

아산시 생태환경용량 평가를 통한 도시계획 활용방안 연구 - 생태발자국을 중심으로 -

주용준[†]·사공희·이상윤

한국환경정책·평가연구원

A Study on Utilization Plan and Assessment of Ecological Carrying Capacity of Asan City

- Focused on the Ecological Footprint Survey -

YongJoon Joo[†] · Hee Sagong · SangYoon Lee

Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute

(Received : 26 October 2017, Revised: 12 November 2017, Accepted: 12 November 2017)

요약

도시 및 환경문제는 인간의 과도한 활동으로 인한 귀중한 자원의 무분별한 남용과 생태계의 자생적 회복 속도보다 더 빠른 소비에서 발생한다. 이에 따라 도시 및 환경 분야에서는 생태계의 수용 능력 범위 즉 생태적 환경용량 내에서 개발이 이루어질 수 있도록 다양한 계획과 실천 전략이 수립되고 있다. 본 연구에서는 아산시를 대상으로 생태발자국 모델을 통해 생태적 환경용량을 산정하였다. 아산시의 2015년 생태발자국 및 생태적자는 각각 5.12(gha/인), -4.99(gha/인)로 산정되었으며, 2001년부터 2015년까지의 생태발자국 증가율은 81%이며 생태적자는 같은 기간에 190%로 급증하였다. 이러한 결과는 아산시의 인구증가와 도시개발에 따른 자원소비가 지속적으로 증가하고 있고, 환경용량의 한계치에 영향을 주는 녹지와 농지, 습지 등의 생태적 공간의 감소는 더욱 가속화되고 있는 것을 보여준다. 아산시의 지속가능한 발전을 위해서는 녹지와 농지, 습지 등을 보전하고 생태적 환경용량을 고려하여 도시개발 및 성장을 유도하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 아산시를 대상으로 환경용량 범위 안에서 도시 성장을 유도할 수 있도록 생태적자를 활용한 방안을 제안하고자 한다.

핵심용어 : 생태발자국, 환경용량, 생태적자, 도시계획

Abstract

Environmental problems in urban spaces tend to result from excessive use of resources faster than the ecosystem can recover itself. In order to address this problem, city or municipal governments tend to devise plans and policies to lead development within their ecological carrying capacity. This study computes ecological capacity of Asan city, Province Chung Nam, South Korea through applying the concept of ecological footprint. This study finds ecological footprint and deficit of Asan city in 2015 were 5.12 and -4.99, respectively. From 2001 to 2015, Asan city experienced not only an 81% increase of ecological footprint, but also a 190% increase of ecological deficit. Such results suggest that Asan city has experienced a steady increase of resource consumption due to population increase and urban growth, indicating that loss of ecological spaces such as green space, farmland, wetland and so on restoring the ecosystem has been accelerated. Therefore, in order to promote sustainable development, Asan city should not only protect green space, farmland, wetland, and so on but also create urban growth plans and policies taking into account its environmental capacity of the city. This study provides suggestions for Asan city to lead urban growth within its environmental capacity by applying ecological deficit.

Key words : Ecological Footprint, Environmental Capacity, Ecological Deficit, Urban Plan

1. 서 론

1.1 배경 및 목적

현대 사회는 도시화와 산업화가 진행되면서 인구증가에

따른 도시개발이 지속적으로 이루어졌으며, 도시지역뿐만 아니라 교외의 녹지와 농지까지 개발되고 있다. 급속한 경제성장애 따른 각종 개발과 이용은 자연환경의 훼손 및 파괴, 오염원의 배출 그리고 자원고갈을 야기한다. 도시 및 환경문제는 인간의 과도한 활동으로 인한 귀중한 자원의 무분별한 남용과 생태계의 자생적 회복보다 더 빠른 소비에서 발생한다. 이에 따라 도시 및 환경 분야에서는 생태계

[†] To whom correspondence should be addressed.
Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute,
E-mail: yjoo@kei.re.kr

의 수용 능력 범위 즉 생태적 환경용량 내에서 개발이 이루어질 수 있도록 다양한 정책과 계획이 수립되고 있다.

환경용량은 학자나 응용분야에 따라 다양한 개념으로 정의될 수 있다. Kim(2001)은 환경용량에 대해 일정한 삶의 질을 지속적으로 유지할 수 있는 수준에서 지역이 지탱할 수 있는 인간활동의 범위로 정의하고 있다. 인류가 일정한 삶을 지속적으로 유지하기 위해서는 도시의 성장과 개발에 관해 체계적인 접근이 필요하다. 이는 지역에 대한 환경용량의 한계를 구체적인 수치로 산정하는 것에서 시작된다.

환경용량의 산정에는 다양한 모델이 있으며 Wackernagel과 Rees(1996)에 의해 고안된 생태발자국도 그 중 하나이다. 생태발자국은 특정 지역을 대상으로 소비와 생산에 필요한 일인당 토지면적을 산출한 것이다. 생태발자국 지수 1은 한 지역에서 소비되는 총량을 그 지역에서 생산이 가능하다는 것을 의미한다(Moore et al. 2011; Utah Vital Signs Project Team 2007). 생태발자국 모델은 인간 활동을 토지라는 한 가지 단위로 환산 시킴으로써, 국가 또는 지역의 자원소비량이 지속가능하게 이루어지고 있는지 여부를 알려주는 거시적 수치이다.

생태발자국 모델은 통계자료가 확보된다면 환경용량을 다른 모델보다 비교적 용이하게 산정·평가할 수 있다. 이에 따라 외국에서는 생태발자국 모델을 도시 및 환경, 교통, 에너지 부문에서 다양하게 활용하고 있다. 본 연구에서는 생태발자국 모델을 통해 아산시의 환경용량을 평가하고, 도시계획에 활용하는 방안을 제안하고자 한다.

1.2 선행연구 고찰

생태발자국 모델에 관한 연구는 많은 나라에서 진행하고 있다. Kim et al.(2007)은 우리나라 35개 시의 일인당 생태발자국을 산정하고 유사성을 보이는 도시별로 각각의 환경특성 및 관리방안을 제안하였다. Kim et al.(2011)은 서울 중구에 대하여 일인당 생태발자국을 읍/면/동 단위로 분석을 하고, 각각의 읍/면/동의 위치, 인구밀도, 토지이용도와 연계해서 고찰하였다. Bae et al.(2011)은 충청북도를 대상으로 2008년 일인당 생태발자국과 생태적자를 분석하고, 지자체 정보를 활용하여 맞춤형 정책의 수립을 제안하였다. 또한 KICSD, 2012)에서는 경기도의 시/군/구를 대상으로 2010년 일인당 생태발자국 수치와 생태적자를 산정하였다.

외국에서는 생태발자국 모델을 통한 환경용량의 평가뿐만 아니라, 이를 국가 및 도시의 정책과 계획에 활용하기 위한 연구가 많이 진행되었다. Moore et al.(2011)은 샌프란시스코 광역도시권의 생태발자국을 분석하고, 대중교통 중심의 교통계획으로 일인당 생태발자국 감소가 가능함을 제안하고 있다. Utah Vital Signs Project Team(2007)은 미국 유타주를 대상으로 1990년과 2003년 사이 일인당 생태발자국 지수 중 교통분야가 크게 변한 것을 확인하고, 종합계획에서 친환경적 교통수단을 도입하는 방안을 제시하였다. 캐나다는 City of Vancouver(2011)에서 일인당 생태발자국 수치를 통해 나타난 도시의 특성을 고려하여, 도시종합계획에서 다루어야 할 정책들 간에 우선순위를 선정하였다.

또한 City of Calgary(2007)에서는 중장기 계획으로 생태발자국의 목표치를 설정하고, 이를 실현할 수 있는 전략을 수립하였다. 스코틀랜드에서는 Best Foot Forward (2004)를 통해 물질흐름(material flow)을 생태발자국 분석과 연계하여 다양한 시나리오를 설계하고, 일인당 생태발자국 수치 변화를 통해 국가정책의 방향을 제안하였다.

국내의 생태발자국 모델 관련 연구는 도시의 일인당 생태발자국 지수를 평가·분석하는 것이 대부분인 반면, 외국에서는 생태발자국을 도시정책과 계획에 실제 활용하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 생태발자국 및 생태적자 분석을 통해 아산시의 환경용량을 산정하고, 그 결과를 도시계획의 성장관리에 활용할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구의 대상지는 아산시로 선정하였다. 아산시는 지속적인 도시개발과 인구증가¹⁾로 인해 자원소비에 따른 생태발자국의 급격한 변화를 파악하기에 용이하며, 환경용량을 고려한 도시성장이 필요한 도시라 할 수 있다. 본 연구는 생태발자국 모델을 통한 아산시의 환경용량 평가와 생태적자의 산정, 도시계획에의 활용방안 등으로 구분된다.

생태발자국은 국가나 지역단위에서 국민들의 소비품목을 조사하고 소비량에 필요한 토지면적을 계산한 것이다. Wackernagel and Rees(1996)가 제시한 생태발자국의 산정식은 아래와 같다.

$$\text{생태발자국} = EF = \frac{P}{Y_n} * YF * EQF$$

P=소비재 소비량

Y_n=P를 생산하기 위한 지역 평균 생산성

YF=생산성 인자, EQF=토지의 등가인자

생산성 인자는 GFN(2017)에서 발표한 대한민국의 토지별 인자를 적용하였으며 토지의 등가인자는 GFN(2008)에서 발표한 세계 평균값을 적용하였다. 생태발자국의 단위는 글로벌헥타르(global hectore, gha)이며, 국가간 혹은 지역간 생산성의 차이를 없애고 비교가 용이하도록 생산성 인자와 토지 등가인자를 적용한다.

Table 1. Yield factor and Equivalence factor of land type

Land use type	Yield factor	Equivalence factor
Crop Land	1.42	2.64
Grazing Land	1.70	0.50
Forest Land	0.57	1.33
Marine Fishing Grounds	1.83	0.40
Infrastructure	1.42	2.64
Carbon		1.33

1) 아산시의 2015년 제조업체는 2010년에 비해 37.9% 증가하고 2007년부터 2016년까지 인구증가율이 41%에 이르는 등 도시가 개발·확장되고 있음(아산시 통계연보, 2017, 2008)

source : GFN(2008), GFN(2017)

생태발자국을 산정할 때 고려하는 토지형태는 6가지로 구분되며 아래와 같다(GFN 2008): ① 경작지(식품, 동물사료, 섬유 및 오일용 곡물 등 생산) ② 초지(고기, 가죽, 모, 우유 등을 생산) ③ 산림(목재 또는 제지, 연료용 목재를 생산) ④ 어장(사람들이 소비하는 해조류, 어패류 등을 생산) ⑤ 건설환경(개인활동, 수송 및 주거를 위한 기반시설이 점유하는 면적) ⑥ 탄소흡수지(화석연료의 연소과정에서 배출되는 이산화탄소를 흡수하는데 필요한 산림 면적)

생태발자국 산정을 위한 통계자료는 충청남도과 아산시의 통계연보를 활용하였다(Chungnam-do, 2002, 2006, 2012, 2016; Asan city, 2002, 2006, 2012, 2016). 본 연구에서는 소비를 식품 부문, 건축 부문, 산림 부문, 에너지 부문의 4개 부문으로 구분하여 환경용량을 산정하였으며, 각각의 토지로부터 생산되는 1차 산물만을 대상으로 하였다. 식품 부문은 곡류, 채소류, 과일류, 축산물을 포함하였으며 토지유형은 경작지와 초지 면적을 활용하였다²⁾. 지역생산성은 각 품목에 대해 경작지 면적 당 생산량으로 산출하였으며, 소비량은 농림축산식품 주요 통계(Ministry of agriculture, 2016)의 일인당 소비량을 사용하였다³⁾. 축산물은 영국과 우리나라의 가축사육에 필요한 법적 최소면적의 차이를 고려하여 산출률을 1,500⁴⁾으로 하였다. 축산물 생산량은 지육량을 사용하였다.

건축 부문의 토지는 인간의 활동으로 건물, 도로 등의 시설물이 건설되면서 더 이상 생산기능을 수행하지 못하는 지역으로, 대지, 공장용지, 학교용지, 주차장, 도로 등을 대상으로 산정하였다. 산림 부문에서 생산량은 목재생산량을 이용하여 산정하였으며 소비량은 목재수요량을 이용하였다.

에너지 부문의 생태발자국은 화석연료의 소비에 초점을 두고 있으며, 본 연구에서는 Wackernagel and Rees(1996)가 제시한 화석연료가 소비되는 것과 같은 비율로 자원을 다시 생산하는데 필요한 토지면적을 계산하였다. 이를 위하여 Moon et al(2004)가 제시한 100 GJ(gigajoule)의 화석연료를 소비를 위해서는 약 1ha의 생산적인 토지가 필요하다는 연구결과를 적용하였다. 화석연료의 소비에 필요한 생산적인 토지는 산림으로 간주하고 산림의 등가인자를 적용하였다.

생태적자(Ecological Deficit, ED)는 일인당 생태수용능력(biocapacity)에서 일인당 생태발자국 지수로 뺀 값으로

정의된다.

$$\text{일인당 생태수용능력} = A * YF * EQF$$

A= 대상지역의 토지형태별 면적

YF= 생산성 인자

EQF=토지 등가인자

$$\text{일인당 생태적자} = \text{일인당 생태수용능력} - \text{일인당 생태발자국}$$

생태적자는 해당 지역의 소비를 위해 사용된 토지면적이 생태적으로 생산적인 토지면적에 비해서 얼마나 높은 비율을 차지하고 있는가를 나타낸다. 본 연구에서는 일인당 생태수용능력을 일인당 생태적 생산토지의 합으로 계산하였다.

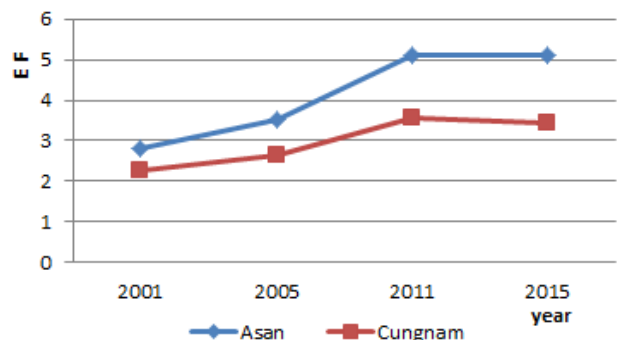
생태발자국 모델을 고안한 Wackernagel and Rees(1996)은 생태적으로 생산적인 토지를 경작지, 영구초지, 산림 면적의 합으로 산정하였다. 본 연구에서도 생태적 생산토지를 현재 경작, 산림 등의 용도로 사용 중인 토지로 규정하고 건축용도 등으로 이미 사용되어 생태적인 기능이 없는 토지는 제외하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 아산시 생태발자국

본 연구에서는 충청남도과 아산시에 대한 2001년 2005년, 2010년, 2015년의 생태발자국을 각 부문별로 산정하였다(Table 2). 아산시의 2015년 생태발자국은 5.12(gha/인)로 충청남도 3.44(gha/인)에 비해 1.5배 높은 것으로 나타났다. 아산시의 2001년부터 2015년까지의 생태발자국 증가율은 81%의 급격한 증가율을 보이고 있으며, 충청남도의 증가율은 53%이다(Fig. 1). 이는 아산시의 인구증가에 따른 에너지 등 자원소비량과 증가율이 충청남도보다 높은 것을 의미한다. 아산시의 인구는 2001년 188,372인에서 2015년 311,143인으로 65.1% 증가한 반면, 충청남도는 같은 기간 동안에 10.6% 증가하였다.

아산시의 2015년 부문별 생태발자국은 건축환경 부문 <산림 부문<식품 부문<에너지 부문의 순으로 나타났으며, 그 중 에너지 부문은 4.45(gha/인)로서 아산시 생태발자국의 86.9%를 차지하고 있다. 충청남도 또한 에너지 부문 생태발자국이 85.7%로 큰 비중을 보이고 있다. 에너지 부문의



2) 어장 면적과 어류 및 어패류 등의 생산량이 통계자료에 반영되어 있지 않아 제외하였다. 유제품의 생산량 또한 통계자료에 반영되어 있지 않아 제외함
3) 국가 단위와 달리 지역 단위에서는 일인당 소비량이 통계자료에 반영되어 있지 않아 전국의 일인당 소비량을 사용함
4) 선행 연구에서 산출률 33(Rees, 1997)을 적용하고 있으나, 이 경우 식품 부문에서 축산물(쇠고기 등 육류) 소비량이 차지하는 비율이 90%를 초과하고 있어 우리나라 음식문화와 부합하지 않으며 외국과 우리나라의 가축 사육방식이 상이함. 영국의 경우 영국동물학대방지 협회의 돼지 방사사육면적 기준은 두당 333㎡이며 우리나라의 법정 돈사 적정사육면적은 옹돈의 경우 두당 6㎡로서 56배의 차이를 보임

Table 2. Ecological Footprint of Asan City and Chungcheongnam-do

Criteria	Food EF(gha/cap)		Build EF(gha/cap)		Forest EF(gha/cap)		Energy EF(gha/cap)		Total EF(gha/cap)	
	Asan	Chungnam	Asan	Chungnam	Asan	Chungnam	Asan	Chungnam	Asan	Chungnam
2001	0.66	0.36	0.16	0.13	0.50	0.54	1.51	1.22	2.82	2.25
2005	0.66	0.26	0.14	0.14	0.28	0.28	2.43	1.99	3.51	2.66
2011	0.64	0.40	0.10	0.14	0.04	0.15	4.31	2.86	5.10	3.55
2015	0.56	0.33	0.09	0.15	0.02	0.01	4.45	2.95	5.12	3.44
ratio(%)	11.0	9.6	1.8	4.4	0.3	0.3	86.9	85.7	100	100

Fig. 1. Trends in Ecological Footprint.

높은 비율과 급속한 증가율은 도시발전과 산업구조의 변화에 따른 과도한 에너지 소비가 원인인 것으로 판단된다. 아산시의 에너지 부문 생태발자국은 충청남도보다 1.5배 높게 나타났으며, 이는 아산시가 충청남도 전체에 비해 에너지를 많이 소비하는 사회 및 경제구조임을 알 수 있다.

3.2 아산시 부문별 생태발자국

3.2.1 식품 부문

아산시의 식품 부문 생태발자국은 2001년 0.66(gha/인)에서 2015년 0.56(gha/인)로 16%로 감소하였다(Fig. 2). 식품부문 생태발자국이 감소한 것은 음식류의 생산량이 소비량을 초과하고 있기 때문이다. 아산시의 음식류 생산량은 2001년 3,559(천ton)에서 2015년 10,487(천ton)으로 2.94배 증가한 반면, 소비량은 2001년 91,906(천ton)에서 2015년 136,156(천ton)으로 1.48배 증가하였다.

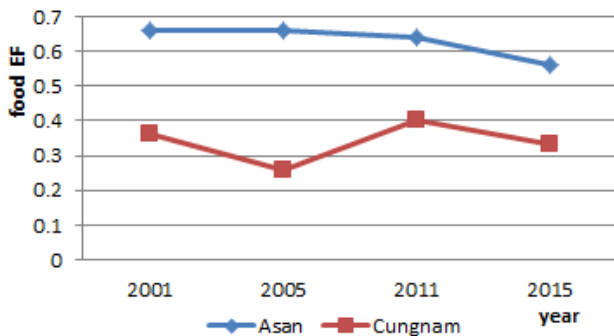


Fig. 2. Trends in Food Ecological Footprint.

3.2.2 건축환경 부문

건축환경 부문은 대지와 공장용지, 도로 등의 개발지를 의미하며 생태발자국 지수가 높으면 개발지가 넓은 것을 의미한다. 아산시의 건축환경 부문 생태발자국은 2001년 0.16(gha/인)에서 2015년 0.09(gha/인)로 56% 감소한 반면, 충청남도는 0.13(gha/인)에서 0.15(gha/인)로 15%로 증가하였다(Fig. 3). 아산시의 건축환경 부문의 생태발자국 감소는 개발지의 확장에 비해 인구증가율과 인구밀도가 높아지고 있음을 의미한다. 충청남도는 2001년 1,928,088인에서 2015년 2,134,232인으로 10.7% 증가한 반면, 아산시는 2001년 188,372에서 2015년 311,143으로 65.1% 증가

하였다.

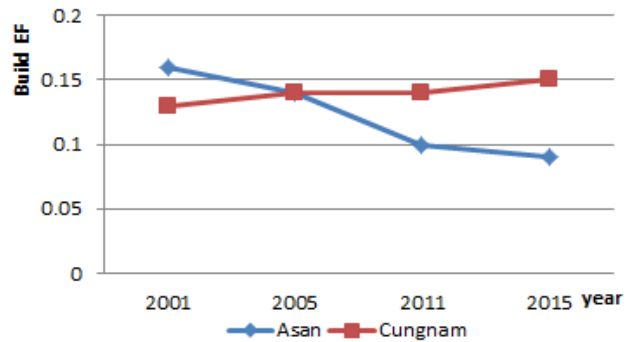


Fig. 3. Trends in Build Ecological Footprint

3.2.3 산림 부문

아산시의 산림 부문 생태발자국은 2001년 0.50(gha/인)에서 2015년 0.02(gha/인)로 감소하고 있으며, 충청남도 또한 0.54(gha/인)에서 0.01(gha/인)로 감소하고 있다(Fig. 4). 산림 부문의 생태발자국 감소는 산출물이 2001년 0.1592에서 2015년 2.9651로 증가했기 때문인 것으로 판단된다.

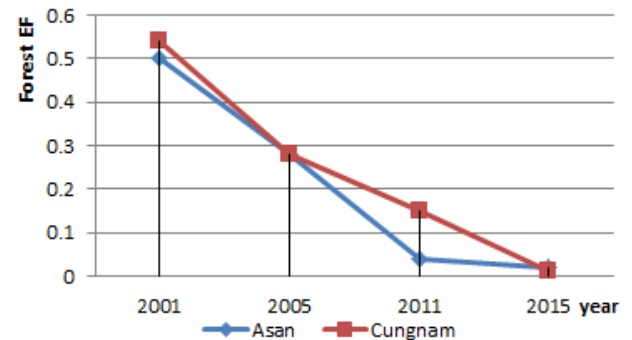


Fig. 4. Trends in Forest Ecological Footprint

3.2.4 에너지 부문

아산시의 에너지 부문 생태발자국은 2001년 1.51(gha/인)에서 2015년 4.45(gha/인)로 290% 증가하고 있으며, 충청남도는 아산시에 비해 완만하지만 240%의 증가량을 보이고 있다(Fig. 5).

아산시의 에너지 부문 생태발자국의 증가는 제조업체의 증가에 원인을 찾을 수 있다. 아산시의 2001년 제조업체수

는 384개소에서 2015년에는 957개로 증가했으며, 전력사용량 또한 지속적으로 증가하고 있다(Table 3).

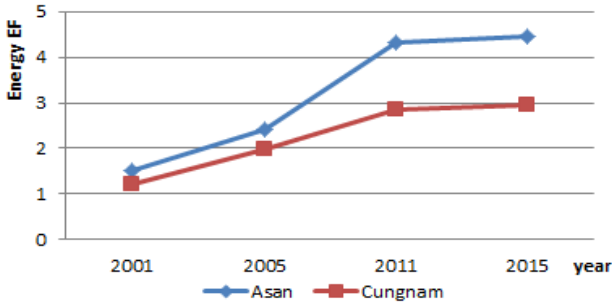


Fig. 5. Trends in Energy Ecological Footprint.

Table 3. Manufacturing power usage of Asan City

Year	Total power usage (Mwh)	Manufacturing power usage (Mwh)	Manufacturing' numbers
2001	2,013,495	1,431,903	384
2005	4,009,729	3,140,598	664
2010	9,001,948	7,643,527	743
2015	11,998,419	10,587,054	957

Source : Asan statistical yearbook, 2016, Asan City

3.3 생태적자

생태적자(Ecological Deficit, ED)는 생태발자국을 보완하기 위한 지표로 개발되었으며, 현재의 소비수준이 환경용량을 초과하는지를 보여준다. 아산시의 생태적자는 2001년 -2.59(gha/인)에서 2015년 -4.99(gha/인)로 190% 증가하였으며, 충청남도 생태적자 -3.12(gha/인)와 비교하여 1.6배 높은 수치이다(Fig. 6). 아산시 생태적자의 급격한 증가율은 인구의 증가와 도시의 확장으로 생태적 생산토지가 급격히 감소하고 있음을 의미한다.

Criteria	ED(gha/cap)			
	2001	2005	2010	2015
Asan	-2.59	-3.31	-4.95	-4.99
Chungnam	-1.87	-2.29	-3.21	-3.12

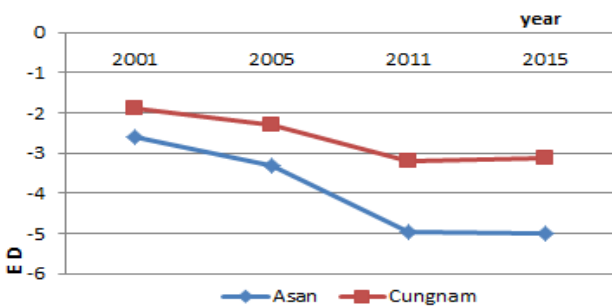


Fig. 6. Trends in Ecological Deficit.

3.4 소결

아산시의 2015년 생태발자국 및 생태적자는 각각

5.12(gha/인), -4.99(gha/인)로서 충청남도 3.34(gha/인), -3.12(gha/인)에 비하여 1.5배, 1.9배 높은 것으로 나타났다. 또한 아산시의 2001년부터 2015년까지의 생태발자국 증가율은 81%로 급격히 증가하고 있으며, 생태적자는 동 기간에 190% 증가하였다. 아산시의 생태발자국은 에너지 부문이 86.9%이며, 2001년 1.51(gha/인)에서 2015년 4.45(gha/인)로 290% 증가하였다. 아산시 생태발자국의 증가는 제조업에서 소비되는 에너지가 원인이라 할 수 있다.

아산시의 제조업 증가는 인구의 유입과 이의 수용을 위한 도시개발을 촉진하게 된다. 실제로 아산시는 2001년~2015년의 인구는 65%, 대지면적은 32% 증가하였으며, 교외지역의 농지와 녹지가 개발되면서 도시가 확장되었다. 결과적으로 아산시는 자원소비가 지속적으로 증가하고 자연정화의 환경용량의 한계치에 영향을 주는 녹지와 농지, 습지 등의 생태적 공간의 감소는 더욱 가속화 된다. 따라서 아산시의 지속가능성을 확보하기 위해서는 녹지와 농지, 습지 등을 보전하고 도시의 생태적 환경용량을 고려한 도시계획이 수립될 수 있도록 하는 것이 필요하다.

4. 도시계획 활용방안

본 연구에서는 생태발자국 모델과 생태적자를 통하여 아산시의 환경용량을 산정하였으며, 이를 도시계획에 활용하는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해서는 아산시의 환경용량의 한계치를 설정할 필요가 있다. 환경용량은 과학적·객관적으로 계량화하는 것은 불가능하고 그 한계치를 가늠하기 어렵다. 따라서 환경용량의 한계치 설정은 사회구성원의 정책적 합의가 필요하다.

본 연구에서는 2030 아산 도시기본계획(Asan city, 2015)의 목표연도인 2030년에 대한 아산시의 생태적자를 환경용량의 사회적 합의 기준으로 전제하고자 한다. 아산시의 환경용량 산정 결과를 도시계획에 활용하기 위한 방법은 아래와 같다⁵⁾.

- ① 아산시의 2030년 생태발자국을 추정한다. 아산시의 2030년 생태발자국은 2001년부터 2015년까지의 증가율 18%를 적용하였으며, 8.02(gha/인)이다.
- ② 아산시의 2030년 생태적자를 산정한다. 아산시의 2030년 생태적자는 2030년의 1인당 생태적 생산토지 0.11(gha/인)에서 생태발자국 8.02(gha/인)를 감한 값으로 -7.91(gha/인) 이다(Table 4). 2030년의 1인당 생태적 생산토지는 2015년의 생태적 생산토지에서 아산도시기본계획에서 제시한 2015년에서 2030년까지의 시가화예정용지 총면적을 감한 후 2030년도의 인구수인 650,000인으로 나눈 값으로 0.11(gha/인) 이다.
- ③ 2030년의 생태적자를 환경용량의 한계치로 설정하고,

5) 2030년의 아산시 인구지표와 시가화예정용지 등은 2030 아산도시기본계획(아산시, 2015)의 내용을 적용하였음

Table 4. Ecological Footprint and Deficit of Asan City in 2030 year

Criteria	Population index	Planned urbanized area(ha)	EF(gha/cap)	EPL(ha)	EPL per person(gha/cap)	ED(gha/cap)
2015	333,000	669	5.32	41,160	0.124	-5.09
2020	479,000	2,259	6.22	39,570	0.083	-6.06
2025	593,000	3,381	7.12	38,449	0.065	-7.00
2030	650,000	4,084	8.02	37,745	0.058	-7.91

Table 5. Popular index and planned urbanized area of application of reduced rates

Criteria		ED(gha/cap)	EPL(ha)	Planned urbanized area(ha)	Popular index
2015		5.09	41,160	-	333,000
2030	2030 Urban Master Plan estimation	7.91	37,745	4,084	650,000
	3% reduce of ED rate of increase	7.82	38,154	3,675	611,208
	5% reduce of ED rate of increase	7.77	38,431	3,398	584,878
	10% reduce of ED rate of increase	7.63	39,142	2,687	517,347

2015년부터 2030년까지의 생태적자 증가율을 3%, 5%, 10%를 감소하도록 하여 목표연도의 생태적자와 인구지표, 시가화예정용지를 추정한다(Table 5). 생태적자는 2030년 도시기본계획 추정치인 -7.91(gha/인)에서 증가율을 각각 3%, 5%, 10%로 감소시킬 경우 -7.82(gha/인), -7.77(gha/인), -7.63(gha/인)으로 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 7).

인구지표는 2030년의 생태적자의 증가율을 각각 3%, 5%, 10%로 감소시킬 경우 2030년 도시기본계획의 계획인구 650,000인에서 각각 611,208인, 584,878인, 517,347인으로 감소하였으며, 시가화예정용지는 각각 408ha, 685ha, 1,397ha씩 감소하였다.

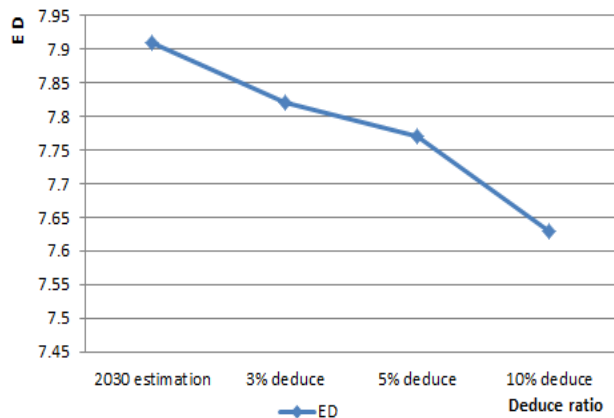


Fig. 7. ED by application of reduced rates.

본 연구에서는 생태적자를 토대로 환경용량의 한계치를 설정하고, 환경용량 범위 내에서 도시성장이 이루어질 수 있도록 인구지표와 시가화예정용지를 산정하는 방법을 제안하였다. 인구지표는 토지이용계획, 도시계획시설, 에너지 등 모든 부분별 계획의 기초가 되는 중요한 지표이다. 환경용량을 고려한 인구지표 및 시가화예정용지의 산정은 무분

별한 개발가능지의 확대를 방지하고 적정수준의 도시성장 관리를 유도할 수 있을 것이다.

5. 결 론

도시 및 환경문제의 해결을 위해서는 녹지와 농지, 습지 등의 생태공간의 보전과 함께, 현재 상태의 생태적 환경용량을 평가하는 것이 필요하다. 국내에서는 생태계의 기능과 환경용량을 고려하여 계획을 수립하도록 주요 환경 및 국토계획 관련 법에 명시되어 있다. 하지만 이에 대한 구체적인 목표나 전략 등에 관한 연구는 미흡한 상태이다.

외국은 생태발자국 모델을 생태적 환경용량을 평가하고, 생태계의 기능 유지와 지속가능성 측면에서 정책 및 계획의 의사결정에 도움을 주는 기법으로 활용하고 있다.

본 연구에서는 아산시에 대해 생태발자국 모델을 활용하여 생태적 환경용량을 평가하고 추이를 분석하였다. 또한 도시계획의 목표연도에 대한 인구지표와 시가화예정용지 등을 생태적 환경용량 범위 내에서 설정할 수 있는 방안을 제안하였다. 향후에는 환경용량 평가와 활용방안에 대한 연구가 정책적·계획적 실효성을 확보할 수 있도록 제도적인 기반을 마련하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 충청남도에서 지원한 “생태발자국 모델을 활용한 충청남도 환경용량 평가 연구”를 토대로 작성하였습니다.

References

Asan City (2002). 2002 *Asan Statistical Yearbook*, Asan city. [Korean Literature]
 Asan City (2006). 2006 *Asan Statistical Yearbook*, Asan city.

- [Korean Literature]
- Asan City (2012). 2012 *Asan Statistical Yearbook*, Asan city. [Korean Literature]
- Asan City (2015). 2030 *Asan City Basic Plan*, Asan city. [Korean Literature]
- Asan City (2016). 2016 *Asan Statistical Yearbook*, Asan city. [Korean Literature]
- Bae, MG, Cho TH and Chae, SJ (2011). Tailored Policy Directions Based on Assessment of Environmental Sustainability Using Ecological Footprint of Local Governments in Chungbuk Province, *The Korea Local Administration Review*, 25(2), pp. 413-438. [Korean Literature]
- Best Foot Forward (2004). *Scotland's Footprint: A Resource Flow and Ecological Footprint Analysis of Scotland*, Best Foot Forward.
- Chungnam-do (2002). 2002 *Chungnam Statistical Yearbook*. Chungnam-do [Korean Literature]
- Chungnam-do (2006). 2006 *Chungnam Statistical Yearbook*. Chungnam-do [Korean Literature]
- Chungnam-do (2012). 2012 *Chungnam Statistical Yearbook*. Chungnam-do [Korean Literature]
- Chungnam-do (2016). 2016 *Chungnam Statistical Yearbook*. Chungnam-do [Korean Literature]
- GFN (2008). National Footprint Accounts 2017 Edition, Global Footprint Network.
- GFN (2017). National Footprint Accounts 2017 Edition, Global Footprint Network.
- KICSD (2012). Study on Ecological Footprint of Gyeonggido in 2002, KICSD.[Korean Literature]
- Kim, KT, Jeong SG, Yoo, JH and Lee, WS (2007). Classification and Management Plan of The City by Ecological Footprint, *J. of Korea Planning Association*, 42(1), pp 7-18. [Korean Literature]
- Kim, SH (2001) Preliminary Study on Environmental Capacity Concept and Case Study Analysis, *The Korea Spatial Planning Review*, 32, pp. 195-207.
- Kim, TH, Kim, HG and Han SG (2011). An Analysis of the Effects of Spatial Features of Neighborhood on Households' Energy Use for Food, Housing and Travel – Focused on the Ecological Footprint Survey in Gyeonggi-do, *Korea Planning Association*, 46(1), pp 117-127. [Korean Literature]
- Lee, CW, Oh, YS (2000), Study on the environment capacity assessment of Seoul, *The Seoul Institute* [Korean Literature]
- Ministry of agriculture (2016), *Food and rural affairs, Agriculture and livestock products major statistics data*. Ministry of agriculture [Korean Literature]
- Moon, GJ (2004). An Evaluation of Urban Sustainability using by EFA : Cases in Busan Metropolitan City, *Korean Society and Public Administration*, 15(3), pp 129-158. [Korean Literature]
- Moon, TH and Hong, MS (2001). Estimating Environmental Carrying Capacity of Seoul Metropolitan Area for a Sustainable Development and Its Policy Implications, *J. of Korea Planning Association*, 36(4), pp 245-266. [Korean Literature]
- Moore, D (2011). *Ecological Footprint Analysis for San Francisco – Oakland – Fremont, CA*. Global Footprint Network, Oakland.
- The City of Calgary (2007). *Toward a Preferred Future: Understanding Calgary's Ecological Footprint*. City of Calgary.
- The City of Vancouver (2011). *Achieve a One-planet Ecological Footprint in Greenest City 2020 Action Plan*, City of Vancouver.
- Utah Vital Signs Project Team (2007). *The Ecological Footprint of Utah*. Salt Lake City, UT: University of Utah.
- Wackemagel, M and Rees, WE (1996). *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth, Philadelphia, PA and Gaborida Island, Canada*. New Society Publishers, pp 1-60.

부 록

1. 2015년 아산시 생태발자국

 Food Ecological Footprint Calculation

Classification	Area(ha)	Output(t)	Yield rate(kg/ha)	Total consumption(ton)	EF(ha/cap)	EF(gha)
Rice	10,149.0	57,050.0	5,621.2	20,255.4	0.0165	0.0435
Classification	Area(ha)	Output(t)	Yield rate(kg/ha)	Total consumption(ton)	EF(ha/cap)	EF(gha)
Barley	28.0	64.7	2,310.7	404.4	0.0008	0.0021
Corn	19.0	32.5	1,710.5	1,089.0	0.0029	0.0077
Soy bean	303.0	531.0	1,752.5	2,520.2	0.0066	0.0173
Potatoes	163.0	3,226.2	19,792.6	1,026.7	0.0002	0.0006
Radish	39.5	2,161.0	54,708.9	8,027.4	0.0007	0.0018
Chinese Cabbage	382.5	36,180.6	94,589.8	18,20.8	0.0009	0.0023
Garlic	45.9	324.3	7,065.4	2,458.0	0.0016	0.0042
Onion	7.7	327.2	42,493.5	9,707.6	0.0010	0.0028
Red pepper	154.9	370.3	2,390.6	1,586.8	0.0030	0.0080
Others	311.7	14,992.2	48,098.2	15,432.7	0.0015	0.0039
Apple	111.0	2,443.0	22,009.0	2,924.7	0.0006	0.0016
Pear	733.5	16,701.0	22,768.9	1,711.3	0.0003	0.0009
Peach	26.2	362.0	13,816.8	1,306.8	0.0004	0.0011
Grape	179.6	3,057.0	17,021.2	2,022.4	0.0005	0.0014
Persimmon	4.4	97.0	22,045.5	1,151.2	0.0002	0.0006
Others	37.0	290.0	7,837.8	11,574.5	0.0067	0.0178
Cattle	-	-	1,500.0	3,204.8	0.0116	0.0308
Pigs	-	-	1,500.0	6,502.9	0.0236	0.0624
Chickens	-	10,291,881.0	1,500.0	3,578.1	0.0130	0.3455
Total						0.5578

 Forest Ecological Footprint Calculation

Area of Forest(ha)	Output(m ³)	Yield rate(m ³ /ha)	Consumption for person	Itemized EF	EF(gha)
21,182	62,806	2,9651	0.0681	0.0131	0.0174

 Built Ecological Footprint Calculation

Classification	Occupied area(m ²)	Land consumption for person (ha/cap)	EF(gha)
Land	24,558,164.1	0.00789	0.02962
Factory site	19,555,882.2	0.00629	0.02359
School site	2,644,557.0	0.00085	0.00319
Parking lot	372,164.4	0.00012	0.00045
Gas station	145,660.0	0.00005	0.00018
Storage site	1,404,797.8	0.00045	0.00169
Road	18,594,801.9	0.00598	0.02243
Railway	1,679,501.2	0.00054	0.00203
Dike	1,582,447.5	0.00051	0.00191
Water facilities	602,727.1	0.00019	0.00073
Sporting facilities site	2,046,022.2	0.00066	0.00247
Recreation area	38,630.0	0.00001	0.00005
Religion site	320,210.3	0.00010	0.00039
Historical site	424,853.0	0.00014	0.00051
Grave yard	1,436,407.3	0.00046	0.00173
Miscellaneous site	3,342,174.8	0.00107	0.00403
Total			0.09499

Energy Ecological Footprint Calculation

Classification	Fossil fuel consumption	100,000 kcal	giga joul	Consumption for person	EF(gha)
Gasoline(kℓ)	81,906	655,248	2,738,937	8,8028	0.08803
Kerosene(kℓ)	22,212	195,466	817,046	2,6260	0.02626
Diesel(kℓ)	188,969	1,710,169	7,148,508	22,9750	0.22975
Bunker C(kℓ)	9,018	89,278	373,183	1,1994	0.01199
Propane gas(t)	29,661	357,415	1,493,995	4,8016	0.04802
Butane Gas(t)	27,244	322,841	1,349,477	4,3372	0.04337
City gas(1000m ³)	291,745	4,026,081	16,829,019	54,0877	0.54088
Electric(MWh)	11,998,419	25,796,601	107,829,792	346,5602	3.46560
Total					4.45390

2. 2015년 충청남도 생태발자국

Food Ecological Footprint Calculation

Classification	Area(ha)	Output(1,000t)	Yield rate(kg/ha)	Total consumption(ton)	EF(ha/cap)	EF(gha)
Rice	146,319	827.8	5,658.1	138,938.5	0.0164	0.0432
Barley	232	0.6	2,698.3	277,450.1	0.0007	0.0018
Mixed grains	751	1.1	1,503.3	75,124.9	0.0333	0.0879
Beans	6,374	10.2	1,611.1	1,728.7	0.0071	0.0189
Potatoes	5,147	94.1	18,288.1	7,042.9	0.0003	0.0007
Radish	2,012	166.0	82,529.3	5,5063.1	0.0004	0.0012
Chinese Cabbage	1,790	176.0	98,331.8	124,852.5	0.0008	0.0022
Garlic	2,149	27.4	12,770.1	16,860.4	0.0009	0.0023
Onion	430	24.5	57,067.4	665,880.4	0.0008	0.0021
Red pepper	4,186	28.4	6,785.0	10,884.5	0.0011	0.0028
Others	13,255	541.2	40,835.2	105,857.9	0.0017	0.0046
Apple	1,283	24.6	19,142.6	2,0061.7	0.0007	0.0018
Pear	2,334	55.9	23,949.4	11,738.2	0.0003	0.0009
Peach	515	6.1	11,970.9	8,963.7	0.0005	0.0013
Grape	963	12.6	13,040.5	13,872.5	0.0007	0.0019
Persimmon	534	8.7	16,221.0	7,896.6	0.0003	0.0009
Classification	Area(ha)	Output(1,000t)	Yield rate(kg/ha)	Total consumption(Kg)	EF(ha/cap)	EF(gha)
Others	1,799	9.4	5,218	79,393.4	0.0101	0.0268
Cattles	-	13.0	1500	21,982.5	0.0116	0.0308
Pigs	-	143.2	1500	44,605.4	0.0236	0.0624
Chickens	-	104.3	1500	24,543.6	0.0130	0.0343
Total						0.3286

Forest Ecological Footprint Calculation

Area of Forest(ha)	Output(m ³)	Yield rate(m ³ /ha)	Consumption(1000m ³)	Consumption for person	Itemized EF	EF(gha)
412,518	4,914,000	11.9122	8,691,000	0.1933	0.0092	0.0123

Built Ecological Footprint Calculation

Classification	Occupied area(m ²)	Land consumption for person(ha/cap)	Ef(gha)
Land	256,232,907.6	0.01201	0.04506
Factory site	112,128,171.8	0.00525	0.01972
School site	22,962,026.5	0.00108	0.00404
Parking lot	2,629,912.4	0.00012	0.00046
Gas station	2,153,689.1	0.00010	0.00038
Storage site	10,613,444.0	0.00050	0.00187
Road	272,540,840.2	0.01277	0.04793
Railway	9,830,298.6	0.00046	0.00173
Dike	22,931,849.7	0.00107	0.00403
Water facilities	3,858,434.4	0.00018	0.00068
Sporting facilities site	18,940,607.0	0.00089	0.00333
Recreation area	2,013,608.5	0.00009	0.00035
Religion site	4,812,717.3	0.00023	0.00085
Historical site	4,361,027.3	0.00020	0.00077
Grave yard	27,104,303.3	0.00127	0.00477
Miscellaneous site	91,174,437.0	0.00427	0.01603
Total			0.15199

 Energy Ecological Footprint Calculation

Classification	Fossil fuel consumption	100,000kcal	giga joul	Consumption for person	EF(gha)
Gasoline(kℓ)	642,613	5,140,904	21,488,979	10.0687	0.10069
Kerosene(kℓ)	250,718	2,206,318	9,222,411	4.3212	0.04321
Diesel(kℓ)	1,611,780	14,586,609	60,972,026	28.5686	0.28569
Bunker C(kℓ)	250,877	2,483,682	10,381,792	4.8644	0.04864
Propane gas(t)	132,956	1,602,119	6,696,861	3.1378	0.03138
Butane Gas(t)	453,768	5,377,150	22,476,490	10.5314	0.10531
City gas(1000m ³)	1,258,192	17,363,049	72,577,547	34.0064	0.34006
Electric(MWh)	47,294,961	101,684,166	425,039,815	199.1535	1.99154
Total					2.94652