한국정원디자인학회지 7(1): 60~69, 2021. 3.
DOI https://doi.org/10.22849/jkigd.2021.7.1.006
JOURNAL OF THE KOREAN INSTITUTE OF GARDEN DESIGN

pISSN 2465-8146
eISSN 2713-637X

도시정원의 생태계서비스 평가방법에 관한 연구 동향

모용원

영남대학교 생명응용과학대학 조경학과 교수

Review of Ecosystem Services Assessment Methods in Urban Garden

Mo, Yongwon

Professor, Dept. of Landscape Architecture, Yeungnam University

ABSTRACT

Ecosystem services of small-scale green areas such as urban gardens have been considered important components in cities. In this study, we investigated the characteristics of the study site, and materials and methods of assessment for the ecosystem services of urban gardens. Previous researches related to evaluating ecosystem services of urban gardens were searched in the Google Scholar and Web of Science databases. As the results, the study sites were used for various terms or types such as allotment garden, home garden, and community garden, so it is necessary to identify the characteristics of the study site before interpreting the quantitative ecosystem service assessment results. Compared to other green areas, ecosystem services provided by urban gardens were evaluated mainly through field surveys and measurements, and detailed spatial composition was also considered. For examples, the provisioning service was assessed by the area excluding the corridor from the crop planting areas, and the regulating service was evaluated from the effect of reducing stormwater runoff in consideration of the raised bed and the home-range of bees, which play an important role in pollination, were used. The supporting service was also assessed through detailed data, such as considering the vertical vegetation structure or 3D surrounding environment information. Therefore, it would be important to know how to quantitatively evaluate ecosystem services provided by urban gardens, and ecosystem services would be an important means of urban garden planning.

Key Words: Allotment Garden, Home Garden, Community Garden, Small Green-Area, Provisioning Service, Regulating Service, Supporting Service

국문초록

도시는 인공구조물과 인위적으로 조성된 녹지가 주를 이루는 만큼, 정원과 같은 소규모 녹지가 제공하는 생태계서비스도 중요하게 여겨지고 있다. 따라서 본 연구에서는 도시정원 생태계 서비스 평가방법의 특징을 알아보고자 하였다. 최근 도시정원의 생태계서비스 평가관련 연구를 Google Scholar와 Web of Science 데이터베이스에서 검색을 진행하였다.

† 본 연구는 “정원의 도시재생 활용을 위한 조성관리 기술개발 연구, KNA 4-1-2, 19-7” 사업의 지원을 받아 수행되었음.
Corresponding author: Mo, Yongwon, Professor, Dept. of Landscape Architecture, Yeungnam University, South Korea, Phone: +82-53-810-2979, E-mail: csmo12@yu.ac.kr

분석결과, 연구대상지는 시민정원, 주택정원, 공동체정원과 같이 다양한 용어 또는 유형에 대해 정원의 생태계서비스가 평가되고 있어, 정량적인 평가결과 해석을 위해 대상지 특성을 분명히 파악할 필요가 있다. 도시정원에서 제공하고 있는 생태계서비스는 다른 녹지와 달리 주로 직접적인 현장조사와 측정을 통해 평가하고 있었으며, 세부적이고 입체적인 공간구성까지 고려하고 있었다. 공급서비스는 작물 식재지에서 통로는 제외한 면적을 이용하고, 조절서비스는 화단(raised bed)까지 고려한 우수유출량 저감효과, 수분작용에 직접적인 역할을 하는 벌의 풍부도와 서식범위를 고려하고, 지원서비스는 식생의 입체적 구조나 3차원 주변 환경정보를 고려한 세부적인 데이터를 통해 생태계서비스 평가가 이루어졌다. 본 연구를 통해 도시정원이 제공하고 있는 생태계서비스를 정량적으로 평가하는 방법에 대해 알 수 있었으며, 추후 도시정원을 조성하는데 생태계서비스가 유용한 수단이 될 수 있다.

주제어: 시민정원, 주택정원, 공동체정원, 소규모 녹지, 공급서비스, 조절서비스, 지원서비스

Ⅰ. 서론

주요 자연환경 정책 수립 시 생태계가 제공하는 다양한 서비스들을 유지 또는 증진하는 방향을 고려하자는 논의들이 국내외에서 매우 활발하게 진행되고 있다(Camps-Calvet et al., 2016; Park et al., 2019; Song and Yoon, 2019). 공간적으로도 하나의 공원녹지에서부터 전체 국토에 이르기까지 다양한 규모에서 생태계가 제공하는 혜택을 산정하기 위한 연구가 진행되어오고 있다(Kwon et al., 2015; Kim et al., 2017). 특히, 도시생태계는 건물, 도로와 같은 인공구조물과 인위적으로 조성된 공원, 소규모 녹지로 이루어진 만큼 생태계가 제공하는 서비스(Ecosystem Service; ES)에 대한 수요가 가장 높다. 따라서 도시생태계에서는 정원과 같은 소규모 녹지의 생태계서비스도 중요하게 여겨지고 있다(Calvet-Mir et al., 2012; Speak et al., 2015; Langemeyer et al., 2019). 도시정원은 녹화측면에서 비교적 작은 공간에도 조성 가능한 형태의 녹지로서 도시와 같이 녹지 면적의 증가가 필요한 지역에서 효과적인 전략이다. 도시 정원은 도시 내에 생물다양성 증진에 기여할 수 있으며(Goddard et al., 2010), 그린인프라로서 도시의 환경문제를 해결하는 데에도 역할을 기대할 수 있다(Cabral et al., 2017). 정원은 주로 주민 주도에 의해 이루어지기 때문에 도시민에게 부족한 공동체 의식 회복, 휴식과 같은 사회적, 심리적 측면에서도 다양한 기대 효과가 인정되고 있다(Lin et al., 2017).

하지만 최근까지 국내 생태계 서비스 관련 연구들은 주로 대규모 공원, 도시규모, 지역규모, 국가규모 등 보다 큰 규모에서의 생태계 서비스평가가 주로 이루어져(Kwon et al., 2015; Kim et al., 2017; Park et al., 2019; Song and Yoon, 2019), 도시정원과 같은 소규모 녹지의 경우에 적합한 생태계서비스 평가방법에 대한 논의가 부족한 실정이다. 제한적으로 Park(2015)의 연구에서 정원의 개념 정립과 생태계서비스 중 문화서비스 기능에 대해서만 다루었다. 일부 연구에서 생태계서비스라는 용어는 사용하지 않았으나, 도시 내 소규모 녹지의 열섬현상 완화 기능(Kim et al., 2011; Park et al., 2016)이나 도시 내 텃밭의 다원적 가치(Lee et al., 2017)에 관한 평가가 이루어졌다.

최근 해외에서는 도시정원에서의 다양한 생태계서비스를 정량적으로 평가하는 연구들이 활발하게 진행되고 있어, 국내에서도 도시정원의 생태계서비스에 관한 연구가 필요한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 다른 녹지공간과 구별되는 도시정원 생태계서비스의 정량적인 평가방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 우선 해외에서 생태계서비스 평가가 이루어진 대상지와 평가재료의 특성을 확인하고, 정원만의 생태계 서비스 평가의 특징과 방법에 대하여 조사 및 분석을 하였다. 본 연구를 통해 도시정원과 같은 소규모녹지가 주는 혜택을 생태계서비스 개념을 이용하여 정량적이고 종합적인 평가의 가능성을 확인할 수 있을 것이다.

Ⅱ. 연구방법

선행 연구 검토는 PRISMA(The Guidelines of Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)에 따라 실시하였다. 다음의 내용을 포함한 연구들을 대상으로 하였다. (1) 도시정원이 주는 생태계서비스를 정량적으로 평가한 연구로 문화서비스를 제외한 공급, 조절, 지원서비스에 대한 내용을 포함한 연구, (2) 2010년 이후 게재되었으며, 연구결과 신뢰도가 높은 연구, (2) 연구방법에 도시정원의 특징이 고려된 연구이다.

구체적인 검색방법은 Google Scholar, Web of Sciene, 학술연구정보서비스(RISS), 한국학술정보(KISS)에서 정원(Garden, Urban Garden, Community Garden, Home Garden, Allotment), 생태계서비스(Ecosystem Service), 도시생태계(Urban Ecosystem), 생태계서비스지불제(Payment for Ecosystem Servcie)를 키워드로 2010년 1월부터~2020년 5월까지 연구된 국내외 논문 및

보고서를 대상으로 분석하였다. 정원에서 제공하는 생태계서비스에 대한 내용은 있으나, 설문조사를 통한 인식도 조사 또는 서비스의 중요도 평가연구(Langemeyer, 2014; Camps-Calvet et al., 2016)로 정량적이지 않은 연구는 대상지 특징 파악에만 활용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 도시정원 생태계서비스 대상지 특징

현재까지 도시정원의 생태계서비스 평가는 주로 영국, 스페인, 독일, 핀란드와 같은 유럽국가에서 실시되고 있었으며, 미국에서도 일부 나타났다(Table 1). 이는 도시정원 문화가 유럽국가와 같은 서양에서 활성화되어 있음을 나타낸다. 일찍이 유럽에서는 시에서 토지를 임대하여 텃밭을 일구는 시민정원(Allotment Garden)이 활성화되었다. 2013년 영국에는 약 245,000개의 시민정원이 있었으며, 약 10만 명이 대기 명단에 있을 정도로 꾸준한 수요를 보인다(Crouch, 1997; Allotment Plots 2013).

한편, 시민정원 외에 다양한 용어로 불리는 도시정원들이 생태계서비스 평가의 대상이 되었다. 주택정원(Home Garden), 공동체정원(Community Garden)이 시민정원과 함께 가장 많은 연구가 수행되었다. 하지만 지역 혹은 연구자에 따라 같은 정원 유형임에도 명칭이 다른 경우가 있어 정원을 가리키는 용어를 이용하는 데에 주의를 기울일 필요가 있었다. 독일의 시민정원법(Federal Allotment Garden Law)에서 시민정원은 약 1/3이상의 면적에서 식용가능 작물을 재배해야 하며, 넓은 수관을 가지는 교목식재를 제한한다는 규정이 있는 반면, 공동체정원에 대해서는 덜 엄격한 규정으로 정의하고 있다고 한다(SLK, 2013; Calbral et al., 2017). Breuste and Artmann (2015)에서는 단순히 개인적이고, 비상업적인 정원활동이 이루어지는 구역을 대상으로 영국에서는 시민정원으로, 미국에서는 공동체정원으로 부르는 것으로 정의하는 것으로 정리하였다. Langemeyer(2014)에서는 관리주체에 따라 도시정원을 구분하기도 하였다.

주택정원에 대해서는 에콰도르를 대상으로 한 Caballero-

Table 1. Characteristics of study sites in the assessment of ES in urban gardens

References	Garden	Area (m^2)	Region	Main ES
Calvet-Mir et al. (2012)	Home garden	147.25	Vall Fosca, Spain	Food supply, biodiversity, household activities
Dennis and James (2017)	Community garden	500~1,500	Manchster, UK	Multi-use agriculture, horticulture, social amenities
	Community allotments	600~1,000		Agriculture
	Community orchards	1,000~2,000		Cultivation fruits
	Pocket parks	<300		Greening
Hepcan and Hepcan (2018)	Rectorship garden	72,000	Izmir, Turkey	Tree, building, lawn, pavement, soil, water
Gittleman et al. (2017)	Community garden	-	New York, USA	Rainwater harvesting, food supply
Speak et al. (2015)	Allotment garden	107~305	Manchester, UK	Food supply
		305~560	Poznan, Poland	
Breuste and Artmann (2015)	Allotment garden	11,473~54,000	Salzburg, Austria	Food supply
Caballero-Serrano et al. (2016)	Home garden	370~915	Sangay, Equador	Food supply, fuel, medicine, ornamentation, fencing, shade
Calbral et al.(2017)	Allotment garden	40,000	Leipzig, Germany	Shrubs, grassland, small trees, built-up
	Community garden	7,000		
Langemeyer (2014)	Urban garden	1,777	Barcelona, Spain	Integrated services
Kuittinen et al. (2016)	Residential area	2,924	Espoo, Finland	Building, wood, grass, shrub, trees, paving

Serrano et al.(2016)에서 주거지역에 밀접한 소규모 공간에 농림업을 실시하여 자급자족하는 정원으로 정의하였다. 스페인에서도 주택정원은 전통적으로 가정의 식량공급에 주요한 보완수단이었으며, 주로 초본식물로 이루어진 공간이다(Calvet-Mir et al., 2012).

생태계 서비스가 평가된 도시정원 대상지의 공간적 규모를 보면 약 100m^{2}부터 54,000m^2(5.4ha)까지 매우 다양한 것으로 나타났다. 하지만 공원에 비하면 주로 1ha 이하의 대상지로 소규모 녹지이자 텃밭을 대상으로 함을 알 수 있다. 넓은 대상지의 경우에도 시민정원으로 많은 시민들이 함께 농작물을 재배하는 공간으로 개별정원의 규모는 작다고 할 수 있다(Breuste and Artmann, 2015).

2. 도시정원 생태계서비스 평가 재료의 특성

도시정원의 환경서비스를 평가할 때, 정원보다 큰 규모인 공원과 지역/도시 규모에서 사용되는 데이터의 종류가 다르게 나타났다(Fig. 1). 지역/도시규모에서는 지자체별로 산정되는 통계값을 정량적인 서비스의 양으로 평가하거나 측정값을 이용하더라도 대푯값을 계산하는 경우가 많았다(Kwon et al., 2015). 통계값을 이용하지 못하는 경우에는 토지피복면적과 일정 계수를 곱하여 구하고 있었다(Song and Yoon, 2019).

공원의 경우에는 지역/도시규모에 비해서 비교적 현장에서 측정된 값들이 많이 이용되었으나, 전체 대상지를 모두 평가하기 위해서는 토지피복면적을 이용하는 것으로 나타났다(Kim et al., 2017).

도시정원의 경우에는 가장 작은 규모를 가지고 있어 대부분 현장조사에서 도출되는 데이터를 이용하여 평가하고 있었다. 작물생산 서비스와 같이 정원에서 생산량을 기록하는 경우에는 연간 총 생산량자료를 사용하거나(Dennis and James, 2017), 그 외 대기오염, 토질, 생물다양성, 수분작용은 현장에서 조사한 결과를 토대로 평가하고 있었다(Dewaelheyns et al., 2013; Kuittinen et al., 2016). 우수유출량과 같이 토지피복상태에 따른 모의계산이 필요한 경우(Gittleman et al., 2017)를 제외하고는 대부분 현장조사결과를 이용하고 있다. 또한, 도시정원의 경우 대상지 내 토지피복이나 식생의 이질성과 입체적인 구조를 포함해서 평가한다는 점에서 차이가 났다. 즉, 큰 산림이나 대규모 공원의 경우에는 피복의 세세한 이질성이 전체 서비스양에 큰 영향을 주지 않으나, 정원에서는 서비스의 총량을 변화시킬 수 있어, 평가 시 반드시 입체적인 식생구조 조사가 필요하다(Tsilini et al., 2015; Hepcan and Hepcan, 2018).

3. 도시정원 생태계서비스 평가항목

도시정원에서 제공되고 있다고 평가되어온 생태계서비스들은 Fig. 2와 같다. 공급서비스(Provisioning Services)에는 작물생산(Food Supply), 조절서비스(Regulating Services)에는 수분작용(Pollination), 이산화탄소 저장(Carbon Storage), 홍수조절(Flood Control), 열섬현상완화(Mitigating Heat Island), 토질유지(Soil Quality), 생물학적 조절(Biological Control), 지원서비스(Supporting Services)에는 생물다양성(Biodiversity)과 영양순환(Nutrient Cycling), 문화서비스(Cultural Services)에는 육체적 활동(Physical Recreation), 교육 및 사회활동(Education and Social Interaction), 휴식(Relax), 미적감상(Aesthetic Values)이 있었다. 이 중 수분작용, 토질유지, 생물학적 조절, 미적감상과 같은 분류는 두 가지 서비스와 모두 밀접한 연관성을 가지고 있어 평가 시 두 서비스 모두에 대한 고려가 필요하다.

4. 생태계서비스 평가방법

1) 공급서비스

도시정원이 제공하는 작물생산의 가장 정확한 지표는 정원

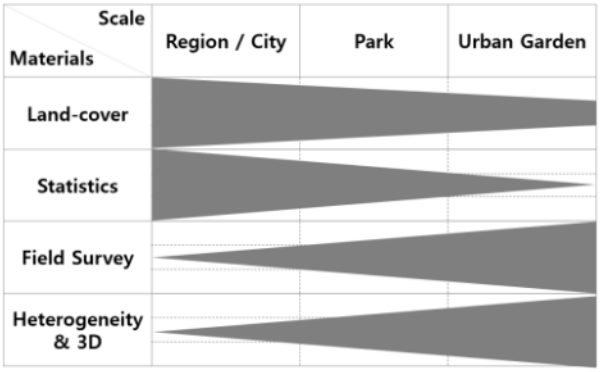

Fig. 1. ES assessment materials by spatial scale of study site.

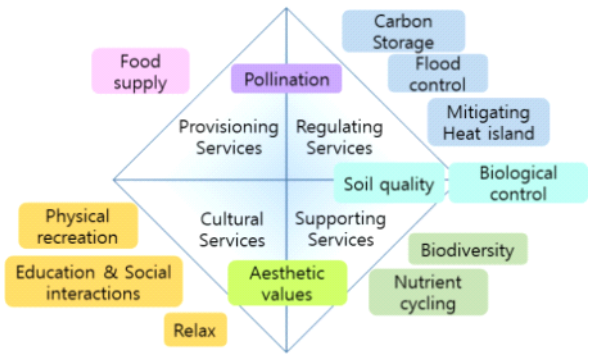

Fig. 2. The classes of ES in the urban garden.

에서 생산되는 채소, 과일의 수확량이다. 정원에서 생산되는 수확량을 직접 조사하거나, 행정부서에 신고하도록 하여 데이터를 구축하는 방법이 있다. Dennis and James(2017)에서는 각 정원에서 생산되는 채소, 과일의 수확량을 조사하였고, 평균 6.93kg/m^2으로 나타났다. 하지만 정원에서 생산되는 수확량이 기록되는 방법, 기준, 단위가 모두 달라서 조사를 통해 데이터를 구축하는 것이 쉽지 않다. 따라서 지자체에서 조사되고 있는 정원의 수확량이 있다면 이를 활용하는 것이 효율적일 수 있다. 영국의 경우, 과수원에서 연간 생산되는 과일의 양이 약 1.45kg/m^2로 나타나 이를 대체지수로 활용하였다.

시민정원과 주택정원의 경우, 도시민의 식료품 제공이 주요한 기능으로 판단되기 때문에, 도시정원에서 재배되는 작물이 도시민의 식료품 수요를 충족시킬 수 있을지가 중요한 평가요인이 될 수 있다. 하지만 이에 대해서는 연구마다 상반되는 결과들이 나타났다. Ratta and Nasr(1996)는 탄자니아의 Dar es Salaam에서는 도시정원에서 연간 10만톤의 신선한 식재료를 제공할 수 있다고 하였으며, Peck(2003)은 캐나다 토론토에서 65만m^2의 옥상정원에서 농업을 할 경우, 연간 470만kg의 식재료를 생산할 수 있어 도시민의 식료품 수요 충족에 중요한 역할을 할 것으로 보았다. 하지만 Aerts et al.(2016)에 따르면 유럽인들의 음식발자국(foodprint)을 83,000ha일 때, 도시 내 모든 공지에서 농사를 한다고 해도, 해결할 수 있는 양은 약 3% 밖에는 안 되는 것으로 나타났다. 이처럼 도시정원에서 생산되는 작물 생산량에 대해서는 연구자 또는 지역마다 차이는 있으나, 도시정원에서의 작물 생산은 비록 작은 규모라도 정원에서 농사를 짓는 도시민에게 신선하고 비상업적인 농산물을 제공해주고, 작물의 유전자원을 보전하는데 의미가 있다고 볼 수 있다.

도시정원에서 수확할 수 있는 농작물의 종류에 따라서 잠재적인 농업생산량을 산정할 수도 있다. 이 때, 작물별로 수확에 걸리는 기간과 다른 재배방법을 고려할 필요가 있다. 따라서 계절별로 재배가 되는 작물과 어떠한 방법으로 재배가 되고 있는지를 함께 조사할 필요가 있다(Orsini et al., 2014; Fig. 3). 또한, 정원 내 다양한 작물생산 방식이 있을 수 있기 때문에 보다 구체적인 생태계 서비스 평가방법이 필요하다. 만약 면적으로 서비스량을 산출하고자 한다면, 식재지와 통로를 구별하여 통로를 제외한 면적을 산출해야 한다. 여러 작물을 한 곳에 키울 경우에는 각 작물이 차지하는 면적 비율로 계산할 수 있다. 화분에 식재된 작물의 경우에는 화분의 면적을 생산면적으로 계산할 수 있다. 과수는 수확량 산정이 어려울 경우 수관의 직경으로 대체 가능하다. 포도와 같은 덩굴류는 교목인 과수와 유사하게 가지가 뻗어있는 수평 또는 수직에 차지하고 있는 면적을 구하여 합하는 방법이 있다(Taylor et al., 2017).

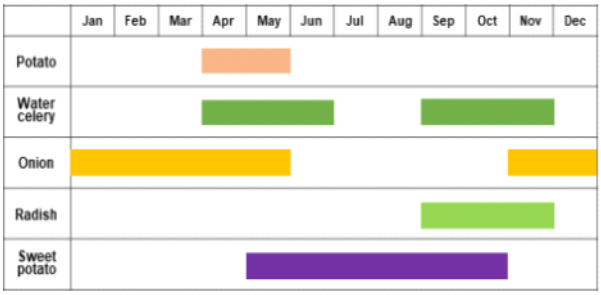

Fig. 3. Crops grown in each season in urban garden (referred to Rural Development Administration (2020)).

2) 조절서비스

(1) 대기조절

도시에서 집약적으로 관리된 도시정원은 식생의 성장을 통해 탄소 축적과 토양 탄소가 증가할 수 있다. 수목에 의한 탄소 저장량은 주로 상대생장식을 이용하여 산출되었다. 다양한 수목을 건조 및 탄화시켜 저장된 탄소량을 도출하고, 회귀식을 통해 흉고직경과 수고를 이용하여 탄소량을 산출할 수 있는 식을 도출하는 방법이다. Hepcan and Hepcan(2018)에서는 정원에 식재된 1,203그루의 나무들에 연간 7.87t의 탄소가 저장되는 것으로 나타났다. 국내에서는 Son et al.(2014)이 주요 조경수목에 대해서 상대생장식을 개발하여 정원에 식재된 수목에 대해서도 탄소저장량을 산출할 수 있도록 하였다.

하지만 정원은 높은 수준의 관리가 수반되는 녹지로서 관수와 비료의 이용으로 인해 아산화질소 방출 증가와 메탄의 흡수가 감소되는 현상이 나타날 수 있어 대기조절 서비스 산출에 고려해야 하는 요소가 추가될 수 있다. Livesley et al.(2010)에서는 잔디밭과 우드칩으로 멀칭이 된 정원에서 토양과 대기 간의 아산화질소, 메탄, 이산화탄소의 가스 교환되는 정도를 확인하였다. 비료를 사용했을 때와 관수를 했을 때, 이산화질소 배출량이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 멀칭 아래에서는 관수된 잔디밭에 비해 매우 낮은 정도의 아산화질소 배출이 나타났으나, 메탄 흡수량은 다양한 관리법으로 관리된 잔디밭에 비해서도 더 높은 값을 나타내었다. 즉, 집약적인 관리가 이루어진다고 할 때, 잔디밭보다 우드칩 멀칭이 아산화질소 배출, 메탄 흡수 측면에서 대기조절효과가 더 큼을 알 수 있다. 또한 잔디밭에 관수와 비료의 이용을 줄임으로써 온실가스 저감에 효과적임을 알 수 있다. 비료는 온실가스뿐만 아니라, 비점오염원으로서도 영향을 줄 수 있다.

도시정원은 소규모 녹지공간으로서 대기조절 서비스 산출에 있어 입체적인 식생구조를 고려할 필요가 있다. 기존에 대기조절 서비스는 주로 식생피복 면적이나 면적비율로 서비스를 산출하였으나(Calbral et al., 2017), 이와 더불어서 식생의 수직구조인 관목, 교목과 같은 층위별 녹화면적, 벽면녹화 면적도 함께 고려해야 한다. 입체적 식생구조에서 보이는 침투성과 잠재증발산량에 따른 가중치를 주는 방법도 유효하다(Dennys and James, 2017).

(2) 열섬현상 완화

도시 내 녹지와 열섬현상의 관계는 많은 연구자들에 의해 조사되고 있으며, 기후변화가 폭염의 발생가능성을 증가시키고 있다는 것도 밝혀지고 있다(Tsilini et al., 2015). 녹지의 열섬현상 완화 연구들은 시뮬레이션을 통해 녹지면적이 증가하면 대기온도나 지표면 온도를 저감할 수 있음을 확인하거나(Gill et al., 2007), 실제 이동형 미기후 측정장비를 통해 확인하고 있다(Park et al., 2017a).

도시 내 교목은 그늘이나 증발산을 통해서 기온저감 효과를 제공할 수 있는 가장 주요한 요소이다. Davies et al.(2009)에 따르면, 정원의 약 25%가 교목이 식재되지 않은 녹지로 조성된 점을 감안할 때, 교목에 의한 효과가 정원에서 어느 정도 기여할 수 있는지는 불분명한 상태이다. Akbari et al.(1992)은 정원이 열섬 완화효과에 25% 정도 기여할 수 있다고 하였으나, 이 효과도 교목의 수고, 종류, 성숙도, 주변 건물의 형태에 따라서 다양할 수 있다. 도시 정원과 같은 소규모 녹지의 경우에도 도시 내 기온을 저감하는 효과가 있다는 연구도 있다(Park et al., 2017a).

도시정원과 같은 녹지가 열섬현상을 완화시키는 원리는 순복사열 저감, 잠열 증가로 볼 수 있다. 순복사열 저감은 포장면에 비해 높은 녹지의 알베도와 교목의 수관에 의해 차단되는 태양 직사광선을 통해 일어날 수 있다. 식물의 잎에서 발생하는 증발산으로 인해 현열이 감소하게 되어 상대적으로 잠열은 증가되면서 온도가 낮아지는 효과를 가지게 된다(Park et al., 2017b). 따라서 정원의 열섬현상 완화효과는 순복사계를 이용한 복사열 측정(Kwon et al., 2019), 부력식 증발팬을 통한 증발산량 측정으로 도출할 수 있다(Park et al., 2017b).

(3) 홍수 조절

도시정원의 식생, 특히 교목은 강우를 중간에 차단하여 일시적으로 잎, 가지가 있는 수관에 머물게 함으로써 하천의 최고수위를 낮추는 효과를 주며, 도시 내 배수구의 용량을 초과하지 않도록 도와줄 수 있다. 또한 식생이 있는 주변토양에서 우수가 침투함으로써 홍수위험을 저감하는 효과도 있다. 정원이 있는 저밀도 주거지역이 고밀도 주거지역에 비해 우수유출량이 3분의 1 수준으로 감소한 사례도 있다(Pauleit and Duhme, 2000).

정원의 우수유출량 저감 효과를 확인하기 위해서 주로 SCS-CN 방법이 많이 이용되고 있다(Hepcan and Hepcan, 2018). SCS-CN 방법은 토지피복마다 다른 유출계수를 이용하여, 강우량에 따른 유출량을 계산하는 방법으로 USDA(1986)에서 정한 토지피복별 CN값을 차용하고 있는 실정이다. 이 방법을 통해 도출한 정원의 잠재적인 우수유출량 저감량은 7.4ha 면적의 대상지에서 약 7,018.9m^3으로 나타났다. 이는 정원이 우수유출 저류에 대한 높은 효용가치가 있음을 보여준다. Pauleit and Duhme(2000)은 도시 내 공원과 기타 도시녹지와 정원의 빗물 침투율은 연간강우량의 약 30% 정도로 나타난다고 밝혔다.

우수유출량 저감 효과 측정에서 도시정원이 다른 녹지와 구별될 수 있는 점은 작물생산을 위해 설치하는 raised bed로 인한 효과이다(Gittleman et al., 2016). 정원에서 작물재배 시 관리를 위해 플랜터와 유사한 형태를 구성하는데, 이 방법이 토양층이 지면에 바로 식재하는 방법에 비해 토양 내 물을 저장할 수 있는 양을 증가시키기 때문이다. 따라서 정원의 우수유출량 저감효과 측정 시 보다 입체적인 공간구조, 식재구조를 고려할 필요가 있다.

(4) 토질 조절

토질은 공급서비스의 작물생산과도 매우 긴밀한 관련이 있는 요소이며, 도시계획가나 정원사들은 항상 토양환경 악화(Schwarz et al., 2016), 토양 내 수분저장능력 강화(Surls et al., 2014)와 함께 토질정화 능력 증진이라는 과제를 항상 고려하고 있다. 토질은 영양순환, 분해, 물순환과 같은 생태적, 수문학적 순환 과정을 유지할 수 있는 능력과 직결되어 있기 때문이다(Egerer et al., 2018).

토질유지 기능을 평가하기 위해서는 다양한 토양의 특성이 조사 대상이 될 수 있다(Egerer et al., 2018). 토양의 특성에는 토양 내 유기물(Soil Organic Matter; SOM), 토양부피밀도(Bulk Density; BD), 토양양분함량(Soil Nutrient Content; C:N Ratio), 토양용수량(Water Holding Capacity; WHC), 토지피복표면 상태가 있다. 이와 같은 토양 특성 측정은 주로 정원의 중심에 20m×20m 방형구를 만들고, 방형구내 1m 격자의 표본 방형구를 8곳 정해 토양의 특성들을 측정한다. 보다 구체적으로 SOM은 토양을 500℃에서 4시간 동안 말려 유기물의 비율을 계산하고, BD는 토양샘플을 채취하는 금속 실린더를 이용하여 토양을 채취하고, 105℃에서 24시간 말려서 최종 무게

를 재서 구한다. BD는 토양의 구조와 기능을 보여주는 변수로 이용될 수 있다(Edmondson et al., 2014). C:N Ratio를 측정하기 위하여 15~20cm 깊이로 땅을 채취한 후, 2mm 채에 거른 후 24시간동안 건조시킨 다음 탄소(C)와 질소(N)의 양을 도출한다. WHC는 토양에 접촉하여 지하수로 흘러가지 않는 물의 양만을 도출해 낸다(Wilke, 2005). 토지피복 표면 상태는 표본방형구 내에 있는 나지, 초지, 돌, 낙엽, 멀칭의 면적 비율을 도출할 수 있다.

(5) 수분작용

곤충, 조류 등에 의한 수분작용은 생태계에서 제공하는 중요한 서비스 중 하나이다. 지속적인 식재료 공급을 위해서도, 재배작물 또는 관상식물 등의 유전적 다양성을 유지하기 위해서 중요한 역할을 한다. 하지만 최근 수분작용의 매개체가 되는 곤충, 특히 벌의 개체수가 줄어듦을 경고하는 연구들이 진행되었고, 도시정원에서 수분작용 서비스를 평가하는 연구들이 진행되었다.

MA(2003)에서는 조절서비스 중 수분작용에 대해 수분종(꽃가루 매개자)의 양과 곤충의 종수로 대체할 수 있다고 하였다. 최근까지 수분작용 서비스를 연구한 논문들에서는 농업 생산량(41%), 수분종 풍부도/다양도(31%), 꽃가루 이동(21%), 수분종 관찰(13%)로 정의하는 것으로 나타났다(Liss et al., 2013).

도시정원에서 포획되는 벌 개체의 크기(앞날개 사이 거리)에 따라서 서식범위가 다름을 반영하여(Greenleaf et al., 2007) 정원의 수분작용 서비스를 정량적으로 평가할 수도 있다. 벌의 서식범위는 다음의 공식을 이용하여 도출할 수 있다.

$$Y = \log a + b \log \qquad (1)$$

여기서 Y는 벌의 서식범위(km), IT는 벌의 앞날개 사이 간격(mm), a와 b는 상수로 log a=−1.643이고, b=3.242이다(Greenleaf et al., 2007). 따라서 정원에서 포획된 벌의 최소크기와 최대크기를 이용하여 영향범위를 다르게 설정하고, 이를 통해 도시정원 주변에 작물이 재배되고 있는지 확인을 통해, 이 도시정원의 수분작용 서비스를 평가할 수 있다(Langellotto et al., 2018). 또한 현재 우리나라의 밀원식물은 약 550여 종으로 알려져 있는데, 도시정원의 수분작용 서비스를 평가하기 위해서 정원 내 식재된 밀원식물의 풍부도, 다양도를 이용할 수도 있다.

3) 지원서비스

(1) 서식지 제공 및 생물다양성

정원문화가 이전부터 발달한 서양에서는 정원에 대한 개념이 주로 외래종을 식재하고, 집약적인 관리가 이루어진다는 고정관점이 있었다(Elton, 1966). 하지만 정원과 관련한 연구들이 진행되면서 도시정원이 생물다양성 측면에서 차지하는 중요성이 작지 않음을 확인하고 있다. Gregory and Baillie(1998)에 연구에 따르면 조방적 관리의 농지에 서식하는 종이 개체수가 줄어왔는데, 현재 오히려 도시지역에서 높은 종풍부도를 나타내고 있다고 한다.

정원이 생물다양성이 높은 반자연 서식처를 대체할 수는 없으나, 그럼에도 불구하고 자연지역과 관계를 이루며 도시민들에게 유용한 보완재로서는 역할을 할 수 있을 것이다(Cameron et al., 2012). 특히, 곤충과 관련해서 도시정원에서 학계에 등록되지 못한 새로운 종들이 발견되기도 하였다. 영국의 BUGS 프로젝트에 의하면 Sheffield 지역에 61개의 도시정원을 조사한 결과, 중요한 자연보호지역으로서 역할을 하고 있다고 한다.

이처럼 정원의 생물종 다양성은 각 분류군별로 차이를 보일 수 있다. 따라서 도시정원의 생물다양성은 분류군별로 나누어서 도출해보는 것이 정원이 제공하는 생물다양성의 기능을 정확히 판단할 수 있을 것으로 보인다.

도시정원에서 제공하는 생물다양성 서비스를 정량적으로 산출하기 위한 방법으로 구조적이고 생물학적인 다양성에 초점을 두고, 대상 정원의 전체 면적 중 최소 10%의 면적에 해당하는 표본지점을 선정하여 원을 그리고 식생의 다양성을 계산하는 방법도 있고(Tzoulas and James, 2010), 정원 내 서식지 제공 서비스를 평가하기 위하여 식용식물 경작지 면적, 관상식물 식재 면적, 잔디밭, 과수와 같은 식생면적을 구분하고, 그 외 도로, 건물, 연못 등의 면적을 세세하게 구분하여 산출하는 방법이 있다(Cabral et al., 2017). 생물다양성 서비스를 평가하기 위해서는 각 정원별로 표본지점을 120~400m^2의 크기로 구획하여 식생종을 조사한다. 이 때, 모든 종은 자생종인지 외래종인지 구분하여 기록하는 것도 필요하다.

정원의 서식지 제공 및 생물다양성 서비스를 평가하기 위해서는 대규모 녹지와 달리 2차원적인 식재면적뿐만 아니라, 입체적인 공간, 식재구조를 함께 확인할 필요가 있다. 정원과 정원주변에 식재된 모든 초본, 관목, 교목과 건물의 높이, 수공간의 형태를 함께 조사해야 한다(Tzoulas and James, 2010).

(2) 영양순환

지원서비스 중 토양에 있는 미생물의 활동을 평가하기 위하여 '영양 순환'이 대체지수로 이용될 수 있다. 도시정원의 영양순환 서비스를 평가하기 위해서는 식용식물, 관상식물, 잔디밭과 같은 대표적인 식재지역에서 표본지점을 선정하고, 표본지점에서 토양호흡 측정기를 이용하여 토양 내 미생물의 활동의

정도를 하거나, 또는 토양을 일부 절취해와 미생물의 활동을 평가할 수 있다. 미생물의 활동은 토양의 pH와 호흡량을 측정함으로써 평가할 수 있다(Cabral et al., 2017).

토양 내 미생물 호흡은 조절서비스의 대기조절(이산화탄소 감소)과도 밀접한 관련이 있다. 생태계의 탄소수지는 생산자, 소비자, 토양에서 일어나는 탄소배출, 흡수/저장과 관련이 깊기 때문이다. 토양호흡을 측정하는 방법은 크게 밀폐상법, 통기며, 최근에는 자동토양호흡 측정기기, 휴대용 측정 장치도 개발되어 사용되고 있다(Lee et al., 2010).

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 도시정원이 제공하고 있는 다양한 생태계서비스를 확인하기 위한 검토로서 정원을 대상으로 생태계서비스 평가방법을 조사 및 분석하였다. 현재 국내 정원을 대상으로 정량적인 평가 사례가 없기 때문에, 다양한 해외 연구에서 평가된 도시정원의 생태계서비스 평가방법을 제안했다는 점에서 의의가 있다. 그리고 본 연구를 통해 몇 가지 의미 있는 시사점을 도출할 수 있었다.

도시정원의 생태계 서비스를 평가하고자 할 때, 해외에서 정원을 가리키는 용어에 대한 이해가 필요하다. 시민정원, 주택정원, 공동체정원과 같은 다양한 용어 또는 유형에 대해 정원의 생태계서비스가 평가되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 해외의 생태계서비스 평가방법론을 적용하기 위해서는 선행연구에서 다뤄진 정원의 조성목적, 주변 환경에 대한 이해가 필요하다.

정원에서 제공되고 있다고 평가되고 있는 생태계서비스 분류는 공원이나 다른 생태계와 크게 다르지 않았다. 하지만 다른 녹지와 달리 정원은 소규모로 조성되는 경우가 많아 생태계서비스 측정 시 직접적인 현장조사와 측정을 통해 평가할 필요가 있다. 작물생산은 통로를 제외한 식재지 면적을 산출하거나, 과수의 가지가 뻗어있는 수직, 수평면적을 산출해야 하며, 대기조절은 관수나 비료사용으로 이산화탄소 흡수가 아닌 온실가스 배출이 일어날 수 있으므로 온실가스의 발생량 측정이 필요하다. 열섬현상 완화는 단순히 기온뿐만 아니라, 기온 저감의 기작인 순복사열, 증발산량을 함께 산출할 필요가 있다. 영양순환은 토양의 pH와 호흡을 직접 측정하는 방법이 요구된다.

조사 및 분석을 통해 정원에서 제공되고 있는 생태계서비스 평가방법을 파악할 수 있었다. 도시정원은 도시민 삶의 질과 깊은 연관성이 있으므로 생태계서비스에 대한 정량적인 평가는 향후 정원조성 확대에 기여할 수 있을 것이다. 목표로 하는 생태계서비스의 항목과 수준을 정립하여 보다 과학적 근거에 기반을 둔 정원조성이 가능하기 때문이다. 즉, 각 서비스별 정량적인 서비스량을 확대시키는 방향으로 조성계획을 수립할 수 있다.

그럼에도 불구하고, 본 연구에서는 개별 생태계 서비스에 대한 평가방법만을 대상으로 했기 때문에 서비스 간에 발생할 수 있는 승수효과(Synergy)나 균형효과(Trade-off)에 대해서는 고려하지 못하였다. 최근 서로 다른 생태계서비스간의 관계에 대해 최근 활발하게 연구가 진행되고 있다(Deng and Gibson, 2016). 따라서 본 연구에서 더 나아가 정원이 제공하는 생태계서비스간의 상호관계에 대한 선행연구 분석이 필요하다.

References

1. Camps-Calvet, M., Langemeyer, J., Calvet-Mir, L. and Gómez-Baggethun, E. (2016) Ecosystem services provided by urban gardens in Barcelona, Spain: Insights for policy and planning. Environmental Science and Policy 62: 14-23.
2. Park, J.-H., Kim, S.-Y. and Heo, H.-K. (2019) Evaluation of the economic value of potential ecosystem services of unexecuted urban planning facilities: Focused on urban green spaces and urban forests in Seoul. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 47(4): 24-32.
3. Song, I.-J. and Yoon, C.-R. (2019) Establishment and utilization of ecosystem service assessment in Seoul. The Seoul Institute 60: 169.
4. Kwon, H., Choi, A. S., Lee, Y., Oh, W., Lee, T., Shin, J., … and Choe, J. (2015) Methodological development of the ecosystem services assessment and valuation. National Institute of Ecology 10: 276.
5. Kim, E., Kim, J., Jung, H. and Song, W. (2017) Development and feasibility of indicators for ecosystem service evaluation of urban park. Journal of Environmental Impact Assessment 26(4): 227-241.
6. Calvet-Mir, L., Gómez-Baggethun, E. and Reyes-García, V. (2012) Beyond food production: Ecosystem services provided by home gardens. A case study in Vall Fosca, Catalan Pyrenees, Northeastern Spain. Ecological Economics 74: 153-160.
7. Speak, A. F., Mizgajski, A. and Borysiak, J. (2015) Allotment gardens and parks: Provision of ecosystem services with an emphasis on biodiversity. Urban Forestry and Urban Greening 14(4): 772-781.
8. Langemeyer, J., Latkowska, M. J., Gómez-Baggethun, E. N., Voigt, A., Calvet-Mir, L., Pourias, J., … and Baležentienė, L. (2019) Ecosystem services from urban gardens. In Urban Allotment Gardens in Europe. pp. 115-141.
9. Goddard, M. A., Dougill, A. J. and Benton, T. G. (2010) Scaling up from gardens: Biodiversity conservation in urban environments. Trends in Ecology and Evolution 25(2): 90-98.
10. Cabral, I., Keim, J., Engelmann, R., Kraemer, R., Siebert, J. and Bonn, A. (2017) Ecosystem services of allotment and community gardens: A Leipzig, Germany case study. Urban Forestry and Urban Greening 23: 44-53.
11. Lin, B. B., Gaston, K. J., Fuller, R. A., Wu, D., Bush, R. and Shanahan, D. F. (2017) How green is your garden?: Urban form and socio-demographic factors influence yard vegetation, visitation, and ecosystem service benefits. Landscape and Urban Planning 157: 239-246.
12. Park, M. (2015) A study on the functions of gardens as the ecosystem cultural services. Journal of the Korean Institute of Garden Design 1(2): 115-123.
13. Kim, H.-J., Jung, S.-G. and Lee, W.-S. (2011) Evaluation of supply

adequacy of the urban park by spatial imbalance analysis. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 39:18-27.
14. Park, J. H., Lee, H. J. and Jeong, S. G. (2016) Research trend and policy evaluation of urban tree canopy and its effect on ecosystem services. Journal of Korean Society for People Plants and Environment 19(3): 175-189.
15. Lee, W. (2017) A Study on Evaluating the Diverse Value of Urban Agriculture and its Activation Plan. Seoul National University.
16. Langemeyer, J. (2014) The Generation of Ecosystem Services in Urban Gardens from a Socio-Ecological Systems Perspective. Barcelona.
17. Caballero-Serrano, V., Onaindia, M., Alday, J. G., Caballero, D., Carrasco, J. C., McLaren, B. and Amigo, J. (2016) Plant diversity and ecosystem services in Amazonian homegardens of Ecuador. Agriculture, Ecosystems and Environment 225: 116-125.
18. Breuste, J. H. and Artmann, M. (2015) Allotment gardens contribute to urban ecosystem service: Case study Salzburg, Austria. Journal of Urban Planning and Development 141(3): 1-10.
19. Carrasco, J. C., McLaren, B. and Amigo, J. (2016) Plant diversity and ecosystem services in Amazonian homegardens of Ecuador. Agriculture, Ecosystems and Environment 225: 116-125.
20. Dennis, M. and James, P. (2017) Ecosystem services of collectively managed urban gardens: Exploring factors affecting synergies and trade-offs at the site level. Ecosystem Services 26: 17-26.
21. Dewaelheyns, V., Elsen, A., Vandendriessche, H. and Gulinck, H. (2013) Garden management and soil fertility in Flemish domestic gardens. Landscape and Urban Planning 116: 25-35.
22. Gittleman, M., Farmer, C. J. Q., Kremer, P. and McPhearson, T. (2017) Estimating stormwater runoff for community gardens in New York City. Urban Ecosystems 20(1): 129-139.
23. Tsilini, V., Papantoniou, S., Kolokotsa, D. D. and Maria, E. A. (2015) Urban gardens as a solution to energy poverty and urban heat island. Sustainable Cities and Society 14(1): 323-333.
24 Coskun Hepcan, C. and Hepcan, S. (2018) Assessing regulating ecosystem services provided by the Ege University Rectorship Garden. Urban Forestry and Urban Greening 34: 10-16.
25. Kuittinen, M., Moinel, C. and Adalgeirsdottir, K. (2016) Carbon sequestration through urban ecosystem services: A case study from Finland. Science of the Total Environment 563-564: 623-632.
26. Ratta, A. and Nasr, J. (1996) Urban agriculture and the African urban food supply system. Geography 11(2-3): 154-161.
27. Yi-Zhang, C. and Zhangen, Z. (2000) Shanghai: Trends towards specialised and capital intensive urban agriculture. In N. Bakker, M. Dubbeling, S. Guendel, U. Sabel Koschella and H. de Zeeuw, eds., Growing Cities, Growing Food, Urban Agriculture on the Policy Agenda. Feldafing: DSE. pp. 467-475.
28. Peck, S. (2003) Towards an integrated green roof infrastructure evalua-tion for Toronto. The Green Roof Infrastructure Monitor 5: 4-7.
29. Aerts. R., Dewaelheyns, V. and Achten W. M. J. (2016) Potential ecosystem services of urban agriculture: A review. PeerJ.
30. Orsini, F., Gasperi, D., Marchetti, L., Piovene, C., Draghetti, S., Ramazzotti, S., … and Gianquinto, G. (2014) Exploring the production capacity of rooftop gardens (RTGs) in urban agriculture: The potential impact on food and nutrition security, biodiversity and other ecosystem services in the city of Bologna. Food Security 6(6): 781-792.
31. Taylor, J. R., Lovell, S. T., Wortman, S. E. and Chan, M. (2017) Ecosystem services and tradeoffs in the home food gardens of African American, Chinese-origin and Mexican-origin households in Chicago, IL. Renewable Agriculture and Food Systems 32(1): 69-86.
32. Rural Development Administration (2020) Calendar for Garden Crops (accessed in Mar. 7th, 2020).
33. Son, Y. M., Lee, K. H., Park, Y. K., Kim, R. H. and Kwon, S. D. (2014) Carbon Emission Factors and Biomass Allometric Equations by Species in Korea, Korea Forest Research Institute.
34. Livesley, S. J., Dougherty, B. J., Smith, A. J., Navaud, D., Wylie, L. J. and Arndt, S. K. (2010) Soil-atmosphere exchange of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in urban garden systems: Impact of irrigation, fertiliser and mulch. Urban Ecosystems 13(3): 273-293.
35. Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R. and Pauleit, S. (2007) Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. Built Environment 33(1): 115-133.
36. Park, J., Kim, J. H., Lee, D. K., Park, C. Y. and Jeong, S. G. (2017a) The influence of small green space type and structure at the street level on urban heat island mitigation. Urban Forestry and Urban Greening 21: 203-212.
37. Davies, Z. G., Fuller, R. A., Loram, A., Irvine, K. N., Sims, V. and Gaston, K. J. (2009) A national scale inventory of resource provision for biodiversity within domestic gardens. Biological Conservation 142(4): 761-771.
38. Akbari, H., and Taha, H. (1992) The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. Energy 17(2): 141-149.
39. Park, C. Y., Lee, D. K., Kwon, E. and Her, M. (2017b) Green-infra strategies for mitigating urban heat island. J Korean Env Res Tech 20(5): 69-83.
40. Kwon, Y. J., Lee, D. K. and Lee, K. (2019) Determining favourable and unfavourable thermal areas in Seoul using *in-situ* measurements: A preliminary step towards developing a smart city. Energies 12(12).
41. Pauleit, S. and Duhme, F. (2000) Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. Landscape and Urban Planning 52(1): 1-20.
42. USDA. (1986) Urban Hydrology for Small Watersheds. In USDA.
43. Schwarz, K., Cutts, B. B., London, J. K. and Cadenasso, M. L. (2016) Growing gardens in Shrinking cities: A solution to the soil lead problem? Sustainability 8(2): 1-11.
44. Surls, R., Borel, V. and Biscaro, A. (2016) Soils in Urban Agriculture: Testing, Remediation, and Best Management Practices. Soils in Urban Agriculture: Testing, Remediation, and Best Management Practices, 14. https://doi.org/10.3733/ucanr.8552
45. Egerer, M. H., Philpott, S. M., Liere, H., Jha, S., Bichier, P. and Lin, B. B. (2018) People or place? Neighborhood opportunity influences community garden soil properties and soil-based ecosystem services. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management 14(1): 32-44.
46. Edmondson, J. L., Davies, Z. G., Gaston, K. J. and Leake, J. R. (2014) Urban cultivation in allotments maintains soil qualities adversely affected by conventional agriculture. Journal of Applied Ecology 51(4): 880-889.
47. Wilke, B. M. (2005) Determination of chemical and physical soil properties. In Monitoring and Assessing Soil Bioremediation. Soil Biology, Vol 5. Berlin, Heidelberg: Springer.
48. MA (Millenium Ecosystem Assessment). (2003) Ecosystems and Human Well-Being. Washington, DC: Island Press.
49. Greenleaf, S. S., Williams, N. M., Winfree, R. and Kremen, C. (2007) Bee foraging ranges and their relationship to body size. Oecologia 153(3): 589-596.
50. Langellotto, G. A., Melathopoulos, A., Messer, I., Anderson, A., McClintock, N. and Costner, L. (2018) Garden pollinators and the potential for ecosystem service flow to urban and peri-urban agriculture. Sustainability 10(6): 12-14.
51. Elton, S. S. (1966) The Pattern of Animal Communities. London: MEthuen.
52. Gregory, R. D. and Baillie, S. R. (1998) Large-scale habitat use of

some declining British birds. Journal of Applied Ecology 35(5): 785-799.
53. Cameron, R. W. F., Blanuša, T., Taylor, J. E., Salisbury, A., Halstead, A. J., Henricot, B. and Thompson, K. (2012) The domestic garden: Its contribution to urban green infrastructure. Urban Forestry and Urban Greening 11(2): 129-137.
54. Tzoulas, K. and James, P. (2010) Making biodiversity measures accessible to non-specialists: An innovative method for rapid assessment of urban biodiversity. Urban Ecosystems 13(1): 113-127.
55. Lee, E.-H., Lim, J.-H. and Lee, J.-S. (2010) A review on soil respiration measurement and its application in Korea. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 12(4): 264-276.
56. Deng, X., Li, Z. and Gibson, J. (2016) A review on trade-off analysis of ecosystem services for sustainable land-use management. Journal of Geographical Sciences 26(7): 953-968.

Received : 21 January, 2021
Revised : 3 March, 2021 (1st)
12 March, 2021 (2nd)
16 March, 2021 (3rd)
Accepted : 18 March, 2021
2인익명 심사필