

식생형 LID 시설의 내부 토양 변화 분석

이승재 · 윤여진*†

(주)누리종합기술단 기업부설연구소

*건양대학교 재난안전소방학과

Analysis of Soil Changes in Vegetable LID Facilities

Seungjae Lee · Yeo-jin Yoon**

Research Institute, Nuritotaleng.co.LTD

*Department of Disaster Safety & Fire, konyang University

(Received : 16 June 2022, Revised : 10 August 2022, Accepted : 10 August 2022)

요약

국내의 경우 LID 기술은 2009년 이후에 적용하기 시작하여 환경부, 국토부, LH공사 등의 사업지구와 공공기관, 상업용지, 주택, 공원, 학교 등에서 빗물 관리를 위해 LID 시설을 설치하고 운영 중이다. 그러나 국내의 사례를 살펴보면 국외에 비해 적용사례나 운영 기간 등이 충분하지 못하여 적절한 설계기준과 운영 및 유지관리에 대한 방안 제시가 미흡한 실정이다. 특히, LID 기술을 활용하여 시공되는 LID 시설은 고유의 물순환 기능으로 발현하는 물질순환과 에너지 흐름으로 수문학적 및 환경적 효과가 발현되기에 LID 시설 내부의 지속적인 환경 유지가 필요하다. LID 시설은 물순환 목표량에 계획된 처리용량으로 설계가 되며 적절한 유지관리와 식생 및 토양의 상태를 주기적으로 파악하여 최초로 설치된 상태를 최대한 유지해야 그 효율을 얻을 수 있다. 즉, LID 시설은 물순환 구축을 통한 물의 저류와 침투능을 증대시키면서 수질오염저감, 홍수저감, 수자원확보, 온도저감 등의 효과를 기대하는 시설이기에 LID 시설에 조성되는 토양은 매우 중요한 설계 요소이다. 정확한 LID 시설의 기능 유지와 관리를 위해서는 토양오염, 제설제 영향, 식생 기준 등의 다양한 정량적 데이터를 통해 시설의 현재 상태와 교체 및 유지관리의 주기를 정확하게 알아야 한다. 본 연구에서는 2009년부터 ~2020년까지 국내에 설치된 LID 시설의 현황을 조사하고, 그 중 식생형 시설인 빗물화단, 식생수로, 식생체류지 등을 대상으로 하여 토양층에서 토양시료를 채취한 후 지난 10년 간 적용된 LID 시설의 지속성과 현재 상태를 통해 토양의 변화를 분석하고자 수행되었다. 토성, 유기물, 경도, 함수량, pH, 전기전도도, 염분 등의 분석을 통해서 시공후 5년~7년 이상된 일부 식생형 LID 시설에서 조경설계기준 하급치에 해당하는 결과를 나타냈다. 하급치 이하의 시설은 토양의 투수를 저하와 식생 생육에 문제가 될 수 있는 상태로 유지관리가 필요한 시점으로 인식할 수 있다. 이에 따른 토양치환과 교체를 통해 LID 시설을 관리해야 함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 저영향개발, 모니터링, 유지관리, 빗물정원, 식생체류지, 토양분석

Abstract

The LID technique began to be applied in Korea after 2009, and LID facilities are installed and operated for rainwater management in business districts such as the Ministry of Environment, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and LH Corporation, public institutions, commercial land, housing, parks, and schools. However, looking at domestic cases, the application cases and operation periods are insufficient compared to those outside the country, so appropriate design standards and measures for operation and maintenance are insufficient. In particular, LID facilities constructed using LID techniques need to maintain the environment inside LID facilities because hydrological and environmental effects are expressed by material circulation and energy flow. The LID facility is designed with the treatment capacity planned for the water circulation target, and the proper maintenance, vegetation, and soil conditions are periodically identified, and the efficiency is maintained as much as possible. In other words, the soil created in LID is a very important design element because LID facilities are expected to have effects such as water pollution reduction, flood reduction, water resource acquisition, and

* To whom correspondence should be addressed.

Department of Disaster Safety & Fire, konyang University, Korea
E-mail: yyj0806@konyang.ac.kr

• Seungjae Lee Research Institute, Nuritotaleng.co.LTD / Director (lsj3720@nate.com)

• Yeo-jin Yoon Department of Disaster Safety & Fire, konyang University / Professor (yyj0806@konyang.ac.kr)

temperature reduction while increasing water storage and penetration capacity through water circulation construction. In order to maintain and manage the functions of LID facilities accurately, the current state of the facilities and the cycle of replacement and maintenance should be accurately known through various quantitative data such as soil contamination, snow removal effects, and vegetation criteria. This study was conducted to investigate the current status of LID facilities installed in Korea from 2009 to 2020, and analyze soil changes through the continuity and current status of LID facilities applied over the past 10 years after collecting soil samples from the soil layer. Through analysis of Saturn, organic matter, hardness, water contents, pH, electrical conductivity, and salt, some vegetation-type LID facilities more than 5 to 7 years after construction showed results corresponding to the lower grade of landscape design. Facilities below the lower level can be recognized as a point of time when maintenance is necessary in a state that may cause problems in soil permeability and vegetation growth. Accordingly, it was found that LID facilities should be managed through soil replacement and replacement.

Key words : LID, Monitoring, Maintenance, Rain garden, Bio-retention, Soil analysis

1. 서 론

우리나라의 경우 도시화로 인한 불투수 면적의 증가와 빗물의 침투를 고려하지 않은 개발로 과거와 비교하여 지표 유출량의 증가와 침투량의 감소를 가져왔다. 제3차 강우 유출 비점오염원관리 종합 대책에서는 전국 평균 불투수율은 7.66%(17년)였으나 8.38%(25년)에서 향후 8.83%(30년)로 증가할 것으로 예측하고 있다. 이러한 불투수 면적의 증가는 수질 및 수생태 건강성을 심각히 악화시킬 수 있는 것으로 미국 불투수면 모델(Impervious Cover Model, ICM)은 분석하였다(관계부처합동, 2020). 최근, 정부와 학계에서는 기후변화 및 도시화의 문제 해결을 위하여 강우시 빗물을 저류 및 침투, 재이용 등을 할 수 있으며, 수질 저감 효과를 고려할 수 있는 LID(Low Impact Development) 기술의 사용을 적극적으로 장려하고 있다. LID 기술은 빗물의 자연적인 침투를 늘려 표면으로 유출되는 강우 유출 수의 양을 줄여 물순환을 회복하고 비점오염원의 발생을 최소화하는 것이다(MOE, 2011). LID 기술에는 침투도랑, 식생체류지, 나무여과상자, 인공습지등 다양한 기술들이 있으며, 도심지에 설치된 LID 기술은 건전한 물순환을 도모하고 도시 내 물의 저류량과 침투량을 확보하여 도시 내 열섬 효과를 감소시키고 도시홍수를 저감시킬 수 있다. 또한, 강우유출수를 보도 인근의 가로수 및 조경공간으로 유도할 시 비점오염물질 제거 및 강우유출수의 식물이용, 지하수 확보 등의 다양한 이점을 발생시킨다(Maniquiz-Redillas et al., 2013; Lee et al., 2014). 국내의 경우 LID 기술은 2009년 이후에 적용하기 시작하여 환경부, 국토부, LH공사 등의 사업지구와 공공기관, 상업용지, 주택, 공원, 학교 등에서 빗물 관리를 위해 LID 시설을 설치하고 운영 중이다. 그러나 국내의 사례를 살펴보면 국외에 비해 적용 사례나 운영 기간 등이 충분하지 못하여 적절한 설계 기준과 운영 및 유지관리에 대한 방안 제시가 미흡한 실정이다. LID 기술의 주요 기작은 토양, 여재, 미생물과 식물 상호 간의 수문학적 및 환경적인 기능이 포함되며, 이 중에서 여재는 LID 시설에서의 토양 내 투수율과 저류를 확보에 있어 중요한 구성 요소이다(Lee et al., 2016). 따라서, LID 시설의

효율을 검증하기 위해서는 시설의 유입·유출부에서의 수질과 유량 측정뿐만 아니라 LID 내부의 물리·화학적 및 생물학적 변화를 같이 측정하여 평가해야 한다(Lee et al., 2020). 또한, LID 시설은 물순환 목표량에 계획된 처리용량으로 설계가 되며, 적절한 유지관리와 식생 및 토양의 상태를 주기적으로 파악하여 최초로 설치된 상태를 최대한 유지해야 그 효율을 얻을 수 있다. 즉, LID 시설은 물순환 구축을 통한 물의 저류와 침투능을 증대시키면서 수질오염 저감, 홍수 저감, 수자원 확보, 온도 저감 등의 효과를 기대하는 시설이기에 LID 시설에 조성되는 토양은 매우 중요한 설계 요소이다. 일반적인 LID 시설의 유지관리는 매우 간단한 방법으로 진행이 되며, 시기적으로는 장마 전과 가을 낙엽이 지는 시기에 유입구와 유출구의 쓰레기 및 퇴적물 제거와 제초작업, 육안상 수목 고사 시 식생 변경 등으로 이루어진다. 이것은 주기적인 유지관리가 아니라 필요시에만 수행이 되기 때문에 오래된 LID 시설일수록 도로에서 유입되는 오염물질이 LID 시설의 식생과 토양층에 누적되어 그 효율을 유지하기가 어렵다. 정확한 LID 시설의 기능 유지와 관리를 위해서는 토양오염, 제설제 영향, 식생 기준 등의 다양한 정량적 데이터를 통해 시설의 현재 상태와 교체 및 유지관리의 주기를 정확하게 알아야 한다. 본 연구에서는 2009년부터~2020년까지 국내에 설치된 LID 시설의 현황을 조사하였다. 설치된 LID 시설은 시설의 설치 목적에 맞게 침투형, 저류형, 식생형 시설로 분류할 수 있다. 침투형과 저류형은 원지반과 연계가 되어 있어서 별도의 토양층이 없는 경우가 많다. 비교적으로 많이 설치되고 있는 식생형 LID 시설인 빗물화단, 식생수로, 식생체류지 등을 대상으로 하여 토양층에서 토양시료를 채취한 후 지난 10년간 적용된 LID 시설의 지속성과 현재 상태를 통해 토양의 변화를 분석하고자 수행되었다.

2. 연구방법

2.1 국내 LID 설치 현황조사 및 LID 시설 특성

현재 국내 LID 시설이 적용된 지역과 장소는 공주대학교 천안캠퍼스에 설치된 LID 시설을 시작으로 아산 탕정 신도시,

빗물유출 제로화 사업지구인 오창(1단계) 및 전주(2단계), 부산대학교 양산캠퍼스, 대전 토지주택연구원, 평택 고덕 신도시, 수원 레인시티 등 다양한 지역과 신도시 개발에 LID 시설이 적용되어 있다. 최근에는 물순환 선도도시(대전, 광주, 울산, 안동, 김해) 및 스마트도시로 지정된 세종 5-1생활권 국가산업단지과 부산 에코델타시티 사업 지구에도 설치중이다. Table. 1과 같이 LID 시설 현황을 살펴보면 토지이용별로 설치된 시설의 종류가 다를 수 있다. LID 시설 설치에 따른 많은 장점이 있지만, 시설의 외부에서 유입되는 오염물질의 누적과 유지관리에 따라서 그 효과가 달라지고 내부적인 요인에 의해서 시설의 지속가능성을 확인할 수 있다. 설치된 LID 시설은 식생도랑, 식생체류지, 나무여과상자, 빗물정원, 옥상녹화, 투수성포장, 인공

습지, 장치형 시설 등 다양한 종류의 시설들이 시공되었다. 또한, 토지이용별로 주거지역, 도로, 공원, 관공서, 건축물, 학교, 도로 등에 설치되어 있다. 본 연구에서는 2009년에 LID 기술이 적용된 곳부터 가장 최근까지 적용한 사업지구 및 대상지에서 현장 측정 및 토양시료를 채취하여 실험실 분석을 진행하였다.

이를 통하여 운영 중인 LID 시설의 현재 상태를 파악하고 토양 상태의 변화를 통해 LID 시설의 지속성의 여부를 판단하고자 연구를 수행하였다. LID 시설은 자연적 물순환 구축이 중요한 기작이기에 물리적 적용성은 토양특성에 기반한 침투능이 중요하게 고려된다. 일반적으로 사질토가 많이 함유되어 있는 토양인 경우 침투율이 높아 침투형 LID 시설에 적용을 하며, 점토질로 구성되어 있는 토양인 경우

Table 1. LID Installation Area Survey

Business name	Business district	Application technology	Purpose
Creating a new city	Gwanggyo	Artificial Wetland	Residential area
	Asan Tangjeong	Bioretention, Infiltration Trenches	Road
	Pyeongtaek Godeok	Bioretention, Infiltration Trenches, Permeability block	Road
	Busan Eco Delta	Reservoir, Artificial Wetland, Bioretention	Road
	Sejong	Permeability block, Bioretention, Rainwater Garden	Residential area
	Paju Unjeong	Artificial Lake, Ecological Wetland, Reservoir	Road
Green rain water infrastructure	Ochang, Jeonju	Bioretention, Rainwater Garden, Tree Box Filter	Road
	Daegu North District	Roof Planting, Permeability block	Government office
	Daejeon City Hall	Rain Garden, Roof Planting, Bioretention	Government office
	Suwon Jangan-gu	Roof Planting, Permeability block	Government office
Non-point pollution source reduction	Cheonan Gongju University	Bioretention, Rainwater Garden, Tree Box Filter	University
Water Circulation Leading City	Daejeon Dunsan	Permeability block, Rainwater Garden, Bioretention	Road
	Ulsan Samho-dong	Reservoir, Bioretention, Permeability block	Residential area
	Andong Central City	Permeability block, Rainwater Garden, Bioretention	Commercial area
	Gimhae Dongsan, Hoehyeon, Buwon	Infiltration Trenches, Rainwater Garden, Bioretention Paving Lot	Commercial area
	Gwangju Sangmu District	Roof Planting, Permeability block, Rainwater Garden	Government office

Table 2. Hydrologic soil characteristics

soil category	Effective low-flow capability (cm/cm)	Minimum Penetration Rate (mm/h)	NRCS Type
Sand	0.35	8.27	A
Loamy Sand	0.31	2.41	A
Sandy Loam	0.25	1.02	B
Loam	0.19	0.52	B
Silt Loam	0.17	0.27	C
Sandy Clay Loam	0.14	0.17	C
Clay Loam	0.14	0.09	D
Silty Clay Loam	0.11	0.06	D
Sandy Clay	0.09	0.05	D
Silty Clay	0.09	0.04	D
Clay	0.08	0.02	D

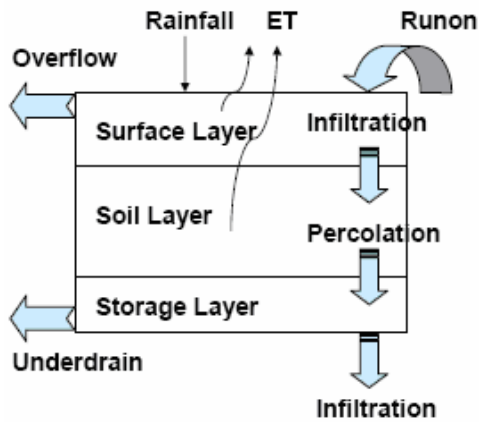


Fig. 1. Bio-retention cell.(Rossman, 2016)

침투율이 낮아 침투시설보다는 인공습지나 저류형 시설에 적용할 수 있다. LID 시설은 NRCS 토양분류에 의거 B TYPE, 양토(Loam) 이상의 토양을 권장하고 있다. Table. 2는 토성에 의해 분류된 수문학적 토양특성을 나타낸다 (LHI, 2015).

일반적으로 적용되는 LID 시설 중 빗물정원, 식생수로, 식생체류지의 경우 식재층, 토양층, 저류층으로 구분이 되어 있다. Fig. 1은 바이오리텐션(생태저류지)의 수직층별 구성을 나타내는데, 전체적으로 물수지(water balance)가 유지되며, 표면층에는 불투수영역 또는 직렬로 연결된 상류 구역의 유출수가 유입(runon)되고, 생태 저류지 표면에 직접 떨어지는 강우가 유입된다. 표면층에서는 시설물에 따라 토양층, 포장층, 저류층, 원지반 등으로 침투가 발생하고 대기로 증발산이 일어난다. 이때, 침투와 증발산량을 초과한 우수는 유출(overflow)되고 식생이 잘 자랄 수 있도록 설치되는 토양층에서는 증발산이 나타나고 하부에 위치하는 저류층으로 침투(percolation)가 발생된다. 저류층은 깨진돌 또는 자갈로 구성되는데, 원지반으로 침투가 발생하고 배수부(underdrain)를 선택적으로 고려할 수 있다 (LHI, 2017).

2.2 토양분석을 위한 실험 및 방법

토양에 대한 물리·화학적 특성을 파악하기 위해서는 토양 및 수문 환경조사가 우선시 되어야 한다. 본 연구의 실험을 위해 Table. 3과 같이 LID 시설에서 토양 시료를 채취한 후 현장에서 바로 확인이 가능한 정도, 함수율과 실험실에서 분석이 가능한 pH, 토성, 유기물, 전기전도도, 염분 등의 항목을 분석 의뢰하였다.

토양의 시료는 Fig. 2와 같이 채취 지점에서 토양시료채취기(soil auger) 또는 삽을 이용하여 표토를 1~2cm 걷어낸 후 15cm 깊이의 구덩이를 파고 1kg~2kg 정도의 토양을 채취하였다. 현장에서 채취한 시료는 입도(Hydro-meter법), 산도(pH-meter법), 유기물(건식산화법), 전기전도도(EC-meter법), 염분농도(이온크로마토그래피법) 등의 항목을 공인기관에 분석의뢰하였으며, 정도와 함수율은 산중식경도수분계를 활용하여 현장에서 측정한 값을 나타내었다.

LID 시설은 적용되는 범위와 용도에 따라서 시설과 구조가 다르다. 2020년 11월 ~ 2021년 1월까지 조사한 결과 국내에 LID 시설은 전국적으로 설치가 되어 있지만, 연구 목적으로 일부 구간에 국한적으로 설치가 되어 있는 곳과 공공청사 및 시설물 내부에 설치가 되어 있어 현장 조사가 불가능한 곳들이 많았다. 현장조사결과 현재 운영이 되지 않는 장소와 출입의 제약으로 확인 불가능한 장소는 제외

Table 3. Experimental Items and Methods

Classification	Categorize	Test method
Field & Laboratory analysis	Particle size	KS F 2302
	Organic matter	KS F 2104
	Hardness	Hardness meter
	Acidity	Acidi and water content meter
	water content	
	NaCl	Kofpi
	pH	
	E,C	

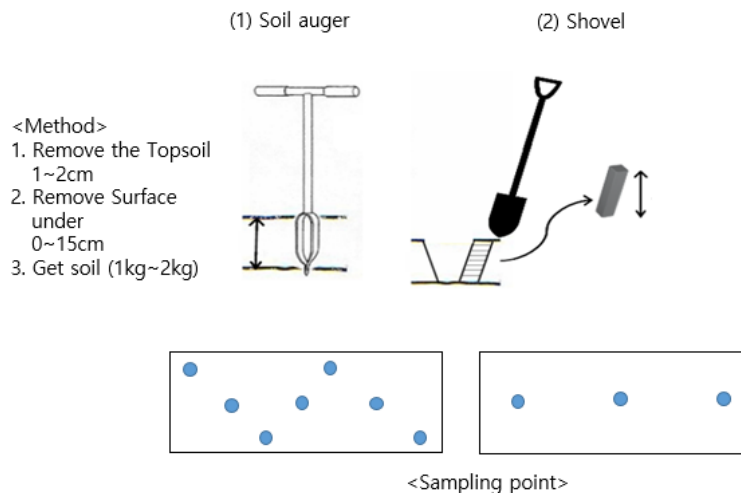


Fig. 2. Soil sampling method

Table 4. Soil sampling site

No.	Installed year	Soil sampling site and LID facility
1	2009	- Cheonan Gongju University Rainwater Garden(Bus Stop)
2	-	- Cheonan Gongju University Bus Stop Rainwater Garden Comparative group
3	2009	- Cheonan Gongju University Tree Box Filter
4	2009	- Cheonan Gongju University Rainwater Garden(Behind the School)
5	-	- Cheonan Gongju University Rainwater Garden(Behind the School) Comparative group
6	2012	- Asan Tangjeong New City Bioretention
7	-	- Asan Tangjeong New City Bioretention Comparative group
8	2014	- Cheongju Ochang Industrial Complex Rainwater Garden(1)
9	2014	- Cheongju Ochang Industrial Complex Tree Box Filter(1)
10	2014	- Cheongju Ochang Industrial Complex Tree Box Filter(2)
11	-	- Cheongju Ochang Industrial Complex Tree Box Filter Comparative group
12	2014	- Cheongju Ochang Industrial Complex Infiltration planter
13	2014	- Cheongju Ochang Industrial Complex Rainwater Garden(2)
14	2015	- Jeonju Seogok District Bioretention
15	-	- Suwon Methane 3-dong Rainwater Garden Comparative group
16	2015	- Suwon Methane 3-dong Rainwater Garden
17	2015	- Seoul Gwanghwamun Square Rainwater Garden
18	-	- Seoul Gwanghwamun Square Rainwater Garden Comparative group
19	2015	- Seoul Unhyeon Palace Rainwater Garden
20	2015	- Suwon Rain City District Rainwater Garden
21	2016	- Seoul Yeomchang-dong Bioretention
22	2016	- Seoul Yeomchang-dong Bioretention Comparative group
23	2017	- Daejeon Institute of Land and Housing Rainwater Garden
24	-	- Daejeon Institute of Land and Housing Rainwater Garden Comparative group
25	2017	- Daejeon Institute of Land and Housing Bioretention
26	-	- Daejeon Institute of Land and Housing Bioretention Comparative group
27	2018	- Jeonju Deokjin District Jeonju Zoo Bioretention

Table 5. Soil Evaluation standard of LH and Molit government

Evaluation item		LH				Molit government		
		Unit	High grade	Middle grade	Low grade	High grade	Middle grade	Low grade
Physicality	Soil texture	-	L,SL	CL,SL,L	LS,S,LI	-	-	-
	Permeability	cm/sec	-	-	-	10^{-3}	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	$10^{-5} \sim 10^{-4}$
	Water content	m ³ /m ³	-	-	-	0.12 ↑	0.08~0.12	0.04~0.08
	Porous rate	mm	-	-	-	0.6 ↑	0.5~0.6	0.4~0.5
	Hardness	-	-	-	-	21.0 ↓	21.0~24.0	24.0~27.0
Chemistry	pH	-	5.5~6.5	4.5~5.4 6.6~7.0	3.5~4.4 7.1~8.0	6.0~6.5	5.5~6.5 6.5~7.0	4.5~5.5
	Nacl	%	0.05 ↓	0.05~0.1	0.1~0.2	0.05 ↓	0.05~0.2	0.2~0.5
	E.C	ds/m	0.4 ↓	0.4~0.8	0.8~1.5	0.2 ↑	0.2~1.0	0.2~1.0
	Organic matter	%	3.0 ↑	1.0~3.0	1.0 ↓	5.0 ↑	3.0~5.0	3.0 ↓
	T-N	%	0.12 ↑	0.06~0.12	0.06 ↓	0.12 ↑	0.06~0.12	0.06 ↓
	P2O5	mg/kg	20.0 ↑	10.0~20.0	10 ↓	20.0 ↑	10.0~20.0	10.0 ↓
	CEC	cmol/kg	12.0~20.0	6.0~12.0	6.0 ↓	20.0 ↑	6.0~20.0	6.0 ↓
	K, Ca, Mg	cmol/kg	3.0 ↑	0.6~3.0	0.6 ↓	3.0 ↑	0.6~3.0	0.6 ↓

하였으며, 20여 개의 지역의 LID 시설과 비교대조군으로 설정한 7곳을 대상으로 하여 같은 방법으로 실험을 수행하였다. 현장실험은 선행 무강우 일수 7일을 기준으로 하여 LID 식생형 시설에서 유입구, 중앙부, 유출부를 대상으로 경도와 함수량, 산도 등을 측정한 후 평균값을 제시하였다. Table 4는 LID 시설 토양 시료를 채취한 현장을 나열하였다.

Table 5는 LH와 국토교통부 토양 등급에 따른 활용기준 표이다(LH, 2013). LH와 국토교통부는 토양을 상급, 중급, 하급으로 분류하여 물리·화학적 토양특성을 제시한다. 제시된 기준을 근거로 하여 LID 시설 내부 토양층에서 채취한 시료를 분석하고 측정값과 비교하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 실험실 분석을 통한 비교 분석

국내에 설치된 LID 시설에서 토양 시료를 채취하여 물리·화학적 특성을 분석한 결과는 Table. 6과 같다. 오염물질 제거 및 물 순환 효과는 식생, 미생물과 토양의 물리·화학적 및 생물학적 상호작용을 통하여 나타난다. 일반적으로 LID 시설의 기능은 내부의 복잡한 상호작용으로 나타나기에 그동안 기능 유지를 위한 관리 주기 및 방법 도출에 어려움을 겪었다. LID 시설의 한 종류인 투수성 포장의 경우 서울시는 3등급(0.1mm/sec) 이상의 제품을 의무적으로 사용해야 하며, 2년에 한번씩 현장 침투능 실험을 통해 기준치 이하의 투수율인 경우는 흡입 청소 또는 유지관리를 위해 교체를 해야 한다. 하지만, 자연형 LID 시설은 유지관리를 위한 관련 가이드라인과 매뉴얼에서 “공극률이 악화되어 36시간 내에 투수가 되지 않을 경우 토양개량이 필요”, “강우로 인해 유입된 물이 최대 72시간 내에 배수가 되지 않고 물고임 현상이 발생될 경우 퇴적물 제거 및 강제 배수 실시 또는 표층 20cm~30cm 걷어낸다”고 제시하고 있다. 제시된 공극률과 투수율에 대한 확인과 내부 토양에 대한 상태를 파악하는 구체적인 방법은 없으며, 현재까지는 시설 유입구와 유출구에서 유량과 수질측정을 통해 시설을 상태를 파악하는 정도로만 운영이 되고 있다. 이로 인하여 유지

관리를 위한 구체적인 주기가 모호하며, 식생과 토양 치환 및 여재의 교체를 파악할 수 있는 방법이 부재 하였다. 투수블럭과 마찬가지로 자연형 LID 시설에서도 주기적인 기간을 정하여 토양층에서 경도, pH, 함수량 등 기본적인 항목을 측정하고 현재 상태를 파악한 후 최초로 설계된 기준과 비교를 통해 유지관리의 기준점을 찾는 것이 중요하다. 실험을 통해서 측정된 값은 조정설계기준(2016)과 비교하여, LID 시설의 기본적인 현재 상태와 문제점을 분석하였다.

전체적인 시설에서 토양 입도분석을 한 결과는 사토(S), 양질사토(LS), 사질양토(SL)로 나타났다. 분석된 모든 시설은 담압의 영향이 매우 작기 때문에 설치 후 토성에는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 하지만, 사질양토 측정된 곳은 침투능력 저하와 함수량의 증가로 서서히 토양 변화가 이루어짐을 확인할 수 있었다. 식생형 LID 시설일지라도 공원, 도로, 주거지역 등 설치된 위치와 장소에 따라서 담압의 조건이 다르다. 본 연구에서 측정된 곳은 도로에 연결된 식생형 시설로 Fig. 3과 같이 경도 측정 결과 대부분 24mm 이하로 조정설계기준표의 중급이상으로 토양과 식생에 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 측정된 장소는 담압에 큰 영향을 주지 않는 장소이기 때문에 시간의 흐름에 따라서 경도의 변화는 심하지 않는 것으로 나타났다. 경도 측정시 24mm~27mm 이상은 토양측정항목에 따른 평가 등급의 하급과 불량치에 해당하는 값으로 단단해진 토양으로 인해서 투수율이 현저히 떨어지고 식물의 뿌리 생육에 지

Table 6. Experimental Data Table

No.	Evaluation item						
	Soil texture	Organic matter (%)	E.C (ds/m)	NaCl (%)	Hardness	Water content (%)	pH
1	LS	1.12	1.12	0.003	20	25	7.8
2	SL	0.58	0.58	0.002	15	20	6.8
3	LS	3.9	3.9	0.002	18	50	8.5
4	SL	0.47	0.47	0.002	21	65	8
5	LS	0.45	0.45	0.001	23	30	6
6	LS	0.61	0.61	0.012	27	75	8.6
7	SL	0.73	0.73	0.002	18	25	6.9
8	LS	1.48	1.48	0.002	14	30	6.7
9	LS	2.57	2.57	0.002	12	35	6.6
10	S	1.45	1.45	0.002	12	40	6
11	S	1.37	1.37	0.001	12	20	6.8
12	LS	0.59	0.59	0.002	18	15	8.4
13	LS	1.53	1.53	0.003	17	45	7.9
14	LS	0.01	0.01	0.002	12	30	7.5
15	LS	3.15	3.15	0.005	18	25	6.5
16	S	0.96	0.96	0.001	17	30	6.8
17	S	0.99	0.99	0.001	15	10	6.5
18	LS	3.24	3.24	0.003	13	25	7.1
19	S	0.47	0.47	0.002	14	20	6.8
20	LS	0.34	0.34	0.002	15	15	6.7
21	LS	0.82	0.82	0.001	18	20	7
22	LS	0.6	0.6	0.001	15	35	7
23	LS	0.07	0.07	0.001	22	30	9
24	LS	0.69	0.69	0.001	10	35	6.8
25	S	0.07	0.07	0.001	14	25	7
26	SL	0.46	0.46	0.001	12	10	7
27	SL	1.32	1.32	0.001	10	40	7.1

장을 줄 수 있으므로 증습이상의 상태를 유지하는 것이 시설의 기능유지와 생육의 성장에 있어 유리하다. Fig. 4와 같이 함수율측정 결과는 아산탕정신도시의 식생체류지를 제외하고는 50% 미만으로 나타났다. 함수량은 강우의 영향이 크고 침투속도 따라서 달라지기 때문에 강우 종료 시 일정 시간이 지나면 원상태로 회복이 된다. 공주대학교 나무여과상자와 빗물정원(Ⅱ), 아산탕정 식생체류지에서 50% 이상의 함수량을 나타내었으며, 오창산업단지 빗물화단과 수원 레인시티 빗물정원, 서울 광화문광장 빗물정원은 10%~15%로 낮게 나타났다. 높은 함수량인 경우는 토양 내 수분함량이 높기 때문에 식물에 생육과 성장에 악영향을 미치며 토양 역시 점토질로 서서히 바뀌어 빗물이 침투할 수 있는 공간이 줄어들고 LID 시설의 기능을 유지하는데 한계가 발생한다. 이와 반대로 건조한 토양은 증산작용이 어려워 광합성과 양분의 흡수를 하지 못해 식생이 고사할

수 있다. Fig. 5와 같이 pH 측정 결과는 공주대 캠퍼스 내 식생형 시설과 아산탕정신도시 식생체류지를 제외하고는 조정 설계기준과 LH 및 국토교통부에서 제시하는 5.5~7 사이인 중성으로 나타났다. 측정된 수치를 비교해 보면 비교적 오래된 시설이 공주대와 아산, 오창의 일부 시설에서 높은 pH를 나타내었다. 위 시설물은 도로 또는 주차장에서 유입되는 오염물질의 영향이 크다고 판단할 수 있다. 도로에 연계된 LID 시설의 토양 pH는 중성보다는 알칼리성에 가깝다. 모든 시설을 비교해 본 결과 유입구 쪽 경도와 산도 및 함수량이 측정 중간 지점과 유출부 쪽에 비해 높은 것으로 나타났다. 수직으로 내리는 비의 영향보다는 수평으로 이동하는 빗물에 많은 오염물질이 포함되어 유입구 가까운 쪽에 쌓여있기 때문에 영향 반경을 확인하여 유입 구조를 유지관리나 교체가 용이한 구조로 변경하는 것이 필요하다.

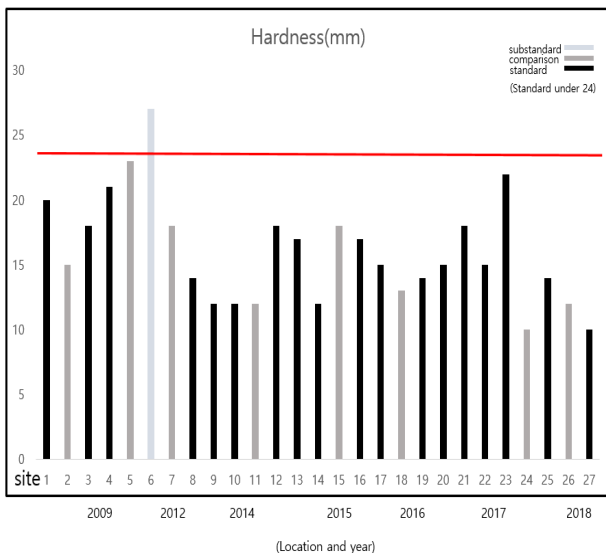


Fig. 3. Hardness Analysis

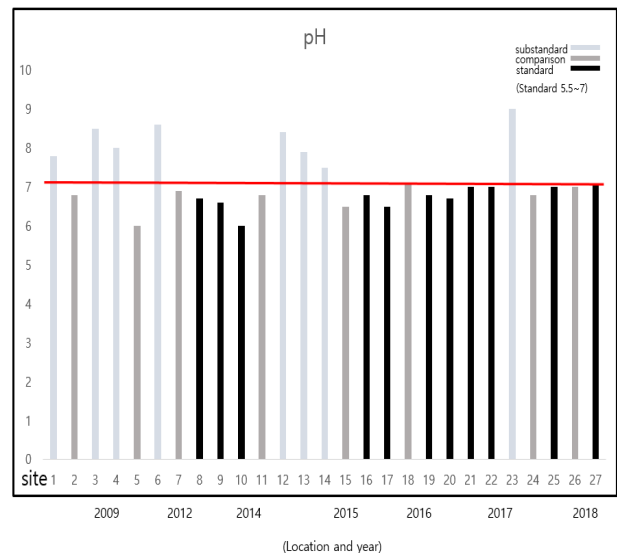


Fig. 5. pH Analysis

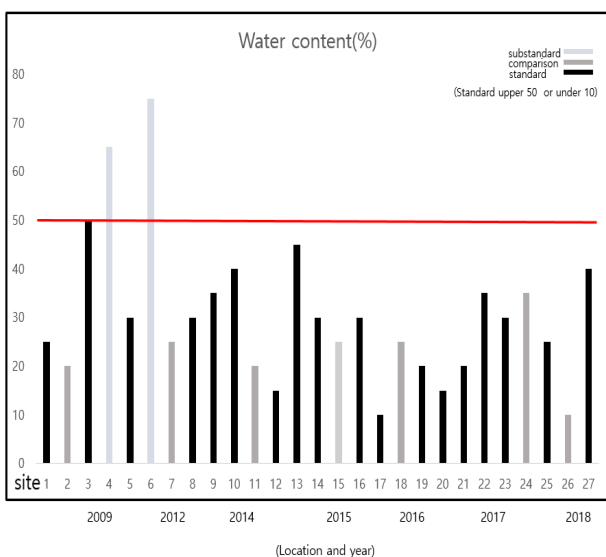


Fig. 4. Water content Analysis

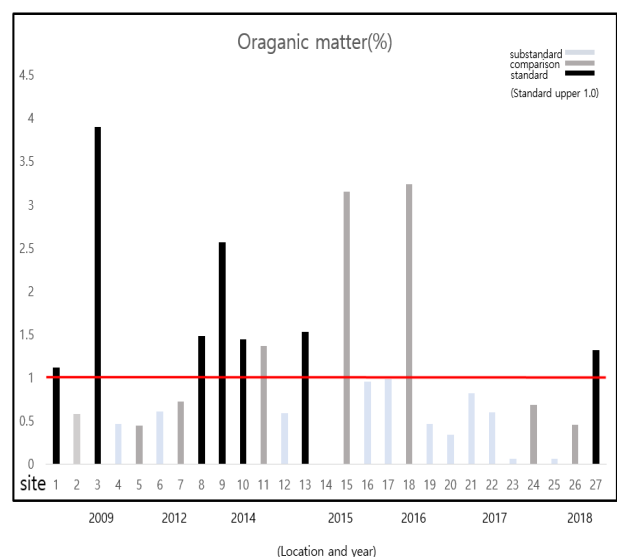


Fig. 6. Organic Analysis

Fig. 6과 같이 유기물 분석 결과는 대부분의 시설에는 유기물이 부족함을 알 수 있다. 유기물은 식생생장과 생육에서 중요한 역할을 수행하며, 양이온치환 능력 증진과 통기성 및 투수성을 개선할 수 있기 때문에 LID 시설의 건강성을 간접적으로 확인할 수 있다. Fig. 7과 Fig. 8과 같이 전기전도도와 염분을 분석한 결과는 타지역의 시설보다 아산탕정신도시의 식생체류지에서 비교적 높은 수치인 걸 알 수 있다. 전기전도도는 0.2ds/m~1ds/m, 염분은 0.05% 이하를 기준으로 하였을 때 아산탕정에 설치된 LID 시설의 측정값은 1.56ds/m과 0.073%으로 높은 수치를 나타냈다. 전기전도도가 높을수록 물과 양분의 흡수가 어려워 식생생장에 방해받게 된다. 또한, 염분량과 관련이 크기 때문에 토양개량과 치환을 통해 전기전도도를 낮출 필요가 있다.

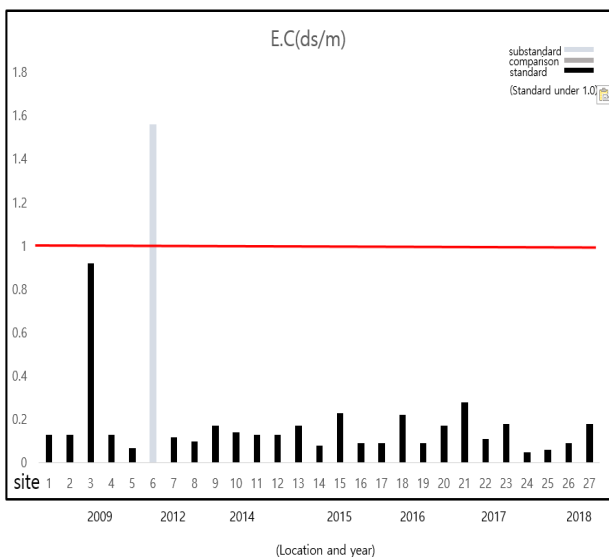


Fig. 7. E.C Analysis

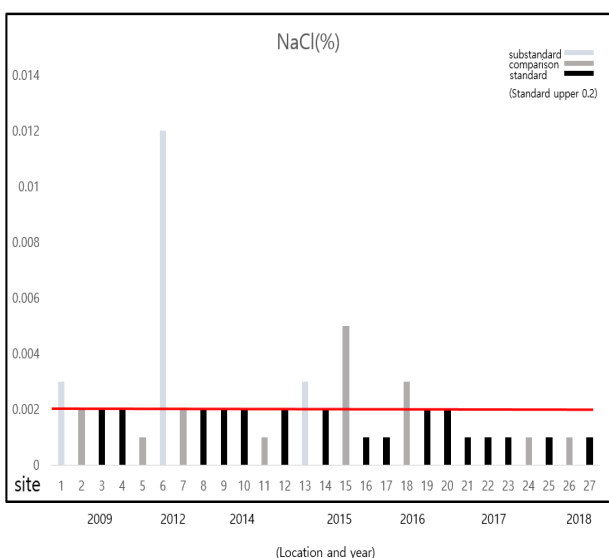


Fig. 8. NaCl Analysis

4. 결 론

국내 설치된 LID 시설은 전국적으로 많이 있으며 침투형 시설, 저류형 시설, 식생형 시설로 분류할 수 있다. 기존 LID와 관련한 많은 연구는 유량과 수질 저감에만 중점을 두어 그 효과를 제시하였다. LID 시설의 기능은 내부의 복잡한 상호작용으로 나타나기 때문에 시설의 기능 유지를 위한 관리 주기 및 방법 도출에 어려움을 겪었다. 지속 가능한 LID 시설 유지를 위해서는 관리가 필수적이지만 관리의 기준이 현재 많이 미흡하다. 본 연구에서는 국내에 설치된 LID 시설 중 도로와 연계된 식생형 시설을 대상으로 시공 후 1년~10년이 지난 LID 시설의 내부 토양 분석을 수행을 하였으며, 분석된 결과를 도태로 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1) 실험실 분석을 통해 분석한 결과 비교적 오래된 시설인 공주대학교와 아산탕정 신도시에 설치된 식생형 LID 시설은 현재 관리가 필요한 것으로 나타났다. 타지역에 비해 경도, 함수량, pH, 전기전도도, 염분 등 기준에 부합하지 못한 항목들로 인해 토양치환 및 식생 변경 등이 필요하다고 판단된다. LID 시설도 유지관리를 위한 일정 기간을 산정하여 시설의 내부 토양에서 물리·화학적 특성 분석을 통해 현 상태를 확인하는 것이 성능 유지와 지속가능성 확대를 위해서 필요하다.

2) 토양에 대한 결과를 전반적으로 분석하였을 때 시공 후 5년~7년 이상 된 LID 시설에서 일부 기준에 부합하지 못한 결과가 나타났다. 5년 이상 운영한 모든 시설에 해당하는 것은 아니지만, 조정설계 기준 하급치에 해당하는 토양은 시설의 침투율이 저하되어 물순환의 기능을 수행하지 못하고 과도한 함수량으로 식생의 생육을 저하시킬 수 있다. 이것을 통해 유지관리가 필요한 시점으로 인식할 수 있고 토양 치환과 내부 교체를 통해서 지속가능한 LID 시설을 운영해야 한다.

3) 본 연구에서는 침투형과 저류형 시설을 고려하지 못한 한계점이 있다. 침투형 시설은 구조물과 결합이 되어 있고, 침투의 목적을 두어 원지반과 연계되어 별도의 토양층이 없는 경우가 많다, 또한, 저류형의 경우는 우수의 저류 기능에 중점을 두었기 때문에 침투를 최소화 하고 있어 기능과 구조가 식생형 시설과는 다르게 설계가 된다. 이로인해 토양을 조사하려면 원지반에서 측정을 수행해야 하기 때문에 별도의 측정 장비가 필요하고 많은 어려움이 존재한다. 다양한 LID 시설을 측정 및 분석할 수 있는 추가적인 연구가 필요하다.

사 사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행 되었습니다.(22TSRD-C151228-04)

References

Choi, J.S, Hyun, J.H, Lee, J.M, Kang, M.S, Jeong, S.K (2012). Issues and Improvements in Extended Application of

- LID technologies, kwra 2012 convention, pp. 242–246
- Choi, H.S, Hwang, D.B, Cho, H.J, Kim, L.Y (2017). Establishment of Guidelines Through Community Awareness and Participation in LID Maintenance LID, ksce 2017 convention, 2017.10, pp. 1585–1586
- Development of Composite Sensing Technology Using Internet of Things (IoT) for LID Facility Management Journal of Wetlands Research, Vol. 22, No. 4, November 2020, pp. 312–320
- Joint Measures (2020), The 3rd Comprehensive Measures for the Management of Rainfall Non-point Pollutants.
- Low Impact Development Stormwater Management Practice Inspection And Maintenance Guide (2019)
- Lee, S.Y, Choi, J.Y, Hong, J.S Choi, H.S and Kim, L.H (2016). Cost-effective assessment of filter media for treating stormwater runoff in LID facilities, J. of Wetlands Research, 18(2), pp. 194–200.
- Lee, S.Y, Maniquiz-Redillas, MC, Choi, J.Y, and Kim, L.H (2014). Nitrogen mass balance in a constructed wetland treating piggery wastewater effluent, J. of Environmental Sciences, 26(6), pp. 1260–1266.
- Maniquiz-Redillas, MC, Mercado, JMR, and Kim, LH (2013). Determination of the number of storm events representing the pollutant mean concentration in urban runoff, Desalination and Water Treatment, 51(19–21), pp. 4002–4009.
- MOE (Ministry of Environment) (2012). The 2nd Phase NPS Management Measures, Ministry of Environment, Korea.
- Rossman L.A. (2016). Storm Water Management Model Reference Manual Volume III: Water Quality. EPA/600/R-16/093, National Risk Management Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Seoul Metropolitan Government (2017) A Study on the Improvement of Tree Management in Neighborhood Park in Seoul. [Korean Literature]
- Korea Land and Housing Corporation (2013), 81010 Boto, Mounting and Planting
- Korea Institute of Land and Housing (2014), A Study on the Improvement of Greening Environment of Artificial Ground in Apartment Houses (I). [Korean Literature]
- Korea Institute of Land and Housing (2015), A Study on the Introduction of Low Impact Development Method (LID) in Godeok New Town in Pyeongtaek (I). [Korean Literature]
- Korea Institute of Land and Housing (2017), A Study on the Application of Reasonable Outstanding Spill Reduction Facilities by Quantifying the Spill Effect of LID Facilities (I). [Korean Literature]
- Korean Society of Landscape Architecture (2016), Landscape Design Criteria