

ORIGINAL ARTICLE

Emergy 분석법에 의한 녹색 GDP 산정

이동주 · 조효선 · 이석모*

부경대학교 생태공학과

Evaluation of Green GDP by Emergy Analysis

Dong Joo Lee, Hyo Seon Jo, Suk Mo Lee*

Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Abstract

The gross domestic product(GDP) measures the welfare of a nation's economy through the aggregation of products and services produced in a nation. Although GDP is a proficient measure of the magnitude of the economy, many economists, environmentalists, and citizens have recently criticized the gross domestic product. The criticism stems from the fact that this measurement of domestic product does not account for environmental degradation and resource depletion. We need to estimate the environmentally adjusted net domestic product. The gross domestic product was 913 trillion won while environmental protection expenditure was 32.9 trillion won by monetary accounts of Korea, 2010. Loss of natural assets was 76.6 trillion emwon by emergy analysis of Korea, 2010. The Green GDP was accounted for 88.0% of the GDP to 803.5 trillion won.

Key words : Green GDP, Korea, Economy, Environment, Resource, EDP

1. 서론

경제지표인 국민총생산(Gross National Product, GNP) 또는 국내총생산(Gross Domestic Product, GDP)과 같은 국민계정(System of National Accounts, SNA)이 주로 재화와 용역의 생산과 소비에만 초점을 두고 작성되어 왔다. 그러나 지속가능한 발전에 대한 정책 개발이 지구촌의 당면과제로 등장하면서 경제활동에 따른 자연과 환경에 대한 파급효과를 간과하고 있음이 지적되고 있다(Korea Environment Institute, 1993). 특히 자원고갈과 환경오염을 고려하지 않는 GDP에 의한 경제정책은 소비와 환경파괴를 조장하고 나아가서는 국민경제의 지속 가능한 발전을 불가능하게 만든다. 이러한 문제점에도

불구하고 GDP가 계속적으로 이용되는 이유는 GDP와 이를 구성하는 각종 경제지표가 정치인과 경제 관료들의 능력과 업적을 평가하는 잣대로 이용되기 때문이다. 그동안 산업화와 성장 제일주의 경제정책은 단기간에 GDP를 극대화하는데 목표를 두었기 때문에 환경을 고려한 경제발전은 외면되고 개인의 소득은 증가하지만 환경파괴로 삶의 질은 오히려 떨어지고 있었다(Korea Environmental Policy and Administration Society, 1993).

환경선진국들은 이미 1980년대부터 환경과 경제를 종합적으로 분석하기 위한 정책평가 수단으로 환경계정(Environmental Account)을 개발해 왔다. 환경계정은 경제와 환경 사이의 상호작용과 경제활동에 따른 파급효

Received 3 June, 2015; Revised 6 August, 2015;

Accepted 31 August, 2015

*Corresponding author : Suk Mo Lee, Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea
Phone: +82-51-629-6541
E-mail: leesm@pknu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

과를 분석함으로써 지속가능한 발전에 대한 정책평가 수단의 역할을 한다. 환경계정의 중요성이 인식되면서 1993년 UN이 국민계정과 는 별도로 환경경제 통합계정 (System of Integrated Environmental and Economic Account, SEEA)을 작성하여 기존 국민계정의 위성계정 (Satellite Accounts) 형태로 활용할 것을 권고하였다 (UN, 2000). 이후 환경경제 통합계정 작성관련 국제 표준체계와 핸드북 (UN et al., 2003)이 작성 보급되었고 2006년부터 매년 1회 전문가 회의 (UN Committee of Experts on Environmental - Economic Accounts, UNCEEA)가 개최되어 환경경제 통합계정의 국제적 확산을 추진하고 있으며 2012년에는 최초의 국제표준 환경경제 통합계정을 완성하였다. 환경경제 통합계정 (UN et al., 2012)은 물질과 에너지 플로우 계정, 환경활동계정과 관련된 플로우, 그리고 자산계정으로 구성되어 있으며 환경 정책 결정에 이용될 수 있는 자연자원의 이용 경향, 경제활동에 따른 오염물질의 배출, 환경보호를 위한 경제활동의 평가 등 다양한 지표를 생산해 낼 수 있다. 현재 각 국가별로 통일된 계정을 작성하기 위한 노력을 경주하고 있으나 국가별로 다양한 자원과 오염물질을 통일된 단위로 환산하여 물질수지를 표현하는 과정과 자연 자원의 가치와 환경 질 저하에 대한 경제적 평가 등에서는 여전히 한계를 가져 지속적인 전문가 그룹의 연구가 진행되고 있다 (UN, 2013). 우리나라에서도 환경부가 2001년에 ‘환경경제 통합계정 및 녹색 GDP 도입 중장기 추진계획(2001-2010)’을 수립하여 환경경제 통합계정을 작성하기 위한 기반을 구축하고 있다 (Ministry of Environment, 2002, 2003, 2004). 2006년 말에는 ‘환경경제 통합계정 및 녹색 GDP 도입 중장기 추진계획에 대한 보완계획을 수립하여 UN의 환경경제 통합계정 핸드북 (UN et al., 2003)에서 제시한 4개의 모듈에 대하여 편제 여부 및 우선순위를 결정한 바 있다. 이 보고서에서도 녹색 GDP 등 환경조정총량지표 개발 작업은 국제적 표준이 정립된 이후에 추진하기로 하면서 사실상 녹색 GDP 산정보다는 경제정책이 환경에 미치는 정량적 효과를 체계적으로 분석할 수 있는 통계기반 구축에 역점을 두고 있다 (Ministry of Environment, 2007).

녹색 GDP는 한 국가의 경제활동 과정에서 발생하는 자연자원의 소모 및 환경 악화로 인한 비용 등 기존의 국민소득계정 작성에 포함되지 않는 환경손실액을 국내총

생산에서 차감한 것을 말하며 보다 전문적으로 정확히 표현하자면 “환경조정 국내 순생산 (Environmentally Adjusted Net Domestic Product, EDP)”이다. EDP 산정을 위해서는 자연자원의 가치평가와 환경 기초자료의 통계처리 등 방법론적 어려움을 극복하여야 한다. 그러나 지금까지 개발된 경제적 평가방법으로는 자연자원의 경제적 가치에 대한 정확한 산정이 어렵기 때문에 통합계정 작성에 필요한 자료 수집 및 방법론 개발에 주력하고 있다.

Odum(1996)은 1962년 이후 에너지 언어를 이용하여 생태계의 분석, 합성 그리고 시뮬레이션에 적용하여 왔으며 그간의 연구결과를 통하여 자연환경의 역할과 인간경제 활동을 하나의 시스템에서 동일한 가치척도로 평가하는 Energy 개념을 창안하여 국가와 지역의 자연환경과 경제활동에 대한 통합평가를 가능하게 하였다. 이러한 Energy 개념은 한국의 자연환경과 경제활동의 평가에 대하여 적용된 바 있으며 지속적으로 연구되고 있다 (Lee and Odum, 1994, Kang et al., 2006, Kang, 2015).

본 연구에서는 대한민국의 경제지표와 통계자료를 이용하여 환경경제 통합계정을 작성한 후 자연자산의 손실에 대한 Energy 분석을 통하여 자연자원의 소모를 화폐 가치로 평가하여 환경비용이 고려된 대한민국의 녹색 GDP를 산정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 환경경제 통합계정 작성

2010년 대한민국 환경경제 통합계정을 작성하기 위하여 우선 화폐계정, 물질계정, 자연자산계정을 각각 작성하였다.

2.1.1. 화폐계정

2010년 대한민국 통계자료를 이용하여 총 산출액, 중간소비, 고정자산 소모, 지역 내 순생산, 보건복지 및 환경에 대한 지출을 조사하고 분석하였다.

2.1.2. 물질계정

2010년 대한민국의 통계자료를 이용하여 에너지 및 급수사용량과 환경오염물질 배출에 대한 자료를 항목별로 조사하고 분석하였다.

2.1.3. 자연자산계정

2010년 대한민국의 통계자료를 이용하여 토양자원, 산림자원, 지하수자원 등의 자산자원에 대한 소모량을 조사하고 분석하였다.

2.2. 자연자산의 Emergy 분석

대한민국의 자연자산에 대한 변화를 화폐경제적으로 평가하기 위해서 Table 1과 같은 에머지 분석표를 작성한다.

첫 번째 열에는 각 항목의 순서를 기입, 두 번째 열에는 분석대상 시스템의 자연환경에 대한 내부 구성요소의 목록을 기입한다. 세 번째 열에는 주요 구성요소의 실제 에너지, 물질의 양 또는 화폐 단위의 값을 기입한다. 네 번째 열에는 주요 에너지원에 대한 태양에너지변환도(Solar Transformity)를 기입한다. 다섯 번째 열에는 두 번째 열의 주요 에너지원이 가지는 값에 세 번째 열의 태양에너지변환도(Solar Transformity)를 곱하여 Emergy 값을 산출한다. 여섯 번째 열에는 주요 에너지원의 Emergy 값을 Emergy/Money Ratio로 나누어 계산한 생태경제적 가치(Eco-economic Value)를 산출한다.

2.3. 녹색 GDP 산정

녹색 GDP 산정은 기존의 GDP에서 경제활동 과정에서 발생하는 자연 자원의 소모 및 환경 악화로 인한 비용을 차감하여 산정한다. UN의 환경경제 통합계정에서는 자연자산의 고갈에 대한 가치평가와 환경개선에 대한 비

용 산정 등이 상대적이기 때문에 이를 바로 적용하여 녹색 GDP를 산정하는 것보다는 화폐와 물질의 흐름계정, 환경비용계정, 자산계정을 설정하여 대차대조표를 작성하고 이들을 서로 통합하여 경제정책과 환경정책의 개발에 대한 정보를 제공하고자 하였다. 본 연구에서는 대한민국의 녹색 GDP를 산정하기 위하여 국가통계포털의 지역계정을 이용하여 GDP에서 중간소비와 고정자본소모를 차감하여 지역 내 순생산을 구하고 지역의 자연자원의 소모량에 대한 Emergy 분석을 통하여 화폐가치로 환산한 금액과 지역경제의 지역 내 총생산에 대한 지출 항목 중 환경보호지출 금액을 차감하여 산정한다. 이렇게 산정한 녹색 GDP는 정확한 의미로 자연자원의 소모와 환경보호지출을 고려한 환경조정 순생산(EDP)이라 할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대한민국의 환경경제 통합계정

3.1.1. 대한민국의 화폐계정

2010년 통계자료를 이용하여 대한민국의 총 산출액, 중간소비, 고정자본 소모, 지역 내 순생산, 환경보호지출 금액을 정리하면 Table 2와 같다.

2010년 대한민국의 총 산출액은 3,044 조원 규모이며, 중간소비 약 1,899 조원과 고정자본 소모 약 232 조원을 차감하면 순생산액은 913 조원이 된다. 환경보호지출 비용은 32조 9천억 원으로 조사되었다.

Table 1. General format of the emergy evaluation table

No.	Item	Raw data (J/yr, g.yr, or \$/yr)	Solar transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Emvalue (Em\$/yr)
1	Ground water	xx	xx	xx	xx

Table 2. Gross domestic product and environmental protection expenditure accounts in Korea, 2010

Items	Monetary Flow (trillion won)
Gross output	3,044
Intermediate consumption	1,899
Consumption of fixed capital	232
Gross domestic product	913
Environmental protection expenditures	32.9

Table 3. Consumption of energy and water and generation of pollutants in Korea, 2010

Category		Flow	units
Energy consumption	Petroleum Products	326,416	1,000 barrel
	LNG	33,083	1,000 ton
	Coal Products	119,321	1,000 ton
Water consumption	Surface Water	4,726	million m ³
	Ground Water	3,807	
Pollutant Emissions	Sewage and Wastewater	20,714,384	m ³ /day
	Wastes	374,642	ton/day
	SOx	401,741	ton/yr
	NOx	1,061,210	
	TSP	116,808	
	CO	706,269	
	VOC	866,358	

Table 4. Loss of natural assets in Korea, 2010

No.	Item	Raw data		Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Eco-economic value (EmWon/yr)
1	Ground water	1.90E+16	J	2.45E+05	4.66E+21	1.98E+12
2	Coal production	6.04E+16	J	6.71E+04	4.06E+21	1.72E+12
3	Metallic Minerals	4.23E+12	g	1.68E+09	7.11E+21	3.02E+12
4	Nonmetallic Minerals	9.29E+13	g	1.68E+09	1.56E+23	6.71E+13
5	Top soil loss	5.27E+16	J	1.24E+05	6.54E+21	2.78E+12

Footnote :

1	Ground water					
	Consumption	=	3.81E+09	MT/yr		
	Gibbs free energy	=	5.00E+00	J/g		
	Energy	=	(consumption)*(1E6g/m ³)*(gibbs free energy)			
		=	1.90E+16	J/yr		
2	Coal production					
	Production	=	2.08E+06	MT/yr		
	Energy(J)	=	(production)*(2.9 E10 J/MT)			
		=	6.04E+16	J/yr		
3	Metalic minerals					
	Production	=	4.23E+06			
		=	4.23E+12	g/yr		
4	Nonmetallic minerals					
	Production	=	9.29E+07	MT/yr		
		=	9.29E+13	g/yr		
5	Top soil					
	Annual soil erosion	=	5.00E+07	MT/yr		
	Energy	=	(Soil erosion)*(1E6 g/MT)*(0.07gOM/g sed)* (3.6kcal/g)*(4186 J/kcal)			
		=	5.27E+16	J/yr		

Table 5. Monetary flow, assets stock and green GDP of Korea, 2010

Monetary Flow (trillion won)		%
Gross domestic product	913	100
Environmental protection expenditure	32.9	3.6
Asset Stock (trillion emwon)		
Loss of ground water	1.98	0.2
Loss of top soil	2.78	0.3
Loss of Minerals	71.84	7.9
Total	76.60	8.4
Green GDP (trillion won)		
Green GDP	803.5	88.0

3.1.2. 대한민국의 물질계정

2010년 통계자료를 이용하여 대한민국의 에너지와 물 사용량, 그리고 오염물질 발생량을 정리하면 Table 3 과 같다. 에너지 사용량은 석유류가 326,416 천 배럴이며, 천연가스 33,083 천 톤, 석탄 119,321 천 톤이었다. 물사용량은 급수사용량이 4,726 백만 톤, 지하수가 3,807 백만 톤이었다. 오염물질 발생량은 하폐수가 1일 20,714,384 톤, 폐기물이 1일 374,642톤 발생하였으며, 대기오염물질로서 연간 황산화물 401,741, 질소산화물 1,061,210, 부유분진 116,808, 일산화탄소 706,269, 휘발성유기물질 866,358 톤이 각각 발생하였다.

3.1.3. 대한민국의 자연자산계정

2010년 통계자료에 의하면 1년 동안 소모된 자연자산은 Table 4와 같다. 경제활동을 통하여 소모된 자연자산의 종류는 지하수, 지하광물자원 그리고 표토층으로 구분된다. 소모된 지하수량은 연간 약 38억 1천톤이며 이를 Energy로 계산하여 2010년 한국의 총 Energy 사용량 2.15 E24 sej/yr를 GDP 9.13 E14 won으로 나눈 Energy/won 비를 이용하여 생태경제적 가치를 계산하면 1조 9,800 억원의 자연자산 손실에 해당된다. 광물자원도 같은 방법으로 분석하면 석탄 1조 7,200 억원, 금속 광물 3조 200억원, 그리고 비철 광물 67조 1,000 억원 등 연간 총 71조 8,4000 억원의 자연자산이 손실되었다. 표토층은 5,000 만톤 유실되어 함유된 유기물의 손실로 2조 7,800억원의 생태경제적 자연자산의 손실을 초래하였다.

3.2. 대한민국의 녹색 GDP

녹색 GDP 또는 EDP는 기존의 국민소득 계정과 이에 포함 되지 않은 자연자원의 소모, 환경악화로 인한 비용 등을 고려한 개념이다. 2010년 기준 대한민국의 GDP는 약 913조원으로 나타났으나 녹색 GDP 산정을 위해서는 GDP에 포함되지 않은 환경손실액과 자연자산계정의 소모액을 포함하여야 한다. 자연자산의 가치평가를 위해 energy 분석법을 사용한 결과 대한민국은 2010년 기준 연간 지하수, 표토, 광물에 대해 각각 1조 9,800 억원, 2조 7,800 억원, 71조 8,400 억원 등 총 76조 6,000 억원에 해당하는 자연자산의 가치 손실이 발생하였다. 또한 환경악화로 인해 약 32조 9,000 억원의 비용이 지출되어 결국 대한민국의 2010년 녹색 GDP는 GDP의 88.0%에 해당하는 803조 5,000 억원으로 나타났다(Table 5 참조).

4. 결론

2010년 대한민국의 자연자산 가치 손실액 중 가장 큰 비율을 차지하는 항목은 광물자원의 손실이며, 에너지원과 광물 수입액은 전체 중간소비액의 절반 이상을 차지한다. 즉 에너지·광물의 소비가 전체 GDP와 녹색 GDP에서 큰 비율을 차지하고 있다. 따라서 녹색 GDP의 성장을 위해서는 신재생 에너지 사용, 광물 자원의 재활용 등 에너지·광물의 소비를 줄이는 방안이 필요하다.

2010년 현재 대한민국으로 유입된 에너지·광물의 수입 가격은 약 496 조원이다. 하지만 이 수입량의 자연

자산적 가치를 산정하면 약 657 조원으로 대한민국은 실제 가치의 75%의 금액만을 지불하고 있으며 이는 수출국 자산의 감소를 뜻한다. 단기적으로 우리나라의 입장에서는 이로울 수 있는 결과이지만 수출국 자연자산의 손실을 고려하지 않은 불균형적인 상호작용은 장기간 유지되기 어렵다. 따라서 전 지구적 규모의 녹색 GDP 산정 등을 통해 전체 시스템의 총 생산량이 지속 될 수 있는 방안을 찾아야 할 것이다.

대한민국은 3%대의 GDP 성장률을 보이고 있다. 다년에 걸친 녹색 GDP의 산정을 통해 녹색 GDP 또한 성장하고 있는지 분석할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음.

REFERENCE

- Kang, D. 2015, Emery evaluation of Korean economy and environment: Implications for the valuation of marine ecosystem services, *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy*, Vol 18, pp. 102-115.
- Kang, D., Nam, J. and Lee, S. M. 2006, Emery valuation of a tidal flat ecosystem in the southwestern coast of Korea and its comparison with valuations using economic methodologies, *Journal of the Environmental Sciences* Vol 15, pp. 243-252.
- Lee, S. M. and Odum, H.T. 1994, Emery analysis over-view of Korea, *Journal of the Environmental Sciences*, Vol 3, pp. 165-175.
- Korea Environment Institute, 1993, Feasibility studies on the development of environmental accounting system in Korea, 169.
- Korea Environmental Policy and Administration Society, 1999, *Environmental Policy*, Shinkwang publishing company, 965.
- Ministry of Environment, 2002, Study of preliminary construction and development for SEEA(System of environmental and economic accounts), 087638, 187.
- Ministry of Environment, 2003, Development of SEEA and estimation of Green GDP(I), 591.
- Ministry of Environment, 2004, Development of SEEA and estimation of Green GDP(II), 397.
- Ministry of Environment, 2007, A study on construction of infrastructure and application of SEEA(V), 261.
- Ministry of Environment, 2007, A study on construction of infrastructure and application of SEEA(VI), 278.
- Odum, H. T., 1996, *Environmental accounting*, John Wiley & Sons, New York, 370.
- UN, 2000, Integrated environmental and economic accounting - An operational manual, 244.
- UN, EC, IMO, OECD, and WB, 2003, Integrated environmental and economic accounting 2003, 572.
- UN, EC, IMO, OECD, and WB, 2012, System of environmental-economic accounting, Central framework, 306.
- UN Statistics Divisions, 2013, SEEA Application and extensions, 102.