

ORIGINAL ARTICLE

저탄소 녹색도시 조성을 위한 정책 우선순위 연구

신연희 · 민미연 · 황은주 · 김종대*

인하대학교 지속가능경영학전공

Study on the Policy Priority for Low Carbon Green City

Yeon-Hee Shin, Mi-Youn Min, Eun-Joo Hwang, Jong Dae Kim*

Department of Sustainability Management, Inha University, Incheon 22212, Korea

Abstract

The purpose of this study is to establish common indicators that constitute a "low-carbon green city" and determine their priorities from the perspective of Incheon Metropolitan City with a view to help develop its climate change strategy strategic city. Several major cities, domestic and overseas, were benchmarked to come up with preliminary indicators consisting of six areas, twenty two planning factors, and 74 indicators. In order to evaluate the validity and relevance of preliminary indicators, expert FGI (Focus Group Interview) was conducted that changed the numbers of final indicators to six areas, twenty two planning factors, and 82 indicators. Finally, AHP (Analytic Hierarchy Process) was conducted to assign relative importance (i.e. weights) to each indicator. Through the layering process of AHP, the upper category of "field" and lower category of "planning factors" were set up as policy prerequisites for constructing a low-carbon green city (6 fields, 22 planning factors). The AHP results for the first level (fields), green city space was ranked first, followed by energy and resource circulation, green traffic, ecological preservation, green logistics, and governance. Among all planning factors, land use, energy efficiency, traffic system improvement, location planning, securing of ecological area, efficiency of logistics, and cooperative organization showed the highest priorities.

Key words : Climate change, Low carbon green city, Green city planning indicators, Incheon Metropolitan City

1. 서론

최근 전 지구적 이상기후와 생태계의 변화는 지구촌 환경을 급속도로 위협하고 있다. 특히 대기 중 온실가스(CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆ 등)는 이상기후뿐만 아니라 식량 부족, 자원과 에너지 고갈 등 심각한 글로벌 사회 문제를 야기하고 있다. 이를 극복하기 위하여, 유엔(UN)은 제21차 기후변화협약 당사국총

회(COP21,2015년)에서 196개 회원국의 신(新)기후체제 합의를 이끌어내고 이른바 “파리협정(Paris Agreement)”을 채택하여 공동 대응하기에 이르렀다. 우리나라도 Post-2020 신(新)기후체제에 대응하기 위하여 「중장기 기후변화전략」 및 구체적인 액션플랜을 담은 「제1차 국가기후변화대응 기본계획」을 마련하여 온실가스 감축, 기후변화대응, 국제협력 등 저탄소 사회로의 패러다임 전환을 추진하고 있다.

Received 13 July, 2017; Revised 16 August, 2017;

Accepted 18 August, 2017

*Corresponding author: Jong Dae Kim, Department of Sustainability Management, Inha University, Incheon 22212, Korea
Phone: +82-32-860-7757
E-mail: jdk@inha.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이러한 기후변화에 맞서는 국제 정세변화와 우리나라의 온실가스 감축목표를 달성하기 위한 전략의 일환으로 도시 공간 전반을 저탄소 녹색도시로 전환하는 도시 형태들이 제안되었다. 저탄소 녹색도시는 “기존의 생태보전, 자연공생, 청정 환경을 내세웠던 ‘친환경도시’와 지속가능발전, 에너지자립, 자원순환 개념의 ‘지속가능도시’에 탄소저감, 탄소흡수, 신재생 에너지 등 ‘탄소저감도시’가 망라된 총괄 개념”으로 (Cho, 2015), “기존의 경제성장 패러다임을 친환경적으로 전환함으로써 시너지효과를 극대화 한다”고 할 수 있다(Wang et al., 2013). 특히 한국적인 상황에서의 저탄소 녹색도시는 “도시인프라와 생활양식을 저탄소형으로 개편하여 온실가스와 환경오염을 줄이고 신성장동력과 일자리를 창출하여 녹색성장을 견인하는 도시”로 정의된다(Korea Ministry Environment, 2011). 이는 탄소중립도시 원칙을 준수하며, 에너지 효율극대화를 위한 다양한 분야의 첨단기술 개발 및 에너지 절약형 도시공간구조를 갖는 재생가능 에너지 기반의 지속가능한 도시를 말한다(Kim et al., 2013).

Wang(2010)은 「녹색도시조성을 위한 계획수립 방안연구」에서 저탄소 녹색도시의 개념과 정부주도의 부처별 녹색도시 관련 사업추진 현황 및 사례를 종합하여 저탄소 녹색도시 계획을 위한 가이드라인을 제시하였다. 또한 Chang(2010)은 「기후변화에 대응한 저탄소 녹색도시 계획요소 도출 탄소저감 방안에 관한 연구」에서 기후변화에 대응하기 위한 국내·외 동향 및 사례조사를 통해 저탄소 녹색도시 계획요소를 도출하여 녹색도시 사례대상지를 선정하고 탄소저감 효과를 산정·제시하였으며, Yoon(2010)은 「저탄소 녹색도시 계획요소에 관한 연구」에서 저탄소 녹색도시에 대한 국내·외 주요정책 및 기존 연구 사례를 토대로 중요 계획요소를 비교하여 도출한 결과를 제시하였다.

Kim(2013)의 「탄소중립녹색도시 구현을 위한 계획지표 및 평가기준 연구」는 기존 선행연구 및 국내·외 선진사례 등 종합적인 고찰을 통해 1차 계획지표를 구축하고 FGI를 거쳐 적합성 검증 결과 구축된 최종 지표체계를 바탕으로 AHP 분석을 실시하여 마련한 ‘평가기준’ 체계에 의해 신도시와 기성도시를 비교·평가하여 개선안을 도출하였다. 또한 Kim et al.(2013)

의 연구는 탄소중립도시의 개념 및 국내·외 사례를 중심으로 각각의 중요 계획요소를 종합 분석하여 제시하였으며, Lee(2013)은 국내·외 사례 및 연구자료 등의 평가항목을 종합하여 저탄소 녹색도시에 대한 정량적인 평가기준 지표 도출과 적용결과를 보여주었다.

정부차원의 가이드라인으로 Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2015)는 「저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시·군 계획수립 지침」을 훈령으로 발표하였다. 이는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의해 도시·군 관리계획 수립기준을 정하여 저탄소 녹색도시 조성을 위한 종합적인 공간계획 수립을 유도하기 위한 지침이다. Korea Ministry of Environment(2010)는 「저탄소 녹색도시 조성 가이드라인 및 평가지표 연구」를 통해 저탄소 녹색도시 조성의 확산을 위한 가이드라인과 평가지표를 개발하여 평가체계 및 활용방법을 제안하였으며, 2011년 「저탄소 녹색도시 확산방안 연구」에서는 저탄소 녹색도시 조성을 위한 정량 평가지표를 마련하여 지자체가 활용할 수 있는 평가지원 프로그램을 개발·보급하였다.

본 연구의 목적은 인천이 가지고 있는 환경적인 취약성을 저탄소 녹색도시로 재구성하는 계기로 마련하기 위하여 “저탄소 녹색도시”를 구성하는 공통지표를 설정하고, 우선순위를 선정함으로써 지역특성에 맞는 전략적 도시개발을 조성하는데 있다. 인천광역시는 서해안에 위치한 항구도시로 인천국제공항과 인천항을 중심으로 경제자유구역(송도, 영종, 청라) 개발, 녹색기후기금(GCF) 유치, 해양도서자원 등 무한 잠재력을 가진 동북아 관문 도시로 발전하고 있다. 그러나 전국 232개 지방자치단체를 대상으로 탄소중립 수준을 측정한 연구 자료에 의하면, 인천은 탄소중립 종합평가 결과 152위로 하위그룹에 속하고 있다. 특히 저탄소 녹색도시의 평가 척도인 탄소중립지표는 7대 특·광역시 중에서 가장 낮은 순위를 나타내고 있다.

본 연구의 지표구축 과정은 크게 3단계로 구분한다. 첫째, 기존 선행연구 및 정책자료 분석, 국내·외 선진사례에 대한 종합적인 고찰과 공항과 항만 등 배후단지에 인접해 있는 인천의 지역 특성을 반영하여 1차 지표체계를 도출한다. 둘째, 1차 지표체계에 대한

전문가 FGI를 실시하여 개별 지표의 적합성을 검증 보완하는 과정을 거쳐 최종 지표체계를 도출한다. 마지막으로 동 지표체계에 AHP 기법을 활용하여 중요도 부여 후 계층화 하여 최종 결과를 도출하였다.

2. 분석 방법

2.1. 1차~최종 지표체계 도출

저탄소 녹색도시에 대한 선행연구와 정책연구 자료, 국내·외 선진사례 등 기존에 수행되어 온 사례연구 결과를 비교 검토하여 1차 계획지표를 도출하였다. 본 연구에서 기존의 녹색도시 지표를 참조하여 지표 구성의 출발점으로 삼기 위해 국내·외 사례 조사를 실시하였다. 대상이 된 도시는 강릉시, 수원시, 부산광역시, 독일 프라이부르크, 일본 요코하마, 스웨덴 하마비, 브라질 쿠리치바 등 7개이며, 각 도시별 저탄소 녹색도시를 조성하기 위한 지표설정 및 세부 실행요소에 대하여 검토하였다.

여기에 선행연구 자료나 정책 자료에는 저탄소 녹색도시 조성을 위한 계획지표에 물류부문을 포함하고 있지 않아 온실가스 배출에 상당한 비중을 차지하는 수송 분야가 저탄소 녹색도시의 계획요소로 적합할지 여부를 추가로 검토하였다. 녹색물류산업의 선진운영 사례를 통해 국내 녹색물류 실현을 위한 추진 전망 및 정책적 발전방향을 제시한 「국내·외 온실가스 감축 정책 및 녹색물류체계 구축방향(Min et al., 2010)」, 「녹색물류산업의 해외동향 및 시사점(Lee, 2011)」, 「그린경영의 사례연구: 물류기업을 중심으로(Lee et al., 2012)」, 「기후변화대응을 위한 주요국의 물류분야 법제 동향에 관한 연구(Choi, 2016)」 등 물류관련 문헌자료 및 인터넷 자료, 현재 추진 중인 정책 등을 바탕으로 별도로 조사하였다.

주요 도시 중 수원시, 프라이버그, 하마비의 저탄소 녹색도시 계획요소를 종합하여 검토한 결과, 친환경 토지이용, 녹색교통, 에너지효율화, 자원순환, 자연생태 등 제도적 측면에서 5개 분야, 그리고 녹색생활 등 실천적 측면에서 1개 분야별 계획 요소들이 분류되었다(Table 1). 이와 함께 이전 문헌 중 Chang(2010)과 Lee(2013)에서 제시된 사례와 Land & Housing Institute (2009), Korea Ministry of Land, Infrastructure and

Transport(2015)에서 개발한 지표들에 대해서도 검토하였다(Table 2&3).

결과적으로 1차 지표체계는 6개 분야, 22개 계획요소에 74개 세부지표로 구성되었으며, 지표체계 구성과 각 세부지표의 분류가 적합한지, 본 연구에서 고려하지 못한 지표들은 없는지 등에 대한 전반적인 의견을 수렴하기 위하여 전문가를 대상으로 FGI (Focus Group Interviews)를 실시하였다. FGI 대상은 대학교수, 서울연구원, 국토연구원 등 관련 연구에 전문적 지식을 갖춘 전문가들이며 E-mail을 통해 실시하였다.

2.2. AHP 분석

전략적 저탄소 녹색도시 조성을 위한 상대적 중요도 분석을 실시하여 인천광역시 관점에서 최종 계획요소의 우선순위를 선정하고자 AHP 기법을 활용한 실증분석을 실시하였다.

AHP (Analytic Hierarchy Process) 기법은 합리적인 의사결정을 지원하기 위하여 1970년대 초반 Thomas L. Saaty에 의해 개발된 다기준 의사결정방법(Multiple Criteria Decision Making) 중의 하나로, '복합적이고 다수의 의사결정 요소들을 계층(Hierarchy)화하여 각 요소간 쌍대 비교(Pairwise Comparison)를 통해 중요도를 산출하는 분석 방법'이다.

본 연구에서 구축된 최종지표는 6개 분야, 22개 계획요소, 82개 세부지표들은 AHP 기법의 계층화 과정에는 2차 계층(6개 분야, 22개 계획요소) 구조로 설계하여 중요도 분석을 실시하였다. 82개의 세부지표는 실행단계에서 중요지표이기는 하나, 저탄소 녹색도시를 구성하기 위한 정책적 선행요소로 상위 항목인 '분야'와 하위 항목인 '계획요소'로 구분하여 2단계 구조로 계층화하여 분석하였다.

이와 함께, 최종 선정된 지표체계를 중심으로 지표들간의 중요도를 분석할 수 있는 설문조사를 실시하였다. 설문조사 대상은 계층분석의 특성상 전문가를 대상으로 설문을 시행하였으며, AHP 기법을 활용한 우선순위 및 가중치 산정을 위하여 대학교수, 연구원, 정책입안자, 지역시민단체, 환경분야 컨설턴트 등 관련 분야에 수년간 경력이 있는 전문가를 대상으로 실시하였다. 설문방식은 종측과 횡측의 평가항목을 이원 비교하여 종측의 평가항목이 횡측의 평가항목에

Table 1. Planning factors for low carbon green cities

Factors	Cities	Suwon (Korea)	Freiburg (Germany)	Hammarby (Sweden)	
System	Eco-friendly land use	<ul style="list-style-type: none"> *Redifing downtown space structure *Expansion of open space *Set-up walking green network *Enlargement of eco-friendly building *Protecting heat island effect 	<ul style="list-style-type: none"> *Multi-purpose intensive space plan *Building height restriction *Green rooftop and plant preservation *Minimal road pavement *Protecting heat island using waterway 	<ul style="list-style-type: none"> *Securing view axis by waterfront space *Securing open space *Installation of pedestrian mall between residential complexes *Ecological roads 	
	Green transportation	<ul style="list-style-type: none"> *Eco-friendly transportation (surface car, electric bus, bio modal tram) * Metropolitan traffic network, beltway network *Transit transfer centers *Pedestrian and bicycle road *Car sharing 	<ul style="list-style-type: none"> *11-year free public transportation pass, 50% off rail price *Introducing tram and street car *Promoting bicycle and bicycle road *Mandatory parking space *Introducing car-sharing system 	<ul style="list-style-type: none"> *Use of light rail transit, water taxi and bicycle *Provision of car sharing vehicles *Using bio gas as automobile fuel *Free toll for bio-gas cars *Restriction of car ownership for individual household (< 1.5) 	
	Natural ecology	<ul style="list-style-type: none"> *Adoption of biotops area ratio *Securing green-blue network *Creating ecological space *Securing carbon sinks *Vitalizing urban agriculture 	<ul style="list-style-type: none"> *Preserving existing vegetation *Protecting habitat of small animals *Converting children playground to eco-park 	<ul style="list-style-type: none"> *Artificial waterway for rain water *Connecting green network *Cultivating edible plants *Use of wooden fences *Installing wooden observation deck 	
	Energy efficiency	<ul style="list-style-type: none"> *Waste to energy *Biomass to energy *Energy self-supporting *Dissemination of renewable energy(e.g. solar and wind) 	<ul style="list-style-type: none"> *Compulsory energy-saving building *Establishing energy saving indicators for new buildings *Installing heat recovery facilities *Rotating photovoltaic building *Photovoltaic and solar heat *Small hydraulic and co-generation power 	<ul style="list-style-type: none"> *Establishing energy circulation system using renewable energy *Purchasing eco-friendly renewable energy *Solar heat use and installing heat panels (50% of heating) 	
	Resource circulation	<ul style="list-style-type: none"> *Building waste resource recycle system *Building integrated water management system *Reuse of rain and waste water 	<ul style="list-style-type: none"> *Use of waterway, protecting heat islands *Reuse of wastewater and sewage *Reuse of rain water and treated water *Waste resource recycling 	<ul style="list-style-type: none"> *Building resource circulation system for waste and waste water 	
	Implementation	Green life-style	<ul style="list-style-type: none"> *Implementing green card (carbon point system) *Green car insurance *Implementing civic education and advertising 	<ul style="list-style-type: none"> *Green consumption (establish civil corporation, participation of citizen and environmental group) 	<ul style="list-style-type: none"> *Environmental information (education and publicizing)

Table 2. Planning factors considered in previous literatures

Factors	Chang(2010)	Lee(2013)
Land use	<ul style="list-style-type: none"> * Intensive urban space * Multiple use planning * Layout considering sunshine and thermal environment * Layout considering wind way 	<ul style="list-style-type: none"> * Multiple use intensive space planning * Building eco-friendly residential complex * Securing wind way * Complex layout and greening
Renewable energy	<ul style="list-style-type: none"> * Solar energy * Geothermal energy * Wind energy * Bio energy * Fuel cell * Unused energy 	<ul style="list-style-type: none"> * Enlarging use of renewable energy * Production of waste energy
Green transportation	<ul style="list-style-type: none"> * Activating walk and bicycle * Vitalizing public transportation * Car-sharing * Auto-restricted zone * New transportation vehicle * Use of eco-friendly fuel 	<ul style="list-style-type: none"> * Vitalizing public transportation * Low carbon transportation * Activating bicycle
Green belt	<ul style="list-style-type: none"> * Carbon sink park * Planting for carbon absorption * Establishing buffer green zone * Establishing green axis * Greening building 	<ul style="list-style-type: none"> * Establishing green network * Establishing carbon absorbing green parks * Greening building surface and rooftop
Resource circulation	<ul style="list-style-type: none"> * Recycling wastes * Technology development for waste treatment * Use of recycled resources * Recycling food waste 	<ul style="list-style-type: none"> * Building resource circulation system * Reuse of waste
Green building	<ul style="list-style-type: none"> * Passive house * High efficiency equipment * Natural lighting and ventilation * Atrium * Building energy management system * Smart grid system 	<ul style="list-style-type: none"> * Energy saving building * Use of high performance insulation * Passive solar system
Water circulation	<ul style="list-style-type: none"> * Reuse of rain and treated water * Waterside parks * River and streamlet * Securing ecological areas 	<ul style="list-style-type: none"> * Reuse of rain water * Use of treated water * Increasing ecological areas * Preserving urban river and wetland
Green economy	-	<ul style="list-style-type: none"> * Mitigation projects * Mitigation efficiency improvement * Low carbon products * Low carbon production process

비해 상대적으로 어느 정도 중요한지, 또는 어느 정도 비효율적인지를 평가기준에 따라 “1, 3, 5, 7, 9” 또는 “-1, -3, -5, -7, -9”까지의 척도를 기입하도록 하였다. 설문조사는 E-mail을 통해 진행되었으며, 전체 42부 설문지를 배부하여 38부(회수율 90.5%)를 회수하였다.

AHP는 설문 응답결과의 신뢰성 검증을 위하여 일관성비율(CR: Consistency Ratio)로 응답의 일관성을 판단하는데, CR값이 10%(0.1)보다 작을 경우 응답자에 신뢰성을 갖는다고 판단하고 CR값이 10%(0.1)보다 크면 신뢰성이 부족한 것으로 판단하였다. 분석결과 친환경 도시공간 분야의 하위 2차 계층에서 CR값이

Table 3. Planning factors considered in policy reports

Factors	Land & Housing Institute(2009)	Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2015)
Eco-friendly land use and landscape	<ul style="list-style-type: none"> * Wind way * Compositive land use * Natural river * Streamlet * Aquatic biotop 	<ul style="list-style-type: none"> * Establishing urban space * High density compositive land use * Location analysis * Wind way
Renewable energy and energy saving	<ul style="list-style-type: none"> * Use of solar heat * Photovoltaic power generation * Solar heat system * Wind power generation * Small hydraulic generation * Use of geothermal energy * Use of biomass energy * Waste energy production * Energy saving building facility 	<ul style="list-style-type: none"> * Introducing renewable energy * Supply of group energy * Cogeneration * Clean energy * Use of waste heat
Green transportation	<ul style="list-style-type: none"> * Public transportation linkage system * Pedestrian and bicycle road * Eco-friendly transportation * Job-housing proximity * Densification of public transportation node 	<ul style="list-style-type: none"> * Public transportation, bicycle, pedestrian focused green transportation system transformation * Public transportation exclusive district * Public transportation composit transfer facility * Three dimensional transportation * Low emission automobile * Vitalizing non-powered transportation including walk and bicycle * Enlarging public transportation including BRT, subway, light subway * Pedestrian-friendly street network * Functional roadway layout * Automobile stations
Green zone	<ul style="list-style-type: none"> * Establishing green network * Carbon absorption parks and green zone * Ecological space * Three dimensional greening 	<ul style="list-style-type: none"> * Creating ecological forests * Urban greening(building, parking lot) * Enlarging parks and green zone * Greening rooftop landscape and building surface * Waterfront space * Preserving forests * Creating streamlet, permeable pavement
Resource circulation	<ul style="list-style-type: none"> * Permeable pave materials * Recycling waste * Rain water recycle facility * Utilizing rain water and water resources * Treated water recycle system * Increasing ecological space 	<ul style="list-style-type: none"> * Dispersal rain water management system * Installing rain water management facility * Restoring water circulation system * Reduction of waste * Waste reuse and recycling
Green building	<ul style="list-style-type: none"> * Eco-friendly building materials * Greening building 	<ul style="list-style-type: none"> * Introducing green building/home * Planting in the vicinity of building

10%(0.1)보다 큰 Data 4부가 일관성이 부족하다고 나타난 것을 제외하고 모든 자료는 CR값이 10%(0.1)보

다 작게 나타나 일관성을 가지는 것으로 분석되었다.

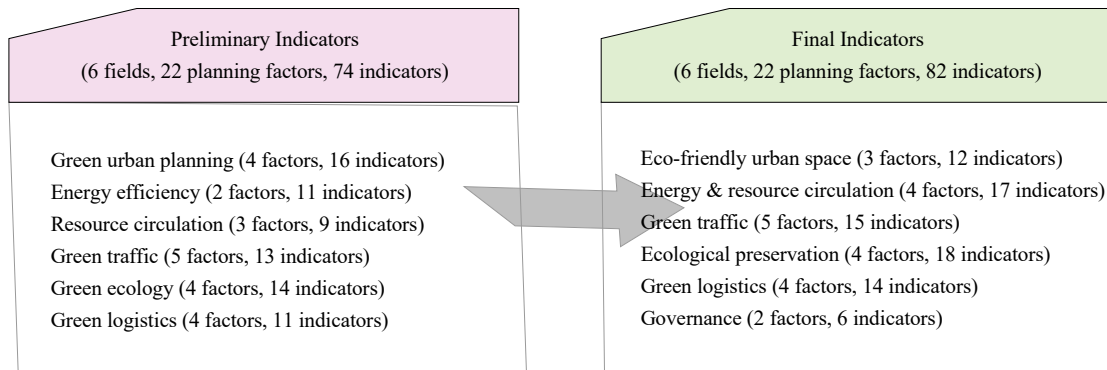


Fig. 1. Final indicators reflecting FGI results.

3. 분석 결과 및 고찰

3.1. 1차 지표체계 도출 결과

기존 선행연구와 정책자료, 국내·외 사례를 고찰하여 각각의 계획요소를 비교 검토한 결과, 유사하고 상관성 있는 종합적인 공통지표를 추출하여 1차 계획요소를 도출하였다(Table 4). 앞에서 제시된 선행연구와 문헌조사 및 선진사례에서 제시된 각각의 계획요소를 바탕으로 비교 분석하여 유사하고 상관성 있는 공통지표를 추출한 결과, 녹색도시계획(4), 에너지효율화(2), 자원순환(3), 녹색교통(5), 녹색생태(4)의 5개 분야에 18개의 계획요소를 설정하여 총 63개의 세부지표를 도출하였다. 여기에 기후변화와 대기오염에 상당한 영향을 미치고 있는 분야인 물류부분에 대한 지표를 설정하기 위해 각종 인터넷 자료와 녹색물류에 대한 연구자료, 현재 추진되고 있는 정책 및 기술 등을 종합 분석하여 녹색물류 분야에 4개의 계획요소와 11개의 세부지표를 더하여 총 6개 분야에 22개 계획요소, 74개의 세부지표를 1차 계획요소로 도출하였다.

3.2. 최종 지표체계 도출 결과

FGI를 수행한 결과 분야별 계획요소 및 세부지표를 보완하여 총 6개 분야, 22개 계획요소에 82개 세부지표로 재구성하였으며, 1차 지표에서 전체 분야 및 계획요소의 증감은 없었으나, 분야별 구성요소의 분류에는 아래 그림에서 보듯이 변화된 지표체계를 보이고 있으며, 세부지표에서는 1차의 74개에서 8개 지

표가 증가된 82개 세부지표를 구성하면서 최종 지표체계를 구축하였다(Fig. 1).

1차 지표에 대한 전문가들의 인터뷰 결과 「녹색도시계획」이라는 분야명칭이 포괄적인 의미를 내포하고 있어 저탄소 녹색도시 구성에 적합한 「친환경 도시공간」으로 분야명칭을 변경하였다. 또, 녹색산업은 산업계에서 종합적으로 온실가스를 줄이려는 프로세스를 운영하고 있어 도시를 구성하는 지표에서는 제외하였다. 이와 함께, 자원 및 폐자원을 에너지화하는 추세를 고려하여 ‘에너지’와 ‘자원순환’ 분야를 ‘에너지 및 자원순환’으로 하나로 묶었으며, 기존에는 정량적인 측정이 어려운 부분이라 제외되었던 ‘거버넌스’ 분야도 도시구성에 있어서 지역사회와의 커뮤니티와 협력이 점차 강조되고 있는 현실을 고려하여 추가로 반영하였다. 이외에 녹색물류 추가, 녹색생활실천, ‘2030 인천도시기본계획(Incheon, 2015)’과 ‘제2차 녹색성장 5개년 계획(Korea Government, 2014)’에서 제시된 지표들도 검토하여 반영하였다(Table 5).

최종 구축된 지표체계는 6개 분야, 22개 계획요소, 82개 세부지표로 재구성되었으며, 다양한 녹색기술과 프로그램들을 포함한 더 많은 지표들을 포함하게 되었다(Table 6).

3.3. 분야별 중요도 분석 결과

본 연구의 저탄소 녹색도시 지표체계에서 1차 계층 구조에 해당하는 친환경 도시공간, 에너지 및 자원순환, 녹색교통, 생태보전, 녹색물류, 거버넌스 등 6개 분야에 대한 상대적 중요도 분석을 실시하였다.

Table 4. Preliminary indicators for low carbon green city

Factors	Sub-factors	Indicators
Green urban planning (4)	Land use(4)	Compressive and compositive development, dispersal · centralized space lanning, securing green zone and waterfront space
	Location planning(3)	Location analysis, ecological and urban landscape, wind way
	Green building(5)	Building layout, eco-friendly building materials, greening building, green home, building energy performance grading certification system
	Green industry(4)	Mitigation projects, low carbon products, low carbon emission process introduction, improving eco-friendly facility
Energy efficiency (2)	Energy self-supporting(4)	Photovoltaic power, high efficiency facility, passive design, cogeneration
	Renewable energy(7)	Solar heat, photovoltaic, wind, geothermal, biomass, marine energy, fuel cell
Resource circulation (3)	Utilizing water resources(3)	Reuse of rain and treated water, waste water treatment ratio, water saving circulative water and sewage system
	Resource circulation(3)	Waste recycling, waste energy recovery system, resource circulation, green marketplace
	Waste management(3)	Solid waste separation collection, treatment ratio automatic collection system
Green transportation (5)	Green public transportation(2)	Metropolitan transit, BRT
	Public transportation accessibility(3)	Metropolitan public transportation system, linkage of transfer system, circulation road network
	Use of green car(4)	Compact cars, electric vehicles, natural gas hybrid bus, ecological parking space
	Pedestrian/bicycle exclusive roads(3)	Pedestrian and bicycle road system, bicycle racks, eco-friendly parking facilities
	Vitalizing car sharing(1)	Car and bicycle sharing
Green ecology (4)	Securing ecological space(6)	Roadside trees, trees, green way, waterfront space, streamlet, permeable paving
	Securing ecological axis(3)	Ecological stream, S-shaped green corridor blue-green network
	Carbon sinks(3)	Carbon neutral forests, securing green space ecological playground
	Preserving bio-diversity(2)	Preserving habitats (biotope, wetland etc.), ecological corridor
Green logistics (4)	Efficient logistics(2)	Green logistics management system (logistics energy, information etc.), building green port
	Logistics/ transportation(3)	Eco-friendly transportation (Modal-Shift), eco-friendly mass composit connected logistics-transportation system, increased vehicle operation efficiency (increased loading rate etc.)
	Logistics base(3)	Joint logistic service (freight consolidation), optimizing logistic route, integrated freight terminal
	Logistics facilities(3)	Low emission logistic equipment (LNG truck, Electric-powered Gantry train etc.), clean energy(LNG etc.), Enlarged transportation vehicles

Table 5. FGI results

	Comments
Composition	<ul style="list-style-type: none"> o Reflect major characteristics of Incheon area logistics o Include energy efficiency to waste management o Add water circulation to resource circulation field o Add governance field (collaboration, green lifestyle, green activism etc.) o Add urban agriculture to green ecology and the corresponding indicators (urban agricultural area etc.) o Consider 통경축 in green urban planning o Change ‘wet-land preservation’ to ‘wet-land preservation and creation’ o Change green ecology to ecology preservation o Change blue-green network to green network or water environment network o Add coastal environment to ecology o Present ways to increase ecological areas
Relevance	<ul style="list-style-type: none"> o Check the relevance of ‘green urban planning title and classification’ → Review green consumption and production classification and check if green industry needs to be included in their indicators o Provide a rationale for including green logistics as one of low carbon green city elements → reason for separating green traffic and green logistics o Review S-shaped green axis as a general term o Review what fields can be improved by car sharing
Others	<ul style="list-style-type: none"> o Clearly define low carbon green city o Distinguish between conventional green city and sustainable city o Consider unique aspects of Incheon city o Refer to ‘Green Growth Strategy reports’ and ‘OECD Green Growth Indicators’ in selecting indicators o Establish strategies that fit Incheon City (based on ‘2030 Incheon City Urban Master Plan’)

분석결과, 친환경 도시공간이 0.389로 가장 중요한 요인으로 나타났고 다음은 에너지 및 자원순환(0.155), 녹색교통(0.143), 생태보전(0.131), 녹색물류(0.093), 거버넌스(0.089)의 순으로 나타났다(Table 7).

1차 계층구조의 하위 항목들(계획요소)간 중요도 분석을 실시한 결과, 첫 번째 친환경 도시공간의 하위 2차 계층에 해당하는 토지이용이 0.645로 가장 높게 나타났고, 입지계획(0.228), 녹색건축(0.127)의 순으로 상대적 중요도가 분석되었다(Table 8).

두 번째 에너지 및 자원순환의 하위 2차 계층 분석 결과, 에너지 효율화(0.476), 물순환(0.206), 폐자원 에너지화(0.177), 폐기물 관리(0.141)의 순으로 상대적 중요도가 높게 나타났다(Table 9).

세 번째 녹색교통의 하위 2차 계층 분석결과, 교통체계 개선(0.368), 대중교통 활성화(0.216), 자동차(자전거) Sharing(0.154), 그린카 이용(0.135), 보행자 및 자전거 전용도로(0.127)의 순으로 상대적 중요도

가 높은 것으로 분석되었다(Table 10). 네 번째 생태보전의 하위 2차 계층 분석결과, 생태면적 확보(0.497), 생태축 확보(0.277), 탄소흡수원(0.136), 생물다양성(0.090) 순으로 상대적 중요도가 분석되었고(Table 11), 다섯 번째 녹색물류의 하위 2차 계층 분석결과, 물류효율화(0.476), 물류운송(0.258), 물류거점(0.133), 물류장비(0.133)의 순으로 상대적 중요도가 분석되었다(Table 12). 마지막으로 거버넌스의 하위 2차 계층 분석결과, 협력조직(0.644), 녹색실천(0.356)의 순으로 분석되었다(Table 13).

3.4. 계층간(전체지표) 분석 결과

전체요인별 상대적 중요도를 분석하기 위하여 계층 간, 요인 간 분석결과, 토지이용(0.203)이 가장 높은 것으로 나타났고 에너지 효율화(0.081), 교통체계 개선(0.075), 입지계획(0.072), 생태면적 확보(0.068), 물류 효율화(0.048), 협력조직(0.046) 등의 순으로 상대적 중요도가 높게 나타났다. 위의 분석결과 22개

Table 6. Final indicators for low carbon green city

Factors	Sub-factors	Indicators
Eco-friendly urban space (3)	Land use(3)	Compressive and compositive development, usable land ratio
	Location planning(5)	Location analysis, concentrated space layout, view axis, wind way, securing open space
	Green building(5)	Eco-building, energy-zero building, eco-friendly building materials, greening building, building energy performance grading certification system
Energy and resource circulation (4)	Energy efficiency(4)	Renewable energy use, high efficiency energy saving products, energy self supporting, cogeneration
	Waste energy(2)	Waste energy recovery system, unused energy supply system
	Waste management (5)	Waste recycling, waste treatment ratio, reduction of food waste, automatic waste collection system, resource circulation flea market
Green transportation (5)	Water circulation(6)	Dispersed rain management system, reuse of rain and treated water, waste water treatment ratio, circulative water and sewage system retention pond and reservoir, water saving equipments
	Improving traffic system(4)	Establishing ITS, three-dimensional traffic system, inter-islands water transportation system, pedestrian-friendly roads
	Public transportation vitalization(3)	Metropolitan public transportation system, BRT, metropolitan compositive transfer system
	Use of green car(2)	Eco-friendly cars, ecological parking space
	Pedestrian/bicycle exclusive roads(3)	Pedestrian and bicycle road system, bicycle racks
Ecology preservation (4)	Car & bicycle sharing(3)	Operating car sharing system, establishing car sharing base, car sharing use ratio
	Securing ecological space(7)	Natural ground green areas, green area ratio, waterfront space, streamlet, permeable paving, urban agriculture areas, ecological playground
	Securing ecological axis(4)	Ecological stream, metropolitan green axis, securing waterfront areas, eco trail
	Carbon sinks(4)	Urban afforestation, marine afforestation, enlarging green parks, afforestation projects
Green logistics (4)	Preserving bio-diversity(3)	Preserving habitats (biotope, wetland etc.), creating wetlands, ecological corridor
	Efficient logistics(3)	Integrated logistics support system, green logistics management system (logistics energy, information etc.), building green port
	Logistics/ transportation(4)	Eco-friendly transportation (Modal-Shift), Composit connected logistics-transportation system, establishing CVO, increased vehicle operation efficiency (increased loading rate etc.)
	logistics base(3)	Joint logistic service (freight consolidation), optimizing logistic route, integrated freight terminal
Governance (2)	Logistics facilities(3)	Low emission logistic equipment, shift to low emission facility, clean energy use, enlarged transportation vehicles
	Cooperative organization(3)	Citizen participatory organization, cross-sectoral network, local community council
	Green lifestyle(3)	Participation in green point system, eco-drive, fostering green leaders

Table 7. First hierarchy weight evaluation

	Fields	Weights	Ranking
First hierarchy	Eco-friendly urban space	0.389	1
	Energy and resource circulation	0.155	2
	Green traffic	0.143	3
	Ecological preservation	0.131	4
	Green logistics	0.093	5
	Governance	0.089	6
C.R		0.04	

Priorities with respect to:
Goal

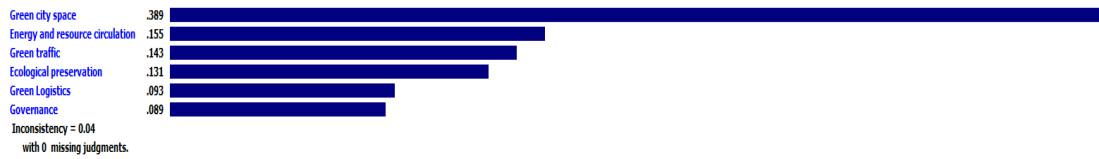


Table 8. Second hierarchy evaluation for eco-friendly land use

	Fields	Planning factors	Weights	Ranking
Eco-friendly land use		Land use	0.645	1
		Location planning	0.228	2
		Green building	0.127	3
C.R		0.08		

Priorities with respect to:
Goal
>Green city space



Table 9. Second hierarchy evaluation for energy & resource circulation

	Fields	Planning factors	Weights	Ranking
Energy and resource circulation		Energy efficiency	0.476	1
		Waste energy	0.177	3
		Waste management	0.141	4
		Water circulation	0.206	2
C.R		0.09		

Priorities with respect to:
Goal
>Energy and resource circulation



Table 10. Second hierarchy evaluation for green traffic

Fields	Planning factors	Weights	Ranking
Green traffic	Transportation system improvement	0.368	1
	Vitalization of public transportation	0.216	2
	Car(Bicycle) sharing	0.154	4
	Green car use	0.135	5
	Pedestrian and bicycle roads	0.127	3
C.R			0.03

Priorities with respect to:
Goal
>Green traffic

Transportation system improvement .368
Vitalization public transportation .216
Car(bicycle) sharing .154
Green car use .135
pedestrian and bicycle roads .127
Inconsistency = 0.03
with 0 missing judgments.

Table 11. Second hierarchy evaluation for ecological preservation

Fields	Planning factors	Weights	Ranking
Ecological preservation	Securing ecological area	0.497	1
	Securing ecological axis	0.277	2
	Carbon sinks	0.136	3
	Ecology diversity	0.090	4
C.R			0.08

Priorities with respect to:
Goal
>Ecological preservation

Securing of ecological area .497
Securing of ecological axis .277
Carbon sink .136
Biological diversity .090
Inconsistency = 0.08
with 0 missing judgments.

Table 12. Second hierarchy evaluation for green logistics

Fields	Planning factors	Weights	Ranking
Green logistics	Efficiency of logistics	0.476	1
	Logistics transportation	0.258	2
	Logistics base	0.133	4
	Logistics equipment	0.133	4
C.R			0.08

Priorities with respect to:
Goal
>Green Logistics

Efficiency of logistics .476
Logistics transportation .258
Logistics base .133
Logistics equipment .133
Inconsistency = 0.08
with 0 missing judgments.

Table 13. Second hierarchy evaluation for governance

Fields	Planning factors	Weights	Ranking
Governance	Cooperative organization	0.644	1
	Green practice	0.356	2
C.R			0.00

Priorities with respect to:
Goal
>Governance



지표에 대한 평균 종합가중치는 0.045로 나타났으며, 평균 수치를 기준으로 중요도가 높은 상위그룹에 속하는 지표들과 상대적 하위그룹을 구분하면 7개의 지표가 상위그룹에 속하는 것으로 나타났다(Table 14).

위 분석결과를 종합해 보면, 전체 22개의 지표 중 상위그룹의 7개 지표와 1차 계층분석 결과에서 나타난 순위는 일관성을 보인다. 1차 계층분석 결과 친환경 도시공간이 가장 높은 순위로 나타났으며, 에너지 및 자원순환, 녹색교통, 생태보전, 녹색물류, 거버넌스 순이었으며, 전체 지표중 상위그룹에 속하는 7개 지표에서도 가장 우선 고려하여 할 요소로 토지이용이 중요한 요인으로 나타났으며, 다음은 에너지 효율화, 교통체계 개선, 입지계획, 생태면적 확보, 물류효율화, 협력조직의 순으로, 하위계층(2차)의 지표가 1차 계층분석의 중요도에 따라 상위그룹에 고루 분포하는 결과를 보이고 있다.

이와 같이 상위계층(1차)과 하위계층(2차)간 지표 우선순위에 모든 분야의 계획요소 지표들이 고루 포함되어 있다는 것은 인천광역시 관점에서 저탄소 녹색도시를 만들려면 모든 범위의 우선지표를 고려하여야 전략적인 도시개발이 가능하다는 것을 보여준 결과라고 할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 저탄소 녹색도시 조성을 위한 전략적 개발계획을 추진하는데 있어 적용가능한 공통지표 체계를

를 구축하고, 인천광역시 관점에서 AHP 기법을 활용한 중요도 분석을 실시하여 저탄소 녹색도시 조성을 위한 지표간 우선순위를 선정하는데 목적이 있다.

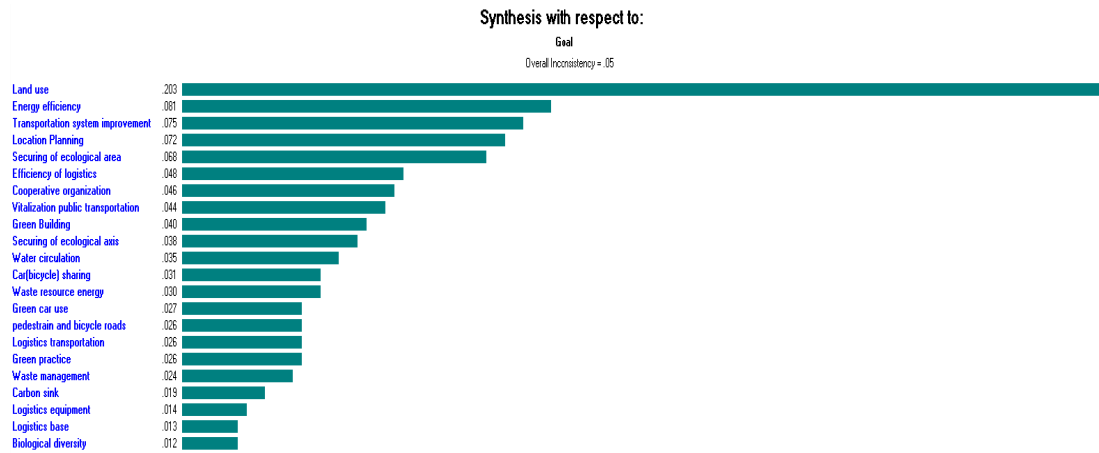
기존연구(선행연구, 정책자료, 선진사례 등)를 종합하여 1차 지표 체계를 도출하고, FGI를 통한 적합성 검증 및 AHP 기법을 활용한 중요도 분석을 실시하여 최종 지표체계를 구축하였다. 특히 본 연구에서는 대형유통단지, 복합쇼핑몰, 택배물량 증가 등 도심을 중심으로 한 물류환경이 변화하고 있는 점을 고려하여 도시구성 요소에 물류부문을 포함하여 지표화 하였다.

최종 지표는 6개 분야, 22개 계획요소, 82개 세부지표체계가 도출되었으며, 중요도 분석을 통해 인천광역시 관점에서 저탄소 녹색도시 조성을 위한 전략적 개발계획의 우선순위를 선정하였다. AHP 기법의 계층화 과정에서 저탄소 녹색도시를 구성하기 위한 정책적 선행요소로 상위 항목인 ‘분야’와 하위 항목인 ‘계획요소’를 대상으로 설정하고, 2차 계층(6개 분야, 22개 계획요소) 구조로 계층화하여 분석하였다.

분석결과, 1차 계층(분야)에서는 친환경 도시공간, 에너지 및 자원순환, 녹색교통, 생태보전, 녹색물류, 거버넌스 순으로 중요도가 나타났다. 전체 지표중 상위그룹에 속하는 7개 지표를 보면 토지이용, 에너지 효율화, 교통체계 개선, 입지계획, 생태면적 확보, 물류효율화, 협력조직의 순으로 나타남으로써, 상위계층(1차) 분석의 중요도에 따라 하위계층(2차)의 지표가 상위그룹에 고루 분포하는 결과를 보이고 있다.

Table 14. Weights and ranking of factors

Final goal	Planning factors	Weights	Ranking
Low carbon Green City	Land use	0.203	1
	Increased energy efficiency	0.081	2
	Improved transportation system	0.075	3
	Location planning	0.072	4
	Securing ecological spaces	0.068	5
	Increased efficiency in logistics	0.048	6
	Cooperative organization	0.046	7
	Vitalizing public transportation	0.044	8
	Green building	0.040	9
	Securing ecological axis	0.038	10
	Water circulation	0.035	11
	Car & bicycle sharing	0.031	12
	Waste-to-energy	0.030	13
	Use of green car	0.027	14
	Pedestrian and bicycle roads	0.026	17
	logistic and transportation	0.026	17
	Green practice	0.026	17
	Waste management	0.024	18
	Carbon sinks	0.019	19
	Logistics facilities	0.014	20
	Logistics hub	0.013	21
	Ecological diversity	0.012	22



결국 인천지역의 저탄소 녹색도시를 조성하기 위해서는 토지이용이 가장 중요한 요인으로, 에너지 효율화, 교통체계 개선, 입지계획, 생태면적 확보, 물류 효율화, 협력조직 등의 상위 그룹에 속한 각 분야별 계획요소들을 모두 고려하여야 전략적인 개발이 가능하다는 것을 알 수 있다.

이러한 분석결과를 종합해 볼 때, 친환경 도시공간의 계획요소인 토지이용과 입지계획이 전체 지표 중 상위그룹에 속한 것은 저탄소 녹색도시를 조성함에 있어 토지이용과 입지계획이 도시형태를 구상하는 초기 기획단계에서부터 가장 먼저 반영되어야 하는 중요성을 보여준다. 즉, 에너지 효율성, 교통체계, 생태

면적 확보, 물류 효율화, 협력조직 등의 우선순위를 고려하여 개발계획에 적용하는 것이 향후 인천광역시의 탄소중립지표를 높이는 전략적인 도시개발이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구의 시사점은 인천광역시의 전략적인 도시 개발을 수행하기 위해서는 도시구상 초기 입안단계에서부터 어떤 요소를 적용하여 반영하느냐와 시민과 지역사회가 함께 참여하여 다양한 의견수렴 과정을 거쳐야 효율적이고 일관성 있는 저탄소 녹색도시의 개발이 가능할 것이다. 또한, 저탄소 녹색도시 조성을 위하여 초기 기획단계에서부터 유지관리에 이르기까지 전 과정에 대하여 지속적인 지표별 모니터링을 통한 사후 성과관리와 도시개발에 참여하는 모든 요소들이 하나의 공감대를 형성하여야 지속가능한 미래 도시모델로 인천광역시가 발전할 수 있을 것이다.

또한, 인천광역시 관점에서 저탄소 녹색도시 계획 지표의 우선순위를 선정하였지만, 대부분의 도시에서 저탄소 녹색도시를 개발하는데 유사한 패턴과 동일한 분야를 고려할 수 있는 지표로써, 모든 저탄소 녹색도시 개발지표의 적용에 기여하는 것이 가능할 것으로 기대한다.

감사의 글

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- Busan Metropolitan City, 2012, The 2030 Busan plan.
- Chang, W. Y., 2010, A Study on eliciting planning indicators of low-carbon green city and CO₂ reduction plan responding to climate change, Master's Dissertation, Korea University, Seoul.
- Cho, K. D., 2015, Vision design and the issue analysis for future green city, Incheon Development Institute.
- Choi, K. H., 2016, A Study on legislation trends of logistics in selected countries for coping with climate change, Korea Legislation Research Institute.
- Hong, J. K., 2011, Development of indicators for measuring carbon-neutrality level of local government, Ph.D. Dissertation, Seoul National University, Seoul.
- Incheon Metropolitan City, 2015, The 2030 Incheon plan.
- Kim, J. Y., Nam, Y. W., 2014, A Study on the planning factors of domestic and foreign carbon neutral city for carbon reduction, J. of Korea Institute of Spatial Design, 8(4), 103-112.
- Kim, T. H., Choi, H. S., Shin, Y. C., Park, C. H., 2013, Promoting strategies and case study of development for low carbon, green growth, J. of the Korean Society of Civil Engineers, 61(4), 46-54.
- Kim, Y. M., 2013, A Study on the planning indicators and evaluation criteria for carbon neutral green city, Ph.D. Dissertation, Hanyang University, Korea.
- Korea Ministry of Environment, 2010, Guideline and evaluation indicator for low carbon and green city.
- Korea Ministry of Environment, 2011, Enlargement of low carbon and green city.
- Korean Government, 2014, Second five-year-plan for green growth.
- Land & Housing Institute, 2009, Study on green city development for low carbon green growth.
- Lee, J. H., 2013, Development and application of quantitative assessment indicators for low-carbon green city, Ph.D. Dissertation, Kangwon National University, Korea.
- Lee, M. Y., 2011, The implications based on review to foreign green logistics industry, Korea Research Institute for Human Settlements.
- Min, Y. J., Jang, H. J., 2010, Korea's GHG mitigation strategies and initiatives for green logistics, J. of Korea Transportation Research Society, 7(5), 15-26.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015, Guideline for planning low carbon green city development.
- Presidential Committee on Green Growth, 2009, National strategy for green growth.
- Suwon City, 2014, The 2030 Suwon plan.
- Wang, K. I., 2010, A Study of formulation of plans for green city composition, Korea Research Institute for Human Settlements.
- Wang, K. I., Yoo, S. C., Rho, K. S., Min, K. J., 2013, A Study on the strategic plan for developing carbon neutral environment-friendly city, Korea Research Institute for Human Settlements.
- Yoon, S. S., 2010, A Study on the urban planning elements for low carbon green city, Master's Dissertation, Daegu University, Korea.