하수처리구역 내 LID 적용에 대한 적정비율 및 효과분석 연구

Study on Analysis of the Proper Ratio and the Effects of Low Impact Development Application to Sewage Treatment District

신 현 석* / 김 미 은** / 김 재 문*** / 장 종 경****

Shin, Hyun Suk / Kim, Mi Eun / Kim, Jae Moon / Jang, Jong Kyung

Abstract

Increase of impervious area caused by overdevelopment has led to increase of runoff and then the problem of flooding and NPS were brought up. In addition, as decrease of base flow made groundwater level to decline, a stream that dries up is issued. low impact development (LID) method which is possible to mimic hydrological water cycle, minimize the effect of development, and improve water cycle structure is proposed as an alternative. As introduction of LID in domestic increases, the study on small watershed is in process mainly. Also, analysis of property of hydrological runoff and load on midsize watershed, like sewage treatment district, is required, the study on it is still insufficient. So, area applying LID practices from watershed of Dongrae stream is pinpointed and made the ratio and then expand it to watershed of Oncheon stream. Among low impact development practices, Green Roof, Porous Pavement, and Bio- retention are selected for the application considering domestic situations and simulated with SWMM-LID model of each watershed and improvement of water cycle and reduction of non-point pollution loads was analysed. Improvement of water cycle and reduction of non-point pollution loads were analyzed including the property of rainfall and soil over long term simulation. The model was executed according to scenario based on combination of LID as changing conductivity in accordance with soil type of the watershed. Also, this study evaluated area of LID application that meets the efficiency of conventional management as a criteria for area of LID practices applying to sewer treatment district by comparing the efficiency of LID application with that of conventional method.

Keywords : low impact development, SWMM model, water cycle, Non-point pollution source, sewage treatment district

요 지

지나친 도시개발은 불투수면적의 증가로 인한 유출 증가를 야기하며 이는 홍수 및 비점오염에 대한 문제 및 기저유출감소로 인한 지하수위 감소에 따라 하천을 건천화시키는 문제를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 저영향개발(LID, Low Impact Development) 기법이 제시되고 있다. 즉, LID 기법을 적용함으로써 개발 이전의 수문순환 상태를 모사하여 개발로 인한 영향을 최소화 하고 물 순환구조를 개선하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 LID 개념의

* 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 교수 (e-mail: hsshin@pusan.ac.kr)

Prof., Dept. of Civil Engrg., Pusan National Univ., Busan 609-735, Korea

** 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 박사수료 (e-mail: way8210@naver.com)

Doctoral Candidate, Dept. of Civil Engrg., Pusan National Univ., Busan 609-735, Korea

*** 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 석사과정 (e-mail: ekzmans7@naver.com)

Master Course, Dept. of Civil Engrg., Pusan National Univ., Busan 609-735, Korea

**** 교신저자, 이메트릭스(주) (e-mail: jkcopyleft@e-matrix.co.kr, Tel: 031-345-6500)

Corresponding Author, E-MATRIX co.LTD

도입이 지속적으로 증가함에 따라 소규모 배수 분구를 중심으로 연구가 진행되고 있다. 또한, 중규모 이상의 유역에 LID 기법을 적용 시 유역 내 수문학적 유출 특성과 오염 발생 특성 변화에 대한 분석 방안이 요구되지만 하수처리분구 단위의 수문학적 영향을 분석 할 수 있는 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 하수처리 구역 내 LID 기법의 적용에 따른 물순환 개선효과와 비점오염 저감효과 분석 및 기존 관리기법과의 비교를 통해 유역관리 측면에서의 적정 LID 설치면적 추정 방안을 검토하였다. LID 적용효과 분석을 위하여 소규모 배수 분구인 부산시 동래천 유역과 하수처리구역인 온천천 유역을 대상유역으로 선정하였으며 동래천 유역을 대상으로 LID 요소기술의 적용가능 면적을 추출하고 비율로 환산한 후 온천천 유역으로 확대·적용하였다. LID 요소기술 중 우리나라의 토지이용 밀집도를 고려하여 적용이 용이한 Green Roof와 Porous Pavement 및 도로에 설치되는 Street Planter를 선정하였으며 유역별로 구축된 LID 기법 기반의 SWMM 모형을 이용하여 토양특성과 강우특성을 고려한 물순환 기능 개선효과 및 비점오염량 저감효과를 분석하였다. 또한 온천천 유역을 대상으로 기존 비점오염 관리방안인 오염원 및 방류량에 따른 처리효율과 LID 적용 시의 처리효율을 비교하였으며 비교자료를 토대로 유역관리와 비용적인 측면을 고려한 적정 LID 설치비율로서 기존 비점오염 관리방안의 처리효율을 만족하는 LID 설치비율을 선정하고 이에 대한 적용 가능성을 검토하였다.

핵심용어 : 저영향개발, SWMM 모형, 물순환, 비점오염원, 하수처리구역

1. 서 론

최근 국내에서도 신도시개발이나 단지 또는 기존지역을 대상으로 저영향개발(Low Impact Development) 기법의 적용성 및 효율성 검증에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 국내연구사례에서 Lee et al. (2012)은 도시 배수분구에서 배출되는 비점오염원을 저감하기 위하여 LID 기법을 적용하여 최적의 설치위치를 결정하고 이러한 시설들의 효율성을 정량화하였다. 또한 Kim et al. (2011)은 비점오염원의 영향이 큰 영산강 수계를 대상으로 앞으로 이루어지는 개발계획을 분석하여 LID 기법을 적용하였고 영산강 수질에 미치는 영향을 모델링을 통해 예측한 바 있다. 하지만 이러한 연구는 물순환 및 수질 개선과 같은 장점이 있지만 국내의 LID 설치에 따른 한계와 문제점이 존재한다. 이에 Choi et al. (2012)은 LID 기법이 기존 장치형 시설에 비해 계획기법의 측면이 커서 기술개발이 어려울 뿐만 아니라 저감시설의 적용여부에 대한 검증과 오염총량제와 연계된 오염부하 삭감효과 인정이 곤란하여 확대 적용에 한계가 있음을 주장하였다. 이에 LID 기법의 확대 적용은 국내의 제도적 여건 및 LID 기법 자체의 한계를 감안한 단계적 추진의 필요성을 제시하였다. LID 효율성 검증은 유역 내의 토지 이용이나 수문학적 토양 그룹에 의해 계산된 유출곡선지수(Runoff Curve Number, CN)를 이용하는 방법이 주를 이루고 있다. 대상유역도 LID 기법이 적용되는 대상면적에 대한 직접적인 산정이 가능하도록 소규모 유역을 대상으로 하였다. Kwon et al. (2010)은 청주 시 내 분류식 지역을 대상으로 옥상녹화와

주차장에 투수성 기법을 적용하였다. 이에 따른 CN (Curve Number)값 변화가 강우유출특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 또한 Park et al. (2008)은 LID 개념을 춘천거두1 지구지역에 SWMM 모형을 적용하여 도시화 이전과 기존의 도시개발방법에 의한 도시개발 이후, LID 기법 개념의 적용에 따른 도시 개발 후로 나누어 각각의 토지이용 패턴의 변화에 따른 유출특성을 분석하였고, Jeon et al. (2009)은 SCS-CN방법 기반의 LID 기법 설계 및 평가 모형을 이용하여 LID 기법의 적용에 따른 유출감소 효과를 검증하였다. 국외의 연구사례들에서도 LID 기법 적용에 따라 침투유량 감소와 수질 개선효과가 확인되고 있다. Erik S. Bedan et al. (2009)은 LID 기법이 적용된 유역에서 적용 전보다 42%의 침투유량 감소와 수질분석에서 TSS와 TP증가와 NH₃-N, TKN, Pb, Zn의 감소됨을 확인하였다. Robert M. Roseen et al.(2012)은 햄프셔의 투수성 포장에서 한랭기후일 때 수문과 수질분석을 연구하였는데 침투유량이 90% 감소하였으며 수질분석결과에서도 인과 질산염이 제거되었음을 밝힌 바 있다. 하지만 Franco Montalto et al. (2007)은 도시유역에서 LID 기법을 적용한 합류식 하수관에서의 비용 효율성에 대해 분석한 결과, 고액이 투자되기는 하지만 CSO (Combined Sewer Overflow) 감소 측면에서 각각 상이한 결과를 보여 대안 모색의 필요성을 밝힌 바 있다. 이에 따라 LID 설치 적용에 있어 비용과 처리효율을 고려한 적정한 기준이 필요할 것으로 판단된다. LID 기법의 효율성을 검증하는 방법에 있어 Uzair S. Shamsi (2011)의 소규모 배수구역을 대상으로 SWMM 모형 내 LID 요소에 대한 모의기법을

활용하였다. LID 설치 시 물순환 개선효과와 CSO 저감효과를 분석한 바 있다. Rob James (2012)는 CN값을 활용하는 방법 대신 SWMM 모형 내 LID 기법의 모의기법을 활용한 소규모 배수구역에서의 Street Planter의 설치에 따른 유출량과 오염량 감소에 대한 분석 등을 실시한 바 있다. 즉 SWMM5 모형 내 LID 모의기법을 이용하여 소규모 유역을 대상으로 소유역별 LID 장치의 매개변수 설정하고 분석결과를 도출하는 연구가 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 중규모 이상의 크기의 유역에 대해 LID 기법의 적용에 따른 유역 내 수문학적 유출 특성과 오염 발생 특성 변화에 대한 연구가 미흡한 실정을 감안하여 소규모 배수 분구인 동래천 유역을 대상으로 LID 요소기술의 적용가능 면적을 추출하였다. 이를 기반으로 유역의 비율을 환산하여 중규모 크기의 유역인 온천천 유역으로 LID 기법의 효과분석을 확대·적용하였다. LID 요소기술 중 국내의 여건을 고려하여 적용이 용이한 Green Roof와 Porous Pavement 및 도로에 설치되는 Street Planter를 선정하였다. 선정된 LID 요소기술의 단일 및 복합적인 조합에 따라 시나리오를 설정하였다. 설정된 시나리오에 따라 연구대상 지역의 토양 타입을 고려하여 토양 투수계수를 달리하고 연속강우모의를 적용함으로써 물순환 기능의 개선효과 및 비점오염량 저감효과를 정량적으로 분석하였다. 또한 유역관리 측면에서 LID 적용이 물순환 개선효과와 더불어 비점오염 저감효과가 있지만 도시화 이전의 수문조건의 만족이라는 개념적인 기준은 과다한 설치비용을 유발하게 되므로 유역관리와 비용적인 측면을 고려할 수 있는 판단기준이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 기본계획 단계에서 요구되는 유역관리 측면의 유역 내 적정 LID 설치비용로서 기존 비점오염 관리방안의 처리효율을 만족하는 LID 설치비용을 설정하고 온천천 유역의 분석결과를 토대로 적용 가능성을 검토하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상지역

부산광역시 금정구에 위치한 동래천은 Fig. 1과 같이 온천천 유역에 속해있는 낙동강 동해권 수계의 지방하천으로, 유역 서북단의 금정산 상계봉 계곡에서 발원하여 동남쪽으로 유하하면서 부산시 금정구 장전 2동과 장전 3동을 경유한 후 중앙로를 가로질러 온천천으로 유입하고 있다. 동래천 유역은 동경 129° 03'45"~129° 05'55", 북위 35° 12'40"~35° 13'34" 사이에 위치한다.

온천천은 수영강의 제1지류로서 수영강 하구로부터 약

3.1 km 상류지점에서 수영강의 우안 측으로 유입하는 지방하천이다. 유역의 위치는 동경 129°02'40"~129°07'00", 북위 35°09'20"~35°17'30" 사이에 위치하고 북으로는 양산시와 경계를 하면서 양산천 유역과 접하고 있고, 서로는 부산광역시 북구 및 부산진구와 경계를 하면서 덕천천 및 동천 유역과 접해 있으며 동으로는 수영강 본류 유역과 접하고 있다. Fig. 1은 온천천 유역 내 동래천 유역의 위치와 유역경계를 나타낸 것으로 온천천 유역은 수영강 전체 유역면적의 약 28.2%를 점유하고 있고 동래천 유역은 온천천 유역의 약 3.9%를 차지하고 있다. 온천천 유역은 면적 56.28 km², 유로연장 14.85 km이고 동래천 유역은 유역면적 2.21 km², 유로연장 2.38 km이며 그 현황은 Table 1과 같다.

2.2 SWMM-LID 모형 구축

모형의 대상유역을 선정 후 이에 대하여 하수도 대장 평면도(1:1000)로부터 간선관거를 분리하여 관망을 구성한 후 구성된 관망으로부터 간선관거의 합류점 및 크기가 큰 맨홀을 기준으로 유출량 산정 지점을 선정하고 유역 내 지형과 각 지역의 인위적인 배수계통에 따라서 전체 대상유역을 43개의 소유역으로 분할하였다. 각 분할된 소유역에 대해 유역면적, 유역 폭, 유역 평균경사, 불투수율 등의 매개변수 산정을 위해 먼저 지형도(1:5,000)를 이용하여 지형자료를 구축하고, 유역의 배수특성을 나타내는 조도계수, 표면저류, 침투손실 등에 대한 매개변수를 산정하였으며 하수도대장 평면도로부터 관망의 관거와 맨홀에 대한 자료를 추출하였다. 온천천모형의 소유역 분할도와 관망도는 Fig. 2와 같다.

Fig. 1. The Location of Study Area

2.2.1 유량 검정 및 검증

적용 모형은 온천천 유역 내 모니터링 시스템의 유량계가 설치된 세병교 지점의 관측자료를 기반으로 검정 및 검증을 적용하였다. 모형 검보정을 위하여 검정에는 8개 강우사상, 검증에는 4개 강우사상으로 총 12개의 강우사상을 적용하였다. 적용된 강우사상과 그에 따른 관측 및 모의 침투유량은 Table 2와 같으며, 유량 검보정 결과는 Table 3과 같다.

각 매개변수에 대한 불확실성을 $\pm 50\%$ (단, 면적은 $\pm 5\%$)로 적용하고 강우사상별 매개변수의 변화에 따른 목적함수(침투유량)의 민감도를 검토하였으며 유역 폭, 불

Fig. 2. Delineation and Network of Oncheon Stream

투수면적비, 유역경사, 투수지역 저류, 투수지역 조도계수, 초기침투능, 중기침투능과 같은 민감도가 높은 매개변수를 변화시켜 목적함수에 대한 오차의 만족 여부를 반복적으로 검토하여 매개변수에 대한 최적값을 산정하였다.

2.2.2 수질 검정 및 검증

관거 내에서의 세굴, 퇴적은 고려하지 않고 호우에 의한 수질 요소의 발생은 단지 지표유출에서만 발생하는 것으로 가정하여 수질 모의의 매개변수 산정하였다. 비점오염원에 의한 강우유출수의 오염물질 농도를 모의하기 위하여 토지이용 상태를 도시지역(urban)과 비도시지역(rural)으로 분류하고 오염물질의 축적(Buildup)과 쓸림(Washoff)에 관한 입력자료를 Table 4와 같이 설정하였다. 오염물질의 축적(Buildup) 함수는 SWMM 메뉴얼을 참고하여 한계 축적치(limit)가 존재하는 Michaelis-Menton 형태의 식으로 설정하였고 오염물질의 쓸림(Washoff) 함수는 EMC (Event Mean Concentration)으로 설정하였다. 모형의 수질 검보정에는 관측자료의 부족으로 인해 단일 강우사상에 대해 오염물질의 축적(Buildup)의 최대축적량(Max. Buildup)과 쓸림(Washoff)의 EMC를 변경시켜 수질항목별 검정 및 검증을 적용하였다. 수질 검정에는 2006년 4월 4일 강우사상에 대한 세병교 지점의 수질 관측자료를 이용하여 검정을 실시하였으며 수질 검증에는 2006년 4월 19일 강우사상에 대한 세병교 지점의 수질 관측자료를 이용하여 검증을 실시하였다. 검정과 검증에 따른 실측값과 모의값에 대한 결과는 Table 4에 제시한 바와 같다.

Table 1. Properties of the Watershed in the Study Area

Name of Stream	Main Stream	Tributary		Administrative District		River Length (km)	Area (km ²)
				Starting Point	Ending Point		
Suyoung River	Suyoung River			Wolpyeong-ri, Jeongkwon, Gijang-gun, Busan	Suyoung 1 br., Millak-dong, Suyeong-gu, Busan	19.2	199.57 (198.82)
Oncheon Stream	Suyoung River	Oncheon Stream		Cheongryong-br, Namsan-dong, Geumjung-gu, Busan	Confluence of Suyeong river, Dongrae-gu, Busan	12.7 (14.13)	56.28 (55.97)
Dongrae Stream	Suyoung River	Oncheon Stream	Dongrae Stream	695-6, Jangjeon 2 dong, Geumjung-gu, Busan	Confluence of Oncheon stream, Jangjeon-dong, Geumjeon-gu, Busan	0.97	2.21

List of Rivers Korea (2002, Ministry of Construction & Transportation), Plan Oncheon River Maintenance (2004), Plan Dongrae River Maintenance (2011)

Table 2. Rainfall Events for Flow Calibration and Verification

Rainfall events for Calibration						
Starting Time	Ending Time	Rainfall (mm)	Duration Time (hr)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Peak Flow	
					Observed Value (cms)	Simulated Value (cms)
2006-04-09 20:50	2006-04-11 18:20	99	45.5	2.2	24.4	25.4
2006-05-06 05:30	2006-05-06 19:20	137	13.8	9.9	127.3	126.2
2006-05-09 14:10	2006-05-10 12:30	56	22.3	2.5	53.0	51.5
2006-05-18 20:20	2006-05-19 22:00	78	25.7	3.0	51.8	46.9
2006-06-14 15:40	2006-06-15 01:50	105	10.2	10.3	96.0	100.9
2006-07-04 06:20	2006-07-05 03:30	49	21.2	2.3	33.8	34.4
2006-08-18 15:50	2006-08-19 21:10	73	29.3	2.5	87.0	79.6
2006-09-15 16:00	2006-09-16 07:00	78	15.0	5.2	41.1	45.7

Rainfall events for Verification						
Starting Time	Ending Time	Rainfall (mm)	Duration Time (hr)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Peak Flow	
					Observed Value (cms)	Simulated Value (cms)
2004-12-04 10:00	2004-12-04 23:00	22.5	13	1.7	9.0	8.9
2005-05-05 17:00	2005-05-07 00:00	40	31	1.3	21.6	22.4
2005-09-05 17:00	2005-09-06 22:00	195.0	29.0	6.7	121.9	134.6
2006-07-10 04:40	2006-07-10 15:50	169	11.2	15.1	355.0	398.2

Table 3. Results of Flow Calibration and Verification

Method	Initial Value	Calibration	Verification
RMSE	0.93	0.14	0.22
SLS	1.02	0.03	0.04
NSC	-0.3	0.99	0.97
ISE	20.88	2.21	8.87

RMSE: Root Mean Square Error, SLS: Simple Least Square Error, NSC: Nash-Sutcliffe Coefficient, ISE: Integral Square Error

Table 4. Results of Water Quality Calibration and Verification

Water Quality Pollutant	Build up (Michaelis-Menton)				Wash off (EMC)	
	Max. Buildup (kg/ha)		Buildup Dependence	Half-saturation Constant	mg/L	
	Urban	Rural			Urban	Rural
BOD	16.6	5.2	Area	3	209.4	20.9
COD	45.6	13.5	Area	3	270.0	27.0
TN	6.4	2.7	Area	3	24.4	2.4
TP	0.4	0.1	Area	3	5.1	0.5
SS	71.6	133.8	Area	3	271.7	471.7

Rainfall Event	Factor of Water Quality	Observed Value			Simulated Value		
		Minimum	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average
2006-04-04	BOD	1.8	129.6	45.9	0.15	101.63	36.75
	SS	6.0	340.0	154.7	0.29	340.08	216.69
	TP	0.1	2.5	0.9	0.01	2.58	1.00
2006-04-19	BOD	1.3	43.2	11.9	0.15	44.00	23.67
	SS	4.0	58.0	26.0	0.29	126.74	74.99
	TP	0.1	0.6	0.2	0.01	1.21	0.66

Fig. 3. Result of Water Quality Calibration (2006/04/04)

Fig. 4. Result of Water Quality Verification (2006/04/19)

2.3 시나리오별 SWMM-LID 모형 구축

2.3.1 LID 기법의 적용방안

SWMM 모형을 이용한 유역 내 LID 장치를 모의하는 기법은 2가지로 구분된다(SWMM user manual). 첫 번째는 유역의 LID 장치의 미적용 면적과 동일한 면적을 복수의 LID 장치로 대체하는 방법이며, 두 번째는 새로운 유역을 만들어서 단일 LID 장치로 간주하는 방법이다. 첫 번째 방법은 유역 내 복수의 LID 장치를 설치할 수 있으며 유역의 LID 장치 미적용 지역에서 발생한 유출량을 각각 다른 LID 장치에 의해 발생량을 처리하게 된다. 이 방법에서 각 장치는 병렬 처리되며 특정 LID 장치로부터의 유출량이 또 다른 장치의 유입량으로 처리되는 것과 같은 직렬처리는 불가능하다. 장치가 설치된 후 LID 장치에 의해 대체된 원래 유역면적을 감안하기 위해 유역의 불투수면적비와 유역폭에 대한 수정이 필요하다. Fig. 5는 수정된 모식도를 나타낸 것이다.

LID 장치가 추가되면 유역의 불투수면적비는 남겨진 LID 장치의 미적용 면적의 비율에 나머지 불투수 면적의 비율을 나눈 값으로 변경되어야 한다. 예를 들어, 40%의 불투수율을 가진 유역에서 불투수면적의 75%가 LID 장치로 전환이 된 경우 변경된 불투수 면적 비율은 14.3%로 적용해야 한다. 유역 내 복수의 LID 장치를 설치하는 경우 각 장치별 면적 비율의 합이 100%를 초과할 수 없으며 각 장치가 처리하는 불투수면적의 비율 역시 각 장치의 합

이 100%를 초과할 수 없다. 처리면적은 LID 장치의 적용 상황을 고려한 적용이 필요하지만 처리구역 규모에 LID 비율을 적용한 본 연구에서는 국외 연구사례(Shamsi, 2011; James, 2012)를 참조하여 투수성 포장은 LID 장치 면적의 2배를 처리면적으로 적용하였고 Street Planter는 LID 장치 면적의 6배를 처리면적으로 적용하여 모의하였다. 이에 유역별로 LID 장치를 적용하기 위하여 입력자료는 적용할 LID 장치를 시나리오별로 선정하고 시나리오별로 LID 장치면적을 산정하였다. LID 장치면적을 고려한 처리면적을 결정하여 기존의 유역에 대한 매개변수 중 불투수면적비를 보완한 후, LID 기법별 주요 설계인자를 설정하여 해당 유역의 토양특성에 따른 저층의 투수계수를 설정하였다. Tables 5 and 6은 Street Planter와 옥상녹화,

Fig. 5. Plot of Modified Watershed Considering LID Facility (SWMM user manual)

Table 5. Design Parameters for Street Planter and Green Roof

Factor	Parameter	Green Roof	Street Planter	Unit	Reference
Surface	Storage Depth	228.6	228.6	mm	Philadelphia LID conference (2011)
	Vegetation Volume Fraction	0.90	0.10		
	Surface Roughness	0.40	0.30		SWMM manual
	Surface Slope	0.00	0.25	%	
Soil	Thickness	152.4	457.2	mm	Philadelphia LID conference (2011)
	Porosity	0.50	0.50	Volume Fraction	Palla (2008)
	Field Capacity	0.20	0.20	Volume Fraction	Eugene.K.B (2008)
	Wilting Piont	0.05	0.05	Volume Fraction	Palla (2008)
	Conductivity	25.4	25.4	mm/hr	Eugene.K.B (2008)
	Conductivity Slope	5.0	5.0		SWMM manual
	Suction Head	127.0	127.0	mm	fairfax country
Storage	Height	457.2	457.2	mm	Shamsi(2011)
	Void Ratio	0.75	0.75	Voids/Solids	SWMM manual
	Conductivity	0.0	120.4	mm/hr	Shamsi (2011)
	Clogging Factor	0.0	0.0		SWMM manual
Underdrain	Drain Coefficient	1.43	0	mm/hr	SWMM manual
	Drain Exponent	0.5	0		SWMM manual
	Drain Offset Height	76.2	0	mm	SWMM manual

투수성포장에 대한 설계 매개변수이다. 선정된 LID 기법에 대한 적용인자별 입력값은 SWMM 매뉴얼과 문헌자료(2011 Philadelphia LID conference)를 기반으로 설정하였다. 해당지역의 토양형에 따라 성능이 달라지는 Street Planter & Porous Pavement는 토양 상태에 따른 영향을 모의하기 위해 Table 7에 나타난 바와 같이 저류층의 투수계수를 토양형 타입에 따라 상이하게 적용하였다.

동래천 유역을 대상으로 LID 장치의 적용 가능면적을 추출하고 그 값을 비율로 환산하여 온천천유역에 확대·적

용하여 중규모 이상 유역에 대한 물순환 개선효과 및 비점저감효과를 분석하고자 하였다. Green Roof와 Porous Pavement는 동래천 유역을 대상으로 캐드 및 위성사진 등으로부터 추출된 LID 요소기술별 적용 가능한 면적을 이용하였다. Street Planter는 적용이 가능한 도로 길이를 산정하기 위해 부산과 대구, 경남/경북의 도로보급률을 기반으로 불투수면적비에 따라 차등을 두어 적용하였으며 LID 기법별 적용면적은 Table 8과 같다. 온천천 처리구역에 확대 적용할 수 있도록 전환된 비율은 Table 9와 같으

Table 6. Design Parameters for Porous Pavement

Factor	Parameter	Porous Pavement	Unit	Reference
Surface	Storage Depth	228.6	mm	Philadelphia LID conference (2011)
	Vegetation Volume Fraction	0.00		Philadelphia LID conference (2011)
	Surface Roughness	0.30		SWMM manual
	Surface Slope	0.25	%	
Pavement	Thickness	152.4	mm	Philadelphia LID conference (2011)
	Void Ratio (Voids/Solids)	0.15		Palla (2008)
	Impervious Surface Fraction	0.00		Eugene.K.B (2008)
	Permeability	1270.0	mm/hr	Palla (2008)
	Clogging Factor	0.0		Eugene.K.B (2008)
Storage	Height	457.2	mm	SWMM manual
	Void Ratio (Voids/Solids)	0.75		fairfax country
	Conductivity	120.4	mm/hr	Shamsi (2011)
	Clogging Factor	0.0		SWMM manual
Underdrain	Drain Coefficient	1.43	mm/hr	Shamsi (2011)
	Drain Exponent	0.5		SWMM manual
	Drain Offset Height	76.2	mm	SWMM manual

Table 7. Conductivity in Underdrain Layer according to Soil Type

Soil Type	Hydrologic Soil Group	Min Infiltration Rate (mm/hr)	Max Infiltration Rate (mm/hr)
Sand	A	120.4	254.0
Sandy Loam	B	10.9	203.2
Loam	C	3.3	152.4
Clay	D	0.3	50.8

Table 8. Details of Calculation Method on Applied Area by LID Factors

Type of LID	Methods of Selection
Green Roof	50% of Public Building and Residential/Commercial Area
Porous Pavement	Curb of Pavement, Parking Plot and Pavement in Apartment, Public Parking Plot
Street Planter	Area Ratio of Impervious > 10%: Average of Pavement Penetration Rate between Daegu and Busan Area Ratio of Impervious < 10%: Average of Pavement Penetration Rate between Geongnam and Geongbuk Province

며 Green Roof는 불투수면적의 18.8%, Porous Pavement는 불투수면적의 6.5%를 적용하였다. 또한 Street Planter는 유역의 불투수 면적비가 10%보다 큰 경우 대구와 부산의 도로보급률 평균값을 적용하고 유역의 불투수 면적비가 10%보다 작은 경우 경남과 경북의 도로 보급률 평균값을 적용하였다. 기존 도시상태를 BASE로 설정하고 각 LID 기법의 조합에 따라 시나리오를 설정하였으며 Green Roof, Porous Pavement, Street Planter를 모두 고려한 TOTAL를 포함한 총 8 가지의 시나리오로 구성하였으며 Table 10과 같다. LID 기법을 기반으로 한 SWMM 모형은 2000~2011년의 연속강우를 적용하였으며 물순환 개선효과를 분석하기 위해 지표유출량, 증발량, 침투량을 대상으로 증감비율을 검토하였다. 또한 비점오염량의 저감효과를 분석하기 위해 시나리오에 따른 수질항목별 오염부하량을 산정하여 저감효과를 검토하였으며 LID 기법의 적용 시 비점오염량의 저감효과는 자연 토양으로의 침투나 증발로 인해 유량이 시스템에서 완전히 제거되는 경우 해당 유량의 오염량이 완전히 제거되는 것으로 간주된다.

2.3.2 기존 비점관리기법에 대한 효율 검토방안

각 유역별 적용된 최대 축적 오염량(Max. buildup)의 감소를 통해 오염원 관리에 따른 저감효율을 검토하였으며 Lager et al. (1977a)이 제시한 35-micron 마이크로 스트레이너의 SS의 처리효율곡선인 Eq. (1)을 적용하여 장치형 처리장치를 적용한 방류량 관리의 처리효과를 검토하였다. 오염물 축적량의 저감비율과 방류량 관리에 따른 저감효율을 검토하기 위해 적용된 시나리오는 Table 11과 같으며 BOD는 SS 처리효율의 60%, TN과 TP는 BOD의 60%로 가정하여 모의하였다. 오염원 관리에 따른 시나

리오는 최대축적 오염물의 10% 저감 시 시나리오 1, 최대 축적 오염물의 20% 저감 시 시나리오 2, 축적 오염물의 30% 저감 시 시나리오 3으로 구분하여 적용하였고 방류량 관리에 따른 시나리오는 SS 농도를 기준으로 최대 처리효율을 40%, 55%, 70%로 설정함에 따라 시나리오를 구성하였다.

$$R_{ss} = 0.0963 * SS^{0.286} \quad (1)$$

R_{ss} : SS제거비율, $0 < R_{ss} < 1.0$, SS : 유입 SS농도(mg/l)

3. 결 과

3.1 유역 물순환 개선효과 분석

2000~2011년의 연속강우를 적용하여 온천천 유역 내 LID 장치의 적용 시나리오에 따른 물순환 개선효과를 강우량, 침투량, 증발량 및 유출체적에 따라 검토한 결과를 Tables 12 and 13에 나타내었다. Table 12는 연속강우에

Table 10. Scenarios depending on LID Factors

Scenario	LID Method
BASE	Existing City
PP	Porous Pavement
GR	Green Roof
SP	Street Planter
GR+PP	Green Roof+Porous Pavement
GR+SP	Green Roof+Street Planter
PP+SP	Porous Pavement+Street Planter
TOTAL	Green Roof+Porous Pavement+Street Planter

Table 9. Extension of LID Unit Area and Treated Area

Type of LID	Unit	Applied Value		Treated Area(ha)
Street Planter	m/ha	Area Ratio of Impervious > 10%	34.0	Sextuple of Application Area
		Area Ratio of Impervious < 10%	9.3	
Porous Pavement	%	6.5		Double of Application Area
Green Roof	%	18.8		Application Area

Table 11. Scenarios according to Management Method

Scenario	Management of pollution source	Management of discharge runoff
1	reducing 10% of Max buildup	setting maximum efficiency to 40%
2	reducing 20% of Max buildup	setting maximum efficiency to 55%
3	reducing 30% of Max buildup	setting maximum efficiency to 70%

대한 시나리오별 연평균 강우량, 침투량, 증발량, 유출량의 발생량을 분석한 결과이고 Table 13은 시나리오별 연평균 강우량, 침투량, 증발량, 유출량의 발생량에 대한 발생비율이다. 단일 LID 기법 중 Porous Pavement가 39.9%로 가장 낮은 유출량 발생비율을 보였고, Street Planter가 44.7%로 가장 높은 유출량 발생비율을 보였다. 이는 불투수면적의 18.8%로 가장 높은 비율이 적용된 Green Roof는 토양층으로의 침투가 발생하지 않아 적용된 비율에 비해 유출량 저감효과가 낮게 나타났고 Street Planter는 토양층으로의 침투가 발생하지만 소유역 불투수면적의 1% 내외로 낮은 비율이 적용되어 가장 낮은 유출저감효과를 나타냈다. 반면 Porous Pavement는 불투수면적의 6.5%가 적용되고 토양층으로의 침투도 발생하는 과정을 거치므

로 가장 높은 유출저감효과를 나타낸 것으로 판단된다. 3가지 LID 기법이 적용된 시나리오 Total의 경우, 유출체적 발생비율이 46.2%에서 34.8%로 감소하였고 침투량 발생비율은 48.4%에서 56.1%로 증가하였으며 증발량 발생비율도 5.5%에서 9.0%로 증가하는 것으로 분석되었으며 Porous Pavement와 Street Planter의 조합인 시나리오 PP+SP는 38.1%로 적용비율에 비해 높은 저감효과를 나타내고 있으며 이는 온천천 유역의 수문학적 토양그룹 중 B타입이 83.3%를 차지함으로써 토양층으로의 배수효과가 영향을 미친 것으로 판단된다.

Table 14는 LID 적용 전과 시나리오 TOTAL에 대한 연속모의결과를 분석항목별 연간 발생량의 통계분석을 실시한 결과이며 이를 통하여 항목별 연간 발생특성을 파악

Table 12. Results of Analysis of Annual Water Balance according to Scenarios

Factor	Annual Average(Unit: mm)							
	Base	PP	GR	SP	GR+PP	GR+SP	PP+SP	Total
Precipitation	1384.0	1384.0	1384.0	1384.7	1384.0	1384.0	1384.0	1384.0
Runoff Volume	639.7	552.7	593.6	619.6	505.2	569.5	526.6	481.8
Infiltration	669.4	761.0	664.2	684.9	757.1	683.5	782.4	775.8
Evaporation	76.2	72.2	126.2	78.4	122.2	128.4	74.4	124.4

Table 13. Results of Annual Water Balance Ratio according to Scenarios

Factor	Annual Average Ratio (Unit: %)							
	Base	PP	GR	SP	GR+PP	GR+SP	PP+SP	Total
Runoff Volume	46.2	39.9	42.9	44.7	36.5	41.1	38.1	34.8
Infiltration	48.4	55.0	48.0	49.5	54.7	49.4	56.5	56.1
Evaporation	5.5	5.2	9.1	5.7	8.8	9.3	5.4	9.0

Table 14. Results of Statistical Analysis for Annual Water Balance

Scenario	Statistics	Factor (Unit: mm)			
		Precipitation	Runoff Volume	Infiltration	Evaporation
with no LID	Average	1499.3	693.1	725.2	82.5
	Minimum	1111.5	485.2	547.9	71.2
	Maximum	2325.0	1075.3	1154.5	99.9
	Standard Deviation	351.1	188.7	168.7	8.4
	Skewness	1.3	1.1	1.6	1.0
with LID (Scenario TOTAL)	Average	1499.3	521.9	840.5	134.8
	Minimum	1111.5	341.9	626.5	118.5
	Maximum	2325.0	841.3	1330.4	149.9
	Standard Deviation	351.1	164.8	194.4	10.2
	Skewness	1.3	1.1	1.6	-0.1

할 수 있다. 평균 유출량은 LID 기법 적용 전에 비해 24.7% 감소하였고 평균 침투량은 15.9% 증가하였으며 증발량은 63.4% 증가하는 것으로 분석되었다. 단일 기법 중 불투수 면적비의 6.5%를 LID 시설로 적용한 Porous Pavement가 13.6%의 유출량 저감을 나타내어 불투수면적의 18.8%를 LID 시설로 적용한 Green Roof보다 높은 유출량 감소를 나타냈으며 이는 Porous Pavement는 토양층으로 배수가 가능하지만 Green Roof는 토양층에 체류하는 양만큼만 저감되는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

Table 15는 LID 적용 전후의 유출량과 침투량에 대한 계절별 변화를 분석한 결과이며 유출량은 강우량이 집중된 여름에 LID 설치 전 126.4 mm에서 LID 설치 후 101.4 mm로 19.8% 감소하는 것으로 나타났으며 침투량은 여름에 LID 설치 전 131.9 mm에서 LID 설치 후 156.2 mm로 18.4% 증가하는 것으로 분석되었다. 유출량 감소에 있어 봄은 29.4%, 가을은 30.1% 그리고 겨울은 37.2%를 보여 겨울이 가장 높은 증가값을 나타냈으며 강우가 집중된 여름에 비해 유출량 감소효과가 더 큰 것으로 분석되었다. 침투량에 있어서도 강우가 집중된 여름이 18.4%로 가장 낮은 증가값을 보였고 가을 23.7%로 가장 높은 증가값을 보였으며 봄과 겨울은 23.0%와 21.7%의 증가율을 보였다.

또한 Table 16은 LID 장치 적용 이전 상태와 시나리오 TOTAL 적용에 따른 월별 강우량, 유출량 및 침투량에 대한 분석결과이며 LID 설치 전 최대 유출량은 586.5 mm에서 LID 설치 후 544.9 mm로 7.1% 감소되었고 평균 유출량은 59.0 mm에서 LID 설치 후 44.4 mm로 24.7% 감소되었다. 또한 최대 침투량은 LID 설치 전 348.8 mm에서 LID 설치 후 394.3 mm로 13.0% 증가하였으며 월평균 침투량은 LID 설치 전 68.7 mm에서 LID 설치 후 81.3 mm로 18.3% 증가한 것으로 분석되었다.

Fig. 6은 연도별 발생량 현황을 나타내고 있으며 7월과 8월에 집중호우가 발생한 2002년, 2003년, 2009년에 유출량 발생이 다른 해에 비해 크게 나타났으며 특히 2009년에는 유출량이 증가했지만 침투량과 증발량의 증가는 미미하게 나타났다. 이는 2009년 7월에 강우량 886.6 mm로 7월 평균 강우량 374.0 mm에 비해 137% 크고 강우강도도 6.98 mm/hr로 7월 평균 강우강도 4.33 mm/hr에 비해 높은 집중호우가 발생한 것에 기인한 것으로 판단된다.

동래천 유역에서 추출한 LID 시설 적용비율을 온천천 유역에 확대·적용한 비율은 전체 불투수 면적비율의 약 26%로 Green Roof가 18.5%이고 Porous Pavement가 6.5%이며 Street Planter가 1%를 차지한다. LID 적용면적 당 저

Table 15. Results of Seasonal Analysis for Runoff Volume and Infiltration

Season	Precipitation (mm)	Runoff Volume (mm)		Infiltration (mm)	
		with no LID	with LID	with no LID	with LID
Spring	130.1	57.8	40.8	72.5	89.2
Summer	258.1	126.4	101.4	131.9	156.2
Fall	79.3	34.2	23.9	45.2	55.9
Winter	36.6	14.5	9.1	22.1	26.9

Table 16. Results of Statistical Analysis for Monthly Water Balance

Scenario	Statistics	Factor (mm)		
		Precipitation	Runoff Volume	Infiltration
with no LID	Minimum	1.00	0.05	0.95
	Maximum	886.60	586.5	348.8
	Average	127.60	59.0	68.7
	Standard Deviation	137.82	76.3	64.1
	Skewness	2.49	3.4	1.9
with LID (Scenario TOTAL)	Minimum	1.00	0.03	0.11
	Maximum	886.60	544.9	394.3
	Average	127.60	44.4	81.3
	Standard Deviation	137.82	67.3	74.4
	Skewness	2.49	4.0	1.7

감유출체적은 Green Roof 5,046 m³/ha, Porous Pavement 27,073 m³/ha, Street Planter 60,065 m³/ha를 나타내 토양층으로의 침투가 이루어지지 않고 토양층 내 저류 후 증발되는 과정을 거치는 Green Roof가 가장 많은 면적을 차지하지만 면적당 유출량 저감효과는 가장 낮은 것으로 분석되었다.

3.2 비점오염 저감효과 분석

2000~2011년간의 연속강우를 적용하여 온천천 유역의 LID 적용 시나리오에 따른 오염부하 저감효과를 검토하였다. Table 17은 시나리오별 분석항목 BOD와 SS의 오염부하 발생량(kg)과 저감비율(%)을 제시한 것으로 단일 LID 시설의 적용에 따른 발생량 기준의 저감효율을 살

펴보면, Porous Pavement가 BOD 기준으로 14.1%로 가장 크게 나타났고 Green Roof가 적용 면적에 비해 다소 작은 3.8%를 보였다. SS 기준으로는 Porous Pavement가 15.2%가 가장 크게 나타났고 Street Planter가 5.5%로 가장 작은 저감효율을 보였다. 저감효율은 적용 면적의 영향을 받은 것으로 보이며 Green Roof는 적용 면적이 넓으나 토양층 저류 후 증발되는 개념이므로 처리효율이 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

Table 18은 LID 요소기술의 적용 시 시나리오에 따른 온천천 주요지점별 처리효율을 나타낸 것으로 온천천 하류 지점을 기준으로 3가지 LID 기법을 모두 적용한 시나리오 TOTAL의 경우에 BOD는 29.94%의 처리효율을 나타냈고 SS는 30.68%의 수질 개선효과를 보였다. 한편

Fig. 6. Analysis of Hydrologic Factors Drawn by Each Scenario

Table 17. Results of Annual Loads and Ratio of Load Reduction by Scenarios

Scenario	Pollution Load (kg)		Reduction Ratio (%)	
	BOD	SS	BOD	SS
BASE	1,144,282.9	7,433,366.6	—	—
PP	982,967.99	6,299,851.8	14.1	15.2
GR	1,101,041.6	6,886,617.5	3.8	7.4
SP	1,093,747.8	7,027,198.0	4.4	5.5
GR+PP	927,045.22	5,725,837.4	19.0	23.0
GR+SP	1,048,484.8	6,479,530.1	8.4	12.8
PP+SP	927,528.73	5,862,167.2	18.9	21.1
TOTAL	872,628.67	5,319,463.8	23.7	28.4

LID 적용면적에 비해 높은 처리효율을 나타낸 시나리오 PP+SP는 하류지점을 기준으로 BOD는 21.93%의 처리효율을 나타냈고 SS는 22.89%의 처리효율을 보였다.

오염원 관리측면에서의 비점 관리방안 효율을 검토하기 위해 시나리오별 모형의 최대 오염 축적량이 감소되는 것으로 모의하여 온천천에서의 오염량 저감효과를 검토하였고 방류량 관리측면에서의 비점 관리방안 효율을 검토하기 위해 온천천 유역의 토구와 처리장에서의 BYPASS에서 배출되는 비점오염량을 처리하는 것으로 모의하여 온천

천에서의 오염량 저감효과를 검토하였다. Table 19는 축적 오염량의 저감과 처리효율 조정을 적용하여 시나리오에 따라 산정된 지점별 처리효율이며 SS를 기준으로 온천천하류지점의 효율을 살펴보면, 오염원 저감에 따른 저감효과는 10.2%이고 방류량 처리에 따른 효과는 45.2%인 것으로 분석되었으며 이는 방류량 관리방안이 토구별 처리시설을 적용함에 따라 최대 오염축적량 저감에 비해 상대적으로 직접적인 효과가 나타난 것으로 판단된다.

동래천 유역에서 추출한 LID 시설 적용비율을 기반으로

Table 18. Results of Load Reduction Efficiency for LID Application

Factor	Scenario	Upstream	Mid stream	Downstream
BOD	GR+PP	21.83	23.29	25.46
	GR+SP	14.49	13.13	12.78
	PP+SP	22.43	21.74	21.93
	TOTAL	29.82	29.30	29.94
TN	GR+PP	15.91	19.27	23.23
	GR+SP	9.93	10.56	11.85
	PP+SP	15.71	17.43	19.41
	TOTAL	20.98	23.68	26.92
TP	GR+PP	19.53	21.71	24.51
	GR+SP	12.98	12.26	12.35
	PP+SP	19.95	20.21	21.02
	TOTAL	26.66	27.35	28.83
SS	GR+PP	22.69	24.15	25.69
	GR+SP	16.69	14.79	13.55
	PP+SP	25.09	23.88	22.89
	TOTAL	32.46	31.37	30.68

Table 19. Results of Load Reduction Efficiency for Conventional Management

Factor	Scenario	Load Reduction Efficiency (%)					
		Managing Pollution Sources			Managing Discharge Runoff		
		Upstream	Midstream	Downstream	Upstream	Midstream	Downstream
BOD	1	3.59	3.49	2.28	14.68	15.78	15.01
	2	7.42	7.19	4.67	19.89	21.38	20.35
	3	11.62	11.18	7.21	25.10	26.98	25.68
TN	1	1.81	1.82	1.35	6.98	8.08	8.71
	2	3.70	3.88	2.91	9.46	10.94	11.79
	3	5.80	6.11	4.61	11.94	13.81	14.88
TP	1	3.03	3.00	1.93	7.96	8.86	8.84
	2	6.29	6.21	3.95	10.79	12.01	11.97
	3	9.88	9.73	6.11	13.61	15.15	15.11
SS	1	3.51	3.27	2.98	24.14	26.70	26.42
	2	7.29	7.03	6.42	32.71	36.19	35.80
	3	11.48	11.19	10.23	41.29	45.67	45.19

온천천 유역의 전체 불투수 면적비율의 약 26%에 대해 LID 시설을 적용한 비점오염저감 분석결과에서 LID 적용면적당 비점오염 저감량은 BOD 기준으로 Green Roof 83 kg/ha, Porous Pavement 877 kg/ha, Street Planter 2,627 kg/ha를 나타냈고 SS 기준으로 Green Roof 1,044 kg/ha, Porous Pavement 6,160 kg/ha, Street Planter 21,115 kg/ha를 나타냈다. 물순환 개선효과에서와 동일하게 Green Roof는 18.5%로 가장 많은 면적을 적용했지만 설치된 토양층에 저류 후 증발되는 처리과정 특성 상 가장 낮은 처리효율을 나타냈다. Green Roof는 Porous Pavement와 Street Planter에 비해 낮은 처리효율을 보이고 상대적으로 높은 설치비용을 요구하지만 증발량을 증가시켜 건물 밀집지역의 열섬효과 개선에 효율적인 방법이다. SS를 기준으로 26% 내외의 LID 시설 적용을 통해 30.68%의 비점오염 저감효과를 나타내어 기존 비점오염 관리방안의 방류량 관리 시 저감효과 45.19%보다 낮고 오염원 관리 시 저감효과 10.23%보다는 높은 처리효과를 보였다. 방류량 관리 측면 모의 시 하천의 모든 방류지점과 하수처리장의 BYPASS에 대한 처리시설을 적용한 것을 고려하면 과대평가한 측면이 있으므로 LID시설 적용 시 처리효율이 기존 관리방안과 유사한 처리효율을 나타냈다고 볼 수 있다. 유역관리에 있어 LID 시설 선택에 따라 처리효율이 상이하게 나타나므로 유역 상황을 고려한 적절한 LID 시설 및 규모 선정이 필요하며 물순환 개선효과와 더불어 비점오염 저감효과가 있다. 하지만 LID 시설의 적용면적에 따라 비용적인 부담이 따르므로 설치비용과 유역관리 측면을 고려한 합리적인 LID 적용면적의 결정이 요구된다.

4. 결 론

소규모 배수분구인 동래천 유역에서 도출된 LID 적용면적비율을 기반으로 하수처리구역과 같은 중규모 이상의 배수분구에 대한 LID 적용면적을 설정하였다. 이를 기초로 도시물순환 개선 및 비점저감 효과를 분석하였다. LID기법 적용에 따른 물순환 개선효과는 Green Roof, Porous Pavement 및 Street Planter를 모두 적용한 경우 다음과 같은 결과를 도출하였다. 유출체적의 발생량이 46.2%에서 34.8%로 감소, 침투량은 48.4%에서 56.1%로 증가, 증발량도 5.5%에서 9.0%로 증가하였다. 계절 평균 물순환 개선효과는 Green Roof, Porous Pavement 및 Street Planter를 모두 적용했을 경우에 여름 유출량이 126.4mm에서 101.4mm로 감소하였고 침투량은 131.9mm에서 156.2mm로 증가함을 보였다. 월평균 물순환 개

선효과는 Green Roof, Porous Pavement 및 Street Planter를 모두 적용했을 경우에 유출량이 59.0mm에서 44.4mm로 감소하였고 침투량은 68.7mm에서 81.3mm로 증가함을 보였다. LID기법 적용에 따른 비점저감 효과는 온천천 하류 지점을 기준으로 3가지 LID기법을 모두 적용한 경우에 처리효율은 BOD는 29.94%의 처리효율을, SS는 30.68%의 수질 개선효과를 보였다. 기존 관리방안 중 방류량 관리에 의한 온천천 하류에서의 처리효율은 BOD 25.36%, SS 45.19%를 나타냈다. 동래천 유역의 LID 적용 가능면적을 기반으로 산정된 온천천 유역 내 LID 기법 적용가능면적은 불투수면적의 26% 정도이다. 이러한 LID 요소기술의 적용 시 연평균 24.7%의 유출량 감소효과와 20.7%의 증발량과 침투량 증가 효과를 보임과 동시에 SS 기준으로 기존의 처리시설 적용 기법과 비슷한 30.7%의 오염물질 저감효과를 나타냈다. 본 연구에서 도출된 분석결과는 B타입의 수문학적 토양이 83.3%를 차지하는 온천천 유역에 Green Roof 18.5%, Porous Pavement 6.5%, Street Planter 1%를 적용한 결과에 해당한다. 그러므로 적용된 LID 타입과 면적비율에 따라 처리효율은 상이하게 나타날 수 있다. 따라서 Porous Pavement와 Street Planter는 LID 적용 면적에 대한 처리면적의 설정비율에 따라 처리효율에 영향을 미치게 되므로 처리면적에 대한 추가적인 연구가 요구된다. 또한 토양타입과 같은 유역 상황을 고려한 최고의 효율을 나타내는 LID 타입과 면적비율을 산정하는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 유역 관리에 있어 LID 시설 적용 시의 비점오염 저감효과와 기존 비점오염 관리방안의 저감효과에 대한 비교를 통해 적정 LID 적용비율을 산정하는 방법이 기본계획 단계에서의 유역관리와 설치비용의 결정 시 하나의 대안이 될 수 있을 것으로 사료된다. 결론적으로, LID 요소기술의 적용을 통해 물순환 개선효과와 비점오염 저감효과를 기대할 수 있다. 하지만 LID의 개념적인 정의를 적용하는 경우 비용적인 부담이 따르므로 적절한 적용기준이 필요하다. 따라서 본 연구에서 제시한 기존 비점오염 관리방안의 처리효율을 만족하는 LID 적용비율이 기본계획 단계에서의 유역관리와 설치비용을 고려해야 하는 경우에 참고자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

References

- Palla, A., Berretta, C., Lanza, L.G., and Barbera, P. (2008). Modelling storm water control operated by green roofs at the urban catchment scale, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
- Bedan, E.S. and Clausen, J.C. (2009). Stormwater Runoff Quality and Quantity From Traditional and Low Impact Development Watersheds. *Journal of the American Water Resources Association* (JAWRA), Vol. 45, No. 4, pp. 998-1008.
- Montalto, F., Behr, C., Alfredo, K., Wolf, M., Arye, M., and Walsh, M. (2007). Rapid assessment of the cost-effectiveness of low impact development for CSO control. 0169-2046/\$-see front matter © 2007 Elsevier B.V. All rights reserved. doi:10.1016/j.landurbplan.2007.02.004
- Rossen, M.R., Ballesterio, P.T., Houle, J.J., Briggs, F.J., and Houle, M.K. (2012). "Water Quality and Hydrologic Performance of a Porous Asphalt Pavement as a storm-Water Treatment Strategy in a Cold Climate." *Journal of Environmental Engineering* © ASCE DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000459.
- Choi, J.S., Hyun, K.H., Lee, J.M., Kang, M.S., Jung, S.K. (2012). "Issues and Improvements in Extended Application of LID technologies." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, pp. 242-246.
- Eugene K. Bosley II (2008), Hydrologic Evaluation of Low Impact Development Using a Continuous, Spatially-Distributed Model
- James, R. (2012). Modelling LIDs using PCSWMM and EPA SWMM5
- Jeon, J.H., Choi, D.H., and Kim, T.D. (2009). "Research Paper: LIDMOD Development for Evaluating Low Impact Development and Its Applicability to Total Maximum Daily Loads." *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol. 25, No. 1, pp. 58-68.
- Kim, S.G., Kang, J.H., Park, S.H., Ko, K.Y., and Ha, D.W. (2011). *Evaluating the Effect of Low Impact Development on Yeongsan River Stream*. Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, pp. 457-457.
- Kwon, J.H., Park, I.H., and Ha, S.R. (2010). "The Analysis of Runoff Characteristics by Alterations of SCS-CN Value using LID Method." *Journal of Korean Society of Environmental Impact Assessment*, Vol. 19, No. 1, pp. 49-57.
- Lee, J.H., Cho, S.J., Kim, J.K., Seo, S.C., and Kim, S.D. (2012). "Development of a Simple Distributed Hydrologic Model for Determining Optimal Installation Location and Quantifying Efficiency of LID Devices for Reducing Non-point Sources." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 4, pp. 215-223.
- Park, D.S. (2011). *A Study on the Reduction Effect of Stormwater Runoff and Contaminated Load by LID concept*. Master' thesis, Hoseo University.
- Park, J.H., Yoo, Y.G., Park, Y.K., Yoon, H.T., Kim, J.G., Park, Y.S., Jeon, J.H., and Lim, K.J. (2008). "Analysis of Runoff Reduction with LID Adoption using the SWMM." *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 24, No. 6, pp. 806-816.
- Philadelphia Low Impact Development Symposium Workshop : Greening the Urban Environment (2011)
- Shamsi, S. (2011). CSO reduction using green infrastructure, 13th annual 3 river wet weather sewer conference
- Song, C.J. (2011). *Vulnerability Analysis of Urban Drainage System Under Climate Change and Applicability of LID-A Case Study for Gulpo Stream Basin*. Master' thesis, Inha University.
- Storm Water Management Model (SWMM) Analysis Report Metro West, Fairfax County, Virginia October 1, 2005
- STORM WATER MANAGEMENT MODEL USER'S MANUAL Version 5.0
- The Philadelphia Water Department (2011). Amended Green city, Clean waters-The city of Philadelphia's program for combined sewer overflow control program summary, PWD.

논문번호: 13-066	접수: 2013.08.26
수정일자: 2013.10.16/11.02	심사완료: 2013.11.02