

Research Paper

우리나라 생태발자국(EF) 추이와 예측

여민주 · 김용표

이화여자대학교 환경공학과

Trend and prediction of the Ecological Footprint in Korea

Min Ju Yeo · Yong Pyo Kim

Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

요약 : 과거 50여 년간 한국의 생태발자국(Ecological Footprint, EF)은 가파르게 증가해 왔으며, 이에 따라 오버슈트(Overshoot) 역시 증가해 왔다. 오버슈트를 야기하는 중요한 원인에는 인구 증가와 일인당 자원 사용 강도 증가가 있다. 본 연구에서는 이들 원인 가운데 어떤 변수가 지난 50여 년간 한국의 EF에 더 큰 영향을 미쳤는지에 대해 알아보았다. 소비 부문들 가운데, 에너지 소비에 따른 탄소발자국(Carbon Footprint, CF), 단백질 섭취에 따른 초지발자국(Grazing Land Footprint)과 어장 발자국(Fishing Grounds)이 EF 증가에 크게 영향을 주었다. 지난 50여 년간의 추세가 앞으로도 유지된다면, 2060년에는 일인당 EF 값이 2009년 현재의 2배에 달할 것으로 보이며, 2031년 이후 인구가 감소함에도 불구하고 1인당 EF 값의 증가에 따른 영향으로 EF는 2059년까지 증가할 것으로 보인다. 그러므로 향후 개개인의 소비 패턴과 행동 변화를 유도하는 것으로 환경관리 방향을 전환해갈 필요가 있을 것이다.

주요어 : 생태발자국, 생태수용력, 저출산, 한국

Abstract : Ecological Footprint (EF) in Korea has increased steeply over the past 50 years and, thus, the overshoot. It has been known that the main causes of the overshoot are population growth and the increase of the consumption intensity per person. In this study, the EF trend in Korea is analyzed for the past 50 years and it is found the major cause of the rapid increase of EF in Korea is the increase of the consumption intensity per person. Among the sectors of the consumption, Carbon Footprint (CF) from the energy consumption and Grazing Land Footprint and Fishing Grounds Footprint from the protein consumption are the major players for the increase. It is also found that if current trend of the EF per person would be maintained until 2060, EF in Korea would be expected to increase also continuously, despite of the decrease of the population from 2031. Therefore, the direction of the environmental management should be considered for inducing the change of the individual consumption patterns and the behavioral changes.

Keywords : Ecological Footprint, Biocapacity, Overshoot, Low Birth Rate, South Korea

I. 서론

현재 한국은 일인당 온실가스를 가장 많이 배출하는 국가의 하나이고(IEA, 2013), 각종 환경지표에서는 경제협력개발기구(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) 국가들 가운데 최하위권을 차지하고 있는 만큼(Esty *et al.*, 2005) 환경 문제, 즉, 오버슈트(overshoot)가 심각한 상황이다. 오버슈트는 자연에 대한 인간의 수요가 생물학적인 공급 또는 회복 능력을 초과할 때 발생하는 것으로, 지구 자연자본(natural capital)을 소멸시키고, 폐기물을 생산하게 된다. 오버슈트는 생태발자국(Ecological Footprint, EF)과 생태수용력(Biocapacity, BC)의 차이로 설명할 수 있으며, EF가 BC보다 클 때 야기된다. 전지구적인 차원에서의 오버슈트는 생태적자(ecological deficit)와 동일한 의미이며, 특정 지역의 오버슈트는 그 지역 자체의 회복 능력보다 더 빠르게 생태계를 사용할 때 발생한다(Ewing *et al.*, 2010). 곧, 오버슈트는 인간의 경제활동, 수요에 의해 자연 자원을 남용할 때 발생된다(Wackernagel *et al.*, 2002).

오버슈트를 야기하는 중요한 요인에는 인구수(Population, P)와 EF로 설명할 수 있는 자원 사용강도가 있다. 현재 한국에서의 오버슈트에는 인구 증가와 경제 성장에 따른 개개인의 자원 사용강도 증가가 영향을 주었다. Wackernagel *et al.*(2004)에 따르면, 한국은 급속한 산업화의 대표주자로, 그 결과 1961년부터 1999년까지 40여 년간 매우 가파른 EF 증가 양상을 보였다. EF는 현재 물질적인 삶의 수준을 유지하기 위해서 필요한 환경 자원의 양을 토지의 양으로 환산한 것을 의미한다(Wackernagel and Rees, 1995). 한국의 BC는 1961년부터 현재까지 거의 변하지 않았지만, EF는 급속하게 증가하여 오버슈트 역시 점점 커지는 상황이다.

그러므로 현 시점에 우리나라의 환경 현황을 파악하고, 환경 추이와 지금의 환경 현황에 영향을 준 요인을 살펴볼 필요가 있을 것이다. 최근 해외(Ewing *et al.*, 2012; Galli *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2014) 뿐만 아니라 국내에서도 지역 단위에서의 지속가능

성을 평가하고 환경용량을 추정하는 등 환경 현황을 살펴보는 데에 EF를 활용하는 사례가 늘고 있다. 서울시(Lee and Oh, 1999), 대구광역시(Jung and Lee, 2009), 수도권(Choi *et al.*, 2011)의 환경용량을 평가하고, 부산시(Moon, 2004), 충청북도(Bae *et al.*, 2011)의 지속가능성을 평가하기 위해 EF를 활용하였으며, 전국 35개시에 대해 부문별 EF로 각 도시의 환경용량 및 생태적자 분석한 결과도 있다(Kim *et al.*, 2006).

이들 연구결과는 지역적인 환경현황을 파악하고 환경 용량 및 지속가능성을 살펴보는 데에 유용하다. 하지만 국가의 환경 현황을 살펴보기 위해서는 국가 전체적인 관점에서의 환경 추이와 영향 요인을 파악하는 것이 필요하다. 그리고 우리나라 내에서의 EF를 활용하여 여러 시의 환경 현황을 비교한 사례가 있지만(Kim *et al.*, 2006), 국가 전체의 환경 현황이 다른 국가와 비교하여 어느 정도 수준인지를 파악하는 것 역시 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 (1) 우리나라의 EF 추이를 국가 단위에서 세계 추이와 함께 살펴보았고, (2) 한국의 환경 여건에 민감하게 영향을 주는 요인을 파악하였으며, (3) 미래 한국의 EF를 예측하여 관리 방향을 제시하였다.

II. 연구자료와 방법

본 장에서는 연구에 활용한 자료와 방법에 대해 설명하였다.

1. 연구자료

본 연구에서는 세계와 한국의 EF 추이 분석을 위하여 국제생태발자국네트워크(Global Footprint Network, GFN)의 국가발자국계정(National Footprint Accounts, NFA)에서 제공하는 1961년부터 2009년까지의 BC와 EF, 인구 자료를 활용하였고(GFN, 2014), 세계은행(World Bank)에서 제공하는 1970년부터 2009년까지의 국내총생산(Gross Domestic Product, GDP) 자료를 활용하였다(World Bank, 2014).

BC와 EF는 글로벌헥타르(global hectare, gha)

로 표현되며, 각각 공급과 수요의 개념으로 표현할 수 있다. BC는 공급의 측면으로 생물학적으로 생산적인 면적(biologically productive area)을 나타내므로 자연수용 능력 수준을 보여준다. EF는 수요 측면으로 인구 규모, 각 개인의 소비에 따른 재화(goods)와 서비스, 이들 재화와 서비스의 자원과 폐기물 강도의 함수이다(WWF *et al.*, 2008).

NFA에서 BC는 경작지 발자국(Cropland), 초지 발자국(Grazing Land), 산림 발자국(Forest Land), 건조환경 발자국(Built-up Land), 어장 발자국(Fishing Grounds)의 5개 부문으로 구성되어 있으며, 국가별 BC는 다음 식 (1)과 같이 토지 종류별 면적(hectare, ha)에 국가별 특성을 고려한 표준화를 위한 생산성인자(Yield factor, YF)와 토지 종류별 특성을 고려한 표준화를 위한 등가인자(Equivalence factor, EQF)를 곱하여 산정한다(Borucke *et al.*, 2013).

$$BC = \sum_i A_{N,i} \cdot YF_{Ni} \cdot EQF_i \quad (1)$$

여기서, $A_{N,i}$ 는 생산성 있는 면적, YF_{Ni} 는 생산품 i 의 국가 생산성 인자, EQF_i 는 생산품 i 의 토지 종류에 따른 등가인자(gha ha^{-1})이다. EF는 BC의 5개 부문에

탄소발자국(Carbon footprint, CF)를 더하여 6개 부문으로 구성되어 있으며, Figure 1과 같이 국가별 EF는 소비 범주에 따른 자원소비량에 생산성(Yield)을 고려하여 이를 토지 면적으로 변환하고, BC와 동일하게 생산성인자와 등가인자를 고려하여 표준화된 gha 값으로 변환하여 산정한다. 이를 식으로 나타내면 다음 식 (2)와 같다(Monfreda *et al.*, 2004; Ewing *et al.*, 2008; Kitzes *et al.*, 2008; Borucke *et al.*, 2013).

$$EF_P = \sum_i \frac{P_i}{Y_{Ni}} \cdot YF_{Ni} \cdot EQF_i = \sum_i \frac{P_i}{Y_{wi}} \cdot EQF_i \quad (2)$$

여기서, EF_P 는 국내 생산에 따른 EF로 BC에 대한 수요(gha), P_i 는 국가에서 생산된 생산품 i 의 양 또는 이산화탄소 배출량(t), Y_{Ni}/Y_{wi} 는 재화 i 의 생산에 대한 연간 국가/세계 평균 생산성 또는 탄소 흡수량(t ha^{-1})이다.

2060년까지의 한국 EF 예측에는 인구 예측 결과와 일인당 사용 강도 예측 결과를 활용하였다. 2060년까지 통계청(Statistics Korea, KOSTAT)의 장래추계인구 자료(KOSTAT, 2012)를 인구 예측 결과 자료로 활용하였고, 일인당 사용 강도 추정 방법은 다음의 연구방법에서 설명하였다.

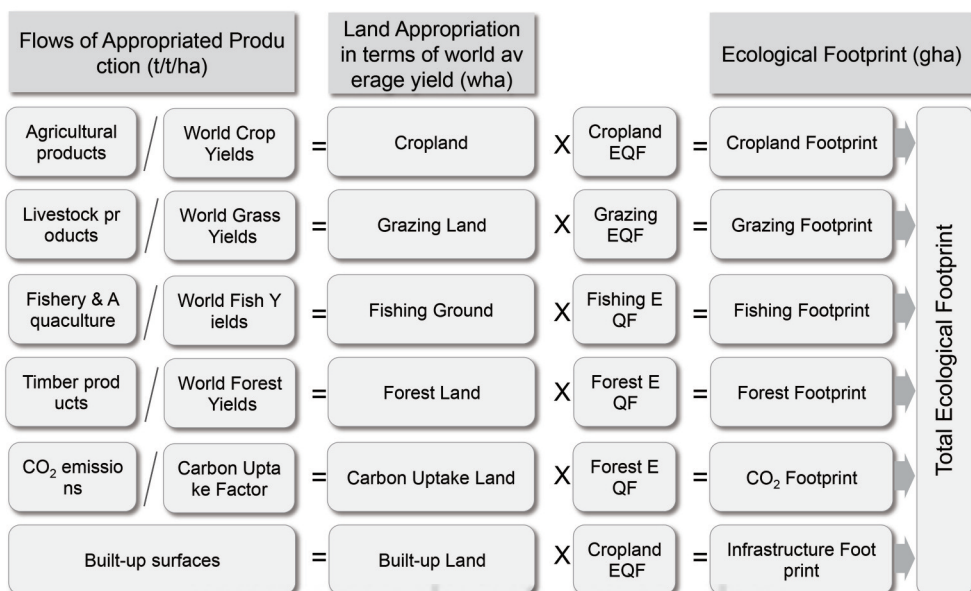


Figure 1. Accounting framework of National Footprint Accounts (NFA) (Borucke *et al.*, 2013).

2. 연구방법

본 연구는 다음 Figure 2와 같이 진행하였으며, (1) 세계와 한국의 EF 추이, (2) 영향요인분석, (3) 예측 방법은 다음과 같다.

(1) 1961년부터 1999년까지의 50여 년간의 세계와 한국의 EF 추이를 BC, P, GDP 추이와 함께 살펴보았다. 이들 시계열 자료는 각각의 자료원에서 제공하는 값을 활용하였고, BC, P, GDP 대비 EF 값을 계산하여 추이를 함께 살펴보았다. BC 대비 EF 값은 $[EF/BC]$ 로, P 대비 EF 값은 $[EF/P]$ 로, GDP 대비 EF 값은 $[EF/GDP]$ 로 계산하였다. 각 지표별 결과는 연도별로 제시되는데, 다음 장에서 P, $[EF/BC]$, $[EF/P]$, $[EF/GDP]$ 에 대해 그림으로 제시하였다 (Figure 3, 4, 5 참조). 또한 1961년 이후, 1961년에 비해 추이가 어떻게 변해왔는지를 살펴보기 위해, 1961년 값을 기준으로 설정하여 1로 두고, 매년 1961년 값 대비 그 해의 값을 $[해당년도\ 값/1961년\ 값]$ 으로 계산하였다. 이 결과는 매 10년마다의 값을 표로 정리하였다(Table 1과 Table 2 참조). 각 지표별 의미는 다음 절의 결과에서 설명하였다.

(2) 환경 여건에 민감하게 영향을 주는 요인으로

인구와 일인당 사용강도를 고려할 수 있고, 한국의 총 EF는 인구수에 일인당 EF를 곱하여 산정한다. 그러므로 총 EF의 증가율은 인구 증가율과 일인당 EF의 증가율에 의해 결정된다고 할 수 있다. 본 연구에서는 총 EF의 증가율과 두 요인의 증가율을 고려하여 한국 EF의 가파른 증가에 영향을 더 많이 준 요인을 살펴보았다. 그리고 사용강도 가운데 어떤 변수가 크게 기여했는지를 EF 값의 추이와 기여율, 증가율 비교를 통해 살펴보았다. 사용강도와 관련된 변수는 EF의 부분, 다시 말해, 6개의 토지 종류 경작지, 초지, 산림, 건조환경, 어장, 탄소 발자국이다.

(3) 미래 한국의 EF 예측에 미래 한국의 인구와 일인당 사용강도에 따른 EF를 예측한 결과를 활용하였다. 2060년까지의 한국의 총 EF는 연간 인구 예측 결과와 일인당 EF 추정값을 곱하여 산정하였다. 과거 일인당 EF 추이는 NFA의 EF값을 인구수로 나누어 산정하였고, 미래 인구는 KOSTAT (2012) 자료를 그대로 활용하였으며, 미래 일인당 EF 추이는 지난 50여 년간의 추이가 2060년까지 지속되는 것을 가정하여 추세연장법을 통해 예측하였다.

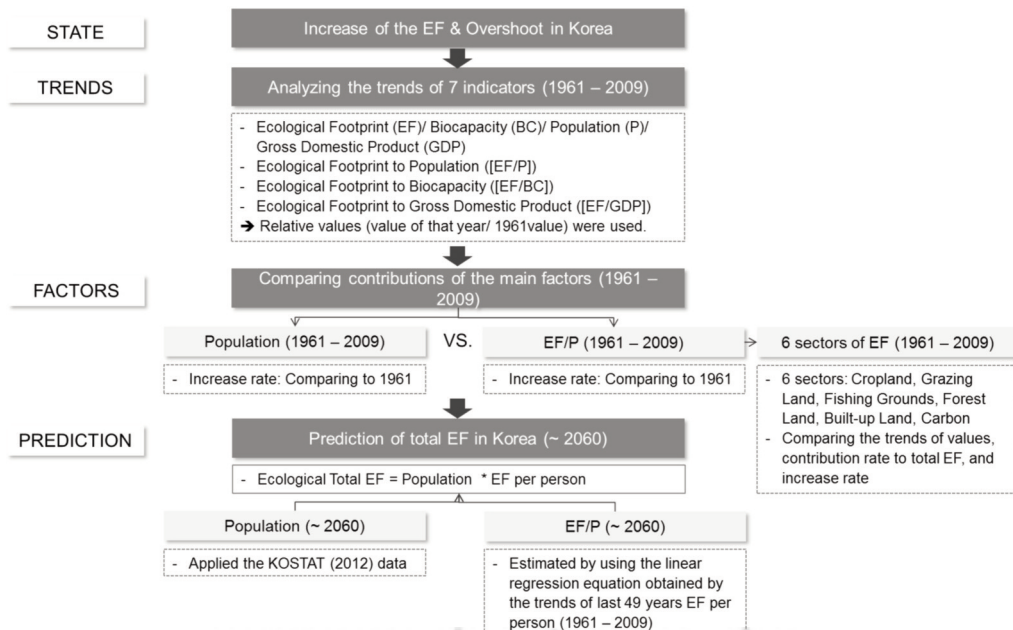


Figure 2. Flow diagram of the research carried out in this study.

Table 1. Trends of the Ecological Footprint (EF), Biocapacity (BC), Population (P), Gross Domestic Product (GDP) and Ecological Footprint to Population ([EF/P]), Ecological Footprint to Biocapacity ([EF/BC]), Ecological Footprint to Gross Domestic Product ([EF/GDP]) comparing to the values of 1961 in the whole world, respectively (data from GFN (2014) and World Bank (2014)).

Year*	EF	BC	P	GDP	[EF/BC]	[EF/P]	[EF/GDP]
1961	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1971	1.43	1.05	1.22	2.57	1.36	1.17	0.56
1981	1.65	1.08	1.47	9.15	1.52	1.12	0.18
1991	1.90	1.14	1.74	19.45	1.66	1.09	0.10
2001	2.06	1.19	2.01	27.32	1.73	1.02	0.08
2009	2.36	1.22	2.21	49.20	1.94	1.07	0.05
max	2.42 (2008)	1.22 (2008)	2.21 (2009)	51.92 (2008)	1.98 (2008)	1.21 (1973)	1.00 (1961)

* Results of every 10 years and the maximum value during 1961-2009 in every indicator. The values mean the ratio of the value of that year to 1961 value in every indicator.

** The year when the maximum value was shown in the parenthesis.

III. 결과 및 고찰

1. 세계와 한국의 생태발자국 추이 비교

세계와 한국의 1961년부터 2009년까지 50여 년간의 EF 추이를 BC, P, GDP 추이와 함께 살펴보았다. [EF/BC] 값은 주어진 자연 공급 대비 환경 자원 사용강도를 의미하므로, [EF/BC] 값이 1보다 큰 경우는 주어진 자원에 비해 많은 환경 자원을 사용하고 있다는 것, 곧, 오버슈트 상태를 의미한다. [EF/P]는 일인당 소비 강도를 의미하는데, 2절의 EF 영향요인분석에서 인구증가 요인으로 더욱 자세한 설명을 하였다. [EF/GDP]는 경제 상황 대비 환경 사용현황을 의미한다. 이 값의 의미는 결과값과 함께 소절에서 설명하였다.

1.1. 세계의 생태발자국추이

Table 1에서는 각 지표의 매 10년마다의 세계값을 상대 비교 기준으로 설정한 1961년 값과 비교하여 비율로 나타내었다. EF, BC, P, GDP는 모두 2000년대 후반에 최대값을 보이고 있다. 세계의 EF는 지난 50여 년간 꾸준히 증가해 왔다. 1961년 대비 2009년 약 2.4배 증가하여 약 1.2배 증가한 BC에 비해 큰 증가율을 보이고 있으며, [EF/BC]는 꾸준히 증가하여 2000년 후반에는 두 배 가까이 증가하였다. [EF/BC] 값이 1보다 크다는 것은 주어진 자원에 비해 많은 환

경 자원을 사용하고 있다는 것을, 다시 말해, 오버슈트 상태를 의미한다. Figure 3을 보면, 세계의 [EF/BC] 값은 1970년부터 1을 넘어서기 시작했다.

세계 P는 지난 50여 년간 지속적으로 증가하여 2009년 현재 인구는 1961년의 2.2배에 달한다. [EF/P]는 증가하는 추이를 보이다가 1973년 최대값을 보였고, 1980년 이후 점차 감소하여 1961년에 비해 10% 미만의 증가 수준을 유지하고 있다. 그러므로 지난 50여 년간 EF의 증가에는 P 증가의 기여는 크지 않다. 하지만 국제생태발자국네트워크에서 분석한 소득 수준에 따른 국가별 결과를 보면(Ewing *et al.*, 2010), 소득수준별로 일인당 EF 값은 큰 차이를 나타낸다. 북미와 유럽, 중동 지역 국가들이 다수 포함된 고소득 국가의 일인당 EF는 2007년 현재 6.09 gha/person로 1.64 gha/person인 저소득 국가에 비해 3.7배가 높다. 저소득 국가에는 아프리카와 동남아 국가들이 주로 포함되며, 2007년 세계 평균 일인당 EF는 2.7 gha/person이다. 본 연구에서 살펴본 세계 값은 총합계 또는 평균이므로 국가별 특성이 반영되지 않았다는 점을 주의할 필요가 있다.

GDP는 대표적인 거시 경제 지표로, 세계의 GDP는 지난 1961년에 비해 2009년 약 50배 증가하였고, Table 1과 Figure 3에서와 같이 [EF/GDP]는 크게 감소하였다. [EF/GDP] 비율이 1보다 작다는 것은 GDP의 증가율이 EF의 증가율보다 크다는 것을 의미한다. [EF/GDP] 추이에 대해서는 다음 소절에서

Table 2. Trends of the Ecological Footprint (EF), Biocapacity (BC), Population (P), Gross Domestic Product (GDP) and Ecological Footprint to Population ([EF/P]), Ecological Footprint to Biocapacity ([EF/BC]), Ecological Footprint to Gross Domestic Product ([EF/GDP]) comparing to the values of 1961 in Korea, respectively (data from GFN (2014) and World Bank (2014)).

Year*	EF	BC	P	GDP	[EF/BC]	[EF/P]	[EF/GDP]
1961	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1971	2.33	1.05	1.28	4.18	2.21	1.82	0.56
1981	3.81	1.07	1.50	30.32	3.56	2.54	0.13
1991	7.25	1.04	1.68	130.75	7.00	4.31	0.06
2001	10.21	1.06	1.84	214.07	9.66	5.56	0.05
2009	10.91	1.02	1.91	353.86	10.69	5.72	0.03
max**	11.56 (2008)	1.16 (1979)	1.91 (2009)	445.15 (2007)	11.79 (2007)	6.12 (2007)	1.00 (1961)

* Results of every 10 years and the maximum value during 1961-2009 in every indicator. The values mean the ratio of the value of that year to 1961 value in every indicator.

** The year when the maximum value was shown in the parenthesis.

한국의 결과와 비교하여 설명하였다.

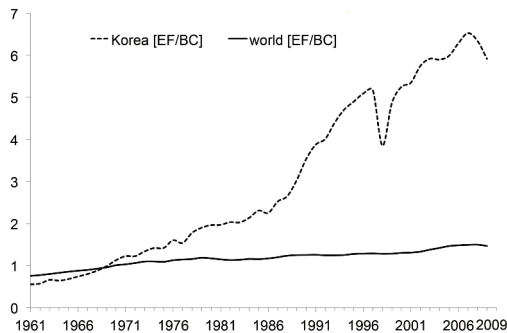
1) 한국의 생태발자국추이와 고찰

한국의 경우, 지난 50여 년간 BC는 거의 변하지 않았고, 총 EF는 약 11배 가량 증가하였다. Table 2를 보면, EF, P, GDP는 세계와 마찬가지로 2000년대 후반에 최대값을 보이고 있다. BC의 경우, 1970년대 후반 1961년 대비 16% 가까이 증가하여 최대값을 보였지만, 이후 지속적으로 10% 미만의 증가를 보이고 있으며 2009년에는 단 2%만 증가한 상황이다.

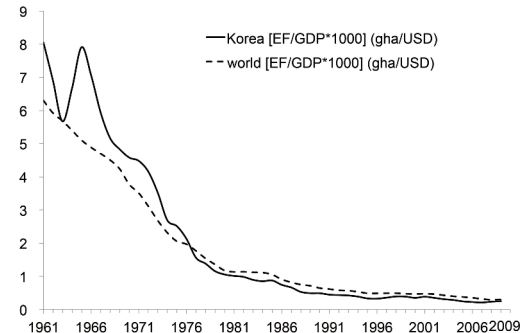
Table 2와 Figure 3에서와 같이 [EF/BC]는 지난 50여 년간 약 11배 증가하여 주어진 자원에 비해 환경 자원을 사용하는 강도가 커졌다는 사실을 알 수

있다. 세계 결과와 비교하면, BC는 증가폭이 작고, EF는 증가폭이 크다. 한국 역시 세계와 동일하게 1970년부터 [EF/BC]가 1보다 커져서(Figure 3 참조) 오버슈트 문제가 발생했지만, 그 비의 값은 세계보다 훨씬 크다는 사실을 통해 한국에서의 오버슈트가 세계에 비해 심각한 상황이라는 것을 알 수 있다. 그러므로 앞으로는 지속가능한 미래를 위해 BC를 증가시키고, EF를 줄이기 위한 다양한 방안이 마련될 필요가 있다.

한국의 [EF/P] 추이는 다음 2절에서 상세히 설명하였다. 한국의 GDP는 지난 1961년에 비해 2009년 약 400배 증가하였고, Table 2과 Figure 3에서와 같이 [EF/GDP]는 세계와 마찬가지로 크게 감소하였



(a) Ecological Footprint to Biocapacity ([EF/BC]) of world and Korea (EF and BC data from GFN (2014)).



(b) Ecological Footprint to Gross Domestic Product ([EF/GDP]) of world and Korea (EF data from GFN (2014) and GDP data from World Bank (2014)).

Figure 3. Trends of the Ecological Footprint to Biocapacity ([EF/BC]), Ecological Footprint to Gross Domestic Product ([EF/GDP]) comparing to the values of 1961 in the whole world and Korea, respectively.

다. 한국은 EF와 GDP 각각 모두 세계보다 증가율이 큰데, 이는 한국이 세계보다 경제성장과 환경 사용강도 모두 빠르게 증가했다는 것을 의미한다. [EF/GDP] 값이 크면 동일한 경제 성장이 있을 때, 환경 사용강도가 크다는 것을 나타내며, 이는 환경 효율이 낮다는 것을 의미한다. Figure 3을 보면 [EF/GDP] 비율은 1970년 중반까지 한국이 세계보다 높다가 이후 낮아졌다. 이를 통해, 한국의 경우, 1970년대 중반까지 경제성장 속도에 대한 환경 사용 강도가 세계보다 높고, 환경 효율은 낮았다가 1970년대 중반 이후, 반대의 추이가 나타났다는 것을 알 수 있다. 곧, 1970년대 중반 이후부터 한국은 세계보다 경제성장 속도에 대한 환경 사용 효율이 높다는 것을 알 수 있다. 다시 말해, 동일한 경제 성장 상황에서 환경 자원 사용을 적게 하고 있다. 하지만 대표적인 선진국인 일본과 독일의 경우, 2008년 [EF/GDP] 값을 GFN (2012)과 world bank (2014) 자료를 활용하여 한국 및 세계와 동일한 방법으로 계산하면, 결과가 0.11 gha/10³ USD, 0.10 gha/10³ USD로 같은 해 0.24 gha/10³ USD 값을 보인 한국보다 훨씬 낮은 값을 보인다. 이를 통해, 한국이 선진국에 비해서는 효율이 떨어지는 상황이라는 것을 알 수 있다.

2. 생태발자국 영향요인분석

본 절에서는 우리나라 EF의 가파른 증가, 곧, 주어진 자연 수용 능력에 비해 과도한 환경자원 사용을 하게 된 요인으로 인구와 일인당 사용강도, 그리고 일인당 사용강도의 여러 변수가 환경에 미친 영향을 살펴보았다.

1) 인구증가요인

생태학적인 측면에서 사람은 에너지와 여러 자원을 사용하고, 폐기물을 만들어내는 존재이다. 따라서 인구 증가는 환경 문제의 중요한 원인으로 인식되어, 세계인구의 기하급수적인 증가가 지구의 수용한계를 초과하여 지속가능한 미래를 위협한다는 의견이 제기되어 왔으므로(Meadows *et al.*, 2004; Malthus, 2011), 인구증가가 현재의 환경에 미친 영향을 살펴보는 것이 필요하다.

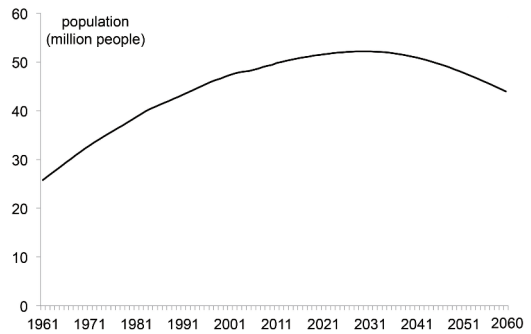


Figure 4. Projection of population in Korea (data from KOSTAT (2012)).

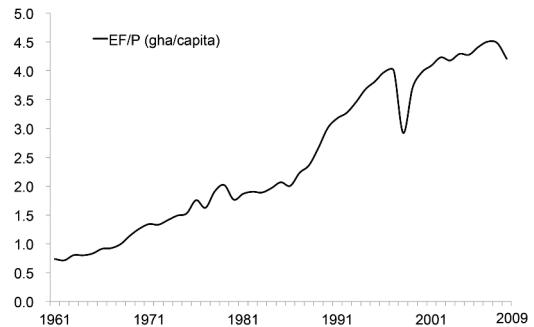


Figure 5. Trend of the Ecological Footprint (EF) per person comparing to the value of 1961 in Korea (data from GFN (2014)).

Figure 4에서 지난 50여 년간 및 향후 50여 년간 한국의 인구 추이를 나타내었고, 앞의 Table 1과 2에서 지난 50여 년간 세계와 한국의 인구 추이 및 일인당 EF 추이를 1961년과 비교하여 제시하였다. 세계 인구와 한국 인구는 1961년 대비 2009년 약 2.2배 및 1.9배 증가하여 과거에 비해 인구 증가로 인한 환경영향이 증가했을 것이라는 것을 예상할 수 있다.

한국에서의 가파른 EF 증가에 인구 증가가 주요 원인이려면, 인구수가 1961년과 동일하게 유지된다 고 가정했을 때, EF 값은 크게 변하지 않을 것이다. 다음 Figure 5는 이를 살펴보기 위해 인구가 1961년과 동일하게 유지된다고 가정했을 때의 EF 값을 나타내었다. 결과, EF는 동기간 약 6배 증가하는 것을 확인할 수 있다. 곧, 인구 증가비율을 고려하더라도 한국의 지난 50여 년간 EF는 약 6배가 될 만큼 가파르게 증가했다. 이를 통해, 한국의 오버슈트 문제에 인구가 아닌 다른 원인, 곧, 일인당 EF가 더욱 민감

하게 영향을 주었을 것이라는 사실을 확인할 수 있다.

인구증가율과 다음 소절에서 살펴볼 일인당 EF 증가율, 이 두 변수 간의 상관성을 보면, 결정계수 R² 값이 0.91로 매우 높게 나타난다. 하지만 이들 계수 간의 높은 상관성은 인과 관계에 의한 것이라기보다는 현상적인 것으로, 의미가 있다고 보기는 어렵다.

2) 일인당 사용강도요인과 고찰

일인당 사용강도가 미친 영향을 더욱 상세히 살펴보기 위해 EF 부문별 소비 강도의 변화를 살펴보았다. 전체 EF와 부문별 EF 추이를 전체적으로 Figure 6에서 제시하였다. 부문별 EF 비중의 변화는 다음 Table 3에서 10년마다의 결과를 제시하였고, Figure 7에서는 부문별 1인당 EF 결과를 1961년 값을 기준으로 하여 상대적인 비를 연도별로 나타내었다. 부문별 비중을 통해 전체에 많은 기여를 한 부문을 파악할 수 있고, 1961년 대비 증가율을 통해 과거에 비해 소비량이 크게 증가한 부문을 파악할 수 있다.

Figure 6과 Table 3을 보면, 한국의 경우, 총 EF 가운데 CF의 비중이 매우 높다는 사실을 알 수 있다. 1961년 24%를 차지하던 CF의 비중이 지속적으로 증가하여 2000년대 이후 60% 이상을 차지한다. CF는 에너지 연소로 인한 온실가스 배출량을 기반으로 하여 해양 흡수 비율(ocean uptake fraction)과 탄소 제거비율(carbon sequestration factor), 생산성인자, 등가인자 등을 고려하여 산정하며, 자세한 산정 방법은 Borucke *et al.* (2013)에 제시되어 있다.

Table 3을 보면, 1960-70년대에 가장 비중이 높았던 것은 40% 이상에 달한 경작지 발자국인데, 비중이 점차 감소하여 2000년 이후에는 16-17% 가량을 차지한다. 건조환경 발자국과 산림 발자국의 경우에도 비중이 줄어들었지만, 초지 발자국의 경우, 1960-70년대에 1%도 되지 않던 비중이 1990년대 이후 5-6%대에 달할 만큼 비중이 증가하였다. 어장 발자국의 경우, 1970년대부터의 추이를 볼 수 있는데,

Table 3. Trend of the contribution of from each land type to the total Ecological Footprint (EF) (data from GFN (2014)).

Year	Cropland	Grazing Land	Forest Land	Carbon Footprint	Built-up Land	Fishing Grounds
1961	47.8%	0.2%	11.9%	24.0%	16.1%	-
1971	42.8%	0.9%	10.0%	37.9%	7.6%	0.7%
1981	28.8%	4.6%	8.6%	40.9%	5.3%	11.7%
1991	19.3%	6.8%	10.0%	50.7%	2.7%	10.5%
2001	15.6%	4.4%	6.3%	58.9%	2.0%	12.7%
2009	16.7%	4.3%	5.3%	61.8%	1.7%	10.1%
max	47.8% (1961)	6.8% (1991)	14.6% (1968)	63.2% (2008)	16.1% (1961)	13.4% (1976)

* Results of every 10 years and the maximum value during 1961-2009 in every sector. The values mean the ratio of the value of that sector to total EF value in every sector.

** The year when the maximum value was shown in the parenthesis.

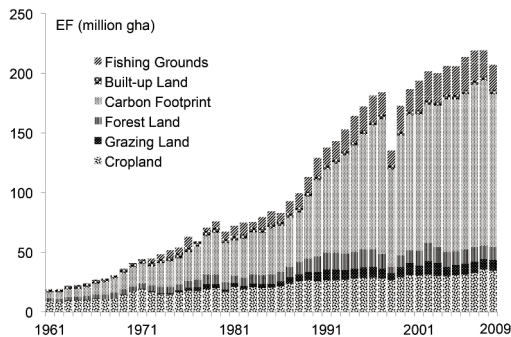


Figure 6. Trends of Ecological Footprint (EF) (data from GFN (2014)).

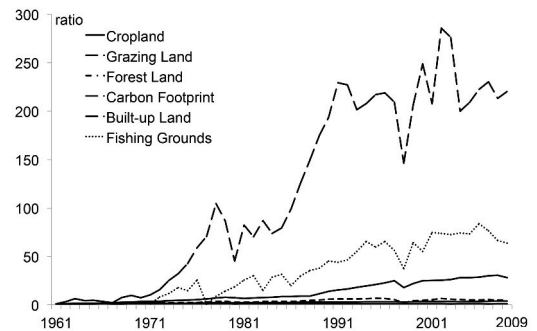


Figure 7. Change of the Ecological Footprint (EF) ratio by sectors compared to 1961 (data from GFN (2014)).

비중이 증가하였지만, 큰 차이는 없다. 하지만 Figure 6에서 부문별 절대값을 보면, 전반적으로 모든 부문의 값이 증가한 것을 알 수 있다. 전체값은 증가했는데 비중은 감소한 이유는 총 EF가 가파르게 증가하고, 전체에서 CF의 비중이 매우 커졌기 때문이다. 총 EF의 가파른 증가는 모든 부문의 증가 추이가 반영된 것인데, CF 비중 증가로 다른 부문의 비중이 상대적으로 감소하였다.

Figure 7에서 1961년 대비 증가율을 부문별로 살펴보면, 부문별 증가 추이는 Table 3과 Figure 6과는 다소 상이하다. 비중의 경우, CF가 가장 높았지만, 1961년 대비 부문별 증가율은 초지와 어장 발자국이 각각 약 280배, 약 80배에 달해 약 30배 증가한 CF 보다 증가 추이가 더욱 두드러진다. 또한, 비중이 크게 변하지 않았던 산림 발자국의 증가율은 5-7배에 달하고, 비중이 감소한 경작지 발자국도 약 4배 증가하여 전반적인 소비량이 커진 것을 확인할 수 있다. 건조환경 발자국의 경우, 비중이 큰 폭으로 감소하였지만, 면적에는 거의 변화가 없었다.

본 절의 내용을 요약하면, 한국의 환경에 영향을 더 크게 준 요인은 인구 증가보다는 1인당 사용강도 증가라는 것을 알 수 있다. 지난 50여 년간 EF는 약 11배 증가하였는데, 동기간 인구수는 약 1.9배 증가하는데 그쳤다. 만일 1961년의 EF가 그대로 유지되고 인구수 증가 비율만 반영한다면, 2009년 총 EF 값은 BC와 거의 비슷하여 오버슈트는 야기되지 않을 것이다.

1인당 사용강도 가운데 가장 높은 비중을 차지하는 것은 CF로 화석연료 사용의 증가에 따라 증가 추이를 보이고 있다. 에너지 사용이 증가한 것을 통해 한국의 산업구조와 소비 패턴의 변화를 유추할 수 있을 것인데, 한국뿐만 아니라 세계적으로 CF는 증가 추이를 나타내고 있다. 화석연료 연소에 따른 이산화탄소 배출 증가가 지구 온난화의 주요 원인으로 받아들여지고 있어 현재 기후변화 레짐이 구축되어 화석연료 사용, 에너지 사용 증가, 온실가스 감축을 위한 논의가 활발하게 진행되고 있다. 한국 정부 역시 기후변화 완화를 위해 2020년까지 온실가스를 30% 감축하겠다는 의지를 표명한 바 있다.

가장 높은 증가율을 보인 초지와 어장발자국의 증가는 한국 국민들의 식습관과 소비 패턴의 변화를 반영하는 것으로 단백질 섭취 비율이 지속적으로 증가한 데서 비롯된다. 지난 40여 년간 식생활 형태는 크게 변화해 왔다. 1969년 3%에 불과하던 동물성식품 섭취 비율은 현재 20% 수준에 이르렀으며, 육류, 어류, 우유류 섭취량이 증가하였다(KCDCP, 2009). 이러한 육류 소비가 증가하는 식습관의 변화는 가축 사육을 위한 농작물 생산에도 영향을 주어 경작지 발자국 증가에도 영향을 주었다.

3. 생태발자국 예측

본 절에서는 2060년까지 한국의 EF를 예측하기 위하여 한국의 일인당 EF를 예측하였다. 그리고 이 결과와 KOSTAT (2012)이 제시하는 인구 예측 결과를 곱하여 국가 EF를 예측하고, 환경 관리 방향을 제시하였다.

1) 일인당 생태발자국 추정

Figure 5에서 제시된 일인당 EF 증가 추이를 볼 때, 1990년대 후반 한국이 경제위기를 겪었던 시점을 제외하면 값은 지속적으로 증가해 왔으므로, 앞으로도 이 추이가 유지된다면 일인당 EF 값은 더 증가할 것으로 예측된다.

우리나라의 미래 일인당 EF를 예측해보기 위해 지난 1961-2009년까지의 일인당 EF 자료에 대한 추이를 선형회귀식을 사용하여 계산하였다. Figure 8에 추세선이 제시되어 있으며, 추세식은 $y = 0.0874x - 171.1$ 이고, 결정 계수(R^2) 값은 0.9534이다. 추세를 연장하여 인구 예측 기간과 동일하게 2060년까지 일인당 EF 값을 예측하여 본 결과도 Figure 8에 제시되어 있다. 과거 50여 년의 추세가 미래까지 지속될 경우, 일인당 EF는 지속적으로 증가하여 2060년 일인당 EF는 현재 2009년 일인당 EF 값의 두 배에 달하는 8.94 gha가 될 것이다.

2) 국가 생태발자국 예측과 고찰

앞서 2060년까지 우리나라의 일인당 EF 예측 결과를 살펴보았다. 국가 전체의 EF를 예측할 때, 일

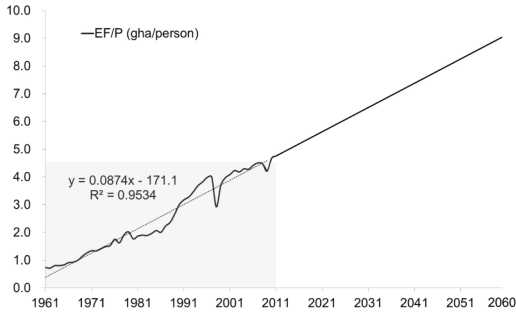


Figure 8. Trend of the Ecological Footprint to Population ([EF/P]) in Korea between 1961 and 2009 (data from GFN (2014)) and Projection of the Ecological Footprint to Population ([EF/P]) in Korea upto 2060.

인당 EF 예측값과 인구 예측 값을 곱해야 하므로, 인구 예측 결과도 KOSTAT (2012) 자료를 이용하여 살펴보았다.

최근 우리나라에서는 저출산율이 주요 사회 문제로 인식되어 있는 상황이다. 저출산이 지속되면 생산 가능 인구가 감소하는 한편, 기대수명이 증가하여 고령화가 가속화되어 생산가능 인구 대비 피부양인구로 표현되는 부양비가 적정하게 유지되지 않고 점차 증가하는 문제가 나타나게 된다. 여성 1명이 평생 동안 낳을 것으로 예상되는 평균 출생아 수를 나타내는 지표인 합계출산율(Total Fertility Rate)이 2.1을 유지하여야 현재의 인구규모가 유지되는데, 과거 2.1이 넘던 합계출산율이 1983년 2.06으로 떨어진 이래 지금까지 감소하여 2013년 현재는 1.2를 넘지 못하는 수준이다(KOSTAT, 2014). 하지만 지금의 저출산율은 즉각적인 현재 인구의 감소를 의미하는 것이 아니고, 다음 세대부터 영향을 주게 된다. KOSTAT (2012)에 따르면, Figure 4와 같이 2030년 이후부터 인구가 감소하여, 이후 2060년까지 인구가 지속적으로 감소할 것으로 예상된다.

인구는 2031년 최초로 감소하게 되지만, 일인당 EF는 지금까지의 추세가 지속된다면, 2060년까지 계속해서 증가할 것이다. 이 두 값을 바탕으로 하여 우리나라 총 EF의 2060년까지 추이를 예측하여 본 결과는 다음 Figure 9와 같다. 인구가 2031년부터 감소하더라도 일인당 EF가 지속적으로 증가하므로

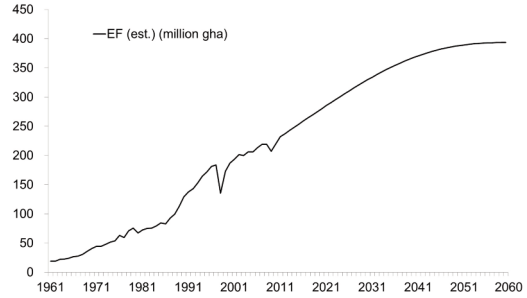


Figure 9. Projection of the Ecological Footprint (EF) in Korea (~2060).

이 둘을 곱한 값인 총 EF는 계속해서 증가하다가 2059년 처음으로 인구 감소폭이 일인당 EF 증가폭을 선회하여 총 EF 값이 감소한다. 이 결과를 보면, 과거의 추세를 미래까지 이어간다면, 저출산으로 인해 인구가 줄어든다고 해서 총 EF가 단기간에 유의미하게 줄어들 것이라고 보기는 어렵다.

현재 우리나라는 오버슈트가 매우 큰 상태이므로 앞으로 환경 영향 및 EF를 줄일 수 있는 방안을 강구해야 하는 상황이다. 국가 총 EF에 영향을 주는 요인인 인구와 자원 소비 강도에 변화를 주는 방법을 생각할 수 있다. 인구는 즉시적으로 단기간에 변화를 줄 수 있는 요인이 아니므로, 현 시점에서 중단기적으로 국가 총 EF를 줄이기 위해서는, 자원 사용강도를 줄여나가는 노력이 필요하다. 소비 강도를 줄이는 방향으로의 정책과 소비 패턴 변화를 유도하기 위한 행동의 변화가 필요하다.

3) 고찰

본 연구에서는 지난 50여 년간 세계 및 한국의 EF, BC, P, GDP 및 [EF/BC], [EF/P], [EF/GDP] 자료를 비교 분석하였고, 한국의 환경 여건에 영향을 주는 주요 요인을 파악하기 위해 인구와 소비 강도 변화를 살펴보았다. 그리고 2060년까지의 우리나라 인구와 일인당 EF 값 예측을 통해 국가 총 EF 값을 예측하여 보았다.

세계의 경우, EF, BC, P, GDP 지표 모두 증가하고 있지만, [EF/P]는 2009년 현재 1961년에 비해 크게 증가하지 않았고, [EF/BC]는 2배 가까이 증가하

여 주어진 자연의 수용능력에 비해 과도하게 환경을 사용하고 있다는 것을 알 수 있다. 한국의 경우에는 [EF/BC]가 2009년 현재 1961년에 비해 11배 가까이 증가하여 오버슈트가 매우 증가한 상태일 뿐만 아니라, 일인당 EF ([EF/P]) 역시 6배 가까이 증가하여 개개인의 소비 강도도 매우 증가한 상태임을 알 수 있다. 경제 성장 속도를 반영하는 [EF/GDP]를 살펴 보면, 1970년대 중반 이전 세계보다 값이 크던 한국이 이후 감소하는 추이를 보여 현재 한국은 경제성장에서 환경 사용강도 측면에서 효율성이 좋은 편이라는 것을 알 수 있다. 하지만 선진국에 비해서는 효율성이 떨어지는 상황이다. 이 결과를 통해 선진국 수준에 도달하기 위해서는 환경 사용의 효율성을 높일 필요가 있다는 점을 알 수 있다. 환경 사용의 효율성을 높이기 위해서는, 동일한 자원을 사용했을 때 오염물질을 비롯한 폐기물 발생량을 줄이고, 토지의 생산성과 에너지 효율성을 높이는 등 지속적이고 다양한 환경관리가 필요하다.

한국의 경우, BC가 열악하다는 특징이 있다. 지난 50여 년간 세계 BC는 20% 이상 늘었는데, 한국의 BC는 잠시 증가하는 추이를 보였지만 현재는 2% 가량 증가한 상태로, BC 증가가 매우 낮은 편이다. 한국의 오버슈트 문제가 매우 심각한 상황이고 환경 사용 효율을 높여야 하는 상황이므로 BC의 증대를 위한 다양한 방편이 마련될 필요가 있을 것이다.

한국의 환경 현황에 영향을 미치는 요인들을 인구와 각 부문의 영향으로 나누어 살펴보았을 때, 지난 50여 년간 인구의 증가보다는 화석연료의 사용, 식습관의 변화 등과 같은 환경 사용 강도의 증가가 EF의 증가, 곧, 환경 문제에 영향을 많이 주었다는 사실을 확인할 수 있는데, 화석 연료 사용에 따른 CF의 증가뿐만 아니라 식습관의 변화에 의한 초지, 어장, 경작지 발자국의 증가가 매우 급격하다는 점을 주지할 필요가 있다. 과도한 육식은 환경뿐만 아니라 건강에도 부정적인 영향을 줄 수 있고, 또한, 한국의 경우, 일인당 단백질 섭취량이 권장량의 150% 이상에 해당할 만큼 많으므로, 균형잡힌 식습관과 식소비 문화가 자리 잡아야 하는 상황이다.

IV. 결론

일인당 EF가 지금까지의 추세대로 앞으로도 계속해서 증가한다면, Figure 9에서 볼 수 있었던 것처럼 인구가 감소할 때조차 EF의 가파른 증가를 가져올 수 있다는 점을 주의해야 한다. 그러므로 우리나라의 총 EF를 줄이기 위해서는, 그리고 지속가능한 미래를 위해서는 일인당 EF를 줄이기 위한 노력이 필요할 것이다.

지금까지 우리 정부는 환경의 질을 높이고, 환경 문제를 줄이기 위해 정책적으로 노력해오고 있고, 많은 부분에서 성공을 거두고 있다. 특히, 정부의 연료 전환과 배출허용기준 강화 등의 적극적인 대기관리 정책으로 서울의 대기환경기준물질 가운데 1차대기 오염물질 농도는 지난 30년 동안 감소하였다(Kim and Yeo, 2013). 하지만 자동차 수의 증가로 자동차의 배출허용기준 강화에도 불구하고 이산화질소 농도는 저감되지 않는 등 인간 소비 활동의 증가로 인해 저감 노력이 상쇄되는 경우도 있다.

과거 50여 년간 이어온 소비 강도의 증가 추이를 이어가지 않고 일인당 EF를 성공적으로 줄이기 위해서는, 지금까지와 같은 공급 또는 생산 측면에 집중되어 있던 관리방향을 개개인의 소비 패턴, 행동 변화를 유도하는 것으로 전환해갈 필요가 있을 것이다. 또한 소비 패턴 또는 행동 변화로 인한 영향을 정량화하는 방법도 함께 강구해야 할 것이다. 특히, 현재 한국의 EF는 에너지 소비에 따른 CF와 육류와 어류 소비에 따른 초지와 어장 발자국의 증가가 두드러지므로 이들 소비 패턴을 면밀하게 분석하고, 소비 패턴 또는 행동 변화로 인한 영향을 정량화하는 방법도 함께 강구해야 할 것이다.

본 연구에서 주로 활용한 EF와 BC의 경우, 값에 한계가 있고, 불확실성이 있다. 우선, EF값이 환경에 대한 인간의 부하를, 그리고 BC가 지구의 수용한계를 총체적으로 잘 반영하고 있는지에 대한 논란의 여지가 있다. Han(2012)에 따르면, EF와 관련하여 자료 및 가정 등에 대한 문제가 있다. 그럼에도 최근 국내외적으로 국가 혹은 지역단위에서 실제로 생태발자국을 지표의 하나로 활용하는 사례가 늘고 있다.

그리고 EF가 통합된 지표를 제공하고 동일한 기준으로 자료를 생산하므로 상대적인 비교 분석 연구에는 매우 유용하며, 이를 활용한 본 연구 결과도 의미가 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF-2009-0083527; NRF-2014M3C8A5030894).

인용문헌

김용표, 여민주. 2013. 서울의 대기환경기준물질 농도 추이. *한국대기환경학회지* 29(4), 369-377.

문경주. 2004. Ecological Footprint 분석을 이용한 도시의 지속가능성 평가: 부산광역시를 중심으로. *한국사회와 행정연구* 15(3), 129-158.

배민기, 조택희, 채성주. 2011. 생태발자국 기반 환경의 지속가능성 평가에 따른 맞춤형 정책방향: 충청북도를 사례로. *지방행정연구* 25(2), 413-438.

이창우, 오용선. 1999. 서울시 환경용량 평가에 관한 연구. *서울시정개발연구원*, 서울.

정성관, 이우성. 2009. 대구광역권의 환경용량 및 생태계용역가치 평가. *한국지리정보학회지* 12(4), 18-33.

질병관리본부. 2009. 우리 국민의 식품 및 영양소 섭취 현황. http://www.cdc.go.kr/CDC/cms/content/18/12218_view.html, 2014, 04. 15 사이트 방문.

최제일, 정재용, 홍기섭. 2011. 생태발자국을 활용한 수도권 광역계획권 환경용량 평가에 관한 연구. *서울도시연구* 12(4), 23-40.

통계청. 2012. 장래인구추계. http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B01001&conn_path=I3, 2014, 04.

14 사이트 방문.

통계청. 2014. 2013년 출생통계. http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1428, 2014. 07. 07 사이트 방문.

한순금. 2012. 지속가능성 관리 도구로서의 생태발자국 방법론 고찰: 경기도 생태발자국 적용·평가. *서울시립대학교 박사학위 논문*.

Borucke, M, D. Moore, G. Cranston, K. Gracey, K. Iha, L. Larson, E. Lazarous, J.C. Morales, M. Wackernagel, and A. Galli. 2013. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework, *Ecological Indicators*, 24, 518-533.

Esty, D.C., Marc L., Tanja S., and Alexander S. 2005. 2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking national environmental stewardship, New Haven.

Ewing, B., A. Reed, S.M. Rizk, A. Galli, M. Wackernagel, and J. Kitzes. 2008. Calculation methodology for the National Footprint Accounts, 2008 Edition, Global Footprint Network, Oakland.

Ewing, B., D. Moore, S. Goldfinger, A. Oursler, A. Reed, and M. Wackernagel. 2010. The ecological footprint atlas 2010, Global Footprint Network, Oakland.

Ewing, B.R., T.R. Hawkins, T.O. Wiedmann, A. Galli, A.E. Ercein, J. Weinzettel, and K. Steen-Olsen. 2012. Integrating ecological and water footprint accounting in a multi-regional input-output framework, *Ecological Indicators*, 23, 1-8.

Galli, A., J. Weinzettel, G. Cranston, and E. Ercein. 2013. A footprint family extended MRIO model to support Europe's transition to a one planet economy,

- Science of the Total Environment, 461-462, 813-818.
- GFN (Global Footprint Network). 2012. Ecological footprint and biocapacity in 2008, Oakland.
- GFN (Global Footprint Network). 2014. National Footprint Accounts, Oakland.
- IEA (International Energy Agency). 2013. 2011 CO₂ emissions overview. Paris.
- Kitzes, J., A. Galli, S.M. Rizk, A. Reed and M. Wackernagel. 2008. Guidebook to the National Footprint Accounts: 2008 Edition. Global Footprint Network, Oakland.
- Liu, M., D. Zhang, Q. Min, G. Xie, and N. Su. 2014. The calculation of productivity factor for ecological footprints in China: A methodological note, Ecological Indicators, 38, 124-129.
- Malthus, T., trans. Edith S.H. Lee. 2011. An essay on the principle of population, Dongsuh Press, Seoul.
- Meadows, D.H., J. Randers, and D.L. Meadows. 2004. The limits to growth: The 30 year global update, Chelsea Green Publishing Company, U.S.A.
- Monfreda, C., M. Wackernagel, and D. Deumling. 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts, Land Use Policy, 21, 231-246.
- Wackernagel, M. and W. Rees. 1995. Our ecological footprint, New Society Publishers.
- Wackernagel, M., N.B. Schulz, D. Deumling, A.C. Linares, M. Jenkins, V. Kapos, C. Monfreda, J. Loh, N. Myers, R. Norgaard, and J. Randers. 2002. Tracking the ecological overshoot of the human economy, Proceedings of the National Academy of Sciences, 99(14), 9266-9271.
- Wackernagel, M., C. Monfreda, K.-H. Erb, H. Haberl, and N. Schulz. 2004. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961-1999: Comparing the conventional approach to an 'actual land demand' approach, Land Use Policy, 21, 261-269.
- World Bank. 2014. World Development Indicators, <http://databank.worldbank.org/data/views/reports/tableview.aspx>, assessed February 21, 2014.
- WWF (World Wildlife Fund), ZSL (Zoological Society of London), and GFN (Global Footprint Network). 2008. Living Planet Report.

References

- Bae, Min-Ki, Taek-Hee Cho, and Sung-Ju Chae. 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), 413-438. (in Korean with English abstract)
- Borucke, M, D. Moore, G. Cranston, K. Gracey, K. Iha, L. Larson, E. Lazarous, J.C. Morales, M. Wackernagel, and A. Galli. 2013. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework, Ecological Indicators, 24, 518-533.
- Choi, Je Il, Jae Yong Chung, and Gi Suop Hong. 2011. A study on the environmental capacity assessment in Seoul Metropolitan

- Area using ecological footprint, *Seoul Studies*, 12(4), 23-40. (in Korean with English abstract)
- Esty, D.C., Marc L., Tanja S., and Alexander S. 2005. 2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking national environmental stewardship, New Haven.
- Ewing, B., A. Reed, S.M. Rizk, A. Galli, M. Wackernagel, and J. Kitzes. 2008. Calculation methodology for the National Footprint Accounts, 2008 Edition, Global Footprint Network, Oakland.
- Ewing, B., D. Moore, S. Goldfinger, A. Oursler, A. Reed, and M. Wackernagel. 2010. The ecological footprint atlas 2010, Global Footprint Network, Oakland.
- Ewing, B.R., T.R. Hawkins, T.O. Wiedmann, A. Galli, A.E. Ercin, J. Weinzettel, and K. Steen-Olsen. 2012. Integrating ecological and water footprint accounting in a multi-regional input-output framework, *Ecological Indicators*, 23, 1-8.
- Galli, A., J. Weinzettel, G. Cranston, and E. Ercin. 2013. A footprint family extended MRIO model to support Europe's transition to a one planet economy, *Science of the Total Environment*, 461-462, 813-818.
- GFN (Global Footprint Network). 2012. Ecological footprint and biocapacity in 2008, Oakland.
- GFN (Global Footprint Network). 2014. National Footprint Accounts, Oakland.
- Han, Soon-Keum. 2012. Study on ecological footprint methodologies for sustainability management: Case study on Gyeonggi-do, Published doctoral dissertation, University of Seoul. (in Korean with English abstract)
- IEA (International Energy Agency). 2013. 2011 CO₂ emissions overview. Paris.
- Jung, Sung Gwan and Lee Woo Sung. 2009. An assessment of environmental carrying capacity and ecosystem service value in the Daegu Metropolitan Area, *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 12(4), 18-33. (in Korean with English abstract)
- KCDCP (Korea Centers for Disease Control and Prevention). 2009. Food & nutrient intakes in Korea: Korea national health and nutrition survey, http://www.cdc.go.kr/CDC/cms/content/18/12218_view.html, accessed April 15, 2014. (in Korean)
- Kim, Yong Pyo and Min Ju Yeo. 2013. The trend of the concentrations of the criteria pollutants over Seoul, *J. Korean Society for Atmospheric Environment*, 29(4), 369-377. (in Korean with English abstract)
- Kitzes, J., A. Galli, S.M. Rizk, A. Reed and M. Wackernagel. 2008. Guidebook to the National Footprint Accounts: 2008 Edition. Global Footprint Network, Oakland.
- KOSTAT (Statistics Korea). 2012. Estimation of Population, http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B0101&conn_path=I3#, accessed July 14, 2014. (in Korean)
- KOSTAT (Statistics Korea). 2014. Statistics of Total Fertility Rate, http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1428, accessed July 07, 2014. (in Korean)
- Lee, Chang Woo and Yong Seon Oh. 1999. A Study on the environment capacity assessment of Seoul, Seoul Development Institute, Seoul. (in Korean)
- Liu, M., D. Zhang, Q. Min, G. Xie, and N. Su.

2014. The calculation of productivity factor for ecological footprints in China: A methodological note, *Ecological Indicators*, 38, 124-129.
- Malthus, T., trans. Edith S.H. Lee. 2011. An essay on the principle of population, Dongsuh Press, Seoul.
- Meadows, D.H., J. Randers, and D.L. Meadows. 2004. The limits to growth: The 30 year global update, Chelsea Green Publishing Company, U.S.A.
- Monfreda, C., M. Wackernagel, and D. Deumling. 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts, *Land Use Policy*, 21, 231-246.
- Moon, Kyoung Ju. 2004. An evaluation of urban sustainability using by EFA: Cases in Busan Metropolitan City, *Korean Society and Public Administration*, 15(3), 129-158. (in Korean with English abstract)
- Wackernagel, M. and W. Rees. 1995. Our ecological footprint, New Society Publishers.
- Wackernagel, M., N.B. Schulz, D. Deumling, A.C. Linares, M. Jenkins, V. Kapos, C. Monfreda, J. Loh, N. Myers, R. Norgaard, and J. Randers. 2002. Tracking the ecological overshoot of the human economy, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(14), 9266-9271.
- Wackernagel, M., C. Monfreda, K.-H. Erb, H. Haberl, and N. Schulz. 2004. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961-1999: Comparing the conventional approach to an 'actual land demand' approach, *Land Use Policy*, 21, 261-269.
- World Bank. 2014. World Development Indicators, <http://databank.worldbank.org/data/views/reports/tableview.aspx>, assessed February 21, 2014.
- WWF (World Wildlife Fund), ZSL (Zoological Society of London), and GFN (Global Footprint Network). 2008. Living Planet Report.