Check for updates

Journal of Climate Change Research 2022, Vol. 13, No. 6, pp. 793~804
DOI: https://doi.org/10.15531/KSCCR.2022.13.6.793

기개발도시 물순환 체계구축을 위한 저영향개발기법 도입 개선방안 : 광주광역시 상무지구를 중심으로

이성현* · 어규** · 오국열*** · 서형덕**** · 정상만*****†

*㈜어스 이사, **인하대학교 토목공학과 박사과정,
㈜어스 상무이사, *㈜이산 부장, *****(재)한국재난안전기술원 원장

Improvement Plan for the LID Introduction Process for a Reasonable Water Circulation System in an Old Town : Focused on the Sangmu District of Gwangju Metropolitan City

Lee, Sung Hyun* · Eo, Gyu** · Oh, Kuk Ryul*** · Seo, Hyeong Duk**** and Jeong, Sang Man*****†

*Director, Urban Safety, Anyang, Korea
**Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, INHA University, Incheon, Korea
***Managing Director, Urban Safety, Anyang, Korea
****General Manager, ISAN CORPORATION, Anyang, Korea
*****CEO, KOREA INSTITUTE OF DISASTER & SAFETY, Seoul, Korea

ABSTRACT

LID techniques are being applied to build urban water circulation, but most of them are applied to basic urban plans such as the development of new cities and new development projects such as district unit planning. In this study, we derive LID application scenarios for establishing an appropriate water circulation system by selecting an old town. The applicability was reviewed through an effectiveness analysis. In addition, we identified problems in the LID introduction process and suggested ways to improve them, and conducted research with the following purposes.

The target area was selected as the Gwangju Metropolitan City Sangmu District, which is an old town. The LID application scenarios were derived for establishing an appropriate water circulation system in the old town, and the effects of water balance analysis and non-point pollution sources were analyzed for each scenario. Finally, the problems of the LID introduction process were analyzed and an improvement method was proposed for establishment of the water circulation system.

Urban environmental problems, such as urban development in an old town, are expected to be more diverse and increase, and one such problem will include environmental issues due to changes in water circulation. The need for LID techniques to solve these water circulation distortion problems will continue to increase. It is necessary to apply LID techniques to restore water circulation in the old town, as well as legal and institutional improvement methods that can support them.

Key words: LID, Water Circulation System, Non-point Pollution, EPA-SWMM

1. 서론

1.1. 배경 및 필요성

도시의 외연적 확산으로 인한 불투수 포장지역의 증가와 빗물의 중앙집중식 관리로 인하여 집중호우 발생시 증가된 빗물 유출수를 신속히 처리하지 못하고 도시침수, 비점오염원의 유입으로 인한 하천오염, 지하수 · 하천의 건천화 등 다양한 환경문제가 발생하고 있다.

인간 활동에 따른 불투수면의 증가는 기존의 자연적인

†**Corresponding author** : smjeong@kids.re.kr (11, Gyeongin-ro 114ga-gil, Yeongdeungpo-gu, Seoul, 07308, Korea. Tel. +82-2-780-4624)

ORCID 이성현 0000-0002-0450-9248 서형덕 0000-0002-5940-8014
어 규 0000-0002-7422-7801 정상만 0000-0003-4441-6545
오국열 0000-0001-8965-3195

Received: September 28, 2022 / Revised: October 21, 2022 / Accepted: November 28, 2022

물 순환 과정에 변화를 가져와 결과적으로 인간의 생활에 영향을 미친다. 불투수면의 증가에 따른 첨두유량과 유출량의 증가는 홍수의 잠재적인 위험성을 증가시키며, 수질과 수생태계의 변화를 초래하여 건강한 환경에서의 인간의 삶에 악영향을 줄 수 있다. 따라서 인간활동에 따른 물순환 과정에의 영향을 최소화 할 수 있는 방법을 통한 물순환 건전화 노력이 필요하다. 불투수면 증가가 유역의 건전성을 해치는 중요한 원인으로 부각됨에 따라 도시 성장의 관리 및 유역계획 등에서 주요 과제로 등장하고 있으며, 하천환경관리에 있어 새로운 지표로 부각되고 있다. 유출수로 인해 발생하는 유역차원의 다양한 문제를 포함한 물 순환 왜곡문제를 해소하고 물 환경 건전성 유지를 위해 불투수면적의 저감대책이 필요하다(NIER, 2014a).

80년대 전 · 후 완성되었던 도시들을 중심으로 최근 도시환경의 질적 개선을 도모하고 도로, 건축물 노후화 등 지역의 물리적, 사회적 환경을 개선하기 위하여 도시재생 및 재개발이 활발히 진행되고 있다. 이들 도시 중 일부는 도시재생을 통해 개선하고자 하는 목표의 하나로 도시 물순환 기능 회복을 중요하게 고려하고 있다. 이는 홍수, 비점오염원으로 인한 수질오염 증대, 하천의 건천화, 토양의 건조화 등 도시 수환경 변화의 직 · 간접적인 원인이 되었던 인위적이고 기능적 제어에 의한 도시공간의 물 흐름을 도시화 이전의 자연적 물순환 체계와 유사하도록 최대한 개선하는 것을 의미한다(KEI, 2010). 이것은 저영향개발기법(LID)이라는 개념으로 미국의 조지 카운티에서 본격화 되었으며, 국내에서는 수원(그린인프라 조성사업), 전주(빗물유출제로화 시범단지)을 기점으로, 물순환 선도도시(대전, 광주, 울산 등)와 같은 사업이 추진 중에 있다.

따라서, 신도시 개발과 같은 도시기본계획 및 지구단위계획사업과 같이 토지이용계획을 분석하여 전반적인 물순환 체계 구축을 위한 LID 시설 적용이 가능하다. 그러나 기 개발지역과 같이 이미 정해진 토지이용과 개발이 완료된 구도심 지역의 물순환 체계구축을 위한 LID 적용방안 및 LID 적용시 문제에 대한 개선방안 연구가 필요한 시점이다.

1.2. 연구동향

LID 기법 도입 관련 국내 연구동향을 살펴보면, Cho (2011)은 도시 소유역에 LID 기법을 도시 소유역에 적용하여 SWMM 모형 분석을 통해 기존 도시화상태, 공공건물 옥상녹화 적용, 보행자도로 및 공공 주차장 등 투수포장 적용 등 각 시나리오별 유출량 및 비점오염원 저감효과를 분석하였으며, LID 시설이 복합적으로 적용된 시나리오에서 가장 높은 유출 및 비점오염원 저감효과를 분석하였다. Park et al.(2013)은 SWMM 모형을 이용하여 개발 전 · 후의 물수지 분석 및 불투수면적 증가가 유출특성에 미치는 영향을 검토하여, 도시 개발에 따른 LID 기법 선정시 강우유출 저감 고려시에는 침투시설을 비점오염원 부하 저감을 고려시에는 저류시설을 선정하는 것이 효율적인 것으로 제시하였다. Jeon (2016)은 LID 기술이 시범적으로 도입되어 있는 연구대상지를 대상으로 개별 LID 기술의 특성, 배치방법, 설치면적에 따른 효과분석을 수행하였다. LH (2017)은 행복도시 저영향개발 기법 반영을 위해 빗물관리 목표량 설정 및 토지이용계획별 목표량 할당, 지구단위 계획 수립시의 LID 기법 반영 및 상세설계, 설계 가이드라인 및 유지관리 매뉴얼, 그리고 교육 및 홍보방안 수립을 수행하였다.

DSRI (2017)은 대전광역시의 물환경 회복을 위한 저영향개발 기법 도입에 대한 타당성을 알아보고 대전광역시에 적합한 요소기술을 제시하였으며, JRI (2017)에서는 저영향개발 기법의 도입을 위한 개념 고찰, 국내외 관련 법제도 현황 및 적용사례를 검토하여 지역여건에 적합한 기술을 도출하였다.

Son et al.(2018)은 도시의 물순환 회복을 위해 LID의 효율적 적용을 위하여 국내 관련 법 · 제도를 평가하여 LID 적용에 대한 접근방법과 법 · 제도 개선방향을 제안하였다. Lee (2019)은 관측강우량과 기후변화 시나리오를 적용한 확률강우량의 변화를 분석하여 설계강우를 유도하고, 유출모의 프로그램인 SWMM모형을 이용하여 LID 시설의 적용 전 · 후에 대한 유출량 저감효과를 분석하여 제시하였다. Kim (2019)은 시민들의 도시환경과 LID에 대한 인식을 조사 분석하여 LID 적용 확대에 대한 타당성과 관리에 대한 방안을 도출하여 제시하였으며, 시민들의 인식조사를 통해 LID 시설의 확대 및 관리, 조례 제정, 일자리 창출 등의 시민참여형 도시 물관리 방안을 제시하였다.

LID 적용관련 국외 연구동향을 살펴보면 다양한 목적으로 연구가 선행되어져 왔다. Perez-Pedini et al.(2005)은 도시유역의 투수성포장이나 생태저류시설 그리고 침투시설 등을 이용하여 도시개발 이전의 수문학적 기능이 복원되도록 LID 기법을 적용하고, 침투기반의 관리기법을 제안하였다. Qin et al.(2013)은 도시지역에서의 습지대, 투수성포장, 옥상녹화 등 LID 기법을 평가하여 단기간 많은 양의 강우에는 LID 기법의 적용지역이 기존배수시스템 적용지역보다 유출량 감소에 더 효과적이라고 하였다. 미국의 노스캐롤라이나 주립대학에서는 Carrboro 시내에 약 33,000 ㎡ 규모의 실증단지를 구축하여, LID 기술의 효용성, 시공성 및 적용성과 관련한 모니터링 연구를 수행하고 있으며, Virginia Wetland Studies and Solutions에서는 총 3.87 acre 면적

에 LID 시설을 설치하고 네트워크를 통하여 흐름분석을 위한 모니터링 지점을 선정하여 수문시스템의 성능을 평가하는 등 LID 시설에 대한 평가를 수행하고 있다(Yun, 2017).

LID 시설 중심의 적용 및 효과분석 연구, 신규개발단지(신도시)의 최적 기법선정 및 적용성 평가에 대한 연구가 대부분으로, 기개발 도시지역을 중심으로 하는 연구는 크게 다뤄지지 않고 있다. 따라서, 기개발 도시지역을 대상으로 하여 물순환 체계 구축을 위한 LID 적용 방안과 적용시의 문제점을 분석하고 이를 개선할 수 있는 방안 제시를 위한 연구가 필요한 시점이다.

1.3. 연구목적 및 방법

본 연구에서는 기개발 도시지역인 광주광역시 상무지구를 대상으로 도시지역의 물순환 체계구축을 위한 LID 적용 시나리오를 구성하였다. 시나리오별 효과분석을 통해 적용성 검토 및 문제점을 도출하였으며, 이를 개선할 수 있는 방안을 제시하고자 한다(Fig. 1).

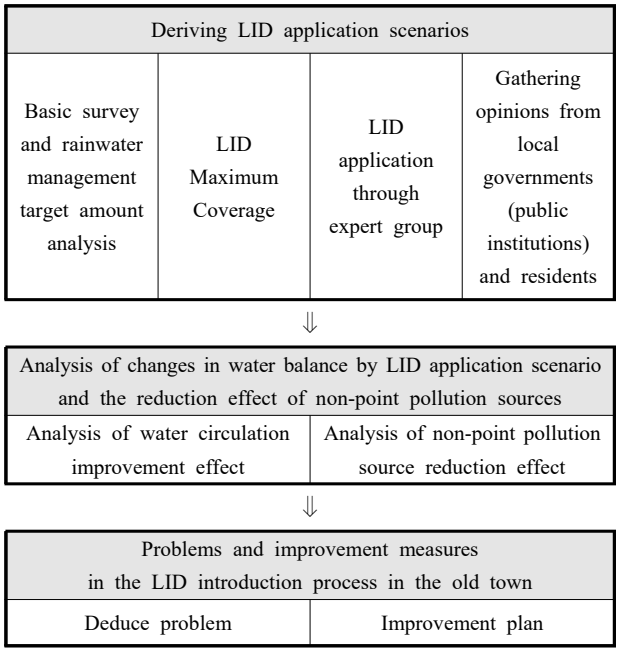


Fig. 1. The flow chart of study

1) 기개발 도시의 물순환 체계구축을 위한 LID 적용 시나리오를 도출한다.

2) 시나리오별 LID 기술 적용에 따른 물수지 변화 및 비점오염원 저감효과를 분석한다.

3) 기개발 도시 물순환 체계구축을 위한 LID 도입과정에서의 문제점을 도출하고, 이 문제점을 개선할 수 있는 방안을 제시한다.

2. EPA-SWMM 및 대상지역 선정

2.1. EPA-SWMM

EPA-SWMM 모형은 미국 환경부(Environmental Protection Agency. EPA)에서 1970년대 초반 개발된 모형이다. 이 모형은 도시유역 내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지하흐름, 배수관망에서의 유출량추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용 계산 등을 모의하며 단일 및 연속 강우현상 분석이 가능한 모의 방법이 적용 가능하다. 본 연구에서는 EPA-SWMM 모형으로 도시 배수시스템 내의 홍수량의 크기 및 수질 등을 모의하여 도시유역 내 강우에 따른 유출 및 수질을 평가하고자 한다.

2.2. 대상지역 선정

광주광역시 상무지구는 1990년대에 개발된 도시로 행정·업무의 중심도시이며, 광주광역시청, 영산강유역환경청을 비롯한 여러 공공기관과 학교, 공원, 금융, 서비스, 아파트 단지 등이 밀집된 광주 중심의 대표적인 택지개발지역이다. 대부분 토지이용이 불투수층으로 이루어져 불투수면적율이 매우 높은 상태로 표면유출량 및 비점오염원의 증가, 하천·지하수의 건천화 등 도시환경 전반에 걸쳐 물순환에 악영향을 미치고 있다. 따라서, 본 연구에서는 기개발된 도시에 LID 기법 적용을 통해 물순환 체계를 구축하고 이에 대한 개선효과를 분석하기 위해 광주광역시 상무지구를 대상지역으로 선정하였다(Fig. 2).

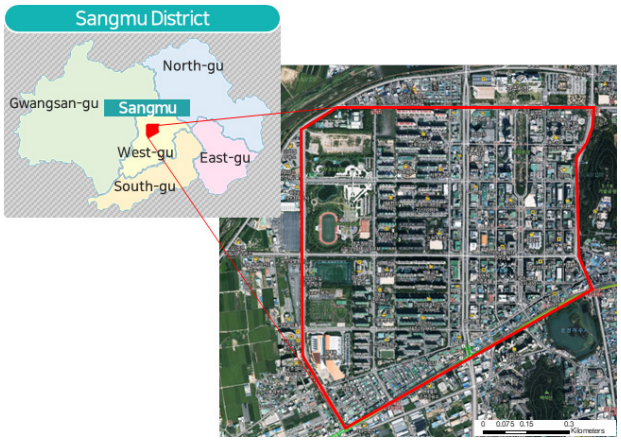


Fig. 2. Study area (Gwangju city); V-World

3. 빗물관리 목표량 설정 및 시나리오 구성

3.1. 빗물관리 목표량 설정

3.1.1. 빗물관리량 분석

대상지역인 광주광역시 상무지구 물순환 체계구축을 위하여 「저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인(MOE, 2016a)」제시한 방법 중 기개발된 도시지역에 적용할 수 있는 백분위수 강우사상 관리기법을 적용하였다. 또한, 최근 이상기후 등 기후변화 상황을 고려하여 광주기상대 최근 10개년(2012년 ~ 2021년)의 일 누적 강우자료를 사용하여 백분위수 빗물관리량을 산정하였으며, 산정방법은 다음과 같다.

① 대상지역의 최소 10년 이상의 일강우(이벤트 강우) 자료를 수집한다.

② 대상 기간의 전체 강우량 중 무강우일은 배제하고, 최소강우부터 최대강우까지 강우사상을 재정렬하여 백분율로 나타내며, 관리하고자 하는 목표 백분위수 80%의 강우량을 결정한다.

대상지역의 물순환 회복을 위한 빗물관리량 백분위수 분석결과는 연간 누적발생빈도 80%에 해당하는 15.0 ㎜로 분석되었으며, 그 결과를 Table 1과 Fig. 3에 제시하였다.

Table 1. Rainwater Management Percentile Analysis

Division		Daily Precipitation (mm)
Gwangju observatory	70% (percentile)	9.0
	80% (percentile)	15.0
	90% (percentile)	28.7

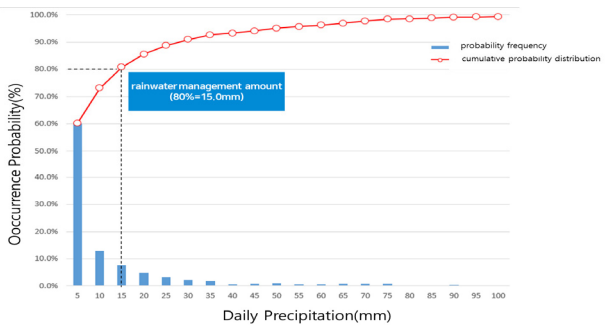


Fig. 3. Gwangju Observatory Rainwater management target according to accumulated daily rainfall

3.1.2. 대상지역 빗물관리 목표량 분석

본 연구의 대상지역인 광주광역시 상무지구의 도시 물순환 체계구축을 위하여 빗물관리 목표량을 산정하였다.

앞 절에서 백분위수 강우사상 관리기법 적용을 통하여 분석한 빗물관리량 15.0 ㎜와 상무지구의 토지이용도를 활용한 불투수면적 1,870,976 ㎡을 산정하였다. 분석된 이 두 결과 값에 적용하여 빗물관리 목표량을 산정하였으며, 빗물관리 목표량 산정식은 아래와 같다.

$$\text{The Rainwater Management Target Amount} = \text{Rainwater Management} \times \text{Impervious area} \quad (1)$$

산정결과 대상지역의 도시 물순환 체계구축을 위한 빗물관리 목표량은 약 28,065 ㎥으로 분석되었다. 분석된 빗물관리 목표량은 대상지역의 물순환 체계구축을 위한 LID 기법 적용시 각 시설물에서 저감할 수 있는 설계용량 기준으로 적용하였다.

3.2. 시나리오 구성

기개발 도시지역의 물순환 체계 구축을 위하여 불투수면적률이 높은 공공기관, 공공부지(조경녹지, 공원, 도로, 공공주차장 등)를 검토하여 적용가능 지역을 분석하고, 도출된 결과를 바탕으로 이론적 검토를 통해 LID 시설 최대 적용 가능 시나리오와 전문가의 서면 및 현장자문을 통하여 대상지역의 현장여건을 반영한 LID 시설 적용 시나리오, 지자체 · 공공기관 · 주민 협의과정 등 행정적 검토사항을 반영한 LID 적용 시나리오를 도출하였다.

3.2.1. LID 최대 적용 시나리오

기초자료 분석 및 현장조사 결과를 바탕으로 제안한 토지이용별 적용가능 LID 시설을 최대로 적용하였으며, 대상지역의 경우는 기존 개발도시로 다양한 LID 시설 적용에는 한계점을 나타내었다.

대부분 불투수면적률이 높은 공공기관 부지(주차장 및 조경부지)와 공공부지인 보행자도로 중심의 시설이 적용 가능하여, 보행자 도로 형태(도로인접, 보행자도로 전용) 및 보행자 도로폭을 고려하여 적용이 가능하였으며, 대상지역내에 위치하는 공원(대규모 공원, 소규모 어린이공원)에도 LID 시설을 적용하여 Table 2와 같이 적용시설에 대한 집수면적과 시설면적, 설계용량을 설정하였다.

3.2.2. 전문가 의견수렴을 통한 LID 적용 시나리오

현장검토(조사)를 통한 전문가 의견 수렴으로 대상지역의 현장여건을 고려하여 LID 적용시설과 배치방안을 검토하였다. 현장검토(조사)에 참여한 전문가 그룹은 학계(교수 2명), 연구기관(연구원 2명), 엔지니어회사(기술자 2명)에서 참여하였다. 현장조사는 1차 의견수렴 결과를 우선순위로 배치가 가능한 공공기관과 주요 보행자도로를 기준으로 시행하였으며, 대상지역의 LID 시설 배치를 위한 현장자문내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 대상지역의 상무지구는 보행자도로(인도) 폭이 넓은 곳이 많고, 기존에 식재된 가로수가 많아 기존 가로수를 활용하여 그린네크워크(Green-Network) 형성이 필요

2) 기존 조경시설 설치 공간은 일부 구간이라도 경계석을 제거하여, 빗물이 유입될 수 있게 변경

3) 기존 LID 시설 배치구간(투수포장)은 조경공간 사이에 식생수로 또는 침투도랑 등을 배치하여 조경공간에서의 토사 및 우수유출 방지가 필요

4) 대상지역은 기개발 도시 지역으로 LID 시설 선정(기법)과 배치(적용공간)에 한계가 있으나, 최대한 식생형시설을 배치하여 유출저감을 위한 침투증대외에 증발량이 증대될 수 있도록 식생형시설 배치가 중요

전문가 주요의견과 현장검토(조사) 등 기술적 검토를 통하여 LID 시설 적용방안을 도출하였다. 공공 및 교육기관 중 LID 시설 적용가능한 부지가 협소하거나 단일 건물에 위치하지 않은 공공기관은 제외하였다. 상무시민공원 등 대규모 공원 내에 적용가능한 투수포장은 최소화 하였

Table 2. Result of Application by Target Area LID Technology (Scenario 1)

Division			Catchment Area (㎡)	Facility Area (㎡)	Design Capacity (㎥)
Vegetation System	Planter Box		59,189.2	3,561.0	1,731.0
	Bio-Retention		18,007.8	13,382.2	7,913.9
	Vegetation swale		2,005.6	2,000.8	1,530.4
Infiltration System	Infiltration side gutter		14,342.5	3,345.1	3,777.3
	Infiltration ditch		4,840.8	335.9	208.2
	Porous pavement	Parking	21,805.3	21,805.3	3,167.7
		Pedestrian road	149,511.0	147,987.7	22,774.9
		Bicycle road	36,707.2	36,707.2	5,576.5
Total			306,409.3	229,125.2	46,679.9

Table 3. Result of Application by Target Area LID Technology (Scenario 2)

Division			Catchment Area (㎡)	Facility Area (㎡)	Design Capacity (㎥)
Vegetation System	Planter Box		59,189.2	3,561.0	1,731.0
	Bio-Retention		14,788.9	10,163.2	6,319.4
	Vegetation swale		608.6	603.8	461.2
Infiltration System	Infiltration side gutter		13,719.9	3,005.8	3,605.3
	Infiltration ditch		4,840.8	335.9	208.2
	Porous pavement	Parking	18,771.4	18,771.4	2,747.7
		Pedestrian road	88,855.5	87,332.3	13,282.9
		Bicycle road	35,897.7	35,897.7	5,451.4
Total			236,671.9	159,671.1	33,807.1

다. 또한 통행이 적고 보행로가 좁은 곳은 식생형시설을 배치하고, 투수포장 등 침투시설 적용을 최소화하여 적용하였으며, Table 3과 같이 적용시설에 대한 집수면적과 시설면적, 설계용량을 설정하였다.

3.2.3. 지자체(공공기관) 및 주민의견 수렴을 통한 LID 적용 시나리오

지자체 · 공공기관 · 주민 의견사항 등 행정적 검토를 통하여 LID 시설 적용방안을 도출하였다. 대상지역의 LID 시설 적용시 일부 안전사고 위험이 있는 식생수로 등을 제외하거나 담수심의 계획고를 낮춰서 반영하였으며, 보행자의 보행안전성을 위하여 보도 폭을 2.0 m를 확보하기 위하여 LID 시설을 식물재배화분에서 투수포장으로 변경 적용하였다. 또한, 소규모 어린이 공원의 노후된 공원바닥 부분을 투수포장으로 반영하였다. 공공기관에서는 총 28개소의 공공 및 교육기관 중 LID 적용부지 협소, 유지관리의 어려움 및 민원발생 등으로 다수의 기관이 참여하지 않았으며, 그 중 7개 기관만 참여하는 저조한 참여율을 나타내었다. 참여한 공공 및 교육기관은 기존 조경시설 변경을 최소화하여 LID 시설을 반영하였으며, 대부분 불투수면적으로 이뤄진 주차장에 반영하였다. 주민의견은 시설의 배치보다 시설에 적용되는 식재식물이라던지 주민편의 시설 적용의 의견이 다수였으며, 지자체 · 공공기관 · 주민의견 등의 행정적 검토사항을 반영하여 Table 4와 같이 적용시설에 대한 집수면적과 시설면적, 설계용량을 설정하였다.

3.2.4. 빗물관리 목표량 및 시나리오별 설계용량 비교

분석된 빗물관리 목표량은 LID 시설 적용을 통하여 대상지역의 물순환 체계구축을 위한 설계용량의 최소기준으로 결정하였으며, 각 시나리오별 설계용량과 비교 · 분석한 결과 모든 시나리오에서 최소기준보다 상회하게 적용되었고, 비교 결과는 Table 5에 제시하였다.

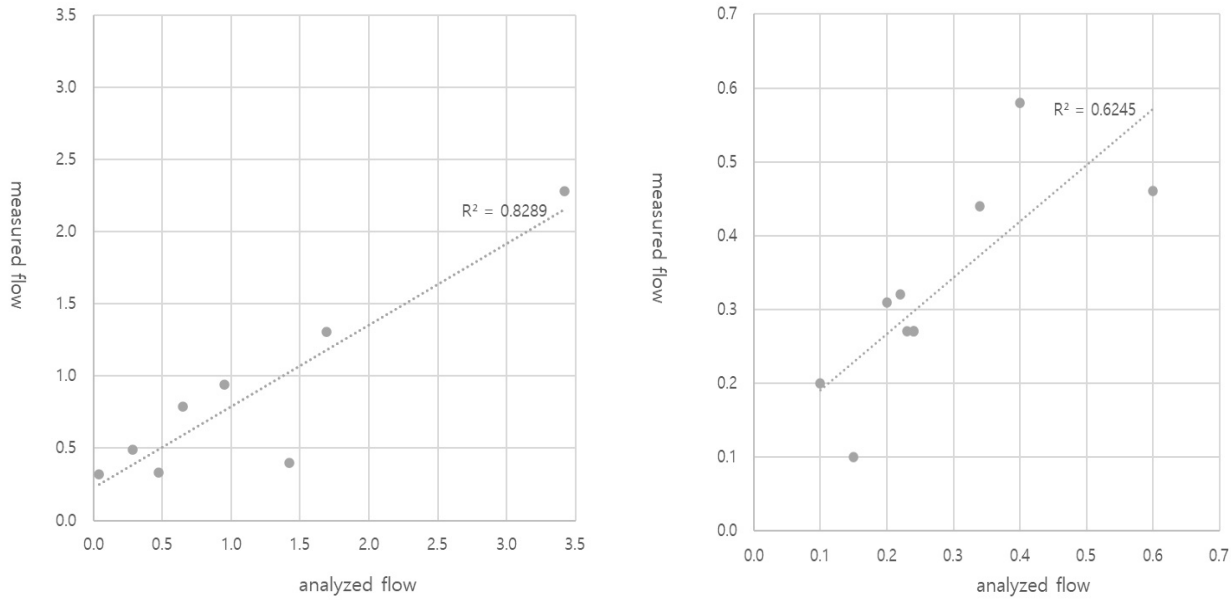
비교결과 LID 최대 적용 시나리오에서는 목표기준대비 약 67% 상회하게 적용되었으며, 전문가 자문의견 수렴을 통한 LID 적용시나리오는 21%, 지자체 및 주민의견 수렴을 통한 LID 적용시나리오는 16%로 목표기준을 모두 상회하게 적용된 것으로 분석되었다.

Table 4. Result of Application by Target Area LID Technology (Scenario 3)

Division			Catchment Area (㎡)	Facility Area (㎡)	Design Capacity (㎥)
Vegetation System	Planter Box		53,969.2	3,039.0	1,453.1
	Bio-Retention		14,788.9	10,163.2	6,319.4
	Vegetation swale		608.6	603.8	461.2
Infiltration System	Infiltration side gutter		10,396.7	1,194.7	1,777.8
	Infiltration ditch		4,840.8	335.9	208.2
	Porous pavement	Parking	10,064.0	10,064.0	1,463.5
		Pedestrian road	100,123.9	98,600.6	15,083.6
		Bicycle road	36,707.2	36,707.2	5,576.5
Total			231,499.2	160,708.5	32,343.3

Table 5. Comparison of Rainwater Management Target amount and Design Capacity by scenario

Division	Design Capacity (㎥)	Rainwater Management Target Amount (㎥)	Comparison Result (㎥,/%)	
Scenario 1	46,679.9	about 28,000 ㎥	18,679.9	67%
Scenario 2	33,807.1		5,807.1	21%
Scenario 3	32,343.3		4,343.3	16%



(A) Primary analysis result (b) Secondary analysis results

Fig. 4. Correlation analysis of measured flow and analyzed flow (R^2)

3.3. 효과분석

3.3.1. SWMM 모형 적용성 평가

본 연구에서 구축한 대상지역의 SWMM 모형에 대한 적용성 평가를 위하여 대상유역의 실제 유출량 자료를 활용하여 구축된 SWMM 모형의 모의된 분석유량과 비교하였다. 대상유역의 실제 유출량자료는 「광주광역시 물순환 선도도시 조성사업 기본 및 실시설계」 과업에서 실시한 모니터링 결과자료를 취득하여 활용하였다.

분석한 결과 전체 총 유량은 실측유량 보다 분석유량이 약간 작게 모의되었으며, 모형의 적정성을 평가하기 위하여 상관분석을 수행하였다. 각각의 분석결과에 대한 상관분석 결과는 Fig. 4와 같이 $R^2 = 0.83$, $R^2 = 0.62$ 값을 나타냈었다. 결정계수(R^2)는 1에 가까울수록 두변수간의 상관관계가 높다고 해석할 수 있으며, R^2 0.5 이상이면 유의한 수준인 것으로 판단할 수 있다.

아래 그림과 같이 1차 분석결과(a)는 R^2이 0.8 이상으로 높은 상관성을 나타내었으며, 2차 분석결과(b)는 R^2이 0.6 이상으로 약한 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 두 개의 상관분석결과 실측 및 분석유량간의 R^2이 0.5 이상으로 유사한 경향이 나타난 것으로 판단하여 SWMM 모형의 적용성을 확인하였다.

3.3.2. LID 적용 시나리오별 효과분석

대상지역의 물수지 변화 분석을 위하여 인근 관측소(광주기상대)의 10개년(2012 ~ 2021) 시간강우자료를 활용하여 유출모의 분석을 수행하였다. 각 시나리오별 물수지 변화 분석결과 표면유출은 LID 적용전 88%에서 시나리오1 38%, 시나리오2 47%, 시나리오3 46%로 저감되는 것으로 나타났으며, 이는 LID 시설의 침투 · 저류로 인하여 표면유출이 저감되는 것으로 판단된다. 침투량에 대해서는 LID 적용전 약 3%의 저조한 침투량을 보였으나, 다수의 침투시설(침투측구, 투수포장 등)의 설치로 인하여 향상된 것을 볼 수 있다. 또한, 증발량의 경우는 LID 적용전 9%의 증발량을 보였으나, LID 시설인 식생형시설의 효과로 인하여 미미하게 향상된 것을 확인할 수 있으며, 분석결과를 Table 6, Fig. 5에 제시하였다.

Table 6. Water balance analysis result by LID application scenario

Division	Surface run-off (mm/yr)	Infiltration (mm/yr)	Evaporation (mm/yr)
LID Before	1,140.1	45.4	116.3
Scenario 1	496.4	645.0	160.4
Scenario 2	615.2	552.3	134.3
Scenario 3	597.6	572.0	132.2

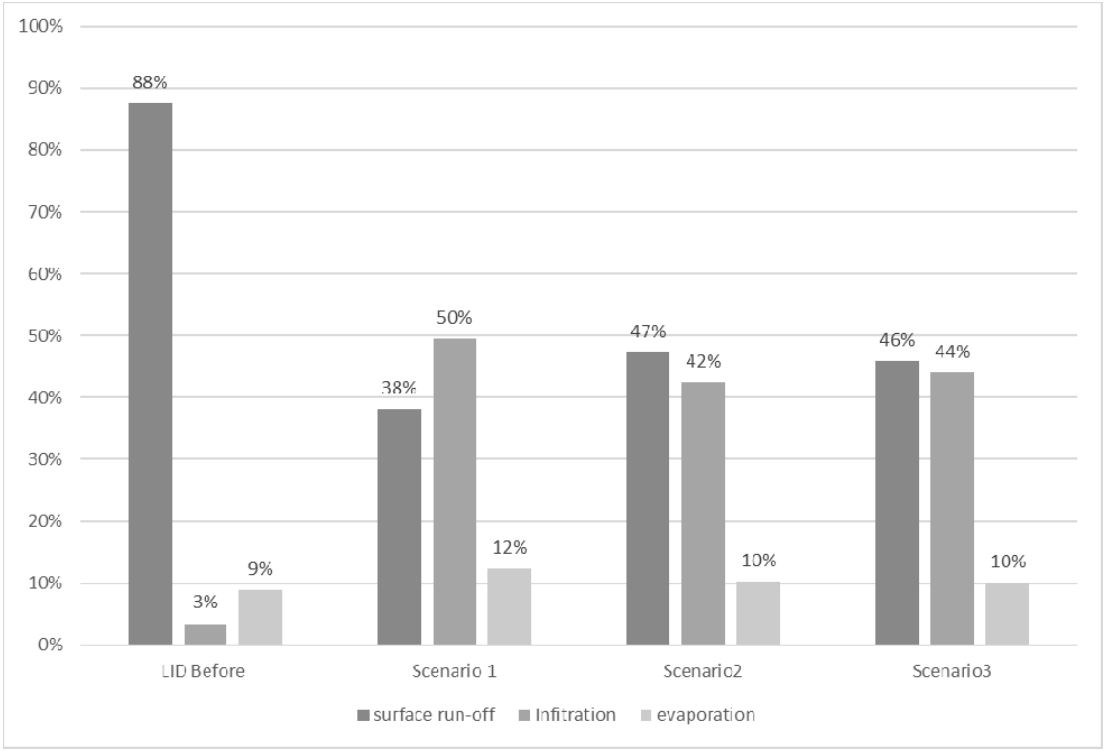


Fig. 5. Water balance change analysis result graph by LID application scenario

3.3.3. LID 적용 시나리오별 비점오염원 저감효과 분석

발생부하량에 대한 실측조사가 어려울 경우에 지목별 면적과 연평균 발생부하원단위를 이용하여 연평균 발생부하량을 산정할 수 있다. NIER (2006)에서 제시한 토지계 지목별 개발 후 연평균 발생부하 원단위 값을 적용하여 비점오염 발생부하량을 산정하고 LID 요소기술 적용 전·후에 따른 비점오염원 저감효과를 분석하였다. 적용된 LID 시설별 비점오염원 저감효율은 NIER (2014b)에 제시된 비점오염시설별 저감효율(BOD, TN, TP, SS)을 적용하였으며, 각 비점오염원시설별 저감효율은 MOE (2016b)에서 제시한 연간 저감효율인 80%를 일괄 적용하여 분석하였다.

가장 많은 LID 시설을 적용한 시나리오 1에서 비점오염원 별로 가장 높은 저감효과를 나타내었으며, 시나리오 2에서는 LID 시설 적용이 공공기관 주차장의 침투시설(투수포장 및 침투측구 등), 보행로에 설치된 식생형시설(식물재배화분 및 식생체류지 등)으로 집수면적이 넓게 적용되어 설치면적은 가장 적게 적용되었지만 두 번째로 높은 비점오염원 저감효과를 나타내었다. 시나리오 3은 LID 시설 설치면적이 시나리오2 보다 약간 크게 적용되었으나, 집수면적이 넓은 공공기관이 많이 배제되었으며, 대부분 집수면적이 좁은 보행로에 투수포장 적용으로 이루어져 비점오염원 처리효과가 약간 낮게 분석되었다 (Table 7).

Table 7. Analysis result of non-point pollution source reduction effect by LID application scenario

Division	BOD	TN	TP	SS
Scenario 1	31.2%	30.9%	31.3%	27.2%
Scenario 2	18.7%	18.5%	18.6%	17.8%
Scenario 3	18.5%	18.3%	18.3%	17.7%

4. LID 적용과정의 문제점 및 개선방안

4.1. LID 적용과정의 문제점 도출

본 연구는 기개발된 도시 지역의 물순환 체계 구축을 위하여 LID 시설 적용방안 마련을 목적으로 하고 있다. 대상지역인 광주광역시 상무지구에 대하여 이론적으로 적용가능한 최대의 LID 시설 및 배치방안을 도출하고, 이

에 기술적인 검토결과 적용방안과 행정적인 검토결과 적용방안을 도출하였다. 이 네 가지 방안 적용과정 속의 문제점을 다음과 같이 도출하여 제시하였다.

첫 번째로 물순환 체계구축을 위하여 우선 고려해야 할 사항은 대상지역의 빗물관리 목표량으로 MOE (2016a)에서는 총 3개의 방법을 제시하고 있다. 비점오염저감을 위한 빗물관리 목표량 설정방법은 비점오염저감시설 설치에 따른 목표량을 제시하고 있다. 개발 전후의 수문분석을 통한 빗물관리 목표량 산정방법은 도시조성 사업 등과 같은 신도시 개발지역에 적용할 수 있도록 제시되어 있다. 하지만 기개발 도시지역에 적용할 수 있는 방법은 백분위수 분석을 통한 빗물관리 목표량 산정방법으로 목표량 산정방법과 관련 사례인 행복도시 6-4생활권 적용결과인 80퍼센트 결과만 제시되었으며, 비점오염저감, 물순환 체계구축 등 명확한 목적에 따라 적용할 수 있는 기준(퍼센타일) 제시는 미비한 실정이다.

두 번째로 대상지역은 기개발지역으로 개발완료로 인한 토지이용 변경이나 신규개발사업 도입이 불가능한 지역이며, 기개발 시설물이 대부분으로 재해영향평가, 우수유출저감대책수립, 환경영향평가 대상 개발사업, 건축물(대지면적 1,000 ㎡ 이상, 연면적 1,500 ㎡ 이상), 도로(건축법 제2조제1항제11호에 따른 도로), 기타 물관리 시설 설치가 필요한 시설로 시장이 정하는 시설 등은 저영향개발기법을 적용한 물순환 관리시설 설치를 권고하고 있어, 필수 이행사항이 아닌 관계로 물순환을 위한 LID 시설적용이 어려운 실정이다.

세 번째로 LID 시설 적용시 유지관리 주체가 모호하여, 사업관계자(지자체 담당자, 공공기관 실무자)의 LID 시설 관리주체를 지정하는 법 · 제도 및 지자체 조례의 개정이 필요하며, 물순환을 위한 LID 시설의 체계적인 관리를 위한 정보화 통합관리시스템이 필요한 것으로 사료된다.

마지막으로 사업관계자(지자체, 공공기관)에 대한 LID 시설의 의식개선을 위한 정기적인 교육과정 수립이 필요하며, 지역주민들에 대한 LID 시설의 인식개선을 위한 교육 · 홍보를 통해 자발적 참여를 위한 방안 마련이 필요하다.

4.2. 지속가능한 LID 적용을 위한 개선방안

4.2.1. 기개발지역 빗물관리 목표량 기개발 도시 적용기준 마련

MOE (2016a)에 제시된 빗물관리 목표량 산정방법은 비점오염원 시설의 목표량이나 신도시 개발시에 적용할 수 있는 개발 전후의 수문분석을 통한 빗물관리 목표량 산정방법이 제시되어있다. 기개발되어 토지이용변경이 어려운 기개발 도시지역에는 백분위수 분석을 통한 빗물관리 목표량 산정방법을 적용할 수 있지만 비점오염원 저감, 유출량 감소, 물순환 체계 구축 등과 같이 어떠한 문제 해결을 위한 명확한 목적에 따른 기준 정립이 필요하다. 또한 기개발도시와 같이 토지이용이 결정되있는 지역의 빗물관리 목표량 설정을 위해서는 적용된 토지이용별로 할당하여 빗물관리 목표량 산정이 필요할 것으로 판단된다.

따라서 백분위수 분석을 통한 빗물관리량 산정시 비점오염원 저감, 유출량 감소, 물순환 체계 구축 등 목적에 따른 기준 퍼센타일 수립을 위한 연구와 토지이용별 빗물관리 목표량을 배분하여 적용할 수 있도록 기준정립을 위한 연구를 통해 MOE (2016a)의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

4.2.2. LID 적용대상 확대를 위한 조례개정

현행 법상 물순환 관리를 위한 LID 적용을 위한 대상사업, 대상시설 등은 「물환경보전법 시행령」 제72조(비점오염원의 신고 대상 사업 및 시설)제1항과 제3항에서 정의한다. 각 지자체에서는 물순환 관리시설의 설치대상, 저영향개발기법 설치 대상, 물순환 관리시설 설치 권고대상으로 구분하여 정의하고 있으며, 대상지역인 광주광역시는 「광주광역시 물순환 기본조례」 제23조제1항, 제24조, 제25조제1항에 물순환 관련 시설 설치 대상을 정의하고 있다.

대규모 개발사업의 경우는 현행법(환경영향평가법, 물환경보전법 시행령 등)을 통해 물순환 관리 시설 설치 대상을 규정하고 있으나, 기존 도시의 경우는 대부분 중 · 소규모의 개발사업이나 기개발된 건축물에 적용하는 것이 한계이다.

따라서 중 · 소규모의 개발사업의 물순환 관리시설 설치 대상 기준을 강화하고, 기존 건축물 중 공공기관(관공서, 공사, 학교 등)은 물순환 관리시설 설치부지 검토를 통한 의무적용을 통해 규제사항을 강화하여 물순환 체계 구축시 설치 가능한 시설 확대를 제도적 뒷받침이 필요하여, 다음과 같이 연구대상 지자체 조례의 개선방안을 제시하였다.

① 「광주광역시 물순환 기본조례」제23조(물순환 관리시설의 설치 대상 등)은 대지면적 1000 ㎡ 이상, 건축연면적 1,500 ㎡ 이상의 개발사업으로 축소하고, 공공기관(관공서, 공사, 학교 등)은 설치 부지를 검토를 통해 의무 적용이 필요하다.

② 「광주광역시 물순환 기본조례」 제25조(물순환 관리

시설의 설치 권고 등)에서는 현 조례를 동일하게 적용하되, 추가적으로 지자체 단위 물순환 체계 구축 관련사업 시행시 대지면적 1,000 ㎡ 이하의 건축물도 설치부지 검토를 통하여 물순환 관리 시설 설치를 권고대상으로 선정이 필요하다.

4.2.3. 유지관리 주체확립 및 가이드라인 개발

국내 적용된 LID 관련 사례는 신도시 개발, 산업단지 조성 등 다양하게 적용되고 있다. 현재 LID 적용을 위한 지침 · 가이드라인은 환경부에서 제안한 MOE (2016a)을 준용하여 설계에 반영하고 있지만, 설계 후 유지관리에 관한 지침 · 가이드라인은 제도적으로 제안된 사항은 없고, 연구적으로만 다뤄지고 있다.

이를 개선하기 위해서 각 지자체에서 제정한 물순환 관련 기본조례에 유지관리에 관한 사항을 보완하여 물순환 관리시설에 대하여 체계적으로 관리 할 수 있도록 제도적 지원이 필요하다. 특히, LID 시설의 유지관리의 주체(관리부서) 선정과 유지관리 방법 · 주기, 유지관리를 위한 가이드라인 개발 등의 내용을 포함하도록 아래와 같이 대상지역인 「광주광역시 물순환기본조례」의 개정이 필요할 것으로 판단된다.

① 유지관리주체는 조례 제2조제7호 가목에 따른 “식생형시설”은 공원 · 조경 · 녹지 · 산림 등의 업무를 담당하는 부서에서 관리한다. 조례 제2조제7호 나목에 따른 “침투형시설”은 도로 · 보도 · 도시정비 등의 업무를 담당하는 부서에서 관리한다.

② 유지관리 방법은 각 시설물 담당부서는 정기적 유지관리를 위한 점검계획을 수립한다. 시설물 유지관리를 위한 가이드라인을 수립하여 개별 시설물별로 점검 · 관리를 시행한다. 정기 유지관리 점검을 실시한 후 결과보고서를 작성하고 관리한다.

4.2.4. 사업관계자 및 주민의 LID의식 개선

사업관계자(지자체, 공공기관)에 대한 LID 시설의 의식개선을 위하여 LID의 정의 · 기술요소, 각 개별 LID 기술요소의 설계방안(용량산정 및 구조적 검토내용), LID 운영 · 유지관리 방안 등의 전문사항에 대한 정기적 교육과정 수립을 통해 담당자의 LID 기술에 대한 실무적용 이해도 향상방안 마련이 필요하며, 시민들에게는 물순환의 개념과 LID 기술의 정의 · 기술요소 및 효과 등 일반사항을 중심으로 교육 · 홍보를 통해 LID 시설에 대한 필요성과 인식개선이 필요하다.

또한 LID 시설은 주민생활권 속에 포함되는 기술로, 지역내의 불필요한 토지이용(불투수면)이나, 개선이 필요한 조경공간 등의 환경문제는 실제 생활하고 있는 지역주민들이 가장 잘 알고 있기 때문에 지역주민들에게 도시 물순환 체계 구축을 위한 아이디어를 제안받을 수 있으며, 이 경우 계획, 설계 및 관리과정에서 주민의 관심도가 크게 향상 될 수 있다. 즉 도시의 물순환 체계 구축을 위하여 주민들이 직접 지자체에 제안하여 상향식 접근 방법(Bottom-Up)의 도시환경관리를 추진하는 것으로 다양한 LID 시설적용이 가능한 도시환경관리 사업 추진이 가능할 것으로 판단된다 (MOE, 2019) 광주광역시는 도시 물순환 회복을 위하여 주민 · 전문가 · 관계 공무원 등이 참여하는 물순환 위원회를 설치 및 운영중으로 LID의 정의와 개념, LID 시설 설치에 따른 인센티브제도 등에 대한 홍보, 교육 등을 통하여 주민참여를 유도함이 적정할 것으로 판단된다.

5. 결론

기개발된 도시지역과 같이 이미 정해진 토지이용과 개발이 완료되어 토지이용 변경이 불가능한 지역의 물순환 체계 구축을 위하여 본 연구에서는 기개발 도시지역을 대상으로 LID 시설 적용방안 도출과 도출 과정에서의 문제점 등을 파악하여 이를 개선할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 먼저 기개발 도시인 광주광역시 상무지구를 대상지역으로 선정하고, 백분위수 강우사상 기법 기준 80퍼센타일(15.0 ㎜)에 해당되는 빗물관리 목표량을 분석하였다.

또한, 기개발 도시지역의 물순환 체계 구축을 위한 LID 적용 시나리오를 도출하였으며, 각 시나리오별 물수지 분석 및 비점오염원 저감효과를 분석하였다. 마지막으로 물순환 체계 구축을 위하여 LID 도입과정의 문제점을 분석하고 이를 개선할 수 있는 방안을 마련하여 제시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 기개발 도시의 물순환 체계 구축을 위한 LID 적용방안 마련을 위하여 3개의 시나리오를 도출하였다. 첫 번째로 기개발 도시지역에 적용가능한 최대의 LID 시설 적용 시나리오와 두 번째로 LID 시설 적용검토, 배치방안 등 전문가의 의견 및 기술적인 검토를 반영한 LID 적용 시나리오, 마지막으로 공공기관의 참여 여부와 대상지역의 유사사업들과의 중복투자 등의 행정적 검토를 반영한 지자체(공공기관) 및 주민 의견수렴을 통한 LID 적용 시나리

오를 도출하여 대상지역에 LID 시설을 적용하였다. 기개발 도시지역은 토지이용이 결정되어 있고, 변경하기 어려운 상태여서 LID를 적용할 수 있는 대상과 LID 시설결정에 한계점이 있는 것으로 나타났다.

2) 각 LID 적용 시나리오별로 SWMM 적용을 통해 물수지 변화를 검토하였으며, 3개의 시나리오 모두 LID 시설 적용을 통해 표면유출은 저감되고, 침투량과 증발량을 증가되는 물수지 변화를 나타내었다. 여기서 침투량이 LID 적용전 3%에서 최대 50%까지 크게 향상되었으며, 이는 기개발 도시지역으로 토지이용의 변경이 어려워 적용가능한 LID 시설이 대부분 투수포장 시설이 적용되어 나타나는 결과로 판단된다.

또한, 비점오염원 저감효과는 LID 시설 적용을 통해 각 비점오염원 별로 최소 17.7%~최대 31.3%까지 저감되는 효과를 나타내었고, 비점오염원 저감에는 시설설치 면적보다는 집수면적이 넓게 적용된 LID 적용 시나리오에서 조금 더 높은 저감효과를 나타내었다.

3) 기개발 도시지역의 물순환 체계 구축을 위하여 LID 적용 시나리오 도출시 LID 시설 적용 과정속의 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위한 방안을 제시하였다.

① 물순환 체계 구축을 위하여 우선적으로 고려해야 할 사항은 빗물관리 목표량으로 기개발된 도시지역의 빗물관리 목표량 산정방법을 위하여 비점오염원 저감이나 물순환 체계 구축 등과 같은 목적에 맞는 백분위수 퍼센타일 기준 수립과 토지이용별 빗물관리량 적용을 통한 산정방법 등 기준정립을 위한 연구를 통해 MOE (2016a)에 제시된 방법의 개선이 필요하며, 이를 통하여 기개발 도시지역의 명확한 물순환 목표수립이 가능할 것으로 판단된다.

② 국내 물순환 관련 법은 「물관리기본법」과 「물환경보전법」에서 물순환 체계 구축을 위한 관련 조항이 제정되어 있으나, 물순환 체계구축을 위한 수단으로 LID 적용 관련한 지원법령이 부재하며, 이를 지원하는 법령이 필요하다. 이는 기존 「물환경보전법」의 조항에 물순환 체계구축을 위한 방법으로 LID 시설 적용과 관련한 조항을 신설하여 제도기반 마련이 필요하고 이를 바탕으로 지자체에서 각 지역특성에 맞는 물순환 체계구축을 위한 조례 및 규정 수립시 활용된다면 추진사업 및 정책의 실효성이 높아질 것으로 판단된다.

③ 체계적인 LID 시설 유지관리를 위하여 LID 시설의 유지관리 주체의 선정과 방법, 유지관리 가이드라인의 개발·활용 등의 내용을 포함하도록 지자체의 조례를 개정하여 시설 유지관리 업무에 대하여 제도적으로 지원이 필요하다.

④ LID 시설에 대한 기본적인 개념·기술소개 등과 같은 일반적인 내용과 LID 시설 설계·운영·유지 관리 등과 같은 전문분야에 대해서 사업관계자와 시민을 대상으로 일반분야와 전분문야로 구분하여 교육·홍보가 필요하다. 또한, 이런 교육·홍보를 통해 LID에 대한 시민들의 인식이 향상되면, 도시 물순환 체계 구축시 직접 시민들의 아이디어 제안을 통해 효과적인 도시환경관리가 가능할 것으로 판단된다.

저영향개발 기법은 도시개발 방법의 하나이지만 홍수예방 및 비점오염원 저감 등 물순환 기능회복과 도시경관 및 여가공간 창출 등 환경적 도시개발의 의미를 가지고 있어 자연적 물순환 회복과 도시의 공간계획을 조화롭게 적용할 수 있다는 것에 의미가 있다. 기개발 도시지역의 도시개발 등 도시환경 문제는 더욱 다양하고 많아질 것으로 예상되며, 그 중 하나인 물순환 변화에 따른 환경문제 또한 증대 될 것이다. 이런 물순환 왜곡 문제를 해결하고, 물환경 건전성 유지를 위해 LID에 대한 필요성과 요구는 지속적으로 증가할 것으로 사료되며, 기개발 도시지역의 물순환 회복을 위하여 LID 적용에 대한 체계적 접근방안과 이를 지원할 수 있는 정책적, 법·제도적 개선을 통해 도시 물순환을 위한 정책적 의사결정과 실무업무 추진에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다(1615012820).

References

Cho EY. 2011. The Analysis of LID Adaptation Efficiency on Urban Basin Based on SWMM-LID Model. University of Pusan National.

DSRI (daejeon sejong research institute). 2017. Feasibility study and introduction of low-impact development

techniques to promote water circulation. Policy Report 2017-02.

Jeon SI. 2016. The Hydrological Characteristics by LID Application for Recovery of Urban Function, University of chosun.

Park JY, Lim HM, Lee HI, Yoon YH, Oh HJ, Kim WJ. 2013. Water Balance and Pollutant Load Analyses according to LID Techniques for a Town Development. J. Kor. Soc. Environ. Eng. 35(11):795-802.

JRI (Jeju Reserarch Institute). 2017. Introduction of low-impact development (LID) method in Jeju area. Basic research 2017.

KEI (Korea Environment institute). 2010. Application plan and effect of low-impact development technique (LID) in urban regeneration in waterfront areas. Basic research 2010.

Kim YM. 2019, Recognition Assessment of Urban Environment and LID for Civil Participatory Urban Water Management. University of Kongju National.

Lee SW. 2019. Runoff Reduction Effects of LID (Low ImpactDevelopment) Facility Using Climate Change Scenario, University of Chungbuk National.

LH (Land and House). 2017. A Study on Introduction Plan of Low Impact Development Techniques in Multifunctional Administrative City (MAC)(I). Research Report 2017-03.

MOE (Ministry of Environment). 2016a. Guidelines for Designing Low Impact Development (LID) Techniques.

MOE (Ministry of Environment). 2016b. Installation and management operation manual of non-point pollution reduction facilities.

MOE (Ministry of Environment). 2019. “Rainwater runoff zeroise white paper”.

NIER (National Institute of Environmental Research). 2006. Evaluation of Non-Point Sources Loadings (1) - ImperviousLand -. Research Report 2006.

NIER (National Institute of Environmental Research). 2014a. A research on control targets and strategies for impervious surface management, Research Report 2014.

NIER (National Institute of Environmental Research). 2014b. Technical Guidelines for Total Water Pollution Control.

Perez-Pedini C, Limbrunner J, Vogel R. 2005. Optimal location of infiltration-based best management practices for storm water management. Journal of Water Resources.

Qin HP, Li ZX, Fu G. 2013. The Effects of Low Impact Development on Urban Flooding Under Different Rainfall Characteristics. Journal of Environmental Management 129:577-585.

Son CH, Baek JI, Ban YU. 2018. Evaluation and Improvement Directions of Laws and Regulations Related to Space and Environmental Planning Toward Extended Application of LID in Korea. Journal of the Korean Regional Science Association 34(4):49-60.

Yun UH. 2017. Establishment of LID Demonstration Complex Monitoring System and Analysis of Storage Efficiency. Korean Sociely of Hazard mitigation 17(5): 345-353.