

## 생태발자국 지수를 통한 제주도 토지자원 활용의 지속가능성 평가

김찬우 · 정찬훈 · 김유안 · 김솔희\* · 서교\*\*

서울대학교 국제농업기술대학원

\*서울대학교 그린바이오과학기술연구원

\*\*서울대학교 국제농업기술대학원, 서울대학교 그린바이오과학기술연구원

### Evaluation for Sustainability of Land Use in Jeju Island using Ecological Footprint (EF)

Kim, Chanwoo · Jung, Chanhon · Kim, Yooan · Kim, Solhee\* · Suh, Kyo\*\*

*Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University*

*\*Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University*

*\*\*Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University*

**CDUVTCEV** : The residential population of Jeju Island has increased more than 10% for last 10 years. Especially, the tourist population is more than twice comparing to 2005. The population growth of Jeju has brought about large-scale urban development and increased land demands for tourism services. The goal of this study is to analyze the human, social, and environmental status of Jeju Island and to evaluate the environmental capacity of land use using ecological footprint (EF) model. This study shows the changes in ecological deficits of Jeju Island through estimating ecological productive land (EPL) considering EF from 2005 to 2015. The categories of total EF consists of food land, built-up land, forestry, and energy consumption. In order to reflect the characteristics of resort island, we consider not only residential population but also tourist population who can increase land demands. The outputs of this study also provide the potential excess demands of EPL and suggest needs of sustainable management plans for the limited land of Jeju Island.

**Mg<sup>f</sup> yqtfu** : Ecological Footprint, Ecological Productive Land, Sustainability, Resort Island.

## 1. 서 론

지역의 인구증가와 발전은 해당 지역의 소비활동을 증가시키며, 이러한 소비활동의 증가는 소비에 필요한 토지자원의 수요를 함께 증가시키게 된다(Gossling et al., 2002; Martin-Cejas and Sanchez, 2010). 제주도는 지난 2007년 지속적으로 증가하는 인구를 고려하여 미래 제주를 위한 계획인구를 설정하고, 지속적으로 증가하는

인구를 수용하기 위한 대규모 도시 인프라 개발과 같은 대형 사업을 유치하면서 토지사용 비율이 지속적으로 증가하고 있다(Lee and Ha, 2014; Park et al., 2017; Suh et al., 2017). 제주도는 2006년 「제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법(약칭: 제주특별법)」에 근거하여 국제자유도시 개발을 위한 기본 계획을 수립한 이후 유입인구와 관광객이 지속적으로 증가하는 추세이다(Oh and Lee, 2016). 이에 2015년 기준 제주도의 상주인구와 관광인구는 62만 명과 1,370만 명으로 2005년에 비해 각각 11%, 174% 증가하였다(Korea Statistics, 2016; JTA, 2016). 이를 위해 제주도는 2007년에 제주광역도시기본계획에서 2025년도의 계획인구를 80만 제주

Corresponding Author : Suh, Kyo  
Tel : 033-339-5810  
E-Mail : kyosuh@snu.ac.kr

인(상주 64만 명, 체류 16만 명)으로 수립하였으나(Choi and Ko, 2007), 급격한 인구증가를 반영하여 2017년에 20만 명이 증가한 100만 제주인(상주 75만 명, 체류 25만 명)으로 계획을 변경하였다(JSSP, 2017). 또한 제주도는 급격한 인구증가에 대응하기 위하여 기존의 공항 인프라와 함께 도로, 항만과 같은 대형 공공 인프라를 확충하고 주변 지역개발 사업 등과 함께 신화역사공원과 같은 대형 사업을 유치하고 있다(Choi and Ko, 2007).

제주도는 내륙지역과 다르게 섬이라는 지리적인 특성으로 인해 주변지역으로의 확장이 어렵기 때문에 미래에 활용 가능한 토지면적이 극히 제한적이고, 거주하는 상주인구 이외에 많은 관광객이 찾는 휴양섬(Resort Island)이라는 특징을 가지고 있다. 이러한 토지활용의 한계에도 불구하고 제주도는 지속적인 성장과 개발로 인해 사용할 수 있는 토지자원은 지속적으로 감소하고 있어 지속가능한 활용에 대한 정책이 요구되고 있다(Suh et al., 2017). 내륙지역의 경우 인구가 증가하고 도시가 성장함에 따라 주변 지역과 행정구역이 통합되거나 광역시에 편입되는 등 행정적으로 제한된 토지자원을 확대하거나 변경할 수 있다. 실제로 경상남도 울산시와 울주군이 자원 배분과 소비의 효율을 고려하여 통합된 바 있으며, 마산시, 창원시, 진해군이 경제성장과 산업연계를 위해 통합된 것과 같이 지역의 성장에 필요한 잠재적 토지자원의 확보가 추가로 가능할 수 있다. 하지만, 제주도와 같은 섬 지역의 경우에는 주변 지역으로의 확장이 어렵고, 제주도는 실질적으로 절대·상대보전지역(2만 ha)과 유네스코에서 선정한 생물권보전지역(8만 ha)을 포함한 개발제한구역이 전체 면적의 56%를 차지하고 있어 제주도 내에서 이용 및 개발을 할 수 있는 토지자원이 더욱 한정되어 있다(Kim et al., 2015). 또한 제주도는 휴양과 관광이 중심이 되는 휴양섬으로서 상주인구뿐만 아니라 관광인구도 지역의 소비활동에 참여할 수 있어 일반적인 섬과는 달리 상대적으로 더 많은 인구가 한정된 자원을 함께 사용하고 있다(Jung, 2018). 이에 따라 제주도가 가진 토지자원의 제한적 이용에 대한 고려를 바탕으로 수용 가능한 인구(상주인구, 체류인구)를 추정하고 추정된 인구의 소비활동과 토지활용 부문에 대한 환경용량을 평가할 필요가 있다.

생태발자국(Ecological Footprint, EF) 모델은 제한적인 토지자원에 대한 지속가능성을 평가하기 위하여 소비에 필요한 토지면적을 기반으로 환경용량을 평가하는 방법이다(McIntyre and Emmi, 2007; Kratena, 2008; Gondran, 2012; Nakajima and Ortega, 2016; Galli et al., 2017). 생태발자국 모델은 Wackernagel and Rees(1996)에 의해 창안된 이후 다양한 국내외 지역에서 토지부문의 환경용량

평가를 위해 이용되고 있다. Ding and Peng(2018)은 EF 연구를 통해 도시화와 산업화의 확산에 따라 개발이 이루어지고 있는 지역의 경우 생태적 측면에서 토지사용에 대한 환경용량 평가가 필수적임을 시사하였다. 국내에서는 서울특별시, 청주시, 울산광역시, 부산광역시, 전라북도 등 같은 지자체에서 지역 통계자료를 바탕으로 식량, 구조물 환경, 산림, 에너지 소비와 관련한 지역주민의 경제활동에 요구되는 토지사용면적을 분석하고, 이에 대한 환경수용능력을 평가하였다(Lee et al., 2000; Lee, 2001; Im and Lee, 2002; Kim et al., 2005; Hwang et al., 2006). 하지만 기존의 EF를 활용한 다양한 국내외 연구들에서 제주도와 같은 섬 지역을 대상으로 한 연구는 찾아보기 힘들며, 소비의 주체가 되는 인구에 상주인구 외에 관광인구를 포함한 경우는 찾아보기 어렵다. 휴양섬인 제주도는 상주인구에 비해 관광인구가 높은 비중을 갖기 때문에 토지자원 수요산정을 위해서는 관광인구의 소비활동도 함께 고려되어야 한다. Kerr(2005)는 한정된 자원을 이용하여 지속가능한 환경관리에 대한 연구를 위해 제한된 지역 안에서 소비활동에 필요한 투입물과 산출물의 측정과 평가가 가능한 섬 지역을 대상으로 한 환경용량 평가의 적절성을 시사하였으며, Martin-Cejas and Sanchez(2010)는 휴양섬에서 환경용량의 지속가능성을 평가할 때 관광인구의 활동이 중요한 요소가 될 수 있음을 언급하였다. Hopten and White(2012)는 브라질의 관광명소 중 San Luis Basin 지역의 EF와 생태용량의 비교를 통해 지속가능성과 토지사용면적의 적정성을 평가하였으나, 지역의 상주인구만을 반영하여 환경용량을 분석하였기 때문에 실질적으로 발생하는 관광인구의 소비활동을 고려하지 못한 한계가 있다. EF를 활용하여 토지자원이 제한적인 섬 지역에 대한 환경용량을 평가한 기존의 연구는 매우 한정적이며, 제주도와 같이 관광인구의 소비활동이 소비부문의 EF에 크게 영향을 미치는 휴양섬의 특징을 고려한 연구는 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 소비활동에 참여할 수 있는 상주인구와 관광인구를 모두 고려하여 제주도의 토지이용부문의 소비부문별 생태발자국(EF) 지수를 분석하고, 산정된 EF와 생태적으로 생산 가능한 토지면적(Ecological Productive Land, EPL)의 비교를 바탕으로 제주도의 생태적자를 평가하였다. 또한 제주도의 개발과 인구증가가 생태발자국 기반의 환경용량에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 2005, 2010, 2015년의 EF지수 모델의 결과를 비교하여 시간의 흐름에 따른 지속가능성의 변화를 살펴보고자 하였다.

## II. 연구자료 및 방법

### 1. 생태발자국 산정을 통한 환경용량 평가 방법

#### 가) 생태발자국 개념

생태발자국(EF) 모델은 '인간의 경제활동에 소요되는 모든 자원을 하나의 평가단위인 생산적인 토지면적으로 환산한 값'으로 정의되며, 이를 통해 해당 지역의 환경용량 또는 수용능력과 이에 대한 초과정도를 파악할 수 있다(Wackernagel and Rees, 1996). 경제활동에 필요한 자원은 기본적으로 구조물 환경, 에너지 생산토지, 비생산적인 토지, 정원, 인공림, 경작지, 초지, 자연림 등 8가지로 나눌 수 있다. 이렇게 나뉜 자원은 Wackernagel and Rees(1997)의 이론에 따라 식량부문, 구조물환경부문, 산림부문, 에너지부문에 단순화되어 EF지수를 산정하는데 필요한 소비품목으로 구성된다. 각 항목별로 해당 지역의 소비수준을 유지하기 위해 사용되고 있는 토지면적을 산정하여 생산 가능한 토지면적과 비교하면서 평가가 가능하며, 이러한 평가를 통해 소비활동에 사용되고 있는 토지면적이 해당 지역의 수용능력을 초과하고 있는 정도를 파악하여 미래의 환경용량을 예측할 수 있다(Hwang et al., 2006; McIntyre and Emmi, 2007). EF지수의 산정식은 다음 식(1)과 같다.

$$EF_t = EF_{fl} + EF_{bl} + EF_{fr} + EF_{ec} \quad (1)$$

여기서,  $EF_t$  = 해당 지역의 1인당 총 EF지수(ha/cap.),  $EF_{fl}$  = 식량부문(Food land)의 EF지수(ha/cap.),  $EF_{bl}$  = 구조물환경(Built-up land)의 EF지수(ha/cap.),  $EF_{fr}$  = 산림부문(Forestry)의 EF지수(ha/cap.),  $EF_{ec}$  = 에너지부문(Energy consumption)의 EF지수(ha/cap.)를 의미한다.

$$EF_{fl} = \sum_i \frac{\frac{c_i}{P_t}}{\frac{p_i}{a_i}} \quad (1-1)$$

여기서,  $c$  = 소비량(kg),  $P_t$  = 해당 연도의 총 제주인구(cap.),  $p$  = 생산량(kg),  $a$  = 생산면적(ha),  $i$  = 식량부문의 세부구성항목을 의미한다.

$$EF_{bl} = \sum_j \frac{l_j}{P_t} \quad (1-2)$$

여기서,  $l$  = 점유면적(ha),  $j$  = 구조물환경부문의 지목별 구성항목,  $P_t$  = 해당 연도의 총 제주인구(cap.)를 의미한다.

$$EF_{fr} = \frac{\frac{w_c}{P_t}}{\frac{w_p}{a}} \quad (1-3)$$

여기서,  $w_c$  = 용재소비량(m<sup>3</sup>),  $P_t$  = 해당 연도의 총 제주인구(cap.),  $w_p$  = 용재생산량(m<sup>3</sup>),  $a$  = 산림면적(ha)을 의미한다.

$$EF_{ec} = \sum_f \frac{\frac{e_{cf}}{a_k}}{P_t} \quad (1-4)$$

여기서,  $e_c$  = 에너지 소비량(GJ),  $a_k$  = 에너지 소비에 필요한 토지면적(100 GJ/ha),  $f$  = 에너지부문의 연료별 구성항목,  $P_t$  = 해당 연도의 총 제주인구(cap.)를 의미한다.

#### 나) 생태적자 산정을 통한 환경용량 평가 방법

EF지수는 해당 지역의 소비품목에 대해 1인당 소비에 필요한 토지면적(ha/cap.)을 단위로 나타냄으로써 간략한 거시적 수치로 분석할 수 있지만, 대상 지역의 환경용량 수준과 적정규모를 확인하기에는 어려움이 있다. 따라서 생태적으로 생산 가능한 면적(Ecological Productive Land, EPL)을 통해 지역 내 토지면적의 사용이 지속가능하게 이루어지고 있는지에 대해 평가해 볼 수 있다. EPL은 지역 내 생산에 관여할 수 있는 면적으로 정의되며, 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야의 면적을 모두 합하여 산정할 수 있다. 일반적으로 소비활동이 지속가능하게 이루어지고 있는 지역은 EF지수가 1인당 EPL면적 보다 작은 것으로(EF < EPL) 나타난다. 즉, EF가 1인당 EPL을 초과할 경우(EF > EPL) 이 지역은 생태적자가 존재하는 것으로 해석된다(Hopten and White, 2012).

생태적자는 해당 지역의 소비를 위해 사용된 토지면적이 EPL과 비교하여 얼마나 초과하고 있는지의 정도를 확인할 수 있는 지표이다(Kim et al., 2005). 앞서 산정된 EPL을 바탕으로 1인당 EPL을 계산하여 총 EF지수를 제하면 생태적자적 측면에서 환경용량을 평가할 수 있다(식 2).

$$E_d = EPL_c - EF_t \quad (2)$$

Table 1. Materials of food land, built-up land, forestry, and energy consumption for estimation of environmental capacity using ecological footprint in Jeju island (2005, 2010, 2015)

Ecygiqtigu	kgou	4227	4232	4237
Food land (kg/ha)	rice	2,370	2,587	3,469
	barley	3,825	2,740	2,950
	grains	1,148	1,166	1,128
	beans	1,649	1,655	1,657
	potatoes	21,643	17,978	19,359
	vegetable	36,456	41,941	69,173
	cash crop	898	293	351
	fruit	30,576	27,227	30,289
	animal products	33	33	33
	dairy products	502	502	502
Built-up land (ha)	building site	5050	5,607	6,509
	factory site	257	299	340
	school site	575	600	659
	parking lot	37	64	112
	road	7,451	7,994	8,634
	bank	23	27	33
	reservoirs	80	27	130
	facilities site	1,748	3,056	3,196
	recreation area	122	150	310
	religious site	80	95	112
	historical site	6	6	51
	grave yard	1,683	1,681	1,661
miscellaneous site	2,364	2,464	2,759	
Forestry (kg/ha)	timber	0.078	0.123	0.260
Energy Consumption (GJ)	gasoline	3,143,154	3,192,126	4,861,411
	kerosene	3,680,976	4,332,965	2,677,073
	diesel	10,397,150	10,034,805	13,080,285
	bunker-A	41,839	46,272	125,517
	bunker-B	4,101,322	2,469,624	711,454
	bunker-C	14,880,794	22,355,450	168,180
	jet A-1	3,183,784	3,863,383	6,032,432
	LPG	4,186,963	50,221	920,892
	electricity	24,775,046	34,320,000	42,523,709

Timber's yields are calculated by 10 year moving average using timber production (1994-2015) in Jeju island

여기서,  $E_d$  = 생태적자(ha/cap.),  $EF_t$  = 해당 지역의 총 EF지수(ha/cap.),  $EPL_c$  = 1인당  $EPL$ (ha/cap.)을 의미한다.

## 2. 대상지역 및 부문별 변수설정

토지이용부문의 환경용량평가를 위한 공간적 범위는 제주도 행정구역 내로 한정하였다. 시간적 범위는 2005년부터 2015년으로 설정하였고, 최근 10년간의 환경용량 변화를 비교하기 위하여 5년 단위(2005년, 2010년, 2015

년)의 EF지수를 산정하여 생태적 관점에서 시간의 흐름에 따른 지속가능성의 변화를 확인하였다.

EF지수의 산정을 위한 소비항목은 식량(Food), 구조물 환경(Built-up), 산림(Forestry), 에너지(Energy), 4개의 부문으로 선정하였으며, 각각의 산정부문에 대한 세부구성항목과 항목별 산출율은 Table 1과 같다.

식량부문은 1년 동안 소비된 식품을 생산하는 데 필요한 토지의 면적을 계산한 것으로 EF지수의 산정을 위한 구성항목은 미곡, 맥류, 잡곡 등의 작물과 축산물, 유제품을 포함하고 있다. 각 항목의 재배(생산)면적과 생산

량은 제주통계연보에서 제공하는 자료를 이용하였다(JSSP, 2017). 항목별 산출율(Yield)은 생산량을 재배면적으로 나누어 산정할 수 있으며, kg/ha의 단위로 나타낸다. 축산물과 유제품의 경우 국내 생산량 및 생산면적에 관한 통계자료를 수집하는 데에 어려움이 있어 Wackerangel and Rees(1996)의 연구를 통해 국가평균으로 제시된 산출율을 이용하였다.

구조물환경부문은 지목별로 건물이나 시설이 토지를 점유하고 있는 면적을 의미하며(Hwang et al., 2006), 토지의 특성상 구조물이 조성된 토지는 다른 용도로 사용될 수 없으므로 토지부문의 환경용량을 산정하는 항목으로 선정되었다. 구성항목은 지목에 따라 대지, 공장용지, 학교용지, 주차장, 도로, 제방 등으로 구성되어 있으며, 연도별 제주통계연보에 고시된 지목별 점유면적 자료를 활용하였다(JSSP, 2017).

산림부문의 EF지수는 1인당 목재제품의 소비하는 데 필요한 산림면적을 의미한다. 구성항목은 용재의 생산량과 소비량을 기준으로 하며, 산출율은 지역의 용재생산량을 산림면적으로 나누어 준 값이 된다. 산림부문의 EF지수는 용재생산량을 기반으로 산정되는데, 제주도의 경우 연도별로 용재생산량의 차이가 크고, 2014년 말부터 2015년까지 진행된 ‘소나무 재선충 방제사업’으로 인해 해당 연도의 용재생산량이 급격히 증가하는 특수한 상황이 발생하였다. 이에 따라 과거 제주도 용재생산량의 추세나 연평균 증가량을 통한 산림부문의 EF지수 추정은 유의미하지 않으므로(Kim, 2016), 본 연구에서는 1994년부터 2015년까지의 용재생산량 통계자료를 바탕으로 10년(2003년~2013년) 이동평균을 산정하여 연도별 용재생산량을 예측하였다. 이동평균법은 과거 일정 기간의 데이터를 평균하여 미래의 데이터를 예측하는 방법이다. 또한, 자료의 불규칙변동 현상을 제거하여 추세변동과 순환변동만을 가진 데이터로 변환하는 방법으로서, 국가경제의 장기성장률 분석(Kim, 2016)과 에너지 소비량을 추정한 연구(Yuan et al., 2016) 등에 이용된 바 있다. 여기서 2014년도와 2015년도 용재생산량의 경우 방제사업으로 인한 특수한 상황이므로 분석에서 제외하였다. 이에 1994년부터 2013년까지 20년간의 용재생산량 자료를 바탕으로 10년 이동평균을 분석하여 회귀식을 구성하였다. 구성된 회귀식은 결정계수(R<sup>2</sup>)가 0.92로 나타나 통계적으로 유의한 것으로 판단되었으며, 이를 통해 연도별 용재생산량을 각각 추정하여 분석에 활용하였다.

에너지부문의 EF지수를 산정하기 위해 구성된 항목은 휘발유, 등유, 경유, 벙커유(중유), LPG, 전기로 각 항목의 소비량을 GJ의 단위로 변환하여 1인당 소비량을 분석하였다. 화석연료의 사용을 위해 필요한 토지면적의

계산방법으로는 대체연료 생산 시 필요한 토지면적의 계산 방법과 화석연료의 연소 과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub>를 없애는 데 필요한 토지면적의 추정 방법, 화석연료의 소비량과 같은 비율로 자원을 재생산 시 필요한 토지면적을 계산하는 방법이 있다. 이 3가지 방법은 모두 화석연료 100 GJ 소비당 1 ha의 토지면적이 필요함을 나타낸다(Choi et al., 2011).

### 3. 관광인구와 상주인구를 고려한 총 제주인구 추정

EF지수는 각 구성항목의 1인당 소비를 위해 필요한 토지면적으로, 단위는 ha/cap.으로 나타낼 수 있다. 따라서 1인당 소비항목을 산정할 때 적용될 제주도의 인구를 정확히 정의할 필요가 있다. 제주도는 휴양섬의 특성을 지니고 있으며, 외국 관광객에 대한 무비자 허용, 다양한 관광코스의 개발 등으로 인해 관광객의 수가 꾸준히 증가하는 추세에 있다. 이에 휴양섬에서는 관광인구가 지역의 소비활동에 참여하는 비중이 높을 것으로 판단되어 상주인구와 더불어 관광인구의 체류기간을 고려하여 추정된 체류인구를 반영하고자 하였다.

체류인구는 통계청과 제주통계연보에서 제공하는 자료를 통해 제주도 방문 관광객 수와 체류기간을 바탕으로 추정하였다(식 3). 체류기간은 제주관광공사(Jeju Tourism Organization, JTO)에서 제공하는 관광객의 평균 체류기간을 이용하였다. 2015년 기준 내국인과 외국인의 체류기간은 각각 5.08일과 4.45일이며(JTO, 2016), 제주도 방문관광객의 체류기간은 2013년도부터 발표됨에 따라 2005년과 2010년의 체류기간은 2015년 기준 체류기간과 동일하다고 가정하였다. 이러한 가정은 2005년과 2010년의 체류기간을 2013년 기준 관광객의 체류기간과 동일하게 적용할 경우와 2015년도 체류기간의 ±20% 범위로 변화할 경우를 가정하여 추정할 시 인구수의 차이가 모두 3% 미만으로 미미한 것에 기인한다.

$$P_t = 0.0139a_t + 0.0122b_t + c_t \quad (3)$$

여기서,  $P$  = 추정된 총 제주인구(명),  $a$  = 내국인 관광객 수(명),  $b$  = 외국인 관광객 수(명),  $c$  = 상주인구(명),  $t$  = 해당 연도(년)를 의미한다.

2005년 기준 제주도의 상주인구는 약 56만 명이며(Korea Statistics, 2006), 관광인구는 내국인과 외국인이 각각 464만, 38만 명으로(JTA, 2006), 이를 반영한 2005년도의 총 제주인구는 약 63만 명으로 추정되었다. 2010

년의 경우 상주인구는 58만 명, 내국인과 외국인 관광객이 각각 680만 명과 78만 명으로 나타나 총 제주인구는 2005년의 인구보다 10% 증가한 68만 명으로 추정되었다. 2015년의 경우 상주인구는 62만 명(JSSP, 2016), 관광인구는 내국인과 외국인이 각각 1,104만, 262만 명으로 파악되었으며(JTA, 2016), 이를 통해 추정된 2015년의 총 제주인구는 약 81만 명으로 2010년의 추정인구와 비교하여 20% 증가한 것으로 나타났다(Table 2).

Table 2. Estimation of Jeju population considering the number of tourists and the length of stay (thousand people)

[gct]	4227		4232		4237	
Residents	558		577		624	
Tourists	L	F	L	F	L	F
	4,642	379	6,801	777	11,040	2,624
Stay (day)	5.08	4.45	5.08	4.45	5.08	4.45
Population	626		681		810	

L and F mean local tourists and foreign tourists, respectively.

### III. 연구결과 및 고찰

#### 1. 제주도의 생태발자국 산정 결과

제주도의 2005년, 2010년, 2015년도 전체 토지활용 부문에 대한 EF지수는 각각 4.45, 3.87, 3.17 ha/cap.로 분석되었다(Table 3). 이를 소비부문별로 살펴보면 2005년의 부문별 EF지수는 산림(2.25), 식량(1.14), 에너지(1.03), 구조물환경(0.03) 순이다. 하지만 2010년의 경우 식량부문의 EF지수가 증가하고 산림부문의 EF지수가 감소하면서, 그 크기가 식량(1.35), 산림(1.30), 에너지(1.19), 구조물환경(0.03)의 순으로 분석되었으며, 2015년의 경우 식량(1.60), 에너지(0.88), 산림(0.66), 구조물환경(0.03)의 순으로 변화되었다. 전체적으로 식량부문을 제외한 다른 부문의 EF지수는 시간이 흐르면서 감소하거나 유사한 반면 식량부문의 EF지수는 상대적으로 크게 증가한 것으로 나타났다.

#### 가) 식량부문 생태발자국 산정 결과

식량부문의 경우 2005년 제주인구(상주인구+체류인구)의 식품 소비에 필요한 1인당 토지면적은 1.14 ha/cap.이며, 2010년에는 1.35 ha/cap.로, 2015년의 경우 2005년에 비해 약 40%가 증가한 1.60 ha/cap.으로 나타났다. 특히 2005년을 기준으로 곡물류소비량은 식량부문의 전

체 소비량 중 22%의 비중을 차지하였으나, 2015년에 그 비중이 16%로 감소한 반면 육류소비량의 경우 같은 기간 동안 8%에서 11%로 3%p 증가하였다(JSSP, 2017). 이에 따라 축산물 항목의 EF지수는 2005년, 2010년, 2015년에 각각 0.97, 1.18, 1.42 ha/cap.로 지속적으로 증가하여 지난 10년 동안의 증가율이 50%에 가까운 것으로 나타났다. 쌀과 채소의 경우 모두 40% 이상 감소하였다. 이러한 결과는 관광객을 포함한 제주인구의 축산물 소비량이 지속적으로 증가하면서 쌀과 채소의 소비량이 축소되는 소비패턴을 나타내고 있다.

결과적으로 식량부문의 EF를 통해 제주도의 인구증가와 함께 식품소비에 필요한 토지면적 역시 증가한 것을 확인할 수 있다. 또한 인구증가는 식품소비량뿐만 아니라 음식물류 폐기물의 증가를 야기하면서, 제주도의 음식물류 폐기물 발생량은 2005년에 167.9 ton/day에서 2015년에 215.8 ton/day로 10년 동안 30% 증가하였다(ME, 2017). 따라서 1인당 식품소비량과 함께 소비에 필요한 토지면적이 증가하면서 음식폐기물의 양 또한 증가한 것으로 판단된다.

#### 나) 구조물환경부문 생태발자국 산정 결과

구조물환경부문의 EF지수는 2005년도에 3.11E-02 ha/cap.에서 2015년도에 3.02E-02 ha/cap.으로 지난 10년 동안 3% 감소한 것으로 나타났다. 지목별로 살펴보면 먼저 2005년, 2010년, 2015년 모두 도로지목(road)의 EF지수가 각각 1.19E-02, 1.17E-02, 1.07E-02 ha/cap.으로 구조물환경부문에서 가장 높은 비중을 차지하고 있지만, 최근 10년 동안 지속적인 감소추세를 보였다. 동일한 기간 동안 도로지목의 점유면적은 7,451 ha에서 8,634 ha로 16% 증가하였음에도 도로지목의 EF지수가 감소한 이유는 제주도의 확장된 도로면적보다 인구의 증가속도가 더 빠르기 때문으로 판단된다. 반면에 관광산업을 목적으로 개발되는 유원지(Recreation area)의 EF지수는 2005년, 2010년, 2015년에 각각 1.94E-04, 2.20E-04, 3.82E-04 ha/cap.로 나타나 지난 10년 동안 2배 가량 증가한 것으로 분석되었고, 동일한 기간 동안 유적지(Historical site)의 경우 500% 이상, 주차장(Parking lot)의 경우 100% 이상 증가하였다. 이는 제주도의 관광인구가 증가하면서 이를 수용하기 위해 사용된 토지면적이 인구보다 더 빠르게 확대된 것으로 해석될 수 있다.

2006년 제주도의 특별법 수립 이후 관광업을 포함한 다양한 목적으로 토지개발이 이뤄지면서 지목별 점유면적이 확장된 것을 고려하면 구조물환경부문의 총 EF지수가 증가하는 추세를 나타낼 것으로 예상되었다. 하지만 EF지수가 오히려 감소한 이유는 EF지수를 산정한 기

Table 3. Ecological footprint of food land, built-up land, forestry, and energy consumption in Jeju island (2005, 2010, 2015)

Ecvgiqtigu	kgou	Geqqikecr' Hqqvrtip' *jclecr0.' '+			
		4227	4232	4237	Ejcpig' *4227/4237+
Food land	rice	3.41E-02	2.81E-02	1.81E-02	▼ 46.9
	barley	3.14E-04	4.74E-04	4.41E-04	△ 40.4
	grains	4.35E-04	6.00E-04	9.75E-04	△ 124.1
	beans	1.58E-03	1.39E-03	1.69E-03	△ 7.0
	potatoes	1.16E-04	1.50E-04	1.29E-04	△ 11.2
	vegetable	3.99E-03	3.48E-03	2.29E-03	▼ 42.6
	cash crop	3.23E-03	9.55E-03	7.70E-03	△ 138.4
	fruit	2.05E-03	2.29E-03	2.20E-03	△ 7.3
	animal products	9.67E-01	1.18E+00	1.42E+00	△ 46.8
	dairy products	1.25E-01	1.29E-01	1.51E-01	△ 20.8
	subtotal	1.14E+00	1.35E+00	1.60E+00	△ 40.4
	Built-up land	building site	8.06E-03	8.23E-03	8.03E-03
factory site		4.09E-04	4.39E-04	4.19E-04	△ 2.4
school site		9.18E-04	8.80E-04	8.13E-04	▼ 11.4
parking lot		5.96E-05	9.44E-05	1.38E-04	△ 131.5
road		1.19E-02	1.17E-02	1.07E-02	▼ 10.1
bank		3.61E-05	3.99E-05	4.08E-05	△ 13.0
reservoirs		1.27E-04	3.99E-05	1.61E-04	△ 26.8
facilities site		2.79E-03	4.48E-03	3.95E-03	△ 41.6
recreation area		1.94E-04	2.20E-04	3.82E-04	△ 96.9
religious site		1.27E-04	1.39E-04	1.38E-04	△ 8.7
historical site		1.03E-05	9.47E-06	6.32E-05	△ 513.6
grave yard		2.69E-03	2.47E-03	2.05E-03	▼ 23.8
miscellaneous site		3.77E-03	3.62E-03	3.41E-03	▼ 9.5
subtotal		3.11E-02	3.24E-02	3.02E-02	▼ 2.9
Forestry	timber(MA)	2.25E+00	1.30E+00	6.60E-01	▼ 70.7
	subtotal	2.25E+00	1.30E+00	6.60E-01	▼ 70.7
Energy	gasoline	5.01E-02	4.69E-02	6.00E-02	△ 19.8
	kerosene	5.87E-02	6.36E-02	3.30E-02	▼ 43.8
	diesel	1.66E-01	1.47E-01	1.61E-01	▼ 3.0
	bunker-A	6.68E-04	6.79E-04	1.55E-03	△ 132.0
	bunker-B	6.54E-02	3.62E-02	8.78E-03	▼ 86.6
	bunker-C	2.37E-01	3.28E-01	2.08E-03	▼ 99.1
	jet A-1	5.08E-02	5.67E-02	7.45E-02	△ 46.7
	LPG	7.76E-04	7.37E-03	1.14E-02	△ 1,369.1
	electricity	3.95E-01	5.04E-01	5.25E-01	△ 32.9
	subtotal	1.03E+00	1.19E+00	8.78E-01	▼ 14.8
<b>Vqpcn</b>	<b>6067G-22</b>	<b>5019G-22</b>	<b>5039G-22</b>	<b>▼ 4:0:</b>	

Timber's yields are calculated by 10 year moving average using timber production (1994-2015) in Jeju island

간 동안 인구가 약 10만 명이 증가하여 토지사용면적이 증가한 것보다 인구증가의 영향이 더 큰 변수로 작용하였기 때문에 판단된다. 즉, 시설이 확보해주는 면적이 인구증가 속도를 따라가지 못하는 것으로 해석할 수 있다. 또한 토지비목별 점유면적의 통계자료는 대지면적으로만 제공되기 때문에 시설의 층고에 따른 가용면적을 고려할 수 있는 연면적을 반영할 경우 EF지수에 차이가

발생할 수 있을 것으로 생각된다. 한편, 구조물환경부문의 EF지수는 다른 부문의 EF지수와 비교하여 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있는데, 이는 구조물환경이 토지로부터 생산되는 산출물을 소비하는 것이 아니라 토지면적 자체를 소비하는 것이기 때문에 산출물과 상관없이 인구밀도가 높을수록 낮게 산출되는 것에 기인한다.

### 다) 산림부문 생태발자국 산정 결과

제주도는 산림 및 생물권 보전지역이 총 면적의 56%를 차지하고 있어 매년 일정한 양의 용재를 생산할 수 없기 때문에 용재생산량은 매년 불규칙적인 증감을 반복하면서 진폭이 크게 나타난다. 특히 2014년도와 2015년도의 경우 재선충 방제사업과 같은 특수한 상황이 발생하면서 용재생산량이 급격히 증가하여 연도별로 일정한 변화추세를 나타내지 않는다. 또한 제주통계연보에 따르면 제주도의 산림면적은 2005년도에 64,755 ha에서 2015년도에 64,914 ha로 크게 변하지 않음에 따라 동일한 면적에서 용재생산량의 변화만 존재한 것을 확인할 수 있다. 이에 용재생산량의 통계자료를 기반으로 분석된 EF지수를 통해 산림부문의 지속가능성을 무조건적으로 판단하기에는 어려움이 존재한다. 따라서 용재생산량의 불규칙변동 현상을 제거하고 제주도의 1인당 목재제품 소비를 위해 필요한 면적, 즉 EF지수의 실질적인 변화를 살펴보기 위해 이동평균법을 활용하여 연도별 용재생산량을 각각 추정하여 적용하였다.

추정된 용재생산량을 통해 분석된 산림부문의 EF지수는 2005년, 2010년, 2015년에 각각 2.25, 1.30, 0.66 ha/cap.로 지속적으로 감소하여 지난 10년 동안 71%가 감소한 것으로 나타났다. 앞서 설명한 것과 같이 산림부문의 EF지수는 지역의 단위면적당 용재생산량을 바탕으로 산정되며, 제주도의 용재산출율은 동일한 기간 동안 0.08, 0.12, 0.26 kg/ha로 지속적인 증가추세를 나타내었다. 이러한 변화를 고려할 때 산림부문 EF지수의 감소가 용재제품의 사용량이나 용재생산을 위해 필요한 산림면적의 감소를 나타내는 것이 아니라, 단위면적당 용재생산량보다 인구가 상대적으로 크게 증가하여 궁극적으로 EF지수가 감소된 것으로 생각된다.

또한 단위면적당 용재생산량을 기준으로 산정되는 산림부문 EF지수의 특성상 특수한 상황에 따라 용재생산량이 많아지는 경우 EF지수는 감소하게 되며, 반대로 용재생산량이 상대적으로 적은 연도의 경우 EF지수가 증가하는 것으로 나타난다. 일반적으로 EF지수의 감소는 해당 소비항목의 토지소비활동이 개선되는 것으로 해석될 수 있기 때문에 제주도와 같이 연도별 용재생산량이 불규칙한 지역에서는 산림부문의 환경용량을 용재생산량만으로 판단하기엔 한계가 있을 것으로 사료된다.

### 라) 에너지부문 생태발자국 산정 결과

제주도의 에너지부문 EF지수는 2005년도에 1.03 ha/cap.에서 2010년도에 1.19 ha/cap.로 증가하였지만, 2015년도에 다시 0.88 ha/cap.으로 감소하여 결과적으로 지난 10년 동안 14%가 감소한 것으로 나타났다. 이는

휘발유와 경유, 전기 등의 에너지 소비량은 증가한 반면, 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서 설정한 온실가스 감축 목표에 따른 해운환경 규제에 따라 Bunker-B유와 Bunker-C유의 소비량이 상대적으로 크게 감소하였기 때문으로 판단된다(IMO, 2008). 특히 Bunker-C유 소비량의 경우 2005년에 1,488만 GJ에서 2010년에 2,236만 GJ로 50% 이상 증가하였지만, 해운환경 규제가 진행된 후 2015년에 그 소비량이 17만 GJ로 크게 감소하였다. 이에 따라 EF지수 역시 2005년도에 2.37E-01 ha/cap.에서 2015년도에 2.08E-02 ha/cap.으로 99% 줄어든 것으로 나타났다.

LPG 소비에 따른 EF지수는 2005년과 2015년에 각각 7.76E-04, 1.14E-02 ha/cap.로 지난 10년 동안 1,369% 증가하여 가장 큰 변동을 나타내었다. 제주도는 2005년부터 LPG 공급이 시작되면서(Lee, 2017) 인구증가와 함께 사용량이 상대적으로 급격하게 증가된 것으로 판단된다.

한편 전기 소비량의 경우 동일한 기간 동안 2,478만 GJ에서 4,252만 GJ로 72% 증가하였고, EF지수 역시 0.40 ha/cap.에서 0.53 ha/cap.으로 증가하여 에너지부문의 EF 중 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 변화는 제주도의 인구가 증가한 만큼 전기가 추가로 공급되었을 뿐만 아니라 전기자동차 보급의 확산, 스마트그리드 확대 사업 등으로 인해 전기소비량의 증가가 계속된 것으로 보인다. 또한 관광산업은 전력소비와 밀접한 관계에 있기 때문에(Kim et al., 2015) 제주도의 관광수요가 증가하면서 이에 따른 관광시설을 위한 전력소비 또한 증가한 것으로 판단된다.

## 2. 제주도의 생태적 면적 및 생태적자 변화

EF지수는 구성항목에 대한 토지면적의 소비량만을 나타내는 지표로서 환경용량의 적정규모를 평가하기에는 한계가 있다. 따라서 EPL과 EF의 비교하고, 이를 바탕으로 생태적자(Ecological Deficit)를 추정하여 해당 연도의 소비규모와 생산면적 등 토지능력 기반의 환경용량을 평가하였다.

먼저, 시간의 흐름에 따른 제주도의 생태적자 변화를 평가하기 위하여 2005년부터 2015년까지 5년 단위로 EF지수를 분석한 결과, 1인당 총 EF지수는 각각 4.45, 3.87, 3.17 ha/cap.으로 분석되어 최근 10년 동안 지속적으로 감소한 것으로 나타났다(Figure 1). 하지만 EF를 설명하는 수식을 보면, 각각의 변수는 인수로 나누어지기 때문에 인구변화는 EF지수의 변화에 주요한 요인으로 작용된다. 따라서 제주도 EF지수의 감소는 지역의 소비활동이 감소된 것이 아니라, 증가한 항목별 소비량보다 인구



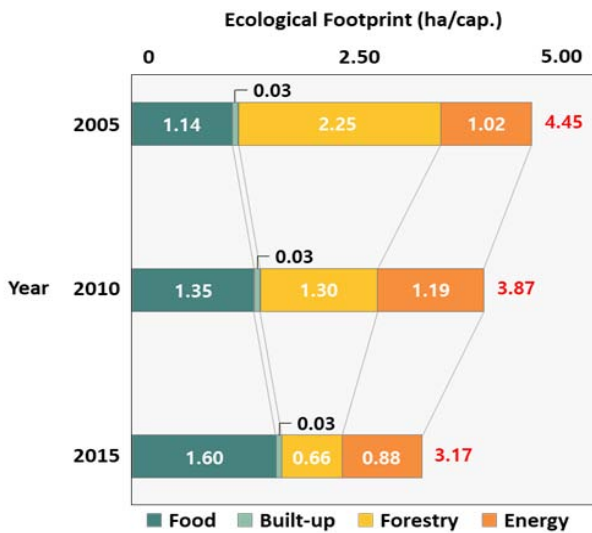


Figure 1. Comparing the change in ecological footprint (EF) of food land, built-up land, forestry, and energy consumption in Jeju island based on over time (2005, 2010, 2015)

의 증가가 더 큰 변수로 작용하였음을 의미한다.

EF지수를 반영하여 생태적자를 산정하기 위해 2005년, 2010년, 2015년의 1인당 생태적으로 생산적인 면적(Ecological Productive Land, EPL)을 각각 평가하여 Figure 2에 도시하였다. 본 연구에서 적용한 제주도의 연도별 1인당 EPL은 해당 연도의 추정인구와 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야의 면적을 반영하여 계산하였다. 2005년 기준 1인당 EPL은 0.26 ha/cap.으로 파악되었고, 이후 2010년과 2015년의 경우 각각 0.23 ha/cap.와 0.19 ha/cap.로 나타나 제주도의 생산활동에 관여할 수 있는 면적이 지속적으로 감소된 것으로 확인되었다. 인구와 가용면적의 변화에 따른 EF지수와 EPL의 지속적인 감소는 지역의 생태보전능력이 계속 감소하고 있음을 의미한다. 따라서 제주도의 토지사용면적에 대한 환경용량은 지속가능성에서 멀어지고 있는 것으로 해석될 수 있다.

상기 EF지수와 EPL을 고려하여 2005년부터 2015년까지 5년 단위의 생태적자를 분석한 결과(Figure 3), 3개 연도에서 모두 EF지수가 1인당 EPL을 초과하여 생태적자가 존재하는 것으로 확인되었다. 2005년의 소비활동을 고려한 총 EF지수에 따른 생태적자는 -4.19 ha/cap.로 나타났다며, 2010년과 2015년의 경우 각각 -3.64 ha/cap.와 -2.98 ha/cap.의 생태적자가 발생한 것으로 분석되었다.

본 연구는 제주도를 대상으로 지역의 단편적인 현상만을 분석하였기 때문에 제주도의 토지소비활동 기반의

지속가능성 여부를 완벽히 설명하기에는 어려움이 따른다. 제주도는 2005년부터 2015년까지 지난 10년간 항목별 1인당 소비량이 크게 증가하지는 않았지만, 상주인구와 관광인구가 급격히 증가함에 따라 더 많은 인구가 한정된 자원을 함께 사용하고 있는 것으로 판단된다. Hopten and White(2012)의 EF 연구에서는 토지부문의 환경용량변화에 따른 지속가능성을 평가할 때 전 지구적인 관점에서의 인구이동을 살펴보면, 어느 한 지역의 인구가 다른 지역으로 이동하면 해당 지역의 인구는 감소하게 되나, 궁극적으로는 인구 총 합에 변화가 없음을 언급하였다. 이는 어느 한 지역 인구 유입에 따른 환경용량의 증가 또는 감소가 다른 지역에서의 환경용량 감소 혹은 증가로 평가될 수 있음을 시사한다. 따라서 본 연구에서는 제주도의 토지소비면적이 1인당 기준 또는 전체 인구 기준의 관점에서 바라볼 시 지속가능성에서 멀어지고 있다고 해석할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구는 휴양섬인 제주도를 대상으로 상주인구와 함께 관광인구를 포함한 토지이용부문의 EF지수를 분석하고 생태적으로 생산가능한 면적인 EPL과의 비교를 통해 생태적자를 평가하였다. 또한 2005년, 2010년, 2015년의 생태발자국 기반의 환경용량 평가결과를 바탕으로 제주도 토지자원에 대한 지속가능성의 시간적인 변화를 살펴보고자 하였다.

2005년의 전체 소비부문에 대한 EF지수는 4.45 ha/cap.으로 산정되었고 2010년의 경우 3.87 ha/cap.로, 2015년의 EF지수는 3.17 ha/cap.으로 나타났다. 이를 부문별로 살펴보면, 식량부문의 경우 분석기간 동안 EF지수가 1.14 ha/cap.에서 1.60 ha/cap.로 40% 이상 증가하면서 식품소비에 필요한 토지면적이 지속적으로 확대된 것으로 분석되었다. 특히 관광인구를 포함한 제주인구의 증가에 따라 육류소비량이 크게 증가하면서 육류항목의 EF지수는 50%의 증가율을 보였다. 구조물환경부문에서 도로, 유원지, 유적지 등 지목별 점유면적은 지속적으로 증가하였으나, 동일한 기간 동안 증가한 인구가 상대적으로 더 크기 때문에 결과적으로 EF지수는 감소추세를 나타내었다. 이는 시설로 확보되는 면적이 인구증가속도에 못 미치는 것으로 해석될 수 있을 것으로 보인다. 산림부문의 경우 단위면적당 용재생산량은 지속적으로 증가하는 경향을 나타내고 있음에도 불구하고 2005년, 2010년, 2015년의 EF지수가 각각 2.25, 1.30, 0.66 ha/cap.로 지난 10년 동안 71% 감소한 것으로 나타났다. 이러한 변화는 지속

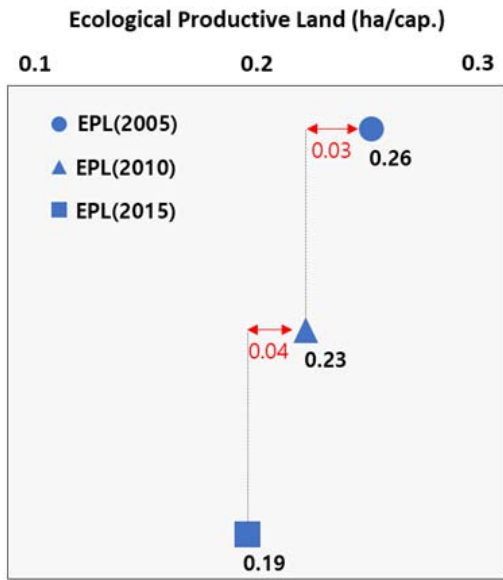


Figure 2. Comparing the change in ecological productive land (EPL) per capita considering the area that can be involved in production activity in Jeju island based on over time (2005, 2010, 2015)

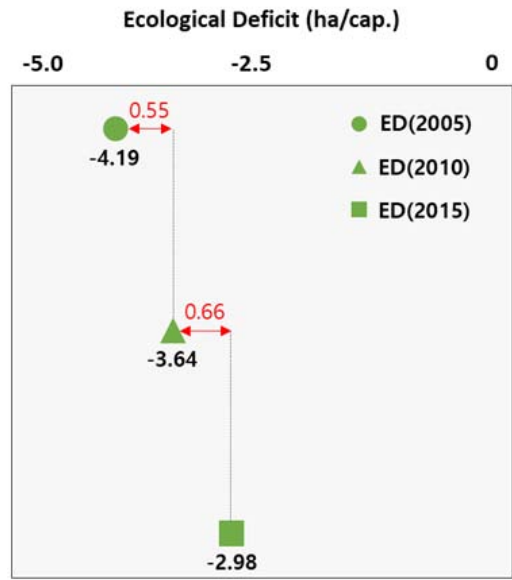


Figure 3. Comparing the change in ecological deficit (ED) considering both ecological footprint (EF) and ecological productive land (EPL) in Jeju island based on over time (2005, 2010, 2015)

적인 전체 용재생산량 증가보다 인구가 더욱 빠른 속도로 증가하여 상대적으로 일인당 생산량은 감소하는 경향을 나타내는 것으로 판단된다. 에너지부문 EF지수의 경우 2005년에 1.03 ha/cap.에서 2010년에 1.19 ha/cap.로 증가하였으나, 2015년에 다시 0.88 ha/cap.로 감소하였다. 동일한 기간 동안 에너지항목의 소비량은 대부분 증가하였지만, 2008년부터 시행된 해운환경규제에 따라 Bunker유의 소비량이 상대적으로 크게 감소하면서 EF지수 변화에 큰 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 제주도는 전기자동차 보급 확산, 스마트그리드 확대, 다양한 관광산업 개발 등으로 인해 전기소비량이 지속적으로 증가하면서 에너지부문의 소비항목 중 전기소비에 따른 EF가 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

제주도의 토지자원활용에 대한 지속가능성을 평가하기 위하여 EPL과 생태적자를 분석한 결과, 1인당 EPL의 경우 2005년에 0.26ha/cap.에서 2015년에 0.19ha/cap.로 지속적으로 줄어들면서 생태보전능력이 낮아지고 있는 것으로 나타났다. 또한 EF지수가 1인당 EPL을 초과하면서 발생한 생태적자는 2005년에 -4.19ha/cap.에서 2010년에 -3.64 ha/cap., 2015년도에 -2.98 ha/cap.로 평가되었다.

EF 산정식의 특성상 인구의 변화가 토지부문의 환경용량에 주요한 변수로 작용하므로, 단순히 EF지수와 생태적자 결과만을 이용하여 환경용량의 증감을 완벽히 해

석하기엔 한계가 있다. 위와 같은 결과는 EF와 생태적자가 모두 감소하는 것으로 분석되었기 때문에 제주도의 토지부문 환경용량이 개선되고 있는 것으로 해석될 수 있으나, 이는 토지자원 수요의 지속적인 증가에도 불구하고 급격한 인구증가에 따른 EF지수의 감소로 분석되며, 무엇보다 생산활동에 관여할 수 있는 EPL이 함께 감소한 것으로 파악됨에 따라 오히려 제주도의 토지사용은 지속가능성이 낮아지고 있는 것으로 설명될 수 있다.

분석된 EF지수는 제주도의 통계자료를 활용하여 환경용량과 지속가능성을 간단한 수치로 표현하여 거시적으로 평가할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 또한 제주도의 환경용량을 정량화함으로써 도시계획을 수립하는 데 환경용량을 고려할 수 있는 하나의 지표로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 향후 추가적인 통계자료 확보를 통해 제주도의 소비품목 중 해산물 양식업과 같은 품목에 대한 분석이 포함될 필요가 있다고 판단된다.

본 연구과제는 환경부지정 제주도녹색환경지원센터의 연구비 지원에 의해 수행한 연구과제입니다(과제명: 지속가능한 제주 환경관리방안 연구).

## References

1. Choi, B. and B. Ko, 2007. 2025 Jeju Metropolitan City Planning. Jeju Special Self-Governing Province (JSSP).
2. Choi, J., Chung, J. and G. Hong, 2011. A study on the Environmental Capacity Assessment in Seoul Metropolitan Area Using Ecological Footprint. Seoul Institute (SI).
3. Ding, Y., and J. Peng, 2018. Impacts of Urbanization of Mountainous Areas on Resources and Environment: Based on Ecological Footprint Model. *Journal of Sustainability*, 10(3): 765. DOI: 10.3390/su10030765.
4. Galli, A., Iha, K., Bilali, H., Grunewald, N., Eaton, D., Capone, R., Debs, P., and F. Bottalico, 2017. Mediterranean countries' food consumption and sourcing patterns: An Ecological Footprint Viewpoint. *Journal of Science of The Total Environment*, 578(1): 383-391. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.191.
5. Global Footprint Network (GFN), 2010. Ecological Footprint Atlas 2010. Global Footprint Network (GFN).
6. Gondran, N., 2012. The Ecological Footprint as a Follow-up tool for an Administration: Application for the Vanoise National Park. *Journal of Ecological Indicators*, 16: 157-166. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.09.036.
7. Gossling, S., Hansson, C., Horstmeier, O. and S. Saggel, 2002. Ecological Footprint Analysis as a Tool to Assess Tourism Sustainability. *Journal of Ecological Economics*. 43: 199-211.
8. Hopton, M. and D. White. 2012. A Simplified Ecological Footprint at A Regional Scale. *Journal of Environmental Management*. 111: 279-286. DOI:10.1016/j.envman.2011.07.005.
9. Hwang, K., Hwang, I., Lee, S., Jo, S., and K. Oh, 2006. Environmental Capacity Assessment of Busan city. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 15(1): 79~92. (in Korean).
10. Im, J. and J. Lee, 2002. A study on the Environmental Carrying Capacity Assessment of Chongju City. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 11(1): 25-36. (In Korean)
11. International Maritime Organization (IMO), 2008. Prevention of Air Pollution from Ships: ANNEX VI. Available at: <https://www.imo.org>
12. Jeju Special Self-Governing Province Tourism Association (JTA), 2006. Status of Tourist in Jeju. Jeju Special Self-Governing Province Tourism Association (JTA).
13. Jeju Special Self-Governing Province Tourism Association (JTA), 2016. Status of Tourist in Jeju. Jeju Special Self-Governing Province Tourism Association (JTA).
14. Jeju Special Self-Governing Province (JSSP), 2016. Jeju Statistics. Jeju Special Self-Governing Province (JSSP).
15. Jeju Special Self-Governing Province (JSSP), 2017. Jeju Statistics. Jeju Special Self-Governing Province (JSSP).
16. Jeju Tourism Organization (JTO), 2016. Jeju Visitor Survey. Jeju Tourism Organization (JTO).
17. Jung, C., 2018. Energy Analysis of Environmental Carrying Capacity for Sustainable Development Strategies of Resort Islands. Master's Thesis, Seoul National University.
18. Kerr, S., 2005. What is Small Island Sustainable Development About?. *Journal of Ocean&Coastal Management*. 48: 503-524. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2005.03.010.
19. Kim, B., Kim, W., Baek, H., Lee, B., Heo, T., and J. Oh, 2015. Preliminary Feasibility Study of Jeju Airport Infrastructure. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT).
20. Kim, B., Lee, K., and S. Lee, 2005. Estimation for Environmental Capacity and Urban Development Capacity in Jeollabuk-do. Jeonbuk Development Institute (JB DI).
21. Kim, S., Song, K., Kim, K., and H. Kim, 2015. Establishment of Measures to Increase and Stabilize Capacity of Power Grid Connection in Jeju. Research Center for Electric Energy of Jeju University.
22. Kim, S., 2016. The Fall of Growth and Structural Reform in Korea. *Journal of Korean Economic*, 55(1): 3-27. (in Korean).
23. Korea Statistics, 2006. Available at: <http://www.kostat.go.kr/>
24. Korea Statistics, 2016. Available at: <http://www.kostat.go.kr/>
25. Kratena, K., 2008. From Ecological Footprint to Ecological Rent: An Economic Indicator for Resource Constraints. *Journal of Ecological Economics*, 64(3): 507-

516. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.09.019.
26. Lee, B., 2017. Characteristics of Energy Supply and Demand by Domestic Metropolitan City. Korea Energy Economics Institute. (In Korean)
  27. Lee, C., Moon, T., Hong, M. and H. Suh, 2000. A Study on the Environment Capacity Assessment of Seoul II. Seoul Development Institute. (In Korean)
  28. Lee, S. and C. Ha, 2014. Analysis on Migration and Regional Structural Change in Jeju Region. Journal of Korea Planning Association, 49(2): 41-53. (in Korean). DOI :10.17208/jkpa.2014.04.49.2.41.
  29. Lee, S., 2001. A study on the Environmental Capacity Assessment of Ulsan by using Ecological Footprint Model. Ulsan Development Institute (UDI).
  30. Martin-Cejas, R. and P. Sacherz, 2010. Ecological Footprint Analysis of Road Transport related to Tourism Activity: The Case for Lanzarote Island. Journal of Tourism Management. 31: 98-103. DOI: 10.1016/j.tourman.2009.01.007.
  31. McIntyre, S. and P. Emmi, 2007. The Ecological Footprint of Utah. Utah Vital Signs (UVS).
  32. Ministry of Environment, 2017. Waste Generation and Disposal Statistics.
  33. Nakajima, E. and E. Ortega, 2016. Carrying Capacity using Energy and a New Calculation of the Ecological Footprint. Journal of Ecological Indicators, 60: 1200-1207. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.08.054.
  34. Oh, Y. and G. Lee, 2016. The Achievements and Future Tasks of Jeju International Free City - Focusing on Analysis of Jeju Citizens' Awareness -. Jeju Research Institute (JRI).
  35. Park, S., Kang, M. and Y. Jo, 2017. 2025 Jeju Special Self-Governing Province City Basic Plan. Jeju Special Self-Governing Province (JSSP).
  36. Suh, K., Kim, S., Jung, C., Kim, C. and P. Shin, 2017. A Study on Environmental Management Plan for Sustainable Jeju. Jeju Green Environment Center. (In Korean)
  37. Wackernagel, M. and W. Rees, 1996. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth.
  38. Wackernagel, M. and W. Rees, 1997. Perceptual and Structural Barriers to Investing in Natural Capital: Economics from an Ecological Footprint Perspective. Journal of Ecological Economics, 20(1): 3-24. DOI: 10.1016/S0921-8009(96)00077-8.
  39. Yuan C., Liu, S. and Z. Fang, 2016. Comparison of China's Primary Energy Consumption Forecasting by using ARIMA (the autoregressive integrated moving average) Model and GM(1,1) Model. Journal of Energy, 100: 384-390. DOI: 10.1016/j.energy.2016.02.001.

- 
- Received 9 May 2018
  - First Revised 24 July 2018
  - Accepted 6 August 2018