

도시 물 순환 개선을 위한 생태저류지의 최적설계용량 결정

이옥정 · 최정현 · 이정훈 · 김상단[†]

부경대학교 환경공학과
48513 부산광역시 남구 용소로 45
(2017년 6월 21일 접수, 2017년 7월 26일 수정본 접수, 2017년 7월 28일 채택)

Determination of Optimum Design Capacity of Bio-retention for Improvement of Urban Water Cycle

Okjeong Lee, Jeonghyeon Choi, Jeonghoon Lee and Sangdan Kim[†]

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan, 48513, Korea
(Received 21 June 2017; Received in revised form 26 July 2017; accepted 28 July 2017)

요 약

본 연구에서는 도시 개발에 따라 왜곡된 도시 물 순환을 LID 시설을 통하여 자연적인 물 순환으로 되돌리고자 하는 설계전략이 제안된다. 이는 도시 개발 전과 후의 유황곡선이 동일하게 유지되는 최적의 LID 시설 설계용량을 결정함으로써 구현된다. 부산 녹산 국가산업단지의 일부지역이 연구대상지역으로 선정되었으며, 다양한 토지이용시나리오 및 LID 시설 설계용량에 대한 강우유출수 모의를 위하여 EPA SWMM이 구축되었다. 연구대상지역이 개발이전에 임야지역 또는 농경지역이라 가정하였을 경우, 도시 개발 이후에도 유황곡선이 도시 개발 전과 동일하게 유지되기 위해서는 불투수지역의 7.3% 또는 5.5%를 생태저류지의 면적으로 할당해야 함을 확인하였다. 또한 지역별 강우특성에 따른 생태저류지 설계용량의 민감도 분석을 수행한 결과, 농경지역의 개발 시에는 불투수지역의 3.8~5.5% 정도의 설계용량이 필요한 것으로 나타남에 따라 지역별 강우특성에 따라 생태저류지의 최적용량이 유의하게 달라질 수 있음을 살펴볼 수 있었다. 반면에, 생태저류지 각 층별 깊이의 변화에 따른 설계용량의 민감도 및 처리대상구역의 크기에 따른 민감도를 분석한 결과, 생태저류지의 설계 제원 및 처리대상구역의 크기에 따른 최적설계용량의 민감도는 크지 않은 것으로 나타났다.

Abstract – In this study, a design strategy is proposed to restore the distorted urban water cycle to the natural water cycle through the LID facility. This is accomplished by determining the optimal LID facility design capacity through which flow duration curves remain the same before and after urban development. A part of the Noksan National Industrial Complex in Busan was selected as the study area and EPA SWMM was constructed to simulate long-term stormwater for various land use scenarios and LID facility design capacity. In the case that the study area was assumed to be a forest area or an agricultural area before urban development, it was found that it was necessary to allocate 7.3% or 5.5% of the impervious area to the area of the bio-retention in order for the flow duration curve to remain the same as before urban development. As a result of the sensitivity analysis of the bio-retention design capacity according to regional rainfall characteristics, the design capacity of 3.8~5.5% of impervious area is needed for the development of agriculture area. Therefore, it can be seen that the optimum capacity can be significantly different according to regional rainfall characteristics. On the other hand, as a result of analyzing the sensitivity of the design capacity according to the variation of the depth of each layer constituting the bio-retention and the size of contributing catchment area, the sensitivity of the optimal design capacity with respect to the design specifications of the bio-retention and the size of contributing catchment area was not significant.

Key words: Bio-retention, Flow duration curve, Low impact development, Stormwater management, SWMM

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: skim@pknu.ac.kr

‡이 논문은 부경대학교 이계근 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

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.

1. 서 론

도시개발은 토지이용의 변화로 인해 불투수층을 증가시키게 되고 이로 인해 침투량의 감소를 야기시킨다. 특히 농경지 혹은 임야지역의 개발은 유역에서의 지면보유량을 감소시키게 되며, 같은 기후에서 더욱 많은 유출을 발생시키게 됨에 따라 집중 호우 시 개발 지역의 침수 피해를 일으킨다. 또한 도시화에 따라 자연상태에서 이루어지던 지하수의 흐름이 불균형해지게 되며, 오염물질의 과다 배출로 인해 생태계를 교란시키게 된다. 이러한 도시화에 따른 수문순환의 변화 및 생태계 교란 등의 문제에 대응하기 위해 여러 가지 전략들이 마련되어지고 있다.

여러 가지 전략들 중 저영향개발(Low Impact Development : LID)은 침투, 저류를 통해 도시화에 따른 수생태계의 변화를 최소화하여 개발 이전의 상태로 최대한 되돌리고자 하는 개발 전략이다. 이러한 LID 기법은 기존의 대규모 인프라 시설 중심 물 관리와는 달리 소규모 분산형 시설 설치 및 관리를 통해 비영적인 측면에서의 장점이 존재한다. 또한 LID 기법은 생태적 기능을 보전하면서도 개발을 가능하게 하며, 소규모 시설에 적용할 수 있으며 친환경적인 기능과 물 순환 관리를 동시에 적용할 수 있는 효율적인 개발법이다. 도시 공간에서의 자연시설의 설치를 통해 심미적인 가치 및 삶의 질 향상 또한 기대할 수 있다. 이러한 장점 외에도 LID 시설 설치 시의 가장 큰 이점은 도시하천으로 직접 유입되는 강우유출수의 양을 저감시킬 수 있는 것이다.

이러한 LID 기법을 이용하여 도시 물 순환 관리 및 비점오염원을 저감하고자 하는 연구는 다양한 방법으로 이루어지고 있다. SWMM의 LID 수문모형을 이용하여 시범 유역에 대한 물 순환 효과가 분석된 바 있으며, 상습 침수구역에 대해 SWMM-LID 모형을 이용하여 유출 저감효과 분석이 실시되기도 하였다. LID 시설 중 하나인 식생저류지의 최적 설계용량을 산정하는 연구가 진행된 바 있으며, 이 외에도 비점오염저감 및 물 순환 관리, 지속가능한 에너지를 위한 여러 연구들이 진행되고 있다[1-8].

본 연구에서는 도시 개발에 따라 왜곡된 도시 물 순환을 LID 시설을 통하여 자연적인 물 순환으로 되돌리고자 하는 설계전략이 제안된다. 이는 도시 개발 전과 후의 유향곡선을 동일하게 유지되는 최적의 LID 시설 설계용량을 결정함으로써 구현된다. 이를 위해 부산광역시 녹산 산업단지 일부를 가상의 처리대상구역으로 삼아 EPA SWMM를 구축한 후, 다양한 토지이용시나리오에 따른 개발

전과 후의 유향곡선을 유지할 수 있는 생태저류지의 최적설계용량을 결정하고자 한다. 또한 생태저류지의 설계 체원 및 지역별 강우특성, 처리대상구역의 면적에 따른 생태저류지 최적설계용량의 민감도가 분석된다.

2. 연구방법

2-1. 연구대상지역

본 연구에서는 부산광역시 강서구 송정동에 위치한 명지·녹산 국가산업단지(1,918 km²)의 일부지역(13,000 m²)을 연구대상지역으로 선정하였다(Fig. 1). 연구대상지역은 세 개의 소유역(S1, S2, S3)으로 구분되어 있으며, 각각 4,212 m², 4,719 m², 4,069 m²의 면적이 할당되어 있다. EPA-SWMM을 이용하여 강우유출수를 모의하기 위한 강우자료의 경우, 녹산 지역에 해당되는 부산 관측지점의 2003년 01월 01일부터 2013년 12월 31일까지의 시간강우자료를 이용하였다. 또한 잠재증발산량의 경우 동일 지점의 월 평균기온자료로부터 Thornthwaite 방법을 이용하여 월평균 증발산을 산출하여 이용하였다. 이때, 초기 값에 대한 영향을 제거하기 위하여 2003년의 모의결과는 분석에서 제외하였다.

강우유출수 모의를 위한 모형 매개변수 추정에 사용된 실측 자료는 2009년 4월부터 2012년 7월까지 강우 사상 중 20개의 강우 사상에 대하여 연구대상지역 말단부 우수관거에서 관측한 강우유출수 모니터링 자료이다.

2-2. 생태저류지 구성

생태저류지는 대표적인 LID 시설 중 하나로써, 강우유출수의 흐름 유속을 감소시키고 강우유출수를 토양 속으로 침투시킬 수 있는 시설이다. 본 연구에서 사용된 생태저류지는 EPA SWMM에서 제공되는 LID 시설 중 Bio-retention cell을 이용하여 구현된다. 생태저류지는 크게 지표층, 토양층, 저장층의 세 가지 층으로 구성되어진다. 처리대상구역에서 발생한 강우유출수는 생태저류지로 유입되며, 지표층의 저류고를 초과하는 강우유출수는 처리대상구역의 출구로 월류된다. 생태저류지로 저류된 강우유출수는 토양층으로 침투되며, 일부는 다시 대기 중으로 증발산된다. 또한 이렇게 침투된 강우유출수는 최종적으로 저장층으로 들어가게 되며, 저장층의 높이 이상 저류된 강우유출수는 underdrain을 통해 외부로 유출된다(Fig. 2).

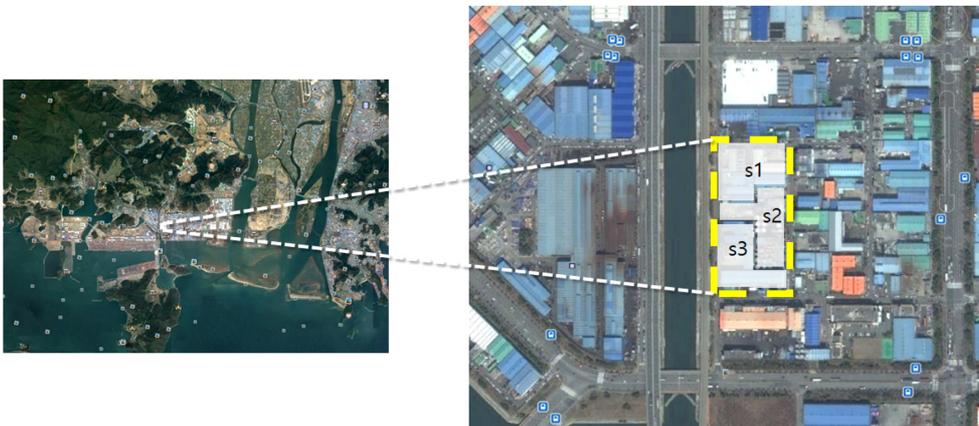


Fig. 1. Study area.

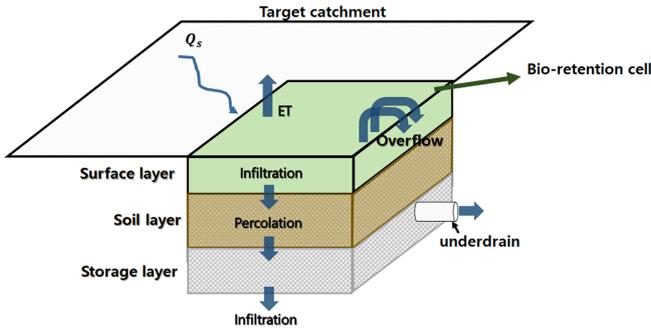


Fig. 2. Schematic diagram of bio-retention module.

Table 1. Model parameters of bio-retention

Layer name	Parameter	Value
Surface Layer	Berm Height (mm)	300
	Vegetation Volume	0
	Surface Roughness	0
	Surface slope (%)	0
Soil Layer	Thickness (mm)	600
	Porosity	0.45
	Field Capacity	0.30
	Wilting Point	0.15
	Conductivity (mm/hr)	51
	Conductivity Slope	46.60
	Suction Head (mm)	60
Storage Layer	Thickness (mm)	300
	Void Ratio (Voids/Solids)	0.75
	Seepage Rate (mm/hr)	4
	Clogging Factor	0
Drain	Flow Coefficient	0.62
	Flow Exponent	0.50
	Offset Height (mm)	300

본 연구에 적용된 생태저류지의 제원은 여러 문헌들을 참고하여 설정하였다[9-12]. EPA SWMM LID 모듈에 적용된 생태저류지의 지표층의 깊이는 300 mm, 토양층은 600 mm, 저장층은 300 mm로 구성되었다. 생태저류지의 자세한 제원은 Table 1과 같다.

2-3. 처리대상구역의 제원 설정 및 모형을 이용한 초등 분석

본 연구에서는 가상의 개발 전 토지이용상태(F-site : 임야지역, A-site : 농경지역)를 설정하였다. 임야지역과 농경지역은 신규 개발 사업이 계획되는 대표적인 토지이용패턴으로써 개발 전·후의 상태를 비교하기에 적합하다고 판단하였다. 각각의 토지이용상태에 따른 매개변수들은 EPA SWMM에서 제공하는 메뉴얼의 값을 표준으로 삼았다(Table 2).

매개변수를 이용하여 개발 전 토지이용상태의 처리대상구역에서

Table 2. Model parameters for land use scenarios

Parameter	Site	
	F-site	A-site
% Imperv	0	0
N-perv	0.60	0.06
Dstore-perv	7.62	5.08
Curve Number	69	75

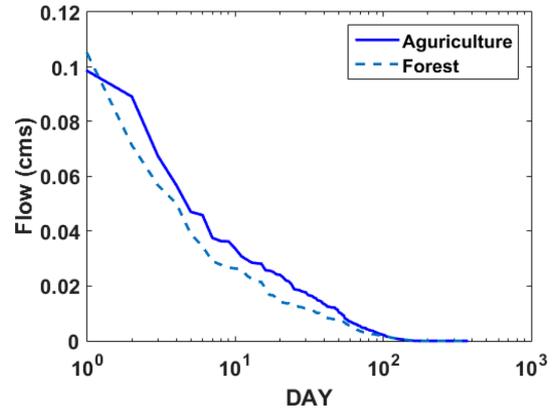


Fig. 3. Flow duration curves for land use scenarios.

모의된 강우유출수의 유행곡선을 보여주고 있다(Fig. 3). 임야지역의 경우 농경지역에 비해 상대적으로 낮은 CN값을 가지고 있으며, 지면저류고는 상대적으로 높은 값을 가지고 있음에 따라 유행이 상대적으로 작은 것을 살펴볼 수 있다. 또한 연평균 강우유출수 총량의 경우 임야지역은 538 mm/yr, 농경지역은 667.82 mm/yr로 나타났다. 임야지역의 경우 농경지에 비해 강우유출수가 발생하는 일수가 상대적으로 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

또한 본 연구에서는 각각의 가상의 처리대상구역 전체가 공업지역으로 개발되는 시나리오를 상정하였으며, 개발 후의 불투수율은 72%로 가정하였다. 개발 후 불투수지역에 대한 EPA SWMM의 매개변수는 아래 3.1절에서 추정된 매개변수가 이용되었다. 개발 전과 후의 강우유출수는 동일한 기상자료(부산지점의 강수 및 잠재증발산량 자료)를 이용하여 모의된다. 각각의 가상의 처리대상구역의 토지이용상태에 대한 연평균 수문성분 모의 결과를 나타내었다(Table 3). Urban (forest)은 토지이용상태가 임야지역에서 공업지역으로 개발된 것을 가정하였을 경우의 연평균 수문성분 결과이며, Urban (agriculture)은 농경지역에서 공업지역으로 개발된 경우의 결과를 의미한다.

2010년 6월 25일부터 2010년 7월 2일까지의 기상자료를 이용한 모의결과를 보여주고 있다(Fig. 4). Fig. 4(a)의 경우 해당 기간동안의 강수 사상을 나타내고 있으며, Fig. 4(b)의 경우 토지이용상태에 따라 모의된 강우유출수를 도시한 결과이다. 임야지역과 농경지역, 임야지역으로부터 개발된 도시지역, 농경지역으로부터 개발된 도시

Table 3. Hydrologic component analysis with respect to land use

Land use	Annual precipitation (mm/yr)	Annual Surface Runoff (mm/yr)	Annual Infiltration (mm/yr)	Surface Runoff Coefficient (%)
Forest	1636.68	414.44	1068.68	0.25
Agriculture	1636.68	513.74	1014.95	0.31
Urban (forest)	1636.68	1142.54	336.50	0.81
Urban (Agriculture)	1636.68	1164.73	340.35	0.71

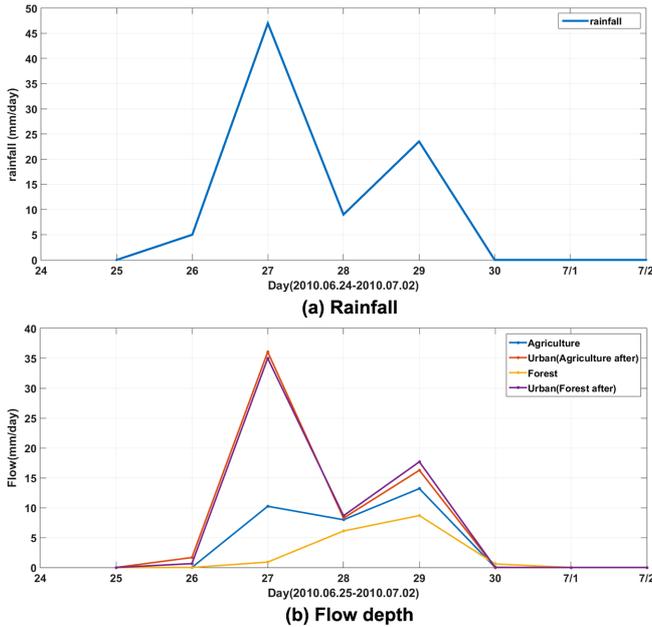


Fig. 4. Rainfall and flow depth with respect to land use.

지역 모두 강우유출수 발생 패턴이 현실적으로 잘 모의되고 있음을 확인 할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3-1. EPA SWMM 매개변수 추정

대상구역의 수문현상을 재현하고자 EPA SWMM과 Matlab 연계 모듈의 자동 매개변수 추정방법을 이용하여 강우유출수 모의와 관련된 매개변수들을 최적화하였다. 강우유출수 보정을 위해 사용된 매개변수들은 각 배수분구별 % Slope, N-Imperv, Dstore-Imperv, % Zero-Imperv로 추정되었다(Table 4). 최적화된 매개변수를 사용하여 모의한 강우유출수 유출고(SIM, mm)와 실측된 강우유출수 유출고(OBS, mm)를 나타내었다(Fig. 5). 두 값을 비교한 결과 결정계수와 모형효율계수는 각각 0.98, 0.93으로 높은 상관성을 나타내었다.

3-2. 개발 상정 시 개발 전 유황을 유지하는 생태저류지 크기 결정

본 절에서는 설정된 가상의 토지이용상태의 처리대상구역을 대상으로 개발을 상정하였을 시 기존 처리대상구역의 유황곡선의 유지를 위한 생태저류지 크기를 결정하고자 하였다. 처리대상구역 전체가 공업지역으로 개발되는 시나리오를 상정하였으며, 개발 후의 불투수율은 72%로 가정하였다. 개발 후 불투수지역에 대한 EPA SWMM의 매개변수는 3-1절에서 추정된 매개변수가 이용되었다. 개발 전과 후의 강우유출수는 동일한 기상자료(부산지점의 강수 및 잠재증발산량

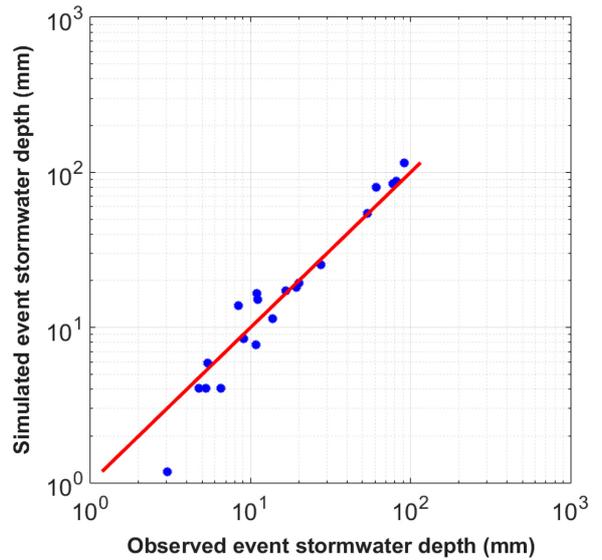


Fig. 5. Stormwater calibration results.

자료)를 이용하여 모의된다. 생태저류지는 처리대상구역 내의 각각의 소유역에 한 개소 씩 설치되며, 생태저류지의 영향면적은 처리대상구역의 각각 소유역의 불투수지역 전체로 설정하였다.

각각의 가상의 토지이용상태의 개발 전 처리대상구역에 대하여 개발 후에도 개발 전의 유황곡선 유지를 위한 생태저류지 용량 결정예시를 보여주고 있다(Fig. 6). 이 때 본 연구에서는 Table 1에 제시된 생태저류지의 표준 제원은 고정시킨 상태에서 시설 면적만을 변경시키는 방법을 이용하였다. 이는 실제 생태저류지 설계 시 생태저류지의 표준 제원은 큰 변화가 없이 적용되기 때문이다. Fig. 6에서 “Forest”와 “Agriculture”는 각각 처리대상구역의 토지이용상태가 임야지역 및 농경지역일 경우의 유황곡선을 의미하며, “100%”은 처리대상구역 전체를 공업지역으로 개발하였을 경우의 유황곡선을 의미한다. “LID (x%)”는 처리대상구역을 공업지역으로 개발한 후에 LID 시설의 시설면적을 불투수지역의 x% 만큼 할당하였을 경우에 최종적으로 배출되는 유황곡선을 의미한다.

임야지역을 공업지역으로 개발한 경우는 불투수면적의 약 7.3%를 LID 설치면적으로 할당했을 경우, 임야지역일 때의 기존 유황곡선을 잘 재현할 수 있는 것으로 나타났다(Fig. 6(a)). 또한 농경지역을 공업지역으로 개발한 경우, 불투수면적의 약 5.5%를 생태저류지로 할당해야 개발 전과 후의 유황곡선이 유지되는 것을 살펴볼 수 있다(Fig. 6(b)). 이러한 결과는 수문모델 모형을 통해 유황곡선을 유지하기 위한 생태저류지 최적 용량 설정 연구 결과와 유사한 결과를 보여주고 있다[13]. 또한 F-site의 경우, A-site와는 달리 LID 시설을 설치한다고 하더라도 풍수량 이상에서의 유황을 온전하게 재현해 주지는 못하는 것을 확인 할 수 있다. 결론적으로 생태저류지 시설의 경우 풍수량 이하의 유황에 대해 개발 전과 후의 유황을 비교적 정확하게 유지시켜줄 수 있음을 확인 할 수 있다.

3-3. 지역별 강우특성에 따른 생태저류지 최적설계용량의 민감도

본 절에서는 서울, 부산, 대전, 대구, 광주, 강릉 6개 주요 지점의 장기간 강우자료(2003년 1월 1일~2013년 12월 31)를 3-2절과 동일한 처리대상구역에 적용하여 지역별 강우특성에 따른 생태저류지의

Table 4. Stormwater parameters calibration

Subcatchment	S1	S2	S3
Area (m ²)	4212	4719	4069
% Slope	0.01	0.01	0.01
N-Imperv	0.024	0.024	0.024
Dstore-Imperv (mm)	2.5356	2.5356	2.5356
% Zero-Imperv	0.0156	0	0

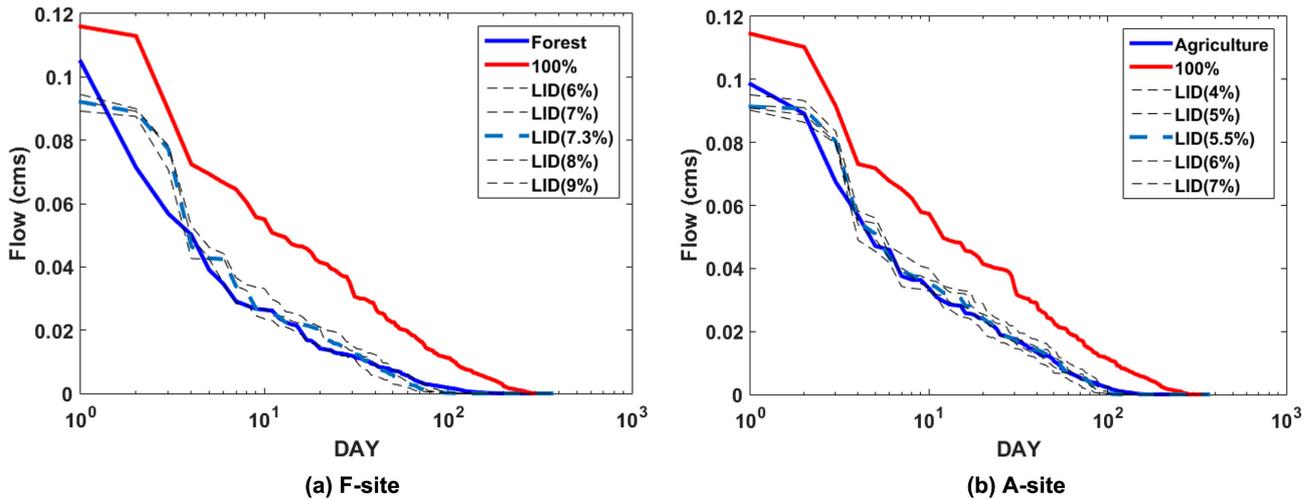


Fig. 6. Example flow duration curves.

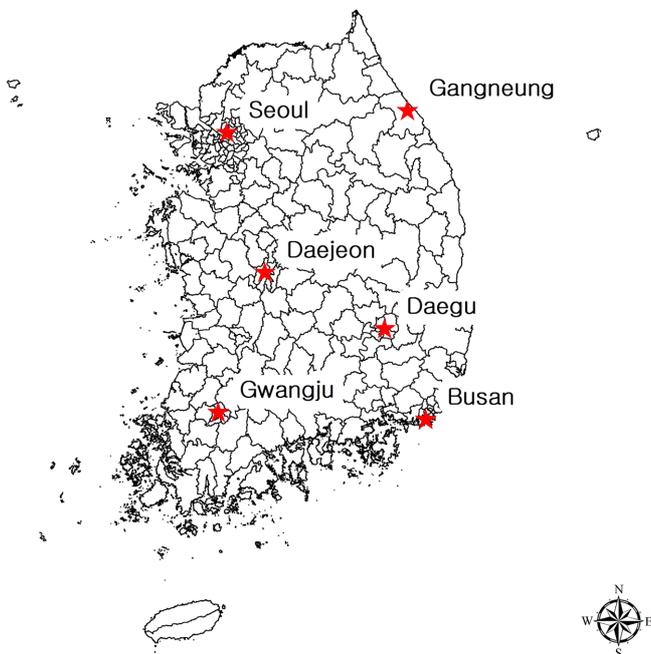


Fig. 7. Location of precipitation stations.

최적설계용량의 민감도를 살펴보고자 하였다. 개발 전의 처리대상 구역의 토지이용상태는 농경지역으로 가정하였으며, 생태저류지의 제원은 Table 1에서 나타난 표준 제원을 동일하게 적용하였다. 사용된 강우자료의 관측소 위치는 Fig. 7과 같다.

지역별 개발 전 후의 유황곡선 및 최적 생태저류지 설계용량을 보여주고 있다(Fig. 8). 지역별 결과를 살펴보면 지역에 따라 불투수면적의 약 3.8~5.5%를 생태저류지로 할당할 경우에 개발 전의 유황곡선을 유지할 수 있는 것을 살펴 볼 수 있다. 이는 지역의 강우특성에 따라서 최적설계용량이 지역별로 최대 30% 정도 차이가 날 수 있음을 나타내는 결과이다. 참고로 부산의 경우 가장 큰 설계용량이 필요한 것으로 나타나고 있으며, 광주도 다른 도시들에 비하여 상대적으로 큰 설계용량이 필요함을 살펴볼 수 있다.

3-4. 생태저류지 층별 제원에 따른 최적설계용량의 민감도

본 절에서는 생태저류지의 각 층의 깊이를 변경하여 이에 따른 생태저류지의 최적설계용량의 민감도를 살펴보고자 하였다. 표준 제원의 경우 일반적으로 사용되어지고 있는[8-11] 지표층 300 mm, 토양층 600 mm, 저장층 300 mm를 이용하였다. 생태저류지의 크기 변경은 각 층별로 ± 50 mm 변경을 기준으로 하였다(Table 5).

생태저류지 각 층별 깊이를 변경하여, Case 별로 살펴보았다(Fig. 9). Fig. 9에서 “-50 mm surface”는 지표층의 깊이를 표준깊이 300 mm에서 50 mm를 줄인 250 mm를 적용하였을 경우의 유황을 의미한다. “+50 mm surface”는 반대로 지표면 층의 깊이 350 mm를 적용하였을 경우의 유황을 의미한다. 마찬가지로 “±50 mm soil” 및 “±50 mm storage”는 각각 토양층 및 저장층의 깊이를 표준제원 대비 ± 50 mm를 적용하였을 경우의 유황을 의미한다.

Case-I을 살펴보면(Fig. 9a) 지표층의 변화에 따라 생태저류지 설치에 따른 유황곡선이 미세하게 변화하는 것을 확인 할 수 있다. 즉, 표준 제원 대비 생태저류지의 지표층을 일정량 늘리더라도 실제 총 유출량을 줄이는 것에는 큰 효과를 보지 못한다는 것을 의미한다. Fig. 9(b)는 지표층의 깊이 변화에 따른 생태저류지 필요용량을 살펴본 결과이다. 지표층이 50 mm 변화 할 때마다 생태저류지 필요 용량이 약 0.5% 가량 변화하는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 9(c)와 (d) 및 Fig. 9(e)와 (f)의 Case-II 및 Case-III을 살펴보게 되면, 토양층 및 저장층 깊이의 변화가 유황곡선에 미치는 영향은 지표층보다도 더 둔감하며, 따라서 그에 따른 생태저류지의 최적설계용량의 차이도 거의 없음을 살펴볼 수 있다. 즉, 생태저류지의 설계 제원에 따른 최적설계용량의 민감도는 매우 작은 것으로 분석되었다.

3-5. 처리대상구역의 크기 변화에 따른 생태저류지 최적설계용량의 민감도

본 절에서는 생태저류지가 설치될 처리대상구역의 크기 변화에 따라 생태저류지의 최적설계용량 민감도를 분석하였다. 처리대상구역의 크기 변화에 따른 민감도 분석 결과에 따라 다양한 처리대상구역에 본 연구결과를 적용할 수 있을 지에 대한 판단을 할 수 있기 때문이다. 전술하였다시피 본 연구의 기상처리대상구역의 전체 크기는 13,000 m²이며 각각 소유역의 크기는 약 4,000 m²이다. 참고로

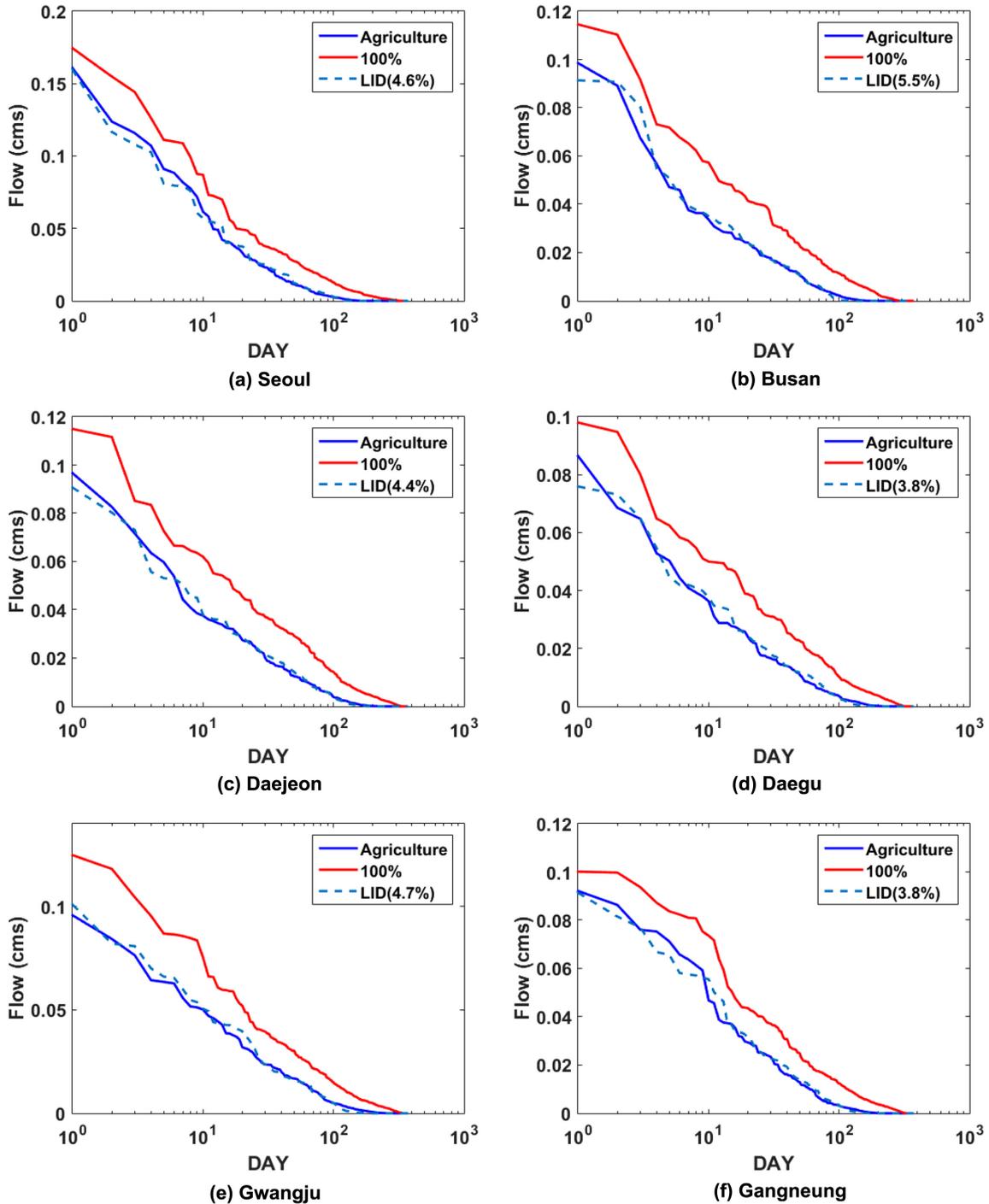


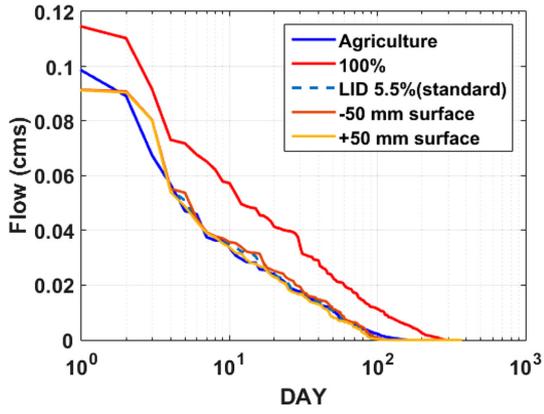
Fig. 8. Flow duration curves according to regional rainfall characteristics.

Table 5. Depth of each layer used in sensitivity analysis

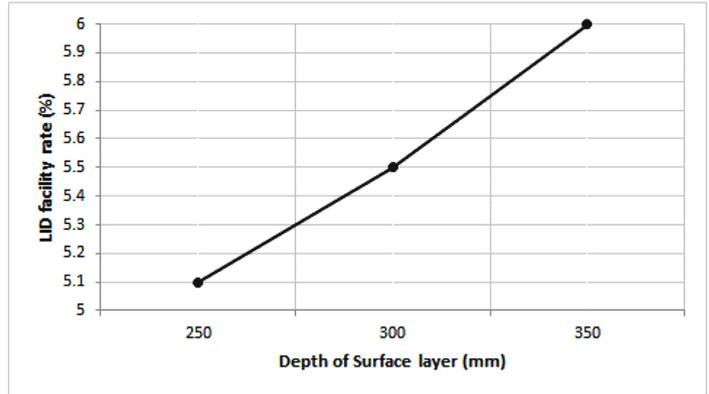
Layer		Case		
		I	II	III
Depth (mm)	Surface Layer	250, 300 (standard), 350	300	300
	Soil Layer	600	550, 600 (standard), 650	600
	Storage Layer	300	300	250, 300 (standard), 350

Virginia주에서 발간한 보고서[11]에 따르면 생태저류지 설치 가능 처리대상구역의 면적 범위를 약 400~10,000 m²으로 제시하고 있다. 이에 본 연구에서는 A-site를 기준으로 각 처리대상구역의 크기를

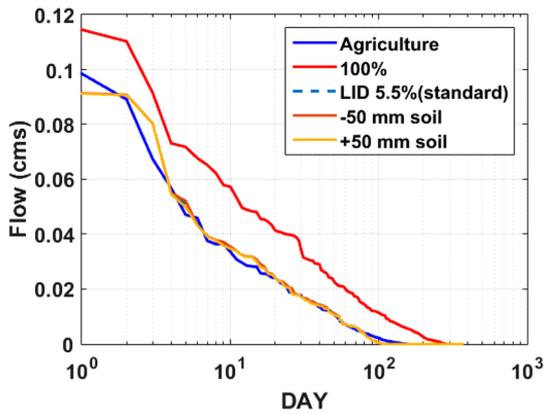
0.10, 0.25, 1.00, 1.50, 2.00배의 비율로 변경하여 면적의 변화에 따른 생태저류지의 최적 설계 용량을 결정하였다. 각 시나리오에 따른 소유역의 면적은 다음과 같다(Table 6).



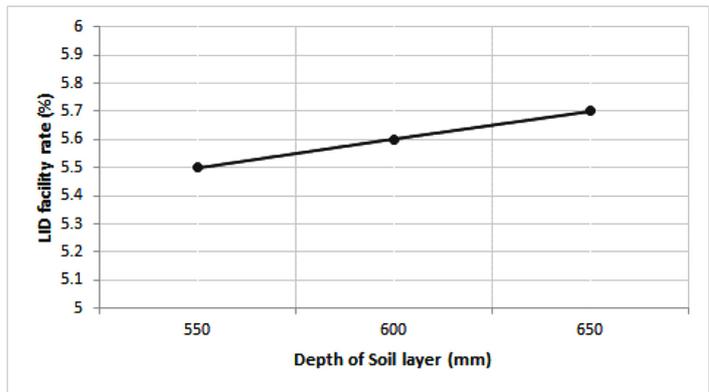
(a) Case-I



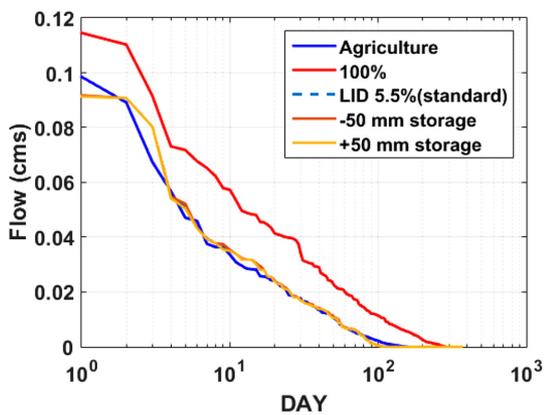
(b) Surface layer



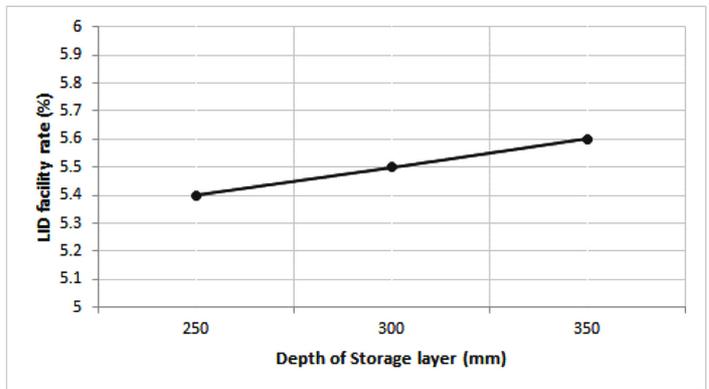
(c) Case-II



(d) Soil layer



(e) Case-III



(f) Storage layer

Fig. 9. Flow duration curves according to specific layer depth change.

Table 6. Size of contributing area used in sensitivity analysis

Ratio		0.1	0.25	0.5	1	1.5	2
Area (m ²)	S1	421.2	1,053	2,106	4,212	6,318	8,424
	S2	471.9	1,179.75	2,359.5	4,719	7,078.5	9,438
	S3	406.9	1,017.25	2,034.5	4,069	6,103.5	8,138

처리대상구역의 크기를 0.1배로 상정한 경우, 필요 LID 시설 설치 면적이 약 4.9% 정도 요구되는 것을 확인할 수 있다(Fig. 10). 이는 본 연구에서 A-site에서의 최적 설계용량으로 제시한 5.5%보다 약 11%가 작은 결과로써, 설치대상구역의 면적이 작은 경우 제시한 최

적설계용량보다 다소 작은 설계용량이 필요함을 알 수 있다. 또한 처리대상구역의 면적이 2000 m² 이상인 경우 생태저류지 최적설계 용량의 민감도가 약 0.1% 이하로 매우 둔감해지는 것을 확인할 수 있다.

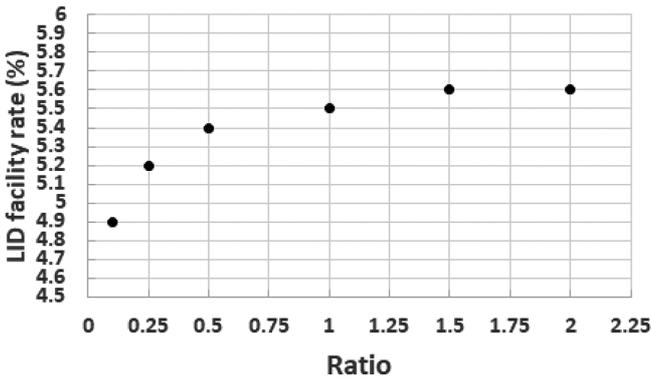


Fig. 10. Sensitivity according to change of contributing area.

4. 결 론

도시 개발로 인한 불투수층의 증가는 자연적인 수문순환을 변화시키고 있으며, 강우유출수의 증가 및 유역의 반응시간을 단축시킨다. 이러한 도시화에 따른 물순환 왜곡을 개선하기 위하여 LID 기법을 도입하였으며, 이러한 LID 기법을 통해 최대한 자연상태로의 물순환 상태로 되돌림으로써, 건강한 물순환 체계를 구축하고자 하는 노력을 기울이고 있다.

이러한 전략에 따라 본 연구에서는 LID 시설 중 대표적인 시설인 생태저류지를 이용하여 개발 전·후의 유황곡선을 유지할 수 있는 생태저류지 최적 용량을 설계하고자 하였다. 본 연구에서 적용한 가상 처리대상구역을 기준으로 100% 개발을 상정하였을 시 개발 전·후의 유황곡선의 유지를 위한 생태저류지 용량을 비교해 본 결과, 부산지역의 강우특성을 적용하면 농경지의 경우 불투수지역의 약 5.5%를 생태저류지로 할당해야 하며, 임야지역의 경우 불투수지역의 약 7.3%를 생태저류지로 할당해야 함을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 높은 투수능력을 가진 지역을 개발하고자 할 경우 상대적으로 큰 설계용량이 필요하다는 것을 의미한다.

추가적으로 강우특성에 따른 최적 설계 용량 비교 및 생태저류지 체원 변경에 따른 최적 설계 용량 민감도 분석, 처리대상구역의 면적 변화에 따른 민감도 분석을 통해, 실제 유역에서의 최적 용량 설계 시 고려해야 할 사항에 대해 분석해 보았다.

강우특성에 따른 생태저류지의 최적설계용량을 비교한 결과, 지역별로 처리해야 할 불투수면적 대비 약 3.8~5.5%의 설치면적이 최적인 것으로 계산되고 있다. 이는 지역별 강우특성에 따라서 최적설계용량이 지역별로 최대 30% 정도 차이가 날 수도 있음을 확인할 수 있는 결과이다. 체원 변경에 따른 최적설계용량의 민감도를 분석한 결과, 지표층의 변경의 경우 깊이 변경(50 mm)에 따라 설치면적/영향면적의 비가 약 0.5%의 차이를 보이고 있으나 나머지 층의 깊이 변경으로는 최적설계용량 결정에 큰 영향을 미치지 못함을 확인할 수 있었다. 마지막으로 처리대상구역의 크기 변화에 따른 생태저류지 민감도 분석 결과, 처리대상구역의 면적이 1,000 m² 이하인 경우 제안되어진 생태저류지 최적용량의 설치면적보다(A-site 표준 설치면적 기준) 약 11% 정도 작은 설계용량으로도 개발 전의 유황을 재현 할 수 있는 것으로 나타났으나, 그 이상의 처리대상구역 면적에 적용될 경우에는 최적설계용량의 결정에 큰 영향이 없는 것을 살펴볼 수 있었다.

위 결과들을 종합적으로 살펴보았을 때, 지역의 강우특성에 따라

생태저류지의 최적설계용량의 민감도가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있으므로, 지역의 강우특성을 분석하여 최적의 생태저류지 용량을 설계하는 것이 필요하다. 생태저류지 시설의 경우 생태저류지의 지표층의 깊이 변동에 따라 최적설계용량의 민감도가 다소 크게 나타나므로, 생태저류지 시설의 지표층의 높이를 가능한 크게 고려하는 것도 불필요한 시설면적의 증가를 줄일 수 있는 방법이 될 것으로 판단된다. 본 연구에서 제시되어진 생태저류지 최적설계용량을 실제 처리대상구역에 적용 시, 처리대상구역의 면적이 2,000 m² 이상인 경우에 적절한 설계 결과를 도출할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 이러한 LID 시설의 경우 극한 사상의 강우유출수 처리를 목적으로 하는 것이 아닌, 풍수량 이하의 일상적이고 연속적인 강우유출수 처리를 목적으로 함에 따라, 풍수량 이하의 유황을 보전할 수 있는 유황을 기준으로 생태저류지 용량을 설정하는 것이 보다 바람직할 것으로 생각된다.

본 연구에서 제안한 유황곡선을 유지하는 생태저류지 최적용량결정법은 자연 상태로의 수문순환을 유지하고자 하는 LID 기법의 기본적인 설계 전략에 부합하는 방법이며, 지속가능한 물순환 관리가 이루어지는 도시 개발에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 다만 본 연구에서 적용된 모형은 지하수 유출의 재현 부분이 명확하게 구현되지 못한 측면이 있음에 따라, 추가적인 연구를 진행 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의하여 연구되었음.

Reference

1. Lee, J. M. and Kim, J. L., "The Urban Water Cycle Planning Elements and Hydrologic Cycle Simulation for Green City," *LHI Journal*, **3**(3), 271-278(2012).
2. Sin, D. S., Park, J. B., Kang, D. K. and Jo, D. J., "An Analysis of Runoff Mitigation Effect Using SWMM-LID Model for Frequently Inundated Basin," *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, **12**(4), 303-309(2013).
3. Park, M. Y., Lee, J. H., Park, B. G. and Kim, S., "Estimation of Bio Retention Design Capacity Using Principal of Diminishing Returns," *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, **15**(2), 363-368(2015a).
4. Kim, S., Lim, Y. K., Kim, J. K., Kang, D. K., Seo, S. and Lee, J. K., "Best Site Identification for Spatially Distributed On-site Stormwater Control Devices in an Urban Drainage System," *Journal of Korean Society on Water Environment*, **29**(6), 986-993(2010).
5. Choi, D. G., Kim, J. K., Lee, J. K. and Kim, S., "Optimal Volume Estimation for Non-point Source Control Retention Considering Spatio-temporal Variation of Land Surface," *Journal of Korean Society on Water Quality*, **27**(1), 9-18(2011).
6. Lee, J., Choi, S. J., Kim, J. K., Seo, S. and Kim, S., "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 the Korean Society of Hazard Mitigation*, **12**(4), 215-224(2012).

7. Keem, M. S., Kang, D. K., Park, M. J. and Kim, S., "Parameter Estimation Methods of Rainwater Harvesting System Reliability Model for Improving the Applicability to Korea: Application to Busan, Korea," *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, **14**(2), 345-354(2014).
8. Park, J. Y., Hong, C. S., Han, J. H., Kang, H. W., Chung, B. W., Choi, G. W. and Min, J. H., "Cellular Responses to Alcohol in *Escherichia coli*, *Clostridium acetobutylicum*, and *Saccharomyces cerevisiae*," *Korean Chem. Eng. Res.*, **49**(1), 105-108(2011).
9. Palhegyi, G., "Designing Stormwater Controls to Promote Sustainable Ecosystems: Science and Application," *J. Hydrologic Engineering*, **15**(6), 504-511(2010).
10. Department of Energy and Environment (DOEE), Stormwater Management Guidebook, Department of Energy and Environment, 99-128(2013).
11. Virginia Water Resources Research Center (VWRRC), Virginia DCR Stormwater Design Specification No.9, Virginia Water Resources Research Center, 47-59(2013).
12. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), SWMM User's Manual, EPA(2015).
13. Lee, O., Jang, S. H., Kim, H. and Kim, S., "Size Determination Method of Bio-Retention Cells for Mimicking Natural Flow Duration Curves," *Journal of Wetlands Research*, **18**(4), 432-439(2016).