. 2. LID scenario and the drainage areas.

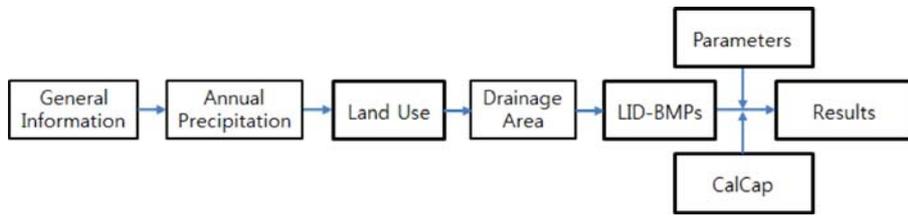


Fig. 3. The components of the LIDMOD3.

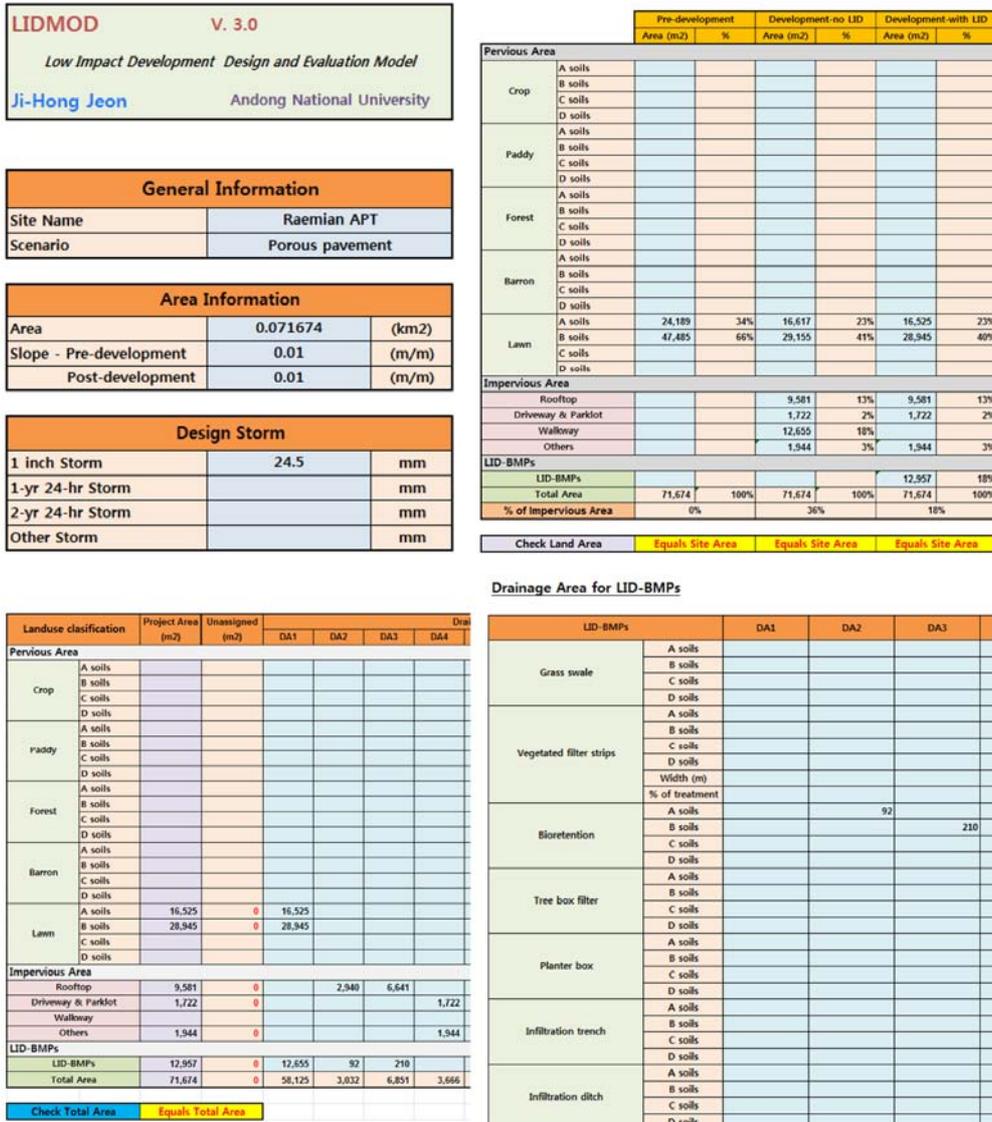


Fig. 4. Screen shots of the LIDMOD3.

에서는 연간 일별 강수량을 입력하는 시트이다. Land use에서는 개발전과 개발 후 저영향개발기법 미적용, 개발 후 저영향개발기법 적용시의 토양배수상태별 토지피복면적, LID-기술요소 면적 등을 입력하는 시트이다. Drainage area에서는 개발 후 저영향개발기법 적용시 배수면적에 따른 토양배수상태별 토지피복면적을 입력하는 시트이다. LID-BMPs는 LID 기술요소에 대한 정보를 입력하는 시트이며 설치될 기술요소의 토양배수상태별 면적과 LID 기술요소별 제원을

입력하면 각 배수구역별 LID 기술요소에 의한 저류용량을 계산한다. LID 기술요소의 저류용량은 저영향개발기법(LID) 설계 가이드라인(ME, 2016)을 준용하였다. LID 기술요소의 각 구성별 제원은 Recommended value와 User defined value로 구분하였는데, Recommended value는 전주시의 빗물유출제거화 단지조성(2단계) 시범사업에 실제 설치된 준공설계도를 참조하여 LID 기술요소별 제원을 입력한 값이며 User defined value는 실제 적용지역에 설치될 기술요소

의 제원을 사용자가 직접입력하는 값이다. 정확한 제원을 모를 경우 Recommended value를 참조하여 User defined value에 직접 입력하면 각 배수구역별 LID 기술요소의 저류용량이 산정된다. CalCap에서는 각 배수구역별 LID 기술요소에 의한 총 저류량과 단일 강우사상에 따른 배수구역에서의 유출량을 계산하여 비교하는 시트이다. 인도의 전면을 투수블록으로 설치하여 LID 기술요소의 면적이 고정될 경우 배수구역에서의 유출량과 LID 기술요소의 저류량을 일치시키도록 강우량을 변화시키면 이때 결정된 강우량은 강우처리량이 된다. 설계강우량에 대한 배수구역에서의 유출량을 저류할 수 있는 식생체류지의 면적을 결정하는 경우와 같이 강우처리량이 고정될 경우 배수구역에서의 유출량과 LID 기술요소의 저류량을 일치시키도록 LID-BMPs 시설의 면적을 변화시키면 이때 결정된 시설의 면적은 설계강우량을 처리하기 위한 필요면적을 결정할 수 있다. Parameters는 모형의 예측에 필요한 토지배수상태별 침투능, 유출곡선지수, 유량가중평균농도, LID 기술요소별 수질 처리효율 등을 국내 연구사례를 조사하여 데이터베이스한 시트로 사용자가 필요시 직접 모형의 입력값을 수정할 수 있다. 다만, 수질처리효율의 경우 LID 기술요소의 저류 후 침투에 의한 처리효율이 아닌 유·출입 후 농도저감에 의한 처리효율이다. Results는 모의결과를 다양한 표와 그림으로 표현한 시트로 연강수량과 단일 강우사상(설계강우량)에 대한 개발 전·후, 저영향개발기법 적용 전·후에 대한 수문분석과 비점오염물질 저감효과 등을 출력한다.

3.1.2 LIDMOD3 개선사항

기존의 LIMOD2와 비교한 LIMOD3의 개선사항은 Table 4와 같다. 기존의 LIMOD2는 연구대상지역 전체의 토양 배수상태에 대한 등급별 비율을 지정하면 모든 토지피복은 동일한 비율로 할당함으로써, 토양배수상태가 양호한 A등급을 대상으로 투수면 증가와 같은 비구조적 LID-BMP의 적용평가가 불가능하다. 이에 반해 LIDMOD3는 각각의 토지피복과 LID-BMP시설에 토양배수상태에 대한 등급을 개별적으로 할당할 수 있도록 개선함으로써 이를 고려할 수 있을 뿐만 아니라, LID-BMP시설의 침투능의 차이에 따른 유출량 저감효과 분석도 가능하도록 개선하였다.

LIDMOD2에서는 LID-BMP시설별 유출량 저감효율을 고정시켜 할당하기 때문에 시설별 저류용량의 크기와 연강우량에 상관없이 항상 동일한 저감효과를 나타낸다. LIDMOD3에서는 LID-BMP시설별 저류용량과 배수구역에서의 유입량, 일별 침투량과 증발산량 등을 고려한 물수지분석을 통해 유출량 저감효과를 분석하기 때문에 시설별 저류용량과

연강우량을 고려하여 유출량 저감효과를 계산할 수 있다.

LIDMOD2에서는 토양배수상태등급별 연간 침투량을 고정하고, LID-BMP별 침투율을 고정하여 계산함으로써 일별 강우분포와 상관없이 동일한 침투량을 계산한다. LIDMOD3에서는 NRCS-CN의 식 (6)을 이용하여 토양배수상태등급별로 계산하고 LID-BMP별 물수지 분석을 통하여 침투량을 계산함으로써 일별 강우분포를 고려하여 연간 침투량을 계산할 수 있다.

그 외, 각 LID-BMP 시설별 저류용량은 환경부의 ‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’에 준하여 계산하도록 하였으며 실제 설치된 제원을 초기값으로 제시하였다. 설계강우량에 따른 배수구역에서의 유출량과 LID-BMP의 저류용량을 비교하여 설계강우량을 저류할 수 있는 LID-BMP 면적을 설계할 수 있는 ‘CalsCap’ 탭을 추가하였으며, LIDMOD3에 사용되는 증발량과 토지피복별 CN값과 EMCs 등은 국내 연구결과값을 초기값으로 입력시켜 국내 적용시 신뢰성을 향상시켰다.

3.2 LIDMOD3 적용

3.2.1 강우처리량 및 소요면적

LID 기술요소 시설별 소요제원에 따른 단위면적당 저류량과 강우처리량, 소요면적은 Fig. 5~6과 같다. 식생체류지와 투수성포장의 소요 제원에 따른 단위면적당 저류량은 각각 0.632 m³/m², 0.064 m³/m²인 것으로 나타났다(Fig. 5). 인도에 투수블록이 설치되는 배수구역1(DA1)의 경우 투수블록이 37,965 m²를 설치할 경우 강우처리량이 50.7 mm인 것으로 나타났으며, 옥상에서의 유출수를 토양배수등급 A와 B에 식생체류지가 설치되는 배수구역2(DA2)와 3(DA3)의 경우 강우처리량 24.5 mm를 처리하는데 필요한 식생체류지의 면적은 각각 92 m²과 210 m²인 것으로 나타났다(Fig. 6). 투수블록이 식생체류지보다 단위면적당 저류량이 작음에도 불구하고 많은 저류용량을 나타낸 것은 별도의

Design LID-BMPs

Bioretention	Recommended Value	User defined Value	Description
d1	0.30	0.30	Ponded depth (m)
n1	0.2	0.2	Top soil porosity
d2	0.5	0.5	Top soil depth (m)
d3	0.6	0.6	Course gravel layer depth
n2	0.32	0.32	Course gravel layer porosity
Storage Vol (m ³ /m ²)	0.632	0.632	=As(d1+n1*d2+n2*d3)

Porous pavement	Recommended Value	User defined Value	Description
d2	0.2	0.2	Course gravel layer depth (m)
n1	0.32	0.32	Course gravel layer porosity
Storage Vol (m ³ /m ²)	0.064	0.064	=As(d1+d2*n1)

Fig. 5. Design LID-BMPs in a LID-BMPs sheet.

Table 4. Enhancement of LIDMOD3 as compared to LIDMOD2

	LIDMOD2	LIDMOD3
Hydrologic soil group (HSG)	Apply same ratio of HSG to land use.	Allocate different HSG ratio to each land use and BMP
Reduction rate of surface runoff	Apply same reduction rate of each BMP	Calculate reduction rate by water balance analysis for each BMP
Amount of infiltration in land use	Apply same infiltration rate of each HSG	Calculate amount of infiltration by NRCS-CN method for each land use type

DA	Captured rainfall (mm)	Storage Vol (m ³)	Inflow Vol (m ³)	Diff. (%)	Criteria (<1%)	DA area (m ²)	BMPs Area (m ²)
DA1	50.7	809.9	804.3	-0.7%	OK	58,125	210
DA2	24.5	58.1	58.3	0.2%	OK	3,032	92
DA3	24.5	132.7	131.7	-0.8%	OK	6,851	210
DA4			0.0			3,666	

Fig. 6. Captured rainfall and BMPs area in a CalCap sheet.

Annual Hydrology				
	Pre-development	Development without LID	Development with LID	LID Efficiency
Runoff Depth (mm/yr)	220	491	310	-37%
Infiltration Depth (mm/yr)	339	277	454	64%
DA analysis				
Runoff Depth (mm/yr)	DA1	DA2	DA3	DA4
No LID	381.0	977.0	977.0	977.0
With LID	212.2	611.9	644.6	977.0
Efficiency	44%	37%	34%	0%

Fig. 7. Annual hydrology analysis in a Results sheet.

설치부지 없이 인도 전면에 설치가 가능하기 때문에 보다 많은 면적에 적용가능하기 때문이다.

3.2.2 수문 및 부하량 분석

2017년 연간 강우량 1,233.2 mm에 대한 수문분석결과는 Fig. 7과 같다. 개발이전이 잔디라고 가정하였을 경우 연간 유출량과 침투량은 각각 220 mm/yr, 339 mm/yr이었으며, 현재 상태의 아파트단지가 설치된 경우 유출량 491 mm/yr, 침투량 277 mm/yr인 것으로 모의되었다. LID 기술요소를 설치할 경우 유출량 310 mm/yr, 침투량 454 mm/yr인 것으로 나타나 저영향개발기법에 의해 37%의 직접유출량 저감 효과와 64%의 침투량 증가효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 투수블록의 경우 연간 44%의 직접유출량 저감 효과를 기대할 수 있었다. 식생체류지의 경우, 수질처리를 위한 설계강우량 24.5 mm를 저류하는데 필요한 소요 면적은 불투수면의 3%를 필요로 하며 2017년 연간 강우량에 대하여 토양배수등급 A(침투량 9.54 mm/hr)와 B(침투량 5.71 mm/hr)에 식생체류지를 설치할 경우 각각 연간 37%와 34%의 유출량 저감효과를 기대할 수 있었다. 원지반의 토양

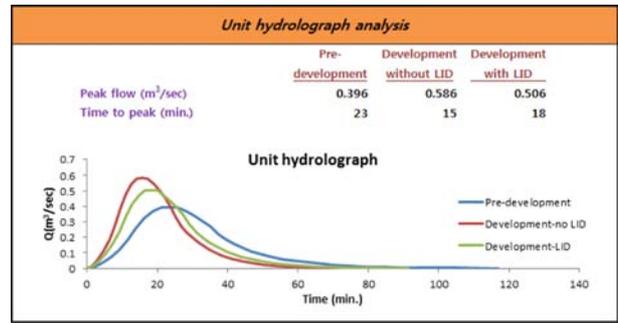


Fig. 9. Unit hydrograph analysis in a Results sheet.

배수등급 A와 B의 차이에 의한 연간 식생체류지에서의 직접유출량 저감효과 차이는 3%인 것으로 나타났다.

LID 기술요소내 연간 저류량의 변화는 Result에 직접 출력되지 않지만 LID 기술요소내 물수지를 분석하는 중간계산 단계의 시트내 결과를 이용하여 식생체류지의 원지반이 토양배수등급 A(BR-Soils-A)와 B(BR-Soils-B)인 저류심(단위면적당 저류량, m³/m²) 비교는 Fig. 8과 같다. 토양배수상태가 상대적으로 양호한 BR-Soils-A의 저류심이 BR-Soils-B와 비교하여 상대적으로 빨리 저하되는 것을 확인할 수 있다.

단위유량도에 대한 분석결과는 Fig. 9과 같다. 개발이전을 잔디라고 가정하였을 경우 침투유량과 침투유량 발생시간은 각각 0.396 m³/sec과 23분, 아파트 조성이후 0.576 m³/sec과 15분, 저영향개발기법이 적용된 아파트의 경우 0.506 m³/sec와 18분인 것으로 모의되었다. 저영향개발기법 적용을 통해 유효우량(직접유출량) 1 cm에 대하여 침투유량을 14% 저감시키고 침투유출발생시간을 3분 지체시킬 수 있는 것으로 나타났다.

연간 비점오염물질 부하량 분석결과는 Fig. 10과 같다. 개발전 잔디로 가정할 경우 연간 7.9 BOD kg/yr, 15.8 SS kg/yr, 11.1 T-N kg/yr, 0.2 T-P kg/yr의 부하량을 나타내었으며 아파트가 조성된 후 연간 128.9 BOD kg/yr, 963.9 SS kg/yr, 249.8 T-N kg/yr, 7.9 T-P kg/yr로 현저히 증가하는 것으로 나타났다. 저영향개발기법의 적용을 통해서 34%의 비점오염부하량 저감효과를 나타내었다. 수질항목별 동일한

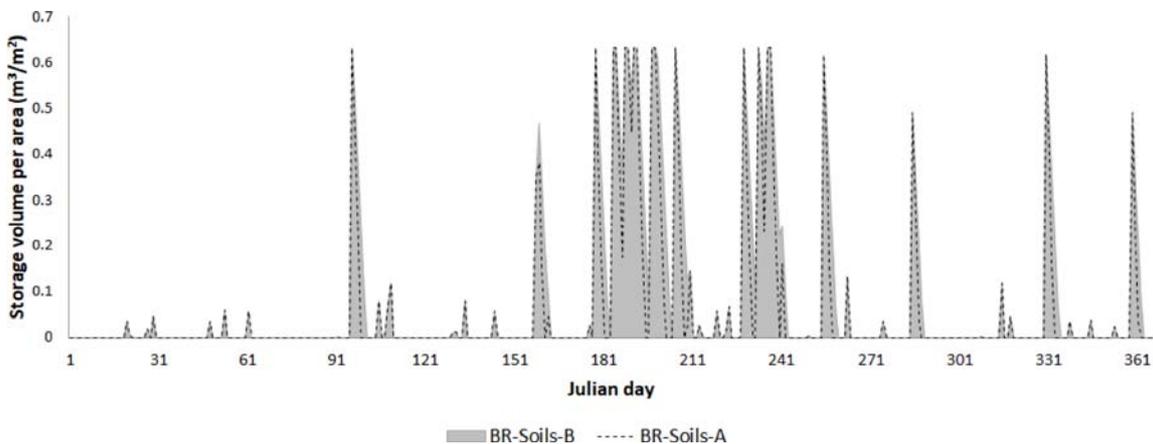


Fig. 8. Comparison of stored volume per area by bio-retention on a soil layer with hydrologic soil A group (BR-Soils-A) and B (BR-Soil-B).



Fig. 10. Annual Loadings analysis in a Results sheet.

저감효과를 보이는 이유는 LID 기술요소에 의한 비점오염물질 저감효과는 저류 후 침투에 의해 이루어지며 기술요소 내 침전/필터에 의한 수질처리효과가 없는 것으로 가정했기 때문에 유출량 저감효과와 동일한 처리효율을 나타내었다.

3.3 LIDMOD3 활용방안

LIDMOD3는 엑셀기반의 저영향개발기법을 평가할 수 있는 스크리닝 수준의 단순모형으로 비전문가라도 손쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다. 저영향개발기법은 개발이 이루어지기 전의 설계단계에서 LID 기술요소들을 개발지에 배치해야 하기 때문에 상세모형에 필요한 입력자료를 획득하기 어렵기 때문에 보다 높은 활용성이 예상된다. 따라서, 환경영향평가지 저영향개발기법을 권장하고 있어 LIDMOD3의 활용이 가능하다. 또한 개발지에 설치될 LID 기술요소들을 어떻게 배치하고 LID 기술요소들을 어떻게 연결하느냐에 따라 저영향개발기법의 효과에 영향을 주기 때문에 다양한 LID 기술요소 설계 시나리오에 대한 평가에 활용가능하다. 다만, 유량가중평균농도와 시설별 수질처리효율 등과 같은 모형의 입력자료는 국내 연구결과를 바탕으로 지속적인 데이터베이스의 업데이트가 이루어져야 보다 신뢰성 높은 모형결과를 기대할 수 있다.

환경부에서는 비점오염물질 저감을 위한 저영향개발기법의 적용을 확대하여 유역개념의 지속가능한 물순환 체계 구축을 통하여 유역전반의 수질, 수량, 수생태계 건전성을 확보하고자 불투수면 관리제도를 도입하여 유역별 물순환 관리목표를 설정할 계획에 있다. 불투수면 관리를 위해서는 토양의 배수상태를 반드시 고려해야 하며 대유역에서부터 소유역에 이르기까지 다양한 규모의 유역에 대한 평가가 이루어져야 할 것이다. 불투수면내의 토양배수상태를 고려하여 토양배수상태가 가장 양호한 불투수면을 선정하고 이 중 투수면으로 변환 가능한 불투수면을 우선순위로 선정된 후 투수면 변환에 따른 다양한 규모의 유역별, 행정구역별 유출량 저감 및 침투량 증가에 대한 평가에 있어서도 LIDMOD3의

활용성이 높을 것으로 판단된다.

4. Conclusion

본 연구에서는 저영향개발기법을 평가할 수 있는 LIDMOD2를 개선한 LIDMOD3를 개발하고 서울특별시 강남구에 위치한 아파트단지에 적용하여 적용성을 평가하였다.

엑셀기반의 LIDMOD3는 유출곡선지수식과 유량가중평균농도를 이용하여 단일설계강수량과 일단위의 연간강수량에 대하여 개발 전·후, 저영향개발기법 적용 전·후의 수문 및 부하량을 분석할 수 있는 모형이다. LIDMOD3는 유역 평균개념의 토양배수상태가 아닌, 각각의 토지이용상태별로 토양배수상태를 고려할 수 있도록 개선되었다. LID 기술요소별 체원에 따라 저류용량을 산정하고 일별 물수지 및 물질수지를 분석하여 연간 LID 기술요소에 의한 저류 후 침투에 의한 유출량 및 비점오염부하량 저감효과와 기술요소의 유출수 농도 저감에 의한 수질처리에 의한 비점오염부하량 저감효과를 구분하여 모의할 수 있었다. 연간 침투량의 경우 토지에서의 침투량은 유출곡선지수식을 활용하고 LID 기술요소에서의 침투량은 원지반의 침투량을 고려한 물수지 분석에 의해 산정함으로써 연간 강우패턴과 LID 기술요소별 특성(설치면적, 원지반 토양배수상태)을 반영할 수 있었다. 연구대상지역에 LIDMOD3를 테스트한 결과 개발 전과 LID 미적용 개발 후, LID 적용 개발 후 상태에 대한 연간 직접유출량과 침투량, 연간 비점오염물질(BOD, TSS, T-N, T-P) 부하량을 다양한 표와 그래프를 생성해 주었다. LID 기술요소 기준의 배수구역별 수문 및 비점오염부하량 분석결과를 표로 출력함으로써 배수구역별 저영향개발기법의 저감효과를 비교할 수 있었다. 본 연구에서는 LIDMOD3 적용을 통하여 투수성 블록에 의한 연간 유출량 저감량이 가장 많았으며 불투수면의 3%에 해당하는 식생체류지의 면적은 24.5 mm의 강우량을 처리할 수 있으며 식생체류지 원지반의 토양배수상태가 A와 B에서는 2017년의 강우조건시 연간 34~37%의 유출량 저감효과가 있다는 결론을 도출할 수 있었다.

LIDMOD3는 엑셀기반의 모형으로 모형의 입력값이 국내의 연구 혹은 적용사례를 통해 데이터베이스화되어 있어 비전문가라도 누구나 손쉽게 모형적용과 해석이 가능하다. LIDMOD3는 스크리닝 단계에 적용할 수 있는 단순모형으로, 개발이전의 상태에서 개발후의 저영향개발기법의 효과 분석을 실시할 경우 즉, 상세모형의 방대한 입력자료를 충분히 획득하지 못할 경우 적용성이 높으며, 비교적 짧은 기간내에 LID 기술요소들의 배치에 대한 다양한 시나리오 평가와 토양배수상태를 고려한 불투수면 관리시 스크리닝 수준의 효과평가에 활용 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

이 논문은 2017학년도 안동대학교 연구비에 의하여 연구되었습니다.

References

- Cho, S. J., Kang, M. J., Kwon, H., Lee, J. W., and Kim S. D. (2013). Evaluation of the Effectiveness of Low Impact Development Practices in an Urban Area; Non-point Pollutant Removal Measures using EPA-SWMM, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(4), 466-475. [Korean Literature]
- Desbonnet, A., Pogue, P., Lee, V., and Wolff, N. (1994). *Vegetated Buffers in the Coastal Zone: A Summary Review and Bibliography*, Coastal Resources Center, University of Rhode Island, RI.
- Jeon, J. H., Choi, D. H., Na, E. H., Park, C. G., and Kim, T. D. (2010). LIDMOD2 Development for Evaluation of LID/BMPs, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 36(3), 432-438. [Korean Literature]
- Jeon, J. H., Kim, J. J., Choi, D. H., Han J. W., and Kim, T. D. (2009). Guideline of LID-IMPs Selection and the Strategy of LID Design in Apartment Complex, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 25(6), 886-895. [Korean Literature]
- Jeon, J. H., Park, S. S., Park, C. G., and Kim, T. D. (2014). Evaluating Implementation of EPA SUSTAIN Model for Cost-effective LID Design, *Journal of Korean Society of Urban Environment*, 14(2), 135-143. [Korean Literature]
- Jeon, J. H., Seo, S. C., and Park, C. G. (2016). The Effect of Connected Bioretention on Reduction of Surface Runoff in LID Design, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 32(6), 562-569. [Korean Literature]
- Jeon, J. H., Yoon, Y. J., Lee, S. H., Cho, S. H., and Kwon, T. Y. (2015). Analysis of Reducing Nonpoint Source Pollution by Low Impact Development (LID) Application at Andong City Hall, *Proceedings of the 2015 Spring Co-Conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, 563-564. [Korean Literature]
- Kang, K. H. and Lee, K. H. (2017). The Development of Land Use Planning Technique Applying Low Impact Development and Verifying the Effects of Non-point Pollution Reduction : A Case Study of Sejong City 6 District, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 18(7), 548-553. [Korean Literature]
- Kim, D. H. and Choi, H. S. (2013). The Planning Process and Simulation for Low Impact Development(LID) in Waterfront Area, *Journal of Environmental Policy*, 12(1), 37-58. [Korean Literature]
- Kim, J. K. and Jeon, J. H. (2015). Study for Reduction of Rainfall Runoff and Pollution Load Using SWMM Model LID Module, *Proceedings of the 2015 Spring Co-Conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, 539-540. [Korean Literature]
- Kim, J. J., Kim, T., Choi, D., and Jeon, J. H. (2011). Design of Structural BMPs for Low Impact Development (LID) Application and Modelling Its Effect on Reduction of Runoff and Nonpoint Source Pollution: Application of LIDMOD, *Journal of Korean Society of Urban Environment*, 27(5), 580-586. [Korean Literature]
- Korea Environment Institute (KEI). (2014). *Spatial Planning Method and Application for Climate Change Adaption (II)*, Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Lee, B. S. (2008). *Water Quality Improvement and Nonpoint Source Pollution Control using Vegetative Filter Strips*, Master thesis, Seoul National University of Technology. [Korean Literature]
- Lee, J. H., Park, Y. K., Shin, H. S., Kim, J. S., and Kim, S. D. (2013). A Study on Applicability of SUSTAIN in a Korean Urban Catchment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(6), 730-738. [Korean Literature]
- Liu, Y., Ahablame, L. M., Bralts, V. F., and Engel, B. A. (2015). Enhancing a Rainfall-runoff Model to Assess the Impacts of BMPs and LID Practices on Storm Runoff, *Journal of Environmental Management*, 147, 12-23.
- Ministry of Environment (ME). (2013). *Guidelines for LID Technology Elements*, 11-1480000-001272-01, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2016). *The Guideline of Design of Low Impact Development*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2012). *Guidelines for Preparation of Hydrophilic Zones*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport. [Korean Literature]
- Prime Minister's Office and Ministry of Environment. (2012). *2nd Comprehensive NPS Management Plan*, 11-1480000-001222-01, Prime Minister's Office and Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Prince George's County (PGCo). (1999). *Low-impact development hydrologic analysis. Maryland: Department of Environmental Resources*, Prince George's County.
- Sample, D. J., Heaney, J. P., Wright, L. T., and Koustas, R. (2001). Geographic Information Systems, Decision Support Systems, and Urban Storm-water Management, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(3), 155-161.
- Shoemaker, L., Lahlou, M., Bryer, M., Kumar, D., and Kratt, K. (1997). *Compendium of Tools for Watershed Assessment and TMDL Development*, EPA841-B-97-006, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, USA. pp. 13-14.
- Tetra Tech, Inc. (2005). *Mecklenburg County Site Evaluation Tool-User's Manual and Guidance*.
- US dept of Agriculture (USDA). (1972). *National Engineering Handbook*, Section 4, Hydrology, Chapter 16, Hydrographs. Soil Conservation Service, Washington, D.C. USA.