

용인시 생태발자국 지수의 분석과 고찰

- 음식, 건조환경, 산림, 에너지 부문을 중심으로 -

박지영* · 김진오**

*경희대학교 일반대학원 환경조경학과 · **경희대학교 예술·디자인대학 환경조경디자인학과

An Analysis of Ecological Footprint of Yong-in City

Park, Ji Young* · Kim, Jin-Oh**

*Graduate School of Landscape Architecture, Kyung Hee University

**Dept. of Landscape Architecture, Kyung Hee University

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the change of environmental capacity in Yong-in City, Gyeonggi-do, South Korea through calculation of ecological footprint indices and analysis of their changes, and to suggest implications for urban development and planning. In this study, we analyzed ecological footprints of 1993, 2003, and 2013 to understand the patterns of land use changes and development in Yong-in City. We also compared the GIS land cover maps and ecological footprint indices to figure out land cover changes associated with resource consumption in Yong-in City.

As a result, we found the following three lessons. First, the ecological footprint indices of Yong-in City are 3.20(gha) in 1993, 6.50(gha) in 2003, and 11.15(gha) in 2013. This implies that the ecological footprint of Yong-in City is much larger than 1.80(gha), the globally required ecological footprint per capita and 3.56(gha), the average ecological footprint of South Korea. Second, the forest ecological footprint of Yong-in City was calculated as the largest, followed by the ecological footprints of energy, food, and built environment. In particular, the forest ecological footprint was the most rapidly increased from 0.002(gha) in 1993 to 7.32(gha) in 2013, followed by energy ecological footprint from 0.87(gha) to 2.38(gha). This implies that the provision and consumption of timber are seriously unbalanced, and energy consumption is unsustainable because of the rapid increase of residential and commercial land development in the city. Third, our analysis of the rapid increase of forest ecological footprint indicates that the disturbed forest areas are concentrated in the increased built environment areas. We also observed that the increase of energy ecological footprint indices was caused largely by the increase of the commercial and road areas. This implies that Yong-in City should minimize forest disturbance and expand green areas for future in the city. In addition, this may provide a reasonable ground that the city should reduce the use of fossil fuels and facilitate the use of renewable energy.

Key Words: Ecological Capacity, Ecological Footprint Analysis, EFA, Sustainable Development

Corresponding author: Ji Young Park, Dept. of Environmental Landscape Architecture, Kyung Hee University, Yong-in 446-701, Korea, Tel.: +82-31-201-3780, E-mail: jy.park@khu.ac.kr

국문초록

본 연구의 목적은 용인시에 대한 생태발자국 지수 산정 및 변화분석을 통해 용인시의 환경용량 추이를 분석하고, 이를 바탕으로 용인시의 도시개발 및 계획의 방향을 제안하는 것이다. 이를 위하여 용인시를 대상으로 1993년, 2003년, 2013년에 걸친 생태발자국 지수 분석을 실시하였으며, 지수분석 결과를 바탕으로 용인시의 토지이용 변화와 개발패턴의 문제점에 대하여 분석하였다. 또한 GIS(Geographic Information System)를 기반으로 한 토지피복도와 생태발자국 지수의 비교를 통해 용인시 토지이용의 변화를 환경적 측면에서 분석하였다.

본 연구 결과는 다음의 세 가지로 요약될 수 있다. 첫째, 용인시의 총 생태발자국 지수는 1993년 3.20(gha), 2003년 6.50(gha), 2013년 11.15(gha)로 산정되었으며, 이는 용인시의 생태발자국이 세계적으로 요구되는 1인당 생태발자국 1.8(gha)는 물론, 한국 전체의 1인당 평균 생태발자국인 3.56(gha)을 훨씬 상회하는 수준으로, 지역 환경용량에 비해 과도한 자원소비가 이루어지고 있다는 것을 보여주고 있다. 둘째, 1993년부터 20여 년간 용인시의 생태발자국을 부문별로 분석한 결과, 산림부문의 생태발자국이 가장 크게 증가하였으며, 다음으로 에너지 부문, 음식 부문, 건조환경부문의 순으로 나타났다. 특히, 산림 생태발자국의 경우 1993년에는 가장 낮은 0.002(gha)였으나, 2013년에는 7.32(gha)로 급증했으며, 에너지의 경우도 0.87(gha)에서 2.38(gha)로 비교적 높은 증가율을 보였다. 이는 급격한 도시개발로 인한 목재수요와 목재생산력의 지나친 불균형 및 주거와 상업용지 개발에 따른 에너지 수요의 급격한 증가에 기인하는 것으로 분석된다. 셋째, 지난 10여 년간 생태발자국과 산림 및 건조환경 토지피복의 변화를 관찰한 결과, 산림부문의 생태발자국이 가장 크게 확대되었으며, 실제 훼손된 산림면적 또한 증가된 건조환경 면적에 집중되어 있음을 알 수 있었다. 에너지 부문의 생태발자국 또한 급격한 증가를 보여주고 있는데, 이는 토지피복도 분석에서 알 수 있듯 건조환경부문, 특히 상업시설과 도로 및 철도용지의 급증에 크게 기인하는 것으로 분석되었다. 이는 향후 용인시가 개발 시 산림의 훼손을 최소화하고, 녹지면적을 확대해야 할 필요성을 제기하고 있으며, LPG 등 화석연료의 소비를 줄이는 대신 신재생에너지의 확대를 적극적으로 추진해야 한다는 근거를 제공할 수 있다.

주제어: 생태수용력, 생태발자국분석, 지속가능한개발, 지속가능성

1. 서론

용인시는 1980년대 후반 중앙정부가 주도한 주택건설 정책 및 개발 붐을 시작으로, 1990년대 이후 규제완화 조치를 통해 급격한 도시교외화가 진행되었으며, 그 결과 인구가 97만 명에 육박하는 성장도시로 급부상하였다(Lee, 2003). 그러나 용인시의 무리한 도시개발사업은 난개발을 초래하였고, 그 결과 시가지 도로화 비율 대비 차량의 교통 혼잡 문제, 교육시설과 기반 시설 등의 부족문제, 녹지의 불투수성 시가지로 전환에 의한 환경파괴문제, 과도한 에너지낭비 문제 등 다양한 도시 문제가 발생하고 있다(Park and Lee, 2003). 용인시는 이러한 문제에 대응하고자 1970년대 수립되었던 도시장기종합계획을 바탕으로 1996년부터 도시기본계획 수립에 착수, 2001년에 건설교통부의 승인을 받아 도시기본계획을 운용해오고 있으나, 택지개발촉진법 등 특별법과 지속적인 규제완화, 도시계획의 한계 등으로 난개발의 오명을 벗지 못하고 있는 실정이다(Kang, 2003).

본 연구의 목적은 용인시에 대한 생태발자국 지수 산정 및 변화분석을 통해 용인시의 환경용량 추이를 분석하고, 이를 바탕으로 용인시의 도시개발 및 계획의 방향을 제안하고자 한다.

생태발자국(Ecological Footprint)은 도시개발에 따른 외연적·물리적 변화만으로 파악하기 어려운 도시민들의 소비패턴 및 이에 따른 환경문제를 정량적으로 추정하는 기법으로 도시의 지속가능한 환경 관리를 위해 광범위하게 도입되고 있다(Wackernagel and Rees, 1996).

본 연구는 생태발자국의 개념 및 국내외의 활용사례 분석을 바탕으로 용인시의 생태발자국을 1993년, 2003년, 2013년 세 시기에 걸쳐 지수별로 산정하였으며, 일부 지수(산림 및 건조환경)들을 대상으로 GIS 토지피복도와 비교분석함으로써 도시계획 및 개발 방향에 대한 문제점과 시사점을 제시하고자 하였다. 본 연구의 진행과정은 다음과 같다.

첫째, 생태발자국의 개념과 유용성 및 국내외의 적용사례를 통해 생태발자국의 다양한 적용가능성을 조사하였다.

둘째, 1993년, 2003년, 2013년 등 10년 단위로 용인시의 다양한 생태발자국 지수들을 산정하고 분석하였으며, 이중 건조환경과 산림부문의 지수들을 GIS 토지피복도와 비교하여 분석하였다.

셋째, 용인시 생태발자국 분석결과를 바탕으로 도시정책 및 도시개발 방향에 대한 시사점과 향후 연구방향에 대해 제안하였다.

II. 생태발자국의 이론적 고찰 및 적용사례 분석

1. 생태발자국의 개념

생태발자국(Ecological Footprint)은 1990년대 캐나다의 Mathis Wackernagel과 William Rees에 의해 고안된 개념으로 인구를 부양하기 위한 지구의 한정된 수용력에 대한 정량적 산정과 대안 마련을 목표로 하고 있다. Lee and Oh(2009)에 따르면 이 개념의 출발은 토지생산성과 부의 창조의 관계에 대해 언급한 18세기 증농주의 학자 Fracis Quesnay의 Malthus에서 시작되었으며, Malthus는 19세기 초 인구를 부양하기 위한 지구의 한정된 수용력에 대해 논의하였다. 생태발자국의 단위는 Global Hectare(gha)로, 국가 및 지역단위의 국민 소비품목을 조사하고, 소비를 위해 필요한 토지면적을 계산하여, 계산된 토지와 실제 토지면적을 비교해 보기 위해 개발되었다. 즉, 생태발자국은 인간의 각 경제 활동에 소요되는 모든 자원을 하나의 평가 단위인 생산적 토지소비면적(글로벌 헥타르: gha)¹⁾으로 환산하는 방식이라고 할 수 있으며, 생태발자국 지수가 1이라는 것은 한 지역에서 소비되는 총량이 그 지역에서 모두 생산가능하다는 것을 의미한다. 생태발자국 지수가 1을 넘는 경우는 부족한 부분을 외부에서 수입을 해서 충당한다는 의미이거나, 현재의 부족한 부분을 미래세대에게 할당된 분량으로 충족한다는 것으로 해석된다(Moore, 2011). Choi *et al.*(2011)는 생태발자국 지수는 상대적 지수이므로 생태발자국 지수가 높게 나온 지역이 낮게 나온 지역에 비해 소비량이 많음을 뜻하는 것이 아니라, 그 지역 토지의 생산성에 비해 상대적으로 높은 수준임을 의미한다고 하였다. 따라서 생태발자국 지수 분석을 통해 특정 지역의 소비수준을 유지하기 위한 대외 의존도와 생태적 부담을 평가할 수 있으며, 생태발자국 지수가 높은 지역일수록 지역 내 토지생산물은 적은 반면, 외부로부터 교역을 통해 들어오는 토지생산물은 많이 소비되고 있음을 의미한다.

생태발자국 지수의 산정과 분석은 인간이 소비하는 자원에 대한 경각심을 불러일으키는 물론, 이들 지수를 각종 정책과 도시 계획에도 활용할 수 있다. 생태발자국 지수를 측정하기 위한 구성요소는 연구자에 따라 다르게 분류할 수 있는데, Wackernagel and Rees(1996)는 음식, 건조환경, 산림, 에너지의 4개 부문으로 구성되어 분류하였다. 우리나라에서는 Kim(2011)이 식량발자국, 주택발자국, 재화와 서비스 발자국 등으로 분류하기도 했다. 본 연구는 Wackernagel and Rees(1996)의 분류방식에 따라 생태발자국 지수를 음식, 건조환경, 산림, 에너지 부문 등 4가지 항목으로 분류하였다. 각 항목별 구성요소는 음식부문의 경우 미곡, 맥류, 서류, 잡곡, 두류, 채소, 과일, 특용작물, 축산물, 유제품 등이며, 건조환경은 대지, 공장용지, 학교용지, 도로,

철도용지, 제방, 수도용지, 체육용지, 유원지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지 등을 포함한다. 산림부문의 구성요소는 목재가 대표적이며, 에너지 부문의 경우 전기, 도시가스, 프로판, 부탄, 휘발유, 등유, 경유, 중유, 병커C유, 기타 유류 등이 포함된다(Joo, 2009).

2. 생태발자국의 적용사례

한국의 경우, 서울특별시 Lee(1999), 울산광역시 Lee(2001), 청주시 Lim(2002), 부산광역시 Moon(2004) 등 전국 35개 시 Kim(2006)를 대상으로 생태발자국 관련 연구들이 수행되었으며, 주로 그 지역의 생태발자국 지수를 산정하여 환경용량 및 지속가능성을 평가하였다. 서울시 환경용량평가 연구(1999)에서는 서울시 전체 환경용량의 한계를 구체적 수치로 산정하고, 이를 도시성장 관리 및 지속가능한 개발을 위한 환경관리정책 수단으로 활용하고자 하였으며, 충청북도 생태발자국 산정에 관한 연구(2014)에서는 생태발자국 지수를 이용하여 충북의 각 시군별 환경용량을 평가하였다. 전라북도 환경용량 및 도시개발용량 평가(2005)와 충청남도 환경용량 평가연구(2014)에서는 각 지역의 거시적 환경용량과 도시개발 용량을 산정하고, 이를 타 도시와 비교 분석함으로써 지속가능한 환경관리 및 도시개발 정책을 제시하고자 하였다. 그러나 대부분의 연구들은 지속가능성과 연계한 현재 상태의 환경용량 및 생태발자국 산정에 초점을 맞추어 왔으며, 도시계획 및 환경정책의 실용적 개선에는 크게 기여해오지 못하고 있다는 비판을 받아왔다(Han, 2012).

생태발자국의 적용을 시도한 대표적인 해외사례로는 영국의 요크시(York, England)를 들 수 있다. 요크시는 과도한 도시개발로 인한 지속가능하지 않은 소비패턴, 교통 체증, 증가하는 쓰레기, 기후변화의 위협 등의 많은 환경적 난관에 직면했으나, 생태발자국 데이터를 기반으로 한 획기적인 도시계획 정책을 수립했다. 그 결과, 2013년까지 요크지역의 생태발자국 지수를 3.5gha로 줄이는 성과를 거두었으며, 도시계획의 과정에서 생태발자국 자료를 적극적으로 이용하여 도시의 생태적 비전을 설정하는데 활용하였다. 스코틀랜드(Scotland)의 경우, 스코틀랜드의 3개 도시의 생태적 환경영향을 줄이기 위하여 생태발자국 프로젝트를 3년 동안 진행했는데, 이 프로젝트를 통해 다양한 시나리오를 설정하고, 이에 따른 1인당 생태발자국 지수의 변화를 예측하고 줄이는데 성공했다. 캐나다 밴쿠버시(Vancouver, Canada)에서는 1인당 생태발자국 지수를 도시계획에 적극 활용하고 있으며, 1인당 생태발자국 지수를 2006년 수준으로 낮추기 위하여 지자체가 종합계획 수립해 생태발자국 지수의 저감방안을 마련하였다. 특히, 밴쿠버시의 경우, 음식 및 교통과 관련된 에너지 부문의 생태발자국이 가장 높아 이를 해결하기 위한 정책적 대안을 도시 및 환경정책에 적극 반영해오고 있다.

미국 샌프란시스코(San Francisco, USA)는 생태발자국 분석을 통해 친환경적인 교통관련 계획과 자급자족형 경제개발이 중요하다는 결론을 도출했으며, 물류수송과 차량이용 시스템 및 경제적 비용절감을 위한 도시 및 환경정책 개선에 주력했다.

현재까지 진행된 생태발자국 연구들 중 산림부문의 생태발자국 지수의 변화를 통하여 환경적 측면에 집중하여 분석한 연구들이 없다는 점에서, 본 연구는 생태발자국의 산림·건조환경 부문과 GIS 토지피복도의 비교 분석을 했다는 데 독창성과 의의가 있다.

III. 연구방법

생태발자국을 측정하는 방법은 거시적 방법과 미시적 방법이 있는데, 거시적 측정방법은 통계자료를 이용하여 음식, 산림, 건조환경, 에너지 등의 소비를 측정하는 방식이며, 미시적 방법은 설문지를 이용하여 크게 유동항목과 고정항목의 1달간 생태적족적을 추적하는 방식이다(Joo, 2009). 본 연구는 용인시의 통계자료를 바탕으로 4가지 항목의 소비를 측정하는 거시적 측정방법을 적용하였다. 거시적 생태발자국을 측정하는 방법에는 세계산출량을 쓰는 방법과 지역산출량을 쓰는 방법이 있는데, 이들의 계산방식은 기본적으로 동일하다. 세계산출량에 의한 방법은 측정되는 지역에서 소비하는 자원의 양을 세계산출량으로 나눈 후 등가요소(Equivalence Factor)를 곱하며, 그 결과 값은 글로벌 헥타르(gha)라는 가상의 토지면적으로 산출된다. 등가요소를 곱하는 이유는 생산성이 높은 토지와 생산성이 낮은 토지를 같은 글로벌 헥타르라는 토지면적으로 환산해 주기 위함이다. 또한 세계산출량의 결과는 절대적 지수로서, 국가 혹은 지역 간의 지수에 의해 서로 비교가 가능한 반면, 지역산출량의 산정은 얼마나 많은 실제 토지가 인간에 의해 사용되었는가에 대한 대답을 얻기 위해 활용된다. 따라서 지역산출량을 사용한 실제 토지면적수요의 계산은 생산가능지역의 물리적 확장을 나타낸다(Wackernagel *et al.*, 2004). 지역산출량에 의한 방법은 지역에서 소비하는 자원의 양을 지역산출량으로 나누는데, 지역산출량을 사용하는 방법에서 등가요소를 곱하지 않는 이유는 실질적인 토지면적을 얼마나 사용하고 있는지를 파악하기 위함이다. 이를 바탕으로 산정한 음식 부문의 생태발자국은 한 지역에서 소비되는 1인당 총량의 생산을 위해 필요한 토지의 양으로 산출하고, 그 지역에서 생산되는 1인당 음식의 총량도 토지의 양으로 산출한다(Joo, 2009). 건조환경부문의 생태발자국은 생산성이 있던 지역이 인간의 편익을 위한 시설, 즉 주택용지, 도로, 산업용지 등으로 변화된 것을 의미하며, 이미 소비가 된 토지임을 감안하여 보정과 등가인자가 적용된 토지면적을 생태발자국의 지수로 산정한다. 산림 부문의 생태발자국은 소비재로 쓰이는 산림의 종류와 용도가 다양해, 전체 사

용량을 세부적으로 산정하기 어려우므로, 목재에 대한 산출량과 소비량 즉, 한 지역에서 1인당 소비되는 목재의 양과 그 지역에서 생산이 가능한 1인당 목재의 양을 비교하여 산정한다. 에너지 부문의 생태발자국은 일반적으로 화석연료를 사용한다는 전제하에 에너지 생성을 위해 사용된 화석연료에서 배출되는 이산화탄소를 흡수할 토지의 양으로 나타낸다(Joo, 2009).

본 연구는 상기한 전제와 지역산출량에 의한 방식을 바탕으로 다음과 같은 프로세스를 통해 생태발자국을 산정하였다. 우선 첫 번째 단계로 에너지, 음식, 건조환경, 산림 등 4개의 추정 부문에 대하여 각 부문별 세부항목 관련 데이터를 수집하였으며, 제2단계로 부문마다 구성된 각 항목별 1인당 소비량을 단위 생산량(토지 1ha 당 항목별 생산성)으로 나누어 항목별 1인당 생태발자국 지수(EF)를 계산하였다. 이에 대한 수식은 식 1과 같다.

$$\text{항목별 1인당 EF (ha/인)} = \frac{\text{1인당 항목별 소비량 (ha/인)}}{\text{토지 1ha인당 항목별 생산량 (kg/ha)}} \quad (\text{식 1})$$

제 3단계로는 항목별 1인당 생태발자국 지수를 모두 합산하여 부문별 생태발자국 지수(EF)를 계산하였다. 이에 대한 수식은 식 2와 같다.

$$\text{부문별 1인당 생태발자국 (EF)} = \sum \text{항목별 1인당 EF} \quad (\text{식 2})$$

마지막으로는 부문별로 계산된 생태발자국 지수를 모두 합산하여 용인시 전체의 1인당 생태발자국 지수(EF)를 산정하였다. 이에 대한 수식은 식 3과 같다.

$$\text{용인시 1인당 생태발자국 (EF)} = \sum \text{부문별 1인당 EF} \quad (\text{식 3})$$

IV. 생태발자국 분석 결과

1993년도 용인시의 인구는 191,629명이었으며, 당시의 생태발자국 지수를 분석한 결과, 항목별로는 음식부문 2.0489(gha), 에너지부문 0.8746(gha), 건조환경부문 0.2766(gha), 산림부문 0.0020(gha)의 순으로 나타났으며, 이를 합산한 총 생태발자국 지수는 3.2021(gha)이었다(Table 1~4 참조). 생태발자국에서 음식부문의 지수가 가장 높게 나온 것은 세부항목 중 하나인 축산물의 지수가 높게 나왔기 때문이며, 에너지 및 건조환경 부문의 지수가 높게 나온 것은 1980년대 후반부터 중앙정부가 추진한 주택건설 촉진 및 개발 붐과 함께 용인지역의 개발 압력이 가중되었음을 보여주고 있다. 1993년의 용인시는 도시교외화의 영향으로 토지투기의 대상으로 주목받고 있었으며, 특히 용인시 수지구 지역은 분당 신도시개발 이후 토지투기 대상

Table 1. Food Ecological Footprint Calculation, 1993

Classification	Area (ha)	Output (t)	Yield rate (kg/ha)	EF (ha/per)	Itemized EF (gha/per)
Rice	8,025	32,903	4,100.062305	106.5	0.0260
Barleys	1.8	4	2,222.222222	1.5	0.0007
Mixed grains	57	145	2,543.859649	3.3	0.0012
Beans	492	625	1,270.325203	9	0.0070
Tuber crops	135	2,533	18,762.96296	3	0.0002
Vegetable	1,338.4	36,030.6	126,757.6646	136.6	0.0352
Fruits	98.8	1,376.1	50,015.36582	29.6	0.0028
Husbandry		1,059,000	99	65.2	1.9758
Total					2.0489

Table 2. Built Ecological Footprint Calculation, 1993

Classification	Occupied area (m ²)	Land consumption for person (ha/per)	Itemized EF (gha/per)
Land	14,275.6	0.074496219	0.0745
Factory site	2,846.1	0.014852282	0.0149
School site	663.3	0.003461489	0.0035
Road	11,717.9	0.06114914	0.0612
Right of way	338.4	0.001766043	0.0018
Miscellaneous land	4,945.6	0.025807988	0.0258
Dike	527.1	0.002750554	0.0028
Water facilities	28.3	0.000147879	0.0002
Athletic facilities	14,790.1	0.077180943	0.0772
Amusement park	907.4	0.004735395	0.0047
Religion site	110.1	0.000574662	0.0006
Cemetery	1,808.3	0.009436479	0.0094
Total	52,998.3	0.276567337	0.2764

Table 4. Energy Ecological Footprint Calculation, 1993

Classification	Fossil fuel consumption	Change into liter	Caloric value (kcal)	Caloric value (GJ)	Consumption for person(GJ/per)	Itemized EF (gha/per)	
Kind of oil (Bbl)	Gasoline	51,250	8,148,135	65,185,080,000	272,963	1.4244	0.0142
	Paraffin	26,300	4,181,384	36,796,182,720	153,875	0.8030	0.0080
	Dissel	35,600	5,659,973	51,222,753,840	214,513	1.1194	0.0112
	Bunker C oil	62,970	10,011,474	99,113,596,164	414,475	2.1629	0.0216
	LPG	-	-	-	-	-	-
	Etc	-	-	-	-	-	-
Propan(T)	12,411	-	149,552,550,000	625,514	3.2642	0.0326	
Butane(T)	2,519	-	29,850,150,000	124,942	0.6520	0.0065	
Gas(1000m ³)	-	-	-	-	-	-	
Electricity(MWh)	1,661,504	-	3,572,233,600,000	14,953,536	78.0338	0.7803	
Total	1,852,554	28,000,967	4,003,953,912,724	16,759,818	87.4597	0.8746	

Table 3. Forest Ecological Footprint Calculation, 1993

Forest (ha)	Output (m ³)	Yield rate (m ³ /ha)	Consumption (m ³)	Consumption for person (m ³ /cap)	Itemized EF (ha/cap)
33,174	710,692	21.423	8,832	0.046	0.002

의 대표적 대상으로 주목받았다.

2003년 용인시 생태발자국 지수를 분석한 결과, 산림부문 4.0720(gha), 에너지부문 1.2378(gha), 음식부문 1.0436(gha), 건조환경부문 0.1515(gha)의 순으로 나타났으며, 총 생태발자국 지수는 6.5049(gha)으로 산정되었다(Table 5~8 참조). 산림부문의 생태발자국 지수가 가장 높게 나온 것은 용인시의 개발로 인해 산림면적이 줄어든 반면, 인구수는 급증했기 때문인 것으로 추정된다. 실제 용인시의 2003년 인구는 583,516명으로 1993년에 비해 약 204% 이상 급격히 증가한 것으로 나타났다. 건조환경부문의 생태발자국이 높지 않은 것은 급격히 증가한 인구만큼 주택개발 등 건조환경부문의 공급 또한 급증했다는 것을 의미

Table 5. Food Ecological Footprint Calculation, 2003

Classification	Area (ha)	Output (t)	Yield rate (kg/ha)	EF (ha/per)	Itemized EF (gha/per)
Rice	5,422	22,745	4,794.946514	83.2	0.0198
Barleys	0.4	0.9	2,250	1	0.0004
Mixed grains	52	160	3,076.923077	6.2	0.0020
Beans	386	558	3,076.923077	8	0.0055
Tuber crops	101	2,066	20,455.44554	3.2	0.0002
Vegetable	484.2	20,563	175,699.8985	135.7	0.0038
Fruits	87	979	39,280.42636	25.9	0.0028
Husbandry		1,212,000	99	33.3	1.0091
Total					1.0436

한다고 볼 수 있다. 실제로 2003년의 용인시는 1994년 이후 비도시지역의 토지이용규제가 대폭적으로 완화되면서 개발이 급격히 전개되고 있던 시기였으며, 1996년부터 도시기본계획 수립에 착수하여 6년에 걸친 계획수립과정을 거쳐 수지구와 기흥구를 중심으로 많은 개발이 이루어졌다.

Table 6. Built Ecological Footprint Calculation, 2003

Classification	Occupied area (m ²)	Land consumption for person (ha/per)	Itemized EF (gha/per)
Land	28,186.2	0.048304	0.0483
Factory site	6,830.9	0.011706	0.0117
School site	2,155.8	0.003695	0.0037
Road	15,787.2	0.027055	0.0271
Right of way	547.8	0.000939	0.0009
Parking lot	24.5	0.000042	0.00004
Dike	685.3	0.001174	0.0012
Storage site	1,185.3	0.002031	0.0020
Athletic facilities	20,757.4	0.035573	0.0356
Amusement park	1,351.9	0.002317	0.0023
Religion site	379.3	0.000650	0.0007
Cemetery	2,113.7	0.003622	0.0036
Miscellaneous land	7,927.0	0.013585	0.0136
Gas station	74.4	0.000127	0.0001
Total	88,421.9	0.151533	0.1508

Table 7. Forest Ecological Footprint Calculation, 2003

Forest (ha)	Output (m ³)	Yield rate (m ³ /ha)	Consumption (m ³)	Consumption for person (m ³ /cap)	Itemized EF (ha/cap)
31,578	1,163,196	36.836	8,727	0.015	4.0720

Table 8. Energy Ecological Footprint Calculation, 2003

Classification	Fossil fuel consumption	Change into liter	Caloric value (kcal)	Caloric value (GJ)	Consumption for person (GJ/per)	Itemized EF (gha/per)
Kind of oil (Bbl)	Gasoline	1,121,000	178,225,548	1,425,804,384,000	5,970,556	10.2320
	Paraffin	287,000	45,629,556	401,540,092,800	1,679,168	2.8777
	Dissel	1,472,000	234,030,336	2,117,974,540,800	8,869,750	15.2005
	Bunker C oil	-	-	-	-	-
	LPG	-	-	-	-	-
	Etc	-	-	-	-	-
Propan(T)	24,211	-	291,742,550,000	1,220,234	2.0912	0.0209
Butane(T)	56,216	-	666,159,600,000	2,788,314	4.7785	0.0478
Gas(1,000m ³)	154,793	-	2,136,143,400,000	8,327,863	14.2719	0.0417
Electricity(MWh)	4,818,790	-	10,360,398,500,000	43,369,110	74.3238	0.7432
Total	7,934,010	457,885,440	17,399,763,067,600	72,224,995	123.7755	1.2378

2013년 용인시 생태발자국 지수를 분석한 결과, 산림부문 7.3180(gha), 에너지부문 2.3848(gha), 음식부문 1.3198(gha), 건조환경부문 0.1317(gha)의 순으로 나타났으며, 총 생태발자국 지수는 11.1543(gha)으로 산정되었다(Table 9~12 참조). 2013년 용인시의 생태발자국 중 산림부문이 가장 높은 것은 2003년처럼 제한된 산림면적에 비해 인구는 지속적으로 증가했음을 의미한다. 실제로 2013년 용인시의 인구는 955,907명으로 2003년 대비 약 64%의 증가율을 나타냈다. 2013년의 용인시는 짧은 기간의 도시화를 통해 농촌적 삶의 양식이 아파트라는 주거양식으로 급변함에 따라 에너지 부문 특히, LPG와 전기 항목의 생태발자국이 급격히 증가하게 되었음을 알 수 있다.

종합적으로 정리하면, 용인시의 총 생태발자국 지수는 1993년 3.2019(gha), 2003년 6.5042(gha), 2013년 11.1492(gha)로 산정되었으며, 이는 용인시 생태발자국 지수가 1993년부터 2013년까지 시간이 갈수록 지속적으로 증가하고 있음을 보여 주고 있다. 이러한 결과는 1인당 필요한 생태발자국 면적이 1.8(gha)(Rees, 2006)임을 고려할 때, 1993년의 총 생태발자국

Table 9. Food Ecological Footprint Calculation, 2013

Classification	Area (ha)	Output (t)	Yield rate (kg/ha)	EF (ha/per)	Itemized EF (gha/per)
Rice	4,125	25,914	6,282.181818	67.2	0.0107
Barleys	33	80	2,424.242424	1.3	0.0005
Mixed grains	84	235	2,797.619048	3.5	0.0013
Beans	114	162	1,421.052632	7.9	0.0056
Tuber crops	30	494	16,466.66667	3.9	0.0002
Vegetable	42.3	1,571.5	37,151.30024	45.8	0.0012
Fruits	62.8	735	47,701.84444	25.1	0.0021
Husbandry		1,586,000	99	42.7	1.2939
Total					1.3198

지수는 용인시민 1인당 지구 1개 이상의 면적이, 2003년은 지구 4개 이상의 면적이, 2013년은 지구 9개 이상의 면적이 필요하다는 것을 의미한다(Figure 1 참조).

V. 용인시 생태발자국과 GIS 토지피복도 비교 분석

Table 10. Built Environment Ecological Footprint Calculation, 2013

Classification	Occupied area (m ²)	Land consumption for person (ha/per)	Itemized EF (gha/per)
Land	43,721.4	0.045738	0.0475
Factory site	8,586.3	0.008982	0.0090
School site	4,638.7	0.004853	0.0049
Road	21,270.6	0.022252	0.0223
Storage site	2,690.8	0.002815	0.0028
Micellaneous land	9,936.0	0.010394	0.0104
Gas station	227.2	0.000238	0.0002
Water facilities	602.5	0.000630	0.0006
Athletic facilities	24,220.3	0.025338	0.0253
Amusement park	1,874.7	0.001961	0.0020
Religion site	775.3	0.000811	0.0008
Historic site	17.8	0.000019	0.00002
Cemetery	2,248.2	0.002352	0.0024
Total	125,930.0	0.131739	0.1264

Table 11. Forest Ecological Footprint Calculation, 2013

Forest (ha)	Output (m ³)	Yield rate (m ³ /ha)	Consumption (m ³)	Consumption for person (m ³ /cap)	Itemized EF (ha/cap)
30,895	3,799,768	122,990	8,654	0.009	7.3180

Table 12. Energy Ecological Footprint Calculation, 2013

Classification	Fossil fuel consumption	Change into liter	Caloric value (kcal)	Caloric value (GJ)	Consumption for person (GJ/per)	Itemized EF (gha/per)	
Kind of oil (Bbl)	Gasoline	1,960,264	311,678,000	2,493,424,000,000	10,441,213	10.9228	0.1092
	Paraffin	207,952	33,064,000	290,963,200,000	1,216,755	1.2729	0.0127
	Dissel	2,429,037	386,212,000	3,495,218,600,000	14,637,435	15.3126	0.1531
	Bunker C oil	53,139	8,449,000	83,645,100,000	349,789	0.3659	0.0037
	LPG	1,142,279	181,620,000	2,361,060,000,000	9,892,900	103.5478	1.0355
	Etc	231,412	36,794,000	337,474,568,000	1,412,890	1.4781	0.0148
Propan(T)	30,898	-	372,320,900,000	1,557,259	1.6291	0.0163	
Butane(T)	69,837	-	827,568,450,000	3,463,615	3.6237	0.0362	
Gas(1,000m ³)	310,910	-	4,290,558,000,000	16,726,958	17.4985	0.1750	
Electricity(MWh)	8,797,323	-	18,914,244,450,000	79,175,907	82.8280	0.8283	
Total	15,233,050	957,817,000	33,466,477,268,000	227,965,021	238.4803	2.3848	

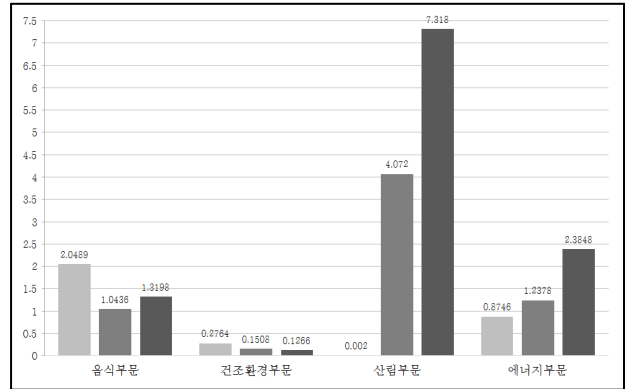


Figure 1. The Comparison of Ecological Footprint Indices (Unit: gha)

Legend: ■ 1993(year) ■ 2003(year) ■ 2013(year)

본 연구는 1993년부터 20년간의 생태발자국 지수의 변화를 실제 토지피복의 공간적 변화와 연계 비교함으로써 두 인자가 어떠한 상관관계를 갖는지에 대해 분석하였다. 연구자가 직접 산정한 용인시의 생태발자국 지수와 토지피복도를 비교하여 분석함으로써, 생태발자국이 특정 지역의 소비로 인한 총합적 환경영향을 보여주는데 반해, 주요 요소들의 공간적 분포 및 변화를 설명하는 데는 한계가 있는 점을 보완하였다. 따라서 본 연구는 자료 확보의 한계 등을 고려해 생태발자국 산정시기와 가장 가까운 시점인 2000년과 2013년의 GIS 토지피복도를 확보하여 앞서 산정한 2003년과 2013년의 생태발자국을 각각 비교 분석하였다. 본 연구는 토지피복도 중 건조환경과 산림부분의 생태발자국 및 실제 면적변화의 연계성의 분석에 초점을 맞추었다. 2000년 용인시 토지피복 면적의 구성은 주거용지 4.78%, 잡종지 2.93%, 위락시설 2.26%, 공장용지 1.79%, 공공시설용지 1.41%, 상업시설 0.84%, 도로 및 철도용지 0.77%의 순으로 확인되었으며, 2013년의 경우 주거용지 5.33%, 상업시설 3.23%,

도로 및 철도용지 3.15%, 잡종지 2.05%, 공장용지 1.26%, 공공 시설용지 0.68%, 위락시설 0.47%의 순으로 조사되었다(Table 13, Figure 2, 4 참조). 이는 지난 10여 년 동안 주거용지의 개발이 가장 큰 비중을 차지하고 있었으며, 상업시설과 도로의 개발이 급격히 증가하였음을 보여주고 있다. 용인시의 GIS 토지피복도 분석결과, 2000년의 산림면적은 용인시 전체의 55.35%를 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 2013년에는 51.10%로 4.25%의 산림이 줄어든 것으로 나타났다(Figure 3, 5 참조). 따라서 본 연구는 2000년 산림분포 지도와 2013년에 추가된 건조환경부문의 면적을 중첩하여 새로 개발된 지역에서의 산림 훼손 면적을 도출하였다. 분석결과, 2000년의 산림 중 2013년까지 건조환경부문의 개발로 훼손된 산림면적은 66,936,600m²로 이는 2000년 대비 약 13.26%의 산림이 개발로 인해 훼손되었음을 알 수 있다(Figure 6, 7 참조).

용인시의 생태발자국 지수 분석 결과, 산림부문과 에너지 부문에서 가장 큰 변화를 보였는데, 산림부문은 2003년 4.072(gha)에서 2013년 7.318(gha)로 증가했으며, 에너지부문은 2003년 1.2378(gha)에서 2013년 2.3848(gha)로 증가했다. 이를 유사한

Table 13. Land Cover Analysis of Built Environment, 2013

Classification	Area percentage(%)
Housing	5.33
Miscellaneous land	2.05
Commercial area	3.23
Factory site	1.26
Public facilities	0.68
Amusement facilities	0.47
Roads	3.15

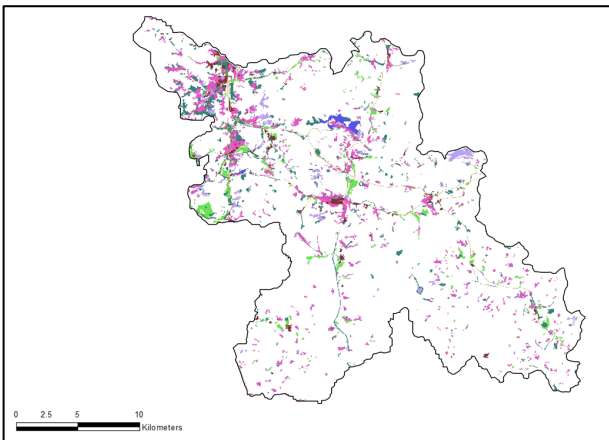


Figure 2. GIS Analysis of Built Environment, 2000
 Legend : ■ Public facilities ■ Factory site ■ Roads
■ Miscellaneous land ■ Commercial facilities
■ Amusement facilities ■ Housing

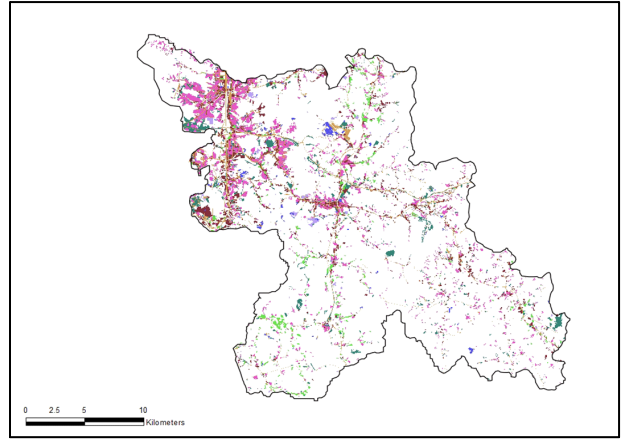


Figure 4. Land Cover Analysis of Built Environment, 2013
 Legend : ■ Public facilities ■ Factory site ■ Roads
■ Miscellaneous land ■ Commercial facilities
■ Amusement facilities ■ Housing

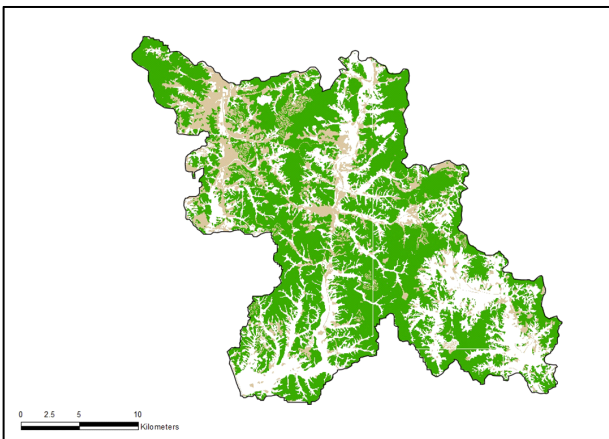


Figure 3. GIS Analysis of Forest, 2000
 Legend : ■ Forestry area ■ Built environment

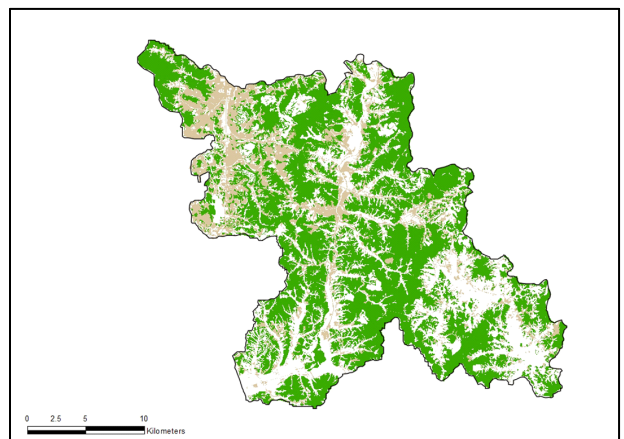


Figure 5. GIS Analysis of Forest, 2013
 Legend: ■ Forestry area ■ Built environment

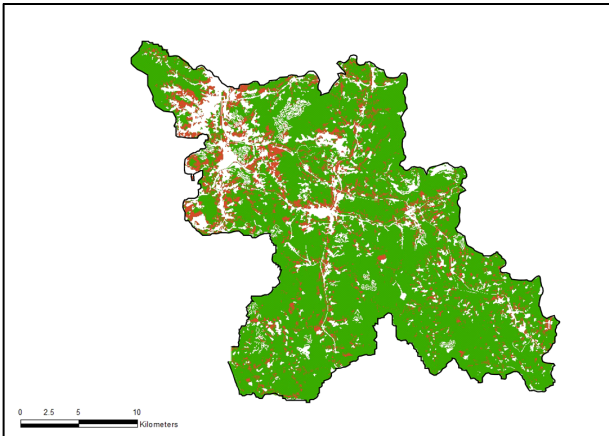


Figure 6. Compares at the 2000, Deforestation for Development in 2013

Legend: ■ Forestry area, 2000
■ Deforestation for development area, 2013

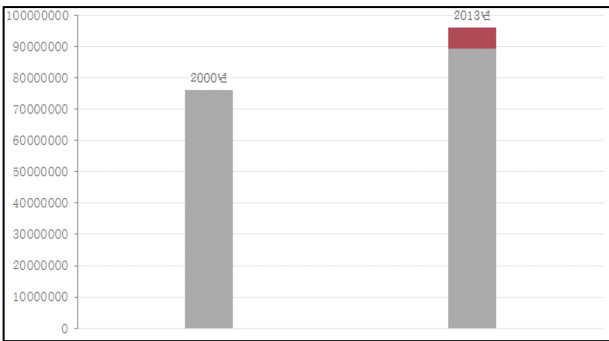


Figure 7. The Changes of Built Environment and Deforested Areas (Unit: m²)

Legend: ■ Built Environment
■ Deforested Area in the Built Environment

시기의 GIS 토지피복도의 산림 및 건조환경 면적과 비교해 볼 때, 그동안 줄어든 산림면적의 대부분이 건조환경 개발에 기인하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 용인시 전체의 산림면적을 고려할 때, 산림면적 자체가 심각할 정도로 줄어든 것은 아니지만, 용인시에서 소비된 목재소비량이 용인시 자체의 산림 생산력에 비해 지나치게 과도하다는 것을 보여주고 있으며, 2003년부터 10여 년간 집중된 건조환경 면적 또한 그나마 제한되어 있는 산림생산 면적을 상당부분 잠식하며 확대되었다는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 물론, 도시개발 시 소비되는 목재소비가 대부분 수입에 의존한다는 현실과 교외지역에서의 도시개발 시 산림훼손을 전적으로 배제하기는 어려우나, 전 지구적 차원에서 이와 같은 개발은 더 이상 지속가능하지 않다는 것을 보여주고 있다. 특히, 산림지역을 훼손하면서 건조환경 면적을 확대하는 것은 지속가능한 생태발자국 측면에서 앞으로 용인시가 지양해야 할 문제라고 볼 수 있다. 2003년부터 10여 년간

용인시의 에너지 생태발자국은 산림 부문 다음으로 높은 증가율을 보이는데, 특히 LPG(액화석유가스)의 소비량이 가장 큰 폭으로 상승했음을 알 수 있다. 이는 토지피복도 분석에서 알 수 있듯 건조환경부문, 특히 상업시설과 도로 및 철도용지의 급증에 크게 기인하는 것으로 분석되었다.

VI. 결론

오늘날 용인시의 모습은 1994년 토지이용제도의 대폭적인 개편에 따라 준농림지역제도가 도입된 후, 난개발이 집중적으로 발생하여 환경문제, 도시문제, 자원고갈문제 등이 발생하여 도시의 불균형적 성장과 난개발의 대명사로 불리고 있는 상황이다. 본 연구는 이러한 용인시 도시개발의 문제를 음식, 건조환경, 산림, 에너지 부문의 생태발자국 측면에서 분석하고자 하였으며, 이를 GIS를 활용한 토지피복변화 분석과 연계하여 도시 및 환경·정책적 시사점을 도출하고자 하였다. 따라서 본 연구의 결과 및 시사점은 다음 세 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 용인시의 총 생태발자국 지수는 1993년 3.20(gha), 2003년 6.50(gha), 2013년 11.15(gha)로 산정되었으며, 지난 20여 년 동안 토지면적으로 환산한 용인시의 1인당 자원소비량이 급격하게 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 지구가 감당해낼 수 있는 1인당 생태발자국 1.8(gha)은 물론, 한국 전체의 1인당 평균 생태발자국인 3.56(gha)(지속가능발전포털, 2016)을 훨씬 상회하는 수준으로, 용인시가 지금까지 대응해 온 다양한 도시계획 및 환경정책 등에도 불구하고, 지역 환경용량에 비해 과도한 자원소비가 이루어지고 있다는 것을 단적으로 보여주고 있다.

둘째, 1993년부터 20여 년간 용인시의 생태발자국을 부문별로 분석한 결과, 산림부문의 생태발자국이 가장 크게 증가하였으며, 다음으로 에너지 부문, 음식 부문, 건조환경부문의 순으로 나타났다. 특히, 산림 생태발자국의 경우, 1993년에는 가장 낮은 0.002(gha)였으나, 2013년에는 7.32(gha)로 급증했으며, 이는 급격한 도시개발로 인한 목재수요와 목재생산력의 지나친 불균형에 기인한다고 볼 수 있다. 에너지 생태발자국의 경우, 0.87(gha)에서 2.38(gha)로 비교적 높은 증가율을 보였다. 이는 주거와 상업용지 개발에 따른 에너지 수요의 급격한 증가에 기인하는 것으로 분석된다.

셋째, 지난 10여 년간 생태발자국과 산림 및 건조환경 토지피복의 변화를 관찰한 결과, 산림부문의 생태발자국이 가장 크게 확대되었으며, 실제 훼손된 산림면적 또한 증가된 건조환경 면적에 집중되어 있음을 알 수 있었다. 에너지 부문의 생태발자국 또한 급격한 증가를 보여주고 있는데, 이는 토지피복도 분석에서 알 수 있듯, 건조환경부문, 특히 상업시설과 도로 및 철도용지의 급증에 크게 기인하는 것으로 분석되었다. 이는 향후 용인시가 개발 시 산림의 훼손을 최소화하고, 녹지면적을

확대해야 할 필요성을 제기하고 있으며, LPG 등 화석연료의 소비를 줄이는 대신 신재생에너지의 확대를 적극적으로 추진해야 한다는 근거를 제공할 수 있다. 본 연구는 용인시 생태발자국 지수를 산정함에 있어 데이터의 확보 어려움으로 인한 한계점을 가지고 있다. 특히, 지역별 소비량 자료 확보가 어려웠는데, 이는 우리나라의 경우 지역별 소비량에 대한 자료가 없어 국가평균 소비량을 사용하고 있어 지역별 소비 특성에 대한 고려가 부족하였다. 두 번째는 용인시 내의 수지구, 기흥구, 처인구 3개의 구 별 소비량 및 생산량 데이터 확보의 어려움이다. 용인시 전체의 생산량 데이터는 있지만, 용인시 구 별 소비량 및 생산량의 데이터는 확보할 수 없었다. 세 번째는 GIS 분석 시 토지피복도의 년도 별 확보의 어려움이다. 토지피복도를 2000년, 2009년, 2013년의 자료만 구할 수 있어, 본 연구와 가장 가까운 년도인 2000년, 2013년의 두 년도를 중심으로만 진행하였다는 점도 한계점으로 볼 수 있다. 난개발의 문제는 이제 용인시만의 문제가 아니다. 최근 서울과 인접한 경기도 내 대부분의 시·군들 또한 용인시와 같이 급격한 도시개발로 인해 파생되는 여러 가지 도시문제들에 직면하고 있다. 따라서 용인시는 생태발자국의 개념을 적용하여 도시개발·계획적 측면으로 도시문제를 접근해야 할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 해외 생태발자국 개념의 도시계획적 적용 사례를 조사하여 용인시에 비교함으로써 생태발자국의 여러 분야에 대한 적용 가능성을 제언하였다. 이러한 점은 향후 본 연구를 바탕으로 생태발자국 지수를 어떻게 도시계획·정책 및 다른 분야에 적용할 수 있을지에 대하여 연구하는데 밑받침이 될 수 있을 것으로 기대한다.

주 1. 글로벌 헥타르(gha : Global hectare)는 인간이 1년 동안 지구에서 삶을 영위하는데 필요한 의·식·주 등을 제공하기 위한 자원의 생산과 폐기에 드는 비용을 토지로 환산하는 단위를 말한다. 1인당 gha는 지구에서 이용가능한 물과 생물학적으로 생산적인 토지의 양을 의미한다.

References

1. Ayres, R. U.(2000) Commentary on the utility of the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 32(3): 347-349.
2. Choi, J. I., J. Y. Jung and G. S. Hong(2011) A Study on the Environmental Capacity Assessment in Seoul Metropolitan Area using Ecological Footprint. The Seoul Institute, p. 27.
3. Choi, J. I.(2012) Study on the Environmental Capacity and Sustainable Assessment in Seoul Metropolitan Area Using Ecological Footprint. MS Dissertation, Hongik University, Seoul, Korea.
4. Han, S. G.(2012) Study on Ecological Footprint Methodologies for Sustainability Management. Ph.D. Dissertation, University of Seoul, Seoul, Korea.
5. Herendeen, R. A.(2000) Ecological footprint is a vivid indicator of indirect effects. *Ecological Economics* 32(3): 357-358.
6. Jeonbuk Development Institute(2005) Research of the Ecological Capacity and City Development Capacity Evaluation in Jeollabuk-do.
7. Joo, Y. J.(2009) A Study on Evaluating Environmental Capacity for Sustainable Eco-City. MS Dissertation, Anyang University, Anyang, Korea.
8. Kang, S.(2003) Research of the Yongin City("Vision of the Yongin City and development management"). Gyeonggi Research Institute, p. 24.
9. Kim, J. C.(2011) Research of footprint: Carbon footprint, water footprint, and ecological footprint. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage* (48): 90-95.
10. Kim, J. G.(2003) Research of the Yongin City("Problem of the Yongin City's basic city planning"). Gyeonggi Research Institute, p. 94.
11. Kim, K. T.(2006) Research of the City Ecological Capacity Evaluation with Ecological Footprint. MS Dissertation, Kyungbuk University, Daegu, Korea.
12. Korea Environment Institute(2014) Research of the Ecological Capacity Evaluation with Ecological Footprint in Chungcheongnam-do.
13. Lee, S. M. and C. H. Oh(2009) Korea's application case and direction of ecological footprint. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* (3): 88-91.
14. Lee, S. H.(2001) Research of Ulsan Ecological Capacity Analysis by Ecological Footprint. Ulsan Development Institute.
15. Lee, Y. H.(2003) Research of the Yongin City("Policy of the city and Yongin Citizen's life"). Gyeonggi Research Institute, p. 7.
16. Lee, C. W.(1999) Research of the Ecological Capacity Evaluation in Seoul. Seoul Institute.
17. Lim, J. H. and J. H. Lee(2002) A study on the environmental carrying capacity assessment of Chongju City. *Environmental Impact Assessment* 11(1): 25-26.
18. Moon, K. J.(2004) An ecological footprint analysis of urban sustainability. *SAPA: Seoul Association for Public Administration* 15(3): 129-158.
19. Moore(2011) Utah Vital Signs Project Team 2007.
20. Park, Y. S. and S. J. Lee(2003) Environmental Diagnosis Yongin City. Industrial Liaison Research. Institute Kangnam University, Yongin, p. 74.
21. Wackernagel and Rees(2004) Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges. *Land Use Policy* 21.
22. Wackernagel and Rees(2006) Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact of Earth. Philadelphia, PA and Gaboriola Island, Canada: New Society Publishers.
23. World wildlife Federation(WWF)(2006) Ecological Footprint: Taking the First Step.

Received : 2 February, 2016

Revised : 2 March, 2016 (1st)

Accepted : 2 March, 2016

3인익명 심사필