

LID/BMPs 효과분석을 위한 LIDMOD2 개발

전지홍 · 최동혁 · 나은혜* · 박찬기** · 김태동†

국립안동대학교 환경공학과

*국립환경과학원 물환경연구부

**국립공주대학교 지역건설공학과

LIDMOD2 Development for Evaluation of LID/BMPs

Ji-Hong Jeon · Donghyuk Choi · Eun Hye Na* · Chan-Gi Park** · Tae-Dong Kim†

Department of Environmental Engineering, Andong National University

*Water Environmental Research Department, National Institute of Environmental Research

**Department of Rural Construction Engineering, Kongju National University

(Received 3 November 2009, Revised 11 February 2010, Accepted 18 February 2010)

Abstract

LIDMOD2 was developed for evaluation of low impact development (LID) and best management practice (BMP) by modification of Site Evaluation Tool (SET). The modification includes employment of SCS-CN method for annual runoff simulation, unit load method for annual pollutant loads simulation, and the method proposed by Korean TMDL for calculating pollutant reduction by BMPs. The CN values were updated with regionalized parameters within Nack-Dong River basin because these are important parameters for simulating hydrology. LIDMOD2 was tested by applying to Andong Bus terminal. As a simulation results, pollutant loads and surface runoff will be significantly increased by post-development without LID compared with those from pre-development. LID technique was simulated to efficiently reduce surface runoff and pollutant load and increase infiltration. LIDMOD2 is screening level tool and easy to use because LIDMOD2 is based on spread sheet and most of parameters are regionalized. LIDMOD2 was illustrate that it could evaluate LID well by summarizing and graphing annual hydrology, annual pollutant loading, and hydrograph for event storm. The calculation methods related with pollutant loads are employed from the guideline of Korean TMDL and it can be useful tool for Korean TMDL to evaluate the effect of LID/BMP on developing area.

keywords : Best management practice (BMP), Land protection, LIDMOD, Low impact development (LID), Storm water management, Urban hydrology

1. 서론

최근 들어 도시녹화는 저탄소 녹색성장과 함께 중요한 이슈가 되고 있다. 옥상녹화를 포함하는 도시녹화는 건물의 단열로 인한 에너지 절감효과, 도시열섬효과 감소, 도시홍수예방과 오염물질 유출저감효과를 기대할 수 있다. 특히, 시민들에게 쾌적한 녹지휴식공간을 제공해 주기 때문에 최근 들어 아파트 건설회사에서도 아파트단지의 녹화에 많은 관심을 모으고 있다.

수문·환경학적인 측면에서 도시녹화를 포함하여 투수율을 증대시킴으로써 도시유출수와 도시비점오염원을 저감시키는 기법을 low impact development(LID)라 한다(Department of Defense, 2004). LID는 비교적 최근에 제안된 기법으로 개발 단계에서 유출량과 오염물질부하량을 저감시킬 수 있는 BMPs를 설치하여 오염물질이나 유출량 발생을 원천적으로

저감시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. LID는 미국의 매릴랜드주 조지타운에서 제안된 방법으로 우리나라에서도 LID 개념을 도입하여 적용된 사례가 있다. 장충공원 주차장과 G-five Central Plaza, 서울특별시 강남구 성내동의 성내빌딩, 한국유네스코회관 에너지 저소비형 연구소 등의 옥상을 녹화함으로써 자연학습 및 휴식공간으로 사용되고 있다. 아파트 단지 조성에서도 LID 개념이 도입된 사례가 있었는데, 울산광역시 약산의 레미안 2, 3차 아파트에서는 투수성 포장설치하여 우수유출수를 저감시켰으며, 단지내 녹지공간 조성을 위해 수생비오톱과 육생비오톱이 조성되었다. 국내 몇몇 연구자에 의해서도 LID에 대한 연구가 수행되었다. 최지용(2004)은 유역의 효율적인 관리를 위해서 불투수층에 대한 지표법을 개발하고 제안하면서 LID에 대하여 소개한 바 있다. 현경학(2008)은 건전한 물순환 신도시 조성을 위하여 LID 도입에 대하여 제안하였으며, 김이형(2008)은 21세기 친환경 건설을 위하여 LID기술 도입을 제안한 바 있다.

LID 기법은 수문학적인 측면에서 제안된 기법이나, 비점

† To whom correspondence should be addressed.

tdkim@andong.ac.kr

오염원 관리 측면에서도 매우 유용한 기법이기 때문에 우리나라의 수질오염총량제에서도 그 적용성이 매우 높을 것으로 고찰한 바 있다(전지홍 등, 2009a). 수질오염총량제의 적용을 위해서는 LID 적용시 효과분석과 정량화가 반드시 이루어져야 한다. LID 모델링에 대한 연구도 수행된 바 있는데, 박준호 등(2008)은 SWMM을 이용하여 LID 적용시의 유출량 저감효과를 분석한 바 있다. 전지홍 등(2009a)은 매릴랜드주 프린스 조지 카운티에서 제안한 LID 적용시의 수문해석 방법(Prince George's County, 1999)을 모델화하여 LIDMOD1을 개발하여 LIDMOD1의 모의결과를 이용하여 LID 적용시 수질오염총량제에서 사용되는 원단위를 재계산하는 방법을 제안한 바 있으며, LIDMOD1을 이용하여 LID 설계시 토양 배수상태에 따른 투수성피복(나무식재, 잔디식재, 옥상녹화, 투수성 포장)선택 가이드라인을 제시하고 토지피복이 상이한 두 아파트 단지에 대하여 LID를 적용하였을 경우 유출량 저감효과를 분석한 바 있다(전지홍 등, 2009b). LIDMOD1은 개발 전후, LID 적용 미적용시 일별 계산단위의 장기간 유출량을 모의할 수 있는 모델로서, 유출량과 침투유량 조절을 위한 체류지와 저류지의 소요면적을 계산할 수 있는 장점이 있는 반면, 부하량 계산에는 한계가 있는 실정이다. 우리나라의 수질오염총량제도 있어서도 LID기법의 적용방법이 제안된 바 있으며(김태동 등, 2009), 그 적용성이 높을 것으로 판단된다. 따라서, 수질오염총량제도에 있어 LID 기법에 의한 비점오염원의 삭감량 인정을 위해서 수질오염총량제 적용을 위한 LID 모델개발이 절실한 시점이다.

본 연구에서는 미국의 Tetra Tech사에서 개발한 Site Evaluation Tool(SET)을 우리나라의 수질오염총량제도에 적용할 수 있도록 수정하여 적용함으로써 보다 합리적으로 LID 기법에 의한 비점오염 삭감량을 계산할 수 있는 모델을 소개하고자 한다.

2. 연구방법

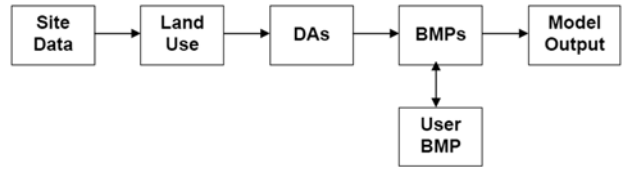
2.1. Site Evaluation Tool(SET)

2.1.1. SET 구성요소

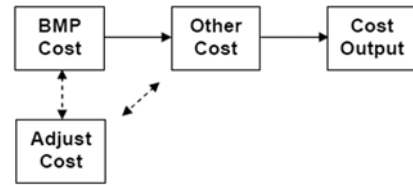
SET은 마이크로소프트사의 엑셀을 기반으로 하여 새롭게 개발될 지역의 목표수질을 만족시키기 위하여 BMPs/LID를 설계하고 평가하기 위하여 TETRA TECH사에서 개발한 모델이다. SET은 개발전·후, LID/BMPs 적용과 미적용시의 수문과 오염부하의 변화를 모의할 수 있으며, BMPs/LID 적용에 따른 비용계산 등과 같은 경제성 분석이 가능한 모델이다. 따라서 SET은 목표수질을 만족시키면서 가장 경제성 있는 BMPs/LID를 설계할 수 있는 스크리닝단계의 모델로서 개발계획을 승인하는데 사용이 가능한 모델이다(Tetra Tech, INC., 2005a). SET은 수문/수질 컴포넌트와 비용 컴포넌트로 구성되어 있으며 각 컴포넌트를 구성하는 요소는 Fig. 1과 같다.

2.1.2. 수문모의

SET에서 사용되는 연간 물수지는 식 (1)과 같다(Tetra Tech, INC., 2005b).



(a) Six sheets in the Hydrology/Pollutant Component



(b) Four sheets in the Cost Component

Fig. 1. Two main components and its sheets of the SET (Tetra Tech, INC., 2005b).

$$P = R + E + I_{SW} + I_{BMP} \quad (1)$$

여기서, P 는 연강수량, R 은 연유출량, E 는 증발산량, I_{SW} 는 연간 지하수 재충전량, I_{BMP} 는 BMPs를 통한 연간 지하수 재충전량이다.

연간유출량은 SIMPLE method를 이용하여 불투수층의 면적과 투수층의 면적비율에 의해 계산되며 그 식은 식 (2)와 같다(Tetra Tech, INC., 2005b).

$$R = 0.9 \times P \times \left(0.05 + 0.9 \times \frac{A_{imp}}{A_{tot}} \right) \quad (2)$$

여기서, A_{imp} 는 불투수층 면적, A_{tot} 는 전체면적이다.

강우에 의한 침투량과 BMP에 의한 침투량은 식 (3)과 식 (4)에 의해 계산된다(Tetra Tech, INC., 2005b).

$$I_{SW} = I_B \times m \quad (3)$$

$$I_{BMP} = R \times f_s f_i \quad (4)$$

여기서, I_B 는 연간 침투률(in/yr), m 은 표면의 타입을 기반으로 한 배율, f_s 는 BMP에 유입되는 배수구역에서 유출량 부분, f_i 는 연간 기준 침투 부분이다.

설계단일강수량에 대한 총유출량 모의는 SCS-CN법에 의해 계산되며 식 (5)와 같다(Tetra Tech, INC., 2005b).

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

여기서, Q 는 유출량, P 는 설계단일강수량이다.

설계단일강수량에 대한 침투유량산정은 합리식에 의해 계산되며 식 (6)과 같다(Tetra Tech, INC., 2005b).

$$q_p = CIA \quad (6)$$

여기서, q_p 는 침우유량, I 는 강우강도, A 는 유역면적, C 는 유출계수이다.

개발전후의 단위유량도는 SCS 단위도법에 의해 계산되어 그래프로 표현되며 식 (7)과 같다(Tetra Tech. INC., 2005b).

$$q(t) = q_p \left[\frac{t}{t_p} e^{\left(1 - \frac{t}{t_p}\right)} \right]^{3.7} \quad (7)$$

여기서, $q(t)$ 는 시간별 단위침두유량, q_p 는 단위유량도 면적의 3/8에 해당되는 침두유량, t_p 는 침두시간의 2/3, t 는 경과 시간이다.

2.1.3. 비점오염부하 모의

비점오염부하량은 총부하량에서 BMP에 의해 삭감된 양의 차이에 의해 계산되며 식 (8)과 같다(Tetra Tech. INC., 2005b).

$$L = L_R - L_{BMP} \quad (8)$$

여기서, L 은 유역에서의 총부하량, L_R 은 유역에서 강우시 발생하는 비점오염부하량, L_{BMP} 는 BMP에 의해 삭감되는 오염부하량이다.

강우시 발생하는 비점오염부하량은 총유량에 강우평균농도를 곱해서 계산한다(Tetra Tech. INC., 2005b).

$$L_R = RC_R A \quad (9)$$

여기서, C_R 는 강우평균농도이며 A 는 유역면적이다.

BMP에 의해 삭감되는 양은 각 BMP별 처리효율에 부하량을 곱해서 계산하며 식 (10)과 같다(Tetra Tech. INC., 2005b).

$$L_{BMP} = L_R E_i \quad (10)$$

여기서, E_i 는 오염물질별 BMP 처리효율이다.

2.2. 모델수정

보다 합리적인 모델결과와 우리나라의 수질오염총량제 적용을 위해서는 몇가지 모델수정을 필요로 한다. 다만 경제성 평가부분에 있어서는 각 LID/BMP 별 단가에 대한 정보가 부족한 관계로 수정을 하지 못하였다. 연간유출량은 식 (2)에 의해 투수층면적비율을 이용하여 계산된다. 이 방법은 투수층비율이 동일하면 토지피복상태나 토양배수상태에 상관없이 동일한 연유출량이 산정된다. 따라서, 보다 신

뢰성 있는 연유출량 산정을 위해서는 토지피복상태나 토양배수상태를 고려하여야 한다. 오염부하량은 식 (9)와 같이 연간유출량에 강우평균농도를 곱하여 구하지만 우리나라의 수질오염총량제를 고려할 경우에는 원단위법에 의해 구하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. SET를 우리나라에 적용할 수 있도록 수정해야할 사항은 다음과 같으며, SET를 수정한 모델을 LIDMOD2로 명하였다.

2.2.1. 연간 유출량 산정방법 개선

SCS-CN기법을 이용함으로써 토지이용상태와 토양배수상태를 고려할 수 있도록 모델을 수정하였다. 이를 위해서 연구대상지역의 과거 10년(1997~2006)동안의 일별 강수량 자료를 저장하는 Rainfall data sheet를 추가하였으며, 이를 바탕으로 토지이용별, 토양배수도별 일별 지표유출량을 SCS-CN기법으로 계산하는 CN1과 CN2 sheets를 추가함으로써, 과거 10년 동안의 연평균 유출량이 계산되도록 수정하였다. SCS-CN기법의 지표유출량 산정 공식은 식 (5)와 같다.

2.2.2. 연간 부하량 산정방법 개선

연간 오염물질 부하량 계산은 원단위법을 이용하여 계산하도록 수정하였다. 이를 위해서, 계산과정의 sheet 중 강우평균농도가 입력된 셀을 수질오염총량제의 원단위로 수정하였으며(Table 2), 부하량 계산에 있어서도 유출량과 강우평균농도를 곱해서 계산하는 기존의 방법에서 식 (11)과 같이 원단위와 각각의 토지이용도에 해당되는 면적을 곱하여 토지에서의 오염물질 부하량을 계산하도록 개선하였다.

$$L_R = L_{Unit} A \quad (11)$$

여기서, L_{Unit} 는 원단위이다.

2.2.3. 장치형 BMP 저감효율 개선

장치형 BMP에 의한 토지에서의 비점오염부하량 저감효과는 제2단계 수계오염총량관리지침에 의거하여 계산하도록 수정함으로써 우리나라의 수계오염총량제도에 적용가능하도록 하였다(국립환경과학원, 2008). 수계오염총량지침 저감효율계산 방법과 SET 저감효율계산 방법에서의 가장 큰 차이점은 삭감대상부하량을 결정하는 것이다. SET에서는 발생하는 모든 부하량이 장치형 BMP에 유입되는 것으로 가정하여 식 (10)에 의해 계산되나, 수계오염총량관리제도에서는 발생하는 모든 부하량이 처리시설로 유입되는 것이 아니고 발생부하량의 일부만 처리시설로 유입되어 처리되는 것으로 가정하며 식 (12)과 식 (13)에 의해 BMP에 의한 삭감부하량을 산정하며, Table 2는 BMP별 처리효율을 나타내고 있다.

Table 1. Unit loads of nonpoint source pollution used to LIDMOD2

	Upland	Paddy	Forest	Urban	Others
BOD (kg/km ² /day)	1.59	2.30	0.93	85.90	0.960
T-N (kg/km ² /day)	9.44	6.56	2.20	13.69	0.759
T-P (kg/km ² /day)	0.24	0.61	0.14	2.10	0.027

Table 2. Removal rates of BMPs. Values in parenthesis refer to average removal rates (Unit: %)

	BOD	TN	TP
Wet pond	43	31	52
Detention basin	25	24	20
Wetland	18	24	48
Porous pavement	60~90 (75)	83	65
Infiltration basin	50~80 (65)	55~60 (58)	60~70 (65)
Infiltration trench	50~90 (70)	42	50~90 (70)
Vegetated filter strips	0~50 (25)	0~27 (14)	0~40 (20)
Grassed swale	25	38	29
Filtering type	54	32	59
Swirling type	5~10 (8)	5~10 (8)	5~10 (8)
Screening type	20	10	20
Ultra rapid caogulation	80	20	85

$$L_{BMP} = L_T E_i \quad (12)$$

$$L_T = R_T L_R \quad (13)$$

여기서, L_T 는 삭감대상부하량이며, R_T 는 발생부하량 대비 처리대상강우에 포함된 부하량의 비(삭감대상부하비)이다.

삭감대상부하비는 비점오염저감시설의 설계기준 강우량(mm) 또는 설계기준 강우강도(mm/hr)로부터 강우배출비를 산정하고 이에 해당하는 삭감대상부하비를 산정하며 식 (14)와 식 (15)와 같다.

$$R_R = a \times \ln(Rain_i) + b \quad (14)$$

$$R_T = \exp[a \ln(R_R)^2 + b \ln(R_R)] \quad (15)$$

여기서, R_R 는 강우처리비이고, $Rain_i$ 는 설계기준강우, a 와 b 는 계수이며 Table 3과 Table 4에 의해서 결정된다.

Table 3. Coefficients for calculating the ratio of treated rainfall with design criteria

	a	b
Rainfall criteria (mm)	0.2716	-0.2425
Rainfall intensity criteria (mm/hr)	0.2445	0.3174

Table 4. Coefficients for calculating the ratio of targeted load for reduction by the ratio of treated rainfall

	BOD	TN	TP
a	-0.0184	-0.0030	-0.0018
b	0.6922	0.7509	0.7931

연중가동되는 비점오염저감시설의 삭감량은 시설별 유입량과 방류량 또는 유입량과 저감효율에 의하여 산정하며 식 (16)~(17)과 같다.

$$L_{BMP} = L_{in} - L_{out} \quad \text{또는} \quad L_{BMP} = L_{in} E_i \quad (16)$$

$$L_{in} = Q_{in} C_{in} \quad (17)$$

여기서, L_{in} 은 시설별유입부하량이며 L_{out} 은 시설별 방류부하량, Q_{in} 은 시설별설계유입유량, C_{in} 은 평균유입수질농도이다.

2.2.4. 오염부하량 항목 추가

우리나라의 수질에 있어서는 BOD항목이 중요하므로, SET모델의 TSS, TN, TP항목을 LIDMOD2에서는 BOD, TN, TP, TSS 모두 계산할 수 있도록 BOD 항목을 추가하였으며 모델 결과값을 출력하는 sheet에서는 BOD, TN, TP 항목만 출력하도록 하였다.

2.2.5. 토지이용구분 수정

투수층의 토지이용구분에 있어서 우리나라 환경부의 수질오염총량제 지목별 구분이 적용될 수 있도록 개선하였다. LIDMOD2에서 투수층 구분은 밭, 논, 잔디, 산림, 나지, 기타로 구분하였다.

2.2.6. 우리나라에 적용가능한 CN값 수정

LIDMOD2에서는 연간유출량과 침투유량 계산시 SCS-CN을 이용하기 때문에 우리나라에 사용이 가능한 CN값을 사용해야 한다. 이를 위해서, 전지홍 등(2009c)이 낙동강 유역을 대표하는 CN값을 도출한 바 있으며, LIDMOD2에서는 이 값을 이용하였으며 Table 5와 같다.

Table 5. CN values used to LIDMOD2

Land use	Hydrologic soil group			
	A	B	C	D
Residential area	89	93	94	95
Other urban area	93	95	96	97
Paddy field	69	79	86	89
Upland	69	83	91	94
Other crops area	69	83	91	94
Deciduous forest	37	59	68	73
Coniferous forest	45	71	82	89
Mixed forest	41	65	76	82
Pasture/Lawn	52	73	83	89
Open space	48	65	74	78

Source: Jeon et al. (2009c)

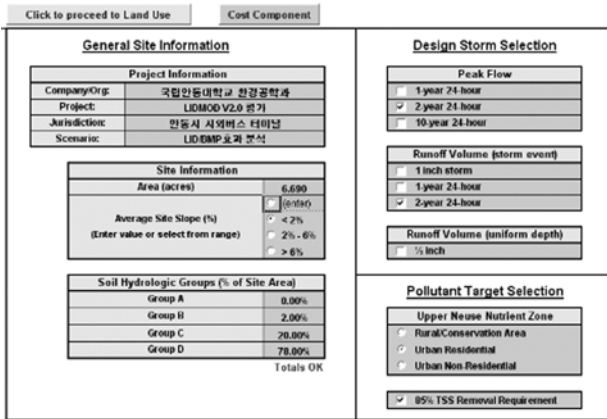


Fig. 2. LIDMOD2 initial sheet.

이렇게 수정된 LIDMOD2의 초기 화면은 Fig. 2와 같다.

2.3. 연구대상지역

연구대상지역은 경상북도 안동시에 조성될 안동시외버스 터미널을 대상으로 하였다(Fig. 3). 토지피복도와 토양배수도는 전지홍 등(2009a)이 사용했던 자료를 이용하였는데 개발 전·후의 토지피복상태는 Table 6과 같다. 개발이전의 토지이용상태는 대부분이 논(95%)이었으며, 개발이후에는 주차장이 가장 많은 비율(66%)을 차지하였으며 도로와 인도, 조경이 10%대의 비슷한 비율을 나타내었다(Table 1). 토양배수상태는 대체적으로 매우 불량한 상태로 D그룹이 전체면적의 78%, C그룹이 20%, B그룹이 2%를 차지하는 것으로 나타났다(Table 7). 연구대상지역의 과거 10년(1997~2006) 동안의 일별 강수량은 기상청의 자료를 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. LID 설계

본 연구에서의 LID의 기본적인 설계는 투수율을 증대하는 것으로 하였다. 따라서, 인도와 도로, 주차장을 투수층

Table 6. Land use of pre- and post-development

	Paddy	Driveways	Parking lot	Building	Sidewalks	Wood
Pre-development	25,623.5 (95%)	1,459.6 (5%)	-	-	-	-
Post-development	-	3,236.5 (12%)	17,856.4 (66%)	2,793.1 (10%)	478.3 (2%)	2718.8 (10%)

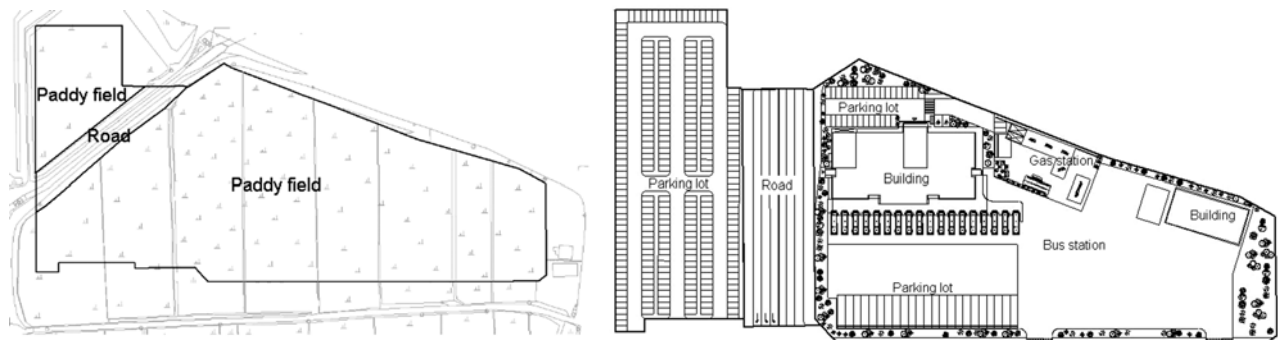


Fig. 3. Land cover for pre- and post-development (Jeon et al., 2009a).

Table 7. Hydrologic soil group at study area

	Curve number for hydrologic soil group			
	A	B	C	D
Percentage	-	2%	20%	78%

Table 8. LID design for study area (Unit: m²)

	Existing land use	Proposed land use	
		Without LID	With LID
Paddy field	25,623	0	0
Wood	0	2,719	2,719
Building	Green roof	0	2,643
	Impervious area	0	0
Parking lot	Pervious area	0	17,631
	Impervious area	0	0
Sidewalk	Pervious area	0	478
	Impervious area	0	0
Driveway	Pervious area	1,460	234
	Impervious area	0	3,003
Bioretention	0	0	225

포장을 하는 것으로 설계하였으며, 건물의 경우에는 옥상녹화를 실시하는 것으로 가정하였다. 다만, 고속주행이 이루어지는 도로의 경우에는 투수성 포장의 경우에는 주행 시 불편감을 유발시키기 때문에 Fig. 3에서 왼쪽에 조성될 주차장과 오른쪽에 조성될 터미널 사이의 도로는 기존의 아스팔트 포장을 하는 것으로 가정하였다. 추가적으로 왼쪽에 조성될 주차장에는 식생저류지(Bioretention)를 설치하는 것으로 가정하였는데, 저류용량은 저탄소 녹색도시 조성 시행 지침(토지주택연구원, 2009)에서 제안한 대지면적 5 mm에 해당하는 양인 34 m³을 저류량으로 하였으며, 소요면적은 저류용량에 Prince George's County(1999)에서 제안한 저류지의 한계수심 15.2 cm (6 in)를 나누어 식생저류지 소요면적 225 m²을 결정하였다. LID 설계결과는 Table 8과 같다.

Table 9. Probability precipitation at the Andong rain gage station

(Unit: mm)

	Return period							
	2-year	5-year	10-year	20-year	30-year	50-year	100-year	200-year
Rainfall	95.6	119.0	134.5	149.4	158.0	168.7	183.1	197.5

수문분석시 설계강수량의 경우에는 침투유량 분석에 있어서는 2년 빈도 24시간 강수와 10년빈도 24시간 강수를 이용하였으며, 강우사상별 총유출량 분석에 있어서는 2년빈도 24시간 강수를 이용하였다. 재현기간별 안동의 지속기간 24시간에 대한 확률강우량은 이정환(2007)의 연구결과를 활용하였으며 안동의 확률강우량은 Table 9와 같다.

3.2. LIDMOD 모의결과

3.2.1. 수문모의 결과

LIDMOD2에 의해 모의된 연간 수문분석 출력결과는 Table 10과 같다. 개발이전의 연간 유출량은 573.67 mm/yr, 연간 침투량은 212.91 mm/yr였으며, LID가 적용되지 않은 개발 후의 연간유출량은 1,068.61 mm/yr, 연간 침투량은 10.28 mm/yr로 지표유출이 증가하는 반면 현저히 감소하여 전형적인 도시화에 따른 수문변화를 나타내고 있다. 연구대상지역의 개발전의 토지피복은 논이기 때문에 담수로 인한 침투량이 다른 토지피복에 비해 높기 때문에 도시개발로 인한 침투량은 더욱 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 적용된 LID기법에 의한 연간 유출량과 연간 침투량은 각각 876.62 mm/yr, 61.13 mm/yr인 것으로 나타나 LID 적용에 의한 투수율 증가는 토양내로의 침투량 증가로 인하여 유역에서의 지표유출량을 효율적으로 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

설계강수량인 재현기간 2년 지속기간 24시간에 대한 총 유출량과 침투유량 모의 결과는 Table 11과 같다. 개발이전의 설계강수량에 대한 총 유출량은 1.895 m³이며, LID 미적용시의 총유출량은 2.356 m³인 것으로 나타났으며, LID/BMP 적용에 의한 저류량은 0.165 m³인 것으로 모의되었다. 설계강수량에 대한 침투유량 모의결과는 개발이전의 상태에서는 1.06 m³/sec인 것으로 나타났으며, LID 미적용시 개발이후에는 1.44 m³/sec인 것으로 모의되어 불투수층 증가에 따라 침투유량이 증가하는 것으로 나타났다. LID/BMP 적용시 침투유량은 0.81 m³/sec로 모의되어 도시화에 따른 침투유량을 효율적으로 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

3.2.2. 오염부하모의 결과

개발 전후에 따른 오염부하량 모의결과는 Table 12와 같다. 개발 이전 상태에서의 연간 TN, TP, BOD 부하량은 각각 69 kg/yr, 7 kg/yr, 67 kg/yr인 것으로 나타났으며 LID 미적용시 개발 후 부하량은 각각 124 kg/yr, 19 kg/yr, 765

Table 11. Runoff volume and peak flow for 2-yr 24-hour storm simulated by LIDMOD2

	Existing landuse	Design without BMPs	Design with BMPs
Runoff volume (m ³)	1.895	2.356	0.165
Peak flows (m ³ /sec)	1.06	1.44	0.81

Table 12. Annual pollutant load simulated by LIDMOD2

	Existing landuse	Design without BMPs	Design with BMPs
T-N	69	124	94
T-P	7	19	15
BOD	67	765	579

kg/yr인 것으로 나타나 개발 후 오염부하량이 증가하는 것으로 나타났다. LID 적용시 개발 후 오염부하량은 TN, TP, BOD 각각 94 kg/yr, 14 kg/yr, 579 kg/yr인 것으로 모의되어 오염물질 부하량을 효율적으로 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 영양물질의 경우에는 LID 적용에 따라 개발 이전의 상태까지 저감시킬 수 있었으나 BOD의 경우에는 여전히 개발이전의 상태보다 약 9배 정도 증가하는 것으로 나타났는데 이는 우리나라 수질오염총량제에서 적용되는 지목별 원단위를 살펴보면 논과 대지의 경우에는 영양물질은 대지가 논에 비해 약 2~4배 정도 많은 부하를 나타내지만, BOD의 경우에는 대지가 논에 비해 약 40배 정도 높은 부하량을 나타내기 때문에 LID를 적용하더라도 개발 이전의 상태에 비해서 BOD 부하량은 여전히 높은 것으로 나타났다.

LID 기법은 개발사업의 설계단계에서 유출량 및 오염물질 부하량 발생원을 원천적으로 저감시킬 수 있다는 점과 기존의 오염물질 처리시설에 대한 부정적인 시각과 이에 따른 NIMBY현상으로부터 의식전환의 계기가 될 수 있다는 점, 현 정부의 중요한 과제인 저탄소 녹색성장에 부흥할 수 있다는 점에서 분명히 매력적인 기법임에는 틀림이 없다(전지홍 등, 2009a). 특히 최근 들어 주거환경의 중요성이 대두되면서 아파트 단지의 녹지화가 활발하게 이루어지고 있다. 수질오염총량제의 오염부하량 산정시 LID 개념이 적용된 개발지역을 단순히 대지로 간주하여 부하량을 계산하는 경우와 LID개념의 해석을 통하여 부하량을 계산하는 경우 부하량의 결과값에서 현저한 차이가 있을 가능성을 본 연구를 통해서 확인하였다. LID 기법은 개발부하

Table 10. Annual hydrology simulated by LIDMOD2

	Existing landuse	Design without BMPs	Design with BMPs
Annual surface runoff (mm/yr)	573.67	1,068.61	876.62
Annual infiltration (mm/yr)	219.91	10.28	61.13

량을 효율적으로 저감시킬 수 있어 수질오염총량제가 시행되고 있는 지자체에서 적극적으로 활용할 것으로 예상된다. 효율적인 LID 설계 및 합리적인 LID 평가를 위해서는 LIDMOD와 같은 LID 평가 모델 적용이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 LID 평가를 위해 개발된 Site Evaluation Tool(SET)을 우리나라의 수계오염총량제도에 적용할 수 있도록 수정하여 LIDMOD2로 명하고 안동시 시외버스터미널 예정지에 적용함으로써 그 적용성을 평가하였다. LIDMOD2는 SCS-CN기법을 통해 토지이용상태와 토양배수상태를 고려하여 연간 유출량을 산정하도록 수정하였으며, CN값은 선행 연구를 통해 낙동강 유역을 대표하는 값으로 수정함으로써 수문분석에 있어서 모의 결과값에 신뢰성을 높였다. 오염부하량 예측에는 수계오염총량제도에서 사용하는 원단위법으로 수정하고 BOD 항목을 추가시켜 BOD, TN, TP 항목을 모의할 수 있도록 하였다. BMP에 의한 저감효과분석은 수계오염총량제도에서 제안한 방법을 사용하여 강우처리비에 의해 연간발생부하량의 일부분만 처리할 수 있도록 수정함으로써 LIDMOD2는 수질오염총량제와의 연계 적용이 가능하도록 개발하였다. LIDMOD2를 안동시 시외버스터미널 예정지에 적용시킨 결과, 개발전에 비해 개발 후 유출량 및 비점오염부하량이 현저히 증가하는 반면 침투량은 현저하게 감소되는 것으로 모의되었다. 특히 BOD 부하량의 경우 개발 전보다 개발 후 약 11배 증가되는 것으로 나타났다. 투수율을 증가시키고 저류지를 설치하는 것으로 LID를 적용한 결과 유출량은 효율적으로 저감시킬 수 있었다. 오염물질 부하량의 경우에는 LID를 적용하지 않은 경우와 비교하여 LID를 적용시 효율적으로 저감시킬 수 있었으나 BOD 부하량의 경우에는 개발이전의 부하량으로 저감시킬 수 없었다. 이는 논과 대지의 BOD 원단위를 비교해 볼 때, 도시화가 이루어질 경우 BOD부하량이 현저하게 증가되었기 때문인 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 개발된 LIDMOD2는 LID 적용에 따른 수문 및 오염부하 특성을 잘 모의하는 것으로 나타났다. 추후 경제성 평가 모듈에 있어 우리나라 실정에 맞도록 수정되어야 할 것이다. LIDMOD2는 엑셀프로그램을 기반으로 하기 때문에 사용이 매우 간편하고 그 결과값이 그래프와 함께 표현되기 때문에 택지 개발자나 사업평가자 모두 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다. LID 기법이 수질오염총량제와 연계되어 적용할 가능성이 높을 것으로 판단되며, 수질오염총량제 적용시 개발지역에 대한 LID 적용과 그에 따른 효과분석시 LIDMOD2의 적용이 가능하리라 본다.

사 사

본 논문은 안동대학교 단기 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 국립환경과학원(2008). 제2단계 수계오염총량관리기술지침. 국립환경과학원.
- 김이형(2008). 21세기 친환경 건설을 위한 low impact development(LID) 기술. *한국수자원학회지*, **41**(6), pp. 47-57.
- 김태동, 최동혁, 전지홍(2009). 비점오염원 최적관리방안 적용에 따른 저감효과 평가. *한국환경정책평가연구원*.
- 박준호, 유용구, 박영근, 윤희택, 김종진, 박윤식, 전지홍, 임경재(2008). SWMM을 이용한 춘천 거두 1지구의 LID 개념 적용으로 인한 유출 감소 특성 분석. *수질보전 한국물환경학회지*, **24**(6), pp. 806-816.
- 이정환(2007). 우리나라 강우의 권역별 대표확률분포형 결정에 관한 연구. 석사학위논문, 금오공과대 산업대학원.
- 전지홍, 최동혁, 김태동(2009a). 지속가능한 도시개발을 위한 LID평가모델(LIDMOD)개발과 수질오염총량제에 대한 적용성 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(1), pp. 58-68.
- 전지홍, 최동혁, 김정진, 김태동(2009b). LID-IMPs 선정 가이드라인 제시와 아파트단지에서의 LID 설계. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(6), pp. 886-895.
- 전지홍, 최동혁, 김정진, 김태동(2009c). SCE-UA 최적화기법에 의한 낙동강 유역의 CN값 도출. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(2), pp. 245-255.
- 최지용(2004). 유역관리 효율화를 위한 불투수면 지표 개발과 적용. *한국환경정책평가연구원*.
- 토지주택연구원(2009). *미기후 향상을 위한 빗물관리계획*.
- 현경학(2008). 물순환 신도시 조성을 위한 Low Impact Development: 빗물관리시설 및 인공습지. *한국지반환경공학회지*, **9**(2), pp. 30-37.
- Department of Defense (2004). Unified Facilities Criteria (UFC): Low Impact Development. UFC 3-210-10. Department of Defense, USA.
- Prince George's County (1999). Low-impact development hydrologic analysis. Prince George's County, MD Department of Environmental Resources.
- Tetra Tech. INC. (2005a). Upper Neuse Site Evaluation Tool: Model Documentation. Tetra Tech. INC., USA.
- Tetra Tech. INC. (2005b). Upper Neuse Site Evaluation Tool: User's Manual and Guidance. Tetra Tech. INC., USA.