

저탄소 녹색도시 구현을 위한 물 계획 요소에 관한 연구*

유윤진** · 손세형*** · 김도년****

A Study on the Water Planning Elements for Low Carbon Green City*

Yoon Jin Ryu** · Sae Hyung Sohn*** · Do Nyun Kim****

요약 : 본 연구는 탄소저감, 생태도시, 지속가능한 도시 계획에 관한 국내외 선진국의 수(水)환경계획 요소를 고찰하여 국내 저탄소 녹색도시를 위한 효율적인 수(水)환경계획에 대한 기본방향을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 국외의 지속가능한 도시 구현을 위한 수(水)환경계획 요소와 국내 관련 지침을 고찰하여 물 계획 요소를 도출하였다. 이를 바탕으로 국내 전문가를 대상으로 수(水)환경계획 요소의 중요도-활용도 인식조사를 실시하였다. 그 결과 저탄소 녹색도시 구현을 위해서는 수자원 이용이 가장 중요한 요소로 나타났으며 그 다음으로 생태환경 조성, 물리적 물 사용, 생물다양성 형성이 중요한 순위로 나타났다. 중요한 계획요소를 통해 단순한 물을 하나의 도시설계 요소로만 이용하는 것이 아니라 도시형태 및 기능을 결정하고 도시에서 물 이용 접근성을 개선하여 물리적 환경의 질을 향상시키고 환경보존은 물론 자연과의 공생을 도모하는 방법이 필요하다. 본 연구는 탄소저감 녹색도시 구현 시 물 이용을 적극적으로 활용할 수 있는 계획 요소를 도출하는데 큰 의의가 있다.

주제어 : 저탄소, 녹색도시, IPA, 물 계획, 도시계획

ABSTRACT : This research seeks to study elements of domestic and foreign water environment planning on low carbon, eco-friendly and sustainable city establishment and present fundamental direction for more effective water environmental plans on building a low carbon green city in South Korea. To this end, the research drew water plan elements in consideration of foreign aqua environment plan elements and related domestic guidelines. Based on these, domestic experts were surveyed for their awareness on the significance-application of the aqua environment plan elements. As a result, this research found that, for a low carbon green city realization, water resource use was the most important elements of all, followed by eco-friendly surrounding promotion, physical water use and biodiversity enrichment. These research findings point out that we need more than just use water as one element of city designing but as a fundamental element determining a city shape and function and we also need to improve intra-city aqua access to elevate the quality of physical environment while preserving environment and realizing peaceful co-existence with nature. This research is significant in that it identified planning elements that can be positively utilized in designing effective water use in a low carbon green city.

Key Words : low carbon, green city, Important-Performance Analysis, water plan, urban plan

* 본 연구는 국토교통부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(11첨단도시 G40)에 의해 수행되었습니다. 또한 이 논문은 국토교통부의 U-City 석박사 과정 지원사업으로 지원되었습니다

** 성균관대학교 U-City 공학과 박사과정(Ph.D. Candidate, U-City Design and Engineering, SungKyunKwan University)

*** 성균관대학교 건축학과 조교수(Assistant Professor, Department of Architecture, SungKyunKwan University)

**** 성균관대학교 건축학과/U-City 공학과 교수(Professor, Department of Architecture/U-City Design and Engineering, SungKyunKwan University), 교신저자(E-mail: y-yjin@hanmail.net, Tel: 031-299-6180)

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

기후변화로 인해 도시에서 발생하는 물 관련 환경적 악영향을 줄이기 위해 지난 2011년 3월 22일 '세계 물의 날'¹⁾ 행사에서 UN은 주제를 '도시를 위한 물(Water For Cities : Responding to the Urban Challenge)'로 정하고 도시 팽창과 인구과밀, 기후변화 및 자연재해 등으로 인한 도시의 물 문제를 효과적으로 대응해야 하는 필요성을 강조하였다(국토해양부, 2011). 또한, 2012년 세계 물의 날에서 정부는 국내 물 산업 육성과 해외진출을 통한 물 산업 강국 도약에 대한 목표를 설정하였으며 최근 기후변화, 지구촌 인구증가, 인구집중화 등으로 물 관리가 국제사회의 중요한 이슈로 등장하고 있지만 우리나라는 1인당 연간 이용가능 수자원량이 1,453m³에 불과해 UN이 조사한 세계 153개 주요 국가 중 129위의 물 스트레스 국가로 나타났다. 뿐만 아니라, 유네스코-IHE²⁾에 따르면 우리나라는 평가 대상 100개 국가 중 15번째로 물 수입률이 높은 나라로 물 자원을 현 수준의 사용량보다 1.4배 늘릴 필요가 있다고 지적하였다(파이낸셜 뉴스, 2012).

물 이용 및 활용에 대해 주요 국가에서는 물 산업 육성정책, 해외시장 개척, 물 산업클러스터 구축 등 물 산업 육성에 앞다퉈 나서고 있으며, 이들 국가는 향후 글로벌 물 시장이 100조 원이 넘는 규모의 거대 시장으로 성장할 것을 예상하고

있다(국토교통부 2012). 이에 따라 우리나라에서도 지난 2010년 10월 제9차 녹색성장위원회에서 물 산업 원천기술 개발, 토탈 솔루션 역량의 전문 물 기업 육성, 해외 물 산업 수출 기반 구축 등을 골자로 한 물 산업 육성 전략을 발표하였으며 이를 통해 2020년까지 8개 글로벌 물 기업을 육성하고 3만 700개의 일자리를 창출, 세계 물 산업 강국으로 도약하겠다고 발표하였다.

이렇듯, 세계 각국과 우리나라에서는 물 관련 산업을 향상시키고자 많은 노력을 기울이고 있으나 도시화가 진행되고 있는 국제적 관점으로 보았을 때 물 관련 요소가 도시 내 어떻게 적용이 되고, 활용이 되는지에 대한 선행연구 및 구체적인 방안이 제시되지 못하고 도시 내 물 활용을 충분히 고려하지 않은 산업 육성에만 치중이 되어 있는 문제점이 나타나고 있다. 또한 기후변화에 적응하기 위한 녹색도시 개념에서의 실질적인 물 관련 또는 수(水)환경계획 요소가 필요하나 어떠한 물 계획 요소를 통해 도시를 실현해야 하는지에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 탄소저감도시, 생태도시 사례를 통해 실질적으로 적용된 물 계획 요소³⁾를 파악하고 중요도·활용도에 대한 의식조사를 통해 저탄소 녹색도시에서의 물 자원 활용 계획 또는 수(水)환경계획 요소를 도출하여 저탄소 녹색도시 실현을 위한 실효성 높은 물 계획 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 녹색도시 실현을 위해 실질적으로

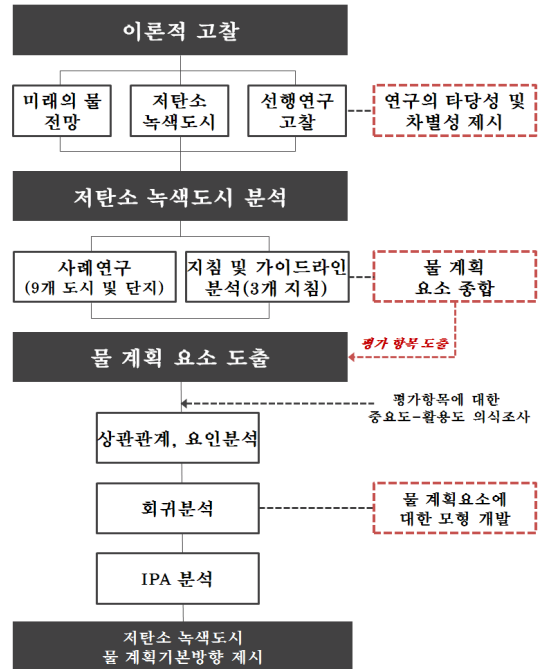
1) 1992년 제47차 UN 총회에서는 날로 심각해지는 물 부족과 수질 오염을 방지하고 물의 소중함을 되새기기 위해 매년 3월 22일을 '세계 물의 날'로 지정하였음.

2) UN 산하 물·환경 전문 교육기관.

3) 본 연구에서는 물 계획 요소를 물 자원의 활용 계획, 수(水)환경계획 두 가지 요소를 포함하여 물 계획 요소라고 정의함.

도시 내에 적용된 물 이용 계획 또는 수(水)환경계획 요소를 파악하고 중요한 물 이용 계획이 무엇인지 도출하고자 한다. 이를 위해 첫째, 이론적 고찰에서 미래의 물 전망, 저탄소 녹색도시에 대한 개념 정립과 선행연구 고찰을 통해 연구의 타당성 및 기존 연구와의 차별성을 제시하였다. 둘째, 빈번하게 인용되고 있는 녹색도시, 생태도시, 저탄소 도시 및 단지 사례를 선정하여 실질적으로 적용된 물 이용 계획 또는 수(水)환경계획 요소를 조사하고 각 정부기관에서 지속가능한 도시 실현을 위한 지침 및 가이드라인을 분석하여 사례 연구에서 나타난 물 계획 요소와 종합하여 설문조사를 위한 평가 항목을 도출하였다. 셋째, 도출된 물 계획 평가항목을 대상으로 전문가(도시 및 건축 전공 전문가, 환경전문가) 35명을 대상으로 설문조사를 실시하여 평가항목별 중요도-활용도에 대한 인식 조사를 실시하였다. 넷째, 전문가 인식 조사를 대상으로 상관관계 분석, 요인 분석, 회귀분석에 대한 통계학적 분석을 통해 물 계획에 대한 모형을 개발하였다. 마지막으로 IPA 분석(Importance-Performance Analysis)을 실시하여 물 계획 요소별 중요도와 활용성에 대해 구체적으로 설계 요소를 파악하였으며, 이를 바탕으로 향후 녹색도시 구현 시 물 계획 요소에 대한 도시 계획의 기본방향을 제시하였다.

연구의 범위로는 문헌조사에서 최근 5년 간 빈번하게 사례 연구로 제시되고 있는 생태도시, 저탄소 도시 및 단지에 대한 물 계획 요소를 분석하였다.



〈그림 1〉 연구의 흐름도

II. 이론적 고찰

1. 미래의 물 전망

최근 홍수, 가뭄, 폭설, 태풍 등 기상이변 현상이 전 지구적으로 발생하고 있으며 기후변화와 관련하여 우리 지구가 앓고 있는 몸살이 외부로 표출되고 있다. 이러한 기후변화는 인간을 포함해서 모든 생명체들이 살아가는 데 없어서는 안 될 중요한 요소인 물과 떼려야 뗄 수 없는 불가분의 관계이다(황필선, 2011). 물 이용의 양적 측면에서 UN은 지난 세기에 인구는 두 배로 증가한 반면 물 사용은 6배로 증가하였다고 밝혔다. 또한 UNESCO는 “물도 기후변화나 환경문제처럼 세계적인 협력과 과학적 접근이 필요하다”라고 촉구하였다. 이를 바탕으로 지난 2003년부터 물 부족, 비

위생적 물 이용, 수자원시설 미확충 등 다양한 부분에서 물 미래에 대한 전망을 예측하고 있다. 국토교통부에서는 물 수요가 증가함에도 불구하고 많은 지역에서는 물 남용 등 효율적으로 물을 이용하지 못하여 수자원 부도상태에 직면할 것임을 경고하고 있다(국토해양부-Kwater, 2011). 한편, 전 세계적으로 인구증가와 산업의 발달로 물에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있으며, OECD(2012)의 전망에 따르면 전 세계의 물 수요는 제조업, 전략생산, 생활용수 등의 수요 증가로 2050년에는 5,465km³로 2000년에 비해 무려 55%나 증가할 것으로 예측하고 있다. 특히 우리나라는 수자원 취수율이 OECD 국가 중에서 가장 높은

40%로 '심각한(severe) 물 스트레스'에 해당하며 미래의 물 수요 변화와 강우의 변동성에 영향을 크게 받는 조건에 처해 있다⁴⁾(김호정, 2012).

물 자원에 대한 수요와 가치 체제는 다양하며 또한, 변화하고 있다. 물 자원 이용에 대해서는 품질적 측면에 대한 요구가 높아지고 친수공간에서의 물 자원 활용에 대한 선호가 표출되는 등 물 자원 이용 가치의 변화가 나타나고 있다(문현주, 2011). 적합한 물을 필요한 만큼 확보하여 안정적으로 공급하는 것이 지금도, 그리고 미래에도 국가와 사회의 가장 중요한 책임이 될 것이다(김호정, 2012).

〈표 1〉 미래의 물 전망에 대한 예측

구분	내용
국제인구행동연구소 (PAI : Population Action International, 2003)	• 오늘날 5억 5천만 명이 물 압박국가나 물 기근 국가에 살고 있고, 2025년까지 24억 명에서 34억 명의 사람들이 물 압박 또는 물 부족국가에 살게 될 것임.
미국 NIC (National Intelligence Council)	• 2015년에는 세계인구의 절반이 넘는 30억 명 이상이 물 부족국으로 분류되는 나라에 살게 될 것임.
세계기상기구 (WMO)	• 2025년 6억 5천 3백만 명 내지 9억 4백만 명이 물 부족을 겪을 것임.
국제원자력연구소 (IAEA, 2002)	• 현 추세로라면 2025년 약 27억 명이 담수부족에 직면하고, 현재 약 11억 명이 안전한 식수원에 접근하지 못하고 25억 명이 비위생적인 환경에 노출 있으며 500만 명 이상이 수인성 질병으로 사망. 비위생적인 물로 인한 사망자는 전쟁으로 인한 사망자의 10배에 달함.
UN 세계 수자원개발보고서 (2003)	• 지구의 1인당 담수공급량은 앞으로 20년 안에 1/3으로 줄어들고 2050년까지 적게는 48개국 20억 명 많게는 60개국 70억 명이 물부족을 겪을 것임. • 2050년까지 인구는 93억 명으로 늘고 오염된 담수원 면적은 현재 관개용 수자원 면적의 9배에 달할 것임.
세계 경제포럼 수자원 이니셔티브 보고서(2009)	• 수자원 부도(Water bankruptcy) 가능성 경고하고 “이제는 1970년대 석유파동이 아니라 물 파동(Water Shock)에 대비해야 한다”고 지적
2030 Water Resources Group Charting Our Water Future(2009)	• 수자원 미확충 시 2030년에는 물 수요의 60%만 충족가능함을 경고

출처 : 국토교통부 · K-Water, 2011, 『물과 미래』.

4) 재생가능한 수자원 총량 중 취수량의 비율

2. 저탄소 녹색도시

도시공해 문제로부터 벗어나기 위해 전원 속에서 도시를 조성한 전원도시가 최초의 환경문제에 대응된 도시유형으로 저탄소 녹색도시 관련 연구는 하워드의 전원도시(Garden City)에서 출발하였다고 할 수 있다(윤성식, 2011). 전원도시 이후 개발에 따른 환경 문제를 해결하기 위해 도시분야에서는 생태도시가 부각되었으며 생태도시는 도시를 하나의 생태계로 해석하여 중요한 자연환경은 보존하고 무질서한 개발행위로부터 환경파괴를 억제하기 위한 수단으로 강구하여 왔다. 본격적으로 1992년 브라질 리우데자네이루에서 개최된 리우 정상회의 이후 전 세계적으로 개발과 환경보전을 조화시키기 위해 ‘환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development :ESSD)이라는 전제하에 자연환경보전과 개발을 조화시키기 위한 연구를 시행하였다. 이후 생태도시의 발전과 함께 최근에는 녹색도시의 이슈가 부각되고 있으며 저탄소 녹색도시는 ‘저탄소’와 ‘녹색성장’을 추구하는 도시⁵⁾로 기존의 친환경도시가 기존 도시계획상에 친환경적 요소를 첨가해 간헐적으로 녹색이 수급되는 도시라면 녹색도시는 탄소관리 등의 환경

적 요소를 우선적으로 고려하여 도시를 조성하는 것으로서 적극적인 의미의 친환경 도시라고 할 수 있다.⁶⁾ 2009년 5월에 개최된 제3차 C40 세계도시 기후정상회의⁷⁾는 세계 온실가스의 85%를 배출하는 도시지역을 저탄소 도시로 조성하는 공동목표를 설정하고 도시별 기후변화 행동계획(Climate Change Action Plan)을 수립하여 구체적인 실천방안을 담보하는 ‘서울선언문’을 채택하였다(임희지 외, 2009). 특히 서울의 마곡지구는 탄소가스 제로 도시로 개발하기 위해 클린턴 재단(CCI)⁸⁾과 ‘기후친화적 도시개발사업(CPDP: Climate Positive Development Program)’을 공동으로 추진하는 양해각서(MOU)을 체결하여 신도시를 개발하면서 온실가스의 순배출량을 ‘0’이하로 하는 것을 목적으로 친환경 도시개발 모델을 제시하고 있다. 에너지 사용에 따른 탄소를 배출하지 않는 도시를 위해서는 건축물(에너지, 실내 공기질, 재료), 토지이용, 교통, 녹지 생태, 집단 에너지, 물 관리, 쓰레기, 유지관리가 고려해야 할 기본 요소라고 제시하고 있으며 탄소저감 방향으로 수자원 요소(우수/중수도 재활용, 수공간 조성, 투수성 포장 등)를 활용한 계획 방안을 제시하고 있다(임희지 외, 2009).

5) 저탄소(저탄소 녹색성장 기본법 제2조 1항) : 화석연료에 대한 의존도를 낮추고 청정에너지의 사용 및 보급을 확대하며 녹색기술 연구개발, 탄소흡수원 확충 등을 통하여 온실가스를 적정 수준 이하로 줄이는 것을 말함.

녹색성장(저탄소 녹색성장 기본법 제2조 2항) : 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화와 환경훼손을 줄이고 청정에너지와 녹색기술의 연구개발을 통하여 새로운 성장동력을 확보하며 새로운 일자리를 창출해 나가는 등 경제와 환경이 조화를 이루는 성장을 말함.

6) www.eco-greencity.or.kr

7) C40정상회의는 전 세계 대도시들이 기후변화에 대한 심각성을 인식하고 이에 대응하기 위하여 자발적으로 구성한 것으로 2005년 10월 영국 런던에서 전 런던시장 Ken Livington의 제안으로 18개 대도시 대표들이 1차 모임으로 시작되었음. 제1차 회의를 통해 C40 대도시기후리더십 그룹의 토대가 형성되었으며 2006년 8월 빌클린턴 전 미국대통령이 이끄는 ‘클린턴 기후 구상(Clinton Climate Initiative)’과 MOU를 체결하고 협력관계를 맺으며 활발하게 활동하고 있음.

8) CCI(클린턴재단의 기후 이니셔티브 : Clinton Climate Initiative) : 2005년에 출범한 C40 기후리더십그룹의 파트너로 기후 관련 첨단기술과 기후변화 전문가 등을 통해 도시들의 에너지 사용과 온실가스 감축 프로그램의 실행을 돕고 있음. 특히 CCI가 미국 친환경건축위원회(USGBC)와 공동 창안한 CPDP는 서울 마곡 일대 336만㎡를 주거, 업무, 산업 복합 단지로 개발하는 마곡 지구를 포함해 캐나다, 미국 등 10개국, 16개 도시에서 진행 중이거나 진행될 예정임.

3. 선행연구 고찰

본 연구와 타 연구와의 차별성을 제시하기 위해 탄소저감도시, 생태도시 등 지속가능한 도시 설계 관련 선행연구를 고찰하였다.

녹색도시 관련 연구에서 이은엽 외(2009)는 저탄소 녹색도시 실현을 위해 물 자원 순환 체계의 중요성을 강조하고 있으며 도시의 탄소흡수, 열섬 현상을 완화하는 기능의 수자원 체계가 필요하며 중수도 도입, 오수 및 우수 활용 등에 대한 수자원 순환시스템에 대한 중요성을 강조하고 있다. 이정

민·김종립(2012)는 빗물을 순환하여 도시 열섬 현상, 지하수위 하강, 건천화 방지 등 도시 문제점을 해결하는데 빗물의 필요성을 강조하고 있으며 빗물의 수문순환과 탄소배출량 산정 방법론을 제시하였다. 박상준(2011)은 탄소저감 및 흡수와 관련된 계획요소를 도출하고 전문가 설문을 통해 중요도 분석을 하여 기후변화에 대응한 저탄소 재생 기법을 마련하였다. 생태도시 설계 요소 중 물 관련 계획에 관한 연구로는 최희선(2007)이 환경생태계획 단계에서 습지 조성 입지를 선정하는 데 유역차원에서의 모형을 제시하였으며, 변병설(2005)

〈표 2〉 선행연구 종합표

구분	제목 및 저자	연구내용	시사점 및 한계점
녹색도시	저탄소 녹색성장 구현을 위한 녹색도시 조성 기법 연구(이은엽 외, 2009)	<ul style="list-style-type: none"> 저탄소 녹색도시 실현을 위한 물 자원 순환의 중요성을 제시하고 있으며 실개천 조성 등을 통한 탄소흡수, 열섬현상을 완화하는 수자원 체계가 필요함을 강조 그외 중수도 도입, 오수 및 우수 활용, 우수 침투시설 등을 통한 자원순환시스템 필요 제시 	<ul style="list-style-type: none"> 녹색도시 구현을 위해 물 자원순환 시스템을 강조하고 있으나 다양한 물 자원 활용, 물 환경계획에 대한 연구가 미흡
	녹색도시 물 순환 계획 요소 및 수문순환 모의(이정민·김종립, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> 빗물을 순환하여 도시 열섬현상, 지하수위 하강, 건천화 등 도시의 문제점을 해결하기 위해 빗물의 순환과 상하수도 인공순환을 위한 수문 순환 분석으로 물 순환 계획 요소와 탄소배출량 산정 방법론 제시 	<ul style="list-style-type: none"> 빗물순환방식을 통한 탄소배출량에 대한 보다 객관적인 연구가 진행되었으나 빗물뿐만 아니라 다른 물 계획 요소에 대한 연구가 미흡
	저탄소 녹색도시를 위한 도시공간의 재설계에 관한 연구(박상준, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> 친환경 계획 요소들 중에서 탄소저감 및 흡수와 관련된 계획요소를 도출하고 기후변화에 대응한 저탄소 재생기법 마련 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소흡수원으로 수(水)계획 중 실개천, 우수저류지를 제시하는데 의의가 있으나 다양한 수(水)계획 요소가 도출되지 못함.
생태도시	물 순환형 생태도시를 위한 유역 차원의 습지 조성 입지 선정에 관한 연구(최희선, 2007)	<ul style="list-style-type: none"> 환경생태계획 단계에서 생태적으로 다양한 기능을 수반한 습지 조성입지를 선정하는 데 유역 차원에서 모형을 정립 	<ul style="list-style-type: none"> 지속가능한 도시를 위해 수(水)순환 구조 중 습지 조성 모형 개발에 의의가 있으나 다양한 수(水)계획에 대한 연구 미흡
	지속가능한 생태도시계획(변병설, 2005)	<ul style="list-style-type: none"> 생태도시의 개념을 지속가능성 측면에서 정립하고 신도시를 건설 시 어떠한 환경적 요소를 고려하는지 분석하였으며 그 중 자연형 하천 및 친수공간은 환경보존, 어메니티를 위해 도시에서 중요한 요소로 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 생태도시 개념을 재정립하고, 설계 요소의 타당성을 제시하는데 의의가 있으나 요소별 중요도, 실증에 대한 연구 미흡
	생태주거단지에서의 통합적 물 순환 계획 모형에 관한 연구(권혁진, 2008)	<ul style="list-style-type: none"> 생태주거 단지의 사례분석을 통해 물 계획항목을 도출하였으며 친환경 주거지를 조성하는데 빗물이용, 침투, 저류시설 적용의 물순환 계획 필요 제시 	<ul style="list-style-type: none"> 주거단지에서 물순환 시설 선정 및 계획 방안 제시에 의의가 있으나 시설항목별 중요도에 대한 평가 미흡

은 생태도시에 대한 개념을 우선 정립하고 신도시 건설 시 환경적 요소를 파악하였으며 그 중 친수 공간 및 자연형 하천이 도시 내 환경오염 저감과 어메니티를 위해 필요하며 도시에서의 중요한 요소라고 하였다. 권혁진(2008)은 기존 생태주거 단지 사례분석 및 문헌조사를 통해 물 계획 항목을 도출하였으며 친환경 주거지를 조성하는 데 빗물 이용, 침투, 저류시설 적용 등 물 순환 계획이 필요함을 제시하였다. 이렇듯 녹색도시, 생태도시 구현 시 물 순환, 우수활용, 습지 조성 등 다양한 물 이용 계획 또는 물 환경계획에 대한 방안을 제시하고 있으나 다양한 계획 방법 중 가장 중요한 물 이용계획 또는 환경계획에 대한 연구가 미흡하며 도시 및 단지에서 가장 필요한 계획 요소에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 실질적으로 녹색도시, 생태도시 구현 시 적용된 물 이용계획 또는 환경계획 요소 중 우선적으로 고려되어야 하는 요소와 중요성을 파악하고 향후 녹색도시 구현 시 물 이용 또는 수환경 계획 요소 적용에 대한 기본방향을 제시하고자 한다.

Ⅲ. 저탄소 녹색도시 계획 요소 분석

1. 분석의 틀

본 연구에서는 생태도시, 녹색도시, 탄소저감 도시 연구 시 문헌조사로서 빈번하게 언급이 된 사례지를 대상으로 물 이용 계획 또는 수 환경계획 요소를 도출하여 계획에 대한 중요성과 활용성을 파악하고 향후 녹색도시 구현 시 우선적으로 고려되어야 하는 물 계획 요소를 도출하고자 한다. 이를 위해서는 첫 번째 단계로 최근 빈번하게 나타나고 있는 생태도시, 탄소저감도시로 사례연구가 진행⁹⁾되었던 3개 도시와 6개 단지를 대상으로 생태도시 또는 탄소저감도시 구현 시 적용된 물 이용계획¹⁰⁾과 수(水)환경계획 요소¹¹⁾를 도출하였으며 저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획 수립지침, 물 재이용 기본계획, 지속가능한 신도시계획 기준의 물 관련 계획요소를 파악하여 녹색도시 물 계획 요소와 종합하였다. 둘째, 설문조사

〈표 3〉 선정된 사례도시의 개요

구분	도시			단지					
	프라이부르크	꾸리찌바	타마뉴타운	베드제드	밀레니엄빌리지	함마르비	말뫼	림	마스다르
위치	독일 프라이부르크	브라질 꾸리찌바	일본 도쿄도 일대	영국 런던 웰링턴	영국 런던 그리니치	스웨덴 함마르비	스웨덴 Vastra Hamnen	독일 린헨	아랍 아부다비
규모	153,06km ²	432km ²	29,8km ²	17km ²	140 km ²	1,080km ²	300km ²	5,560km ²	6,000km ²
인구 수	약 22만명	약 185만명	약 30만명	약 100가구	약 1,377 가구	약 25,000명	약 1,000 가구	약 6,500 가구	약 25,000명

9) 김성진(2006)은 프라이부르크는 독일 내에서도 대표적인 환경도시로 꼽히고 있음을 제시하였으며, 오원진(2008)은 생태 및 녹색도시의 대표 해외사례로 꾸리찌바와 프라이부르크를 언급하고 있음. 조성운(2008)은 환경 친화적인 요소와 미래 세대를 고려한 지속적이고 순환적인 에너지 운용을 위한 요건의 생태도시로 타마뉴타운, 밀레니엄빌리지, 린 지역에 대해 분석하였으며, 윤기만(2012)은 저탄소 도시의 탄소 중립을 위한 계획으로 베드제드와 마스다르 지역을 언급함. 또한, 유광홍 외(2009)는 온실가스 감축을 위해 다양한 요소기술을 적용하여 구체화한 사례로 베드 제드, 함마르비, 린, 마스다르를 제시하였으며, 권용우 외(2010)는 해외 저탄소 녹색도시의 사례로 함마르비와 말뫼를 언급하였으며,

10) 물의 재이용, 우수활용, 지하수 활용 등 물을 이용 및 물 자원을 활용한 계획

11) 물을 활용하여 수변공간조성, 습지 조성 등 물을 활용하여 도시 구현을 위한 계획

를 통해 물 관련 계획 요소에 대한 중요성과 활용성에 대한 의식을 조사하였고 이를 바탕으로 녹색도시 물 계획 요소에 대한 모형 개발을 위한 1차 상관관계 분석을 실시하였으며 변수들 간의 상관성을 검증하고 요인분석을 실시하였다. 셋째, 요인분석의 결과를 바탕으로 회귀분석을 실시하여 저탄소 녹색도시 물 계획에 대한 모형을 개발하였다. 마지막으로 IPA 분석을 통해 실질적으로 도시계획 시 필요한 계획 요소에 대한 중요성과 활용성을 파악하여 대안방안을 제시하였다.

〈표 4〉 분석의 틀

구분	연구방법
문헌조사	- 생태도시, 탄소저감도시 9개 도시·단지를 대상으로 물 계획 요소 도출 - 저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획 수립지침, 물 재이용 기본계획, 지속가능한 신도시 계획기준의 물 계획 요소 도출
설문조사	- 물 계획 요소에 대한 중요도 분석 · 상관관계 분석과 요인 분석을 통한 물 계획 요소 구분 · 회귀분석을 통한 물 계획 요소에 대한 중요도 분석 - IPA 분석을 통한 중요도 및 활용도 분석

2. 저탄소 녹색도시 물 계획 사례 조사

9개 도시 및 단지 사례를 대상으로 물 이용 계획과 수(水)환경계획을 관련 논문, 서적, 인터넷 등을 통하여 조사하였다. 총 9개 계획 요소로 나타났다. 물 이용 계획 요소로는 우수활용, 투수성 포장, 물 사용 절약 시스템, 빗물 저수지¹²⁾ 등 4개의 계획 요소가 있으며 수(水)환경계획으로는 물 순환 단지 조성, 하천 조성, 홍수예방, 호수 및 수

변공간 조성, 저습지 조성 등 총 5개 계획 요소가 도출되었다.

1) 물 이용계획 : 우수 활용

단지 및 도시 내 우수를 집수하여 물을 재이용하는 방안으로 도시사례에서는 독일 프라이부르크, 일본 타마뉴타운, 단지사례에서는 영국 베드제드, 영국 밀레니엄 빌리지, 스웨덴 말뫼, 독일 림이 있다. 우수를 집수하여 수목 관수, 화장실 재사용, 아이들의 물 장난 등에 이용하는 계획으로 우수집수 체계와 상수, 지하수의 급배수 등 인공적 시설과 하천을 연계하여 우수 배수 시스템 계획을 하고 있다. 특히 독일 림의 경우 우수를 활용하여 기존 도시의 평균 물 소비량의 3분의 1 수준으로 감축하고자 하는 계획을 수립하였으며 일본 타마뉴타운의 경우는 빗물을 활용하여 재해나 비상시 이용할 수 있도록 하였다.

2) 물 이용계획 : 투수성 포장

투수성 포장은 도로나 보행로 포장 시 투수성 블록을 사용하는 것으로 도시계획에서는 일본 타마뉴타운, 단지계획에서는 영국 밀레니엄 빌리지에서 적용하였다. 도시의 과도한 포장으로 인한 도시 건조화 방지 및 토양 생태계 유지, 도시 내 탄소 흡수를 위해 이용되고 있다. 이는 이용 계획 보다는 물을 보전하는 차원에서 계획이 이루어지고 있으며 주로 보행로, 주차장, 수변의 녹지에 투수성 포장을 하는 것으로 나타났다.

3) 물 이용계획 : 물 사용 절약 시스템

물 사용 절약 시스템은 물리적인 시설을 통해

12) 흐르는 물을 저장하여 물의 과다 또는 과소를 조절하는 인공적 수리시설로 물을 이용하기 위해 물을 모으는 시설(두산백과, <http://terms.naver.com>, 2013. 9. 12)

물을 절약할 수 있도록 한 계획이다. 단지계획에서는 영국 베드제드, 영국 밀레니엄 빌리지, 스웨덴 함마르비, 스웨덴 말뫼에서 적용하였다. 이는 물 소비량을 줄이고자 하는 계획으로 절수형 수도꼭지, 스프레이형 수도꼭지, 절수형 변기, 중수활용 등이 있으며 탄소저감을 위해 에너지 소비량을 줄이는 계획안으로 나타났다.

4) 물 이용계획 : 빗물 저수지

빗물 저수지는 단지 내 빗물, 지하수 등 물을 저장하여 물의 소비량을 조절하는 시설로서 단지계획에서는 영국 밀레니엄 빌리지, 아랍 마스다르에서 적용하였다. 이는 물 소비량을 조절하기 위한 것으로 연못, 호수와 연계하여 생태적 연결성을 확보하고 물순환 체계를 구축하여 물을 절약할 수 있도록 하였다. 특히, 아랍 마스다르에서는 빗물이 아닌 바닷물을 담수화하여 식수와 용수로 활용할 수 있도록 저수지를 계획하였으며 물 자원 활용을 목적으로 하였다.

5) 수(水)환경계획 : 물 순환 단지 조성

물 순환 단지는 도시 및 단지 내 실개천을 통해 도시 전체에 물이 흐르도록 한 계획으로 도시계획에서는 독일 프라이부르크, 일본 타마뉴타운, 단지계획에서는 영국 밀레니엄 빌리지, 스웨덴 함마르비, 아랍 마스다르에서 적용하였다. 이는 도시 어메니티 향상과 도시 열섬화 현상을 저감하기 위해 도시 전체에 실개천으로 물이 순환하도록 계획하였으며 주변 수변공간과 녹지축을 연계하여 친환경적인 도시 및 단지 구성과 탄소 흡수원으로 활용하도록 하였다.

6) 수(水)환경계획 : 하천조성

도시 내 하천을 조성하여 친환경 도시를 구현

하는 한편 도시 문화요소로 활용한 것으로 독일 프라이부르크, 브라질 꾸리찌바 도시에서 적용되었으며, 도시 내 하천 조성으로 쾌적한 도시 환경 조성 및 탄소 흡수원으로 활용하는 계획을 가지며 시민을 위한 여가활용 공간으로의 기능을 함께 하도록 하였다.

7) 수(水)환경계획 : 홍수예방 도랑 조성

홍수예방을 위한 저류지, 호수, 작은 도랑 등을 조성하여 홍수통제를 하고 자연형 하수처리가 가능하도록 한 계획으로 도시계획에서는 독일 프라이부르크, 브라질 꾸리찌바, 일본 타마뉴타운 단지계획에서는 독일 림에서 계획되었다. 이는 도시의 기후변화 및 이상기후로 인한 물 부족과 폭우 시 예방할 수 있도록 홍수예방 저류지 및 호수 등을 조성하였으며 재난 재해 또는 비상 시 이용할 수 있도록 계획하였다. 이는 도시 수자원을 활용하여 강 양안에 호수와 작은 도랑을 만들어 재난 시 대응하고자 하였다.

8) 수(水)환경계획 : 호수 및 수변공간 조성

호수 및 수변공간 조성은 도시 어메니티 향상 및 도시 문화시설로 활용하는 수(水) 환경 계획으로서, 도시에서는 브라질 꾸리찌바, 일본 타마뉴타운, 영국 밀레니엄 빌리지, 스웨덴 함마르비, 스웨덴 말뫼, 아랍 마스다르에서 계획되었다. 이는 시민을 위한 여가공간으로 활용되며 주변 녹지와 연계하여 녹지, 물 네트워크를 통해 친환경적인 도시를 실현하기 위한 방안으로 계획되었다.

9) 수(水)환경계획 : 저습지 조성

저습지는 도시 및 단지의 생태다양성을 확보하기 위해 수(水) 환경을 조성한 것으로 도시계획에

서는 일본 타마뉴타운, 단지계획에서는 영국 밀레니엄 빌리지, 스웨덴 함마르비, 스웨덴 말뫼, 독일 림에서 계획되었다. 이는 도시 내 생물다양성을 확보하여 친환경적인 도시민의 삶을 향상시키고자 조성하였으며 홍수예방뿐만 아니라 대기정화 기능으로 활용하고 있다.

3. 저탄소 녹색도시 물 계획 요소의 종합

본 연구의 분석을 위한 변수를 설정하기 위해 9개 도시 및 단지의 물 이용 계획 또는 수(水)환경 계획 요소를 파악하였으며 우리나라의 지속가능한 도시의 지침¹³⁾을 통해 설문조사를 위한 최종 변수를 선정하였다.

사례에서 나타나는 물 계획 요소는 총 9개 요소로서 계획 요소별 빈도분석을 한 결과 물 이용 계

획에서는 물의 재이용, 활용에 대한 계획으로 우수 활용, 빗물 저수지, 투수성 포장, 물 사용 절약 계획 등 총 4개 계획 요소가 있다. 그 중 우수를 활용한 계획이 많이 나타났으며, 그 다음으로 물 사용 절약 시스템이 나타났다. 우수 활용은 우수를 집수하여 화장실, 수목관수, 어린이 놀이 분수 등에 재이용하는 것이며 물 사용 절약 시스템은 가정 또는 사업장에서 절수형 수도꼭지, 스프레이형 수도, 물 사용 실시간 검침기 등을 활용하여 물의 사용량을 조절 또는 제어하는 기능으로 물 자원을 효율적으로 활용하는 계획이다. 수(水)환경 계획에서는 물 순환, 하천, 홍수예방, 수변공간, 비오톱 등 총 5개의 계획 요소가 있으며 그 중 수변공간 조성 계획이 가장 많이 나타났으며 그 다음으로 많은 것이 물 순환 계획이다. 수변공간은 시민의 활동장소로 이용하며 탄소흡수를 위한 공간으로 다양한 도시 활동 및 활용을 위해 조성하는

〈표 5〉 녹색도시의 물 이용 및 수(水)환경계획 요소 종합표

구분*	물 이용 계획				수(水)환경계획				
	우수	빗물 저수지	투수성 포장	물 사용 절약	물순환	하천	홍수예방	수변공간	비오톱 (저습지)
C-1.	●				●	●	●		
C-2.						●	●	●	
C-3.	●		●		●		●	●	●
C-4.	●			●					
C-5.	●	●	●	●	●			●	●
C-6.				●	●			●	●
C-7.	●			●				●	●
C-8.	●						●		●
C-9.		●			●			●	
G-1	●				●			●	
G-2	●	●			●			●	
G-3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Total	9/12	4/12	3/12	5/12	8/12	3/12	5/12	9/12	6/12

* C-1:독일 프라이부르크, C-2:브라질 꾸리찌바, C-3:일본 타마뉴타운, C-4:영국 베드제드, C-5:영국 밀레니엄빌리지, C-6:스웨덴 함마르비, C-7:스웨덴 말뫼, C-8:독일 림, C-9:아랍 마스다르, G-1:저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획 수립 지침, G-2:물 재이용기본계획, G-3:지속가능한 신도시계획기준

13) 저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획 수립 지침(국토교통부, 2009), 물 재이용 기본계획(환경부, 2011), 지속가능한 신도시 계획 기준(국토교통부, 2010)

것이다. 물 순환 계획 요소로 도시 열섬현상을 완화하고 도시 쾌적함과 탄소흡수를 위해 단지 내 물을 순환하도록 하는 계획 요소이다. 이렇듯, 각 사례 대상지에서는 물을 적극적으로 이용하기 위해 시스템을 구축하거나 물을 활용한 공간을 조성하는 것으로 탄소 흡수, 물 자원의 효율적 이용을 바탕으로 탄소저감 도시를 실현하고 있다.

IV. 저탄소 녹색도시 수(水)환경계획 요소 분석

1. 설문조사의 개요

설문조사의 평가항목은 선행연구와 도시계획 지침, 물 재이용 기본계획을 바탕으로 9개의 변수에 대한 의식조사를 실시하였으며 자료의 신뢰성을 높이기 위해 도시 및 건축 분야 전문가 18명, 환경 전문가 14명을 대상으로 1:1 대면 면접을 통해 설문조사를 실시하였다. 구조화된 설문 항목의 중요성 및 활용성은 리커트 5점 척도법을 이용하였다.

〈표 6〉 변수의 설명

변수명(평가항목)	설명
1. 물 순환	도시 내 물이 순환되는 설계된 또는 도랑
2. 하천	도시 내 기존 하천의 자연형 하천 조성 및 정비
3. 우수활용	우수를 통한 활용
4. 홍수예방	홍수 예방을 위해 하천 및 유수지 조성
5. 호수/수변공간	호수 및 수변공간을 조성 또는 정비한 도시 활동 장소(어메니티)
6. 빗물 저수지	빗물을 모아두어 물 부족 시 이용하거나 수목 관수 등에 이용
7. 투수성 포장	도시 내 투수성 포장재 사용
8. 비오톱(습지)	습지 및 수변공간에 동식물의 생태계가 형성
9. 물 사용 절약	수자원 절약을 위해 수도꼭지 개선 등 물리적 물 절약 요소

1) 설문조사 결과

설문조사는 모두 35명을 대상으로 하였으나 그 중 설문에 불성실하게 응답한 설문 3개를 제외한 32개를 대상으로 분석을 실시하였다. 우선 설문의 신뢰도 분석¹⁴⁾을 실시하였는데 신뢰도 분석결과 크론바흐 알파(Cronbach α) 계수가 중요도 0.87, 활용도 0.75, 전체 0.81로 설문조사 자료의 신뢰성이 있는 것으로 나타났다.

〈표 7〉 신뢰도 분석결과

구분	N of Item	크론바흐 알파계수	신뢰도 평가기준
중요도	10	0.87	크론바흐 알파>0.6 (신뢰성 있음)
활용도	10	0.75	
전체	20	0.81	

2) 평가항목 검증

중요도와 활용도 모두 전반적인 상관계수¹⁵⁾ 값이 0.4 이상으로 나타나 측정지표와 개념적인 항목 간에는 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 상관성을 나타내는 항목들을 토대로 요인분석 및 회귀분석을 실시하였다.

〈표 8〉 중요도 상관관계

평가 항목	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.77**	0.93**	0.84**	0.71**	0.46**	0.47**	0.54**	0.65**
2		1	0.59**	0.45**	0.42*	0.54**	0.41*	0.65**	0.43*
3			1	0.41**	0.47*	0.83**	0.65**	0.61**	0.64
4				1	0.74	0.43*	0.62**	0.93**	0.53**
5					1	0.40*	0.65**	0.47**	0.47**
6						1	0.88**	0.51**	0.64**
7							1	0.41*	0.63**
8								1	0.57**
9									1

** 상관계수 0.01수준에서 유의함, * 상관계수 0.05 수준에서 유의함.

14) 신뢰도의 크론바흐 알파(Cronbach α) 계수가 학계에서는 0.8~0.9 이상, 마케팅 조사에서는 0.6~0.7 이상이면 양호한 것으로 해석(하지철·이동한, 2010).

15) 피어슨 상관분석(Correlation Analysis)의 피어슨 상관계수는 0.0~0.2일때 상관관계가 거의 없으며, 0.2~0.4일때 상관관계가 다소 있으며, 0.4~0.7일때 상관관계가 다소 높으며, 0.7~0.9일때 상관관계가 높고, 0.9~1.0일때 상관관계가 아주 높다고 해석할 수 있음.

〈표 9〉 활용도 상관관계

평가 항목	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.49**	0.48**	0.46**	0.42*	0.41*	0.43*	0.62**	0.88**
2		1	0.42*	0.46**	0.49**	0.61**	0.40*	0.43*	0.78**
3			1	0.78**	0.42*	0.49**	0.51**	0.61**	0.41*
4				1	0.81**	0.46**	0.40*	0.57**	0.61**
5					1	0.43*	0.53**	0.71**	0.78**
6						1	0.82**	0.41*	0.42*
7							1	0.44*	0.84**
8								1	0.62**
9									1

** 상관계수 0.01수준에서 유의함. * 상관계수 0.05 수준에서 유의함.

2. 평가항목의 분석

1) 요인분석

앞에서 분석한 상관분석 결과를 바탕으로 영향 관계 모형을 개발하여야 하나, 사회/경제지표와 같이 독립변수 간에 상관관계가 높은 경우 변수의 손실을 막기 위해 요인분석을 실시한다. 우선 변수에 일관성이 있다고 판단되는 요인을 추출하기 위해 베리맥스 회전(Varimax Rotation)을 이용하여 요인분석을 실시하였다. 각 요인이 서로 독립성을 유지하도록 회전시키는 직각회전(Orthogonal

Rotation)의 하나로 요인 행렬에서 각 열(Column)의 요인 부하량을 제곱한 값의 분산을 최소화하여 각 요인을 쉽게 설명하는 방법으로 요인부하량 1.0과 0.0의 양극에 가깝도록 하였다.

요인을 추출하기 전 KMO와 Bartlett 검증을 실시하였다. KMO 측도는 변수들 간에 상관성을 나타내는 측도로 1에 가까울수록 요인분석에 적합한 변수들로 구성되었다고 판단할 수 있으며, 0에 가까울수록 부적합하다고 판단할 수 있다. 본 연구에서는 KMO값 0.519로 요인분석에 적합한 변수들로 구성되었다고 판단된다. 또한 바르렛(Bartlett)이 제시한 구형성 검증(Bartlett test of sphericity)은 다변량정규분포를 이룬다는 가정하에 변수 간의 상관관계수 행렬이 항등행렬(Identity Matrix)인지를 검증하는 기법으로 유의확률 .000이 나타나 상관행렬이 단위행렬이라는 귀무가설이 기각되어 공통요인이 존재하는 것으로 분석되었다.

〈표 10〉 KMO와 Bartlett의 검정

표준형성적질성의 Kaiser-Meyer-Olkin 측도		.519
Bartlett의 구형성 검정	근사카이제곱	192.040
	자유도	36
	유의확률	.000

〈표 11〉 저탄소 녹색도시 물 계획요소 모형 개발

R	R ²	Adjusted R Square	Durbin-Watson
0.908	0.755	0.732	1.598

모형	비표준화계수	표준화계수	t	공선성 통계량	
	B	Beta		Tolerance	VIF
(Constant)	3.563		48.157		
생태환경	.117	.258	2.294**	.909	1.778
수자원이용	.266	.528	3.542**	.866	1.125
생물다양성	.755	.075	2.206**	.952	1.050
물리적 물 사용	.130	.252	2.729**	.658	1.519

** 상관계수 0.01수준에서 유의함.

본 연구의 검증을 토대로 도출된 요인은 <표 11>과 같으며 생태환경조성, 수자원 이용, 생물다양성, 물리적 물사용의 4개 요인으로 분류되었다. 첫 번째 생태환경 요인은 탄소를 흡수하는 기능으로 59%의 설명력을 가지고 있으며 도시 내 하천, 수변공간 주변으로 생태환경을 조성하여 도시 어메니티를 향상시키고 도시 활동이 이루어지는 요소로 분석된다. 두 번째 수자원 이용은 94%의 설명력을 가지고 있으며 물을 통해 홍수예방, 우수의 재활용, 빗물을 모아 물 부족시 사용하는 것으로 수자원을 활용하여 물로 인한 재해·재난을 예방하고 우수를 활용하여 화장실, 수목관수 등 실생활에서 물을 이용하는 요소로 분석된다. 세 번째 생물다양성 요소는 69%의 설명력을 가지고 있으며 수자원을 통해 생태계를 형성하여 동식물이 도시 내에서 시민과 함께 어울려 살 수 있는 환경을 조성하는 요소로 분석된다. 네 번째 물리적 물 사용은 87%의 설명력을 가지며, 도시 내에서 발생하는 물 요소를 적극적으로 사용하는 것으로, 투수성 포장을 통해 빗물이 땅속에 침투하여 토양 생태계의 파괴문제를 완화시켜주고 도시가 건조화되는 지하수 고갈현상을 예방하는 물리적 물 사용으로 분석된다. 또한 물 사용 절약은 물 사용량을 실시간으로 점검하고 물이 적게 나오는 수도꼭지 등 물리적인 방법을 통해 물 사용을 저감하는 것으로 분석된다.

<표 12> 요인분석 결과

요인	지표	요인적재량	요인 설명력(%)
생태환경	물 순환	0.854	59.25
	하천	0.951	
	호수/수변공간	0.850	
수자원 이용	홍수예방	0.010	94.22
	우수 활용	0.202	
	빗물저수지	0.321	
생물다양성	비오톱(저습지)	0.156	69.41
물리적 물 사용	투수성 포장	0.130	87.96
	물 사용 절약	0.069	

3. 저탄소 녹색도시 실현을 위한 수(水)환경계획 모형 개발

1) 모형의 검증절차 및 방법

본 연구에서는 물 계획 요소의 통계적으로 유의한 모형을 개발하기 위해 회귀분석을 실시하였으며 통계적 유의성 검증을 실시하였다.

첫 번째로 모형의 유의성을 검증하기 위해 t-test를 실시하였으며 절대값이 1.96값보다 크면 계수값은 의미가 있는 것으로 판단하였다. 두 번째로 모형의 자기상관 검증¹⁶⁾에서는 Durbin-Watson 값이 1.5~2.5 이내의 값을 가지면 자기상관이 없는 것으로 판단하였다. 세 번째로 다중 공선성 검증¹⁷⁾에서는 Tolerance/VIF값이 0.1 이상, 10 이하이어서 다중 공선성이 없는 것으로 판단하였으며 모형의 설명력(R^2)이 1에 가까울수록 좋은 것으로 판단하여 독립변수의 수가 다른 경우 모형의 설명력을 비교하도록 하였다. 이러한 절차를 통해 통계적으로 유의한 최적 모형을 결정하였다.

16) 자기상관(Autocorrelation)은 잔차항들이 정(+)의 방향이나 부(-)의 방향으로 서로 상관되어 있는 현상으로 회귀분석을 할 경우 연 이은 두 시점의 잔차항 사이에 흔히 나타나 검증이 필요한데, Durbin-Watson 값이 1.5~2.5 이내의 값을 가지면 자기상관이 없는 것으로 판단함(김은정, 2004).

17) 다중 공선성(Multicollinearity)이란 독립변수들 간의 상관성이 높아져 한 독립변수의 값이 증가 또는 감소하는 것을 의미하며 검증에서는 공차한계(Tolerance limit)/분산팽창계수(VIF)값이 0.1 이상, 10 이하이면 다중 공선성이 없는 것으로 판단함(김은정, 2004).

2) 영향모형 개발 결과 및 검증

저탄소 녹색도시에 영향을 주는 물 계획 요소에 대한 영향모형을 개발하기 위해 검증 흐름을 바탕으로 모형의 적절성을 검토하였다. 모형검증 결과 R^2 이 0.75의 설명력을 나타내며 t값은 1.96보다 크므로 유의수준 0.01 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 또한 모든 변수의 공차한계(Tolerance)가 0.1 이상, 분산팽창계수(VIF)가 10 이하로 다중공선성은 없으며 Durbin-Watson 값은 1.598로 자기상관은 무시할 수 있는 것으로 분석된다.

모형검증결과 수자원을 이용한 물 계획 요소가 가장 중요하고 활용도가 높은 것으로 나타났으며 그 다음으로 수자원을 활용한 생태환경 조성이 저탄소 녹색도시 구현 시 중요한 요소로 나타났다. 또한, 물리적인 물 사용은 직접적으로 수자원을 활용할 수 있는 요소이며 도시 내 다양한 기술 및 방법을 통해 도시 내 물 관련 요소를 적절하게 사용할 수 있는 요소로써 중요한 계획요소로 나타났다.

저탄소 녹색도시 구현을 위한 수(水)환경계획 요소 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{In(저탄소 녹색도시 구현을 위한 물 계획요소) Model} \\ = 3.563 + 0.528(\text{수 자원 이용}) + 0.258(\text{생태환경 조성}) \\ \quad (3.542) \quad (2.294) \\ + 0.252(\text{물리적 물 이용}) + 0.075(\text{생물다양성 형성}) \\ \quad (2.279) \quad (2.206) \end{aligned}$$

4. IPA(Important Performance Analysis) 분석

IPA 분석은 마케팅 분야에서 주요 사용하는 분석방법으로 원래는 중요도-만족도 조사이나, 본 연구의 목적에 부합하도록 중요도와 활용도라고 명명하였다. 적극 관리(Concentrate Here)에서는

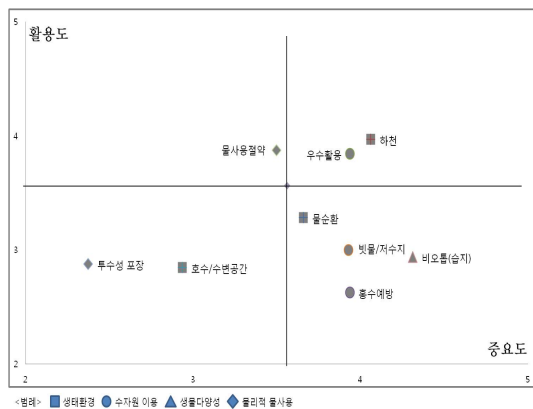
중요도는 낮으나 활용도가 높은 경우이며 낮은 우선순위(Low Priority)는 중요도와 활용도가 모두 낮은 요소이다. 지속유지(Keep up the Work)는 중요도와 활용도가 모두 높게 나타나는 요소이며 과잉노력지양(Possible Overkill)은 활용도는 낮으나 중요한 요소로 판단하였다.

활용도 평균		중 요 도 평 균
적극 관리 (Concentrate Here)	지속유지 (Keep up the Good work)	
낮은 우선순위 (Low Priority)	과잉노력지양 (Possible Overkill)	

〈그림 2〉 IPA 개념도

수(水)환경계획 요소 모델을 바탕으로 IPA 분석을 실시하였다. 분석결과 지속적으로 유지되어야 할 계획 요소는 하천과 우수활용으로 나타났으며 따라서 이 요소는 향후 탄소저감 녹색도시 구현 시 지속적으로 계획되어야 하는 요소이다. 반면 중요도는 높으나 활용도가 낮은 요소는 물 순환, 비오톱(습지), 빗물/저수지, 홍수예방을 위한 우수지로 나타났다. 이는 중요한 반면 활용이 잘 되지 않는 것으로 활용도를 높이기 위해서는 도시 내 활동 요소인 하천/수변공간 등과 통합적 계획이 필요하며 도시 방재기능의 계획요소로 활용할 수 있는 계획안이 필요하다. 또한, 중요도는 낮으나 활용도가 높은 요소로는 물 절약 방법으로서 적극적인 물리적 계획요소에 대한 중요성을 높이기 위해 도시민이 쉽게 이용할 수 있는 물 절약할 수 있도록 물 사용 자가 검침기, 절수형 기기 등 물리적 방법과 이용 효과에 대한 홍보가 필요하다. 활용도와 중요도가 모두 떨어지는 요소는

투수성 포장과 호수/수변 공간 요소인 것으로 나타났다. 투수성 포장의 경우 아직 구체적으로 물을 활용한 긍정적인 효과가 나타나지 않고, 적용 사례가 적어 활용도와 중요도에 대한 인식이 높게 나타나지 않는 것으로 판단할 수 있다. 또한, 호수/수변공간의 경우 도시의 어메니티 요소로 활용이 되고 탄소 흡수원으로 중요한 계획요소이나 탄소 흡수에 대해 얼마나 효과가 있는지에 대한 시민 체감이 낮고 도시에서 발생하는 교통, 생활 등에 의한 탄소를 흡수하기에는 현재 구성되어 있는 도시 수변공간이 극히 적어 탄소 흡수원으로서의 효과가 미미하여 중요도 및 활용도가 낮게 나타난 것으로 보인다. 이를 개선하기 위해서는 도시 내 탄소 흡수를 위해 도시개발 면적과 비례한 수변공간 조성이 필요하며 수변공간에서 다양한 도시 활동이 일어나도록 하는 등 도시민을 위한 어메니티 장소로 활용할 수 있는 계획안이 필요하다. 또한, 공공공간 등에 투수성 포장을 적극적으로 도입하여 도시 내 탄소 흡수와 더불어 우수를 땅속으로 스며들게 하여 토양을 보호하는 친환경 녹색 도시를 구현할 수 있는 방안이 필요하다.



〈그림 3〉 IPA 분석 결과

V. 결론

최근 도시의 새로운 패러다임인 저탄소 녹색도시를 실현하기 위해 중요한 물 이용 계획 또는 수(水)환경계획 요소가 무엇인지를 파악하기 위해 사례연구와 전문가 의식조사를 통해 물 계획 요소의 우선순위와 저탄소 녹색도시 계획의 기본방향을 제시하였다. 이에 대한 연구는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 저탄소 녹색도시 구현 시 수자원을 이용한 홍수예방, 우수 활용, 빗물 저수지에 대한 중요성이 가장 높게 나타났으며 저류지, 우수 집수를 통한 관수 등의 물 이용 등을 적용한 녹색도시 계획 및 설계가 이루어져야 한다. 그 다음으로 생태환경 요소로 물 순환 단지, 생태하천, 호수/수변공간 조성이 중요하게 나타났으며 생태환경과 더불어 도시 활동이 일어날 수 있는 공간계획과 함께 통합적 계획이 이루어져야 한다. 세 번째로 물리적인 물 사용은 투수성 포장, 물 사용 절약을 위한 물리적인 도구 및 시스템을 적용하는 것으로 이는 직접적으로 수자원을 절약하고 관리하는 데 필요한 요소로 실생활에서 활용될 수 있는 계획이 필요하다.

둘째, 활용도와 중요성을 보았을 때 하천과 우수 활용은 중요성과 활용도가 모두 높게 나타났으므로 저탄소 녹색도시 구현 시 필수적인 물 계획 요소로 판단할 수 있다. 반면 물 순환, 빗물/저수지, 홍수예방, 습지는 도시 내에서 중요한 물 요소이기는 하나 활용이 낮으므로 도시활동 요소와 통합하여 직접적으로 도시민이 물을 체험할 수 있도록 수변공간 계획과 함께 계획되어야 한다. 또한, 활용도는 높으나 중요하지 않은 요소로 나타난 물 사용 절약은 절수형 기기, 실시간 물사용 검침기 등 도시민으로 하여금 손쉽게 수자원을 절약 및

관리할 수 있는 요소로 활용도를 높이기 위해서는 지속적인 기술개발이 필요하다. 또한, 중요도와 활용도 모두 낮게 나타난 투수성 포장, 호수/수변 공간은 탄소 흡수원으로 중요한 요소이나 긍정적 효과에 대해 시민 체감도가 낮고 도시 내 많은 탄소를 흡수하기에 조성 면적이 적어 효과가 미미하여 활용과 중요성이 낮게 나타난 것으로 보여, 효율적이고 탄소저감 흡수가 뚜렷하게 나타낼 수 있도록 지속적인 기술개발이 필요하고 도시민의 활동 공간 계획과 연계한 통합적 계획이 필요하다.

셋째, 저탄소 녹색도시 구현 시 종래의 도시계획 및 설계에서는 물은 하나의 설계요소로만 이용되었을 뿐 도시의 구조와 형태 및 기능을 결정짓는 계획 이념이 되지는 못하였다. 도시 물 이용에 대한 이미지를 변화시키고 접근성을 개선하며 물리적 환경의 질을 향상시키는 데 목표가 필요하며 물의 요소를 통해 환경오염저감은 물론 자연과의 공생을 도모하는 방법이 필요하다.

지금까지 저탄소 녹색도시 구현 시 중요한 물 계획 요소를 파악하고 녹색도시계획을 위한 기본 방향을 제시하였다. 본 연구의 결과는 향후 저탄소 녹색도시계획 시 고려되어야 하는 물 계획 요소에 대한 기초자료를 제공하는 데 의의가 있다.

하지만 본 연구에서는 연구방법 및 기간적 제약으로 인해 다음과 같은 연구의 한계점을 갖는다.

첫째, 분석 방법으로 요인분석을 활용한 회귀분석을 시도하였으나 복잡한 영향관계를 명확히 고려하기 위해서는 구조방정식(SEM: Structural Equation Model)을 도입한 연구가 필요하다고 판단된다.

둘째, 설문 대상자 선정의 한계로 본 연구에서는 도시 건축분야, 환경 분야 전문가로 한정되어 설문을 실시하였으나 향후 다양한 분야에서의 학

문적 전문가, 실무적 전문가, 시민 등 많은 설문 대상자를 선정하여 계획요소에 대한 중요성을 파악하고 구체적이며 명료한 물 이용 계획 또는 수(水)환경계획 요소 도출이 필요하다.

이러한 연구과제를 보완한다면 향후 저탄소 녹색도시 구현 시 물 계획 요소가 도시적, 사회적 측면에서 중요한 요소로 작용될 것으로 판단된다.

참고문헌

- 국무조정실, 2013, 「저탄소 녹색성장기본법」.
- 국토해양부, 2009, 「저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획 수립지침」.
- 국토해양부, 2011, “건강한 물... 녹색강국의 원천 세계 물의 날 행사 보도자료”.
- 국토해양부, 2012, “정부 글로벌 물시장 본격공략 나섰다. 세계 물의 날 행사 보도자료”.
- 국토해양부, 2010, 「지속가능한 신도시 계획 기준」.
- 국토해양부 · K-Water, 2011, 「물과 미래」.
- 권용우 · 왕광익 · 유선철, 2010, “해외 저탄소 녹색수변도시” 「대한지리학회지」, 제 45권 제 1호 (통권 136호): 1~10.
- 권혁진, 2008, “생태주거단지에서의 통합적 물순환 계획모형에 관한 연구”, 세명대학교 석사학위 논문.
- 김성진, 2006, “생태도시의 선도 모델 프라이부르크”, 「환경철학」 제5집: 131~152, 한국환경철학회
- 김은정, 2004, 「윈도우용 SPSS 10.0」, 21세기사, 320~321.
- 김호정, 2012, “기후변화 대응 물 안보 위기 관리 정책연구”, 「녹색성장연구」, 2012-08: 2~3, 한국환경정책평가연구원.
- 녹색성장위원회, 2010, “제9차 녹색성장위원회 보고자료”.
- 문현주, 2011, “물 자원의 가치 변화와 물 산업 선진화 전략”, 「녹색성장연구」, 2011- 10: 2, 한국환경정책평가연구원.
- 박상준, 2011, “저탄소 녹색도시를 위한 도시공간의 재설계에 관한 연구”, 청주대학교.
- 변병설, 2005, “지속가능한 생태도시계획”, 「국토지리학회지」, 제39권 제4호: 491~500, 국토지리학회.
- 오원진, 2008, “생태마을 조성 방안에 대한 연구”, 청주대학교원 석사논문.

- 유광흠·조상규·오성훈·성은영, 2009, 「친환경 근린개발을 위한 도시설계 기법연구」, 건축도시공간연구소 연구보고서, 1~214.
- 윤기만, 2012, “CO₂ 감축을 위한 만물지능 녹색 도시의 탄소중립 계획에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 석사학위논문.
- 윤성식, 2011, “저탄소 녹색도시 계획요소에 관한 연구”, 대구대학교 석사학위논문.
- 이은엽·조영태·최민아·강명수·박선희, 2009, 「저탄소·녹색성장 구현을 위한 녹색도시 조성기법 연구」, 토지주택연구원
- 이정민·김종립, 2012, “녹색도시 물순환 계획요소 및 수문순환 모의”, 『LHI Journal』 3(3): 271~278, 토지주택연구원.
- 임희지·손기민·김운수, 2009, 「기성시가지 내 신도시 개발지역의 탄소중립도시 조성방향 연구」, 서울시정개발연구원.
- 조성윤, 2008, “인문환경을 고려한 친환경적 도시개발에 관한 연구”, 홍익대학교 석사학위논문.
- 최희선, 2007, “물순환형 생태도시를 위한 유역차원의 습지조성 입지선정에 관한 연구”, 『대한국토도시계획학회지』, v.42 n.6 통권 159호: 233~235.
- 파이낸스 뉴스, 2012, “정부 글로벌 물 시장 본격공략 나섰 다 보도자료”.
- 하지철·이동한, 2010, 「마케팅조사 실무노트 3」, 아담북스, p.118.
- 환경부, 2011, 「물재이용 기본계획」.
- 황필선, 2011, “기후변화에 대응한 물관리 방안”, 『농어촌과 환경』, 통권 제109호: 42, 한국농어촌공사.
- OECD, 2012, *The OECD Environmental Outlook to 2050*. www.eco-greencity.or.kr(2013.08.10).
- <http://terms.naver.com>(2013.9.12).
- 원 고 접 수 일 : 2013년 6월 27일
1차심사완료일 : 2013년 7월 31일
2차심사완료일 : 2013년 9월 11일
최종원고채택일 : 2013년 9월 30일