

## Emergy 분석법에 의한 제조업의 환경친화성지수 개발

제 윤 미 · 이 석 모\*

부경대학교 환경공학과 · \*부경대학교 생태공학과  
(2003년 11월 27일 접수; 2004년 4월 6일 채택)

## Development of Environmental Responsibility Index for the Manufacturing Industry by Emergy Analysis

Yun Mi Jea and Suk Mo Lee\*

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

\*Department of Ecological Engineering, Pukyong National University Busan 608-737, Korea

(Manuscript received 27 November, 2003; accepted 6 April, 2004)

Emergy is a measure of the processes required to produce something expressed in units of the same energy form. Emergy based indices can provide insights into the thermodynamic efficiency of the process, the quality of its output, and the interaction between the process and its surrounding environment. However, in an industrial system, the inputs are mostly nonrenewable, renewable energy source is nearly zero, ultimate purpose is pursuit of profits in economic activity. In study, we present two indices based on emergy - EEE(Ecological Economic Efficiency) and ERI(Environmental Responsibility Index). The EEE is taken into account real value of product in market economy. The ERI is shown to be a function of the net yield of the economy, its 'load' on the environment and ecological economic efficiency. Manufacturing industry of Korea produced the 30% of total GDP in 2001. We applied these indices to manufacturing industry for environmental management and further sustainable industry. As a results, the highest ERI is 0.34 in recycling industries, the lowest ERI is 0.01 in coke, refined petroleum products which is dominated by ELR. The higher ERI, the more friendly to environment. The suggested indices help us understand relative contributions of various alternatives in company's production and consumption activity, and provide a tool of decision-making for the rearrangement of future industries. Furthermore, they contribute to environmental friendly operation and consumption.

Key Words : Emergy analysis, Environmental responsibility index, Manufacturing industry

### 1. 서 론

삶의 질과 환경에 대한 시민의 관심이 고조되고 녹색 소비주의가 대두됨에 따라 소비자에 의한 제품의 환경친화성이 요구되고 있다. 이에 따라 기업의 환경경영에 대한 논의는 실천단계에 접어들고 있으며, 우리 정부 역시 환경친화적 산업구조 및 기술개발에 관한 법령을 제정·공포하여 이에 대한 많은 투자 및 과학 기술 평가방법의 개발에 관한 연구가 이루어지고 있으나 과학적 범주의 한계 및 적

용상의 한계때문에 경제 및 산업활동과 그것의 근간이 되는 환경의 역할 및 부하 정도를 통합적으로 판단하기에는 미흡한 실정이다.

시스템 생태학은 자연환경과 경제활동을 하나의 시스템으로 파악하는 시스템 접근법(system approach)으로 많은 연구자들에 의해 활발히 연구되고 있는데, Odum<sup>1)</sup>은 1962년 이후 에너지 언어를 생태계 시스템의 분석, 합성 그리고 시뮬레이션에 이용하고 있으며, 자연환경과 경제활동을 하나의 시스템에서 공통의 척도로 평가하는 emergy 개념을 이용하여 농업, 임업 그리고 수산업의 기여도, 국가의 자연환경과 경제활동에 대한 통합 평가, 국가간 무역의 emergy 손익평가 등에 대한 연구 결과를 발표하

Corresponding Author : Suk Mo Lee, Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea  
Phone : +82-51-620-6441  
E-mail : leesm@pknu.ac.kr

였다. 국내에서는 Lee and Odum<sup>2)</sup>이 energy 분석법을 통해 한국의 자연환경과 경제활동을 하나의 시스템으로 평가하였으며, 손지호 등<sup>3)</sup>과 임기혁 등<sup>4)</sup>이 수산업과 양식업에 대한 energy 평가를 수행하였다. 또한 손지호<sup>5)</sup>는 energy 분석법에 의한 도시의 지속적인 발전가능성 평가를 하였으며, 강대석과 박석순<sup>6)</sup>은 energy 개념을 이용한 다목적 댐 건설의 생태경제학적인 평가방법에 관한 연구를 수행하였다.

산업활동에 관련해서는 Brown 등<sup>7-9)</sup>이 자원 및 자원의 재활용, 산업활동으로 인한 환경부하량 산정 등에 관한 연구가 이루어졌으며, Bargigli and Ulgiati<sup>10)</sup>에 의해 철강을 대상으로 산업에 대한 평가법의 비교에 관한 연구도 이루어져 있다. 그러나, 과학적인 환경경영을 도모하여 친환경적인 산업구조 및 산업형태를 이루기 위한 산업의 환경친화성에 대한 평가는 이루어지지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 국내 총생산의 30% 이상을 차지하는 제조업을 대상으로 첫째, 자연환경자원의 역할과 인간경제활동에 대한 모든 요소를 하나의 공통척도로 평가하는 energy 분석법을 이용하여 산업의 현황을 평가하고 둘째, 자연환경자원 및 화석연료와 같은 구매자원 그리고 기업의 궁극적인 목표인 경제적 수익성을 고려하여 생태효율성을 평가할 수 있도록 energy에 기초한 지수들을 이용하여 기업의 환경친화성 지수(Environmental Responsibility Index, ERI)를 개발하였다. 셋째, 개발된 환경친화성 지수를 국내의 제조업에 적용하여 평가하고, 타 산업과 비교를 통한 제조업의 지속적인 발전을 위한 정책방향을 제안하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. Energy 분석법

시스템 생태학(systems ecology)은 지구의 환경 문제를 국지적인 차원의 지역적 문제나 개별적인 산업 또는 기술의 문제로만 인식하지 않고 하나의 통합된 시스템으로 파악하고, 시스템 내의 생물군과 그 주변환경의 유기적인 관계와 상호 작용을 체계적이고 정량적으로 파악하는 학문으로, energy 분석법은 이에 기초를 두고 있다<sup>11)</sup>. Energy는 종래의 물리적 에너지량에 대한 척도와는 달리, 열역학적 법칙의 지배를 받는 시스템의 계층 구조적인 에너지 전환과정에서, 하나의 생산물이 만들어지기까지 사용되어진 모든 에너지량을 동일한 단위로 평가하는 척도로 정의되며, 태양에너지원으로부터 시작하

여 하나의 생산물이 만들어지기까지 사용되어진 에너지량을 태양에너지량으로 나타내어, 이를 solar energy (sej, solar emjoules)로 표현한다. Energy는 다양한 에너지들 사이에 일을 할 수 있는 능력이 다르다는 점을 강조하며, 이는 에너지질의 척도로서 어떤 형태의 에너지 1 joule을 만들기 위해서 직·간접적으로 소모된 에너지 양으로 정의되는 transformity의 개념으로 표현한다. 이를 계산하기 위해 시스템 내에서 태양에너지로부터의 전환 정도를 나타내는 solar transformity가 사용된다. 단위는 solar emjoules per joule(sej/J)로 표현된다<sup>12)</sup>.

따라서, 주요 에너지원의 실제 에너지량과 이 에너지원의 solar transformity를 알게 되면, 주요에너지원이 가지는 solar energy를 평가할 수 있다<sup>13)</sup>.

### 2.2. 에너지 시스템 다이어그램 작성

본 연구의 대상 시스템인 국내 제조업의 특성을 결정하는 자연환경과 경제, 사회활동을 하나의 시스템으로 파악할 수 있도록 에너지 언어를 이용하여 에너지 시스템 다이어그램 작성한다.

시스템을 분석하여 에너지원을 비롯한 생산, 소비 등의 과정을 파악하여 에너지 언어를 기초로 각 항목들을 solar transformity 순으로 배열하고 항목별 관계를 에너지 흐름으로 연결하여 다이어그램을 완성한다.

### 2.3. Energy 분석표 작성

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

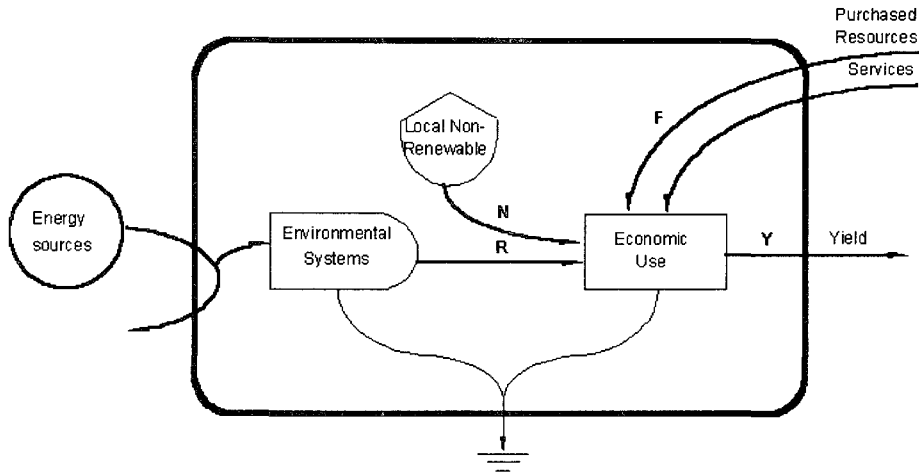
첫번째 칼럼에는 에너지 시스템 다이어그램에서 파악된 주요 에너지원에 관한 항목을 기입한다. 두번째 칼럼에는 각 항목의 실제 에너지(J/yr), 물질(g/yr), 또는 화폐(W/yr) 단위의 값을 각종 통계자료로부터 산정한다. 세번째 칼럼에는 각 에너지원에 대한 기존의 연구에 의해 산출된 solar transformity 값을 기입한다<sup>12)</sup>. 네번째 칼럼에는 두번째 칼럼의 자료에 solar transformity 값을 곱하여 solar energy 값을 산정한다. 다섯번째 칼럼에는 주요 에너지원의 solar energy 값을 한국의 총 energy 사용량과 GDP의 비인 Emwon ratio로 나누어 화폐단위로 환산된 실질적 가치를 기입한다<sup>12)</sup>.

### 2.4. Energy 지수 산정

Energy 분석표를 기초로, Fig. 1과 같이 주요 에

Table 1. Tabular format for energy evaluation

No.	Item	Value (J, g, or ₩)	Solar transformity (sej/unit)	Solar energy (sej/yr)	Macroeconomic values (Emwon/yr)
(one line here for each source, process, or storage of interest)					



$$\begin{aligned}
 \text{Yield (Y)} &= R + N + F \\
 \% \text{Renew.} &= R / (R + N + F) \\
 \text{Emergy Yield Ratio (EYR)} &= Y / F \\
 \text{Environmental Loading Ratio (ELR)} &= (F + N) / R
 \end{aligned}$$

Fig. 1. Emergy based indices accounting for local renewable energy inputs (R), local nonrenewable inputs (N), and purchased inputs from outside the system (F).

너지원을 자연환경 에너지원(R), 재생불가능한 보유 자원(N), 그리고 외부로부터 유입된 구매 에너지원(F)으로 구분하여, emergy 지수를 산정한다<sup>17,18)</sup>. 본 연구에서는 시스템의 특성을 파악하고, 환경친화성 지수를 도출함에 있어서 고려되어야 할 지수로서, 대상 시스템에 유입되는 에너지원의 전체 emergy양에 대한 자연환경 에너지원의 점유율(% Renew), 시스템으로부터 생산된 생산물이 가지는 전체 emergy양을 경계 밖으로부터 유입된 구매자원의 emergy 양으로 나눈 emergy 생산비(Emergy Yield Ratio, EYR), 시스템내의 자연환경 에너지원에 대한 재생불가능한 보유자원과 구매자원의 이용률을 의미하는 환경부하율(Environmental Loading Ratio, ELR)가 있다.

### 3. 환경친화성 지수(ERI)의 개발

기업의 환경친화성 평가를 위해 우선 기업 본연의 목적인 이윤추구를 고려하여 시장경제적 이윤을 emergy 개념으로 표현한 생태경제성 지수(Ecological Economic Efficiency, EEE)를 정의한다.

생태경제성 지수는 시스템에 의해 생산된 생산액(Gross Output, G.O.)에 Emwon ratio ( $Y_T / GDP$ )을 곱하여 시장경제적 화폐 가치를 emergy로 나타낸 Gross Output Emergy(G.O.E.)를 시스템 내부로 유입된 총 emergy량( $Y_s$ )으로 나눈 값이다. 이는 제품의 생산에 이용된 단위 emergy 당 생산된 제품의

시장경제적 가치의 비를 나타내며, 생산된 제품의 실질적인 가치가 시장 경제에서 얼마만큼 인정되고 있는지를 평가한다.

$$\begin{aligned}
 G.O.E &= \frac{G.O. \times Y_T}{GDP} \\
 EEE &= \frac{G.O.E.}{Y_s}
 \end{aligned}$$

여기서,  $Y_T$ : 국가전체의 사용된 emergy  
 $Y_s$ : 대상시스템의 사용된 emergy

기업의 환경친화성(ERI, Environmental Responsibility Index)은 생산성(EYR), 환경부하율(ELR), 생태경제성(EEE)의 함수로 정의할 수 있으며, 이는 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$ERI = f(EYR, ELR, EEE)$$

기업에서 emergy 생산비가 1보다 작다면 외부로부터 유입된 emergy보다 생산된 emergy가 더 적으므로, 기업의 정의에 의해 존재하지 않을 것이며, 1보다 크다면 구매된 자원의 순 기여도가 있어 기업을 지속시킬 수 있다. 따라서, 기업활동은 emergy 생산비(EYR)와 정(+)의 관계를 가진다. 두 번째로, 생산공정이 극도의 환경부하를 일으킨다면, 기업의 환경적 제제가 강화되고 있는 상황에서 장기간의 경쟁력을 가지고 산업이 지속되지는 못할 것이므로, 환경부하율(ELR)과는 부(-)의 관계를 가진다.

마지막으로, 기업의 생산활동에 의해 생산된 제품은 시장경제를 통해 판매되는데, 제품 생산에 소비된 단위 energy 당 생산된 제품의 경제적 energy가 크다면, 생산공정의 효율성과 함께 시장경제적이유이 커 기업의 경쟁력을 크게 증가시킬 것이다. 따라서, 생태경제성과는 정(+의 관계를 가진다. 이를 고려하여 수식으로 표현하면, 다음과 같다.

$$ERI = 1000 \frac{Y_s}{F} \times \frac{R}{F+N} \times \frac{G.O.E.}{Y_s}$$

$$= 1000 \frac{R \times G.O.E.}{F(F+N)}$$

수식의 비례상수로 적용된 1000은 지수의 심진화를 위해 곱해진 것이다.

즉, 기업의 환경친화성은 자연환경에 의존할수록 그리고 단위 energy 당 경제적 energy의 비가 클수록 친화성이 높고, 구매자원이나 시스템 내부의 화학석연료에 의존할수록 친화성이 낮음을 알 수 있다.

#### 4. 국내제조업에 대한 적용

##### 4.1. 제조업의 현황

국내 제조업종의 자연환경과 경제활동에 대한 일반적인 에너지 시스템 다이어그램은 Fig. 2와 같다. 본 연구의 시스템 경계로서 공간적으로는 산업활동이 이루어지는 사업체의 전체 부지면적을, 시간적으로는 2001년도를 기준으로 하여 평가하였다<sup>14~20</sup>.

주요 에너지원을 기초로 한 시스템의 구조를 살펴보면, 시스템 외부로부터는 자연환경활동에서 기인한 태양, 바람, 비, 지질작용과 같은 자연환경에

너지원과 경제활동을 통한 공업용수를 비롯하여 각 제조업종별 생산품에 따라 달라지는 원재료, 그리고 생산활동에 필요한 연료 및 노동력, 기자재 등이 유입되고 있다. 시스템 내부에는 외부 자원에 의한 생산시스템과 그로 인한 자본의 축적 및 부산물의 처리 등으로 이루어져 있으며, 이 내부의 시스템은 외부의 자연환경활동으로부터 유입되어 간접적으로 이용되는 태양, 바람, 비 등과 재료, 연료 및 노동력 등을 이용한 생산 기능이 이루어지고 있다. 이 시스템은 구조적 측면에서 볼 때, 자기 조직화된 생태계에서 나타나는 생산, 소비, 재순환의 구조가 이루어지지 않으며, 발생된 부산물은 생태적 재순환 과정을 통하여 자연적으로 이용되지 못하고, 소각, 대기 확산, 하·폐수처리 등의 과정을 통해 자연환경에 유입되어 환경오염을 유발하고 있다.

#### 4.2. Energy 분석결과

##### 4.2.1. 국내 총 제조업

국내 총 제조업을 유지시켜주는 자연환경과 경제활동의 주요 에너지원을 물리·화학적 에너지 및 energy 단위로 계산한 결과는 Table 2, Fig. 3과 같다. Energy 분석에서는 주요 에너지원을 자연환경 에너지원(R), 재생불가능한 보유자원(N), 그리고 외부로부터 유입된 구매자원(F)으로 구분하며, 자연환경 자원의 경우 동일 에너지원에 의한 이중산정(double counting)을 피하기 위하여 자연환경자원 중 가장 큰 energy 유입량을 계산한다<sup>12</sup>.

본 연구에서는 대상 시스템 영역을 사업체 면적으로 하였기 때문에 시스템 내의 재생불가능한 보유

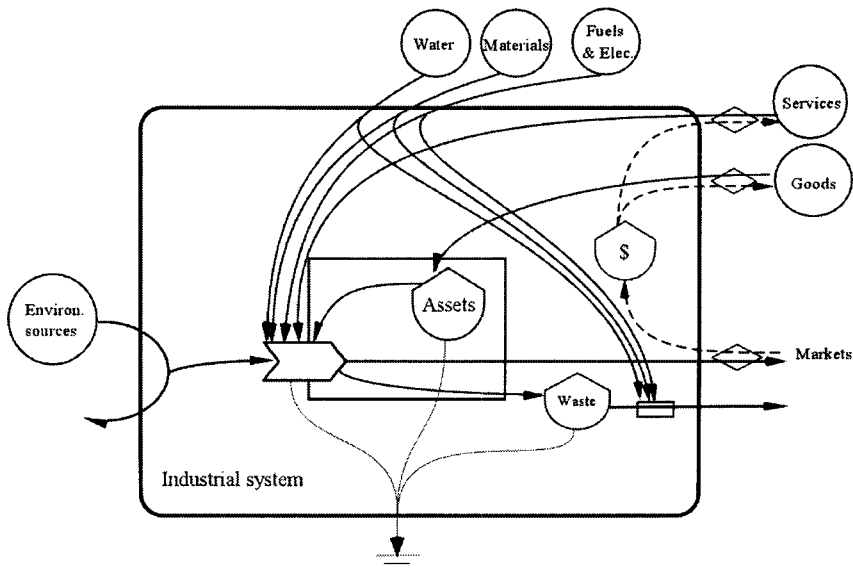


Fig. 2. Diagram of energy flows in industrial system.

Table 2. Emergy evaluation of resource basis for manufacturing industry in Korea

No.	Item	Value (J, ₩)	Solar transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic values (EmWon/yr)
<b>ENVIRONMENTAL INPUTS (R)</b>					
1.	sunlight	1.63E+18 J	1	1.63E+18	1.04E+09
2.	wind, kinetic	1.00E+16 J	1,496	1.50E+19	9.57E+09
3.	rain, chemical	3.38E+15 J	18,199	6.15E+19	3.91E+10
4.	earth cycle	5.12E+14 J	34,377	1.76E+19	1.12E+10
<b>Total</b>				<b>6.15E+19</b>	<b>3.91E+10</b>
<b>PURCHASED INPUTS(F)</b>					
5.	water supply	2.14E+16 J	48459	1.03E+21	6.59E+11
6.	coal	6.83E+17 J	4.00E+04	2.73E+22	1.74E+13
7.	natural gas	3.20E+17 J	4.80E+04	1.53E+22	9.77E+12
8.	oil	1.66E+18 J	6.60E+04	1.09E+23	6.97E+13
9.	electric power	4.73E+17 J	1.65E+05	7.81E+22	4.97E+13
10.	services	9.27E+13 ₩	1.57E+09	1.46E+23	9.27E+13
11.	goods	3.45E+14 ₩	1.57E+09	5.42E+23	3.45E+14
<b>Total</b>				<b>9.18E+23</b>	<b>5.85E+14</b>

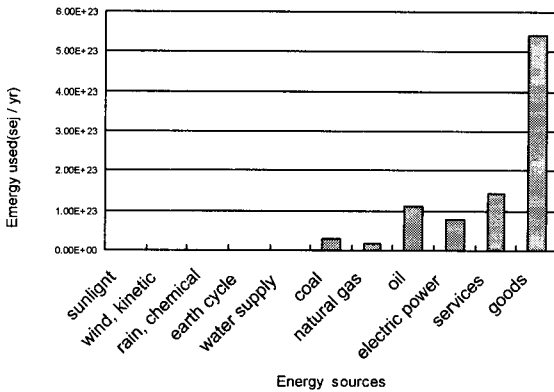


Fig. 3. Energy signature of each energy source in manufacturing industry.

자원은 없다. 그리고 외부로부터 유입되는 구매자원은 화석연료와 전기 그리고 재화와 용역의 emergy 유입량 등을 모두 합하여 계산하였다.

국내 총 제조업의 emergy 분석을 통한 각 에너지원의 실질적인 기여 측면에서 살펴보면, 자연환경 활동에서 기인한 에너지원의 경우, 강우로부터 6.15E+19sej/yr로 기여도가 가장 높은 것으로 평가되었다. 생산활동에 직접적으로 유입되는 에너지원의 양은 매년 유형자산의 증감을 통한 생산시스템 자산비용 (4.19E+22sej/yr)과 생산 원재료(5.00E+23sej/yr)의 합으로 5.42E+23sej/yr로서 유입되는 총 emergy 양의 약 60%를 차지하고 있다.

분석결과를 볼 때, 1960년대 산업화가 시작되면서, 1970년대와 1980년대를 거쳐 중화학공업화 및 수출

드라이브 정책을 통한 성장 우선 정책으로 경제성장을 이루었던 우리나라의 자원 집약적이고 노동 집약적인 산업구조의 특성이 그대로 드러나 있음을 알 수 있다<sup>21)</sup>(Fig. 3).

#### 4.2.2. 중분류에 의한 제조업

중분류에 따른 한국의 각종 제조업의 emergy 분석결과에 따른 각종 지표는 Table 3과 같다. 각 제조업종별로 총 emergy 사용량 및 생산량의 크기를 비교해 보면 화학물 및 화학제품 제조업이 1.39E+23sej/yr로 가장 많고, 다음으로 코크스·석유정제품 및 핵연료 제조업(9.94E+22sej/yr), 그리고 제1차 금속산업(9.43E+22sej/yr)순으로 나타났다.

총 emergy 생산량(Y) 중 영속성 에너지원(R)에 의한 기여율은 모든 업종에서 0.03% 이하였으며, 재생용 가공원료 생산업이 0.03%로 비교적 높게 나타났다. 외부로부터 유입되는 구매자원이 모든 업종에서 99.97% 이상을 차지하고 있어, 가공생산공정이 주종인 에너지와 노동집약적인 제조업의 특성을 그대로 반영하고 있었다.

#### 4.3. Emergy 지수 및 환경친화성 지수의 산정

제조업종별로 산정된 emergy 지수와 환경친화성 지수를 적용한 결과는 Table 3, Fig. 4와 같다.

제조업 전체의 환경친화성 지수(ERI)는 0.07, 제조업종별 평균 지수는 0.04로 나타났으며, 업종별로 0.01(코크스, 석유 정제품 및 핵연료 제조업)~0.34(재생용 가공원료 생산업)의 범위를 나타내고 있었다.

Emergy 생산비(EYR)는 제조업의 특성상 외부로부터 구매된 자원에 의존하고 자연환경자원에 대한

Table 3. Comparison with other industry and nation (Korea) in ERI

	Energy flow (sej/yr)					Energy indices			
	Gross output energy (G.O.E)	Renewable energy (R)	Non-renewable (N)	Purchased input (F)	Total energy used (Y)	EYR	ELR	EEE	ERI
Agriculture	4.27E+22	4.51E+21 (21.2%)	2.43E+21 (11.4%)	1.43E+22 (67.4%)	2.13E+22	1.48	3.72	2.01	800.25
Fishing Fisheries	3.21E+21	2.63E+22 (90.9%)	-	2.62E+21 (9.1%)	2.90E+22	11.03	0.10	0.11	11,942.87
Aquaculture Fisheries	8.16E+20	1.95E+22 (87.5%)	-	2.77E+21 (12.5%)	2.22E+22	8.02	0.14	0.04	2070.83
Forestry	1.82E+19	3.06E+21 (82.5%)	4.60E+20 (12.1%)	1.87E+20 (5.4%)	3.70E+21	19.85	0.21	0.005	460.24
Manufacturing Industry	9.17E+23	6.15E+19 (0.0%)	-	9.19E+23 (100%)	9.19E+23	1.00	14,955.82	1.00	0.07
Korea	7.58E+23	3.03E+22	9.12E+22	6.36E+23	7.58E+23	1.19	24.02	1.00	48.58

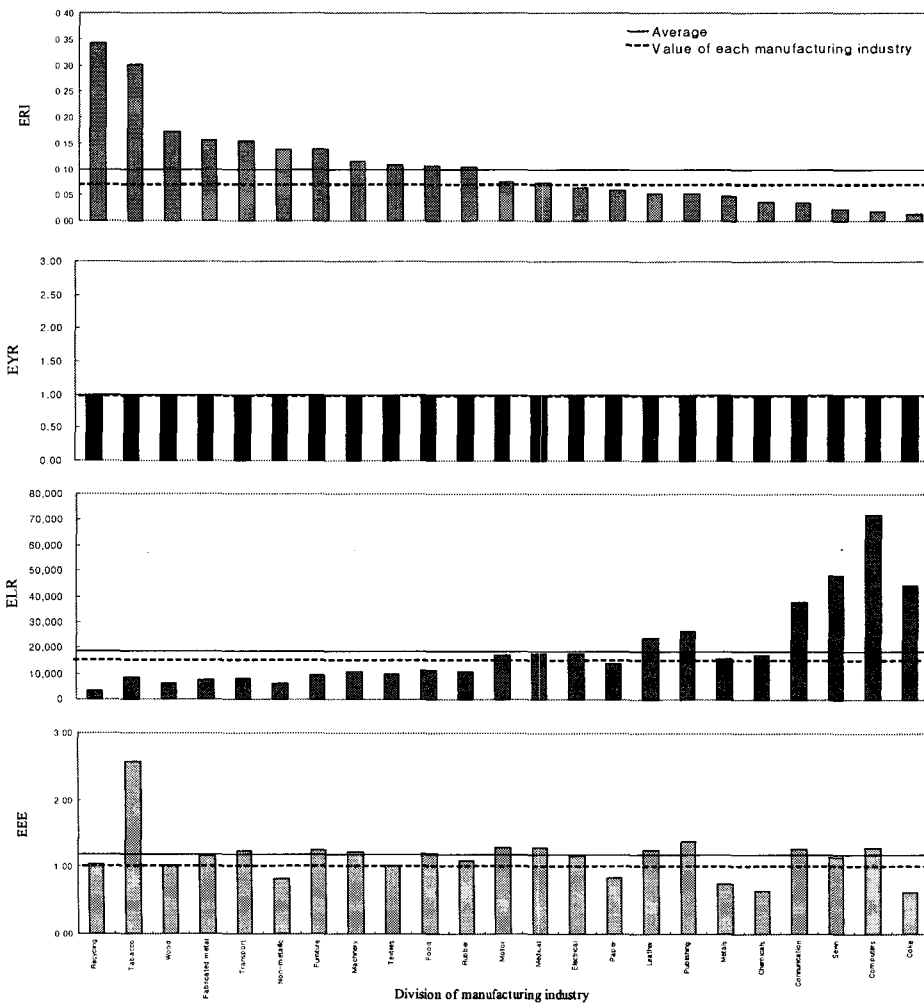


Fig. 4. Indices related to ERI in manufacturing industry (ERI: Environmental Responsibility Index, EYR: Energy Yield Ratio, ELR: Environmental Loading Ratio, EEE: Ecological Economic Efficiency).

Table 4. Emergy indice of manufacturing industry

	Abbreviation	Emergy flow(sej/yr)			Emergy indices				
		R	F	Y	%R	EYR	ELR	EEE	ERI
Manufacturing industry		6.15E+19	9.19E+23	9.19E+23	0.01	1.00	14,956	1.00	0.07
Manufacture of food products & bev.	Food	4.55E+18	5.19E+22	5.19E+22	0.01	1.00	11,399	1.21	0.11
Manufacture of tobacco products	Tabacco	2.62E+17	2.23E+21	2.23E+21	0.01	1.00	8,495	2.57	0.30
Textiles, Except sewn wearing apparel	Textiles	3.97E+18	3.83E+22	3.83E+22	0.01	1.00	9,634	1.03	0.11
Sewn wearing apparel & fur articles	Sewn	3.14E+17	1.51E+22	1.51E+22	0.00	1.00	47,976	1.15	0.02
Tanning & dressing of leather	Leather	3.06E+17	7.35E+21	7.35E+21	0.00	1.00	24,012	1.26	0.05
Wood products of wood & cork	Wood	8.75E+17	5.17E+21	5.17E+21	0.02	1.00	5,905	1.02	0.17
Pulp, paper & paper products	Paper	1.81E+18	2.52E+22	2.52E+22	0.01	1.00	13,944	0.84	0.06
Publishing, printing & reproduction	Publishing	4.38E+17	1.16E+22	1.16E+22	0.00	1.00	26,502	1.39	0.05
Coke, refined petroleum products	Coke	2.23E+18	9.94E+22	9.94E+22	0.00	1.00	44,632	0.63	0.01
Chemicals and chemical products	Chemicals	8.04E+18	1.39E+23	1.39E+23	0.01	1.00	17,317	0.65	0.04
Rubber and plastic products	Rubber	3.24E+18	3.42E+22	3.42E+22	0.01	1.00	10,563	1.09	0.10
Non-metallic mineral products	Non-metallic	5.84E+18	3.54E+22	3.54E+22	0.02	1.00	6,070	0.83	0.14
Manufacture of basic metals	Metals	5.97E+18	9.43E+22	9.43E+22	0.01	1.00	15,807	0.75	0.05
Fabricated metal products	Fabricated metal	3.75E+18	2.80E+22	2.80E+22	0.01	1.00	7,479	1.17	0.16
Manufacture of other machinery	Machinery	5.39E+18	5.74E+22	5.74E+22	0.01	1.00	10,643	1.22	0.11
Computers and office machinery	Computers	4.07E+17	2.93E+22	2.93E+22	0.00	1.00	71,876	1.29	0.02
Electrical machinery N.E.C.	Electrical	1.69E+18	3.05E+22	3.05E+22	0.01	1.00	17,991	1.16	0.06
Radio, TV and communication equip.	Communication	2.42E+18	9.17E+22	9.17E+22	0.00	1.00	37,841	1.27	0.03
Medical, precision & optical instruments	Medical	3.65E+17	6.41E+21	6.41E+21	0.01	1.00	17,547	1.29	0.07
Motor vehicles & trailer mfg.	Motor	4.43E+18	7.57E+22	7.57E+22	0.01	1.00	17,088	1.29	0.08
Manufacture of other transport equip.	Transport	3.52E+18	2.84E+22	2.84E+22	0.01	1.00	8,082	1.25	0.15
Furniture;articles N.E.C.	Furniture	1.19E+18	1.09E+22	1.09E+22	0.01	1.00	9,158	1.26	0.14
Recycling	Recycling	4.47E+17	1.37E+21	1.37E+21	0.03	1.00	3,053	1.05	0.34

의존이 적기 때문에 23개 모든 업종에서 1.00으로 평가되었다.

환경부하율(ELR)은 컴퓨터 및 사무용 기기 제조업(71,876)이 가장 높고 재생용 가공원료 생산업(3,053)이 가장 낮게 평가되었다. 컴퓨터 및 사무용 기기 제조업은 가장 높은 환경부하율에 비해 환경친화성 지수가 코크스·석유 정제품 및 핵연료 제조업 보다 높게 평가되었는데 이는 생태경제성이 상대적으로 높게 나타났기 때문으로 판단된다.

생산과정에서 소비된 emergy와 시장 경제성의 가치를 평가하는 생태경제성(EEE)은 담배 제조업(2.57)에서 가장 높게 나타났고, 화합물 및 화학제품 제조업(0.65), 코크스·석유 정제품 및 핵연료 제조업(0.63)에서 다소 낮게 나타났다. 생태경제성이 가장 높은 담배 제조업의 경우, 재생용 가공원료 생산업(1.05)보다 환경친화성 지수는 낮는데 이는 생산과정에서의 환경부하율이 상대적으로 높기 때문이다.

#### 4.4. 국내 타 산업과의 비교

국내의 제조업 뿐만 아니라 산업전체의 환경친화성을 좀더 객관적으로 평가하고, 환경친화적인 산업

구조로 재편하기 위한 정책 자료를 제공하기 위하여 1차 산업인 농업, 임업, 수산업과 비교하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다.

제조업은 외부 구매자원에 의존하기 때문에 자연환경자원에 대한 의존율이 거의 0%인 반면, 비교대상산업인 농업, 임업, 수산업은 자연환경자원 의존율이 21.2~90.9% 범위였다. 따라서, 1차 산업은 제조업에 비해 EYR이 1.5~20배 정도 크며, 환경부하율은 1/4,000~1/150,000 범위로 적기 때문에 제조업에 비해 환경에 대한 부하가 적은 산업임을 알 수 있다. 또한 생태경제성은 농업을 제외하고는 0.005~0.11로 제조업보다 낮게 평가되었다. 이는 생산품의 실질가치가 시장경제에서 충분히 고려되지 않음을 나타낸다. 이를 바탕으로 구해진 환경친화성 지수는 자연환경자원에 의존하는 emergy 생산비가 비교적 높고 환경부하율이 가장 낮은 어선어업이 가장 높았고, 임업의 경우 emergy 생산비가 가장 높으나, 그 실질가치가 시장경제에서 충분히 고려되지 못함으로 인해 환경친화성지수가 낮게 평가되었다. 그러나, 제조업보다는 6,000배 이상 높은 친화성 지수를 나타낸다.

5. 결 론

환경문제에 따른 생산자의 제품에 대한 책임이 의무화되고, 국제 무역관계에 있어서도 환경성이 주요 경쟁력으로 인식됨에 따라, 미래의 지속가능한 산업을 위해 생태 효율성을 고려하여 좀더 과학적인 제조업의 환경친화성 지수를 제안하였다. 이는 환경친화적인 기업 및 산업을 평가하는 지수로서 emergy 생산성, 환경에 대한 압박을 평가하는 환경부하율, 실질가치에 대한 시장경제적 가치를 평가하는 생태경제성을 고려하여 생태경제적 효율성에 대한 함수이며, 아래와 같이 정의하였다.

$$ERI(\text{Environmental Responsibility Index}) = 1000 \times \frac{R \times G.O.E.}{F(F+N)}$$

환경친화성 지수를 산출하기 위해 제조업에 대한 emergy 분석을 실시한 결과, 국내 제조업의 모든 업종에서 99.97% 이상이 외부로부터 구매 자원에 의존하고 있어 자원 및 에너지 집약적인 형태로 높은 환경부하를 일으키는 것으로 평가되었다.

제안된 ERI를 제조업 및 중분류에 의한 제조업종별로 적용해 본 결과, 0.01~0.34의 범위에서 평균 0.07로 평가되었으며, 그 중에서도 원료를 재생시켜 재활용하도록 하는 재생용 가공원료 생산업이 0.34로 환경친화성이 가장 높게 나타났다. 반면, 환경에 부하를 가장 많이 주고, 서비스가 가장 많은 부분을 차지하고 있어 현재 우리나라 제조업의 공동화 현상을 일으키는 컴퓨터 및 사무용 기기 제조업이 환경친화성이 가장 낮은 업종으로 평가되었다. 또한, 타 산업(농업, 임업, 수산업)에 비해 자연환경자원에 대한 의존률이 지극히 낮아, emergy 생산성이 적고 환경부하율이 높아 환경친화성 지수가 1/6,000 이상 낮게 평가되었다.

국내 GNP의 30%를 차지하는 제조업의 경우 대부분이 에너지 집약적이고, 노동집약적인 형태로 작동되고 있기 때문에 녹색 GNP를 고려할 경우 그 효율성이 매우 낮은 상태이다. 따라서 우리나라의 제조업이 지속적으로 유지되고 실질생산에 기여하기 위해서는 보다 자연환경을 이용할 수 있는 형태로 전환하여 emergy 생산비를 높이고 화석연료사용을 줄여 환경부하율을 낮출 뿐만 아니라 세제(稅制)나 유통구조에서 생태경제성을 높여 줌으로써 환경친화성 지수를 높일 수 있도록 하여야 한다. 또한, 환경친화적인 다른 산업과의 균형 발전을 통해 국내 총 산업의 지속가능성을 높일 수 있도록 제조업에 대한 산업정책을 수립하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Odum, H. T., 1988, Energy, environment and public policy: A guide to the analysis of system. UNEP regional seas reports and studies, No.95, United States Environment Programme, Nairobi, Kenya, 109pp.
- 2) Lee, S. M. and H. T. Odum, 1994, Emergy Analysis Overview of Korea, J. of the Korean Environmental Sciences, 3(2), 165-175.
- 3) 손지호, 신성교, 조은일, 이석모, 1996, 한국 수산업의 EMERGY 분석, 한국수산학회지, 29(5), 689-700.
- 4) 엄기혁, 손지호, 조은일, 이석모, 박청길, 1996, EMERGY분석법에 의한 득량만의 환경용량 산정, 한국수산학회지, 29(5), 629-636.
- 5) 손지호, 이석모, 2000, EMERGY평가에 의한 부산광역시의 지속적인 발전가능성 평가, 한국환경과학회지, 9(3), 185-191.
- 6) 강대석, 박석순, 1999, 에머지(Emergy)개념을 이용한 다목적댐 건설의 생태경제학적인 평가방법에 관한 연구, 한국환경영향평가학회지, 8(2), 45-51.
- 7) Ulgiati, S., M. T. Brown, S. Bastianoni and N. Marchettini, 1995, Emergy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources, Ecological Engineering, 5, 519-531.
- 8) Ulgiati, S. and M. T. Brown, 2002, Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions: the case of electricity production, Journal of Cleaner Production, 10, 335-348.
- 9) Yang H., Y. Li, J. Shen and S. Hu, 2003, Evaluating waste treatment, recycle and reuse in industrial system: an application of the emergy approach, Ecological Modelling, 16, 13-21.
- 10) Bargigli, S. and S. Ulgiati, 2004, Emergy and Life-Cycle Assessment of Steel Production in Europe, Proceedings.
- 11) Odum, H. T., 1994, Ecological and General system, University press of Colorado, Niwot, 644pp
- 12) Odum, H. T., 1996, Environmental Accounting, John Wiley & Sons, New York, 370pp.
- 13) Brown, M. T. and S. Ulgiati, 1997, Emergy based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology



- toward environmentally sound innovation, J. Ecological Engineering, 9, 51-69.
- 14) 기상청, 2002, 기상연보. 296pp.
- 15) 통계청, 2002, 2001 광업·제조업 통계조사보고서 (지역편), 803pp.
- 16) 통계청, 2002, 2001 광업·제조업 통계조사보고서 (전국편), 687pp.
- 17) 통계청, 2002, 2001 광업·제조업 통계조사보고서 (기업체편), 498pp.
- 18) 환경부, 2002, 상수도통계, 727pp.
- 19) 환경부, 2002, 환경통계연감, 647pp.
- 20) 산업정보망, 2003, 에너지 통계 정보 시스템. (<http://www.iin.co.kr/>)
- 21) 이병욱, 김갑철, 2002, 지속가능한 산업발전 전략, 한국환경정책학회지, 10(1), 5-32.