

기술자료

부산시 환경용량평가에 관한 연구

황경엽* · 황인성* · 이순규** · 조승우** · 오광중*

부산대학교 환경공학과*, (주)한가람**

(2005년 11월 6일 접수, 2006년 1월 19일 승인)

Environmental Capacity Assessment of Busan City

Kyung-Yup Hwang* · Inseong Hwang* · Soon-Kyu Lee · Seung-Wu Jo** · Kwang-Joong Oh***

Dept. of Environmental Engineering, Pusan National University*, Hangaram Co., Ltd**

(Manuscript received 6 November 2005; accepted 19 January 2006)

Abstract

Environmental capacity assessment of Busan city was conducted to provide basis for planning on sustainable development and growth of the city. Using Onish model, assessment was carried out on amenities and service facilities for the citizens of Busan city. Ecological Footprint model was used to judge if the city exceeds the its environmental capacity and to estimate the extent of the excess if it exists.

The analysis using Onish model revealed that the citizens of Busan city are generally well supported by the infrastructure and service facilities of the city. Water treatment and supply facilities have enough capabilities to support the city, whereas the relatively low rate of sanitary sewer supply (78%) suggests the need for further improvement in the wastewater area. The capacities of sanitary landfills are found sufficient enough to support the city for the next 10 years. The high value for the line length served per capita in the subway sector

hints on certain inconvenience of commuters. All the air quality indicators meet the Korean and WHO standards except for NO₂.

The ecological footprint model analysis produced EF indicators for Busan city of 3.04 ha/person and 2.54 ha/person for the years of 1993 and 2003, respectively. The decrease of the indicator from 1993 to 2003 is mainly due to the incorporation of Gijang area by Busan city in 1995, suggesting the importance of the ecologically productive area in the evaluation using this model. The analysis on the ecological deficit that is based on ecologically productive land

shows that the consumption by Busan city exceeds its ecologically available production by 19,600% as of 2003. The area needed to support the consumption of Busan city in 2003 is 123 times as large as the present area of Busan city, which is substantially lower than the multiplier (742) obtained for Seoul city in 1997 but is higher than those observed for Chongju city (71 in 1999) and Ulsan city (39 in 2001).

Key words : Environmental capacity, Assessment, Onish model, Ecological footprint model, Busan

1. 서 론

1. 연구배경

오늘날 자원의 양은 인간에 의한 각종 개발과 환경 파괴로 인하여 감소하고 있다. 인류가 일정한 삶을 지속적으로 유지하기 위해서는 도시의 성장과 개발에 관해 체계적으로 접근이 필요한데, 이는 인간 활동의 수준을 산출하고 구체적인 수치를 통해서 지역에 대한 환경용량(Environmental Capacity)의 한계를 가늠하는 것으로부터 시작할 수 있다. 환경용량은 학자나 응용분야에 따라 다양한 개념으로 정의될 수 있는데 통상 “일정한 삶의 질을 지속적으로 유지할 수 있는 수준에서 지역이 지탱할 수 있는 인간 활동의 수준”으로 정의될 수 있다(Bishop, 1974). 현재까지 환경용량과 관련되어 적용되어 있는 주요개념으로는 한계용량과 수용능력을 들 수 있다. 한계용량(Marginal Capacity)은 자연 환경생태계의 안정을 유지하는 것과 같은 절대적인 조건하에서 자연능력의 한계를 설정하는 것이고, 수용능력(Carrying Capacity)은 일정한 삶의 질을 지속적으로 유지할 수 있는 수준에서 지역이 지탱할 수 있는 인간활동의 범위를 설정하는 것이다(Pepper, 1996).

환경용량평가는 환경용량 구성요소의 한계치를 기준으로 하여 일정지역의 경제규모가 해당 지역의 환경용량을 초과했는지 여부를 파악함으로써 그 지역에서 이루어지는 각종 개발사업이 환경용량에 미치는 영향이 어느 정도인지에 대한 정책적 판단을 내리는 일이라 볼 수 있다(이창우, 오용선 1999). 과학적으로 산출된 환경용량은 지역의 자연시스템이 어

느 정도까지 인간의 활동을 지탱할 수 있을지를 파악하는 것과 수용 가능한 경제적, 사회적 인간 활동의 한계범위를 제시해 줄 수 있는 구체적인 계획지침 마련에 기초자료를 제공한다(Bishop, 1974; 문태훈, 1997). 현재 지역에 대한 인간의 활동 한계를 구체적으로 산정할 수 있는 연구방법 중에서 먼저 각 환경분야 또는 항목(수질, 대기, 폐기물, 소음·진동 등)별로 분산된 환경용량을 산정하는 방법을 고려해 볼 수 있다. 이러한 기법을 이용하면 각각의 항목에 해당하는 용량은 산정할 수 있지만 각 항목간의 유기적 인과관계에 기인하는 다양한 변수를 고려하기 어렵다는 단점이 있다.

이러한 단점을 극복할 수 있는 기법으로서는 시스템 전체의 환경용량을 총괄적, 거시적으로 평가는 용량평가 모델이 있다. 대표적인 총괄적 환경용량 평가 모델로는 오니시 모델(Onishi Model), 생태족적 모델(Ecological Footprint, EF), 시스템 다이내믹스 모델(System Dynamics Model), 에머지 모델(Emergy Model)이 있다(Onishi, 1994; Wackernagel, Rees, 1996; Fricker, 1998; Parker, 1998; Hunter and Shaw, 2005; Erling and Karl, 2005). 오니시 모델은 도시기반 시설과 시민 서비스의 수용력을 평가하여 수요와 공급간의 균형점을 찾기 위한 모델이며, 생태족적 모델은 지역에서 이루어지는 경제활동에 의해 소비되는 토지면적이 지역의 생태적으로 생산 가능한 토지면적을 얼마나 초과하고 있는지를 파악할 수 있는 모델이다. 시스템 다이내믹스 모델은 일정한 환경의 질을 유지할 수 있는 지속가능한 인구, 산업 활동, 주택, 자동차의 규모가 어느 정도인가를

동태적으로 파악 할 수 있는 모델이며, 에머지 모델을 이용하면 자연환경 에너지, 경제적 에너지 중 수입된 화석연료, 소비된 재화와 용역을 근본적인 에너지원인 태양에너지로 환산하여 수용능력의 한계를 추정할 수 있다. 위와 같은 모델 중 본 연구에서는 모델수행에 필요한 자료의 접근성과 모델의 신뢰도에 근거하여 오니시 모델(Onishi Model)과 생태족적 모델(Ecological Footprint Model)을 선정하여 부산시 환경용량 평가에 적용해 보았다.

본 연구는 총괄적 환경용량평가 모델인 오니시 모델과 생태족적 모델을 이용하여 부산시의 환경용량을 평가하는 것을 목적으로 한다. 부산시에 대한 총괄적 환경용량평가는 시도된 바 없어 본 연구를 통해서 제시된 부산의 도시기반 시설과 시민의 서비스 수용력의 상관관계 그리고 부산시 환경용량의 생태적 거시지표는 부산시의 환경 수용능력과 건강성을 평가하는데 일조할 것으로 사료된다.

II. 이론적 배경

1. 오니시 모델(Onishi Model)

오니시 모델은 지역의 지속가능한 개발을 추구하기 위해서 개발된 환경용량 평가기법으로, 도시하부기반시설에 대한 수용용량평가 방식을 도입해 동경도 구(區) 지역을 평가한 것이 시발점으로 사용되어 온 모델이다. 이 모델은 편의 시설 및 서비스에 관한 수요와 공급 간의 균형점을 찾기 위해 해당 지역의 물공급, 하수처리, 폐기물처리, 철도, 도로, 대기오염, 주택 등 7가지 분야를 선정하여 환경용량 평가를 한다. 이는 종합적인 환경용량 평가이지만 시민들이 도시의 편의시설 및 서비스에 대한 지속성을 평가하는 것이므로 종합적인 환경용량 평가의 세부적인 사항이라고도 볼 수도 있다.

오니시 모델은 도시가 무한정 확장될 수 없음을 가설로 하여, 시민들이 편의 시설 및 서비스를 지속적으로 누릴 수 있는 한계가 있다고 판단하여 수요와

공급간의 균형관계에 관한 평가 방식을 통해 분석한다. 평가는 도시의 여러 가지 편의시설 및 서비스의 공급에 의해 주어진 수용능력과 도시 거주민, 시외 통근 직장인의 도시 편의시설 및 서비스의 필요수준을 근거로 편안한 상태에서 생활 가능한 수준과 불만족 수준을 고려하여 분석한다. 우리나라 대도시의 경우는 오니시 모델에서 선정한 7가지 분야 중 특히 출퇴근 시간에서 시민들이 교통과 관련된 부분의 불편함을 호소하는 경향이 많으며, 이러한 분석은 평가하려는 지역에서 오니시 모델의 각 인자에 해당하는 통계 자료가 필히 존재하여야 가능하다.

2. 생태족적 모델(Ecological Footprint Model)

생태족적 모델은 Wackernagel과 Rees(1996)에 의해 1990년대에 고안된 것으로서 인간의 각 경제 활동에 소요되는 모든 자원을 하나의 평가단위인 생산적인 토지소비면적으로 환산하는 방식이다. 여기에서 생태 족적 지수 산정은 경제활동에 필요한 자원을 기본적으로 구조물 환경, 에너지 생산토지, 비생산적인 토지, 정원, 인공림, 경작지, 초지, 자연림 등 8가지로 나누고 Rees의 이론에 따라 다시 크게 4단계로 단순화 시켜 음식부문(Food), 건조환경부문(Built Environmental), 산림부문(Forest), 에너지부문(Energy)으로 산정한다. 각 항목별로 소비되는 토지면적이 얼마나 되는지 환산하여 지역에 대한 소비수준을 유지하기 위해 사용되고 있는 토지면적과 지역에 주어진 토지면적을 비교하면서 평가할 수 있고, 소비정도가 지역의 수용능력을 어느 정도 초과하고 있으며, 이 초과분이 다른 도시와 미래 세대에 심각한 영향을 줄 수 있음을 보일 수 있다(이상현, 2001).

가장 이상적인 수치는 소비를 위해 사용된 토지면적이 지역에 주어진 토지면적과 같을 경우이며, 이는 소비량이 지역의 토지에서 생산되는 생산량과 같음을 의미한다. 이것은 타 지역에 의존하지 않고 자급자족이 가능하다는 것을 말한다. 그러나, 이는 지역의 모든 생산량이 타 지역으로 유출되지 않고 소비되는 것은 아니며, 지역 서로간의 교역으로 인하여 소

비와 생산의 균형이 이루어지고 있다는 것을 의미한다. 지금까지 도시지를 기준으로 평가한 생태족적 모델의 산정 결과를 보면 대부분의 도시에서는 지역의 소비수준이 주어진 토지면적을 초과하는 것으로 분석이 되었다. 이러한 분석을 가능하게 하기 위해서는 생태족적 모델 역시 평가하려는 지역의 체계적인 통계자료가 존재하여야만 한다. 이 모델은 지역에 대한 인간의 경제활동을 간략화 하여 자원의 소비량을 간단하게 알려주는 장점도 있지만 지역 환경에 관한 구체적인 관리방안을 제시하기에는 한계점이 있다.

III. 연구방법

오니시 모델을 이용한 부산시 환경용량평가의 경우 도시 편의시설과 서비스에 대한 시민들의 만족도에 기초한 평가를 위하여 기본적인 생활에 관련된 항목 중 수도물 공급량, 하수처리 용량, 쓰레기 처리용량, 지하철 용량, 대기오염 등 5가지 항목에 대한 평가를 실시하였다. 기본적으로 1993년부터 2003년까지의 자료를 수집하였으며, 자료가 부족한 항목의 경우는 1996년 및 1998년부터 2003년까지의 자료를 이용하여 분석하였다. 결과 해석은 편의시설의 서비스 한계용량 및 기준에 의거하여 조사시점에서의 사용용량 초과 또는 미달 정도를 파악하여 수요와 공급에 관한 만족도를 평가함으로써 수행하였다.

생태족적 모델은 음식, 건조환경, 산림, 에너지 등 4가지 부문의 소비성향에 따른 EF(Ecological Footprint)지수의 산정을 기초로 수행된다. EF지수 산정에서 고려한 다양한 구성항목은 아래 표 1에 나

타난 바와 같다. EF지수는 각 항목별 소비를 위해서 필요한 토지의 면적을 ha로 변환한 항목으로 표현된다. 경제 활동으로 소비되는 각 항목에 대한 지역의 생산면적에서 발생한 생산량을 산출율로 하고, 1인당 해당 항목의 소비량으로 산출율을 나누어 주면 각 부문에 해당하는 EF지수를 산정 할 수 있다.

그리고 부산시의 생산에 관여하는 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야의 총 면적을 인구수로 나누어 1인당 생산 가능한 토지면적을 구한 후, 총괄 EF지수에서 제외하여 주고, 그 제한 값을 1인당 생산 가능한 토지면적으로 나누어 주면 부산시의 생태적자적 측면에서의 소비수준을 산정할 수 있다. 또한 부산시 인구와 총괄 EF지수를 곱한 후 총 면적으로 나누어 주면 조사시점에서 부산시가 생산을 위해서 필요로 하는 토지면적을 산정할 수 있다. 그림 1에서는 본 연구에서 부산시의 환경용량 평가를 위하여 오니시 모델과 생태족적 모델 이용에 따른 간략한 구성체계를 보여주고 있다.

IV. 결과 및 고찰

부산시에 대한 종합적인 환경용량 평가를 위해서 전술한 바와 같이 오니시 모델과 생태족적 모델을 이용하여 평가를 수행한 결과는 아래와 같다.

1. 오니시 모델(Onishi Model)에 의한 부산시 환경용량 평가

1) 수도물 공급량

1993년부터 2003년까지의 부산시 상수도 시설용

표 1. 생태족적 지수 산정의 구성 항목

추정부문	구 성 항 목
음 식	미곡, 맥류, 서류, 두류, 채소, 과일, 특용작물, 축산물, 유제품
건조환경	대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 제방, 수도용지, 체육용지, 유원지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지
산 립	산림
에 너 지	휘발유, 등유, 경유, 병커-C유, 제트A-1*, JP-4*, 프로판, 부탄, 도시가스, 무연탄, 전기

* 제트A-1과 JP-4의 경우 부산시 소비량에 관한 통계자료 부재로 분석에서 제외됨

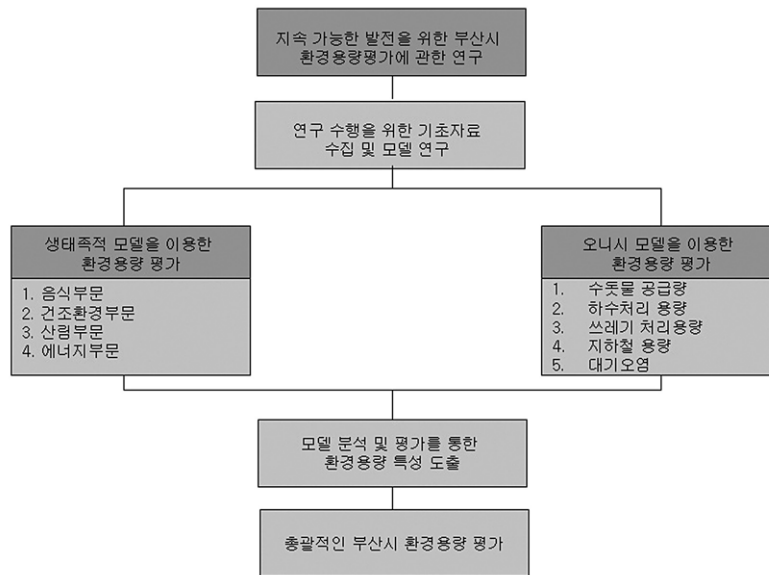


그림 1. 부산시 환경용량 평가 연구 흐름도

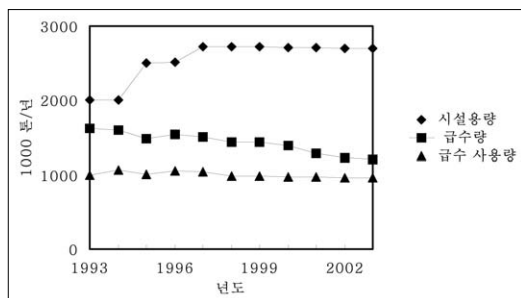


그림 2. 부산시 수도물 사용 현황(부산시 통계연보, 1993~2003)

량, 급수량, 급수 사용량을 바탕으로 수도물 수요·공급에 관한 분석을 실시하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 2003년 부산시의 상수도 시설은 시민의 급수사용량에 비하여 충분한 공급 능력을 가지고 있음을 알 수 있다. 한편, 급수량의 감소는 노후화된 관로를 교체하면서 개선된 누수율에 기인하기도 한다. 생활수준의 향상으로 향후 1일 1인당 물 사용량이 증가하리라 예상되나, 부산시의 인구감소 경향과 시설용량을 고려해서 향후 연간 사용량이 5%씩 증가한다고 가정하더라도 2011년 사용량은 2,092천톤/일로 예측되어 부산시의 현재 시설용량인 2,704천톤/일에

미치지 못한다. 또한, 현재 부산시민의 99% 이상이 상수도 서비스를 받고 있는 실정을 감안하면 수도물 공급 측면에서는 만족을 보인다고 할 수 있다.

2) 하수처리용량

부산시의 하수도 보급률은 2003년 현재 78.2%로서 서울시(98.1%), 대구(96.1%), 광주(97.1%)에 비해서 다소 저조한 실정이다. 부산시 하수도시설의 대부분은 우수, 도시생활우수, 공장폐수가 동일 관로로 배수되는 이른바 합류식 관거로 과거 도시화되기 전 주로 강우시에 우수를 처리하기 위하여 설치된 것으로 도시화된 이후 시설의 미비 및 통수능력 부족 등으로 재해가 야기되고 있어 과거 초기단계시설을 꾸준히 개선 확장해 왔으나 각종 오·폐수로 인하여 하천 및 인근해역의 오염도가 날로 심화되고 있는 추세에 있다. 부산시는 앞으로 하수도 기본계획을 재정비하여 도시발전과 시민생활향상에 부합되도록 중장기 하수도 계획지표와 정비방향을 설정하고 2011년까지 하수처리율 90% 달성을 목표로 하수처리장, 하수관거 등 하수처리시설을 신·증설하고, 하수를 고도 처리하여 재활용함으로써 장래 늘어나는 물 수요에 대비

하고, 하수처리장의 민자 유지건설 및 민간위탁 운영으로 하수처리장 건설 및 운영의 경제성, 효율성을 제고할 예정이므로 하수처리 시설 부족 및 하수 발생량에 관한 문제는 줄어들리라 예상된다(부산시, 2005).

3) 쓰레기 처리 용량

먼저 1996년 이후 부산시의 쓰레기 처리 방법의 변화 추이는 그림 3에 나타난 바와 같다. 쓰레기 발생량은 종량제가 실시된 다음 해인 1996년부터 감소 추세로 돌아서 2003년 까지 전반적으로 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 특히 재활용 비율이 증가하고 있는 것은 제한되어 있는 자원을 순환적으로 사용한다는 측면에서 긍정적인 추세라고 할 수 있다.

부산시의 생곡 쓰레기 매립장은 면적이 760,106m² 이고, 총 매립 용량이 20,540,000m³이며 2002년 기준으로 844,311m³의 매립이 완료되었다. 잔여 매립 가능량이 11,297,419m³이다. 1996년을 기준으로 2003년 까지 매립량이 평균 9%정도 감소하고 있는 추세를 감안하면 2016년 까지는 이용에 불편함이 없으리라 사료된다. 쓰레기 처리에 대한 수요 및 공급에 관한 만족은 (소각에 의한 쓰레기량) < (소각장의 용량과 매립 가능한 쓰레기량) < (총 매립용 토지 면적) 이라 할 수 있다. 매립은 쓰레기 처리의 최종 처분 방법이지만 매립장의 용량은 한정 되어 있다. 매립가능 기간을 조금이라도 연장하기 위한 방안이 필요하리라

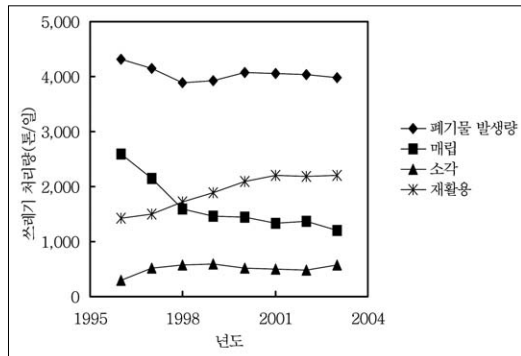


그림 3. 부산시 쓰레기 발생량에 따른 처리방법(부산시 통계연보, 1993~2003)

사료된다.

4) 지하철 용량

그림 4은 1993년부터 2003년까지 부산시의 지하철 수송인원의 변화를 보여 주는데 완전한 증가 추세를 발견할 수 있다. 부산시 지하철의 교통 분담률은 1993년 7.6%에서 2003년 12.7%로 5.1% 증가하였다. 향후 부산시 지하철 3호선이 개통된다면 이용객 수가 증가하고 이에 따라 교통 분담률 역시 증가하리라 예상된다. 지하철의 용량 평가는 혼잡도의 개념을 이용하면 가능하다(이창우, 1999). 혼잡도는 출퇴근 시 1객차 내에서 1시간동안 탑승한 가장 많은 승객의 수를 정원으로 나눈 값을 말하는데 부산시에서는 지하철의 출퇴근 통계자료가 없어 혼잡도 측면에서의 용량산정을 불가능 하였다. 표 2는 혼잡도이외의 다른 지표인 연장당 수송인원 및 인구당 노선 연장 분석 결과를 보여준다. 부산시의 연장당 수송인원은 타 도시와 비교할 때 양호 하다고도 볼 수 있으나, 인구당 노선연장이 상당히 짧아 출퇴근 시간에는 선로당 많은 인구의 집중으로 인하여 불편함이 있으리라 추측된다.

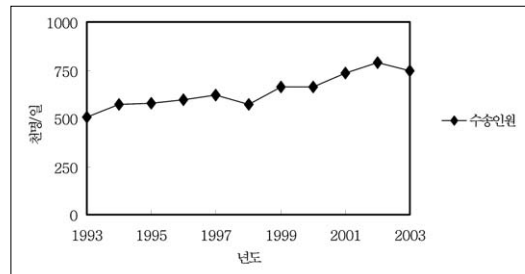


그림 4. 부산시 지하철 수송현황(부산시 통계연보, 1993~2003)

표 2. 세계 주요 도시와의 지하철 수송용량 비교

	연장당 수송인원 (만·인/km)	인구당 노선 연장 (km/만·인)
부산시	2.30	0.19
일드 프랑스*	0.907	1.45
동경도*	9.234	0.78

* (이창우, 1999)

5) 대기오염

표 3은 1993년부터 2003년까지의 부산시 대기질 지표의 변화 추이를 보여 준다. 아황산가스(SO₂)의 경우 저유황유, LNG(천연액화가스)등의 청정연료 공급 및 탈황시설의 보급 확대, 에너지 전환정책 등에 의해 1997년에 국가 환경기준과 세계보건기구(WHO)의 권고기준을 만족하는 수준에 도달 하였다. 먼지는 종합적인 저감대책의 수립 및 추진에 의해 매년 감소추세를 보이고 있다. 오존(O₃)의 경우는 아직 권고 기준을 초과한 적은 없지만 시간과 지역에 따라 환경 기준치를 초과하는 지역이 빈번히 발생하고 있어 시민의 인체 및 생활 환경상의 피해를 줄이기 위해 오존경보제를 시행하고 있다. 이산화질소(NO₂)의 경우 농도 변화의 폭은 크지 않으나 세계보건기구의 권고기준을 초과하고 있다. 이산화질소의 주요 발생 원은 경유차 배출가스 인데, 배기가스 촉매장치와 자동차의 질소산화물 배출허용 기준을 강화하면서 이산화질소 저감에 대한 노력을 기울이고 있는 실정이다. 전반적으로 볼 때 대기질의 경우 만족한 수준이라고 할 수 있다.

2. 생태족적 지수 분석에 의한 부산시 환경용량 평가

1) 음식부문

음식 부문의 생태족적 지수 분석결과는 표 4와 표 5에 나타내었다. 지수는 소비하는 음식을 생산하기 위해 필요한 토지면적을 의미하는데 지수의 산정을 위해 미곡, 맥류, 잡곡, 두류, 채소, 과일, 특용작물, 축산물, 유제품 등의 재배면적, 생산량, 소비량 등에 관한 통계자료를 이용하였다. 지수산정 결과 부산시민 1인이 1년간 소비하는 음식물을 만들기 위해 1993년에는 0.98ha, 2003년에는 1.08ha가 필요하다는 결과를 얻었다.

2) 건조환경부문

건조환경부문은 건물이 토지를 점유하고 있는 부문을 말하는데, 특성상 어떤 특정한 부문이 점유하게 되면 다른 부문이 사용되지 못하기 때문에 건조환경이 만들어진 토지 위의 땅은 용도 변경이 불가능하게 된다. 건조환경부문의 지수 산정 결과는 표 6과 표 7에 나타내었다. 1993년에 부산시에서 건조환경부문이 차지하고 있는 1인당 토지는 0.00412ha이며, 2003년에는 0.00555ha로 증가하였다.

표 3. 부산시 대기오염도 변화추이*

단 위	SO ₂ ppm/year	NO ₂ ppm/year	O ₃ ppm/8hr	CO ppm/8hr	PM10 (µg/m ³)/year
한국 환경기준	0.02	0.05	0.06	9	70
WHO 권고기준	0.019	0.021	0.06	9	60-90
1993	0.028	0.025	0.014	1.3	·
1994	0.023	0.024	0.014	1.6	·
1995	0.023	0.027	0.016	1	73
1996	0.022	0.031	0.02	1.2	76
1997	0.018	0.028	0.019	1	68
1998	0.015	0.024	0.022	1	67
1999	0.015	0.019	0.022	1.1	65
2000	0.010	0.024	0.022	0.9	62
2001	0.010	0.03	0.025	0.7	60
2002	0.007	0.029	0.024	0.7	69
2003	0.006	0.026	0.023	0.6	55

* 부산시 통계연보(1993~2003); 대기환경연감(2003)

표 4. 1993년 음식부문 부산시 EF(Ecological Footprint) 지수*

산정식	작물재배면적(ha)	생산량(t)	산출율(kg/ha)	1인당소비량(kg/cap)	항목별EF(ha/cap)
	a	b	c=b/a×1000	e=d/cap	f=e/c
미 곡	4,822	18,902	3,920.0	110.2	0.0281
맥 류	64	174	2,718.8	1.7	0.000625
서 류	25	138	5,520.0	2.9	0.000525
잡 곡	16	20	1,250.0	0.6	0.000480
두 류	191	258	1,350.8	3.5	0.00259
채 소	4,100	153,995	37,559.8	158.5	0.00422
과 일	93	626	6,731.2	55.4	0.00823
특용작물	20	7	350.0	3.4	0.00971
축 산 물			33	27.4	0.830
유 제 품			502	47.8	0.0952
음식부문 1인당 EF지수					0.984

* 음식부문 EF 산정 자료

- 1) 작물재배면적, 생산량, 부산시 인구의 출처 : 부산시 통계연보(1993), 농림 통계연보(1993)
- 2) 1인당 소비량 : 농림통계연보(1993)의 자료를 기본적으로 사용. 채소, 과일, 특용작물, 축산물, 유제품 소비량으로 1994년 울산시 소비량을 준용(이상현, 2001). 축산물과 유제품의 경우 Rees(1996)가 각 나라에 동일하게 적용한 단위 산출율 적용.

표 5. 2003년 음식부문 부산시 EF지수*

산정식	작물재배면적(ha)	생산량(t)	산출율(kg/ha)	1인당소비량(kg/cap)	항목별EF(ha/cap)
	a	b	c=b/a×1000	e=d/cap	f=e/c
미 곡	4,888	17,887	3,659.4	83.2	0.0227
맥 류	29	70	2,413.8	1	0.000414
서 류	56	166	2,964.3	2.4	0.000810
잡 곡	81	123	1,518.5	0.6	0.000395
두 류	33	63	1,909.1	2.6	0.00136
채 소	4,231	176,937	41,819.2	148	0.00354
과 일	167	1586	9,497.0	55.7	0.00587
특용작물	38	20	526.3	3.36	0.00639
축 산 물			33	30.5	0.924
유 제 품			502	58.6	0.117
음식부문 1인당 EF지수					1.08

* 음식부문 EF 지수 산정 자료

- 1) 작물재배면적, 생산량, 부산시 인구의 출처 : 부산시 통계연보(2003), 농림통계연보(2003)
- 2) 1인당 소비량 : 농림통계연보(양곡소비량)(2003)의 자료를 기본적으로 사용. 채소, 과일, 특용작물, 축산물, 유제품 소비량으로 1999년 울산시 소비량을 준용(이상현, 2001). 축산물, 유제품의 경우 Rees(1996)가 각 나라에 동일하게 적용한 단위 산출율 적용.

표 6. 1993년 건조환경부문 부산시 EF지수*

토 지 지 목 별	점유면적(ha)	1인당 토지소비량(ha/cap)	항목별 EF지수
산 정 식	a	b=a/P	c=b
대 지	8073.09	2.086883E-03	2.09E-03
공 장 용 지	966.57	2.49858E-04	2.50E-04
학 교 용 지	724.21	1.8721E-04	1.87E-04
도 로	3060.59	7.91159E-04	7.91E-04
철 도 용 지	280.42	7.2489E-05	7.25E-05
제 방	218.43	5.6465E-05	5.65E-05
수 도 용 지	265.55	6.86467E-05	6.86E-05
체 육 용 지	208.13	5.38027E-05	5.38E-05
유 원 지	157.69	4.07635E-05	4.08E-05
종 교 용 지	77.58	2.00557E-05	2.01E-05
사 적 지	6.72	1.7388E-06	1.74E-06
묘 지	187.87	4.85665E-05	4.86E-05
잡 종 지	1735.33	4.48581E-04	4.49E-04
건조환경부문의 1인당 EF지수			0.00413

*부산시 통계연보, 1993

표 7. 2003년 건조환경부문 부산시 EF지수*

토 지 지 목 별	점유면적(ha)	1인당 토지소비량(ha/cap)	항목별 EF지수
산 정 식	a	b=a/P	c=b
대 지	9610.48	2.5895424E-03	2.59E-03
공 장 용 지	1733.57	4.67111E-04	4.67E-04
학 교 용 지	1004.05	2.70541E-04	2.71E-04
도 로	4194.50	1.130207E-03	1.13E-03
철 도 용 지	325.86	8.78039E-05	8.78E-05
제 방	234.21	6.31081E-05	6.31E-05
수 도 용 지	285.33	7.6883E-05	7.69E-05
체 육 용 지	232.16	6.25567E-05	6.26E-05
유 원 지	164.96	4.44508E-05	4.45E-05
종 교 용 지	127.10	3.42474E-05	3.42E-05
사 적 지	16.09	4.3365E-06	4.34E-06
묘 지	269.62	7.26501E-05	7.27E-05
잡 종 지	2404.25	6.47827E-04	6.48E-04
건조환경부문의 1인당 EF지수			0.00555

*부산시 통계연보, 2003

표 8. 산림부문 부산시 EF지수*

	산림면적(ha)	생산량(m ³)	산출율(m ³ /ha)	소비량(m ³)	1인당소비량(m ³ /cap)	항목별 EF지수
산정식	a	b	c=b/a	d	e=d/p	f=e/c
1993	22,073	2,428	0.10186	682,187	0.1763	1.73
2003	36,561	6,638	0.18156	604,253	0.1628	0.897

* 산림부문 EF지수 산정 자료

1. 산림면적, 생산량, 소비량 : 부산시 통계연보(1993), 임업통계연보(1993), 부산시 통계연보(2003), 임업 통계연보(2003). (생산량과 소비량은 임산물 통계에 따른 용재 공급과 수급량 데이터 사용)
2. 부산시 생산량 추정 : 전국생산량 전국산림면적 대비 부산시 산림면적의 비
3. 부산시 소비량 추정 : 전국소비량 전국 인구 대비 부산시 인구의 비

3) 산림부문

산림부문의 EF지수는 1인당 목재관련제품의 소비를 위해 필요한 산림면적이다. 부산시의 산림부문 지수의 산정과정은 표 8에 나타내었다. 산출율의 경우 생산량에 관한 부산시 자료가 부족하여 표 8에 기술한 바와 같이 국내 나무관련 제품의 생산량과 전국 산림면적 대비 부산시 산림면적의 비율을 이용하여 추정하였다. 1993년 1인당 나무관련 제품의 소비를 위해 필요한 면적은 1.73ha에서 2003년에는 0.897ha로 감소하였다. 이러한 43% 가량의 감소는 1995년에 기장군이 부산시로 편입되면서 인구수에 비해 산림면적이 증가한 것에 기인한다.

4) 에너지부문

화석연료의 사용을 위해 필요한 토지면적을 계산하는 방법으로 3가지가 있다. 첫째, 화석연료 대체연료의 생산에 필요한 토지면적을 계산하는 방법, 둘째, 화석연료를 태우는 과정에서 발생하는 CO₂를 없애는데 필요한 토지면적을 추정하는 방법, 셋째, 화석연료가 소비되는 것과 같은 비율로 자원을 다시 만들어 내는데 필요한 토지면적을 계산하는 방법이 있다. 이 3가지 방법들은 화석연료 100giga joule의 소비는 대략 1ha의 토지가 필요하다는 계산 값을 이끌어 낸다. 표 9와 표 10에서 부산시의 에너지 사용량에 대한 필요토지면적을 산정하여 지수로 나타내었다. 1993년과 2003년의 1인당 화석연료 소비량에 따른 토지 1인당 토지면적은 각각 0.332ha와 0.561ha

로 계산되었다. 에너지 부문에서는 양년도에 걸쳐 경유 부분이 큰 몫을 차지하고 있다. 경유 사용의 증가는 오니시 모델 분석에서 나타난 바와 같이 대기질 항목 중 NO₂만이 기준을 초과하고 있다는 사실과 관련이 있을 것으로 생각된다.

5) 총괄 EF지수 분석

1993년과 2003년 부산시의 총괄 EF지수는 각각 3.04 ha/인구와 2.54 ha/인구로 계산되었고 부문별 EF지수의 변화추이는 그림 5에서 볼 수 있다. 1993년의 부문별 지수의 크기는 산림 > 음식 > 에너지 > 건조 부문의 순서였고, 2003년의 경우에는 음식 > 산림 > 에너지 > 건조 부문의 순서였다. 1993년에는 산림부문이 필요로 하는 토지면적이 가장 컸고 2003년에는 음식부문에 의한 필요량이 가장 큰 것을 볼 수 있다. 건조환경부문은 상대적으로 그 기여도가 미미한 것을 알 수 있다. 1993년에서 2003년까지 EF지수의 변화 추이를 보면 에너지 부문과 음식 부문은 다소 증가하는 경향을 보였고 건조환경 부문의 경우 그 변화가 가장 작은 것으로 나타났다. 이는 건조환경에 소비되는 토지는 외부로부터 유입이 불가능하고 변화되기 어려운 것이기 때문에 지역 내에 한정되어있는 토지 면적과 동일하다고 볼 수 있다. 이 지수는 지역 내 인구 밀도와 큰 상관성을 보이며, 갑작스런 인구의 유출이나 유입이 없는 이상 변화의 폭은 크지 않다.

2003년 총괄지수의 경우 1993년 보다 다소 낮게

표 9. 1993년 에너지부문 부산시 EF지수*

산 정 식	소비량(giga joule) a	1인당소비량(giga joule/인) e=a/P	항목별 EF지수(ha/cap) f=e/100
휘 발 유	16,032,296	4.1443	0.0414
등 유	13,594,023	3.5140	0.0351
경 유	47,527,609	12.2858	0.123
병 커 - C	18,099,538	4.6787	0.0468
프 로 판	9,108,388	2.3545	0.0235
부 탄	7,627,327	1.9716	0.0197
도 시 가 스	5,633,208	1.4561	0.0146
무 연 탄	10,872,498	2.8105	0.0281
전 기	30,424	0.007864	0.0000787
에너지부문의 1인당 EF 지수			0.332

* 에너지부문 EF 산정 자료

1. 화석연료(석유제품, 무연탄), 전기 소비량 : 에너지통계연보(1993), 부산시통계연보(1993)
2. 도시가스 : 부산시 통계연보(1993)
3. 에너지 소비량에 따른 환산 : 에너지통계연보, 1998(단위환산표와 연료 및 열의 환산기준)
4. 항목별 산정방식 : 평균적 산림의 탄소 축적(연간 1ha당 화석연료 100giga joule 축적)

표 10. 2003년 에너지부문 부산시 EF 지수*

산 정 식	소비량(giga joule) a	1인당소비량(giga joule/인) e=a/P	항목별 EF지수(ha/cap) f=e/100
휘 발 유	20,655,878	5.5657	0.0556
등 유	22,127,451	5.9622	0.0596
경 유	63,967,297	17.2359	0.172
병 커 - C	44,244,178	11.9215	0.119
프 로 판	7,731,612	2.0832	0.0208
부 탄	13,063,241	3.5198	0.0352
도 시 가 스	35,424,648	9.5451	0.0955
무 연 탄	747,930	0.20152	0.00202
전 기	53,152	0.01432	0.000143
에너지부문의 1인당 EF 지수			0.561

* 에너지부문 EF지수 산정 자료

1. 화석연료(석유제품, 무연탄), 전기 소비량 : 에너지통계연보(2003), 부산시통계연보(2003)
2. 도시가스 : 부산시 통계연보(2003)
3. 에너지 소비량에 따른 환산 : 에너지통계연보, 1998(단위환산표와 연료 및 열의 환산기준)
4. 항목별 산정방식 : 평균적 산림의 탄소 축적(연간 1ha당 화석연료 100giga joule 축적)

표 11. 부산의 EF지수와 생태적자

단 위	EPL*	1인당 EPL	EF지수	생 태 적 자	
	ha	ha/인	ha/인	ha/인	%
산 정 식	b	c=b/cap	d	e=d-c	(e/c)×100
1993	31,408	0.0081	3,0440	3,0359	37,500
2003	49,110	0.0132	2,5350	2,5218	19,600

* EPL(Ecologically Productive Land) : 생태적으로 생산적인 토지면적으로 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야를 총계한 값.

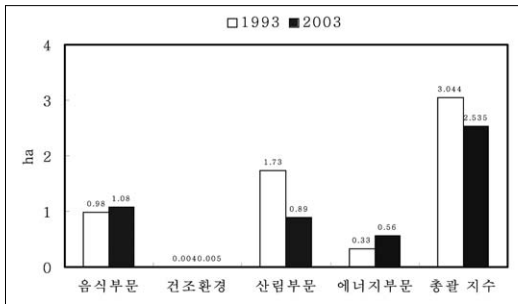


그림 5. 부문별 EF지수 분석

산출된 것은 음식부문과 에너지부문의 소폭 증가에도 불구하고 기장군의 편입으로 인해서 산림부문의 EF지수가 감소한 것이 가장 큰 요인이다. 이러한 결과를 통해 볼 때 생태적 지수 분석에서 산림부문이 차지하는 비중이 상당히 크다는 것을 알 수 있고 산림 부분 지수의 정확한 산정 또한 부산시의 EF지수 산정에서 중요하다라는 것을 알 수 있다. 생태적 순기능을 지닌 지역의 편입으로 인해 EF지수를 상당히 감소시킬 수 있었다는 것은 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

EF지수는 절대적 지수가 아니다. 지수가 높은 지역이 낮은 지역보다 절대적인 소비량이 많음을 뜻하는 것이 아니라, 그 지역의 토지 산출물에 대해서 상대적으로 높은 소비수준임을 의미한다. '생태적 적자(Ecological Deficit)'의 개념을 도입하면 EF지수를 활용하여 환경용량 초과량에 대한 분석을 실시할 수 있다. 생태적 적자는 주어진 자연조건에 주는 부담을 평가해 볼 수 있는 분석으로 그 지역의 소비를 위해 사용된 토지 면적이 '생태적으로 생산적인 토지 면적(Ecologically Productive Land Area)'에 비해서 얼

표 12. 2003년 부산시 필요 면적

단 위	인 구	면 적	EF지수	면적배수
산정식	a	b	d	f=a×d/b
부 산	3,711,268	76330	2,5350	123

마나 높은 비율을 차지하는지를 나타내는 지표이다. 표 11에 부산시의 소비수준을 유지하기 위해 필요한 토지면적을 나타내었다. 1993년과 2003년 부산시의 소비수준을 유지하기 위해 필요한 토지 면적은 생태적으로 생산적인 토지면적의 37,500%와 19,600%를 초과하는 것을 볼 수 있다. 소비 부분에 대해서는 부산시 생태계가 생산해내는 양보다 월등하게 많은 양을 시민들이 소비하고 있는 실정이며, 외부의 생태적 생산 토지를 소비하고 있음을 의미한다.

부산시의 총 EF지수가 지역 면적의 몇 배에 해당하는지 계산하면 지역의 자급자족을 위해 필요한 면적에 대한 추정을 할 수 있다. 표 12에 계산된 바와 같이 2003년 현재 부산시의 필요면적은 현재 면적의 123배에 해당한다. 이는 1997년 서울의 742배(이창우, 1999)에 비해서는 양호한 수준이나 1999년 청주시의 71배(임재호와 이종호, 2002)와 울산시의 39배(이상현, 2001)에 비해서는 비교적 높은 수치이다. 대도시에서 좀 더 높은 수치를 보여주는 것은 대도시가 상대적으로 많은 양의 생산량을 외부지역에 의존하고 있다는 것을 의미하며 부산시의 경우도 예외가 아니라는 것을 보여 준다.

V. 결론

본 연구에서는 부산시의 지속가능한 개발과 성장을 위한 계획에 기초자료를 제공하기 위해 부산시에 대한 환경용량평가를 실시하였다. 오니시 모델(Onishi Model)을 이용하여 시민들의 편의시설 및 서비스 만족 부분에 대한 평가를 실시하였고, 생태족적 모델(Ecological Footprint Model)을 이용하여 지역의 전반적인 환경용량 초과여부와 초과정도를 정성적으로 분석해 보았으며 결과는 다음과 같다.

1. 상수도 부문의 경우 그 보급률이 99% 이상으로 충분한 여유시설용량과 급수량으로 사용의 편의 부문에서 만족을 보이고 있다.
2. 하수도 부문에서는 그 보급률이 78% 정도로써 국내 중규모 이상의 타도시에 비해서 상대적으로 낙후된 면을 보이고 있어 하수도 시설의 증설이 시급하다고 할 수 있다.
3. 폐기물 부문에서 최종 처분지인 매립지 용량 면에서는 향후 10년까지 부족함이 없어 만족스러운 편이다.
4. 지하철 부문은 선로 연장당 수송인구가 상대적으로 높아 출·퇴근시간의 혼잡으로 인한 불편함이 있으리라 사료된다.
5. 대기질 부문은 조사항목 중 NO₂를 제외한 모든 항목에서 국내 환경기준과 WHO 권고기준을 만족하여 비교적 양호하다고 할 수 있다.
6. 생태족적 모델을 이용하여 1993년과 2003년의 부산시 EF지수를 계산한 결과 각각 3.04 ha/인과 2.54 ha/인을 얻었다.
7. 1993년 이후 음식, 건조환경, 에너지 부문에서의 1인당 소비량이 증가하였으나, 1995년에 기장군이 부산시에 편입됨에 따라 2003년에 EF지수는 10년전에 비해서 17% 감소한 것으로 나타났다.
8. 생태적자 분석을 통해서 2003년 현재 부산시는 생태적 생산량에 비해 19,600%를 초과하는 과소비를 하고 있는 것으로 나타났다.

9. EF지수를 이용하여 소비량을 충족시킬 수 있는 토지면적을 산출하면 2003년 현재 부산시는 토지면적인 763km²의 123배에 달하는 면적을 필요로 하는 것을 알 수 있다.

본 연구는 부산시의 환경용량 측면에 대한 연구의 시발점에 지나지 않으며 향후 에머지 모델, 시스템다이나믹스 모델 등을 이용하여 좀 더 다양한 각도에서 부산시의 환경용량에 대한 고찰이 이루어지는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

참고문헌

- 농림부, 1993, 농림통계연보.
 농림부, 2003, 농림통계연보.
 문태훈, 1997, 지속가능한 성장을 위한 환경용량의 산정과 환경지표 개발에 관한 연구, 한국정책학회보 7(1), 149-171.
 부산시, 1993~2003, 통계연감.
 부산시, 2005, 2020년 부산시 도시계획.
 산림청, 1993, 임업통계연보.
 산림청, 2003, 임업통계연보.
 이상현, 2001, 생태족적 모델을 통한 울산시 환경용량 평가에 관한 연구, 울산발전연구원.
 이창우, 오용선, 1999, 서울시 환경용량 평가에 관한 연구, 서울시정개발연구원.
 임재호, 이종호, 2002, 도시 환경용량평가에 관한 연구, 환경영향평가학회지, 11(1), 25-36.
 에너지경제연구원, 2003, 에너지 통계연보.
 환경부, 2003, 대기환경연보.
 환경부, 2003, 상수도통계.
 환경부, 2003, 폐기물연보.
 환경부, 2003, 하수도통계.
 Bishop, A. B., *et al.*, 1974, Carrying Capacity in Regional Environmental Management, Washington, DC: Office of Research and Development, U. S. EPA-600/5-74-021.
 Hunter, C. and Shaw, J., 2005, The Ecological

- Footprint as a Key Indicator of Sustainable Tourism, *Tourism Management*.
- Erling, H. and Karl, G. H., 2005, The Ecological Footprints of Fuels, *Transport and Environment*, 10(5), 395-403.
- Fricker, A., 1998, The Ecological Footprint of New Zealand as a Step Towards sustainability, *Futures*, 30, 559-567.
- Onishi, T., 1994, A Capacity Approach for Sustainable Urban Development: An Empirical Study, *Journal of the Regional Studies Association*, 28(1), 39-51.
- Parker, P., 1998, An environmental measure of Japan's Economic Development: The Ecological Footprint, *Geographische Zeitschrift*, 86, 106-119.
- Pepper, D., 1996, *Modern Environmentalism, An Introduction*, London: Routledge, 17-19.
- Rees, W., 1996, Revisiting Carrying Capacity: Area-Based Indicators of Substantiality, Population and Environment: *A Journal of Interdisciplinary studies*, 17(3), 195-215.
- Wackernagel, M. and Rees, W. E., 1996, *Our Ecological Footprints: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island: New Society Publishers, 1-60.