

# 시스템 생태학적 접근법에 의한 한국의 지속적인 발전가능성 평가(Ⅰ)

- 한국의 자연환경과 경제활동에 대한 EMERGY 평가 -

이 석 모 · 손 지 호 · 강 대 석\*  
부경대학교 환경공학과 · 이화여자대학교 환경공학과  
(2000년 5월 31일 접수)

## Evaluation of Korea's Sustainable Development by the Systems Ecology(Ⅰ)

- EMERGY Analysis of Korea's Natural Environment and Economic Activity -

Suk-Mo Lee, Ji-Ho Son and Dae-Sok Kang\*

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

\*Department of Environmental Engineering, Ewha Woman University, Seoul 120-750, Korea

(Manuscript received 31 May, 2000)

Sustainable development has been the key concept, both in economic policies and in environmental management. On the basis of a systems ecology perspective, this study suggests the sustainable development of Korea's natural environment and economic activity using the EMERGY evaluation. The total EMERGY use(7,730 E20sej/yr) in Korea is 81 percent from imported sources, fuels and goods and services. The ratio of outside investment to attracting natural resources is already large, like other industrialized countries. Continued availability of purchased inputs at a favorable balance of EMERGY trade, currently about 2.85 to 1 net EMERGY, is the basis for present economic activity and must decrease as the net EMERGY of purchased inputs including fossil fuels goes down. EMERGY yield ratio and environmental loading ratio were 1.23 and 20.30, respectively. The population level is already in excess of carrying capacity. Its carrying capacity for steady state on its renewable sources is only 2.2 million people, compared to 45.9 million in 1997. EMERGY sustainability index is therefore less than one, which is indicative of highly developed consumer oriented economies. Until now the development of a country has been achieved by the economic growth, but it can be sustained in the long run by the use of renewable resource systems, the efficiency of energy usage, and the transformation of the social-economic structure based on an ecological-recycling concept.

Key words : EMERGY evaluation, Carrying capacity, EMERGY yield ratio, Environmental loading ratio, Sustainability index

### 1. 서 론

1970년대 지구적 차원의 에너지 부족, 인플레이션, 과도한 경제성장 그리고 환경 보전에 대한 관심 고조는 자연환경과 경제활동에 대한 지금까지의 양상과는 다른 새로운 인식 전환을 요구하였다.

1972년 「인간 환경 선언」, 1987년 환경과 개발에 관한 세계위원회의 「우리의 공동 미래」 보고서 출간, 그리고 1992년 「리우 환경 선언」 등에 의해 형성되고 있는 지속가능한 발전의 개념은 인류에게 요구되는 새로운 패러다임이다.

한국의 경우 환경에 대한 고려는 최근까지도 정부의 경제성장 우선 정책에 의해서 뒷전으로 밀려나 있었다. 이러한 결과로 산업화, 도시화, 그리고 인구집중을 수반한 경제성장은 여러 환경문제를 야기해오고 있다. 최근

들어 환경문제와 경제활동은 상호 모순된 과제가 아니며 국가 전체의 자연환경을 지속가능하게 이용할 수 있는 경제활동이야말로 국가의 복리를 지속가능하게 한다는 인식이 싹트고 있다.<sup>1)</sup>

전지구적 차원은 물론 국가의 지속적인 발전가능성은 에너지, 경제 그리고 환경(3E; Energy, Economics, Environment)을 하나의 시스템에서 파악하려는 노력에 의해 구체화될 수 있다. 특히 이들 간의 조화를 보다 더 잘 이해하기 위한 시도는 한국과 같이 급속한 경제성장을 경험한 국가에 있어 시급한 과제이다.<sup>2)</sup>

인류 문명을 지탱해주는 에너지, 경제, 그리고 환경을 하나의 시스템으로 파악하기 위한 접근법 중에서 시스템 생태학은 일반 시스템 이론과 생태학을 기초로 자연환경과 인간 경제활동의 근본적인 원리를 연구하는 분

야이다. 시스템 분석은 자연과 인간 시스템의 역할을 지배하고 있는 기본 원리를 탐구하는 것이며 이를 통하여 시스템의 구조를 분석하고 예상되는 여러 변화에 시스템이 어떻게 운영되어 나갈 것인지를 예측하는데 이용된다. EMERGY 분석법은 태양에너지를 포함한 자연 자원에 대하여 경제적 가치를 평가할 수 있고 역으로 화폐의 유통을 과학적이고 근본적인 공통의 척도로서 태양 EMERGY로 평가할 수 있다. 이러한 방식을 이용하여 Odum 등<sup>3-5)</sup>의 연구자는 자연환경의 역할과 경제활동을 동일한 가치 척도인 EMERGY로 평가하여 국가, 지역, 도시 등의 다양한 대상 시스템에 대한 연구를 수행하였다. 국내에서는 이러한 연구가 한국의 개관 평가,<sup>2)</sup> 1차 산업 분석,<sup>6,7)</sup> 댐의 건설 평가,<sup>8)</sup> 하천 유역 평가,<sup>9)</sup> 도시 평가<sup>10)</sup> 등에 적용되었다.

본 연구에서는 한국의 지속적인 발전가능성 평가의 일환으로 1997년 자료를 이용하여 한국의 자연환경과 경제에 대한 EMERGY 평가를 실시하였다. 이러한 평가를 통하여 경제활동이 기반이 되는 자연환경과 인간의 경제활동의 역할을 보다 잘 이해하게 될 것이며 자연환경을 지속적으로 이용할 수 있는 건전한 개발 정책을 수립할 수 있을 것이다.

## 2. 연구방법

### 2.1. EMERGY의 개념

지구 생태계에서 지속가능한 시스템은 각 부분이 에너지 전환 과정(Energy transformation)에 따라 계층구조(Hierarchy)를 형성하고, 자기 조직화 과정(Self-organization)을 통하여 보다 더 나은 기능적 합일체를 형성하려는 특성을 가지고 있다.<sup>11,12)</sup>

이러한 특성들을 파악하기 위해 Odum 등<sup>3,11)</sup>은 시스템의 원동력인 에너지, 물질, 그리고 각종 재화와 용역 등 각각이 가지는 실질적인 가치를 평가하기 위한 공통의 척도로서 EMERGY를 제안하였다.

EMERGY는 종래의 물리적 에너지와는 달리, 열역학 법칙의 지배를 받는 시스템의 계층구조적인 에너지 전환 과정에서, 하나의 생산물이 만들어지기까지 사용되어진 모든 에너지량을 동일한 단위로 평가하는 척도이다. 태양에너지원으로부터 시작하여 하나의 생산물이 만들어지기까지 사용되어진 모든 에너지량을 태양에너지량으로 나타내어, 이를 Solar EMERGY(sej)로 표현하였다.

그리고 어떤 에너지원의 단위 에너지량(1J)을 만들기 위해서 직·간접적으로 사용되어진 모든 에너지량을 태양에너지량으로 나타내고, 이를 Solar Transformity(sej/J)로 표현하였다.

따라서, 주요 에너지원의 실제 에너지량과 이 에너지원의 Transformity를 알게 되면, 주요 에너지원이 가지는 EMERGY를 평가할 수 있다.<sup>3)</sup>

## 2.2. EMERGY 평가법

### 2.2.1. 에너지 시스템 다이어그램 작성

첫째, 시스템의 특성을 결정하는 자연환경과 경제활동

등의 주요 에너지원, 생산활동, 소비활동, 저장고, 그리고 재순환 등의 상호관계를 포괄적으로 파악하기 위해 에너지 언어<sup>3)</sup>를 기초로 에너지 시스템 다이어그램을 작성한다.

둘째, 시스템 외부로부터 유입된 주요 에너지원, 그리고 대상시스템 내의 생산, 소비, 저장고, 그리고 재순환 항목을 파악한다.

셋째, 에너지 언어를 기초로 외부의 주요에너지원을 Solar Transformity 순으로 시스템 경계 외부의 원편에서 오른쪽으로 배열하고, 주요 에너지원으로부터 시작하여 내부의 생산, 소비, 저장고, 그리고 재순환과의 관계를 연결하여 다이어그램을 완성한다.

### 2.2.2. EMERGY 분석표 작성

시스템의 특성을 좌우하는 주요 에너지원의 실질적인 가치와 역할을 정량화하기 위해, Table 1의 EMERGY 분석표를 작성한다.

첫 번째 열에는 에너지 시스템 도해에서 파악된 주요 에너지원에 관한 항목을 기입한다. 두 번째 열에는 각 항목의 실제 에너지(J/yr), 물질(G/yr), 또는 화폐(\$/yr) 단위의 값을 각종 통계 자료로부터 산정한다.<sup>13)</sup> 세 번째 열에는 각 항목에 알려진 Transformity 값을 기입한다. 네 번째 열에는 각 항목의 실제 값에 대한 Transformity 값을 곱하여 EMERGY 값을 산정한다. 다섯 번째 열에는 주요 에너지원의 EMERGY 값을 EMERGY dollar ratio로 나누어 화폐로 환산된 가치를 기입한다.

Table 1. Tabular format of EMERGY analysis

Note	Item	Data Units (J,g,or\$)	Solar Transformity (sej/unit)	Solar EMERGY (sej/yr)	Em\$ (\$/yr)
(One line here for each source, process, or storage of interest.)					

### 2.2.3. EMERGY 지표 계산

EMERGY 분석표를 기초로, Fig. 1과 같이 주요 에너지원을 자연환경 에너지원(R), 보유된 재생불가능 에너지원(N), 그리고 외부로부터 수입한 재생 불가능 에너지원(F)으로 구분하여, EMERGY 지표를 계산한다.

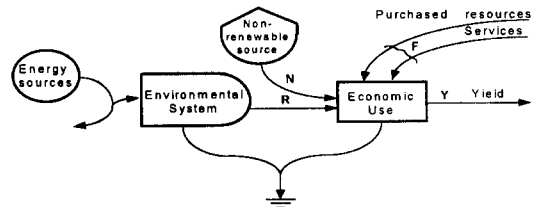


Fig. 1. EMERGY based indices, accounting for renewable EMERGY flow(R), flow from indigenous nonrenewable reserves(N), purchased inputs from outside the system(F), and yield from system(Y).

본 연구에서 시스템의 지속적인 발전가능성을 평가하기 위해 이용된 EMERGY 지표로는 전체 유입 EMERGY에 대한 영속성 에너지원이 차지하는 EMERGY 비율(%Renew), 시스템으로부터 생산된 생산물이 가지는 자원으로로서의 가치와 생산의 효율성을 나타내는 EMERGY 생산비(EMERGY yield ratio, EYR), 자연환경 활동에서 기인한 영속성의 에너지원에 대한 비영속성 에너지원의 유입율로서 자연환경에 대한 환경적 부하의 정도를 파악하는 환경부하율(Environmental loading ratio, ELR), 자연환경 에너지원의 EMERGY에 의존한 인구수용력(Renewable carrying capacity at present living standard, RCC), 선진국형의 EMERGY 투자가 유지된 상태에서의 인구수용력(Developed carrying capacity at present living standard, DCC), 그리고 EMERGY 생산비와 환경부하율의 비로서 계산되는 지속성 지수(Sustainability index, SI)는 지속성 지수의 값이 1보다 작으면, 지속적인 발전 가능성이 적은 시스템이고, 10보다 클 경우에는 지속적인 발전 가능성이 높은 시스템을 나타낸다. 이러한 각각의 지표에 대한 계산식은 다음과 같다.<sup>3)</sup>

$$\begin{aligned} \% \text{Renew} &= R / (R+N+F) * 100 \\ \text{EYR} &= Y / F \\ \text{ELR} &= (F+N) / R \\ \text{RCC} &= (R/U) * (\text{Population}) \\ \text{DCC} &= 8 * (R/U) * (\text{Population}) \\ \text{SI} &= \text{EYR} / \text{ELR} \end{aligned}$$

### 3. 결과 및 고찰

3.1. 한국의 자연환경과 경제활동에 대한 시스템 분석  
 한국의 자연환경과 경제활동을 포괄적으로 나타낸 다이어그램은 Fig. 2와 같다.

대한민국 시스템 경계내의 육지 면적은 99,330km<sup>2</sup>이며,<sup>13)</sup> 대륙붕 면적은 244,500km<sup>2</sup>에 이른다.<sup>14)</sup> 경계 외부로부터 태양, 바람, 비, 조석 그리고 파도와 같은 자연환경 에너지원에 의하여 기후는 4계절의 변화를 나타내며 덥고, 습한 여름과 건조하고, 추운 겨울이 있다. 평균 년강수량은 1,280mm/yr이며, 이 중에서 3분의 2에 해당하는 700~900mm가 6~9월에 집중되고 있다. 지형은 동고서저로 유로가 짧고 경사가 급하여 수자원 관리에 어려움을 겪고 있다.

내부의 광물자원은 금속광물로서 철, 금, 은, 납, 아연, 구리, 텅스텐 등이 있으나 매장량이 적고 경제성이 낮아, 외국에 비해 광물자원 부존량이 매우 빈약한 편이다. 1997년도 주요자원의 국내 자급도는 철광이 0.76%, 금 2.39%, 아연광 2.65% 수준이었고, 동광, 크롬, 알루미늄, 망간, 석유, 우라늄은 전량을 해외로부터 수입하고 있다. 비금속광물로서는 석회석, 고령토, 활석, 규석 등이 있다.

1997년 현재 한국의 1차 에너지 총 소비는 181백만 TOE이며, 연평균 증가율은 1983년에서 1997년까지 9.64%로 높은 증가를 보여왔다. 그러나 이러한 에너지

원의 부존량은 매우 빈약하여 에너지 수입의존도가 1987년 80.0%, 1997년 97.5%로 계속 증가하는 추세를 보였다.

한국의 교역량은 1962년의 약 5억 달러에서, 1997년에 약 2,808억 달러에 달하였고, 1997년 무역을 통한 수입액은 약 1,446억 달러, 수출액은 약 1,362억 달러였다. 세계의 평균 수출 증가율보다 빠르게 진행되었으며, 전 세계에 있어서 한국수출의 부담율은 1962년 0.04%에서 1997년 2.47%로 증가하였다.

주요 에너지원을 기초로 한 시스템 내부의 생산활동을 살펴보면, 농림수산업에 의한 국민총생산의 기여는 5.4%, 제조업, 광업, 제조업, 전기·가스 및 수도사업, 그리고 건설업을 포함하는 2차 산업은 국민총생산의 43.0%, 그리고 서비스업을 포함하는 3차 산업은 국민총생산의 49.6%를 구성하고 있었다.<sup>13)</sup> 일인당 국민총생산액은 1962년의 87 달러에서 1997년 10,307 달러까지 약 120배 가량 증가하였다.

경제활동으로부터 발생된 부산물(Byproduct)인 폐기물, 하·폐수, 대기오염물 등의 오염물질은 시스템의 재순환 과정에 의해 자연환경의 생산 활동을 촉진시키지 못하고, 오히려 매립, 하·폐수 처리, 그리고 소각 등의 형태로 환경적 비용을 유발하고 있다. 그리고 발전소에서 생산되는 전력과 용수는 도시에 이용되고 있으며, 군가 기관, 교육, 보건을 비롯하여 국가 방위를 위해 소비되고 있다.

한편, 1953년 휴전 이후 북한과 155마일 휴전선을 경계로 긴장 상태로 대치하고 있다.

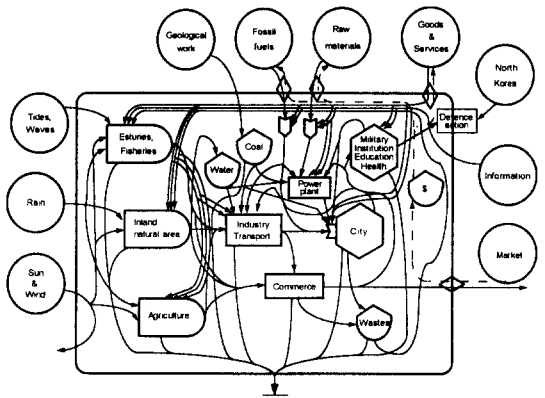


Fig. 2. Energy diagram of Korea showing the interplay of renewable, nonrenewable, and purchased energies that drive the economy.

### 3.2. EMERGY 평가에 의한 시스템의 특성

한국의 시스템 특성을 파악하는 자연환경과 경제활동에 관련된 주요 에너지원을 평가하기 위해서 1997년 한국의 통계자료<sup>13)</sup>를 이용하여 얻은 결과는 Table 2과 같으며, 주요 에너지원인 자연환경 에너지원과 교역과 교환을 통해서 유입되는 재생불가능 에너지원과의 비교 그래프는 Fig. 3과 같다.

Table 2. EMERGY flows of the Korea in 1997

Note	Item	Data Units (J,g,or\$)	Solar Transformativity (sej/unit)	Solar EMERGY (sej/yr)	Macro-economic value (\$/yr)
<b>RENEWABLE RESOURCES:</b>					
1	Sunlight	1.07E+21 J	1	1.07E+21	6.31E+08
2	Rain, chemical	1.96E+18 J	15444	3.03E+22	1.78E+10
3	Rain, geopotential	1.78E+17 J	10400	1.85E+21	1.09E+09
4	Wind, kinetic energy	1.63E+17 J	1496	2.44E+20	1.44E+08
5	Waves	1.58E+17 J	25889	4.08E+21	2.40E+09
6	Tide	2.54E+17 J	23564	5.99E+21	3.52E+09
7	Earth cycle	9.94E+16 J	34377	3.42E+21	2.01E+09
<b>INDIGENOUS RENEWABLE ENERGY:</b>					
8	Hydroelectricity	1.95E+16 J	1.59E+05	3.10E+21	1.82E+09
9	Agri. production	2.59E+17 J	2.00E+05	5.19E+22	3.05E+10
10	Livestock production	4.05E+15 J	2.00E+06	8.10E+21	4.77E+09
11	Fisheries production	8.07E+15 J	2.00E+06	1.61E+22	9.49E+09
12	Fuelwood production	1.55E+16 J	3.49E+04	5.42E+20	3.19E+08
13	Forest extraction	8.73E+16 J	3.49E+04	3.05E+21	1.79E+09
<b>NONRENEWABLE SOURCE USE FROM WITHIN SYSTEM:</b>					
14	Coal	1.31E+17 J	4.00E+04	5.23E+21	3.08E+09
15	Metallic minerals	6.66E+11 g	8.55E+08	5.70E+20	3.35E+08
16	Industrial minerals	1.01E+14 g	1.00E+09	1.01E+23	5.94E+10
17	Top soil	1.92E+16 J	7.40E+04	1.42E+21	8.36E+08
<b>IMPORTS AND OUTSIDE SOURCES:</b>					
18	Coal	1.44E+18 J	4.00E+04	5.78E+22	3.40E+10
19	Oil, crude	5.48E+18 J	5.30E+04	2.91E+23	1.71E+11
20	Petroleum products	1.19E+18 J	6.60E+04	7.88E+22	4.63E+10
21	Metallic minerals	4.08E+13 g	8.55E+08	3.49E+22	2.05E+10
22	Industrial minerals	5.12E+12 g	1.00E+09	5.12E+21	3.01E+09
23	Natural gas	6.17E+17 J	4.80E+04	2.96E+22	1.74E+10
24	Goods & Services	1.06E+11 \$	1.24E+12	1.32E+23	7.74E+10
<b>EXPORTS:</b>					
25	Goods & Services	1.36E+11 \$	1.62E+12	2.20E+23	1.42E+11

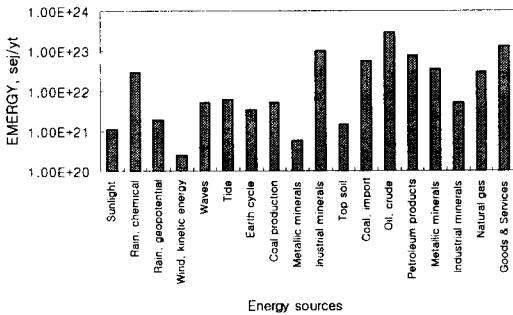


Fig. 3. EMERGY signature of each energy sources in Korea.

주요 에너지원의 실질적인 가치와 역할을 EMERGY 척도로 살펴보면, 교역에 의해 수입된 원유(2.91 E23 sej/yr), 석유제품(7.88 E22 sej/yr), 석탄(5.78 E22 sej/yr), 천연가스(2.96 E22 sej/yr)를 포함하는 연료물질은 4.57 E23 sej/yr이었고, 수입된 금속광물(3.49 E22 sej/yr)과 산업 원자재(5.12 E21 sej/yr)를 나타내는 원료물질은 4.00 E23 sej/yr, 그 외 수입된 각종 재화와 용역이 1.32 E23 sej/yr이었으며, 내부의 비금속광물은 1.01 E23 sej/yr이었고, 강우는 3.03 E22 sej/yr, 조석은 5.99 E21 sej/yr, 그리고 국내에 보유된 석탄은 5.23 E21

sej/yr 순으로 기여가 큰 것으로 나타났다.

이러한 주요 에너지원을 Table 3과 Fig. 4와 같이 자연환경 에너지원(강우, 조석), 재생불가능 에너지원(수입된 연료물질과 원료물질, 수입된 재화와 용역), 그리고 보유된 재생불가능 에너지원(내부의 비금속광물, 국내 보유 석탄)으로 요약하였으며, 내부의 생산과 저장량은 고려하지 않았다.

자연환경 에너지원의 EMERGY 점유율은 Fig. 5와 같이 전체의 5%, 내부 시스템에 보유된 재생불가능 에너지원의 EMERGY는 14%, 외부로부터 유입된 재생불가능 에너지원인 화석연료와 원료물질이 가지는 EMERGY는 64%, 그 외 수입된 재화와 용역 형태가 차지하는 EMERGY는 17%의 기여를 나타내었다. 이러한 결과는 한국의 경제활동은 자연환경 에너지원과 내부에 보유된 재생불가능 에너지원보다는 교역을 통해 수입된 재생불가능 에너지원에 의존하는 산업화된 국가의 특성을 보여준다.

Table 3. Summary flows for the Korea in 1997

Letter in Fig. 4	Item	Numerical value
R	Renewable sources used, sej/yr	3.63E+22
N	Nonrenewable sources flow from within Korea, sej/yr	1.08E+23
F	Imported minerals and fuels, sej/yr	4.97E+23
P2I	Imported goods and services, sej/yr	1.32E+23
I	Dollar paid for imports, \$/yr	1.45E+11
E	Dollar paid for exports, \$/yr	1.36E+11
P1E	Exported goods and services, sej/yr	3.52E+23
X	Gross national product, \$/yr	4.77E+11
P2	Ratio EMERGY to dollar of imports (sej/\$)	1.24E+12
P1	Ratio EMERGY to dollar within the country and for its exports, sej/\$	1.62E+12

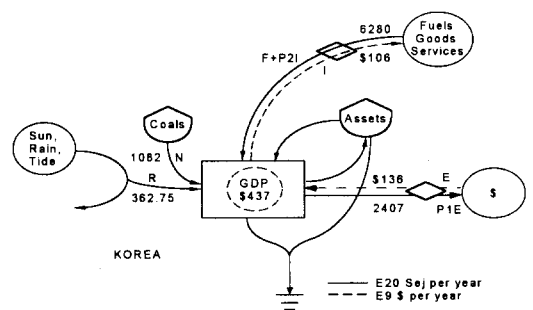


Fig. 4. Overview of the Korea system.

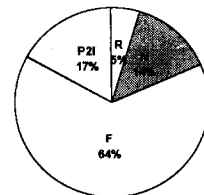


Fig. 5. Contribution of EMERGY from renewable sources, fossil fuel and electricity, and goods and services.

한 국가에서 1년간 사용된 전체 EMERGY 양을 국내 총생산액(GDP)으로 나눈 EMERGY dollar ratio는 자연환경의 가치와 경제활동의 가치를 동시에 포함하고 있으며, 한국은 1997년 1.62 E12 sej/\$의 값을 나타내고 있었다.

일반적으로 저개발국은 적은 GDP에 비해 상대적으로 많은 EMERGY 양을 보이기 때문에, EMERGY dollar ratio는 선진국의 경우보다 크다. 따라서 선진국은 자유무역 체제내의 국가간 교역에서 동일한 화폐로 더 많은 자연의 역할과 가치를 가진 생산물을 저개발국으로부터 구매하게 된다. 한국은 교역을 통해 2.85배의 EMERGY 이득을 얻고 있었다.

3.3. EMERGY 지표를 통한 지속적인 발전가능성 평가

한국의 자연환경과 경제활동에 대한 지속적인 발전가능성을 평가하기 위해 자연환경 에너지원의 EMERGY 점유율을 Table 4에서 살펴보면, 1997년 현재 5% 이었다. Table 5와 같이 PNG(86.8%), 에콰도르(50.1), 태국(50.0), 멕시코(22.7), 미국(10.4), 이태리(9.57), 대만(9.95) 등의 연구결과<sup>15)</sup>와 비교하면 낮은 비율을 나타내고 있어 내부의 자연자원에 의존하기보다는 외부와의 교역에 기초하여 국가의 경제적 성장이 좌우될 것으로 판단되었다.

Table 4. Indices using EMERGY for overview of the Korea

Name of Index	Expression	Value
Renewable EMERGY flow	R	3.63E+22
Flow from indigenous nonrenewable reserves	N	1.08E+23
Flow of imported EMERGY	F+P2I	6.28E+23
Total EMERGY inflow	R+N+F+P2I	7.73E+23
Total EMERGY used	U=N+R+F+P2I	7.73E+23
Total exported EMERGY	PIE	2.20E+23
Fraction of EMERGY used derived from home sources	(N+R)/U	0.19
Imports minus exports	(F+P2I)-PIE	4.08E+23
Ratio of imports to exports	(F+P2I)/PIE	2.85
Fraction used, locally renewable	(R/U)*100	5.00
Fraction of EMERGY used purchased imports	(F+P2I)/U	0.81
Use per unit area (9.94 E10 m <sup>2</sup> )	U/(area)	7.77E+12
Use per capita (4.599 E7 people)	U/(population)	1.68E+16
Renewable carrying capacity at present living standard	(R/U)*(population)	2.16E+06
Developed carrying capacity at present living standard	8(R/U)*(population)	1.73E+07
EMERGY to money ratio	P1=U/GNP	1.62E+12
Environmental loading ratio	(N+F+P2I)/R	20.30
EMERGY yield ratio	U/(F+P2I)	1.23
SI	EYR/ELR	0.06

Table 5. EMERGY indices of national economies

Country	% Renew	EYR	ELR	SI
PNG (1987) <sup>a)</sup>	86.8	22.8	0.15	152
Ecuador (1986)	50.1	15.5	1.0	15.48
Thailand (1984)	50.0	3.1	1.0	3.14
Mexico (1989)	22.7	5.7	3.4	1.66
USA (1983)	10.4	4.2	8.6	0.48
Italy (1989)	9.57	1.6	9.5	0.17
Taiwan (1990)	9.95	1.4	9.0	0.16

\* PNG : Papua New Guinea

그리고 국가 시스템의 생산성을 의미하는 EMERGY 생산비를 살펴보면, 한국의 경우 1.23으로 기존의 평가가 이루어진 국가와 비교하여 낮은 생산성을 나타내었다. 환경부하율에서는 한국의 경우 20.30으로 국가의 자연환경과 경제활동이 자연환경 에너지원에 의존한 활동보다는 환경오염을 유발할 수 있는 화석연료, 각종 원료 물질 등과 같은 재생불가능 에너지원에 의존하고 있어 자연환경에 대한 압박이 큰 것으로 파악되었다.

한국의 경우 97년 현재 일인당 EMERGY 소비 수준이 1.68 E+16 sej/person이며, 이러한 현재의 소비 수준을 자연환경 에너지원에만 의존하여 부양할 경우 인구 수용력은 216 만명으로 평가되었다. 그리고 자연환경 에너지원과 함께 외부로부터의 EMERGY 수입이 선진국 수준인 7대 1로 유지될 때, 수용 가능한 인구는 1,703 만명으로 나타났다. 이상에서 한국의 인구수용력은 개발도상국이 지향하고자 하는 국가 모델인 선진국의 인구수용력에 비해 2.66배나 높은 것으로 나타났으며 이러한 과다한 인구를 부양하기 위해서는 내부 자원이 부족한 한국의 경우 보다 많은 외부로부터의 EMERGY 유입을 필요로 한다. 그러나 이와 같은 외부로부터의 EMERGY 유입은 오히려 자연환경에 압박을 가중시키고, 화석연료를 비롯한 자원의 고갈이 예상되는 미래에 있어 지속가능한 부양을 힘들게 할 수 있다.

따라서 현재 세대와 더불어 미래 세대의 복리를 지속가능하게 하기 위해서는 에너지원의 효율적인 이용, 에너지 소비 수준의 축소, 그리고 자연환경 에너지원에 대한 의존도가 큰 시스템으로 구조를 개선해 가는 노력 등 다각적인 방안 모색이 요구된다. 지속성 지수를 살펴보면, 한국의 경우 0.06으로 낮은 자연환경자원의 점유율과 EMERGY 생산비 그리고 높은 환경부하율에 기인하여 지속적인 발전가능성이 아주 낮게 평가되었다.

5. 결 론

EMERGY 분석법에 의하여 한국의 자연환경과 경제활동에 대하여 지속적인 발전가능성을 평가한 결론은 다음과 같다.

1. EMERGY 평가에 기초하여 살펴보면, 한국의 경우 자연환경 에너지원의 EMERGY 점유율은 전체의 5%, 내부 시스템에 보유한 재생불가능 에너지원의 EMERGY는 14%, 외부로부터 유입된 재생불가능 에너지원인 화석연료와 원료물질이 가지는 EMERGY는 64%, 그 외 수입된 재화와 용역 형태가 차지하는 EMERGY는 17%의 기여를 나타내어, 한국의 경제활동은 자연환경 에너지원과 내부에 보유한 재생불가능 에너지원보다는 교역을 통해 수입된 재생불가능 에너지원에 의존하는 산업화된 국가의 특성을 나타내었다. 그리고 시스템의 생산활동에 필요한 주요 에너지원의 교역에 있어 한국은 2.85배의 EMERGY 이득을 얻고 있었다.

2. 한국의 자연환경과 경제활동에 대한 지속적인 발전가능성을 평가에서 EMERGY 생산비는 1.23, 환경부하율은 20.3, 한국의 인구수용력은 개발도상국이 지향하고자 하는 국가 모델인 선진국의 인구수용력에 비해

2.66배 높은 것으로 그리고 지속성 지수는 0.06으로 나타나 낮은 자연환경자원의 점유율과 EMERGY 생산비 그리고 높은 환경부하율에 기인하여 지속적인 발전가능성이 아주 낮게 평가되었다.

3. 한국의 자연환경과 경제활동은 교역으로부터 수입된 에너지원에 의존하여 유지되고 있었다. 그러나 화석연료를 비롯한 자원의 고갈이 예상되는 미래에 있어 이러한 에너지원에 의존한 시스템은 지속적인 발전가능성이 힘들 것으로 판단되었다. 따라서 현재 세대와 미래 세대의 지속적인 발전가능성을 위해서는 에너지원의 효율적인 이용, 에너지 소비 수준의 축소, 그리고 시스템 구조를 보다 더 자연환경 에너지원에 의존하는 환경친화적 구조로의 전환 등과 같은 다각적인 노력이 요구된다.

참 고 문 헌

- 1) 이정전, 1998, 지속가능한 사회와 환경, 박영사, 285pp.
- 2) Lee, S. M. and H. T. Odum, 1994, EMERGY analysis overview of Korea, J. of the Korean Env. Sci. Soc. 3(2). 165~175.
- 3) Odum, H. T., 1996, Environmental Accounting, EMERGY and Environmental Decision - Making, Wiley, New York., 370pp.
- 4) Campbell, D. E., 1998, EMERGY analysis of human carrying capacity and regional sustainability : an example using the state of maine, Environmental Monitoring and Assessment, 51, 531~569.
- 5) Brown M. T. and S. Ulgiati, 1997, EMERGY - based indices and ratios to evaluate sustainability : monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation, Ecological Engineering, 9, 51~69.
- 6) 손지호, 신성교, 조은일, 이석모, 1996, 한국 수산업의 EMERGY 분석, 한국수산학회, 29권 5호, 698~700.
- 7) 엄기혁, 손지호, 조은일, 이석모, 박청길, 1996, EMERGY 분석법에 의한 특량만의 환경용량 산정, 한국수산학회, 29권 5호, 629~636.
- 8) 강대석, 박석순, 1999, 에머지(EMERGY) 개념을 이용한 다목적댐 건설의 생태경제학적인 평가방법에 관한 연구, 환경영향평가학회지, 8권 2호, 45~51.
- 9) 김진이, 손지호, 김영진, 이석모, 2000, 낙동강 유역의 지속가능한 이용을 위한 EMERGY 분석, 한국환경과학회, 9권 1호, 49~55.
- 10) 손지호, 1999, EMERGY 분석법에 의한 도시의 지속적인 발전가능성 평가, 부경대학교 대학원 환경공학과 박사학위 논문, 141pp.
- 11) Odum, H. T., E. C. Odum, M. T. Brown, D. LaHart, C. Bersok, J. Sendzimir, G. B. Scott, D. Scienceman and N. Meith, 1988, Environment Systems and Public Policy, Ecological Economic Program, Phelps Lab, University of Florida, Gainesville, 253pp.
- 12) Odum, H. T., 1994, Ecological and General Systems, The University Press of Colorado, 644pp.
- 13) 통계청, 1998, 한국통계연감, 제 45호, 765pp.
- 14) 국립수산진흥원, 1993, '93년 연근해어업자원의 동향, 수산자원조사보고 제14호, 93~107.
- 15) Ulgiati S. and M. T. Brown, 1998, Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems, Ecological Modelling, 108, 23~36.