

Research Paper

지속가능한 도시평가지표의 적용 가능성 검토

- GCI, EPI, CBI를 중심으로 -

윤형두* · 박진영* · 최태봉* · 최인태** · 노태환** · 한봉호** · 김명진*
국립환경과학원*, 서울시립대**

A Review on Applicability of Sustainable City Index

- Focusing on GCI, EPI and CBI -

Hyerngdu Yun* · Jinyoung Park* · Taebong Choi* · Intae Choi** ·
Taihwan Noh** · Bongho Han** · Myungjin Kim*

National Institute of Environmental Research*, University of Seoul**

요약 : 녹색도시지수(GCI), 환경성가지수(EPI), 도시생물다양성지수(CBI)는 환경적 측면에서 도시의 객관적 평가를 위해 국제적으로 활발히 활용되고 있다. 하지만 인구밀도나 도시규모 등 도시의 특성이 다른 국내 상황에 이들을 직접 적용하는 것은 어려움이 있다. 따라서, 본 연구는 도시의 환경개선과 생물다양성 향상을 위하여 지자체 스스로 환경문제를 진단하고 문제점을 도출하여 환경정책으로 활용 가능한 한국형 도시평가지표 개발을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 기존에 사용되는 국제지표들의 장단점을 분석하고, 이를 토대로 한국적 상황에 부합하는 지표를 도출하였다. 지표는 생물다양성, 생활환경, 생태계서비스, 행정 및 관리 4개 영역 20개 항목으로 구성된 한국형 '지속가능한 도시의 평가지표(ESCI)'를 개발하였으며, 도시생태현황지도가 작성된 서울, 인천, 수원, 원주, 계룡 등 5개 도시에 적용하였다. 그 결과, 제시된 한국형 지속가능한 도시의 평가지표는 대도시의 경우 거의 모든 항목을 적용할 수 있었으나 중소도시는 일부만 적용할 수 있었다. 지표 적용을 모든 도시로 확대하기 위해서는 지자체별로 통일된 도시생태현황지도의 작성과 필요한 자료구축이 선행되어야 하며, 도시규모 및 자료구축 수준에 따라 지표 항목을 점진적으로 적용하는 것이 바람직하다.

주요어 : ESCI, GCI, EPI, CBI, 지속가능성

Abstract : This study was intended to develop Korean Environmental Sustainable City Index (ESCI) so that local governments can examine and identify urban environment issues and then come up

First Author: Hyerngdu Yun, National Institute of Environmental Research, Tel: 032-560-7545, E-mail: hyerng2@naver.com

Corresponding Author: Myungjin Kim, National Institute of Environmental Research, E-mail: domyung@hanmail.net

Co-Authors: Jinyoung Park, National Institute of Environmental Research, E-mail: tumstone@korea.kr

Taebong Choi, National Institute of Environmental Research, E-mail: tbochoi@korea.kr

Intae Choi, University of Seoul, E-mail: landschaft@korea.com

Taihwan Noh, University of Seoul, E-mail: tai-hwan@hanmail.net

Bongho Han, University of Seoul, E-mail: hanho87@uos.ac.kr

Received : 4 November, 2015. Revised: 17 December, 2015. Accepted: 18 December, 2015.

with a policy to improve the environment and urban biodiversity for cities. Green City Index (GCI), Environmental Performance Index (EPI), and City Biodiversity Index (CBI) which have used worldwide were analyzed. Based on the result of analysis, evaluation indicators of ESCI were finally a total of 20 indicators under four categories, which are native biodiversity, living environment, ecosystem services, and governance and management. Then, five cities with biotope mapping and evaluation index were selected to apply ESCI for evaluation. In order to apply ESCI, local governments need to accumulate basic data. There should be a policy which requires local governments to build data for biotope mapping so that the rate of natural area, ecological network and permeable land surface can be evaluated. Indicators must be applied to be compliant with scale of the city and level of data building gradually.

Keywords : ESCI, GCI, EPI, CBI, Sustainability

I. 서론

1. 연구의 배경과 목적

도시지역에는 전 세계 인구의 절반이 거주하고 있으며, 우리나라는 현재 약 92%에 달하는 인구가 도시지역에 집중되어 있는 것으로 조사되었다(국토교통부, 2015). 인구가 밀집한 도시지역에서는 인간활동을 위해 끊임없는 개발과 화석연료의 사용이 계속되어 생태적·환경적으로 다양한 문제를 발생시키고 있으며, 이는 최근 기후변화, 생물다양성 등 국제 환경문제의 근본 원인으로 주목받고 있다.

세계 각국을 비롯한 국제 기구들은 도시의 환경·생태적 문제를 평가·진단하여 이를 해결하기 위한 방안으로 다양한 정책을 개발하고 있다. 이는 도시환경 현황과 정책을 평가하고 모니터링할 수 있는 객관적 기준과 지표를 개발하고, 적용을 통해 도시환경 문제를 해결하고자 함이다. 세계경제포럼(WEF)은 한 국가의 사회·제도적 역량, 환경부하와 인구집단의 취약성을 평가하기 위하여 환경성과지수(EPI)와 생태계 활력을 평가하기 위한 환경지속성지수(ESI)를 개발하였다(Sherbinin A *et al.*, 2013). 2008년 COP9에서 생물다양성협약(CBD) 사무국은 도시단위의 지자체가 긴밀하게 협력하여 국가 생물다양성 전략과 실행계획을 실행하여야 한다는 결의안을 통해 도시생물다양성지수(CBI)를 개발하였다(SCBD, 2012). 지멘스(Siemens)는 도시의 환경성을 평가하기 위하여 지리적 특성을 고려한 대륙별 평가지수인 녹

색도시지수(GCI)를 개발하였다(SIEMENS, 2009; 2011). 그리고 캐나다 브리티시컬럼비아대학교 Mathis Wackernagel과 William Rees는 1996년 생산대비 소비량을 산출하여 자원낭비 최소화과 대체 에너지 개발 촉구 등을 통해 지구를 보호하기 위해 생태발자국(Ecological Footprint)이라는 지표를 고안하였다(Global Footprint Network, 2015).

위와 같은 국제사회의 움직임에 각 국가들은 자국의 현황에 맞는 지수들을 개발하고 있다. 중국은 생태도시 평가지수(ECEI)를 개발하여 도시의 인구증가, 자원 제한, 심각한 환경오염과 생태적 피해 등 직면한 문제를 해결하고자 하였으며(Liu XG and Zhang YM, 2008), 덴마크는 저탄소 개발을 위한 저탄소 도시개발지수(LCCDI)(Projectzero, 2015)를 개발하였다. 즉, 세계 각국을 비롯한 국제 기구들은 도시의 환경·생태적 문제를 평가·진단하고 이를 해결하기 위한 방안으로 객관적 기준과 지표를 개발하고 있는 추세이다. 하지만 위와 같은 국제지표를 우리나라의 도시단위에 직접 적용하는 것은 자료구축 현황, 개발정도, 도시규모 등 다양한 여건의 차이로 어려운 실정이다.

이에 도시화율이 지속적으로 상승하고 있는 우리나라는 국제적인 추세에 부합하고 도시의 환경적 문제를 진단하고 평가하기 위한 평가지표 개발이 필요하며, 그 결과를 바탕으로 도시환경문제 진단을 통해 쾌적한 도시공간 창출과 관련된 정책을 개발할 필요성이 있다. 따라서 본 연구는 이를 위한 초기 연구로

국제지표의 우리나라 적용 가능성을 검토하고 우리나라 실정에 적합한 도시평가지표를 개발하는 데 목적이 있다.

2. 연구내용 및 추진방법

국제적으로 사용되는 지표의 적용 가능성 검토는 일반화되어 활용되고 있는 EPI 등 도시환경 평가지수 8개를 평가목적 · 평가범위 · 평가항목 등으로 1차 검토하였다. 그리고 우리나라 기초지자체 단위 도시에 적용이 적합할 것으로 판단된 GCI(Green City Index), EPI(Environmental Performance Index), CBI(City Biodiversity Index)를 중심으로 평가방식, 자료확보 용이성 등의 2차 검토를 실시하였다. 그리고 마지막으로 국내 적용이 가능한 항목을 추출하고 영역별로 재배치하여 우리나라 도시평가에 적합한 지표를 제안하였다.

또한, 「소방력 기준에 관한 규칙 제3조 [별표1]」의 기준을 활용해 도시의 규모별로 특별시, 광역시, 특별시, 중도시, 소도시를 각 1개, 총 5개 도시에 시범 적용하고 지표의 적용 가능성을 검토하였다.

II. 국제적으로 활용되는 지속가능한 도시의 평가지표 적용 가능성 검토

1. 지속가능한 도시지표 관련 연구동향

국내 도시환경의 평가를 위한 연구는 녹색도시의 건강성 평가지표 개발 및 적용 연구(국립환경과학원, 2013), 녹색성장도시 모델 및 지표 연구(최수영, 2011), 지방자치단체 저탄소 녹색경쟁력 지표 개발에 관한 연구(고재경과 김희선, 2010), 삶의 질에 관한 평가지표 연구(송건섭 등, 2008), 도시의 환경성 평가지표 연구(환경부, 2007), 환경상태의 평가를 위한 주민환경지표의 개발(김명진 등, 1993), 환경지표의 종합체계화 기법개발 및 활용방안에 관한 연구(국립환경과학원, 1990-1992) 등을 통해 지속적인 지표개발이 이루어 졌다. 연구를 토대로 개발된 지표를 계획에 적용한 사례로는 부천 고강 에코시티 시범사업(도시환경연구센터, 2009), 순천시 에코시티 시범사업

(도시환경연구센터, 2010) 등에서 개발계획에 반영될 수 있는 환경계획적 대안을 제시하고 있다. 평가 및 대안으로 제시된 주요 항목은 신재생에너지, 친환경건축물, 녹색교통, 물순환체계, 자원순환, 생태네트워크 등이다.

또한, 정책방향 및 녹색도시 인증과 관련해서는 기후변화에 대응하고 저탄소녹색성장을 실현하기 위한 저탄소녹색도시(환경부, 2010), 기초지자체로 부터 환경친화적인 도시행정을 자발적으로 유도하기 위한 그린시티(환경부, 2012), 기초지자체의 공모를 통해 저탄소녹색성장 모델을 발굴하고 확산시키기 위한 생생도시(녹색성장위원회, 2012)를 비롯해 살고 싶은 도시, 저탄소녹색마을, 녹색도시 인증제 등이 도입되고 있는 실정이다.

해외의 경우 WHO 건강도시, LiveCom Awards(UNEP), City Green Star(UEA; 세계도시환경연합), Global 500(UNEP: 유연환경계획), LEED-ND(미국), BREEAM-Communities(영국), CASBEE-UD(일본), Ecological Footprint(Global Footprint Network), 도시에서 생물다양성협약(CBD) 구현을 위한 연구(Puppim de Oliveira JA *et al.*, 2011), 지속가능성에 영향을 줄 수 있는 평가지표의 결정(Laedre O *et al.*, 2015) 등을 통해 국가 및 국제기구에서 지표를 개발하고 도시를 평가하는 정책이 활발히 추진중에 있다(국립환경과학원, 2014).

2. 국제적 지속가능한 도시의 평가지표의 검토

국제적으로 활용되는 지속가능한 도시 평가지수는 ESI(Environmental Sustainability Index), EPI(Environmental Performance Index), GCI(Green City Index), CBI(City Biodiversity Index), ECEI(Ecological City Evaluation Index), LCCDI(Low Carbon Cities Development Index), 캘리포니아 샌프란시스코 도시환경 협약 지수, LiveCom Awards 평가지수 8개를 선정하여 평가의 목적, 주요 평가분야 등을 검토하였다. 검토결과 ESI는 국가단위의 평가지표로 광범위한 규모의 환경평가, 사회제도 및 국제적 역량 등을 평가하여 도시단위의 평가에 적합하

지 않고, ECEI는 인구, 산업 등의 급속한 변화를 겪고 있는 중국이 자체 도시평가를 위해 개발한 지표로 우리나라의 상황에 적합하지 않으며, LCCDI는 Carbon Footprint의 개념을 활용하여 생산과 소비에 주안점을 둔 탄소배출지표로 본 연구의 취지에 적합하지 않다고 판단하였다. 또한, California Urban Environmental Accords Index는 에너지, 쓰레기감

소, 도시계획, 교통 등의 7개 영역에 대해 평가항목이 도시기반시설(infrastructure)이 주를 이루고 있고, LiveCom Awards Index는 공모후 발표 등의 경쟁을 통해 평가하고 우수도시를 시상하기위한 지표로 주관적 평가요소가 있어 본 연구의 취지에 부합하지 않다고 판단하였다(Table 1).

1차 검토를 통해 생활환경 및 생물다양성 향상을

<Table 1> Comparison of international index of sustainable city assessment

International index	The purpose of assessment
ESI (Environmental Sustainability Index)	Environmental sustainability assessment of the country (Environmental impact, vulnerability of the population, society and institutional capacity).
GCI (Green City Index)	Considering the geographical characteristics and assessing the environmental performance of cities per continent.
ECEI (Ecological City Evaluation Index)	Ecological city evaluation index developed to assess population growth, limited resources and ecological damage of Chinese cities.
LCCDI (Low Carbon Cities Development Index)	Starting with the 2009 Copenhagen Declaration, urban groups, businesses, investors, NGOs, academics developed a low-carbon city development index for low-carbon development.
EPI (Environmental Performance Index)	Environmental Performance Index (EPI) has been developed because environmental sustainability index (ESI) in the scope is too wide and the result is difficult to take advantage of the policy guidelines.
CBI (City Biodiversity Index)	COP9 in Bonn, Germany recognised the role of cities and local authorities and the fact that the implementation of national biodiversity strategies and action plans (NBSAPs) requires the close collaboration with sub-national levels of government.
San Francisco, California Urban Environmental Accords Index	To celebrate the 60th anniversary that the UN Charter joins the World Environment Day, 52 cities have made an agreement in San Francisco on June 5, 2005.
LiveCom Awards Index	Presentation and awarding of city management know-how throughout the city, such as environment, urban planning, landscape architecture, culture, welfare and vision.

<Table 2> Index of sustainable city assessment applied in the study

Index		GCI	EPI	CBI
Summary	Developer	Simens (Methodology: Economist Intelligence Unit)	World Economic Forum (WEF) (Yale, Columbia University)	The Secretariat of the Convention on Biological Diversity (SCBD)
	Assessment years	2009: 30 cities in Europe 2010: 17 cities in South America 2011: 22 cities in Asia	Pilot test (2002, 2006) Rank of South Korea : 51 in 2008, 94 in 2010, 43 in 2012, 43 in 2014.	After the third expert workshop manual drafting (2011) → Evaluation of the pilot cities (15 cities, including Frankfurt)
Contents	Indicators	Europe: 30 indicators (CO ₂ , building, policy areas), South America: 31 indicators (health and policy areas), Asia: 29 indicators (transport, health, policy areas)	Composed of 2 categories (environmental health and ecosystem dynamics), 10 type, 22 indicators	3 categories (native biodiversity, ecosystem services, governance and management) are composed of 23 indicators.
	Methods	Most use the EIU analysis. Or available application to the case using international standards.	Presents a generalized assessment objectives and sectoral weights.	Assessment criteria and calculations presented in detail.
Coverage	Scale	City units	Country, City units	City units
	Scope	Continent	Universal	Universal

위한 평가지표에 적합한 요소가 있다고 판단된 EPI, GCI, CBI를 시대적·사회적 적용의 필요성, 지속가능한 도시의 평가 사례, 지표의 세부항목, 자료수집의 용이성, 평가방식 등을 고려하여 재검토하였다 (Table 2).

GCI는 세계 모든 도시들에 대한 일괄적인 지표적용이 아닌 지리적 특성을 고려하여 대륙별 도시들의 환경적인 기능을 평가하고자 고안되었으며 대륙별(유럽, 남미, 아시아) 현안에 적합한 지표항목이 달리 설정되어 있다. GCI의 분석방법은 최대최소 근사치법(Min-max approximation)을 이용하여 항목을 100점화하였으며 분야별 100%로 지표의 가중치를 반영하였다(예: 1개 분야에 4개 지표인 경우 각 지표의 가중치는 25%).

EPI는 세계경제포럼(WEF) 주관으로 미국의 예일 대학교와 컬럼비아대학교에서 국가의 환경지속성지수(ESI)를 보완하기 위해 개발한 지표로서 환경보건, 생태계 역동성 2개 분야에 22개 지표로 구성되어 있다. 지표의 평가는 각 지표별 목표치를 설정하고 목표치로부터의 차이를 0~100으로 환산해 달성도를

평가하는 방식이다.

도시생물다양성지수(CBI)는 도시생물다양성에 대한 논의를 통해 생물다양성협약 COP9, COP10에서 도시생물다양성 결의문으로 채택되었으며 이에 대한 후속조치로 개발되었다. 생물다양성, 생태계서비스, 행정 및 관리로 구분되어 총 23개의 지표로 구성되었다. 계산방식은 대부분 일정 기간 사이에 변화된 생태계 및 관리 조직·운영 현황을 점수화하여 정량적으로 평가할 수 있으나 일부 항목에 대해서는 평가기준 및 점수화 방안을 아직 논의중에 있다(SCBD, 2012).

3. GCI, EPI, CBI의 항목별 적용 가능성 검토

CBI, GCI, EPI의 항목별 적용 가능성 검토는 국내 구축자료를 확인하여 최대한 기준의 변경 없이 반영 가능하도록 하는 것을 원칙으로 하되, 일치하는 자료가 없는 것은 유사한 자료를 검토·반영하였다.

(1) 녹색도시지수(GCI)

GCI에서 7개 영역 15개 항목 중 자료 확보가 가능하여 기준의 변경 없이 적용 가능한 항목은 1인당

<Table 3> Application of indicators of Green City Index (GCI) for Korean

Category	Indicators	Applicable Indicators	Data source and non-applicable reason
CO ₂	CO ₂ emissions	CO ₂ emissions per capita	Annual Report of Air Quality in Korea (National Institute of Environmental Research)
	CO ₂ intensity	-	No local data
Energy	Energy consumption	-	No local data
	Energy intensity		
	Renewable energy consumption	Renewable energy ratio	Renewable energy statistics (Korea Energy Management Corporation)
Buildings	Energy consumption of residential buildings	-	No local data
Transport	Use of non-car transport	Public transport utilization	Transportation assignment ratio (Statistics Korea)
	Size of non-car transport network		
Water	Water consumption	Wastewater emissions per capita	Statistics of sewerage (Ministry of Environment)
	Water system leakages		
Waste and land use	Municipal waste production	Waste emissions per capita	Nationwide waste and treatment (Ministry of Environment)
Air quality	Nitrogen dioxide	-	No local data
	Sulphur dioxide	SO _x emissions per capita	Annual Report of Air Quality in Korea (National Institute of Environmental Research)
	Ozone	O ₃ concentration	
	Particulate matter	PM10 concentration	

* **Bold** is reflected by modifying the indicators.

CO₂ 배출량, 신재생에너지 비율, 대중 교통수단 이용률, 오존(O₃) 농도, PM10 농도 5개 항목의 반영이 가능하며, GCI의 1인당 물 소비량, 1인당 폐기물 수거량, 이산화황(SO₂) 농도는 데이터 확보가 가능한 1인당 하수발생량, 1인당 폐기물 배출량, 1인당 황산화물(SOx) 배출량으로 기준을 수정하여 반영이 가능한 것으로 나타났다(Table 3).

(2) 환경성과지수(EPI)

EPI는 국가단위 평가로 우리나라의 도시에 적용하기에는 변별력이 없거나 통계자료 미구축 등의 사유로 적용하기에 어려움이 있었다. 또한, 본 연구는 내륙을 대상으로 자연생태환경 및 생활환경에 중점을 둔 지표개발 연구로 연구범위 밖의 항목인 해양보호, 어업장도 등은 미반영 하였다. 위의 내용을 바탕으로 적용 가능한 항목은 미세먼지와 관련하여 기초지자체 자료가 구축된 PM10 농도로 반영할 수 있고, 보

호지역, 산림, 주요서식처 관련 항목은 보호지역 비율로 반영이 가능하다. 그리고 탄소와 관련된 항목은 1인당 CO₂ 배출량으로 반영할 수 있다(Table 4).

(3) 도시생물다양성지수(CBI)

도시생물다양성지수는 본 연구의 취지에 가장 부합하는 지표였으나 우리나라의 기초지자체 단위의 자료 구축과 모니터링 현황이 미비하여 반영할 수 있는 항목이 적었다. 생물다양성과 생태계서비스 분야에서는 도시생태현황지도를 활용할 수 있는 항목이 있고, 행정 및 관리 영역에서는 포탈검색이나 지자체 담당 공무원의 인터뷰를 통해 확인 가능한 항목이 있었다.

적용 가능한 항목은 생물다양성 분야에서 도시 내 자연지역 비율, 생태네트워크율, 보호지역 비율, 생태계교란 생물종수 4개 항목이고, 생태계서비스 분야에서 투수면적비율, 식생의 탄소저장, 1,000명당 자연 및 공원지역 면적 3개 항목이며, 행정 및 관리

<Table 4> Application of indicators of Environmental Performance Index (EPI) for Korean

Category	Indicators	Applicable Indicators	Data source and non-applicable reason
Environmental health	Child mortality	-	No difference
	Household air quality	-	No local data
	Average exposure to PM2.5	PM10 concentration	Annual Report of Air Quality in Korea (National Institute of Environmental Research)
	PM2.5 exceedance		
	Access to drinking water	-	No difference
	Access to sanitation	-	No difference
Ecosystem vitality	Wastewater treatment	-	No difference
	Terrestrial protected areas (national biome weights)	Proportion of protected natural areas	KLIS (Local governments)
	Terrestrial protected areas (global biome weights)		
	Change in forest cover		
	Critical habitat protection		
	Marine protected areas	-	Out of the scope
	Coastal shelf fishing pressure	-	Out of the scope
	Fish stocks	-	Out of the scope
	Agricultural subsidies	-	Out of the scope
	Pesticide regulation	-	Out of the scope
	Trend in CO ₂ emissions per kwh	CO₂ emissions per capita	Annual Report of Air Quality in Korea (National Institute of Environmental Research)
	Trend in carbon intensity		
	Change of trend in carbon intensity		
Access to electricity	-	Out of the scope	

* **Bold** is reflected by modifying the Indicators.

<Table 5> Application of indicators of City Biodiversity Index (CBI) for Korean

Category	Indicators	Applicable Indicators	Data source and non-applicable reason
Native biodiversity	Proportion of natural areas in city	Proportion of natural areas in city	Biotope Map (Local governments)
	Connectivity measures or ecological networks to counter fragmentation	Connectivity measures or ecological networks to counter fragmentation	Biotope Map (Local governments)
	Native biodiversity in built-up areas	-	No local data
	Change in number of native species	-	No local data
	Proportion of protected natural areas	Proportion of protected natural areas	KLIS (Local governments)
	Proportion of invasive alien species	Number of Invasive Alien Species designated by the Wildlife Protection Act	Ecosystem Research Report (Local governments) Monitoring of Invasive Alien Species designated by the Wildlife Protection Act
Ecosystem services	Regulation of quantity of water (the rate of flow of water)	The rate of flow of water	Biotope Map (Local governments)
	Climate regulation (carbon storage and cooling effect of vegetation)	Carbon storage and cooling effect of vegetation	Biotope Map (Local governments)
	Recreation (area of parks with natural areas and protected or secured natural areas / 1000 persons)	Area of parks with natural areas and protected or secured natural areas / 1000 persons	Area of natural areas and parks (Statistics Korea)
	Educational services	-	No local data
Governance and management	Budget allocated to biodiversity	Proportion of environment-related expenditures	Revenue expenditure settlement source (Local governments)
	Number of biodiversity projects implemented by the city annually	-	No local data
	Rules and regulations: existence of local biodiversity strategy and action plan	Existence of local biodiversity plan	Planning report (Local governments)
	Number of essential biodiversity-related functions	Number of biodiversity-related functions	Functions data (Local governments)
	Number of city or local government agencies involved in inter-agency cooperation pertaining to biodiversity matters	-	No local data
	Existence and state of formal or informal public consultation process pertaining to biodiversity-related matters	-	No local data
	Number of agencies / private companies / NGOs / academic institutions / international organisations with which the city is partnering in biodiversity activities, projects and programmes	Number of biodiversity-related NGOs	Internet searches and interviews (Local governments)
	Is biodiversity or nature awareness included in the school curriculum	Environmental curriculum included in the middle school curriculum	Middle school curriculum (Ministry of Education)
	Number of outreach or public awareness events held in the city per year	-	No local data

* **Bold** is reflected by modifying the Indicators.

분야에서 환경보호분야 결산액 비율, 생물다양성 관련 계획수립 여부, 생물다양성 관련 시설 수, 생물다양성 관련 민간단체 수, 중학교 정규 학교수업 환경 과목 선택 비율 5개 항목으로 총 12개 항목이 적용 가능한 것으로 파악되었다(Table 5).

(4) GCI, EPI, CBI의 항목별 적용 가능성 검토 종합

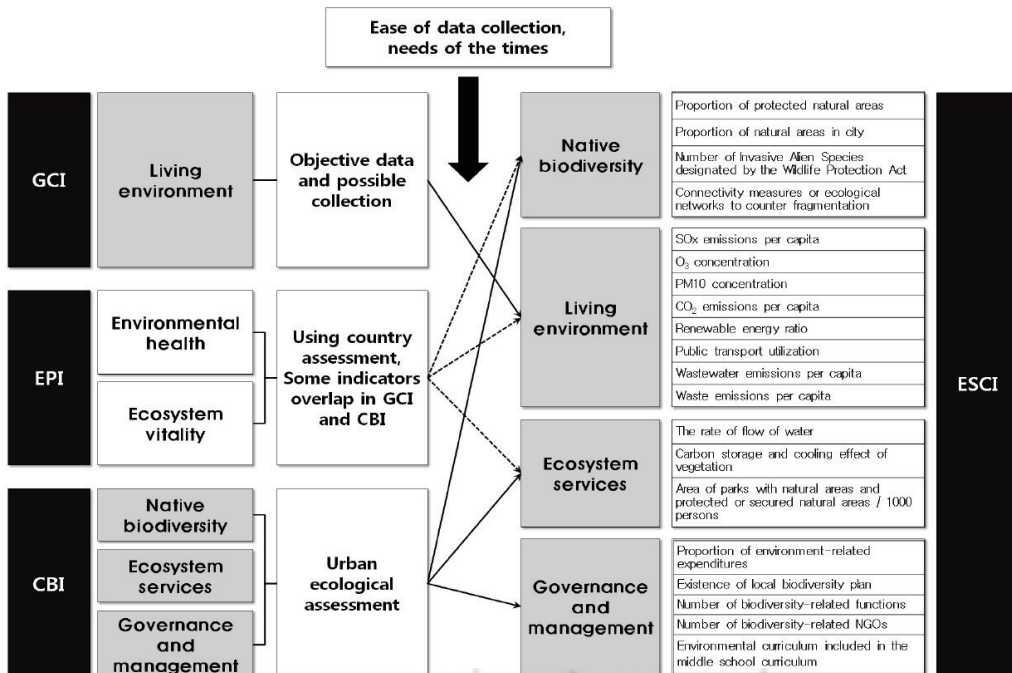
중점 검토된 3개 국제지표 항목별 검토결과로 연구의 취지에 부합하는 도시단위의 생태·생활환경 평가항목을 도출할 수 있었다. 지리적 특성을 고려하여 대륙별 도시들의 환경적인 기능을 평가하고자 고안된 GCI에서 8개 항목, 국가의 환경지속성지수(ESI)를 보완하기 위해 개발한 지표 EPI에서 3개 항목이 도출되었다. 또한, 도시생물다양성에 대한 논의를 통해 생물다양성협약 COP9, COP10에서 후속조치로 개발된 CBI에서 12개 항목이 도출되었다. 따라서, 총 23개 항목이 도출되었으나 보호지역 비율, PM10농도, 1인당 CO₂ 배출량 3개 항목이 중복되어 국내 적용 가능한 국제지표의 항목은 총 20개 항목으로 도출되었다.

III. 국내 도시에 적용 가능한 지표체계의 정립

1. 국내 도시에 적용하기 위한 평가지표의 체계

앞의 해외 평가지표 적용 가능성 검토를 통해 국내 도시에 적용이 가능할 것으로 판단되는 항목은 GCI에서 8개 항목, EPI에서 3개 항목, CBI에서 12개 항목으로 총 23개 항목이나, 보호지역 비율, PM10농도, 1인당 CO₂ 배출량 3개 항목이 중복되어 총 20개 항목이 도출되었다.

도출된 20개 항목의 분야구분은 가장 많은 항목이 도출된 CBI의 생물다양성, 생태계서비스, 행정 및 관리로 1차 분류하고, 3개 분야에 포함되지 않는 대기환경, 대중교통수단, 수질, 폐기물 관련 항목은 생활환경 분야로 분류하여 총 4개 분야로 구분하였다. 그 결과 생물다양성 분야에 보호지역 비율 등 4개 항목, 생활환경 분야에 1인당 CO₂ 배출량 등 8개 항목, 생태계서비스 분야에 투수면적비율 등 3개 항목, 행정 및 관리 분야에 환경보호 분야 결산액 비율 등 5개 항목으로 구분하여 지표체계를 정립하였다. 또한 본 지표를



<Figure 1> Indicators system of Korean Environmental Sustainable City Index (ESCI)

도시의 지속가능성을 환경에 초점을 두고 우리나라 도시를 평가할 수 있는 지표라는 의미의 한국형 ‘지속가능한 도시의 평가지표(Environmental Sustainable City Index(ESCI))’로 명명하였다(Figure 1).

2. 항목별 지표 계산방식

지표의 계산방식은 기본적으로 GCI의 최대최소군사치법과 CBI의 비율평가 계산방식을 주로 따랐다. 생활환경분야는 대부분의 항목이 GCI에서 반영된 만

<Table 6> Calculation method of assessment indicators

Category	Indicators	Calculation method	Data source
Native biodiversity (4 indicators)	Proportion of protected natural areas	Protected areas ÷ city area × 100	KLIS (Local governments)
	Proportion of natural areas in city	Natural areas ÷ city area × 100	Biotope Map (Local governments)
	Number of Invasive Alien Species designated by the Wildlife Protection Act	Number of discovered species of Invasive Alien Species designated by the Wildlife Protection Act (total: 18 species)	Ecosystem Research Report (Local governments) Monitoring of Invasive Alien Species Designated by the Wildlife Protection Act
	Connectivity measures or ecological networks to counter fragmentation	Connect green area (natural areas + park + agricultural land) ÷ City area	Biotope Map (Local governments)
Living environment (8 indicators)	SOx emissions per capita	Point (1~100) = (A - min) ÷ (max - min) × 100	Annual Report of Air Quality in Korea (National Institute of Environmental Research)
	O ₃ concentration		
	PM10 concentration		
	CO ₂ emissions per capita		
	Renewable energy ratio		Renewable Energy Statistics (Korea Energy Management Corporation)
	Public transport utilization		Transportation assignment ratio (Statistics Korea)
	Wastewater emissions per capita		Statistics of Sewerage (Ministry of Environment)
	Waste emissions per capita		Nationwide Waste and Treatment (Ministry of environment)
Ecosystem services (3 indicators)	The rate of flow of water	Flow of water area ÷ city area	Biotope Map (Local governments)
	Carbon storage and cooling effect of vegetation	Crown area ÷ city area	Biotope Map (Local governments)
	Area of parks with natural areas and protected or secured natural areas / 1000 persons	(Natural areas + park) / (population × 1000) (Except for agricultural land)	Area of natural areas and parks (Statistics Korea)
Governance and management (5 indicators)	Proportion of environment-related expenditures	Environment-related settlement ÷ total settlement × 100	Revenue expenditure settlement source (Local governments)
	Existence of local biodiversity plan	local biodiversity plan (Natural Environment Conservation Planning, LBSAP etc.)	Planning Report (Local governments)
	Number of biodiversity-related functions	Number of Zoo, Botanical Garden, biodiversity centers etc.	Functions data (Local governments)
	Number of Biodiversity-related NGOs	Number of Biodiversity-related NGOs	Internet searches and interviews (Local governments)
	Environmental curriculum included in the middle school curriculum	Number of middle schools selected environmental curriculum ÷ total number of middle schools × 100	Middle schools curriculum (Ministry of Education)

큰 GCI에서 사용되는 최대최소근사치법을 적용하였다. 최대최소근사치법은 최소수치를 1, 최대수치를 100으로 환산하여 중간 값들을 계산하는 방법이다. 생물다양성, 생태계서비스, 협치 및 관리 분야는 항목이 변경없이 반영된 경우 CBI의 방식을 그대로 적용하였으나, 변경되어 반영이 된 생태계교란 생물종수, 생물다양성 관련 시설 개소수, 생물다양성 관련 민간단체 수 3개 항목에 대해서는 수치를 카운팅하는 수치평가방식을 적용하였다(Table 6).

3. 지표의 시범적용

지표의 시범적용은 앞에서 도출된 평가항목의 직접적인 도입이 가능한가를 알아보기 위함으로, 지표 값에 대한 도시평가 결과를 도출하고자 함은 아니다.

따라서, 지표의 적용 대상지는 다양한 규모의 도시에 적용하는 것을 목적으로 도시생태현황지도¹⁾가 작성된 5개 도시를 임의 선정하였다. 규모별 시범적용 도시를 선정한 사유는 도시 규모에 따라 구축된 자료에 차이가 있음을 자료수집 과정에서 확인하였기 때문이다(예: 신재생에너지 비율은 특별시, 광역시, 도 규모에서 구축). 5개 도시는 서울특별시(특별시), 인천광역시(광역시), 수원시(대도시, 인구 50만 이상), 원

1) 도시생태현황지도의 작성방법에 관한 지침(환경부, 2013): 도시생태현황지도는 토지이용현황도, 토지피복현황도, 지형주제도, 식생도, 동·식물상 등의 각 비오톱의 생태적 특성을 나타내는 “기본 주제도”와 생태적 특성과 등급화된 평가가치를 표현한 “비오톱유형도” 및 “비오톱평가도” 등을 말하며, I~V등급으로 평가된다.

<Table 7> Application of Korean Environmental Sustainable City Index

Category	Indicators	Metropolitan		big-city	mid-city	small-city
		Seoul	Incheon	Suwon	Wonju	Gyeryong
		Value				
Native biodiversity (4 indicators)	Proportion of protected natural areas	10.8	2.2	0.2	15.4	27.7
	Proportion of natural areas in city	31.2	36.4	20.4	63.1	69.6
	Number of Invasive Alien Species designated by the Wildlife Protection Act	14	4	2	5	-
	Connectivity measures or ecological networks to counter fragmentation	0.25	0.08	0.18	0.76	0.72
Living environment (8 indicators)	SOx emissions per capita	0.05	0.24	0.44	1.53	-
	O ₃ concentration	0.021	0.024	0.022	0.024	-
	PM10 concentration	41	47	46	60	-
	CO ₂ emissions per capita	2.50	18.21	2.39	5.92	2.46
	Renewable energy ratio	0.057	0.478	-	-	-
	Public transport utilization	0.63	0.41	-	-	-
	Wastewater emissions per capita	0.26	0.32	0.46	0.38	0.43
	Waste emissions per capita	0.32	0.26	0.34	0.36	0.49
Ecosystem services (3 indicators)	The rate of flow of water	50.0	50.4	-	80.6	85.1
	Carbon storage and cooling effect of vegetation	25.9	15.9	19	53.7	-
	Area of parks with natural areas and protected or secured natural areas / 1000 persons	2.39	3.70	0.33	5.55	0.43
Governance and management (5 indicators)	Proportion of environment-related expenditures	1.98	2.4	5.38	0.0	5.48
	Existence of local biodiversity plan	Planning	Planning	Planning	Planning	No Planning
	Number of biodiversity-related functions	15	9	4	18	1
	Number of Biodiversity-related NGOs	92	7	3	3	1
	Environmental curriculum included in the middle school curriculum	5.6	1.5	5.4	4.5	0.0
The number of non-applicable indicators		0	0	3	2	7

주시(중도시, 인구 10만 이상 50만 미만), 계룡시(소도시, 인구 10만 미만)로 인구에 따른 도시규모의 기준은 「소방력 기준에 관한 규칙 제3조 [별표1]」의 기준을 활용하였다. 또한, 도시생태현황지도를 제외한 통계 및 기타 자료는 2013년도를 기준으로 적용하였다(Table 7).

시범적용 결과 특별시와 광역시는 모든 자료가 구축되어 있어 지표값을 산출하는 데 어려움이 없었다. 그러나 대도시 이하 규모의 도시에서는 통계자료의 미구축, 도시생태현황지도의 속성자료 미흡, 도시생태계 현황자료 미흡 등의 사유로 지표값을 산출할 수 없는 항목이 있었다. 특히, 신재생에너지비율과 대중교통수단이용률은 도시의 대기환경에 적지 않은 영향을 미칠 것으로 판단되는 항목임에도 불구하고 기초지자체의 자료가 구축되지 않아 평가할 수 없었다. 따라서, 도출된 지표는 모든 도시를 같은 항목으로 평가하는 것이 불가하여 도시의 규모 및 지역여건을 고려한 도시유형분류 후 같은 유형의 도시들 간의 평가가 이루어지는 것이 바람직하다고 판단되었다. 또한, 협치 및 관리 분야의 자료는 조사 및 기관 인터뷰를 통해 별도로 구축해야 하는 항목이 있어 시간이 소요되며, 최종적으로 관할 지자체의 담당 공무원의 검증을 거쳐야 할 필요가 있다.

IV. 결론 및 고찰

본 연구는 국내의 도시들을 기초지자체 단위로 평가할 수 있는 환경·생태중심의 지속가능한 도시의 평가지표를 개발하여 지자체 스스로 도시 환경문제를 진단하고 문제점을 도출하여 도시환경 개선과 도시생물다양성 향상을 위한 정책을 개발하는데 목적을 두었다. 현재 국제적으로 활용하고 있는 녹색도시지수(GCI)와 환경성과지수(EPI), 도시생물다양성지수(CBI)를 중심으로 장단점을 분석하고 국내에 도시단위로 구축된 자료를 활용하여 한국적 상황에 부합하는 지표를 도출하였다. 지속가능한 도시의 평가지표(ESCI)는 생물다양성, 생활환경, 생태계서비스, 행정 및 관리의 4개 영역 20개 지표로 구성하고, 그 계산식을 제시하였다. 그리고 규모별 5개 도시에 시

범적으로 적용하여 적용가능성을 검토해 보았다.

그 결과 전국의 기초지자체에 지표적용을 위해서는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

첫째, 도시생태현황지도의 작성에 활용된 자료수집이 가능해야 한다. 본 연구의 지표는 도시생태현황 지도를 활용해 평가하는 도시 내 자연지역 비율, 생태네트워크율, 투수면적비율, 식생의 탄소저장 4개 항목이 포함되어 있다. 하지만 우리나라 지자체의 도시생태현황지도 작성현황은 2015년 9월 기준 162개 시·군 중 44개 지자체로 30%에도 미치지 못하는 실정이다. 또한, 도시생태현황지도가 작성된 도시들의 조사항목 및 구축된 속성자료가 일치하지 않아 적용에 어려움이 있었다.

둘째, 본 연구에서 각 지표값의 산정을 위한 계산식은 도출하였지만 지속적으로 국제지표에서 제시하고 있는 평가기준 검토를 통해 적합한 기준을 설정하고, 그 기준을 적용하여 검증하는 과정이 필요하다.

셋째, 도시의 규모에 따라 자료구축 현황이 달라 이를 보완할 방안이 필요하다. 지표의 자료수집 및 시범적용 결과 특·광역시 및 대도시에서는 구축되어 있는 자료가 계룡시와 같은 소도시에서는 구축되지 않은 경우가 있었다. 그러한 도시들을 모두 같은 기준으로 평가하기는 무리가 있어 비슷한 유형의 도시들 간의 평가가 이루어 져야 한다.

위의 내용들이 선행된 후 전국의 도시가 평가된다면 도시의 지속가능성 평가지표를 통하여 개발유형에 따른 도시생태복원 및 환경부 자연마당사업과 같은 국가지원사업에 대한 도시 지속가능성평가에 활용될 수 있을 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 2014년 국립환경과학원의 “한국형 지속가능한 도시의 평가지표 개발 및 적용에 관한 연구(I)”의 일환으로 수행되었으며, 한국환경영향평가학회의 학술발표대회에서 소개되었음을 밝힙니다.

인용문헌

고재경, 김희선, 2010. 지방자치단체 저탄소 녹색경

- 쟁력 지표 개발에 관한 연구: 경기도를 중심으로, 한국지방자치학회보, 22(3), 175-200.
- 국립환경과학원. 1990. 환경지표의 종합체계화 기법개발 및 활용방안에 관한 연구(I), 국립환경과학원, 1-177.
- 국립환경과학원. 1991. 환경지표의 종합체계화 기법개발 및 활용방안에 관한 연구(II), 국립환경과학원, 1-160.
- 국립환경과학원. 1992. 환경지표의 종합체계화 기법개발 및 활용방안에 관한 연구(III), 국립환경과학원, 1-126.
- 국립환경과학원. 2013. 녹색도시의 건강성 평가지표 개발 및 적용에 관한 연구, 국립환경과학원, 1-35.
- 국립환경과학원. 2014. 한국형 지속가능한 도시의 평가지표 개발 및 적용에 관한 연구(I), 국립환경과학원, 1-47.
- 국토교통부. 2015. http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1200, 통계청.
- 김명진, 최덕일, 장준기, 이재운. 1993. 환경상태의 평가를 위한 주민환경지표의 개발, 환경영향평가, 2(1), 31-38.
- 녹색성장위원회. 2012. 2012년 녹색성장 생생도시 평가 및 발전방안 연구, 녹색성장위원회, 1-271
- 도시환경연구센터. 2009. 부천고강 에코시티 시범사업 상세계획-저탄소녹색도시 만들기, 환경부, 107-129.
- 도시환경연구센터. 2010. 순천시 에코시티 시범사업 기본계획, 환경부, 107-129.
- 송건섭, 김영오, 권용현. 2008. 삶의 질에 관한 평가지표의 구성과 적용, 지방정부연구, 12(4), 225-247.
- 최수영. 2011. 녹색성장도시 모델 및 지표개발에 관한 연구: NETI-CITY모델 기법 중심으로, 동국대학교 대학원 박사학위논문, 153-177.
- 환경부. 2007. 도시 환경성 평가지표 연구, 환경부, 1-290.
- 환경부. 2010. 저탄소녹색도시 조성 가이드라인 및 평가지표 연구, 환경부, 1-191.
- 환경부. 2012. 그린시티 우수사례집, 환경부, 1-184
- 환경부. 2013. 도시생태현황지도의 작성방법에 관한 지침, 환경부, 1-40.
- Global Footprint Network. 2015. <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/methodology/>, Global Footprint Network.
- Laedre O, Haavaldsen T, Bohne RA, Kallaos J, Lohne J. 2015. Determining sustainability impact assessment indicators, Impact Assessment and Project Appraisal, 33(2), 98-107.
- Liu XG, Zhang YM. 2008. An empirical analysis of ecological city evaluation index system, Proceedings of 2008 conference on regional economy and sustainable development, 111-116.
- Projectzero. 2015. <http://www.projectzero.dk/da-DK/TopPages/Om-ProjectZero.aspx>, Projectzero.
- Puppim de Oliveira JA, Balaban O, Doll CNH, Moreno-Penaranda R, Gasparatos A, Iossifova. D, Suwa A. 2011. Cities and biodiversity: perspectives and governance challenges for implementing the convention on biological diversity (CBD) at the city level, Biological Conservation, 144, 1302-1311.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (SCBD). 2012. User's manual for the City Biodiversity Index, Convention on Biological Diversity (CBD), 1-25.
- Sherbinin A, Reuben A, Kevy MA, Johnson L. 2013. Indicators in practice: how environmental indicators are being used in policy and management contexts, Yale

University, 1-38.
 Simens. 2009. European Green City Index, the Economist Intelligence Unit, 36-39.
 Simens. 2011. Asian Green City Index, the Economist Intelligence Unit, 32-35.

References

- Choi SY. 2011. A study on the development of the model and indicators for green growth city. Ph.D dissertation, Dongguk University, 153-177.
- Global Footprint Network. 2015. <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/methodology/>, Global Footprint Network.
- Green Growth Korea. 2012. A study on assessment and development of 2012 green growth ECORICH city, Green Growth Korea, 1-271.
- Kim MJ, Choi DI, Chang CK, Lee JW. 1993. Public environment index development, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 2(1), 31-38
- Ko KH, Kim HS. 2010. A study on development of low carbon green competitiveness indicators of local government, *Korean Association for Local Government Studies*, 22(3), 175-200.
- Laedre O, Haavaldsen T, Bohne RA, Kallaos J, Lohne J. 2015. Determining sustainability impact assessment indicators, *Impact Assessment and Project Appraisal*, 33(2), 98-107.
- Liu XG, Zhang YM. 2008. An empirical analysis of ecological city evaluation index system, *Proceedings of 2008 conference on regional economy and sustainable development*, 111-116.
- Ministry of Environment. 2007. Urban Environmental Indicators, Ministry of Environment, 1-290.
- Ministry of Environment. 2010. A study on guidelines and indicators of Low-carbon green urban development, Ministry of Environment, 1-191.
- Ministry of Environment. 2012. Excellent green city casebook, Ministry of Environment, 1-184.
- Ministry of Environment. 2013. Biotope mapping guidelines, Ministry of Environment, 1-40.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2015. http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1200, Statistics Korea.
- National Institute of Environmental Research. 1990. A study on the development and applications of environmental indices (I), National Institute of Environmental Research, 1-177.
- National Institute of Environmental Research. 1991. A study on the development and applications of environmental indices (II), National Institute of Environmental Research, 1-160.
- National Institute of Environmental Research. 1992. A study on the development and applications of environmental indices (III), National Institute of Environmental Research, 1-126.
- National Institute of Environmental Research. 2013. A Study on development and application of green city index for urban environmental management in Korea, National Institute of Environmental Research, 1-35.
- National Institute of Environmental Research. 2014. A study on development and

- application of Korean Environmental Sustainable City Index (ESCI) for urban environmental management in Korea (I), National Institute of Environmental Research, 1-47.
- Projectzero. 2015. <http://www.projectzero.dk/da-DK/TopPages/Om-ProjectZero.aspx>, Projectzero.
- Puppim de Oliveira JA, Balaban O, Doll CNH, Moreno-Penaranda R, Gasparatos A, Iossifova D, Suwa A. 2011. Cities and biodiversity: perspectives and governance challenges for implementing the convention on biological diversity (CBD) at the city level, *Biological Conservation*, 144, 1302-1311.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (SCBD). 2012. User's manual for the City Biodiversity Index, *Convention on Biological Diversity (CBD)*, 1-25.
- Sherbinin A, Reuben A, Kevy MA, Johnson L. 2013. Indicators in practice: how environmental indicators are being used in policy and management contexts, *Yale University*, 1-38.
- Simens. 2009. European Green City Index, the Economist Intelligence Unit, 36-39.
- Simens. 2011. Asian Green City Index, the Economist Intelligence Unit, 32-35.
- Song GS, Kim YO, Gwon YH. 2008. A study on construction and application of evaluation indicators in quality of life, *The Korean Association for Local Government Studies*, 12(4), 225-247.
- Urban Environment Research Institute. 2009. Bucheon Gogang eco-city pilot project detailed planning: creating a low-carbon green urban village, Ministry of Environment, 107-129.
- Urban Environment Research Institute. 2010. Suncheon eco-city pilot project master plan, Ministry of Environment, 89-94.