

도로변 및 LID 시설 내 식생종류별 식물체 내 건물물 및 영양염류 함량 변화

이유경·최혜선·전민수·김이형[†]

공주대학교 건설환경공학과

Change of dry matter and nutrients contents in plant bodies of LID and roadside

YooKyung Lee·Hyeseon Choi·Minsu Jeon·Leehyung Kim[†]

Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University, Korea
(Received : 21 January 2021, Revised : 3 February 2021, Accepted : 3 February 2021)

요약

도시지역의 강우유출수를 관리하기 위하여 자연기반해법의 LID 및 그린인프라 적용이 늘고 있다. 식물이 LID 시설에 적용되는 이유는 광합성을 이용하여 오염물질 저감효율을 높이고, 시설 내부 오염물질 축적을 줄여 유지관리 기능을 향상시키기 위해서이다. 그러나 LID 시설 내부에서 작용하는 식물의 오염물질 흡입능력의 불확실성으로 인하여 식재 선정시 어려움이 많다. 따라서 본 연구는 도로변, LID 시설 및 조경공간에 식재되어있는 식물의 건물물 및 영양물질 함량을 비교하여 오염물질 제거기작을 분석하기 위해 수행되었다. 실험대상인 7종의 초본류, 관목류 및 교목류의 월별 건물물은 60~90% 범위를 보였다. 초본류 몸체 내 TN 함량은 여름철까지 지속적으로 성장하다가 감소하는 추세를 보였다. 그러나 관목류와 교목류는 초봄과 늦여름에 높은 TN 함량을 보였다. 패랭이를 제외한 LID 시설에 식재된 모든 식물에서 높은 TP 함량을 보였다. 이는 LID의 식물이 인 제거에 효율적이라는 것을 의미한다. 식물별 영양염류 함량은 유입수 농도에 영향을 끼치는 도시환경에 크게 의존하는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 결과들은 향후 LID 적용 시 식생 선정에 있어 유용한 자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

핵심어 : 건물물, 식생종류, 영양염류 흡수량, 저영향개발, 도로변 식물

Abstract

The application of nature-based solutions, such as low impact development (LID) techniques and green infrastructures, for stormwater management continue to increase in urban areas. Plants are usually utilized in LID facilities to improve their pollutant removal efficiency through phytoremediation. Plants can also reduce maintenance costs and frequency by means of reducing the accumulation of pollutants inside the facility. Plants have long been used in different LID facilities; however, proper plant-selection should be considered since different species tend to exhibit varying pollutant uptake capabilities. This study was conducted to investigate the pollutant uptake capabilities of plants by comparing the dry matter and nutrient contents of different plant species in roadsides, LID facilities, and landscape areas. The dry matter content of the seven herbaceous plants, shrubs, and arboreal trees ranged from 60% to 90%. In terms of nutrient content, the total nitrogen (TN) concentration in the tissues of herbaceous plants continued to increase until the summer season, but gradually decreased in the succeeding periods. TN concentrations in shrubs and trees were observed to be high from early spring up to the late summer seasons. All plant samples collected from the LID facility exhibited high TP content, indicating that the vegetative components of LID systems are efficient in removing phosphorus. Overall, the nutrient content of different plant species was found to be highly influenced by the urban environment which affected the stormwater runoff quality. The results of this study can be beneficial for establishing plant selection criteria for LID facilities.

Key words : Dry matter, low impact development(LID), nutrient uptake, roadside plant, vegetation type

[†]To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University, Korea
E-mail: leehyung@kongju.ac.kr

- Yookyung Lee Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University, Korea/ MS Student/(asdf3518@naver.com)
- Hyeseon Choi Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University, Korea/PhD Candidate/(hyeseon27@kongju.ac.kr)
- Minsu Jeon Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University, Korea/PhD Candidate/(minsu91@kongju.ac.kr)
- Leehyung Kim Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University, Korea/professor/(leehyung@kongju.ac.kr)

1. 서 론

도시는 주거지역, 상업지역, 도로지역, 산업지역, 공공지역 등 다양한 토지이용으로 구성되어 있다. 도시적 토지이용은 사람의 활동에 대한 편이성을 제공하기 위하여 도로, 주차장, 건물 등이 조성되며, 경관성 및 생태성을 제공하기 위하여 공원녹지 및 조경녹지 공간 등이 조성된다(Yu et al., 2015). 그러나 도로, 주차장 및 건축물 등은 높은 불투수면적률로 인하여 물순환 왜곡, 비점오염물질, 도시 열섬 현상, 싱크홀, 미세먼지 등 환경문제를 유발시킨다(Son et al., 2009). 강우의 불균형은 가뭄과 홍수 발생 빈도를 증가시키면서 생태계 훼손과 함께 인명과 재산의 심각한 문제를 발생시킨다(Choi et al., 2018; Flores et al., 2016, Choi et al., 2019). 도시 불투수면적에서 발생하는 강우유출수는 차량의 활동으로 인하여 유기물질, 오일 및 그리스, 중금속, 영양염류 등 다양한 오염물질이 함유되어 있다(Lee et al., 2009, Choi et al., 2019). 강우유출수와 함께 유출되는 비점오염물질은 수계 유입시 수질오염, 녹조 대발생, 어류폐사 등의 수질 및 수생태 문제를 유발시킨다(Choi et al., 2016). 이러한 비점오염물질이 함유된 강우유출수 처리를 위하여 자연기반해법(nature based solutions, NBS)의 저영향개발(low impact development, LID) 및 그린인프라 기법이 적용되고 있다(Hong et al., 2016).

LID는 자연적 물순환 및 소규모 분산형으로 강우유출수를 관리하는 기법이며, 수질오염 저감, 지하수 충전, 물 재이용 등을 촉진하는 기법이다(Hong et al., 2015, Geronimo et al., 2019). LID 기술요소는 국내외적으로 다양하게 발전되어 왔으며, 식생수로, 나무여과상자, 식생체류지, 식생여과대, 투수포장, 식물재배화분, 옥상녹화, 인공습지, 옥상녹화, 침투도랑 등 다양한 시설이 포함된다(Choi et al., 2016, Gurung et al., 2018, Choi et al., 2019). LID는 토양과 식물의 물리화학적 및 생물학적 원리를 이용하여 물순환을 구축함으로써 비점오염물질을 저감하는 기능을 가지고 있다(Choi et al., 2013). LID시설은 토양, 여재, 식물 및 미생물 등이 주요 구성 요소이다. 강우유출수에 포함되어 있는 입자상 물질은 토양의 침전과 여과 등을 통해 저감되며, 유기물은 토양 내 미생물에 의한 생물분해를 통해 포도당이나 아미노산과 같은 작은 물질로 분해하여 형태가 변화한다(Sylvia et al., 2005). 영양염류 중에서 질소는 미생물 합성과 질산화 및 탈질산화 과정과 식물흡입을 통해 저감되며, 인은 미생물 합성과 흡착 및 식물흡입 등에 의하여 저감된다. 중금속은 토양의 물리화학적 여과, 흡착 등이 중요한 제거 기작이다(Marla, 2009; Lee et al., 2016).

식물의 성장환경은 토양, 함수량, 양분 등의 토양특성과 기온, 습도, 바람과 같은 기후특성을 포함한다(Choi et al., 2016, Choi et al., 2017). 이 중에서 물은 생명체의 가장 중요한 구성성분으로 산지, 평지, 습지식물 등에 큰 영향을 준다. 식물은 성장 과정에 가뭄과 홍수 등 물에 의한 스트레스를 크게 받는다. LID는 강우유출수에 함유된 비점오염

물질을 관리하기 위하여 초본류, 관목류 및 교목류 등 다양한 식물이 식재된다. LID 시설에서 식물은 여재층에 축적되어 토양오염 및 공극 막힘 현상을 초래하는 중금속 등의 오염물질을 물질순환 과정을 통하여 식물체 내부로 흡수시키는 역할을 수행한다(Maniquiz-Redillas et al., 2016). 그러나 LID 설계시 유입 오염물질의 성상을 고려하지 않고 식물이 선정됨으로써 함수량이나 독성물질 유입에 의하여 식물이 고사하는 경우가 발생한다. 현재 LID 시설 설계시 식재선정 과정에 경관성, 내공해성, 내염성 등은 고려되고 있으나 오염물질의 식물체 내 전환율에 대해서는 고려되고 있지 않다. 따라서 본 연구는 LID 시설의 식생 선정시 식물에 의한 건물물 및 영양염류 함량을 월별, 식물별 비교를 함으로써 향후 LID 시설의 식재선정 기준에 적용 가능한 기초자료를 확보하기 위하여 수행되었다.

2. 연구방법

2.1 모니터링 지점

모니터링 대상지점은 천안 1번 국도와 공주대학교 내 설치된 LID 시설로 선정하였다(Fig. 1). 모니터링 대상으로 선정된 식생은 도로변에 식재된 벚꽃나무(*Prunus sect. Cerasus*(PSC)), 은행나무(*Ginkgo biloba*(GB))와 LID 시설 내 식재된 패랭이(*Dianthus chinensis*(DC)) 쑥(*Artemisia princeps*(AP)), 조팝나무(*Spiraea prunifolia*(SP)), 영산홍(*Rhododendron indicum*(RI)) 및 메타세콰이어(*Metasequoia glyptostroboides*(MG)) 등이다. 또한 도로변 및 LID 시설 내 식재된 식물과의 비교를 위해 동일한 식생이 식재된 공주대학교 내 차량의 노출이 거의 없는 조경공간 식재 식물을 대조군(Control)으로 선정하였다. 각 식물은 위치별, 부위별로 나누어 건물물 및 영양염류 함량분석이 수행되었다(Table. 1).

LID 시설의 경우 나무여과상자(TF), 빗물정원(RG), 식생체류지(BI), 침투화분(IP)을 모니터링 대상으로 선정하였다. Table 2는 LID 시설별 크기 및 설치년도, 특징 등을 나타낸 것이다. 나무여과상자와 식생체류지는 도로 강우유출수를 처리하는 시설로 저장용량은 각각 0.71m³, 2.32m³이며, 빗물정원과 침투화분의 경우 건물 옥상 빗물유출수를 처리하는 시설로 저장용량은 6.26m³, 0.98m³이다.

2.2 모니터링 및 분석 방법

모니터링 기간은 2020년 3월부터 9월까지 매달 1회 식생 채취와 분석을 수행하였다. 채취된 식물은 세척후 생체중량(fresh weight)을 측정하였다. 측정 후 식생을 지상부(잎, 잔가지, 줄기)와 지하부(뿌리)로 분리하여 50℃의 열풍건조기에 넣어 건조무게가 변하지 않을 때까지 건조시킨 후 건조중량(dry weight)을 측정하였다. 건조된 식생은 분쇄하여 토양 및 식물체 분석법(RDA, 2000) 기준을 바탕으로 영양물질(TN, TP) 분석을 수행하였다.

Table 1. Planting location and analysis of plant parts

Vegetation type	Plant name	location of plant			Analysis of plant parts			
		LID	Roadside	Control	root	stem	branch	leaf
Herbaceous plant	Rainbow pink	○		○	○			○
	Korean wormwood		○	○	○			○
Shrubs	Satsuki azalea	○		○	○	○	○	
Trees	Bridal-wreath	○		○		○	○	
	Dawn redwood	○		○		○	○	
	Oriental cherry		○	○		○	○	
	Ginkgo		○	○		○	○	

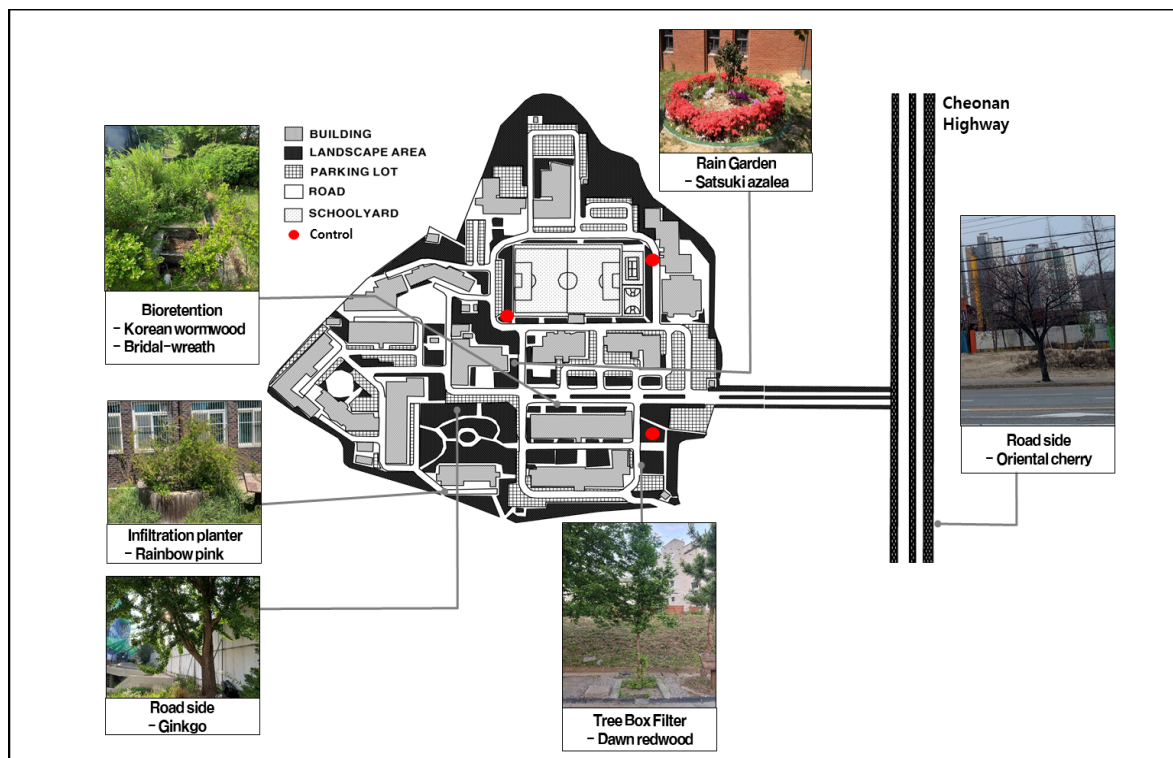


Fig. 1. Location of LID facilities and plants.

Table 2. Characteristics of LID facilities

	LID facilities			
	Tree Box Filter	Rain Garden	Bioretention	Infiltration planter
Operating year(yrs)	10	9	7	7
Vegetation	Dawn redwood	Satsuki azalea	Korean wormwood, Bridal-wreath	Rainbow pink
Runoff source	Parking Lot	Roof	Parking Lot	Roof
Media	Sand, Gravel, Woodchip	Sand, Soil, Gravel	Sand, Soil, Bottom Ash, Woodchip	Sand, Soil, Gravel
Dimension (LxWxH), m	1.5×1×1.3	3.7×1.5	3×1.3×1.2	2×2.5
Storage volume, m ³	0.71	6.26	2.32	0.98
Catchment area, m ²	379	161	139	81
SA/CA, (%)	0.3	6.9	2.4	2.1
SV/TV, (%)	36.6	38.3	48	40.0

SA/CA=ratio of facility surface area to catchment area; SV/TV=ratio of storage volume to total volume;

식물체의 수분변화는 수분 스트레스 상태를 알 수 있는 지표로 토양 내 수분의 양이 적어지면 식생은 물에 대한 스트레스를 받게 되며 성장에 영향을 미친다(Choi, 2017). 식물체 내의 수분 스트레스 정도를 평가하기 위하여 식생의 건물물을 산정하였다. 건물물은 건조중량(dry weight)을 생체중량(fresh weight)로 나누어 계산되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 LID, 도로변 및 조경공간 서식 식물체의 건물물 변화 분석

식물의 건물물(dry matter)은 식물체의 건조중량 비율을 의미하며, 식물체 성장의 건전성을 의미한다. 즉, 건물물이 높으면 식물의 성장이 느리다는 것을 의미하며, 식물의 스트레스가 높아진다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 다양한 토양조건 및 유입수 조건하에서 식물체의 성장현황을 파악하기 위하여 건물물을 조사하였다.

Fig. 2는 서로 다른 토양환경에 식재되어있는 7가지 식물종(초본 2종류, 관목 1종류, 교목 4종류)의 부위별 건물물

을 보여주고 있다. 모든 식물의 건물물은 전반적으로 월별 60~90% 범위를 보이며, 쭉의 경우 월별 40~90% 범위로 가장 넓게 나타났다. 초본(패랭이, 쭉)과 관목(영산홍)의 경우 건물물은 월별 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다. 그러나 생체량이 큰 교목류 중에서 벚꽃나무는 건물물이 여름철에 다소 증가하는 것으로 나타나 물에 의한 스트레스가 일부 있을 것으로 평가되었다. 그러나 메타세콰이어와 은행나무의 건물물은 여름에 다소 낮아지는 것으로 보아 물에 강한 저항력을 가진 것으로 평가된다. 따라서 건물물로 평가할 때 대체적으로 초본류와 관목류는 LID에 적용 가능성이 높은 식물로 평가되며, 교목류의 경우 신중한 선정이 필요한 것으로 평가된다.

식물체의 건물물은 월별 및 부위별로 서로 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다. 대체적으로 초본은 활발한 광합성으로 인하여 뿌리보다 잎에서 낮은 건물물을 보였다. 그러나 관목류와 교목류의 경우 상부로의 물 이동률이 낮아 잔가지로 갈수록 건물물이 다소 높게 나타났다. 동일 식물의 경우 토양 내 물의 함량이 식물체 내 건물물에 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 물의 함량이 급속도로 줄어드는 침투성 토양에 식재된 식물의 경우 건물물이 다소 높게 나타났다.

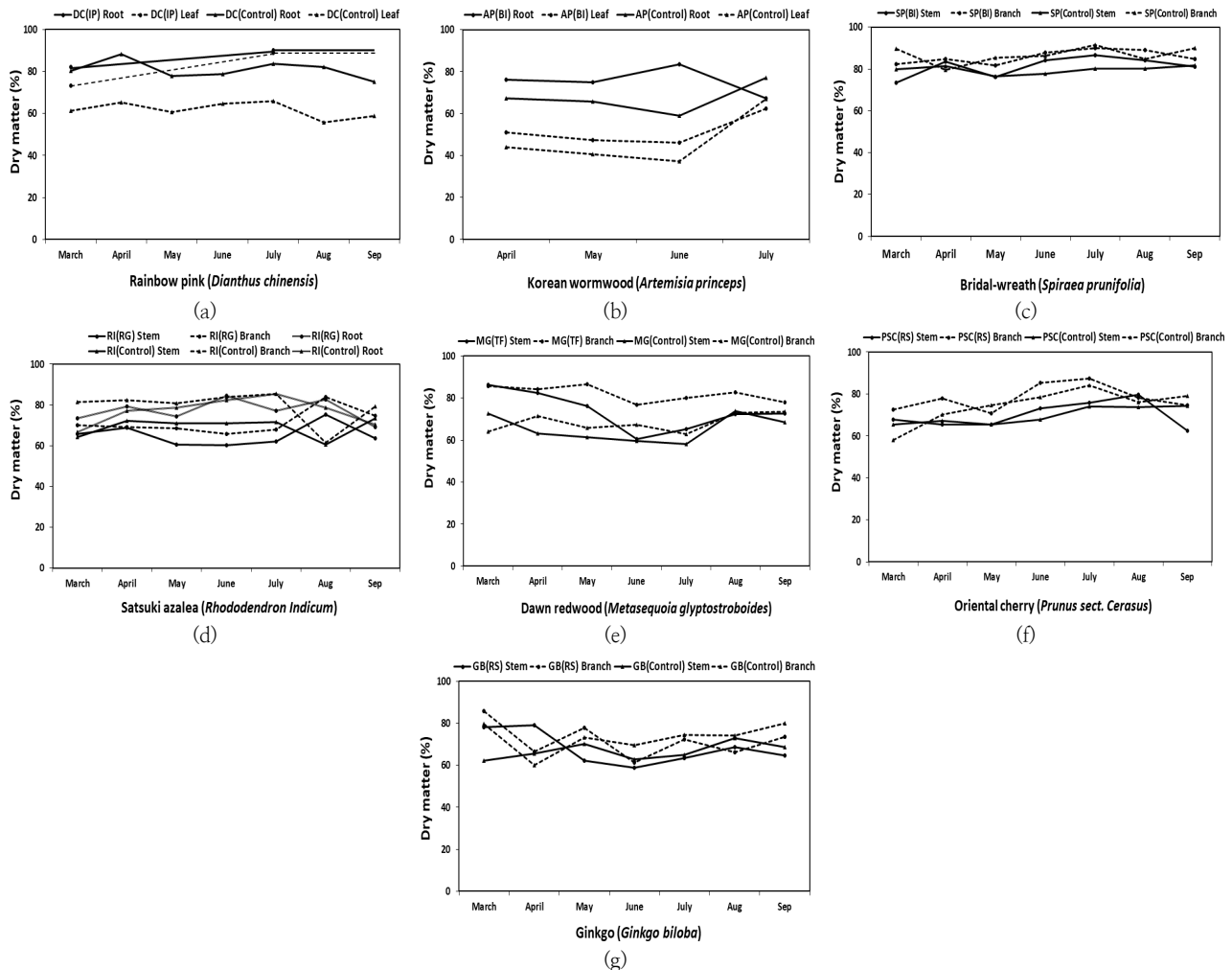


Fig. 2. Monthly variations of dry matter percentage in plants of LID, roadside, and Control area.

3.2 LID, 도로변 및 조경공간 서식 식물체의 총질소(TN) 변화 분석

Fig. 3은 서로 다른 토양환경에 식재되어있는 식물 종의 부위별 총질소(TN)의 농도를 보여주고 있다. 초본에 속하는 패랭이와 쑥은 잎보다 뿌리에서 TN 함량이 높은 것으로 평가되었다. 패랭이 몸체의 TN 농도는 3월 이후 지속 증가하다가 8월을 정점으로 감소하는 추세를 보였으며, 쑥은 6월을 정점으로 감소하는 추세를 보였다. 초본은 봄과 초여름에 급격한 성장을 보이다가 늦여름 시기에 성장이 멈추면서 몸체 TN 함량의 영향을 받는 것으로 나타났다. LID 시설내 식재된 패랭이와 쑥은 대조군에 비하여 TN 함량이 높게 나타났다. 즉, 질소가 높은 농도로 함유된 도로변 강우유출수가 유입되는 LID의 초본류가 빗물만 받아들이는 대조군 초본류에 비해 높은 질소 흡입량을 보였다.

작은 교목에 속하는 조팝나무와 관목류에 속하는 영산홍의 체내 TN 함량은 유사한 경향을 보였다. 조팝나무와 영산홍에서는 잔가지의 TN 함량이 줄기의 TN 함량보다 약 1.3배 높게 나타났다. 조팝나무와 영산홍의 TN

함량은 6월까지 감소하다가 이후 증가하는 추세를 보였다. LID에 식재된 조팝나무와 영산홍의 TN 함량이 대조군에 비하여 1.2배 높게 나타났다. 이러한 경향성을 볼 때 조팝나무와 영산홍은 봄철 초기에 질소 흡입량이 높고, 이후 늦여름이 되면서 급격한 광합성 작용으로 인하여 몸체 내 질소함량이 약 1.2~1.6배 높아지는 것으로 분석되었다.

교목에 속하는 메타세콰이어는 초봄과 늦여름에 잔가지에서의 TN 함량이 줄기보다 높게 나타났으나 4~7월까지는 유사한 농도 값을 보였다. 이러한 특성을 볼 때 초봄에는 뿌리로 흡입된 양분이 잔가지로 급속도로 이동하면서 높은 농도를 보이고, 늦여름에는 활발한 광합성으로 인하여 잔가지 내 TN 축적량이 높아지는 것으로 평가되었다. 벚꽃나무와 은행나무는 차량이 빈번하게 왕래하는 도로변과 차량의 영향을 받지 않은 대조군(조경공간)에 식재된 종에 대하여 비교평가가 수행되었다. 벚꽃나무의 잔가지 TN 함량은 줄기에서보다 1.3배 높게 나타났으며, 몸체에서의 TN 함량변화는 메타세콰이어와 유사한 경향을 보였다. 메타세콰이어와 벚꽃나무와 같이 교목류에 속하지만 열매가 열리는 은행나무는 몸체 내의 TN 함량이 다른

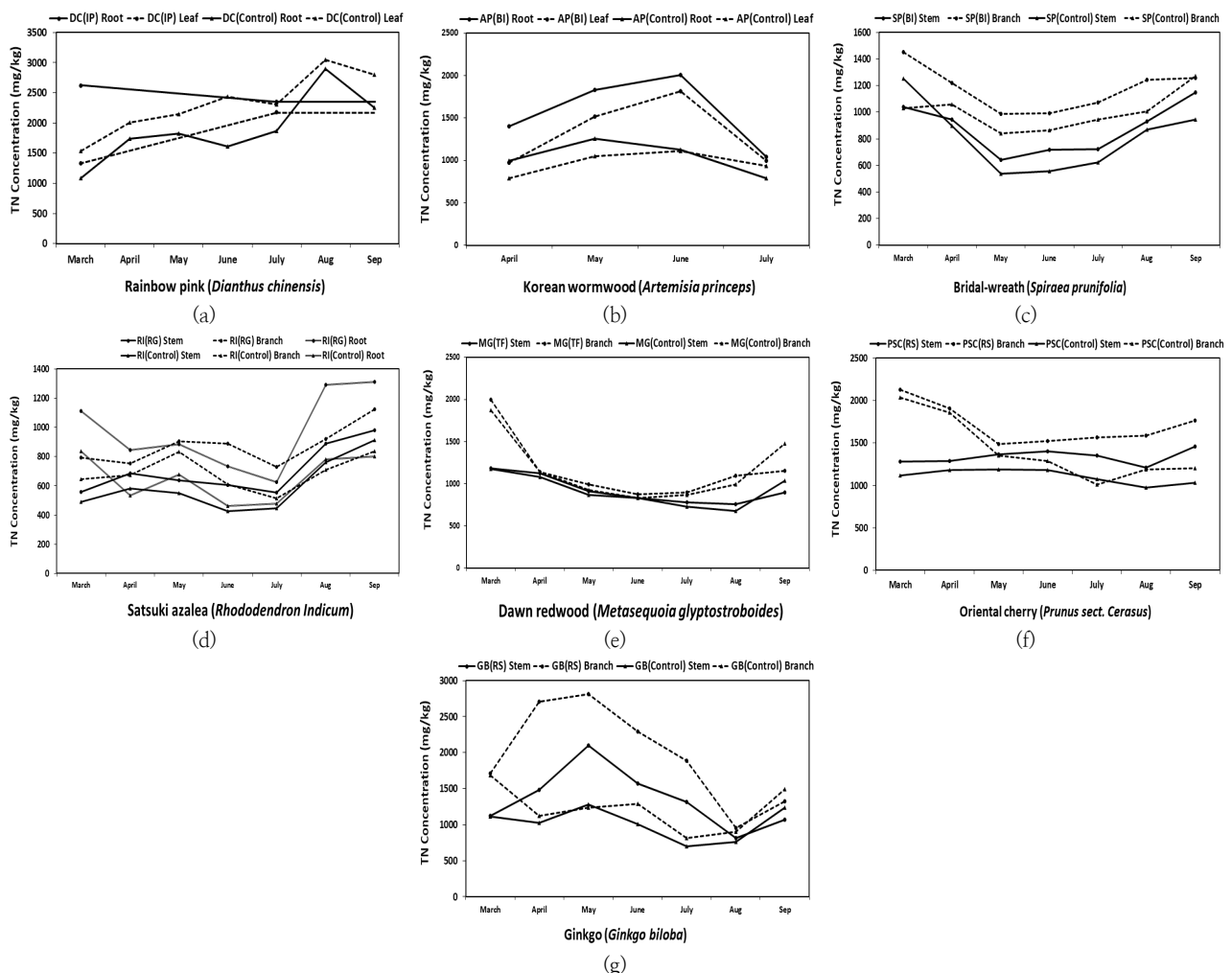


Fig. 3. Monthly variations of TN concentration in plants of LID, roadside, and Control area.

경향을 보였다. 은행나무의 잔가지 TN 함량이 줄기보다 높은 것은 타 교목과 유사한 특성을 보였다. 그러나 월별 변화는 다른 교목류와 달리 5월까지 증가하다가 이후 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 특성은 열매가 열리는 시기에 식물의 특정 부위로 양분이 이동한다는 것을 의미한다.

LID, 도로변, 조경공간 등에 식재된 식물류(초본류, 관목류, 교목류)의 몸체내 TN 함량을 조사한 결과 주변 환경(유입수 성상, 주변 대기오염 정도 등)이 식물체 내 TN 함량에 큰 영향을 주는 것으로 평가되었다. 즉, TN 함량이 높은 유입수가 유입되는 곳에 식재된 식물에서 체내 높은 TN 함량을 보였으며, 도로변 식재된 식물이 조경공간에 식재된 식물보다 TN 함량이 높게 나타났다. 초본류, 관목류 및 교목류의 몸체 내 월별 TN 함량도 서로 다르게 나타났다. 초본류 몸체 내 TN 함량은 여름철까지 지속적으로 성장하다가 감소하는 추세를 보이나, 관목류와 교목류는 초봄과 늦여름에 높은 농도를 보였다. 이러한 경향으로 볼 때 초본, 관목 및 교목류를 적절하게 다층구조로 조성할 시 TN 제거가 효율적으로 수행될 것으로 평가되었다.

3.3 LID, 도로변 및 조경공간 서식 식물체의 총인(TP) 변화 분석

Fig. 4는 서로 다른 토양환경에 식재되어 있는 식물종의 부위별 총 인(TP) 농도를 분석한 결과이다. 패랭이를 제외한 LID 내 식재된 식물과 도로변 환경에 식재되어 있는 식물의 체내 TP 함량이 대조군(조경공간)에 비하여 높게 나타났다. 이러한 특성은 TN에서도 유사한 경향을 보였으며, 도로 강우유출수에 함유된 양분이 식물체 몸체에 다량 흡입되었기 때문이다. 그러나 식물종별 몸체 월별 TP 함량은 TN에 비하여 다소 다른 경향을 보였다. 식물의 월별 영양염류(TN, TP) 함량변화를 살펴보면 초본의 경우 성장 초기에 몸체 내 인의 함량은 높으나 질소의 함량은 다소 낮게 나타났다. 그러나 성장이 지속될수록 몸체 내 질소의 함량은 지속적으로 증가하나 인의 함량은 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 성장이 최대도 도달할 시기에는 몸체내에 다시 인의 함량이 최대한으로 증가하는 것으로 나타났다. 목본류에서 몸체 내 인의 함량은 조팝나무, 메타세콰이어가 월별 지속적으로 증가하는 경향을 보이며, 벚꽃나무와 은행나무는 증가하다가 여름에 들어서면서 감소하는 경향을 보

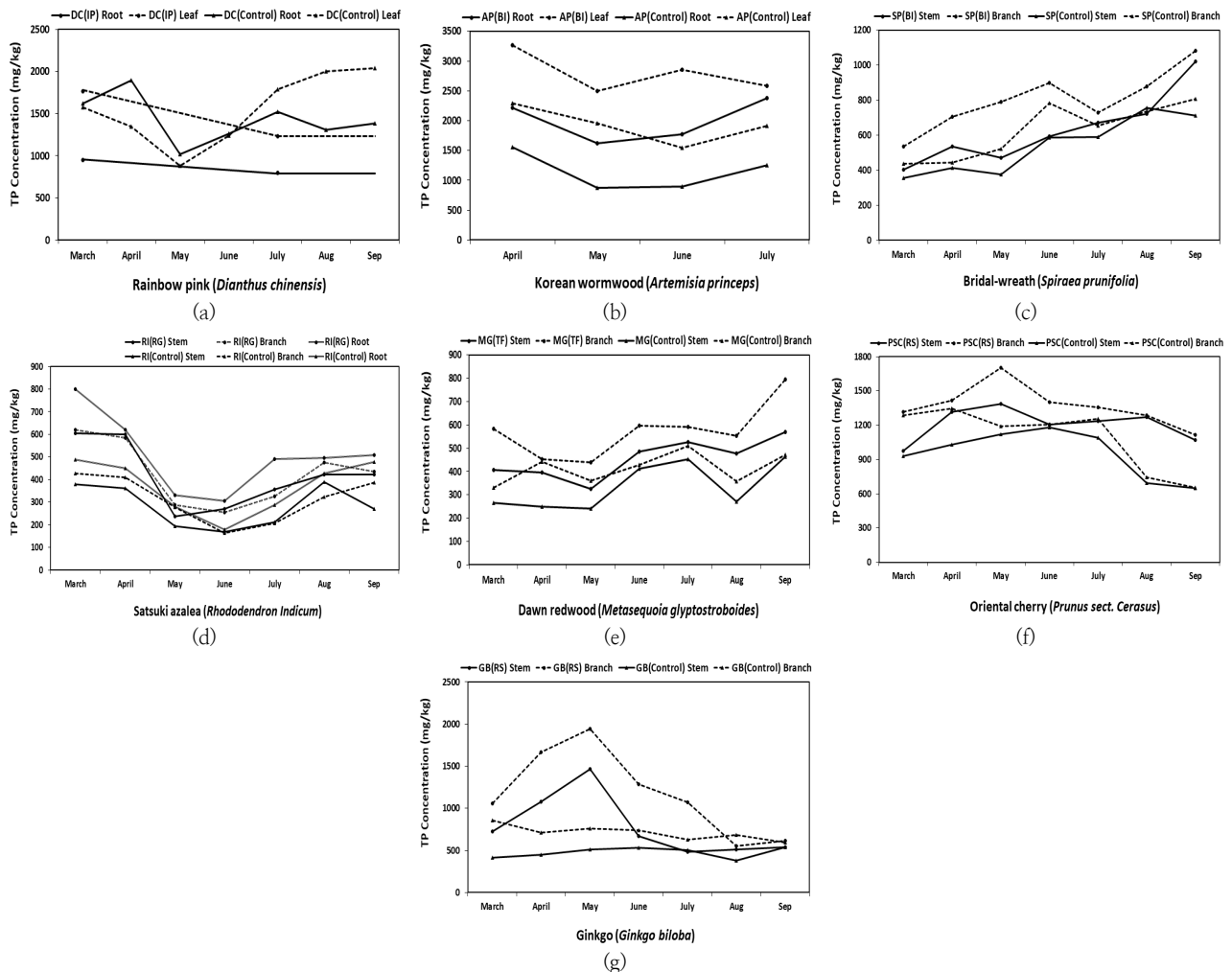


Fig. 4. Monthly variations of TP concentration in plants of LID, roadside, and Control area.

였다. 영산홍은 월별 몸체 TP 함량이 지속적으로 감소하다가 6월 이후 다소 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 영산홍 몸체 내 TN 함량과는 반대적 경향성을 보인다. 교목류의 경우 성장이 시작되는 시기에는 일반적으로 TN의 축적량이 많으며 TP는 식물의 성장이 완료되는 시기에 몸체 내 축적량이 높은 것으로 나타났다.

식물 부위별 인의 함량은 식물종별 다른 경향을 보였다. 초본류인 패랭이와 쭉은 뿌리와 잎에서의 TP 함량이 서로 다른 경향성을 보였으나, 교목류에서는 줄기보다 잔가지에서 TP 함량이 높게 나타났다. 관목류인 영산홍은 지하부(뿌리)에서 지상부(줄기, 잔가지) 보다 1.2배 높은 함량을 보였다.

LID에 식재된 식물에서 높은 인의 함량을 보이는 것으로 보아 식물은 LID에서 인의 제거를 효율적으로 수행하고 있

는 것으로 평가된다. 또한 늦여름부터 식물 몸체 내 TP 함량이 집중적으로 증가하는 것으로 보아 강우시에 LID 내 식물의 TP 함량 축적이 집중적으로 수행되고 있다는 것을 의미한다. 그러나 영산홍과 은행나무는 봄철의 작은 강우시 효율적으로 TP를 제거하는 것으로 평가되었다.

3.4 LID, 도로변 및 조경공간 서식 식물체의 DM 및 영양염류 비교

Fig. 5는 다양한 토양환경(LID 내부, 도로변, 일반 조경공간)에 식재되어 있는 식물의 위치별 DM과 영양염류에 대하여 비교한 것이다. 일반적으로 동일식물이 동일 토양환경에 위치한다면 DM 비율(LID/Control), TN 비율(LID/Control), TP

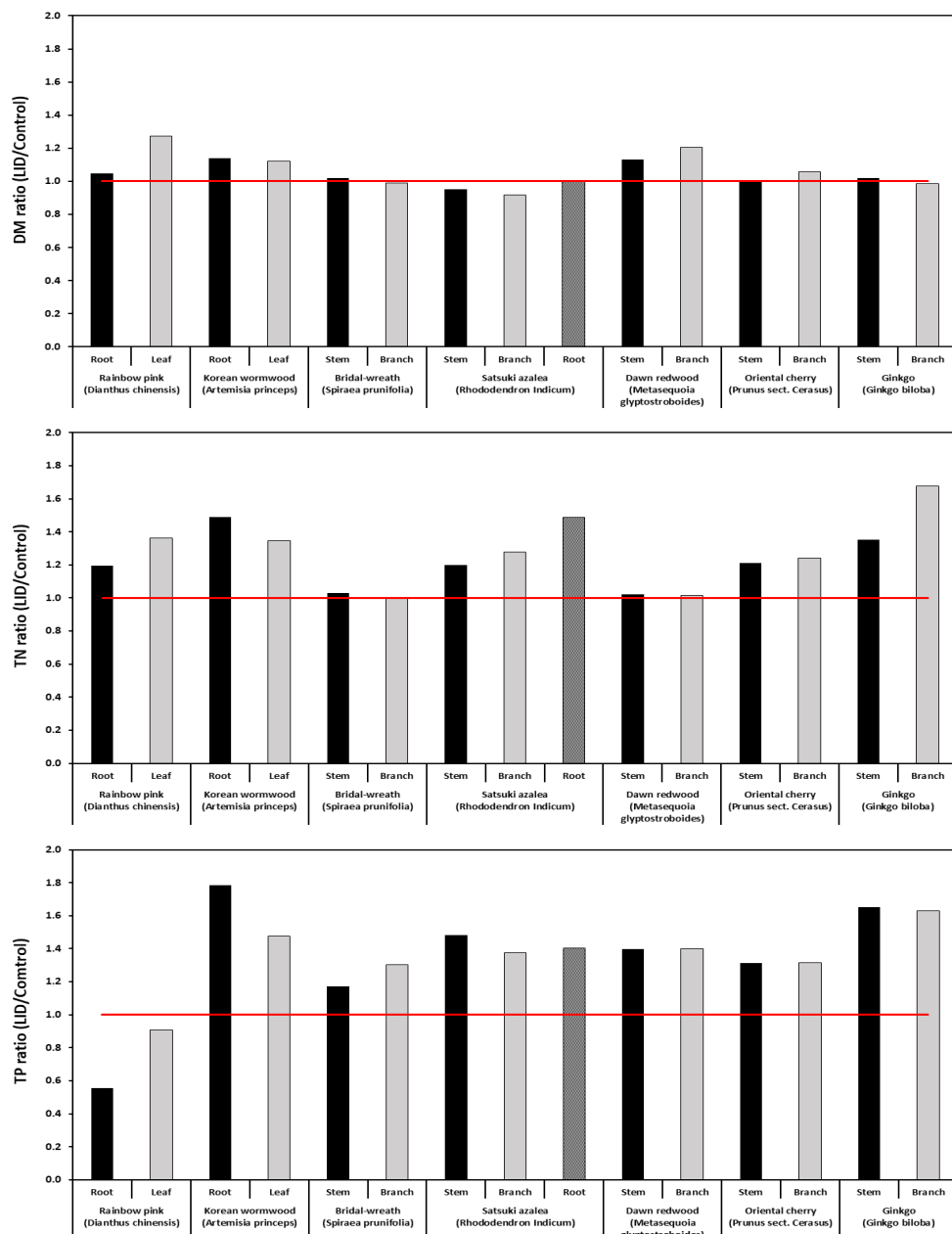


Fig. 5. Comparison of pollutant ratios (LID/Control) for different plant species

비율(LID/Control)비율은 거의 1.0으로 일치할 것이다. 그러나 LID시설, 도로변 및 조정공간에 식재되어 있는 식물의 비율은 서로 다르게 나타났다. DM비의 경우, 영산홍은 LID와 대조군에서의 비가 1.0 이하로 나타났으며, 은행나무는 도로변과 조정공간에서의 비가 거의 1.0으로 나타났다. 나머지 5종의 식물에서는 토양환경에 따른 비율이 1.0 이상으로 나타났다. 특히 패랭이, 쭉 및 메타세콰이어에서는 비율이 1.1 이상으로 높게 나타났다. TN 비는 조팝나무와 메타세콰이어를 제외하고는 강우유출수가 유입되는 LID 및 도로변에서 1.2~1.6까지 매우 높게 나타났다. TP의 경우 패랭이를 제외하고 모든 식물에서 강우유출수가 유입되는 위치에 식재된 식물에서 조정공간보다 매우 높게 나타났다. 이러한 특성으로 볼 때 강우유출수에 함유되어 있는 미네랄(Ca, Mg, Cu, Zn 등)과 영양염류(N, P)가 식물의 성장에 크게 기여하는 것으로 나타났다. 그러나 패랭이의 경우 TN은 효율적으로 흡수하고 있으나 TP 흡수율은 다소 낮게 나타났다.

쭉의 DM, TN 및 TP의 함량은 LID에서 조정공간보다 높게 나타났다. 특히 DM 비율에 비하여 TN과 TP 비율이 더 높게 나타났는데, 이는 쭉이 물에 의한 스트레스를 받아도 영양염류 흡수에 더욱 효과적이라는 것을 의미한다. 메타세콰이어의 경우 물에 의한 스트레스를 다소 받고 있지만 인 흡수에 효과적인 식물로 나타났다. 대체적으로 패랭이를 제외한 6종 식물(쭉, 조팝나무, 메타세콰이어, 영산홍, 벚꽃나무, 은행나무)은 인의 흡수에 매우 효과적인 식물로 평가되었다. 질소제거에 효과적인 식물은 패랭이, 쭉, 영산홍, 벚꽃나무 및 은행나무로 평가되었다.

식물의 부위별 DM, TN 및 TP의 축적공간을 비교하기 위하여 뿌리, 잎, 줄기, 잔가지에 대하여 비율을 비교하였다. DM은 패랭이를 제외하고는 식물의 부위별 유사한 값을 보였다. 그러나 영양염류의 경우 식물별 서로 다른 부위에 축적되는 것으로 나타났다. 초본 중에서 패랭이는 TN과 TP 모두 뿌리보다 잎에 축적되는 경향을 보였으나, 쭉은 뿌리에서 높은 함량을 보였다. 조팝나무의 경우 TN은 줄기와 잔가지에서 유사한 축적량을 보였으나, TP는 잔가지에서 높은 축적량을 보였다. 영산홍의 경우 TN은 뿌리>잔가지>줄기의 순으로 축적량을 보였으나, TP는 뿌리와 잔가지 보다 줄기에서 다소 높은 축적량을 보였다. 교목 중에서 은행나무는 부위별 TP 함량은 비슷한 값을 보였으나, TN의 경우 잔가지에서 높게 나타났다. 일반적으로 TP는 초본에서 부위별 축적량이 크게 다르게 나타난 반면 관목 및 교목에서는 부위별 유사한 값을 보였다. 그러나 TN은 식물종별 부위별 서로 다른 축적량을 보이는 것으로 나타났다.

4. 결 론

도시 강우유출수의 효율적 관리를 위하여 자연적 물순환 및 물질순환을 구현하는 LID 시설의 조성이 늘어나고 있다. 그러나 LID 시설의 효율 영향 기작과 유지관리 용이성

확보 기술 등이 개발되지 않아서 LID 설계시 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구는 오염물질과 접촉빈도가 서로 다른 LID 시설, 도로변 및 조정공간에 식재된 식물에 대한 비교연구를 통해 LID 시설에서 식물의 오염물질 저감기작을 규명하기 위하여 수행되었으며, 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1) 초본, 관목의 경우 건물물은 월별 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타났으나 생체량이 큰 교목류 중 벚꽃나무의 건물물은 여름철에 다소 증가하는 것으로 나타났다. 식물체내 영양염류의 함량은 식물의 성장과 연관되는 강우발생 시기와 토양내 양분양이 크게 영향을 끼치는 것으로 분석되었다.

2) LID에 식재된 식물의 건물물이 다소 높게 나타났으나, 강우유출수로 유입된 높은 영양염류 함량으로 인하여 오히려 영양염류 흡입률은 증가하는 것으로 평가되었다. 즉, LID에 식재된 식물의 성장은 극한기후가 아닌 경우에는 토양환경에 큰 영향을 받는 것으로 평가되었다.

3) 식물체 내 부위별 영양염류 함량은 초본에서는 잎이 뿌리보다 높게 나타났으며, 목본에서는 줄기보다 잔가지에서 다소 높게 나타났다. 즉, 식물별 영양염류의 축적부위가 서로 다르기에 LID 설계시 강우유출수의 영양염류 농도를 고려한 식생 선정이 필요하다.

4) 본 연구결과는 LID 시설에서의 생물학적 오염물질 제거기작을 연구한 논문으로 향후 LID 시설에서의 중금속에 효과적인 식물종 선정에 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 공주대학교 연구년 사업(비점오염저감 및 생태계서비스 복원위한 생태적 LID 기술개발)에 의하여 연구되었기에 감사드립니다.

References

- Choi, H., Hong, J., Lee, S., & Kim, L. H. (2016). Assessment of Salt Resistance and Performances of LID Applicable Plants. *J. of Wetlands Research*, 18(2), 201–207. DOI: 10.17663/JWR.2016.18.2.201
- Choi, H. (2017). Impact Assessment of Plant Growth and Pollution Removal Ability of LID Plants against Deicing Agents(CaCl₂). Thesis of Master of Sciences in Kongju National University.
- Choi, J., Maniquiz-Redillas, M. C., Hong, J., & Kim, L. H. (2017). Development of a hybrid constructed wetland system for treating stormwater runoff from road. *Desalination and Water Treatment*, 63, 397–403. DOI: 10.5004/dwt.2017.11443
- Choi, J., Maniquiz-Redillas, M. C., Hong, J., & Kim, L. H. (2018). Selection of cost-effective Green Stormwater Infrastructure (GSI) applicable in highly impervious

- urban catchments. *KSCE J. of Civil Engineering*, 22(1), 24–30. DOI: [10.1007/s12205-017-2461-1](https://doi.org/10.1007/s12205-017-2461-1)
- Choi, J., Son, Y., Lee, S., Lee, Y., & Kim, L. H. (2013). Development of tree box filter LID system for treating road runoff. *J. of Wetlands Research*, 15(3), 407–412. DOI: [10.17663/JWR.2013.15.3.407](https://doi.org/10.17663/JWR.2013.15.3.407)
- Choi, J., Hong, J., Kang, H., & Kim, L. H. (2016). Characteristics of stormwater runoff from highways with unit traffic volume. *J. of Wetlands Research*, 18(3), 275–281. DOI: [10.17663/JWR.2016.18.3.275](https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.3.275)
- Choi, H., Hong, J., Jeon, M., Geronimo, F. K., & Kim, L. H. (2019). Assessment of Water Circulation and Hydro-characteristics with LID techniques in urbanized areas. *J. of Wetlands Research*, 21(3), 191–198. DOI: [10.17663/JWR.2019.21.3.191](https://doi.org/10.17663/JWR.2019.21.3.191)
- Choi, H., Hong, J., Geronimo, F. K. F., & Kim, L. H. (2019). Assessment of environmental impacts of LID technologies on vegetation. *Membrane Water Treatment*, 10(1), 39–44. DOI: [10.12989/mwt.2019.10.1.039](https://doi.org/10.12989/mwt.2019.10.1.039)
- Choi, H., Geronimo, F. K., Hong, J., & Kim, L. H. (2019). Assessment of the influence of urban stormwater runoff on the growth of *Spiraea prunifolia* var. *simpliciflora*. *Desalination and Water Treatment*, 158, 225–232. DOI: [10.5004/dwt.2019.24253](https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24253)
- Flores, P. E. D., Maniquiz-Redillas, M. C., Geronimo, F. K. F., Alihan, J. C. P., & Kim, L. H. (2016). Transport of nonpoint source pollutants and stormwater runoff in a hybrid rain garden system. *J. of Wetlands Research*, 18, 481–487. DOI: [10.17663/JWR.2016.18.4.481](https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.4.481)
- Geronimo, F. K. F., Maniquiz-Redillas, M. C., Hong, J., & Kim, L. H. (2019). Evaluation on the suspended solids and heavy metals removal mechanisms in bioretention systems. *Membrane Water Treatment*, 10(1), 91–97. DOI: [10.12989/mwt.2019.10.1.091](https://doi.org/10.12989/mwt.2019.10.1.091)
- Gurung, S. B., Geronimo, F. K., Hong, J., & Kim, L. H. (2018). Application of indices to evaluate LID facilities for sediment and heavy metal removal. *Chemosphere*, 206, 693–700. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2018.05.077](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.077)
- Hong, J. S., Maniquiz-Redillas, M. C., Kim, R. H., Lee, S. H., & Kim, L. H. (2015). Performance evaluation of water circulation facilities with infiltration and retention functions. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 2(4), 305–310. DOI: [10.17820/eri.2015.2.4.305](https://doi.org/10.17820/eri.2015.2.4.305)
- Hong, J. S., & Kim, L. H. (2016). Assessment of performances of low impact development (LID) facilities with vegetation. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 3(2), 100–109. DOI: [10.17820/eri.2016.3.2.100](https://doi.org/10.17820/eri.2016.3.2.100)
- Lee, S., Choi, J., Hong, J., Choi, H., & Kim, L. H. (2016). Cost-effective assessment of filter media for treating stormwater runoff in LID facilities. *J. of Wetlands Research*, 18(2), 194–200. DOI: [10.17663/JWR.2016.18.2.194](https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.2.194)
- Lee, S. Y., Maniquiz, M. C., Choi, J. Y., & Kim, L. H. (2009). Determination of EMCs for rainfall ranges from transportation landuses. *J. of Wetlands Research*, 11(2), 67–76.
- Marla C. Maniquiz. (2009). Urban Runoff Treatment by means of an Infiltration System during Rainfall Events. Thesis of Master of Science, Kongju National University.
- Maniquiz-Redillas, M. C., & Kim, L. H. (2016). Understanding the factors influencing the removal of heavy metals in urban stormwater runoff. *Water Science and Technology*, 73(12), 2921–2928. DOI: [10.2166/wst.2016.153](https://doi.org/10.2166/wst.2016.153)
- Rural Development Administration (RDA). 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Son, H. G., Lee, S. Y., Maniquiz, M. C., & Kim, L. H. (2009). Characteristics of NPS pollutants and treatment of stormwater runoff in paved area during a storm. *J. of Wetlands Research*, 11(2), 55–66.
- Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G., & Zuberer, D. A. (2005). Principles and applications of soil microbiology (No. QR111 S674 2005). Pearson.
- Yu, G., Choi, J., Hong, J., Moon, S., & Kim, L. H. (2015). Development and evaluation of bioretention treating stormwater runoff from a parking lot. *J. of Wetlands Research*, 17(3), 221–227. DOI: [10.17663/JWR.2015.17.3.221](https://doi.org/10.17663/JWR.2015.17.3.221)