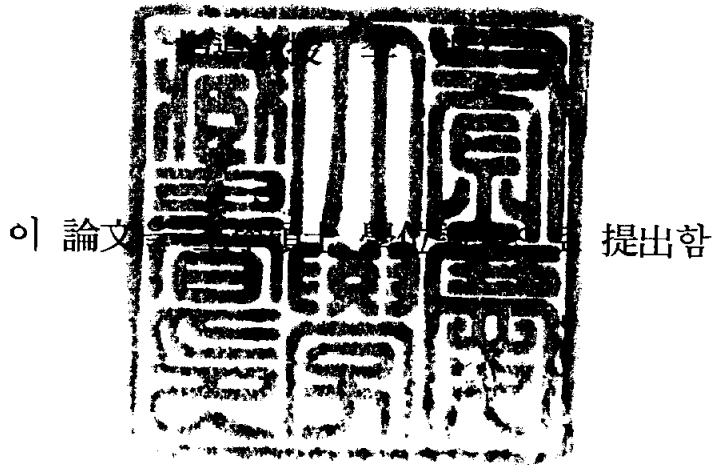


工學碩士 學位論文

Emergy 분석법에 의한 제조업의
환경친화성 지수에 관한 연구



2004年 2月

釜慶大學校 大學院

環 境 工 學 科

諸 允 美

諸允美의 工學碩士 學位論文을 認准함

2003年 12月 22日

主 審 理學博士 朴 清 吉



副 審 工學博士 呂 碩 竣



委 員 工學博士 李 錫 謨



목 차

표 목차	iv
그림 목차	v
Abstract	vi
I. 서 론	1
II. 이론적 배경	4
1. 환경친화기업지정제도	4
1.1 개요	4
1.2 지정규정	4
1.3 인증현황	6
2. 환경경영체제인증(ISO 14001)	7
2.1 ISO 14000s(환경경영 규격)의 개요	7
2.2. ISO 14001(환경경영체제 규격)	10
2.2.1 ISO 14001의 개요	10
2.2.2 인증 절차	10
2.2.3 인증현황	11
3. 전과정 평가(Life Cycle Assessment : LCA)	12
3.1 개요	12
3.2 LCA 평가법	13
3.3 LCA의 활용도	15
3.4 LCA의 한계점	15
4. Emergy 지수	18
4.1 Emergy 개념	18

4.1.1 시스템 생태학적 접근	18
4.1.2 Emergy의 정의	20
4.1.3 Transformity	21
4.1.4 EmWon	22
4.2 Emergy 지수	23
III. 연구방법	24
1. 대상시스템 선정	24
2. Emergy 분석	26
2.1 에너지 시스템 다이어그램 작성	26
2.2 Emergy 분석표 작성	27
3. Emergy 지수 산정	28
3.1 영속성 에너지원의 점유율(% Renew.)	28
3.2 Emergy 생산비(Emergy Yield Ratio : EYR)	28
3.3 환경부하율(Environmental Loading Ratio : ELR)	28
4. 환경친화성 지수 개발	29
4.1 Emergy 지수	31
4.2 환경친화성 지수(Environmental Responsibility Index, ERI)	34
IV. 연구결과	36
1. 제조업의 현황	36
2. Emergy 분석결과	38
2.1 국내 총 제조업	38
2.2 중분류에 의한 제조업	41
3. Emergy 지수 산정	49
3.1 영속성 에너지원의 점유율(% Renew.)	49
3.2 Emergy 생산비(Emergy Yield Ratio : EYR)	49
3.3 환경부하비(Environmental Loading Ratio : ELR)	50

3.4 생태경제성(Ecological Economic Efficiency : EEE)	50
4. 환경친화성 지수의 적용	52
4.1 제조업의 환경친화성 지수	52
4.2 국내 타 산업과의 비교	55
V. 결 론	57
Appendix	59
감사의 글	76
참고문헌	78

<표 목 차>

Table 2.1 Standard concerned to the ISO 14000 model	9
Table 3.1 Division of manufacturing industry selected in this study	25
Table 3.2. Tabular format for emergy evaluation	27
Table 4.1 Emergy evaluation of resource basis of manufacturing industry in Korea ..	39
Table 4.2 Contribution of emergy from renewable sources, and imported outside sources in division of manufacturing industry	42
Table 4.3 A comparison of emergy indices of manufacturing industries	51
Table 4.4 Application of environmental responsibility index in manufacturing industry	53
Table 4.5 Comparison of manufacturing industry with other industry and whole country in ERI	56

<그림목차>

Fig. 2.1 A number of environmental friendly company certificated	6
Fig. 2.2 The ISO 14000 model	8
Fig. 2.3 A number of ISO14001 certificated	11
Fig. 2.4 Life cycle assessment framework	13
Fig. 2.5 Diagram of the integration of several applications at different scales of application	17
Fig. 2.6 The methodological roots of systems ecology	19
Fig. 2.7 Emergy quality chain used to calculate solar transformity	20
Fig. 2.8 Hierarchical chain of energy transformations	21
Fig. 2.9 Emergy inputs used to evaluate the emergy/money ratio of the national economy	22
Fig. 2.10 Emergy based indices, accounting for local renewable emergy inputs(R), local nonrenewable inputs(N), and purchased inputs from outside the system(F)	23
Fig. 3.1 Typical energy sources driving an environmental system arranged in order from low quality on left to high quality on right	26
Fig. 3.2 Emergy flow chart of industrial system	30
Fig. 3.3 Aggregated summary of emergy flows	31
Fig. 4.1 Diagram of energy flows in industrial system	37
Fig. 4.2 Emergy signature of each energy source in manufacturing industry	40
Fig. 4.3 Emergy signature of each energy source in division of manufacturing industry	43
Fig. 4.4 Index related to ERI in manufacturing industry	54

A Study on Environmental Responsibility Index of Manufacturing Industry by Emergy Analysis

Yun Mi Jea

*Department of Environmental Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

Business and industry, including transnational corporations, play a crucial role in the social and economic development of a country. The Republic of Korea needs to promote the sustainable industry due to the socio-economic as well as environmental threats. The principal threats to the industry are insufficiency and depletion of non-renewable natural resources, decline of economic growth rate, increase of unemployment. Another reason is that Korea's industrial structure is based to the resource-intensive and energy-intensive industries. So, Korea's industries are feeble to the global environmental regulations and have difficulty in getting competence in the new era.

The improvement of production system through technologies and processes that utilize resources more efficiently and at the same time produce less wastes - achieving more with less - is an important path way towards sustainability for business and industry.

So, we need better evaluation methods for sustainable industry - more quantitative and qualitative.

The Emergy analysis from Odum is organized as a top-down approach where systems diagrams of processes are drawn to organize evaluations and account for all inputs and outflows from production processes. Emergy is the available energy of one kind of previously used up directly and indirectly to make a service or product. Work of energy transformation can be measured by the availability of the energy that is used up. Thus, real wealth can be measured by the work previously done. Emergy is a scientific measure of real wealth in terms of the energy required to do the work of production.

Emergy based indices(EYR, ELR, EIR, %R, etc.) 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, R is nearly zero, ultimate purpose is pursuit of profits in economic activity.

In study, We present two indice based on emergy - EEE(Ecological Economic Efficiency), ERI(Environemental Responsibility Index).

A new index, EEE is defined as, $EEE = G.O.E./Y_s$. Here, G.O.E. is the emergy value of Gross Output and estimated as gross output multiplied by EmWon ratio, Y_s is the emergy used in whole country. We define EEE as the Ecological Economic Efficiency.

Speaking above, Sustainable industry is possible when it increase the efficiency of resource utilization, including increasing the reuse and recycling of residues and to reduce the quantity of waste discharge that is, eco-efficiency maximized.

Therefore, The ERI is shown to be a function of the net yield of the economy, its 'load' on the environment and ecological economic efficiency. The ERI can be written as, $ERI = (1000 \times EYR \times EEE) / ELR = (1000 \times R \times G.O.E.) / F(F+N)$.

In this study, author present a new index ERI - Environmental Responsibility Index- and the results of its application.

Manufacturing industry produced 30% of total GDP(Gross Domestic Product.)

in 2001. we evaluated 23 divisions of manufacturing industry by emergy analysis and calculated ERI, using results of analysis. The higher ERI, more friendly to environment.

As a results, the highest ERI is 0.12 in Recycling, the lowest ERI is 0.00 in Coke, refined petroleum products which is dominated by ELR.

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. Furthermore, they contribute to operation of environmental friendly company and industrial construction.

I. 서 론

1992년 6월 리우데자네이루에서 열린 '환경과 개발에 관한 유엔회의(UNCED)'에서 지구환경보호의 기본원칙인 'Rio Declaration'과 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전(ESSD)을 위한 실천강령인 'Agenda 21'을 채택하였다. Agenda 21은 21C 지구환경 보전을 위하여 모든 인류가 함께 실천해야할 과제로써 각 부분의 실천강령을 제시하고 있다. 30장 'Strengthening the role of business and industry'에서는 지속가능한 발전을 위한 산업계의 역할로 청정생산과 책임있는 기업가 정신을 중요하게 다루고 있다. 특히, 청정생산의 목표로는, 다국적 기업을 포함한 정부, 기업, 산업은 부산물의 재사용 및 재순환의 증가를 포함하여 자원사용의 효율성을 증가시키는 것과 단위 경제적 생산물당 폐수처리 양의 감소를 강조하고 있다.

동시에, 삶의 질과 환경에 대한 시민의 관심 급증과 그린소비주의(Green Consumerism)가 대두됨에 따라, 소비자의 제품에 대한 환경성이 요구되고 있다.

따라서, 전통적으로 환경오염물질에 대한 법적 기준에 의해 마지못해 이루어져 오던 종말처리(end-of-pipe treatment)에 대한 규제와 통제와 같은 사후적이고 방어적인 기업의 환경관리는 환경의 지속가능성과 소비자의 제품에 대한 가치평가에 '환경성'이라는 개념이 포함됨에 따라 경제적 이익의 최고 창출을 목표로 하는 사전적이고 능동적인 기업전략이 요구되고 있다.

이러한 요구를 만족시키기 위해 이미 1980년대부터 선진 기업들은 환경친화적 경영 활동을 실천하고 있으며 나아가 전향적인 환경경영 전략 실행과 사전오염예방 중심의 청정생산을 통해 새로운 경영환경 변화 속에서 경쟁력을 확보하고자 노력하고 있는 상황이다(김 등, 2003).

1970, 80년대 성장우선정책을 통한 자원집약적이고, 노동집약적인 산업구조가 형성된 우리나라는 위 Agenda 21의 강령이 충실히 이행되어야만 국제 사회에서의 경쟁력도 확보할 수 있을 것이다. 이에 일부 국내 기업들도 환경이 기피대상이 아니라 기회의 대상이라는 것을 인식하고 자사의 제품 및 서비스를 환경 친화적으로 전환함으로써 환경보호라는 사회적 책무를 수행하는 동시에 이익창출을 도모하는 방향으로 인식

을 전환하고 있다(산업자원부, 2000).

최근 다국적기업을 선두로 환경경영에 대한 논의는 실천단계에 접어들고 있으며, 우리 정부, 산업자원부, 역시 “환경친화적산업구조로의전환촉진에관한법률” 및 동시행령·시행규칙을 제정하여 시행함으로써 환경친화적 산업기반 구축을 꾀하고, 정책방향에 관한 법적 근거를 제공하고 있다. 또한 환경부도 현행의 폐기물에 대한 예치금 제도를 폐지하고 생산자에게 직접 재활용의무를 부과하는 것(생산자책임재활용제도(EPR(Extended Producer Responsibility)))을 주요 내용으로 하는 “자원의절약과재활용촉진에관한법률” 및 동시행령·시행규칙을 개정하여 2003년 1월 시행되고 있으며, “환경기술개발및지원에관한법률” 및 동시행령·시행규칙을 통한 환경성적표지제도를 통해 소비자들의 선택의욕 및 의무에 중점을 두는 등 제품의 환경성 가치평가를 법제화하고 있다.

유럽의 경우, EMAS(Eco-Management and Audit Scheme), 국제표준화기구의 ISO 14001 등 세계적으로 12개 이상의 많은 환경경영체제들이 제정되어 기업의 환경성을 요구하고 있고, 국내에서는 환경부의 환경친화기업지정제도와 산업자원부의 ISO 14001(환경경영체제인증)제도가 제정 및 도입되어 운영 중이며, 기업의 환경경영 지원을 위한 각종 시책이 강화되고 있다.

또한, 주요선진기업을 중심으로 환경친화적 제품개발을 위한 적용도구로써 LCA(Life Cycle Assessment)를 오래전부터 적용하여 발전시켜 왔으며, 제조공정 및 제품에 대한 청정기술대안평가방법으로서 이용하고 있다. 제품의 환경성을 정량적으로 산출해 낼 수 있는 LCA는 ISO 14000s의 14040 규격인 전과정 평가 수행을 제외하고도 몇몇의 규격을 만들기 위한 도구로써 이용되고 있다.

국내에서도 1997년부터 본격적으로 국내 환경정책에 적용하기 시작하여 한국전과정평가학회를 중심으로 많은 연구가 진행되고 있으며, 국가청정생산자원센터를 설립, 1995년부터 2002년까지 청정생산기술 개발에 총 2,423억원의 연구비가 투자되었으며, 그 규모도 점점 증가하고 있다.

그러나 이런 제도적 장치 및 청정생산 기술만으로는 기업 자체는 물론 국가 전체의 지속가능한 산업의 발전을 이루는데는 그 한계가 있으며, 장기적으로 지속적이고, 발전적인 산업을 위해서는 종합적인 정책방향 및 실천 전략의 모색이 시급한 실정이다.

2000년 4월 환경부에서는 ‘환경친화적 기업경영을 위한 환경정책방향’ 보고서를 통해 과거의 반성 및 현재의 개선을 통한 미래의 지속가능한 기업을 위한 정책방향을 제시하였다. 기업의 환경경영의 4단계인 ‘통합관리체제’에서는 다양한 환경관리수단을 혼합하여 추진함에 따라 환경보전의 효율성을 극대화하기 위한 기업의 자발적 노력확산을 강조하고, 이를 위해서는 기업의 활동 과정 중 발생하는 자원과 에너지의 최소이용, 독성물질 배출억제, 재생가능한 자원의 최대이용 등 생태효율성(Eco-Efficiency)이 강조되어야 한다고 보고되고 있다. 그러나 이러한 생태효율성의 환경성과를 평가할 방법에 관한 연구가 시행되고는 있으나, 실행화가 결여된 것이 사실이다.

따라서, 본 연구에서는 자연환경자원의 역할과 인간경제활동에 대한 모든 요소를 하나의 공통척도로 평가하는 emergy 분석법을 이용하여, 생산활동에 요구되는 자연환경자원 및 화석연료와 같은 구매자원 그리고 기업의 궁극적인 목표인 경제적 수익성을 고려하여 생태효율성을 평가할 수 있는 기업의 환경친화성 지수를 개발하고자 한다. 개발된 환경친화성 지수를 국내의 제조업에 적용하여, 현 상황을 판단하고 타 산업과 비교를 통한 제조업의 지속적인 발전을 위한 정책방향을 제안하였다.

이는 기업의 생산과 소비활동에 있어서 다양한 선택적 대안의 상대적인 기여를 평가함에 따라 생산과 소비 활동에 따른 의사결정과정 뿐만 아니라, 나아가 환경친화적인 기업경영 및 산업구조 정착에 기여할 것이다.

II. 이론적 배경

1. 환경친화기업지정제도

1.1 개요

1992년 6월 리우선언을 계기로 환경을 축으로 한 국제질서가 재편되고 정부와 기업의 관계는 기존의 규제와 통제(Command & Control)에서 동반자 관계로 전환되었다. 이러한 맥락에서 환경친화적기업 지정제도는 정부와 기업의 관계를 신뢰를 바탕으로 한 협력의 관계로 전환하기 위해 도입하였다.

환경친화기업지정제도의 목적은 기존의 규제 중심적 환경정책에서 벗어나 기업 스스로가 환경성을 평가하고 개선계획을 실행토록하여 사업장의 자율적 환경관리체제 구축을 촉진하기 위함이다.

1995년 4월 14일 『환경친화기업운영규정』을 제정하였고, “대기 및 수질 환경보전법” 제10조의 2(’95.12.29)과 “대기 및 수질환경보전법” 시행규칙(’96.09.14)에 그 근거 법령을 두고 있다.

1.2 지정규정

환경친화기업에서는 신청기업이 지방청에 환경친화기업 지정신청서를 제출하며, 지방청에서 ‘가. 환경관리 일반현황’을 먼저 심사 후 환경부 장관에게 송부한다. 환경부 장관은 5~10인의 전문가로 구성된 심사단을 위촉, 분야별 환경관리현황 및 개선계획에 대한 현지실사를 시행하여 지정여부를 판단하게 되며, 보완할 사항에 대해서는 개선계획서를 보완하여 제출토록 함으로써 심사단의 검토 후 지정을 하게 된다.

환경친화기업 지정신청서의 내용은 아래와 같이 크게 환경관리 일반현황(100)과 분야별 환경관리 및 개선계획(300)으로 구성되어 있다. 분야별 환경관리현황 및 개선계획은 사업활동 전(全) 과정의 환경성에 대한 충실성(70), 분야별 오염관리·개선 현황(130), 환경개선계획(200)의 부문으로 나뉘어져 있고, 각 부분별로 세부 평가항목을 담아

총 400점 만점으로 하여 평가한다(환경부, 2001).

가. 환경관리 일반현황

구 분	항 목	비고
환경관리 일반현황 (100)	○ 경영층의 환경경영의지(20) ○ 환경관리체계구축현황(20) ○ 환경사고 대응 체계구축현황(15) ○ 사업장 환경·안전관리 현황(15) ○ 환경보전관련 활동 및 협력업체 환경경영지원현황(20) ○ 환경관련법규 위반 및 환경사고·민원발생	

나. 환경관리현황 및 환경개선계획

구 분	항 목	비고
(1) 사업활동 전과정에 대한 환경성 평가 (70)	(가) 공정흐름도 및 원·부재료 사용원단위 분석 (나) 투입·배출물질(원료, 용수, 연료사용량 등)에 의한 물질수지수 (다) 오염물질 배출원단위 분석 (라) 주변 환경질과 사업장 배출 오염도 비교 및 국내·외 유사업종과의 환경성 비교 분석 등	
(2) 분야별 환경 관리현황 및 환경개선 현황 (130)	(가) 환경경영현황 및 성과 · 환경투자 및 환경경영 · 생산공정개선, 청정기술개발·적용 · 환경친화적 제품설계 및 환경상품 생산·사용 (나) 환경오염물질 배출저감 현황 및 분야별 오염물질 배출관리 및 개선현황 · 대기오염물질 배출관리 및 개선현황 · 수질오염물질 배출관리 및 개선현황 · 폐기물 배출 관리 및 개선현황 (다) 유독물의 제조·사용으로 인한 오염물질 배출관리 및 개선현황 (라) 기타분야 환경관리 및 개선현황	
(3) 환경개선계획 (200)	(가) 환경경영개선계획 · 환경투자 및 환경경영 개선 계획 · 생산공정개선, 청정기술 개발·적용계획 · 환경친화적 제품 설계 및 환경상품 생산·사용계획 (나) 환경오염물질배출 저감계획 및 분야별 오염물질 배출 저감계획 · 대기오염물질 배출저감계획 · 수질오염물질 배출저감계획 · 폐기물 배출저감 계획 (다) 유독물의 제조·사용으로 인한 오염물질 배출저감계획 (라) 기타분야 환경개선계획	

* 대기환경보전법시행규칙 제20조 및 수질환경보전법시행규칙 제13조 제1항의 규정에 의거 환경친화기업지정제도운영규정(환경부, 2001)

1.3 인증현황

환경친화기업지정제도는 환경 법규 위반, 환경 개선계획 불이행 등의 지정취소 사유에 해당되면 지정을 반납해야 한다. 이 같은 엄격한 규정 적용으로 인해 환경친화기업 지정을 받은 기업은 지정취소가 빈번히 발생한다. 2002년 말, 131개의 환경친화기업이 지정되었다.

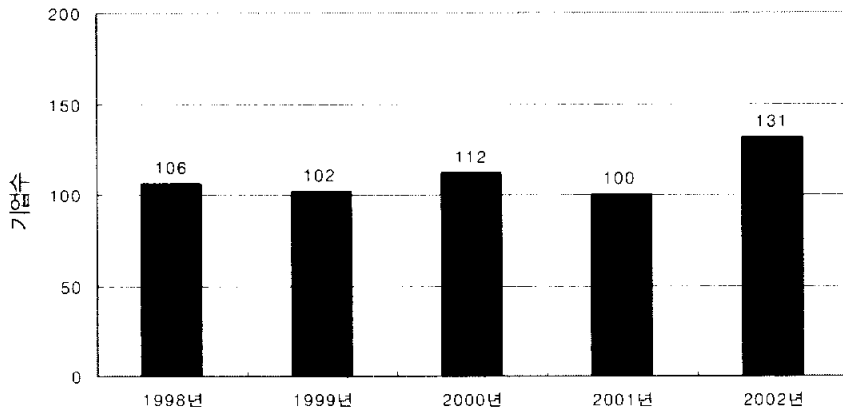


Fig. 2.1. A number of environmental friendly company certificated.

2. 환경경영체제인증(ISO 14001)

2.1 ISO 14000s(환경경영 규격)의 개요

‘지속가능한 발전’의 개념이 폭 넓게 확산, 보급됨에 따라 지구환경을 보호하면서 산업발전을 추구하자는 국제적 목표를 달성하는데는 각 국가의 법에 의한 제재보다는 기업의 자발적 참여를 유도하는 것이 효율적이라는 인식 하에 전 세계에 공통적으로 적용할 수 있는 환경관리에 대한 국제 표준화를 ‘지속가능한 개발을 위한 산업계 회의(BCSD : Business Council for Sustainable Development)’에서 1991년 6월 ISO/IEC에 정식으로 요청되면서 환경경영은 태동하게 되었다.

환경경영(Environmental Management System, ISO 14000)은 인류의 생산활동, 소비활동에서 발생하는 환경오염을 예방하면서 경제 및 사회의 지속 가능한 개발(Sustainable Development)을 추구하는 수단으로써, 오염예방을 그 목적으로 한다.

환경경영체제인증 규격인 ISO 14000s 제정을 위한 기술위원회 ISO/TC207는 1993년 1월 창설되었고, 같은 해 6월부터 규격시리즈 개발을 위한 작업을 시작하여 환경경영체제(ISO 14001), 환경감사(Environmental Audit, ISO 14010s), 환경라벨링(Environmental Labelling, ISO 14020s)등 총 24건이 발행되었고, 이 중 경영시스템규격인 ISO 14001은 발행(1996년 9월) 경과 5년 2001년 말 기준, 전세계 112개국에서 그 인증수가 37,000건에 해당된다.

또한, 시스템 규격인 ISO 14001과 ISO 14004는 개정작업 중이며, 품질경영시스템(ISO 9000s)과의 통합화가 진행중이다.

ISO 14000s의 모델을 Fig. 2.2에 나타냈으며, 관련된 규격을 Table 2.1에 나타내었다.

ISO 14000s는 조직을 평가하는 영역과 제품 및 공정을 평가·분석하는 영역으로 대별되며, 환경경영체제, 환경심사, 그리고 환경성과평가 등은 조직의 환경경영에 대한 평가를 위한 표준이며, 환경라벨링, 전과정평가와 제품규격에 관한 환경측면 등은 생산제품과 생산공정의 환경성에 관한 평가표준이라 할 수 있다.

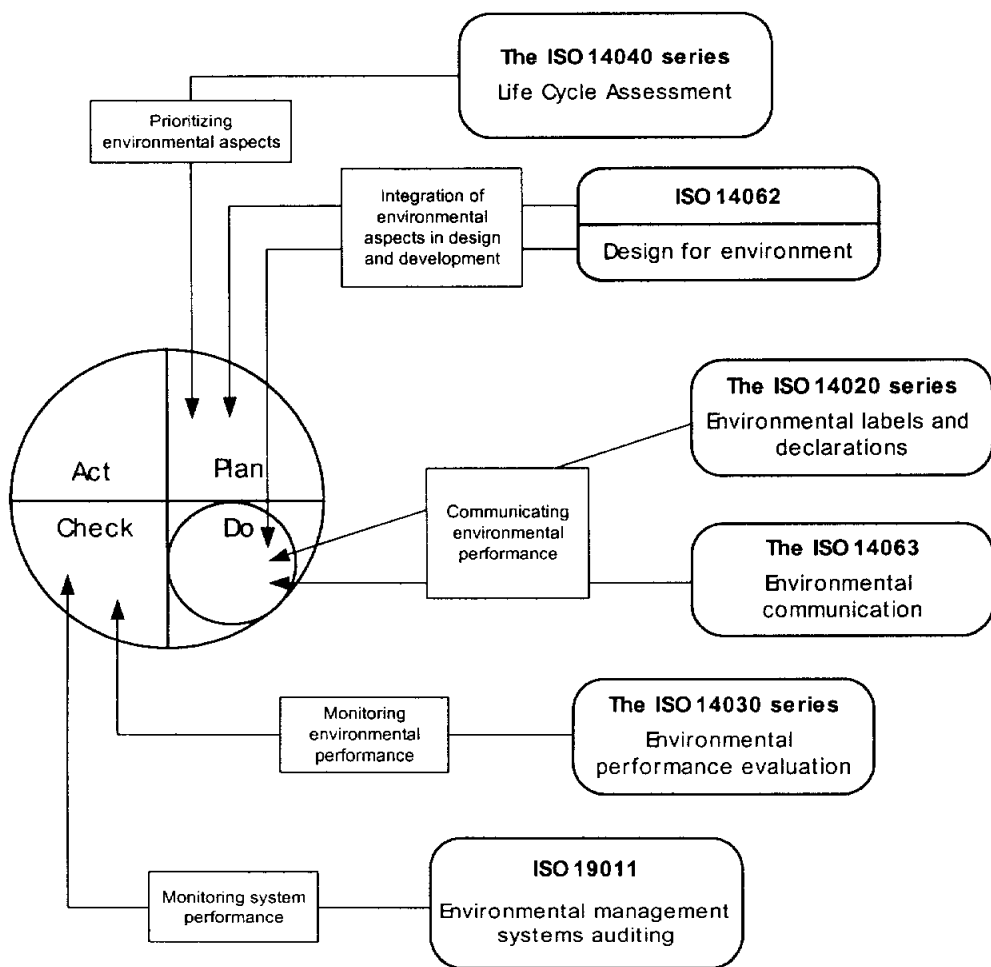


Fig. 2.2. The ISO 14000 model.

Table 2.1 Standard concerned to the ISO 14000 model

The ISO 14040 series	ISO14040:1999 Provides the general principles, framework and methodological requirements for the LCA of products and services
	ISO14041:1998 Provides guidance for determining the goal and scope of an LCA study, and for conducting a life cycle inventory
	ISO14042:2000 Provides guidance for conducting the life cycle impact assessment phase of an LCA study
	ISO/TR14043:2000 Provides guidance for the interpretation of results from an LCA study
	ISO/TR ISO/TS14048:2002 Provides information regarding the formatting of data to support life cycle assessment
	ISO/TR 14049/14047 Provide examples that illustrate how to apply the guidance in ISO 14041 and ISO 14042
ISO 14062	ISO/TR14062:2002 Provides concepts and current practices relating to integration of environmental aspects into product design and development
The ISO 14020 series	ISO14020:2000 Provides general principles which serve as a basis for the development of ISO guidelines and standards on environmental claims and declarations
	ISO14021:1999 Provides guidance on the terminology, symbols and testing and verification methodologies an organization should use for self-declaration of the environmental aspects of its products and services (Type II Environmental Labelling)
	ISO14024:1999 Provides the guiding principles and procedures for third-party environmental labelling certification programs (Type I Environmental Labelling)
	ISO/TR14025:2000 Identifies and describes elements and issues for consideration when making declarations of quantified product information based on Life Cycle Inventory data (Type III Environmental declarations)
ISO 14063	ISO/WD14063 Will provide guidance on environmental communication related to an organizations environmental aspects and performance
The ISO 14030 series	ISO14031:1999 Provides guidance on the selection and use of indicators to evaluate an organizations environmental performance
	ISO/TR14032:1999 Provides examples from real organizations to illustrate the use of the guidance in ISO 14031
ISO 19011	ISO19011:2002 (replaces ISO14010, 14011, and 14012) Provides guidance on the principles of auditing; the management of audit programmes; the conduct of management system audits as well as on the competence of auditors

2.2. ISO 14001(환경경영체제 규격)

2.2.1 ISO 14001의 개요

ISO 14000 중 국제 환경경영체제 규격인 ISO 14001은 1996년 말 처음으로 제정되었다. ISO 14001에서 규정한 환경경영 체제는 기업경영의 일부분으로서, 기업활동에 의해 발생할 수 있는 부정적인 환경영향을 지속적으로 개선하기 위한 체계적인 접근 방법이다. 즉 환경경영체제는 현황 분석, 개선계획 수립, 계획 실행, 실행결과에 대한 점검과 시정조치 등 일반적으로 경영체제가 가져야 할 기본적인 요소들을 모두 반영하고 있다.

또한, ISO 14001은 사업장이 환경경영을 실시할 수 있는 경영체제를 구축하였다는 것을 인증하여 주는 것이지 그 사업장의 환경성적을 평가하여 환경친화적인 사업장임을 보증하는 것이 아니므로, 기업이 ISO 14001 인증을 획득하였다고 해서 그 사업장이 환경친화적이라고 단언할 수는 없다. 환경성과평가 규격(ISO 14031, 1999.11)을 통해 인증 후 사업장의 환경성적을 평가하고, 환경친화 정도를 측정하는 도구로 사용된다.

2.2.2 인증 절차

환경경영체제는 Fig. 2.2와 같이 경영 일반원리인 Plan, Do, Check, Act의 cycle를 기본으로 하는 환경매뉴얼 및 절차서에 환경방침, 계획, 실시 및 운영, 점검 및 시정조치, 경영자 검토 등의 내용이 포함되어 있는가의 여부와 이행성에 대하여 주로 평가하여 중·부적합(Major defect)이 없는 경우 시정조치를 거쳐 인증을 부여하게 된다.

보통 2인으로 구성된 심사원이 현장 심사를 하게되며, 심사원은 환경관련분야의 실무경력 및 인증심사원의 양성과정을 거치고 소정의 시험에 합격한 인증 심사원을 심사원으로 구성하여 환경성 평가보다는 ISO 14001 환경경영체제에 의해 신청기업이 운영되는가를 감사하게 된다.

2.2.3 인증현황

ISO 14001은 엄연히 자율적인 인증 체제이나, 전세계적인 환경문제가 이슈화됨에 따라 국제 무역관계에서도 강제력을 지니고 있다. 이에 국내 기업 역시 국제관계에서 경쟁력을 갖기 위해 국내 인증제도보다 ISO 14001을 더 선호하고 있는 것으로 나타났다. 또한, ISO 14001 인증이 경우 부적합사항의 개선으로 인증이 유지되도록 하고 있어 인증 취소 사례를 거의 발생되고 있지 않다.

이 같은 이유로 2002년 말, 782개 국내기업이 ISO 14001 규격에 따른 환경경영체제 인증을 받았으며, 점차 증가하고 있는 추세이다(Fig. 2.3).

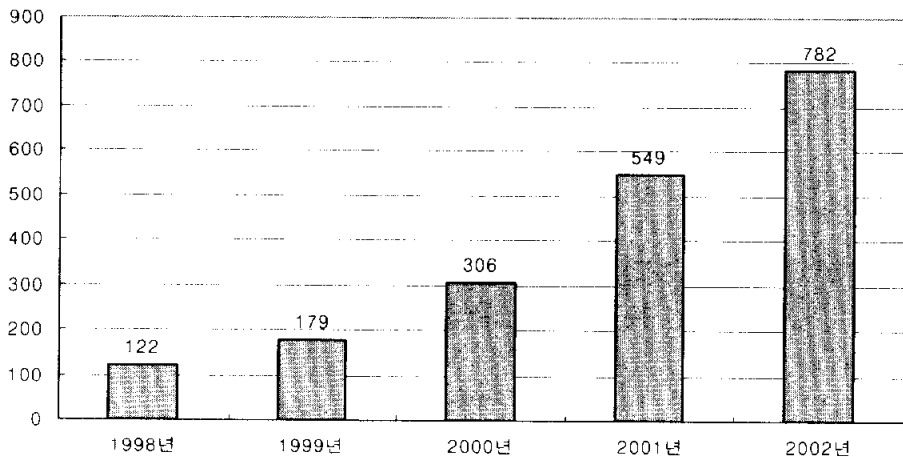


Fig. 2.3. A number of ISO 14001 certificated.

3. 전과정 평가 (Life Cycle Assessment : LCA)

3.1 개요

LCA방법론은 1993년 ISO/TC 207 SC5에서 표준화 작업이 시작되기 이전부터 유럽, 미국 등 주요선진국을 중심으로 개발되어져 왔다. 국제표준화 작업을 통해 2000년 3월까지 ISO 14040, 41, 42, 43을 통한 LCA의 본 규격이 모두 완성되었다. ISO 표준화 작업이 시작되면서 네덜란드, 덴마크, 스위스 등 주요선진국 및 대학연구소, 컨설팅기관에서도 LCA 수행지침 및 방법론을 적극적으로 개발하고자 하는 움직임이 활발하였으며, 국내에서도 외국의 수행방법론을 그대로 받아들이기보다는 ISO 요건에 따라 국내 데이터관리현황 및 LCA 수행경험을 토대로 독자적인 LCA수행지침서를 개발하려는 노력을 기울이고 있다. 에너지 관리공단, 국립환경연구원, 생산기술연구원 청정센터, 한국품질환경인정협회 등 공공기관에서도 각종 시범연구를 시도, 국내 적용 가능한 LCA 기법개발에 앞장서고 있으며 산업 전반에 걸친 데이터베이스를 개발하고자 노력하고 있다.

전과정평가는 ISO 14040에서 '제품의 원료채취, 제조, 사용, 수송, 폐기처리 등 전과정에 걸쳐 소모되고 배출되는 물질과 에너지의 양을 정량화하여, 이들이 환경에 미치는 영향을 평가함으로써 환경마케팅, 제품 개발 등에 활용하고자 하는 국제적인 기법'이라 정의하고 있다.

이러한 LCA는 제품의 생산시스템의 전 과정에서 상품의 환경적 부하 분석을 위한 도구이다. 이때, '제품'이란 물리적인 상품뿐만 아니라 서비스까지 광범위하게 사용된다.

LCA는 정량적이며, 정성적인 부분이 고려될 수도 있다. 또한, 가장 중요한 것이 'A Cradle-to-grave' 접근법으로 환경적 부하를 도식화하여 부하의 원인규명 및 예측을 통한 환경 문제의 '이동을 통한 해결'만은 피할 수 있다. 이러한 접근은 eco-design에서 가장 필요한 고려사항이다.

3.2 LCA 평가법

LCA는 생산품, 공정 및 활동 등이 환경에 미치는 영향을 평가하기 위한 도구이며, 네 가지 요소로 구성되어 있다. Fig. 2.4는 LCA 수행절차를 도식화한 것이며, ISO 14040s 규격에 기초하였다.

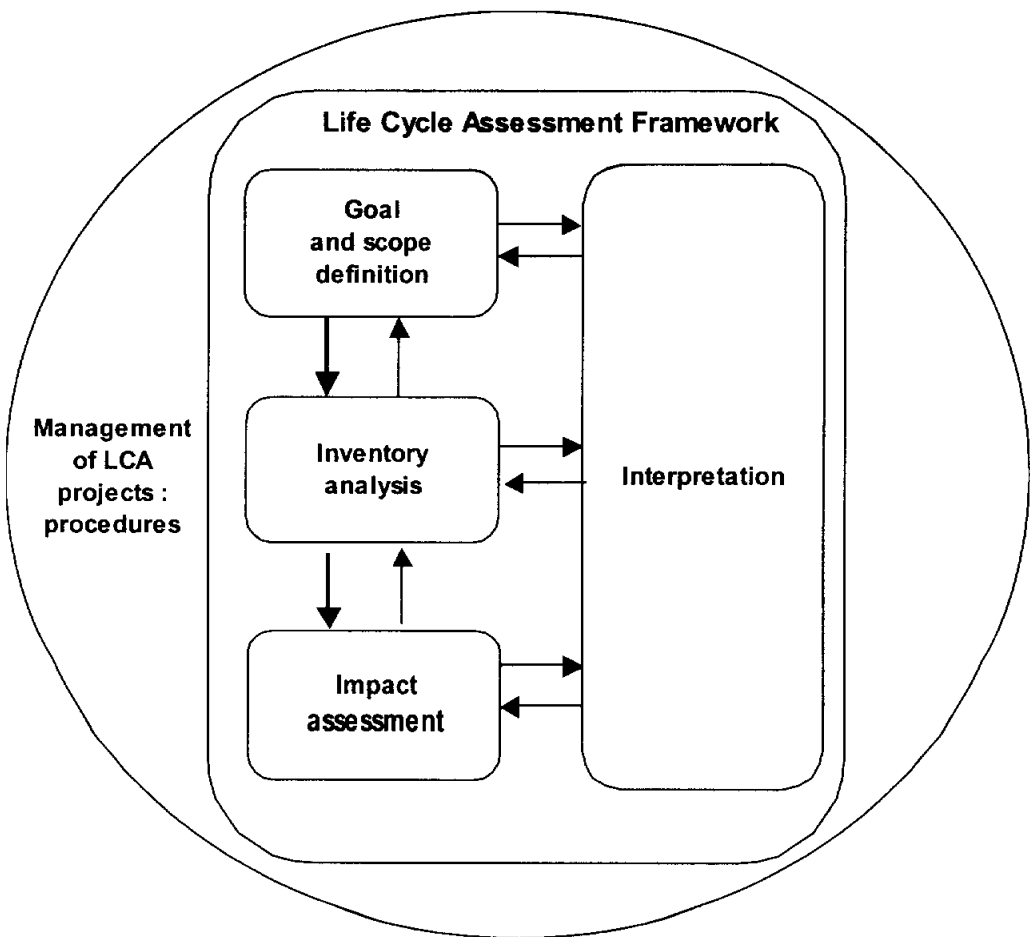


Fig. 2.4. Life cycle assessment framework.

LCA의 평가 절차를 보면,

첫째, 목적 정의 및 범위설정으로 연구목적, 예상되는 결과, 경제조건 및 가정들을 정의하는 단계이다.

둘째, 전과정 목록(Life Cycle Inventory : LCI)분석으로 시스템 경계, 프로세스 흐름도, 자료 수집, 데이터 처리로 구분된다. 분석 대상으로는 평가대상이 되는 시스템과 관련된 지구로부터의 원료물질과 에너지의 획득, 원료물질로부터 유용한 요소로의 가공, 생산품의 사용과 중간물질생산, 각 공정 단계로 물질수송, 연구대상 생산품의 생산, 생산품의 분배, 생산품의 사용 및 최종처분(재순환, 재이용, 소각 또는 매립포함)이 포함된다.

셋째, 영향 평가 방법론으로 분류와 특성화, 가치평가로 구분된다. 분류와 특성화 부분에서는 각각의 파라미터들이 환경영향에 대한 기여도를 나타낼 수 있도록 전환하는 계산과정으로 비생물자원 고갈, 에너지 고갈, 지구 온난화, 인간에 대한 독성, 수계나 토양에 대한 생태독성, 산성화, 부영양화, 오존층 파괴와 광화학적 산화작용 등과 같은 환경영향들이 고려된다. 가치평가 부분에서는 앞서 환경영향범주들에 관해 절대적인 점수로 나타낸 것을 상대적 비교를 위해 가중치를 적용하여 산출된 점수 정규화 단계이다.

넷째, 해석단계로서, 분석결과와 분석과정에서 만들어진 가정에 대해 온건하고, 강하게 평가되어지며, 전체적인 결과가 도출되는 단계이다. ISO 14043이 이 단계에서 중요한 역할을 하고 있으며, 분석의 일관성, 완전성, 기여도 분석, 혼란 등을 판단하고 민감도와 불확실성에 대해서도 평가하여 결론을 도출한다.

3.3 LCA의 활용도

LCA는 제품 및 서비스 등이 환경에 미치는 영향을 구체화하고 정량화하여 평가하는데 도움을 주는 체계적인 틀을 제공한다. 또한, 기존에 존재하는 제품이나 서비스를 서로 비교하는 분석법이므로 기존 제품의 개선이나 새로운 디자인의 제품이나 서비스를 창출할 수 있는 가능성을 제시한다.

따라서, 아래와 같은 상황에서 LCA를 수행하게 된다.

1. 동일한 기능을 가지고 있으나 다른 제품끼리의 환경영향을 비교할 때
2. 표준이 되는 제품(Reference Product)과 연구대상제품의 환경에 대한 영향을 비교할 때
3. 제품의 전과정 중에서 가장 많은 환경영향을 미치는 단계를 규명, 평가하여 기존 제품의 환경 개선을 위한 가장 적당한 방법을 제공
4. 새로운 제품이나 서비스를 개발하는데 도움을 주기 위해서 사용
5. 전략적으로 개발방향을 제시할 때 사용

또한, ISO 14000/14040s 의 단독 규격으로 사용될 뿐 아니라, 환경라벨링, 환경성과평가 등을 지원하는 도구로써 ISO 14000/14040s 규격에도 사용된다.

3.4 LCA의 한계점

LCA의 핵심적인 특징은 전체를 포괄하는 특성이지만 그 자체가 가장 중요한 장점인 동시에 한계가 되고 있다.

LCA는 공간적으로 국부적인 영향을 다룰 수 없을 뿐만 아니라, 시간적으로 정상상태를 가정하고 있다.

LCA모델은 산업활동과 다른 경제적 과정의 물리적 특성에 초점을 맞추며, 시장매커니즘이나, 기술적 발달에 영향을 미치는 부수적인 효과는 포함하지 않는다. 게다가, LCA는 상품의 환경적 측면에 중점을 두고 경제, 사회, 그리고 다른 특징들에 대해서

는 언급하지 않는다. 환경적인 부하는 불특정 시간과 공간에 대하여 잠재적인 영향을 미칠 수 있다.

비록 LCA가 과학에 기초를 두고 그것을 목표로 하고 있지만, 수많은 기술적 가정과 가치선택을 포함한다. LCA는 ISO 표준화 과정에서 중요한 역할을 수행하며, 가능한 한 명백한 가정과 선택을 하도록 하는데 그 목적이 있다.

보다 큰 한계는 자료의 유용성에 달려 있다. 데이터베이스의 형식은 표준화되고 있지만 다양한 나라에서 개발되어 종종 쓸모없고, 비교할 수 없거나 정확성이 결여된 자료가 대부분이다.

LCA는 분석도구로서 보다 근본적인 본질을 가지고 있기 때문에 결정을 위한 정보를 제공할 뿐이지 LCA가 결정과정을 대신할 수는 없다.

지난 10여년 동안 생태학적 부하를 정성적, 정량적으로 평가하는 몇몇 방법이 발달해 왔고, 현재 가장 많이 사용되는 것이 LCA이나, 앞서 언급한 것과 같은 한계점으로 인해 좀 더 완성도 높은 의사결정도구를 개발하기 위해서는 다른 평가법과의 병행이 불가피하다.

Bargigli and Ulgiati(2003)는 'Emergy and Life-Cycle Assessment of steel production in Europe'에서 mass, energy, exergy, emergy accounting의 4가지 방법의 통합적 접근법에 대해 연구하였다. Fig. 2.5는 4가지 평가법의 평가영역을 도식화한 것이다.

LCA는 mass, energy, exergy 까지의 영역에 걸쳐 수행되며, Odum(1983)에 의해 제안된 emergy 평가법은 LCA 수행을 통한 mass 분석과 exergy 분석을 포함한 것으로 emergy intensity (transformity)를 고려하여, 생태학적인 발자국, 지속성, 편익 등을 평가하는데 사용된다. 따라서, LCA개념을 포괄할 뿐만 아니라 보다 의사결정도구로 이용될 수 있는 emergy 분석법에 의한 지표 개발이 요구된다.

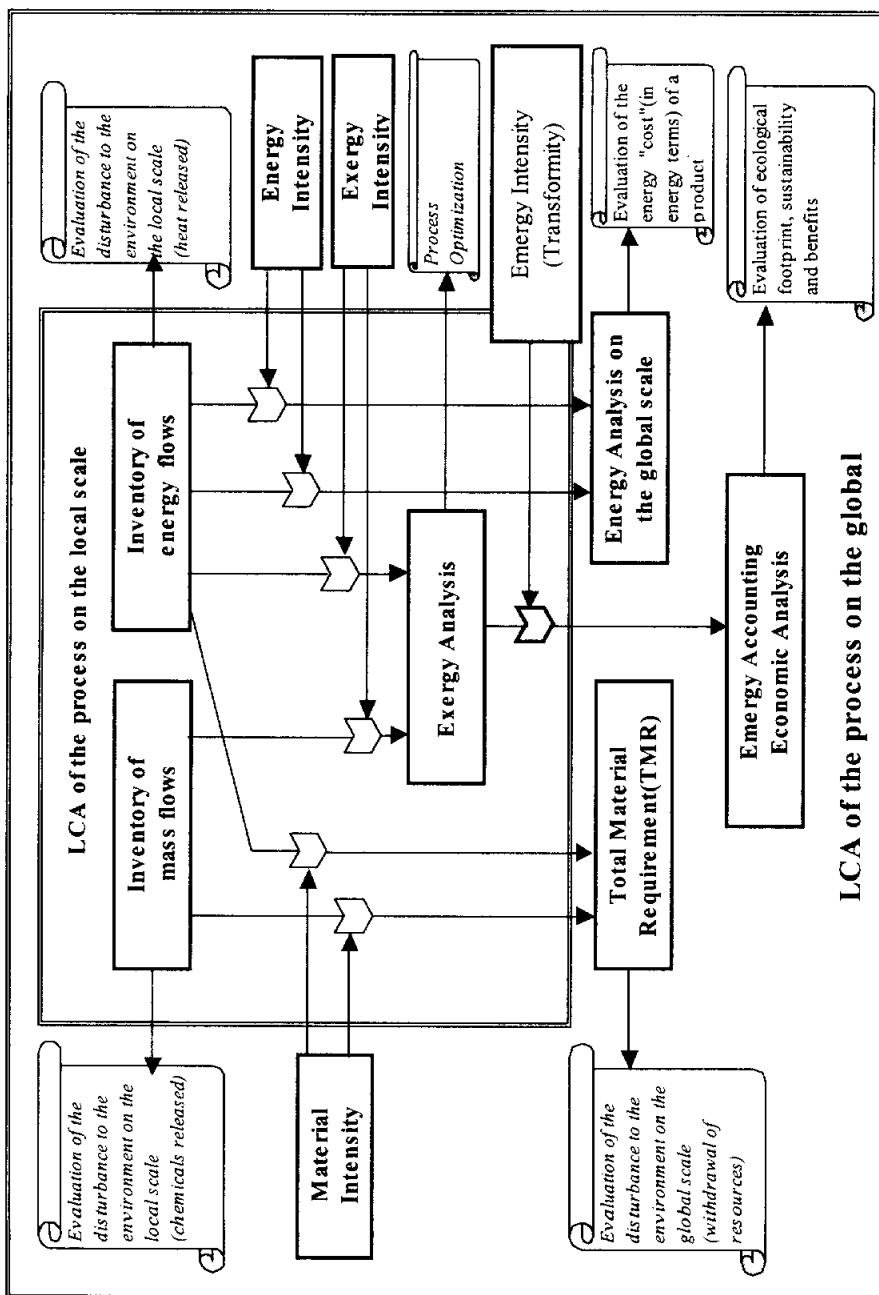


Fig. 2.5. Diagram of the integration of several approaches at different scales of application (Bargigli and Ulgiati, 2003).

4. Emergy 지수

4.1 Emergy 개념

4.1.1 시스템 생태학적 접근

시스템 생태학(systems ecology)은 지구의 환경문제를 국지적인 차원의 지역적 문제나 개별적인 산업 또는 기술의 문제로만 인식하지 않고 하나의 통합된 시스템으로 파악하고, 또한 인간을 포함한 모든 생물군과 그 주변의 환경을 하나의 통합된 시스템으로 인식하여 시스템내의 유기적인 관계와 상호 작용을 체계적이고 정량적으로 파악하는 학문이다. 포괄적인 접근방식을 이용하는 시스템 생태학은 자연환경과 경제활동이 상호 작용하는 농업, 공업, 그리고 지역 등의 시스템에 대해 자연과학, 공학, 사회과학 등의 모든 학문분야의 기술과 방법을 연계시킬 수 있는 에너지 척도를 기초로 시스템의 구조를 다이어그램으로 표현하고, 이를 기초로 생태계의 부분적 기능을 통합하여 하나의 시스템으로 연구하는 시스템 분석과 컴퓨터를 이용하여 생태계를 분석하고 재구성하는 에너지 시스템 모델을 이용하여 시스템을 종합적으로 평가하고 있다 (Fig. 2.6).

시스템 생태학은 자연 생태계에서 일어나는 에너지 및 물질의 흐름과 변화과정을 시스템 언어로 분석하여 인간과 자연의 유기적 관계를 정량적으로 규명할 수 있는 방법을 제시해 주기 때문에 우리에게 자연을 보는 새로운 안목을 가질 수 있게 해주며, 오늘날 우리가 겪고 있는 환경문제를 해결하고 자연을 합리적으로 관리하는데 활용될 수 있다. 또한, 지역이나 국가 그리고 세계를 하나의 시스템으로 간주하고 재화의 이동이나 인간의 역할에 시스템 이론을 적용하는 예를 제시하여 사회 과학 분야의 연구에 새로운 접근 방법을 제시해 줄 것으로 보인다.

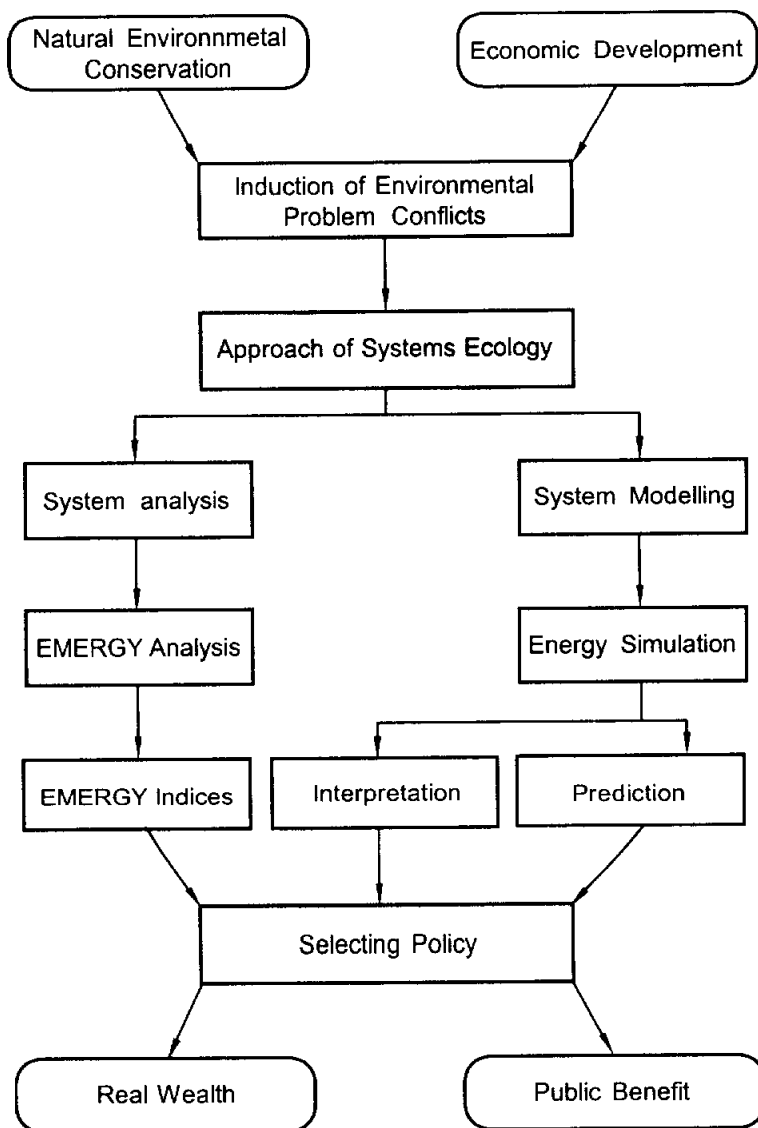


Fig. 2.6. The methodological roots of systems ecology.

4.1.2 Emergy의 정의

지구 순환과정은 각 에너지원이 다량의 저급 에너지로부터 소량의 고급에너지로 전환되는 계층 구조를 가지고 있으므로 물리학적으로 같은 크기의 에너지라도 실질적으로 일을 할 수 있는 능력에는 차이가 있다.

이러한 차이를 지구생산활동의 원동력인 태양에너지를 기준으로 동일한 척도로 평가하기 위하여 각기 다른 형태의 재화와 용역이 형성되기까지 직·간접적으로 소모된 태양 에너지를 solar emergy 라고 정의한다(Fig. 2.7).

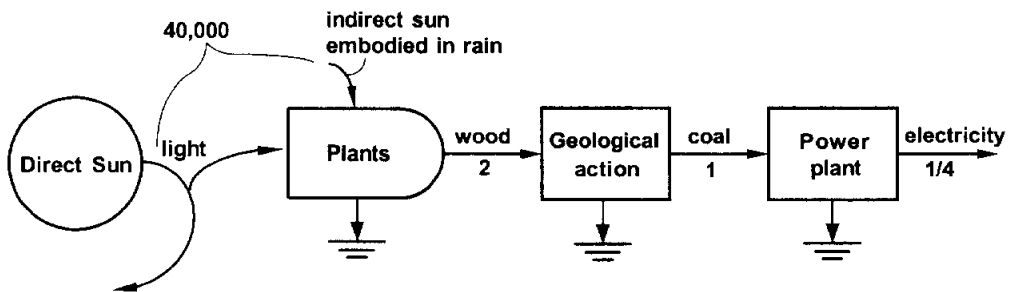


Fig. 2.7. Emergy quality chain used to calculate solar transformity(Odum, 1988).

4.1.3 Transformity

생태계내의 에너지 흐름은 에너지 변환, 퇴적, 상호작용 그리고 재순환으로 구성된 연결망 구조를 가지고 있다. 이러한 흐름의 연결망 구조는 에너지 변환이 수렴하는 계층구조(hierarchy)를 형성한다. 에너지의 형태가 다르다면 에너지의 질이 다르기 때문에, 한가지의 에너지 질은 이 에너지가 에너지 변환과정을 통해 형성되기 위해 사용된 다른 형태의 에너지량, 즉 내재된 에너지(embodied energy)로 환산하여 측정하게 된다. 변환을 조절하는 잠재력(potential)도 내재된 에너지에 의존한다.

Energy는 각 에너지원에 내재된 태양에너지에 대한 척도이며, 이를 계산하기 위해 지구 시스템 내에서 태양에너지로부터의 전환정도를 나타내는 solar transformity가 사용된다(Fig. 2.8). 이는 에너지질의 척도로 어떤 형태의 에너지 1 joule을 만들기 위해서 직접·간접적으로 소모된 태양에너지 양으로 정의되며, 단위는 solar emjoules per joule(sej/j)로 표현된다. Transformity는 에너지 계층구조를 따라 진행하면서 점차적으로 증가되며, 에너지 계층구조내의 에너지 흐름이나 보유량에 대한 질의 척도로 이용된다.

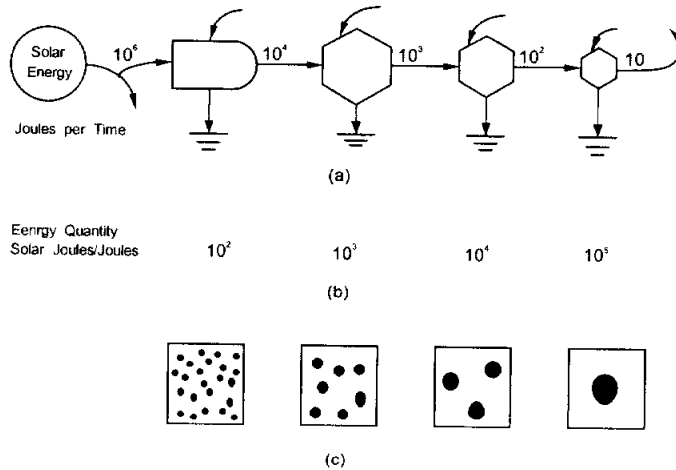


Fig. 2.8. Hierarchical chain of energy transformations: (a) decrease of energy in successive transformations; by-product pathways are omitted; (b) energy-transformation ratios in solar equivalents; (c) spatial hierarchy characteristics(Odum, 1983).

4.1.4 EmWon

EmWon은 energy를 화폐단위로 환산한 것으로 경제적 생산을 위하여 소모된 총 energy와 생산된 화폐가치와의 비를 이용하여 계산한다(Fig 2.9).

이 가치는 단순화폐가치가 아니라 과학적 척도로서 실질적인 부를 평가하는 energy에 기초한 거시경제적 가치이다.

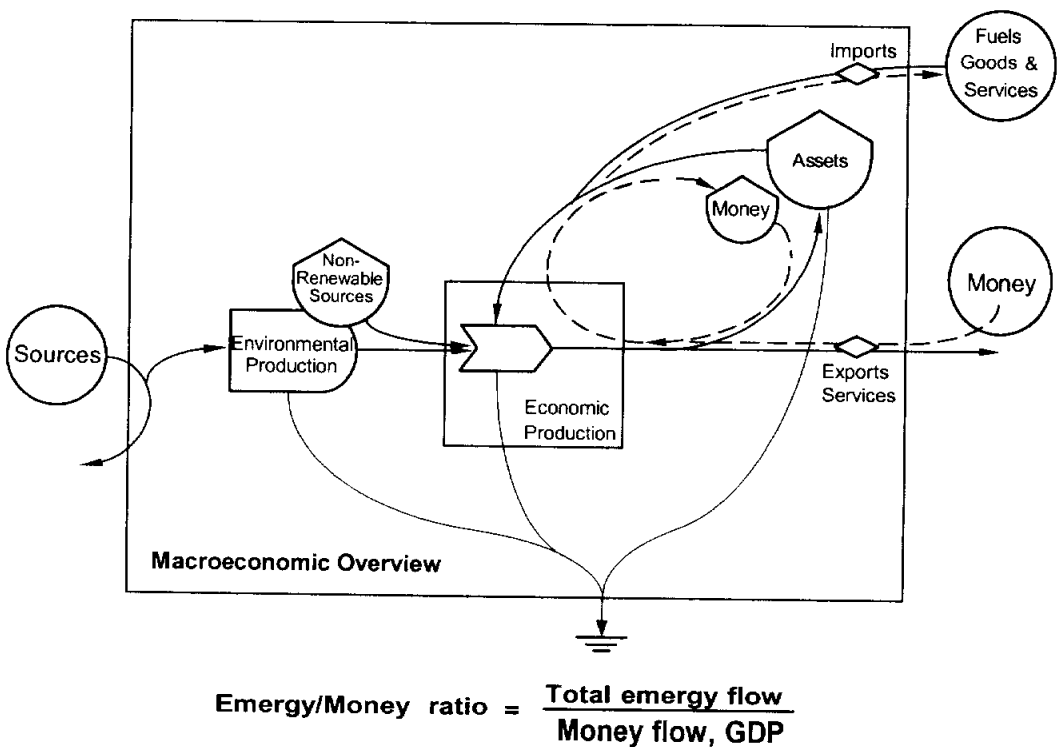
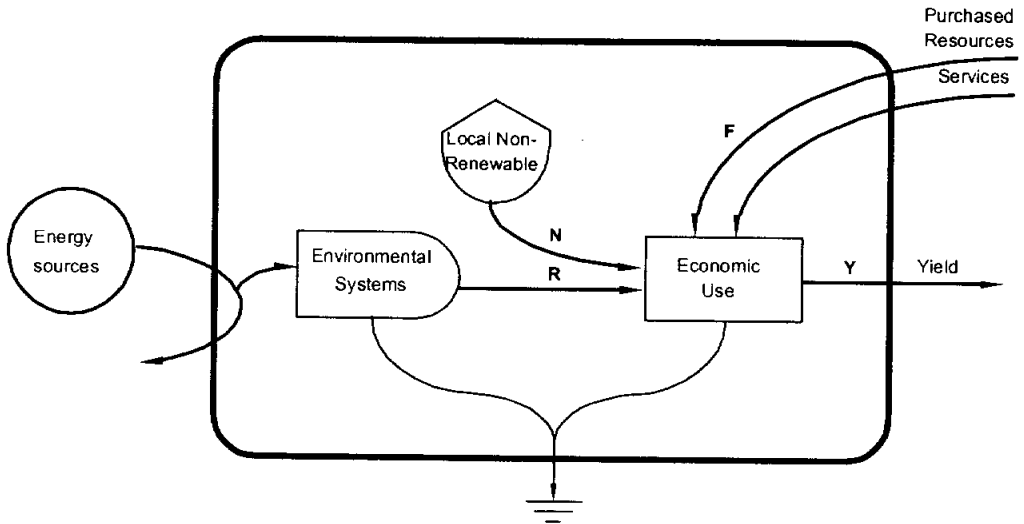


Fig. 2.9. Emergy inputs used to evaluate the emergy/money ratio of the national economy(Odum, 1996).

4.2 Emergy 지수

Emergy 분석에서 구한 emergy 값을 기초로 분석대상 시스템을 비교하고, 그 특성을 파악하기 위해 Fig. 2.10과 같이 emergy 지수들을 계산한다.

시스템에 유입되는 emergy를 강우 및 지구활동에 의한 환경 에너지원의 emergy(R)와 시스템 내부의 보유에너지원의 emergy(N), 그리고 경계밖으로부터 유입되는 화석연료, 전기, 그리고 각종 재화와 용역의 구매 emergy(F)로 구분하여 emergy 지수들을 계산한다.



$$\text{Yield}(Y) = R + N + F \dots\dots\dots(1)$$

$$\% \text{Renew.} = R / (R + N + F) \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Emergy Yield Ratio(EYR)} = Y / F \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Environmental Loading Ratio(ELR)} = (F + N) / R \dots\dots(4)$$

Fig. 2.10. Emergy based indices, accounting for local renewable emergy inputs(R), local nonrenewable inputs(N), and purchased inputs from outside the system(F)(Brown and Ulgiati, 1997).

Ⅲ. 연구방법

1. 대상시스템 선정

1960년대 산업화 과정에서는 절대적 빈곤의 타파가 목표였기 때문에 자원이나 환경의 문제는 고려대상에서 제외되었으며, 1970년대와 80년대를 거쳐 중화학공업화 및 수출드라이브 정책 등을 통해 고도 성장기를 거치는 동안에도 성장우선 정책이 주류를 이루었다. 최근의 신산업 정책에서는 환경친화적 산업을 다소 고려하고 있지만, 성장 엔진으로서의 역할을 중요하게 다루는 대신 환경문제는 부수적인 요인으로 취급하며, 지속가능성 측면에 대한 고려도 부족하다(이, 김, 2000).

2001년, 국내 총생산(Gross Demostic Production, GDP)은 약 545조원이며, 이 중 제조업은 30%를 차지하여 가장 큰 부분을 담당한다. 그러나, 국토면적은 단지 0.51%만 차지하고, 국내 에너지 소비량의 30%를 소비하면서 이루어지는 좁은 지역의 생산활동으로 인한 환경부하가 크다. 따라서, 대량생산과 대량소비로 대표되는 현대 산업사회임을 감안할 때 환경에 대한 산업계의 역할은 어느 분야보다 중요하며, 산업 내의 환경친화적 전환 및 산업 간의 정책 또한 요구된다.

본 연구에서는 환경친화적 전환 정책을 통한 지속적인 생산활동, 나아가 국가 경제의 지속성을 위해 제조업을 대상시스템으로 설정하였으며, UN국제표준산업분류표에 의거하여 분류한 총 23개 제조업종에 대한 emergy 분석을 실시하여, 제안된 환경친화성 지수를 적용해 보았다.

Table 3.1 Division of manufacturing industry selected in this study

Division	Number of establishments	area(m ²)
Manufacturing Industry	105,873	5.12E+08
15 Manufacture of Food Products & Bev.	6,985	3.79E+07
16 Manufacture of Tobacco Products	12	2.18E+06
17 Textiles, Except Sewn Wearing apparel	9,961	3.31E+07
18 Sewn Wearing Apparel & Fur Articles	9,146	2.61E+06
19 Tanning & Dressing of Leather	2,642	2.55E+06
20 Products of Wood & Cork	2,058	7.29E+06
21 Pulp, Paper & Paper Products	2,826	1.50E+07
22 Publishing, Printing & Reproduction	5,451	3.65E+06
23 Coke, Refined Petroleum Products	96	1.86E+07
24 Chemicals and Chemical Products	3,382	6.70E+07
25 Rubber and Plastic Products	7,611	2.70E+07
26 Non-metallic Mineral Products	3,796	4.86E+07
27 Manufacture of Basic Metals	2,385	4.97E+07
28 Fabricated Metal Products	11,640	3.12E+07
29 Manufacture of Other Machinery	13,777	4.49E+07
30 Computers and Office Machinery	789	3.39E+06
31 Electrical Machinery n.e.c.	5,499	1.41E+07
32 Radio, TV and Communication Equip.	4,315	2.02E+007
33 Medical, Precision & Optical Instruments	2,489	3.04E+06
34 Motor Vehicles & Trailers Mfg.	3,456	3.69E+07
35 Manufacture of Other Transport Equip.	1,219	2.93E+07
36 Furniture; Articles	5,880	9.95E+06
37 Recycling	458	3.73E+06

2. Emergy 분석

2.1 에너지 시스템 다이어그램 작성

Odum(1996)이 제안한 에너지 시스템 언어를 이용하여, 시스템의 자연환경과 경제 활동의 생산, 소비, 재순환 등의 변화를 전체적으로 파악(Top-down)하기 위해 에너지 시스템 다이어그램을 작성한다(Fig. 3.2).

다이어그램의 작성 절차는 첫째, 분석대상 시스템의 경계를 설정한다. 시스템 분석을 위해서 23개 제조업종이 이루어지는 부지면적을 공간적인 경계로 설정한다.

둘째, 시스템 외부로부터 유입되는 자연환경자원과 구매된 자원 및 대상시스템 내의 생산, 소비, 재순환 과정을 파악한다.

셋째, 외부 에너지를 transformity 순으로 왼편에서 오른편으로 시스템의 경계외부에 차례로 배열하고, 시스템 경계 밖의 외부 에너지원으로부터 시작하여 내부의 생산자, 소비자에 대한 에너지, 물질 그리고 화폐의 흐름에 따라 선을 연결하여 다이어그램을 완성한다.

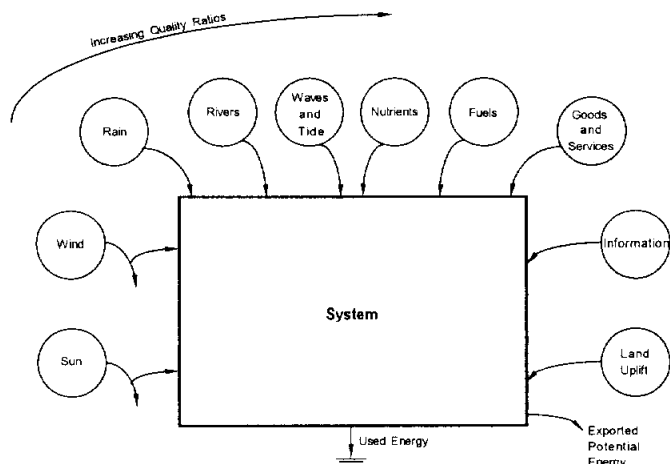


Fig. 3.1. Typical energy sources driving an environmental system arranged in order from low quality on left to high quality on right(Odum, 1983).

2.2 Emergy 분석표 작성

분석대상 시스템의 자연환경과 경제활동에 있어 외부 에너지원의 역할과 가치를 평가하기 위해서 Table 3.2와 같은 형식의 emergy 분석표를 작성한다.

첫 번째 열에는 분석대상 시스템의 자연환경과 인간의 경제활동을 가능케 하는 외부의 주요 에너지원을 기입한다. 태양, 바람, 비, 지질작용과 같은 자연환경자원, 석탄 소비량, 가스사용량, 석유 사용량, 용수 사용량, 원재료량 그리고 각종 교역과 교환에 의해 외부로부터 유입되는 재화 및 용역 등으로 파악한다.

Table 3.2 Tabular format for emergy evaluation

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

두 번째 열에는 주요 에너지원의 실제 에너지, 물질 또는 화폐 단위의 값을 기입한다. 본 연구에서는 통계청에서 발행하는 광업·제조업통계조사보고서와 산업자원부에서 운영하는 산업정보망의 에너지 통계DB를 기초로 하여 분석을 실시하고, 부족한 자료에 대해서는 요청하여 사용하였다.

세 번째 열에는 주요 에너지원에 대한 solar transformity, 재화 및 용역에 대한 emergy/money ratio를 나열한다. 본 연구에서는 solar transformity의 경우 Appendix와 같이 기존의 평가치(Odum, 1996)를 이용하였고 emergy/money ratio는 2002년 김에 의해 연구된 자료를 이용하였다(Appendix. 3.1).

네 번째 열에는 두 번째 열의 주요 에너지원이 가지는 실제 값에 세 번째 열의 solar transformity와 emergy/money ratio를 곱하여 emergy 값을 산출한다.

다섯 번째 열에는 주요 에너지원의 emergy 값을 emergy money ratio로 나누어 계산한 거시 경제적 가치(macroeconomic value)를 산출한다.

3. Emergy 지수 산정

Fig. 2.10에 표기된 약자를 이용하여 시스템의 특성을 파악하기 위한 emergy 지수를 산정한다.

3.1 연속성 에너지원의 점유율(% Renew.)

대상 시스템에 유입되는 에너지원의 전체 emergy 양은 환경자원(R), 내부보유자원(N) 그리고 경계 밖으로부터 교역과 교환을 통해 유입된 구매자원(F)의 emergy 합 [$Yield=R+N+F$, (Eq. 1)]으로 계산되고, 이중 환경자원이 차지하는 emergy 비율을 계산[% Renew., (Eq. 2)]하여 점유율로 나타낸다.

3.2 Emergy 생산비(Emergy Yield Ratio : EYR)

Emergy 생산비[Emergy Yield Ratio, (Eq. 3)]는 시스템으로부터 생산된 생산물이 가지는 전체 emergy 양 [$Yield=R+N+F$, (Eq. 1)]에 경계 밖으로부터 교역과 교환을 통해 유입된 구매자원의 emergy 양(F)으로 나누어 계산하며, 생산물(product)이 가지는 자원으로서의 가치와 시스템의 효율성을 평가하는데 이용한다.

3.3 환경부하율(Environmental Loading Ratio : ELR)

자연환경 활동에서 기인한 환경자원에 대한 내부보유자원과 구매자원의 유입비율을 의미하는 환경부하율[Environmental Loading Ratio, (Eq. 4)]은 내부보유자원과 구매자원의 emergy 이용량(F+N)에 대해 환경자원의 emergy 이용량(R)으로 나누어 계산하며, 시스템의 생산과정 중, 자연환경에 대한 환경적 부하의 정도를 파악하는 지수이다.

4. 환경친화성 지수 개발

일반적으로 산업체는 산업 생산의 상대적으로 좁은 공간으로 환경에 커다란 부담을 지운다는 개념하에 환경적 압박에 기여하는 주요인자로 알려져 있다.

대량생산과 대량소비로 대표되는 현대사회에서 있어서, 산업계의 환경에 대한 역할은 어느 분야보다 중요하며, 효율적인 자원 사용 및 청정생산을 통해 폐기물 발생을 최소화시키고, 자원의 활용과 환경에 미치는 영향을 줄여나갈 수 있을 뿐 아니라, 경쟁력 확보를 통한 지속적인 산업활동이 가능할 것이다.

Emergy 평가법은 시스템 내의 생물, 무생물의 유기적인 관계와 생산, 소비, 재순환을 통한 상호작용을 과학적이고 정량적으로 파악할 수 있는 시스템 생태학에 그 근거를 두고 있다. 따라서, 자연자원과 함께 인간 경제활동의 유기적 관계를 정량화함으로써 과학적이고 통합적인 안목으로 산업시스템을 판단할 수 있는 지수를 산출한다.

Fig. 3.2는 산업활동과 유기적인 관계를 맺고 있는 자연환경, 경제활동을 포함하여 나타낸 일반적인 산업 다이어그램으로서, 시스템 내로 유입되는 자연환경자원 및 내부 보유자원, 외부로부터 구매된 자원에 의한 emergy와 산출된 생산품의 판매에 의한 emergy 흐름을 나타내고 있다.

산업시스템은 일반적인 생태계의 생산과정이 다르다. 이는 자가정화적(Self-purity)이고 자가조직화(Self-organization)적인 재순환적 요소가 결여되어 있을 뿐만 아니라, 거의 비영속성 에너지원에 의존하고 있기 때문인데 이로 인해 발생하는 폐기물은 환경에 대한 압박을 가중시킨다.

자원이나 자원의 재활용에 대한 지속성 평가 및 지수(Brown and Buranakaln, 2003), 전력생산에 따른 환경부하 용량 산정(Ulgiati and Brown, 2002), 산업시스템에서 폐수처리, 재활용, 재이용 평가(Hui Yang etc, 2003) 등 산업의 환경성에 대한 emergy 평가법이 세계적으로 연구가 이루어졌으나, 본 연구에서는 전(全)체적인 산업시스템에 대한 지속가능한 발전을 위해 환경친화성 지수를 emergy 생산성, 환경성, 생태경제성 등에 대한 함수로서 개발하여 통합적인 관리 정책을 제안하였다.

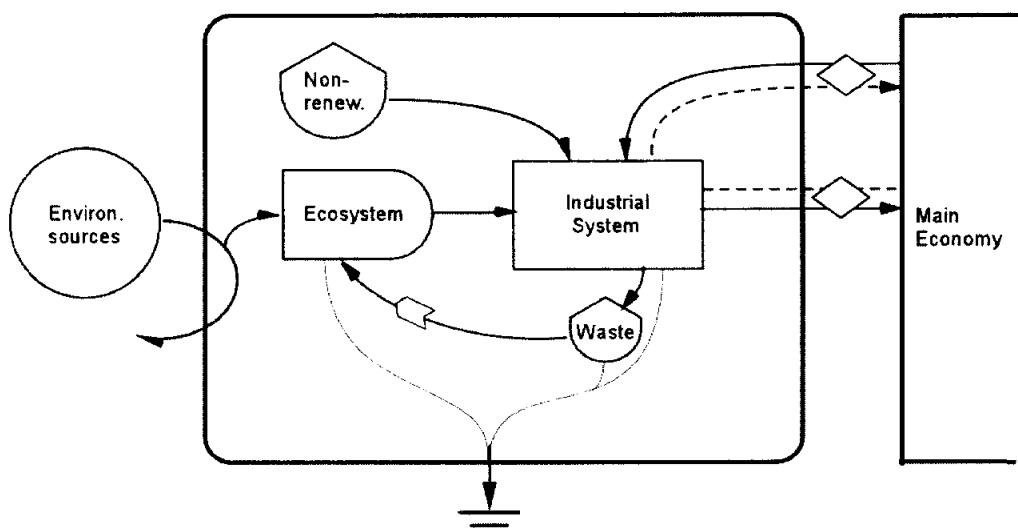


Fig. 3.2. Emergy flow chart of industrial system(dashed lines note flow of money).

4.1 Emergy 지수

한 시스템은 시스템 내로 유입되는 자연환경자원, 즉 태양, 바람, 강우 같은 영속적인 자원과 시스템 내의 보유된 자원, 시스템 외부로부터 구매한 구매자원에 의해 유지되는데, Fig. 3.3은 이러한 emergy 흐름을 요약하여 3-arm 다이어그램으로 나타낸 것이다. 자연환경자원의 유입은 왼쪽에 [R]의 경로를 통해 통합하여 표현되었으며, 외부 경제활동으로부터의 구매한 emergy는 오른쪽 위 [F]의 경로를 통해 요약되었다. 또한, 생산공정을 통해 생산된 emergy는 오른쪽 낮은 경로인 [Y]를 통해 요약된다.

이를 바탕으로 계산된 몇몇의 지수들에 관한 연구가 세계적으로 이루어져 오고 있으며, 이러한 지수는 환경자원의 사용 형태나 효율성에 대한 시스템적 정보를 나타내고 있다.

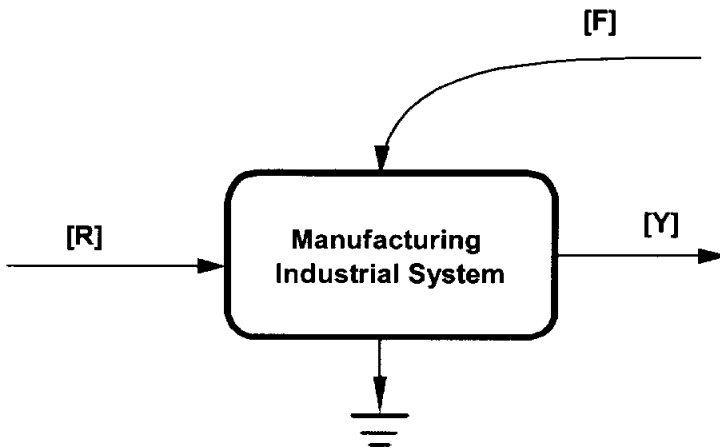


Fig. 3.3. Aggregated summary of emergy flows.

1. Emergy 생산비(Emergy Yield Ratio : EYR)는 총 사용된 emergy를 외부경제로부터 구매된 emergy로 나눈 값이다.

$$EYR = \frac{Y}{F}$$

시스템 생산구조에서의 자원으로서는만의 역할을 넘어 시스템에 대한 순 기여도를 측정하는 지표이다. 이는 자원 그 자체만의 역할 뿐만 아니라 기여도를 측정할 수 있을을 감안할 때, 에너지원을 평가하는데 더 중요한 지수가 된다.

만약, 그 값이 1보다 크다면, 자원이 경제 시스템에 대한 순 기여도가 큰 것으로, 이는 경제에 있어서 더 많은 소비를 촉진시킬 것이다. 즉, 같은 제품생산에 있어서 지수값이 크다면 그 생산공정의 효율성이 더 큰 것으로 판단할 수 있다.

이때, 생산 emergy를 위한 유입 emergy는 ‘불필요한 폐기물이나 손실이 없다’라는 가정하에, 생산 emergy(Y)는 같은 시스템내로 유입된 emergy의 합으로 산출되는데, 만약 값이 1보다 적다면, 이같은 방법을 쓸 수 없다. 따라서, 시스템의 효율성이나 실용성을 비교 평가해보고자 한다면, 독립적으로 결정된 transformity를 이용하여 생산 emergy를 평가하는 것이 더 바람직할 것이다(Odum, 1996).

2. 환경부하비 (Environmental Loading Ratio : ELR)는 시스템 내로 유입되는 영속적인 자연환경자원에 대한 내부의 비영속성 및 외부로부터 구매된 emergy의 비를 나타낸 것이다.

$$ELR = \frac{(F+N)}{R}$$

즉, 생산활동에 의한 환경의 압박 지표로 사용된다(Ulgiati and Brown, 1997).

3. 본 연구에서 또 하나의 지수를 제안하였는데, 이는 시장경제적 이윤을 고려하여 나타낸 지수로 생태경제성 지수(Ecological Economic Efficiency : EEE)라 정의한다.

생태경제성지수는 시스템에 의해 생산된 생산액에 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.

$$G.O.E = \frac{G.O. \times Y_T}{GDP}$$

$$EEE = \frac{G.O.E.}{Y_s}$$

여기서, Y_T : 국가전체의 사용된 Emergy

Y_s : 대상시스템의 사용된 Emergy

이는 제품의 생산에 이용된 단위 emergy당 생산된 제품의 시장경제적 가치의 비를 나타내며, 생산된 제품의 실질적인 가치가 시장 경제에서 얼마만큼 인정되고 있는지를 평가한다.

4.2 환경친화성 지수(Environmental Responsibility Index : ERI)

제조업의 환경친화성의 정의는 “경제적 이득”을 포함시켜야 한다. 기업의 궁극적인 목적은 적정이윤을 확보하여 기업활동을 지속시키는 것이며, 그래서 기업을 ‘계속체 (going concern)’라 부르기도 한다.

과거, 기업을 운영시키기 위한 경쟁력은 기계화 등 자본에 의한 노동의 대체가 주를 이루었으나, 이제는 자원 효율성 향상이나 환경 부하 저감을 통한 추가적인 원가 감축을 통해 경쟁력 확보가 보다 중요한 요인이 되고 있다.

현재의 지속가능한 산업발전은 ‘현재 및 미래 세대의 삶의 질을 유지 또는 향상’을 목적으로 하며, 천연자원 사용 및 환경부하의 감소와 생산성 향상을 동시에 달성하는 것 즉 생태경제적 효율성(eco-efficiency)을 극대화하는 것이다.

따라서, 기업의 환경친화성은 생산성, 환경성, 경제성의 함수이며, 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, 1 보다 크다면 구매된 자원의 순기여도가 있어 기업을 지속시킬 수 있다. 따라서, 기업활동은 EYR과 정(+)의 관계를 가진다.

두 번째로, 생산공정이 극도의 환경부하를 일으킨다면, 기업의 환경적 제재가 강화되고 있는 상황에서 장기간의 경쟁력을 가지고 산업이 지속되지는 못할 것이므로, 환경부하비(ELR)와는 부(-)의 관계를 가진다.

마지막으로, 기업의 생산활동에 의해 생산된 제품은 시장경제를 통해 판매되는데, 제품 생산에 소비된 단위 emergy 당 생산된 제품의 경제적energy가 크다면, 생산공정의 효율성과 함께 시장경제적 이윤이 커 기업의 경쟁력을 크게 증가시킬 것이다. 따라서, 생태경제성과는 정(+)의 관계를 가진다.

이를 고려하여 수식으로 표현하면, 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{ERI} &= 1000 \frac{EYR \times EEE}{ELR} \\
 &= 1000 \frac{Y_s}{F} \times \frac{R}{(F+N)} \times \frac{G.O.E.}{Y_s} \\
 &= 1000 \frac{R \times G.O.E.}{F(F+N)}
 \end{aligned}$$

수식의 비례상수로 적용된 1000은 지수의 십진화를 위해 곱해진 것이다.

즉, 기업의 환경친화성은 자연환경에 의존할수록 그리고 사용된 emergy에 비해 경제적 emergy의 비가 클수록 친화성이 높고, 구매자원이나 시스템 내부의 화석연료에 의존할수록 친화성이 낮음을 알 수 있다.

IV. 연구결과

1. 제조업의 현황

국내 제조업종의 자연환경과 경제활동에 대한 일반적인 에너지 시스템 다이어그램은 Fig. 4.1과 같다.

본 연구의 대상 범위는 공간적으로는 사업체의 부지 면적을, 시간적으로는 2001년도를 기준으로 하여 평가하였다.

주요 에너지원을 기초로 한 시스템의 구조를 살펴보면, 우선, 시스템 외부로부터는 자연환경활동에서 기인한 태양, 바람, 비, 지질작용과 같은 영속성 에너지원과 경제활동을 통한 공업용수의 구매, 각 제조업종별 생산품에 따라 달라지는 원재료, 또한 생산활동에 필요한 연료 및 노동력, 기자재 등이 유입되고 있다.

시스템 내부에는 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, 자가조직화된 생태계에서 나타나는 생산, 소비, 재순환의 구조가 이루어지지 않으며, 발생된 부산물은 생태적 재순환 과정에 자연적으로 이용되지 못하고, 소각, 대기확산, 하·폐수처리 등의 과정을 통해 자연환경에 유입되어 큰 부하를 주고 있다.

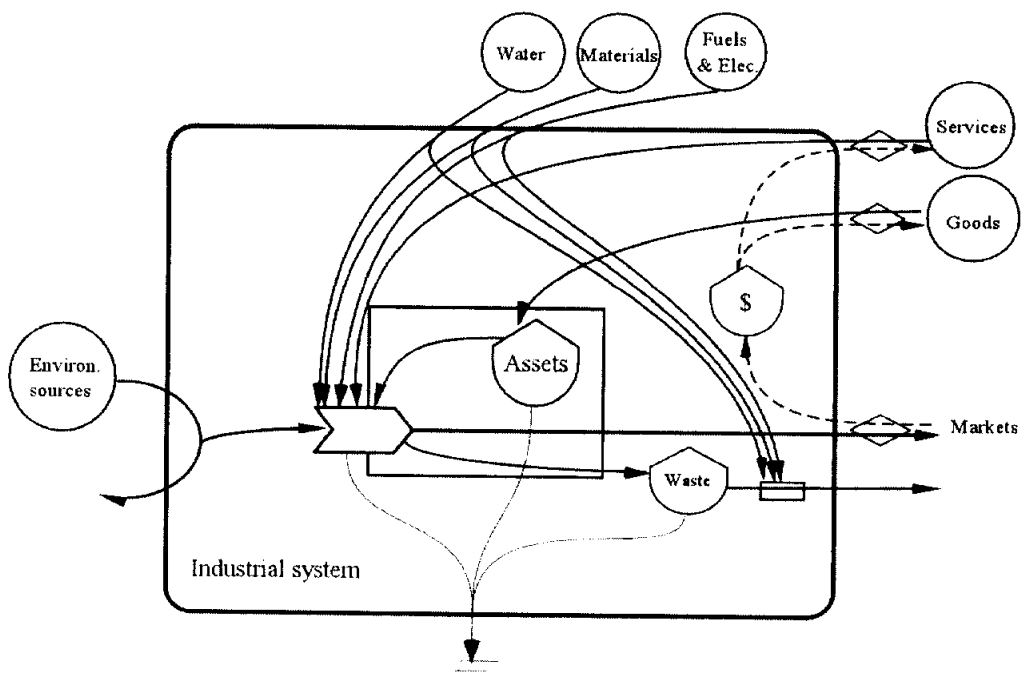


Fig. 4.1. Diagram of energy flows in industrial system.

2. Energy 분석결과

2.1 국내 총 제조업

국내 총 제조업을 유지시켜주는 자연환경과 경제활동의 주요 에너지원을 물리·화학적 에너지 및 energy 단위로 계산한 결과는 Table 4.1, Fig. 4.2와 같다.

Energy 분석에서는 주요 에너지원을 자연환경에너지원(영속성 에너지원, R), 보유한 비영속성 에너지원(N), 그리고 외부로부터 유입된 구매자원(F)으로 요약되며, 자연환경자원의 경우 동일 에너지원에 의한 이중산정(double counting)을 피하기 위하여 자연환경자원 중 가장 큰 energy 유입량으로 계산한다(Odum, 1996).

본 연구에서는 대상 시스템 영역을 사업체 면적으로 하였기 때문에 시스템 내에 보유한 비영속성 에너지원의 수치는 없다. 그리고 외부로부터 유입되는 구매자원 경우 화석연료와 전기 그리고 재화와 용역의 energy 유입량 등을 모두 합하여 계산하였다.

국내 총 제조업의 energy 분석을 통한 각 에너지원의 실질적인 기여 측면에서 살펴보면, 자연환경 활동에서 기인한 에너지원의 경우, 태양에너지로부터 $1.63\text{E}+18$ sej/yr, 바람으로부터 $1.50\text{E}+19$ sej/yr, 강우로부터 $6.15\text{E}+19$ sej/yr, 지열작용에 의한 $1.76\text{E}+19$ sej/yr로 유입되고 있어 자연환경자원 중에서는 강우에 의한 기여도가 높은 것으로 평가되었다. 생산활동에 직접적으로 필요한 에너지원에 대해서는 용수의 공급이 $1.03\text{E}+21$ sej/yr, 연료형태로는 석탄이 $2.73\text{E}+23$ sej/yr, 천연가스가 $1.53\text{E}+22$ sej/yr, 석유가 $1.09\text{E}+23$ sej/yr로 유입되어 총 연료 사용은 $1.52\text{E}+23$ sej/yr로 총 사용된 energy량 중 16.6%를 차지하고 있었다. 전력 사용으로부터 $7.81\text{E}+22$ sej/yr가 유입되었고, 위의 각종 에너지원을 만드는데 소요되었던 노동력이나, 사업체의 생산활동에 있어서 직접적으로 소요된 노동력 등을 나타낸 서비스로부터는 $1.46\text{E}+23$ sej/yr가 유입되고 있다. 또한 매년 유형자산의 증감을 통한 생산시스템 자산비용과 생산 원재료의 함으로 나타낸 재화로부터 $5.42\text{E}+23$ sej/yr(58.98%) - 원재료비용이 $5.00\text{E}+23$ sej/yr로 대부분 차지 - 로 유입되는 총 energy 중 가장 큰 부분을 차지하고 있다.

Table 4.1 Emergy evaluation of resource basis of Manufacturing Industry in Korea

No.	Item	value	Transformity	Solar emergy	Macroeconomic values
		(J, ₩)	(sej/unit)	(sej/yr)	(EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
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
	Total			6.15E+19	3.91E+10
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply	2.14E+16 J	48459	1.03E+21	6.59E+11
	fuels				
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
	Total			9.19E+23	5.85E+14
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	emergy production				5.85E+14
13	economic production	5.84E+14 ₩	1.57E+09	9.17E+23	5.84E+14

분석결과를 보면, 1960년대 산업화 과정에서의 절대적 빈곤의 타파가 목표였고, 1970년대와 80년대를 거쳐 중화학공업화 및 수출드라이브 정책을 통한 성장 우선 정책으로 발전했던 자원의 집약적이고 노동 집약적인 우리나라 산업구조의 특성에 그대로 드러나 있음을 알 수 있다(Fig. 4.2).

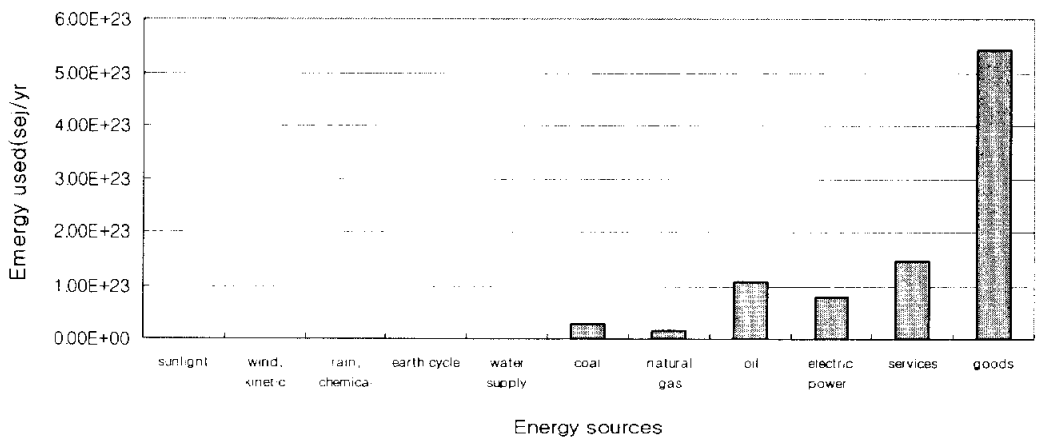


Fig. 4.2. Energy signature of each energy source in manufacturing industry.

2.2 중분류에 의한 제조업

Emergy 분석을 통하여, 국내 중분류에 의한 제조업을 유지시키는 에너지원의 실질적인 기여정도를 평가하면 Table 4.3, Fig. 4.3, Appendix. 4.1와 같다.

분석결과를 살펴보면, 각 제조업종에서의 총 emergy 사용량($U=R+N+F$)는 화합물 및 화학제품 제조업에서 $1.39E+23\text{sej/yr}$ 로 가장 많고, 코크스·석유정제품 및 핵연료 제조업($9.94E+22\text{sej/yr}$), 제1차 금속산업($9.43E+22\text{sej/yr}$)순으로 크게 나타났다.

총 emergy 사용량(U)중 영속성 에너지원(R)에 의한 기여율은 모든 업종에서 거의 나타나지 않으나, 재생용 가공원료 생산업이 0.03%로 비교적 높게 나타났다. 외부로부터 유입되는 구매자원은 모든 업종에서 99.97%이상 나타나고 있다. 이는 가공 생산과정일 뿐인 제조업의 특성을 그대로 반영하며, Fig. 4.4에는 각 제조업종에 대한 에너지원의 실질적인 기여도를 도시화하였다.

서비스와 재화에 의한 emergy 유입이 전 제조업에서 가장 큰 것을 볼 수 있으며, 에너지원별로 보면, 용수공급에 의한 기여도는 섬유제품 제조업($1.43E+20\text{sej/yr}$)에서 가장 크게 나타나며, 화석연료의 경우는 화합물 및 화학제품 제조업, 코크스·석유정제품 및 핵연료 제조업이 각각 $5.79E+22\text{sej/yr}$, $4.20E+22\text{sej/yr}$ 로 높게 나타났으며, 연료 종류별로 보면, 석탄은 제 1차 금속산업에서 $2.07E+22\text{sej/yr}$ 로 가장 높고, 천연가스와 석유는 둘 다 화합물 및 화학제품 제조업에서 각각 $4.22E+21\text{sej/yr}$, $5.32E+22\text{sej/yr}$ 로 가장 많이 사용하고 있었다.

전기의 경우를 보면, 제1차 금속산업($1.41E+22\text{sej/yr}$)으로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 화합물 및 화학제품 제조업($1.35E+22\text{sej/yr}$)순으로 크게 나타났다. 서비스와 재화에 의한 emergy 유입은 전자제품·영상·음향 및 통신장비 제조업에서 $1.58E+22\text{sej/yr}$ 와 $6.92E+22\text{sej/yr}$ 로 가장 크게 나타났다.

Table 4.2 Contribution of emergy from renewable sources, and imported outside sources in division of Manufacturing Industry

Division of Manufacturing Industry	Item	Total emergy used (U, sej/yr)	Renewable sources used (R, %)	Imported outside sources (F, %)
Manufacturing industry		9.19E+23	0.01	99.99
Manufature of food products & bev.		5.19E+22	0.01	99.99
Manufacture of tabacco products		2.23E+21	0.01	99.99
Textiles, Except sewn wearing apparel		3.83E+22	0.01	99.99
Sewn wearing apparel & fur articles		1.51E+22	0.00	100.00
Tanning & dressing of leather		7.35E+21	0.00	100.00
Wood products of wood & cork		5.17E+21	0.02	99.98
Pulp, paper & paper products		2.52E+22	0.01	99.99
Publishing, printing & reproduction		1.16E+22	0.00	100.00
Coke, refined petroleum products		9.94E+22	0.00	100.00
Chemicals and chemical products		1.39E+23	0.01	99.99
Rubber and plastic products		3.42E+22	0.01	99.99
Non-metallic mineral products		3.54E+22	0.02	99.98
Manufacture of basic metals		9.43E+22	0.01	99.99
Fabricated metal products		2.80E+22	0.01	99.99
Manufacture of other machinery		5.74E+22	0.01	99.99
Computers and office machinery		2.93E+22	0.00	100.00
Electrical machinery N.E.C.		3.05E+22	0.01	99.99
Radio, TV and communication equip.		9.17E+22	0.00	100.00
Medical, precision & optical instruments		6.41E+21	0.01	99.99
Motor vehicles & trailer mfg.		7.57E+22	0.01	99.99
Manufacture of other transport equip.		2.84E+22	0.01	99.99
Furniture;articles N.E.C.		1.09E+22	0.01	99.99
Recycling		1.37E+21	0.03	99.97

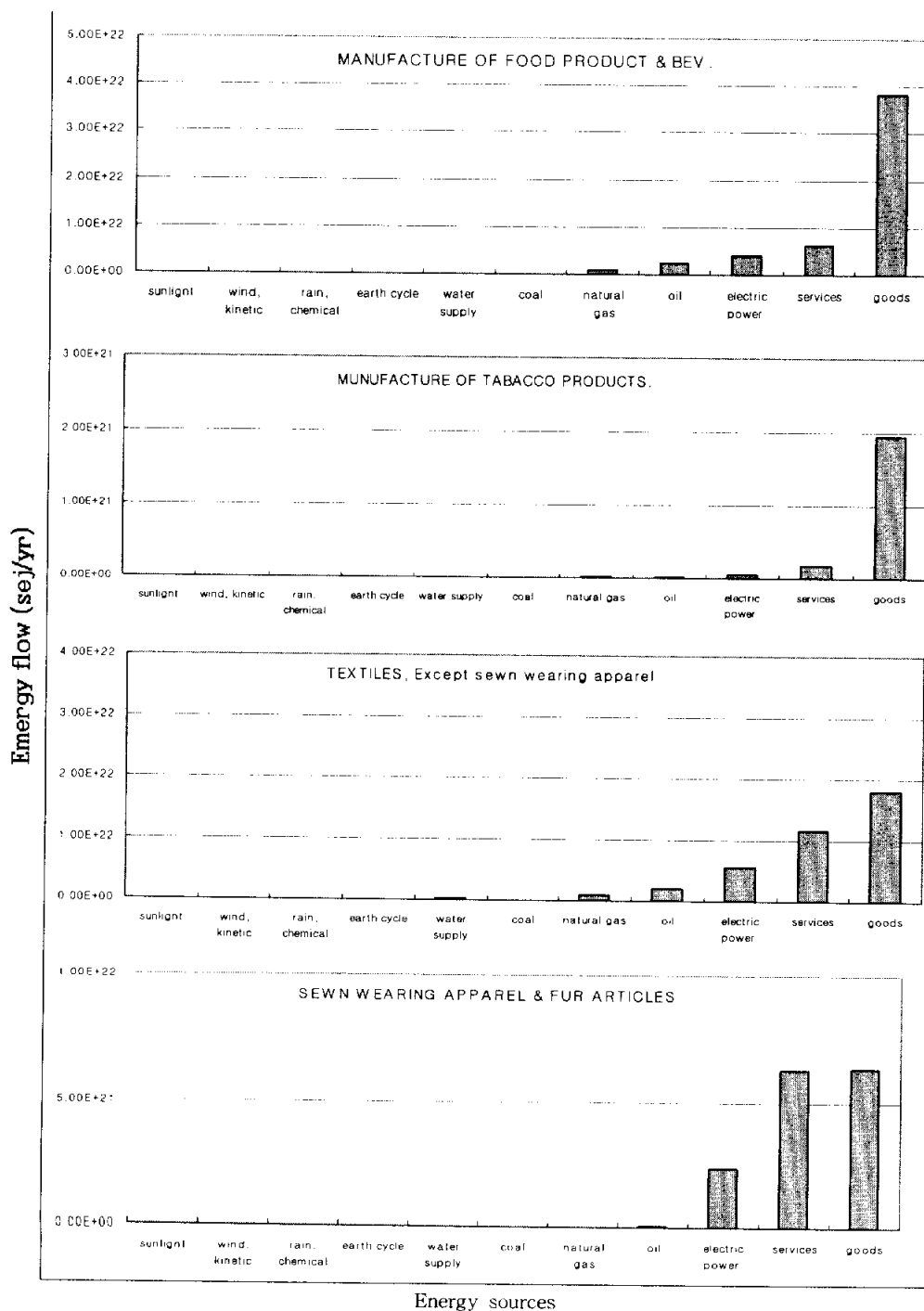


Fig. 4.3. Energy signature of each energy source in division of manufacturing industry.

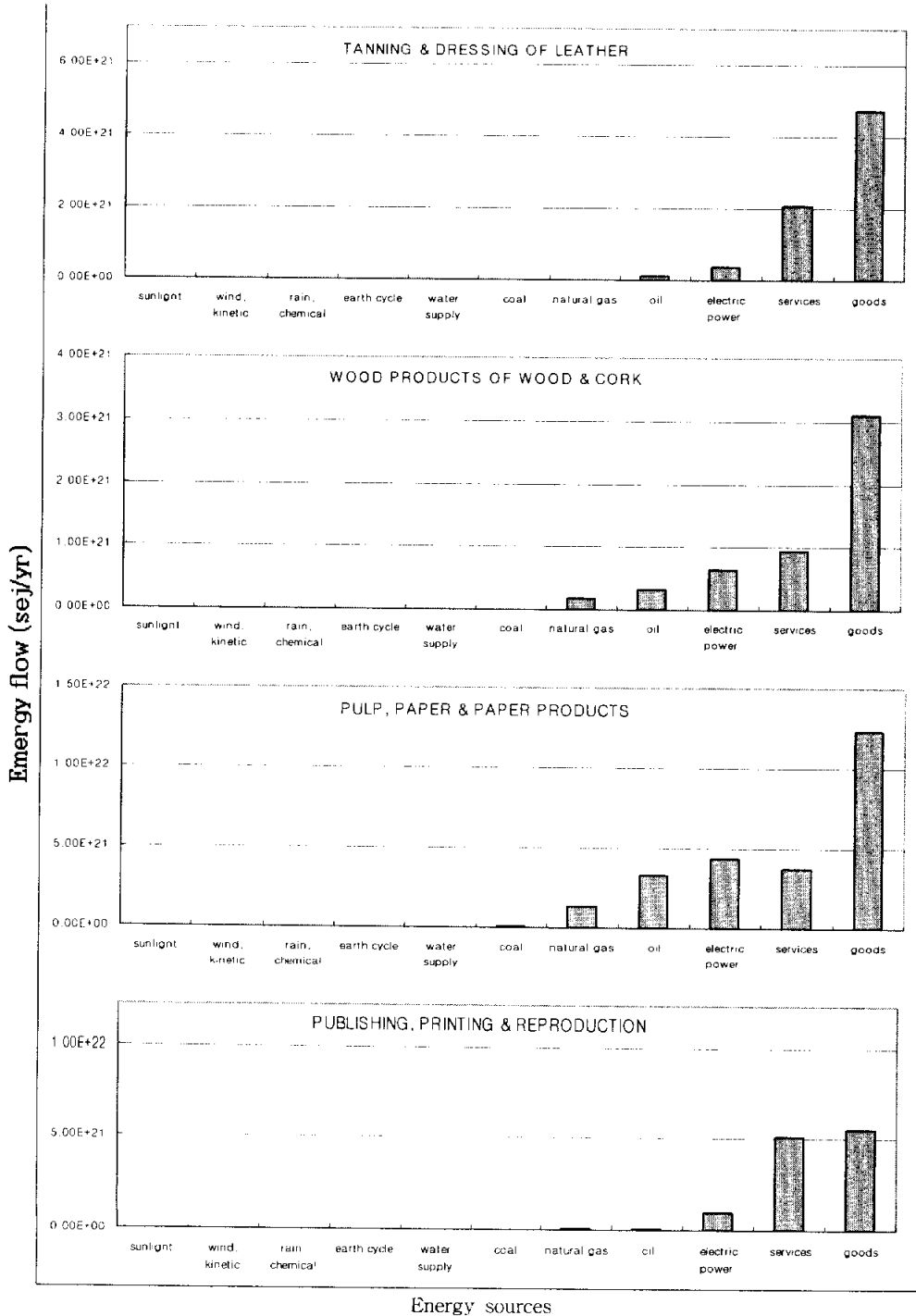
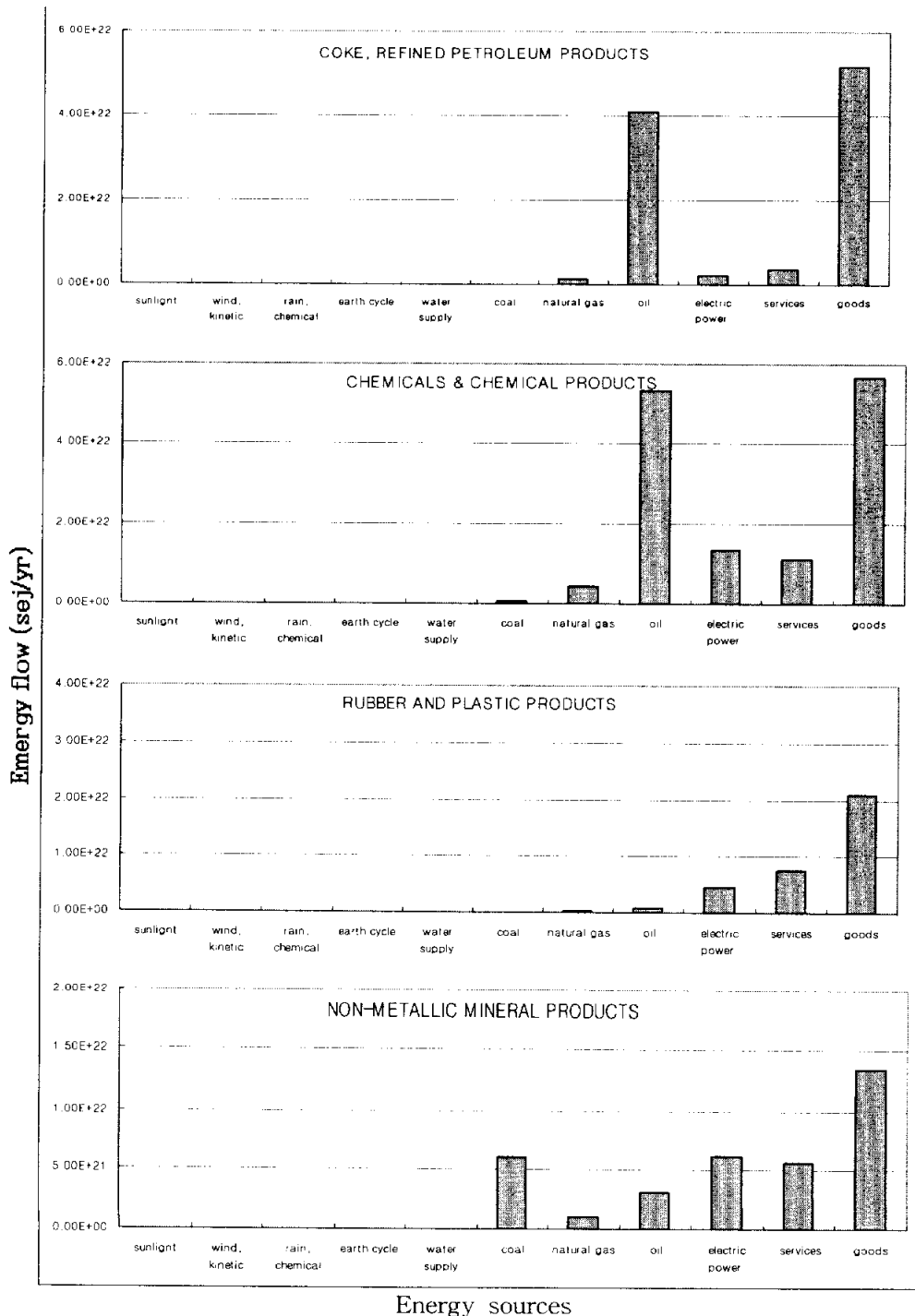


Fig. 4.3. (Continued).



Energy sources
Fig. 4.3. (Continued).

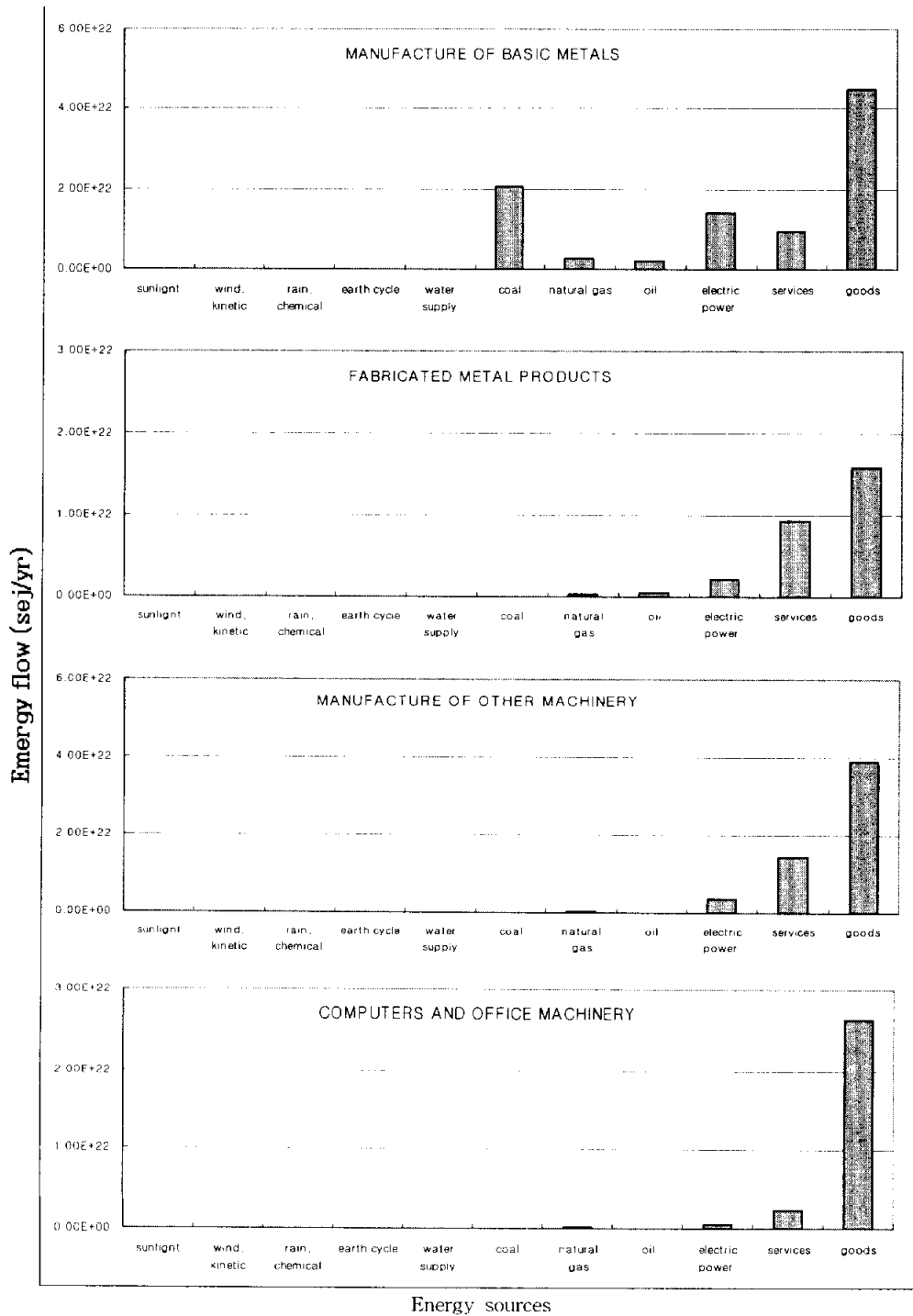


Fig. 4.3 (Continued).

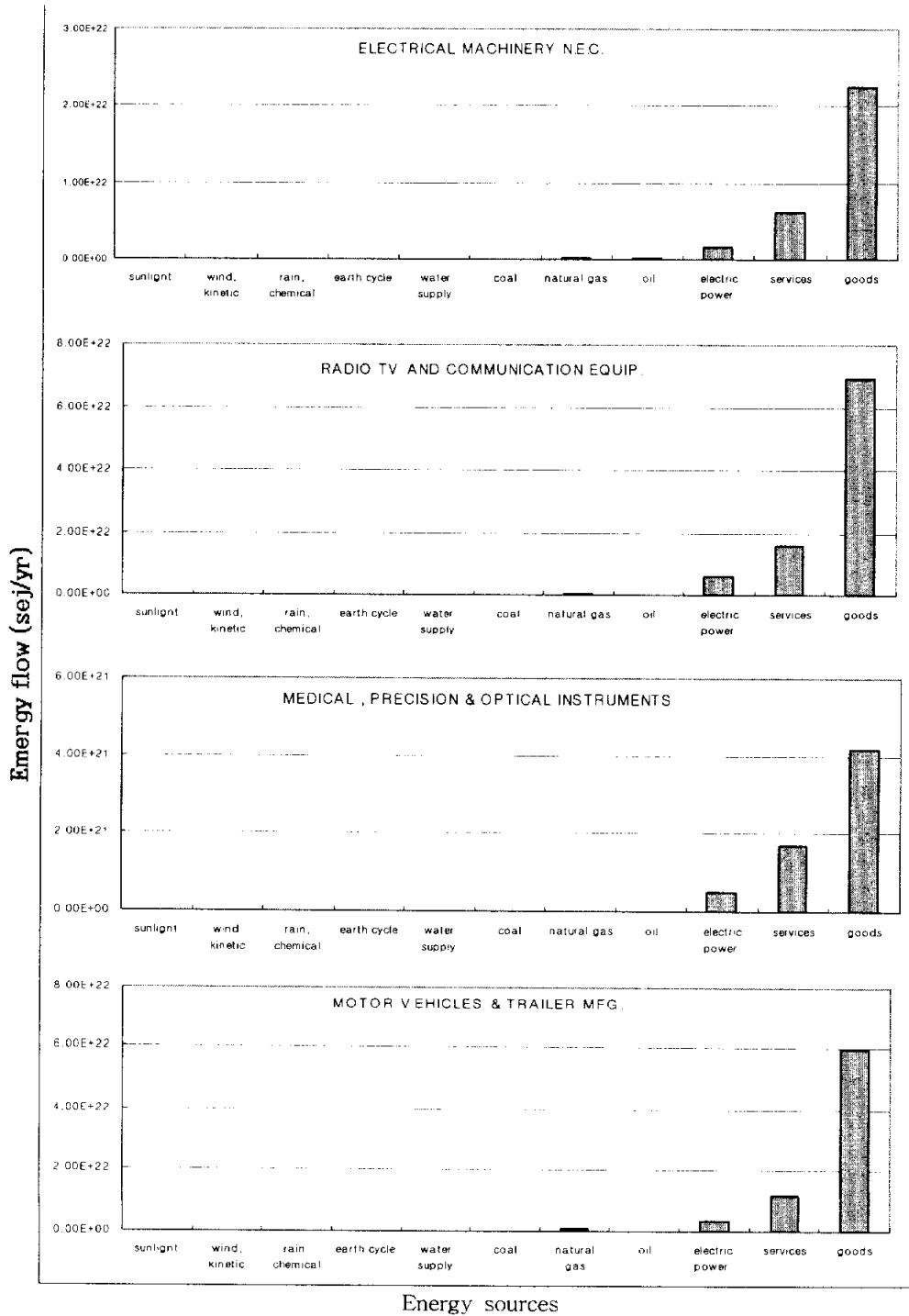


Fig. 4.3. (Continued).

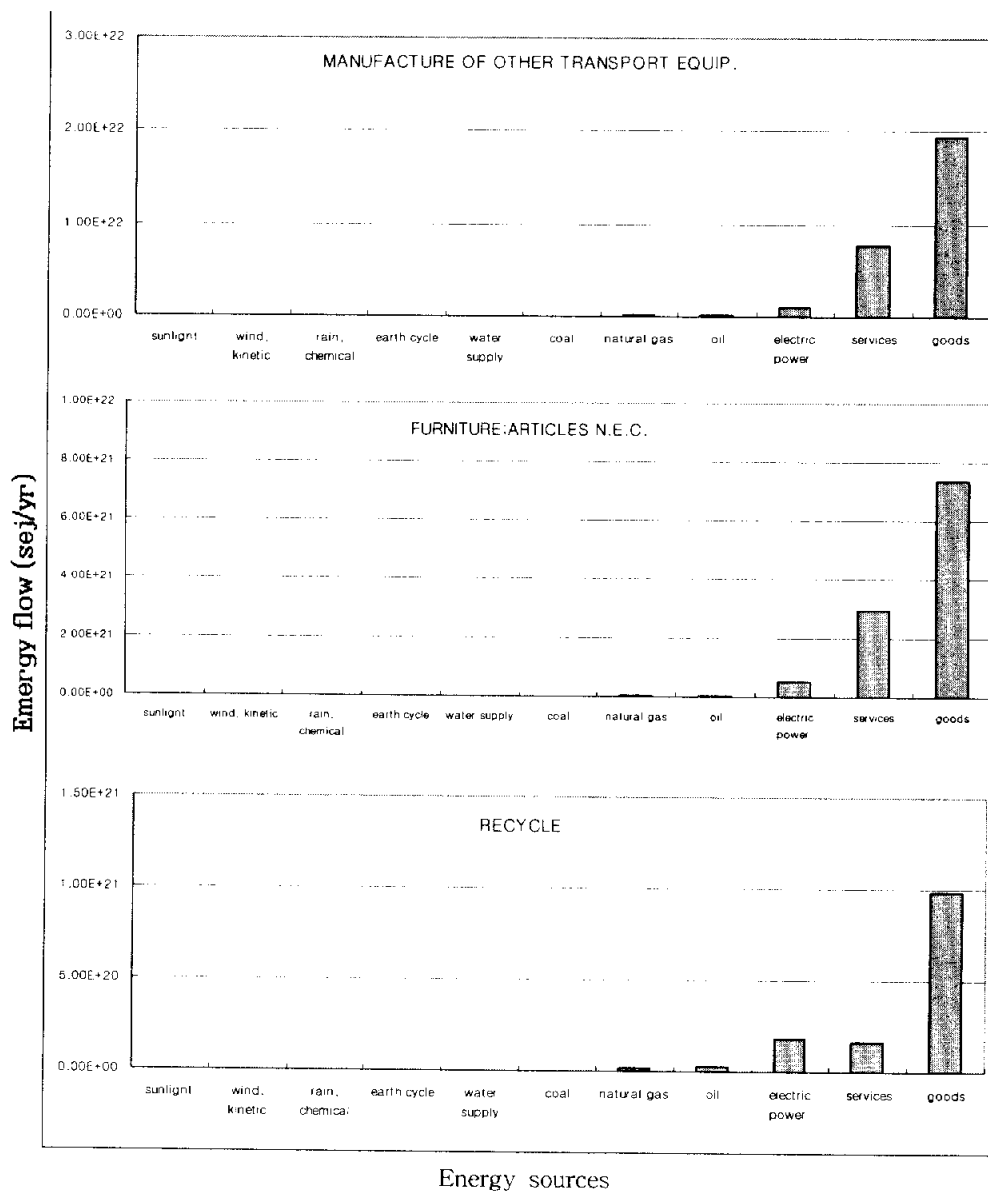


Fig. 4.3. (Continued).

3. Emergy 지수 산정

2001년을 기준으로 하여 23개의 제조업종에 대하여 emergy 분석한 결과로부터 산출된 emergy 지수는 Table 4.4와 같다.

3.1 영속성 에너지원의 점유율(% Renew.)

자연환경과 경제활동을 가능케 하는 전체 에너지원($Y=R+F$) 중에서 영속성 에너지원의 점유율(R/U)은 장기적으로 볼 때, 시스템의 지속성을 결정하는 주요인자이다.

제조업 시스템의 영속성 에너지원에는 태양에너지, 바람, 강우 그리고 지질작용 등이 있으며, 동일에너지원에 의한 이중산정을 배제한 결과 전 업종에서 강우가 비교적 크게 기여하고 있다. 그러나 그 수치는 총 emergy 유입량에 비하면, 평균 0.01%만이 기여하고 있는 것으로 나타났다.

3.2 Emergy 생산비(Emergy Yield Ratio : EYR)

Emergy 생산비는 화석연료, 광물 등에 대하여 자원으로서의 가치와 시스템의 전체 생산에 대한 기여도를 평가하는 척도로서 각 에너지원이 생산되기까지 이용된 emergy량에 대해 생산된 emergy의 비로써 계산된다. 석유, 석탄과 같은 1차 에너지원의 경우에는 EYR이 5이상이며, 철강, 시멘트와 같은 2차 에너지원의 경우에는 EYR이 2에서 5사이의 범위이며, EYR이 2보다 낮은 경우에는 자원으로서의 가치보다는 소비재의 성격을 가진다. 즉, EYR은 자원생산의 시스템에서는 그 효율(efficiency)을 평가하는데 이용된다.

분석결과, 한국의 모든 제조업 시스템의 emergy 생산비(EYR)는 구매자원에 의존하는 특성을 그대로 반영하듯이 1.00로 평가되었다. 이는 한국의 제조업이 소비재의 생산에 집중되어 있음을 간접적으로 나타내주고 있다.

3.3 환경부하비(Environmental Loading Ratio : ELR)

내부보유자원과 구매자원의 emergy 이용량(F+N)에 대해 환경자원의 emergy 이용량(R)으로 나누어 계산하며, 시스템의 생산과정 중, 자연환경에 대한 환경적 부하의 정도를 파악하는 지수이다. 본 연구에서는 범위대상을 사업체 면적으로 한정하였기에 내부보유자원은 생략되어 구매자원의 emergy이용량과 환경자원의 emergy이용량의 비로 계산하였다.

국내 총 제조업 환경부하비(ELR)는 14,956으로 평가되었고, 업종 중에서는 컴퓨터 및 사무용 기기 제조업(71,876)이 가장 부하가 큰 것으로 나타났으며, 재생용 가공 원료 생산업이 3,053로 비교적 낮게 평가되었다.

3.4 생태경제성 (Ecological Economic Efficiency : EEE)

생태경제성지수는 시스템에 의해 생산된 생산액의 시장경제적 화폐 가치를 emergy로 나타낸 Gross Output Emergy(G.O.E.)를 시스템 내부로 유입된 총 emergy량(Y)으로 나눈 값으로 생산된 제품의 실질적인 가치가 시장 경제에서 얼마만큼 인정되고 있는지를 평가하는 지수이다.

제조업종 중에서는 담배 제조업(2.57)의 생태경제성이 가장 크게 나타났으며, 코크스·석유정제품 제조업(0.63)의 4개 업종이 1보다 낮은 값을 보여 생산품의 실질 가치가 시장경제에서 순환 시 고려되지 않고 있음을 알 수 있다.

Table 4.3 A comparison of emergy indices of manufacturing industries

	% Renew.	EYR	ELR	EEI
Manufacturing industry	0.01	1.00	14,956	1.00
Manufacture of food products & bev.	0.01	1.00	11,399	1.21
Manufacture of tobacco products	0.01	1.00	8,495	2.57
Textiles, Except sewn wearing apparel	0.01	1.00	9,634	1.03
Sewn wearing apparel & fur articles	0.00	1.00	47,976	1.15
Tanning & dressing of leather	0.00	1.00	24,012	1.26
Wood products of wood & cork	0.02	1.00	5,905	1.02
Pulp, paper & paper products	0.01	1.00	13,944	0.84
Publishing, printing & reproduction	0.00	1.00	26,502	1.39
Coke, refined petroleum products	0.00	1.00	44,632	0.63
Chemicals and chemical products	0.01	1.00	17,317	0.65
Rubber and plastic products	0.01	1.00	10,563	1.09
Non-metallic mineral products	0.02	1.00	6,070	0.83
Manufacture of basic metals	0.01	1.00	15,807	0.75
Fabricated metal products	0.01	1.00	7,479	1.17
Manufacture of other machinery	0.01	1.00	10,643	1.22
Computers and office machinery	0.00	1.00	71,876	1.29
Electrical machinery N.E.C.	0.01	1.00	17,991	1.16
Radio, TV and communication equip.	0.00	1.00	37,841	1.27
Medical, precision & optical instruments	0.01	1.00	17,547	1.29
Motor vehicles & trailer mfg.	0.01	1.00	17,088	1.29
Manufacture of other transport equip.	0.01	1.00	8,082	1.25
Furniture;articles N.E.C.	0.01	1.00	9,158	1.26
Recycling	0.03	1.00	3,053	1.05

4. 환경친화성 지수의 적용

4.1 제조업의 환경친화성 지수

2001년을 기준으로 하여 23개의 제조업종에 대하여 energy 분석한 결과로부터 제안된 환경친화성 지수는 Table 4.4와 같다.

국내 총 제조업의 환경친화성 지수는 0.07, 제조업종 평균은 0.10로 나타났으며, 0.01(코크스, 석유정제품 및 핵연료 제조업)~0.34(재생용 가공원료 생산업)의 범위를 나타내고 있었다.

Emergy 생산비는 제조업의 특성상 외부로부터 구매된 자원에 의존하고 그 생산공정은 좁은 지역에서 이루어지므로 23개 모든 업종에서 1.00으로 평가되었고, Fig. 4.4의 EYR은 그 미미한 차이를 나타낸 것이다. 이를 통해 판단해보면, EYR이 가장 큰 재생용 가공원료 생산업(1.00033)이 환경친화성 지수에서도 가장 높게 평가되는 것과 같이 거의 모든 업종에서 ERI는 EYR과 비례관계를 나타내고 있었다. 그러나, EYR이 상대적으로 낮으면서도 높은 ERI값을 보이는 담배 제조업의 경우는 생태경제성인 EEE가 타 업종에 비해 상대적으로 높기 때문이며, 이는 생산과정에서 소비된 emergy보다 시장 경제성이 높다는 것을 의미한다.

환경부하비가 높은 컴퓨터 및 사무용 기기 제조업(71,876), 봉제의복 및 모피제품 제조업(47,976), 코크스·석유정제품 및 핵연료 제조업(44,632) 등은 환경친화성 지수에서 각각 0.02, 0.02, 0.01의 낮은 수치로 나타나, 두 지수 사이의 반비례 관계를 보이고 있다. 그러나, 환경부하비는 상대적으로 적으나, 친화성 지수도 작게 평가된 제1차 금속산업과 화합물 및 화학제품 제조업, 코크스·석유정제품 및 핵연료 제조업과 같은 경우는 생산품이 타 제조업의 원료로 사용되는 특징으로 생태경제성이 미비하게 나타났기 때문으로 판단된다.

Table 4.4 Application of environmental responsibility index in manufacturing industry

	ERI	EYR	ELR	EEE
Manufacturing industry	0.07	1.00	14,956	1.00
Manufacture of food products & bev.	0.11	1.00	11,399	1.21
Manufacture of tobacco products	0.30	1.00	8,495	2.57
Textiles, Except sewn wearing apparel	0.11	1.00	9,634	1.03
Sewn wearing apparel & fur articles	0.02	1.00	47,976	1.15
Tanning & dressing of leather	0.05	1.00	24,012	1.26
Wood products of wood & cork	0.17	1.00	5,905	1.02
Pulp, paper & paper products	0.06	1.00	13,944	0.84
Publishing, printing & reproduction	0.05	1.00	26,502	1.39
Coke, refined petroleum products	0.01	1.00	44,632	0.63
Chemicals and chemical products	0.04	1.00	17,317	0.65
Rubber and plastic products	0.10	1.00	10,563	1.09
Non-metallic mineral products	0.14	1.00	6,070	0.83
Manufacture of basic metals	0.05	1.00	15,807	0.75
Fabricated metal products	0.16	1.00	7,479	1.17
Manufacture of other machinery	0.11	1.00	10,643	1.22
Computers and office machinery	0.02	1.00	71,876	1.29
Electrical machinery N.E.C.	0.06	1.00	17,991	1.16
Radio, TV and communication equip.	0.03	1.00	37,841	1.27
Medical, precision & optical instruments	0.07	1.00	17,547	1.29
Motor vehicles & trailer mfg.	0.08	1.00	17,088	1.29
Manufacture of other transport equip.	0.15	1.00	8,082	1.25
Furniture;articles N.E.C.	0.14	1.00	9,158	1.26
Recycling	0.34	1.00	3,053	1.05

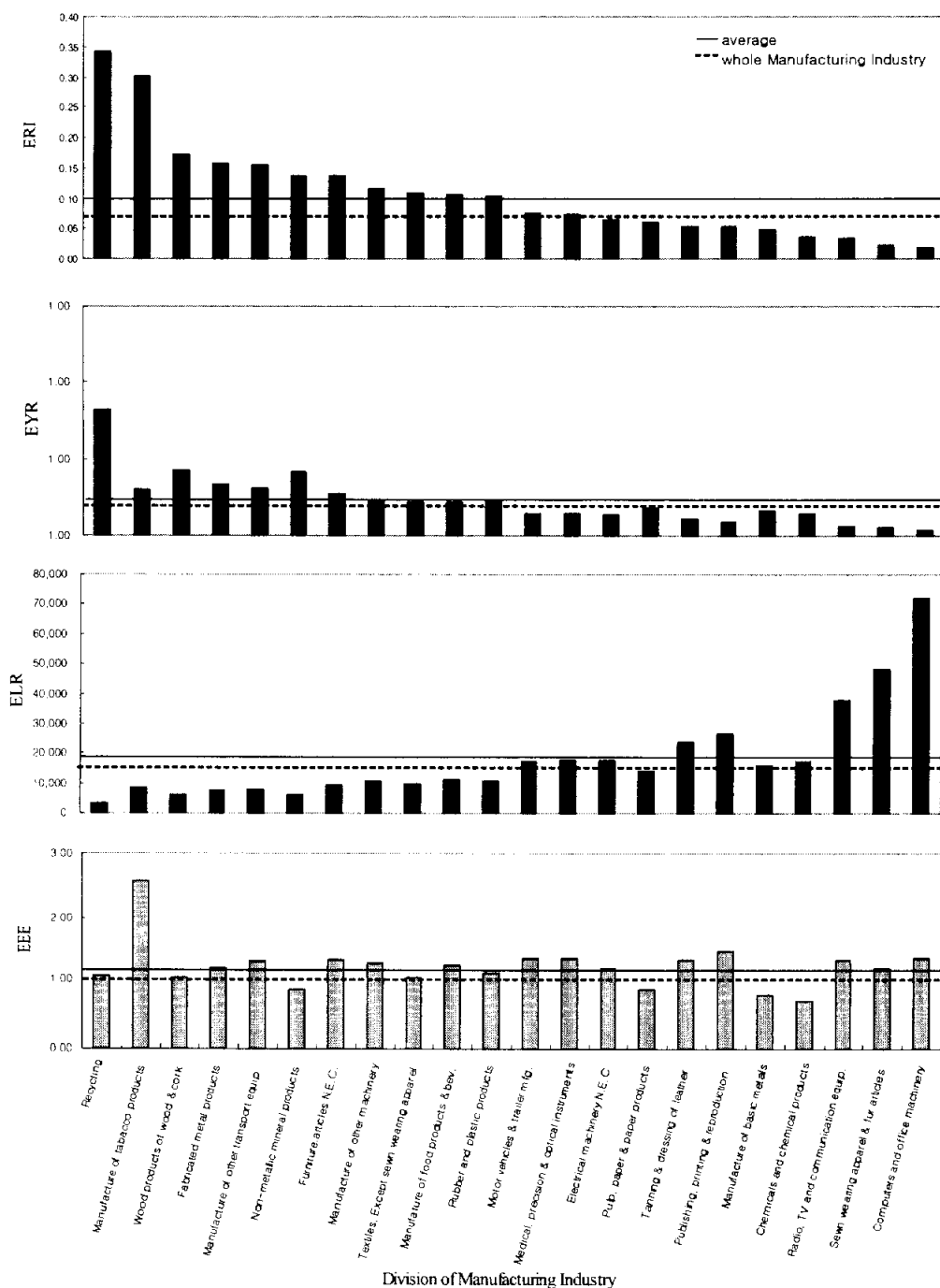


Fig. 4.4. Index related to ERI in manufacturing industry.

4.2 국내 타 산업과의 비교

국내 제조업의 환경친화성 지수를 좀더 구체적으로 판단하기 위해 한국의 농업, 임업, 수산업과 비교하였다. 한국 평균은 2002년 김에 의해 연구된 “시스템 생태학적 접근법에 의한 제주도의 emergy 평가”와 동시 연구된 1999년도 기준을 이용하였으며, 농업, 임업, 수산업에 대한 emergy 평가는 ‘한국의 1차 산업에 대한 emergy 분석’ (김등, 2000)을 참고로 하여 환경친화성 지수를 도출해 보았다. 결과는 Table 4.6과 같다.

제조업은 외부 구매자원에 의존하는 특성상 자연환경자원에 대한 의존율이 거의 0%인 반면, 비교 대상산업은 자연환경자원 의존율이 적어도 21%이상, 80%를 상회하고 외부에 의해 유입된 emergy는 10%내외를 차지하는 산업이다. 따라서 제조업에 비해 EYR은 적어도 1.5배, 크게는 20배까지 커 시스템이 상대적으로 효율적임을 나타내고, 환경부하비는 1/160,000~1/4,000이상 적어 환경에 대한 부하가 적음을 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 어선어업이 가장 높은 11,942.87을 나타내며, 임업은 EYR은 가장 높으나, 그 실질가치가 시장경제에서 충분히 고려되지 못함으로 인해 460.2로 평가되었다. 그러나 제조업(0.07) 보다 6,000배 이상 높은 친화성 지수를 나타낸다.

Table 4.5 Comparison of manufacturing industry with other industry and whole country in ERI.

Energy flow (sej/yr)					Energy indices					
	Gross output		Renewable energy (R)	Nonrenewable energy (N)	Purchased input (F)	Total energy used (Y)	EYR	ELR	EEI	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	2,470.83	
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	460.2	
Manufacturing Industry	9.17E+23	6.15E+19 (0.0%)	-	4.62E+23 (100%)	4.62E+23	1.00	14,955.82	0.72	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	

V. 결 론

환경문제에 따른 생산자의 제품에 대한 책임이 의무화되고, 국제 무역관계에 있어서도 환경성이 주요 경쟁력으로 인식됨에 따라, 미래의 지속가능한 산업을 위해 생태 효율성을 고려하고 좀더 과학적인 제조업의 환경친화성 지수를 제안하였다. 제조업을 emergy 분석법에 의해 분석을 실시하고, 제안된 환경친화성 지수를 산출하여 현 제조업의 상태를 파악하였다. 또한, 이를 타 산업 및 한국을 대상으로 한 국가시스템에 적용을 해본 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 국내 제조업 시스템을 emergy 분석해 본 결과, 모든 업종에서 99.97%이상이 외부로부터 구매한 자원에 의존하며, 나머지가 영속성에너지원에 의해 유입되어 시스템을 형성하고 있는 것으로 나타났다. 구매자원 중 재화에 의한 emergy 유입이 $5.42E+23\text{sej/yr}$ (58.98%)로 가장 큰 부분을 차지하고 있으며, 화석연료에 의한 emergy 유입이 $1.52E+23\text{sej/yr}$ (16.5%), 서비스에 의한 유입이 $1.46E+23\text{sej/yr}$ (15.89%)를 차지하고 있었다.

2. Emergy 분석한 결과를 가지고 각종 지수를 산출해 본 결과, 시스템의 생산성을 나타내는 EYR은 모든 업종에서 1.00으로 평가됨으로써, 제조업을 통해 생산되는 품목은 생산재로서의 가치보다는 소비재의 성격을 나타내고 있음을 그대로 드러내고 있다. 또한, 환경에 대한 압박을 나타내는 ELR은 3,053~71,876의 범위로 평가됨에 따라 부하가 상당히 크고 업종사이에서 환경부하의 차이가 큼을 나타내주고 있다.

3. 시스템 생태학에 그 기초를 두고 있는 emergy 평가법을 바탕으로 제안된 환경친화성 지수는 기업의 효율성을 평가하는 emergy생산성, 환경에 대한 압박을 평가하는 환경부하비, 실질가치에 대한 시장경제적 가치평가 정도를 평가하는 생태경제성을 고려하여 생태경제적 효율성을 평가하는 지수로서, 제안된 생태경제적 효율성과 환경친화성 지수는,

$$EEE(\text{Ecological Economic Efficiency}) = \frac{G.O.E.}{Y_s}$$

$$\begin{aligned} ERI(\text{Environmental Responsibility Index}) &= 1000 \times \frac{EYR \times EEE}{ELR} \\ &= 1000 \times \frac{R \times G.O.E.}{F(F+N)} \end{aligned}$$

와 같이 표현될 수 있다.

4. 환경친화성 지수를 제조업을 통해 산출해 본 결과, 0.01~0.34의 범위에서 평균 0.07로 평가되었다.

제조업 중에서도 그 원료를 재생시켜 재활용하도록 하는 재생용 가공원료 생산업이 0.34로 환경친화성이 가장 높게 나타났으며, 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.

5. 실질적인 가치가 시장경제적 화폐가치에 고려되지 못해 생태 경제성이 다소 낮게 평가되었지만, 자연환경자원에 대한 의존률이 높아, emergy 생산성이 높고 환경부하비가 낮은 산업인 농업, 임업, 수산업은 환경친화성 지수가 제조업에 비해 적어도 6,000배 이상 높게 평가되었다.

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

Appendix

Appendix 3.1 Solar transformity used in Emergy analysis of manufacturing industry

Energy Sources	Solar Transformity(sej/J)
Sunlight	1
Wind, kinetic energy	1,496
Rain, chemical	18,199
Earth Cycle	34,377
Hydroelectricity	165,000
Coal	40,000
Natural Gas	48,000
Oil	54,000
Oil derived products	66,000
Emergy/₩*	1.57E+09

*Emergy/₩ is calculated in evaluation of Je-ju Island(proceeding) by Kim.

Appendix. 4.1 Emergy evaluation of resources basis for manufacturing industry, 2001

MANUFACTURE OF FOOD PRODUCTS & BEV.

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	1.21E+17 J	1.00E+00	1.21E+17	7.68E+07
2	wind, kinetic	7.44E+14 J	1496	1.11E+18	7.09E+08
3	rain, chemical	2.50E+14 J	18,199	4.55E+18	2.90E+09
4	earth cycle	3.79E+13 J	34,377	1.30E+18	8.31E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply	1.86E+15 J	48,459	9.03E+19	5.75E+10
	fuels				
6	coal	1.34E+15 J	4.00E+04	5.37E+19	3.42E+10
7	natural gas	1.78E+16 J	4.80E+04	8.52E+20	5.43E+11
8	oil	3.59E+16 J	6.60E+04	2.37E+21	1.51E+12
9	electric power *	2.39E+16 J	1.65E+05	3.95E+21	2.51E+12
10	services	4.04E+12 W	1.57E+09	6.34E+21	4.04E+12
11	goods	2.44E+13 W	1.57E+09	3.83E+22	2.44E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	3.99E+13 W	1.57E+09	6.26E+22	3.99E+13

MANUFACTURE OF TABACCO PRODUCTS

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	6.94E+15 J	1	6.94E+15	4.42E+06
2	wind, kinetic	4.29E+13 J	1,496	6.41E+16	4.08E+07
3	rain, chemical	1.44E+13 J	18,199	2.62E+17	1.67E+08
4	earth cycle	2.18E+12 J	34,377	7.51E+16	4.78E+07
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply	1.64E+13 J	48,459	7.97E+17	5.08E+08
	fuels				
6	coal	0.00E+00 J	4.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
7	natural gas	5.09E+14 J	4.80E+04	2.44E+19	1.55E+10
8	oil	2.91E+14 J	6.60E+04	1.92E+19	1.22E+10
9	electric power *	2.99E+14 J	1.65E+05	4.93E+19	3.14E+10
10	services	1.16E+11 W	1.57E+09	1.82E+20	1.16E+11
11	goods	1.24E+12 W	1.57E+09	1.95E+21	1.24E+12
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	3.64E+12 W	1.57E+09	5.72E+21	3.64E+12

TEXTILES, Except sewn wearing apparel

					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity	Solar emergy	values
			(sej/unit)	(sej/yr)	(EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	1.05E+17 J	1	1.05E+17	6.70E+07
2	wind, kinetic	6.50E+14 J	1,496	9.72E+17	6.19E+08
3	rain, chemical	2.18E+14 J	18,199	3.97E+18	2.53E+09
4	earth cycle	3.31E+13 J	34377	1.14E+18	7.25E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply	2.96E+15 J	48,459	1.43E+20	9.14E+10
	fuels				
6	coal	0.00E+00 J	4.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
7	natural gas	1.68E+16 J	4.80E+04	8.06E+20	5.14E+11
8	oil	3.14E+16 J	6.60E+04	2.07E+21	1.32E+12
9	electric power *	3.37E+16 J	1.65E+05	5.56E+21	3.54E+12
10	services	7.42E+12 ₩	1.57E+09	1.16E+22	7.42E+12
11	goods	1.15E+13 ₩	1.57E+09	1.81E+22	1.15E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	2.51E+13 ₩	1.57E+09	3.95E+22	2.51E+13

SEWN WEARING APPAREL & FUR ARTICLES

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic
					values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	8.31E+15 J	1	8.31E+15	5.29E+06
2	wind, kinetic	5.13E+13 J	1,496	7.67E+16	4.89E+07
3	rain, chemical	1.72E+13 J	18,199	3.14E+17	2.00E+08
4	earth cycle	2.61E+12 J	34,377	8.99E+16	5.72E+07
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	3.89E+14 J	48,459	1.89E+19	1.20E+10
6	coal	0.00E+00 J	4.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
7	natural gas	4.26E+14 J	4.80E+04	2.04E+19	1.30E+10
8	oil	7.91E+14 J	6.60E+04	5.22E+19	3.32E+10
9	electric power *	1.40E+16 J	1.65E+05	2.31E+21	1.47E+12
10	services	4.01E+12 ₩	1.57E+09	6.30E+21	4.01E+12
11	goods	4.04E+12 ₩	1.57E+09	6.35E+21	4.04E+12
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	1.11E+13 ₩	1.57E+09	1.74E+22	1.11E+13

TANNING & DRESSING OF LEATHER

TRANSFORMITY & BIODIVERSITY OF EARTH					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	8.10E+15 J	1	8.10E+15	5.16E+06
2	wind, kinetic	5.00E+13 J	1,496	7.48E+16	4.77E+07
3	rain, chemical	1.68E+13 J	18,199	3.06E+17	1.95E+08
4	earth cycle	2.55E+12 J	34,377	8.76E+16	5.58E+07
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply	2.89E+14 J	48459	1.40E+19	8.91E+09
	fuels				
6	coal	8.70E+12 J	4.00E+04	3.48E+17	2.22E+08
7	natural gas	1.00E+14 J	4.80E+04	4.80E+18	3.06E+09
8	oil	1.88E+15 J	6.60E+04	1.24E+20	7.90E+10
9	electric power *	2.36E+15 J	1.65E+05	3.90E+20	2.48E+11
10	services	1.32E+12 ₩	1.57E+09	2.07E+21	1.32E+12
11	goods	3.02E+12 ₩	1.57E+09	4.74E+21	3.02E+12
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	5.91E+12 ₩	1.57E+09	9.28E+21	5.91E+12

WOOD PRODUCTS OF WOOD & CORK

Macroeconomic					
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	2.32E+16 J	1	2.32E+16	1.48E+07
2	wind, kinetic	1.43E+14 J	1,496	2.14E+17	1.36E+08
3	rain, chemical	4.81E+13 J	18,199	8.75E+17	5.57E+08
4	earth cycle	7.29E+12 J	34,377	2.51E+17	1.60E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply	1.09E+14 J	48459	5.29E+18	3.37E+09
	fuels				
6	coal	3.66E+13 J	4.00E+04	1.46E+18	9.32E+08
7	natural gas	3.54E+15 J	4.80E+04	1.70E+20	1.08E+11
8	oil	4.81E+15 J	6.60E+04	3.17E+20	2.02E+11
9	electric power *	3.83E+15 J	1.65E+05	6.32E+20	4.02E+11
10	services	5.96E+11 ₩	1.57E+09	9.36E+20	5.96E+11
11	goods	1.98E+12 ₩	1.57E+09	3.10E+21	1.98E+12
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	3.36E+12 ₩	1.57E+09	5.27E+21	3.36E+12

PULP, PAPER & PAPER PRODUCTS

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic
					values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	4.78E+16 J	1	4.78E+16	3.05E+07
2	wind, kinetic	2.95E+14 J	1,496	4.42E+17	2.81E+08
3	rain, chemical	9.93E+13 J	18,199	1.81E+18	1.15E+09
4	earth cycle	1.50E+13 J	34,377	5.17E+17	3.30E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	6.41E+14 J	48459	3.11E+19	1.98E+10
6	coal	1.81E+15 J	4.00E+04	7.25E+19	4.62E+10
7	natural gas	2.77E+16 J	4.80E+04	1.33E+21	8.48E+11
8	oil	5.06E+16 J	6.60E+04	3.34E+21	2.13E+12
9	electric power *	2.66E+16 J	1.65E+05	4.38E+21	2.79E+12
10	services	2.37E+12 ₩	1.57E+09	3.73E+21	2.37E+12
11	goods	7.84E+12 ₩	1.57E+09	1.23E+22	7.84E+12
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	1.34E+13 ₩	1.57E+09	2.11E+22	1.34E+13

PUBLISHING, PRINTING & REPRODUCTION

ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	1.16E+16 J	1	1.16E+16	7.38E+06
2	wind, kinetic	7.15E+13 J	1,496	1.07E+17	6.82E+07
3	rain, chemical	2.40E+13 J	18,199	4.38E+17	2.79E+08
4	earth cycle	3.65E+12 J	34,377	1.25E+17	7.98E+07
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply	3.16E+14 J	48459	1.53E+19	9.75E+09
	fuels				
6	coal	7.37E+12 J	4.00E+04	2.95E+17	1.88E+08
7	natural gas	1.03E+15 J	4.80E+04	4.96E+19	3.16E+10
8	oil	6.27E+14 J	6.60E+04	4.14E+19	2.63E+10
9	electric power *	5.71E+15 J	1.65E+05	9.43E+20	6.01E+11
10	services	3.22E+12 ₩	1.57E+09	5.06E+21	3.22E+12
11	goods	3.50E+12 ₩	1.57E+09	5.49E+21	3.50E+12
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	1.03E+13 ₩	1.57E+09	1.61E+22	1.03E+13

COKE, REFINED PETROLEUM PRODUCTS

					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	5.90E+16 J	1	5.90E+16	3.76E+07
2	wind, kinetic	3.64E+14 J	1,496	5.45E+17	3.47E+08
3	rain, chemical	1.22E+14 J	18,199	2.23E+18	1.42E+09
4	earth cycle	1.86E+13 J	34,377	6.38E+17	4.06E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	2.77E+15 J	48459	1.34E+20	8.54E+10
6	coal	0.00E+00 J	4.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
7	natural gas	2.82E+16 J	4.80E+04	1.36E+21	8.63E+11
8	oil	6.16E+17 J	6.60E+04	4.07E+22	2.59E+13
9	electric power *	1.25E+16 J	1.65E+05	2.06E+21	1.31E+12
10	services	2.26E+12 ₩	1.57E+09	3.55E+21	2.26E+12
11	goods	3.29E+13 ₩	1.57E+09	5.17E+22	3.29E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	3.97E+13 ₩	1.57E+09	6.24E+22	3.97E+13

CHEMICALS AND CHEMICAL PRODUCTS

					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	2.13E+17 J	1	2.13E+17	1.36E+08
2	wind, kinetic	1.31E+15 J	1,496	1.97E+18	1.25E+09
3	rain, chemical	4.42E+14 J	18,199	8.04E+18	5.12E+09
4	earth cycle	6.70E+13 J	34,377	2.30E+18	1.47E+09
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	2.88E+15 J	48459	1.39E+20	8.88E+10
6	coal	1.28E+16 J	4.00E+04	5.14E+20	3.27E+11
7	natural gas	8.79E+16 J	4.80E+04	4.22E+21	2.69E+12
8	oil	8.06E+17 J	6.60E+04	5.32E+22	3.39E+13
9	electric power*	8.20E+16 J	1.65E+05	1.35E+22	8.61E+12
10	services	7.01E+12 ₩	1.57E+09	1.10E+22	7.01E+12
11	goods	3.61E+13 ₩	1.57E+09	5.67E+22	3.61E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	5.78E+13 ₩	1.57E+09	9.08E+22	5.78E+13

RUBBER AND PLASTIC PRODUCTS

					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	8.58E+16 J	1	8.58E+16	5.46E+07
2	wind, kinetic	5.30E+14 J	1,496	7.92E+17	5.05E+08
3	rain, chemical	1.78E+14 J	18,199	3.24E+18	2.06E+09
4	earth cycle	2.70E+13 J	34,377	9.28E+17	5.91E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	7.64E+14 J	48459	3.70E+19	2.36E+10
6	<i>coal</i>	0.00E+00 J	4.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
7	<i>natural gas</i>	7.33E+15 J	4.80E+04	3.52E+20	2.24E+11
8	<i>oil</i>	1.09E+16 J	6.60E+04	7.18E+20	4.57E+11
9	electric power *	2.79E+16 J	1.65E+05	4.60E+21	2.93E+12
10	services	4.82E+12 ₩	1.57E+09	7.56E+21	4.82E+12
11	goods	1.33E+13 ₩	1.57E+09	2.09E+22	1.33E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	2.37E+13 ₩	1.57E+09	3.72E+22	2.37E+13

NON-METALLIC MINERAL PRODUCTS

					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	1.55E+17 J	1	1.55E+17	9.84E+07
2	wind, kinetic	9.54E+14 J	1,496	1.43E+18	9.09E+08
3	rain, chemical	3.21E+14 J	18,199	5.84E+18	3.72E+09
4	earth cycle	4.86E+13 J	34,377	1.67E+18	1.06E+09
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	6.83E+14 J	48459	3.31E+19	2.11E+10
6	coal	1.49E+17 J	4.00E+04	5.96E+21	3.80E+12
7	natural gas	2.18E+16 J	4.80E+04	1.05E+21	6.68E+11
8	oil	4.60E+16 J	6.60E+04	3.03E+21	1.93E+12
9	electric power *	3.71E+16 J	1.65E+05	6.12E+21	3.90E+12
10	services	3.57E+12 ₩	1.57E+09	5.61E+21	3.57E+12
11	goods	8.67E+12 ₩	1.57E+09	1.36E+22	8.67E+12
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	1.88E+13 ₩	1.57E+09	2.96E+22	1.88E+13

MANUFACTURE OF BASIC METALS

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	1.58E+17 J	1	1.58E+17	1.01E+08
2	wind, kinetic	9.76E+14 J	1,496	1.46E+18	9.30E+08
3	rain, chemical	3.28E+14 J	18,199	5.97E+18	3.80E+09
4	earth cycle	4.97E+13 J	34,377	1.71E+18	1.09E+09
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	1.23E+15 J	48459	5.95E+19	3.79E+10
6	coal	5.18E+17 J	4.00E+04	2.07E+22	1.32E+13
7	natural gas	5.69E+16 J	4.80E+04	2.73E+21	1.74E+12
8	oil	3.33E+16 J	6.60E+04	2.20E+21	1.40E+12
9	electric power *	8.53E+16 J	1.65E+05	1.41E+22	8.97E+12
10	services	6.08E+12 ₩	1.57E+09	9.55E+21	6.08E+12
11	goods	2.87E+13 ₩	1.57E+09	4.50E+22	2.87E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	4.51E+13 ₩	1.57E+09	7.08E+22	4.51E+13

FABRICATED METAL PRODUCTS

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic
					values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	9.93E+16 J	1	9.93E+16	6.32E+07
2	wind, kinetic	6.13E+14 J	1,496	9.17E+17	5.84E+08
3	rain, chemical	2.06E+14 J	18,199	3.75E+18	2.39E+09
4	earth cycle	3.12E+13 J	34,377	1.07E+18	6.84E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	8.21E+14 J	48459	3.98E+19	2.53E+10
6	coal	5.14E+13 J	4.00E+04	2.05E+18	1.31E+09
7	natural gas	5.37E+15 J	4.80E+04	2.58E+20	1.64E+11
8	oil	7.60E+15 J	6.60E+04	5.02E+20	3.19E+11
9	electric power *	1.27E+16 J	1.65E+05	2.09E+21	1.33E+12
10	services	5.90E+12 ₩	1.57E+09	9.26E+21	5.90E+12
11	goods	1.01E+13 ₩	1.57E+09	1.59E+22	1.01E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	2.09E+13 ₩	1.57E+09	3.27E+22	2.09E+13

MANUFACTURE OF OTHER MACHINERY

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	1.43E+17 J	1	1.43E+17	9.09E+07
2	wind, kinetic	8.81E+14 J	1,496	1.32E+18	8.40E+08
3	rain, chemical	2.96E+14 J	18,199	5.39E+18	3.43E+09
4	earth cycle	4.49E+13 J	34,377	1.54E+18	9.84E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	1.12E+15 J	48459	5.45E+19	3.47E+10
6	coal	8.62E+13 J	4.00E+04	3.45E+18	2.20E+09
7	natural gas	4.92E+15 J	4.80E+04	2.36E+20	1.50E+11
8	oil	2.39E+15 J	6.60E+04	1.57E+20	1.00E+11
9	electric power *	2.14E+16 J	1.65E+05	3.52E+21	2.24E+12
10	services	9.18E+12 ₩	1.57E+09	1.44E+22	9.18E+12
11	goods	2.48E+13 ₩	1.57E+09	3.90E+22	2.48E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	4.47E+13 ₩	1.57E+09	7.01E+22	4.47E+13

COMPUTERS AND OFFICE MACHINERY

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	1.08E+16 J	1	1.08E+16	6.87E+06
2	wind, kinetic	6.66E+13 J	1,496	9.96E+16	6.34E+07
3	rain, chemical	2.24E+13 J	18,199	4.07E+17	2.59E+08
4	earth cycle	3.39E+12 J	34,377	1.17E+17	7.43E+07
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	8.07E+13 J	48459	3.91E+18	2.49E+09
6	coal	0.00E+00 J	4.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
7	natural gas	1.97E+15 J	4.80E+04	9.46E+19	6.02E+10
8	oil	3.52E+14 J	6.60E+04	2.32E+19	1.48E+10
9	electric power *	2.93E+15 J	1.65E+05	4.83E+20	3.08E+11
10	services	1.53E+12 ₩	1.57E+09	2.40E+21	1.53E+12
11	goods	1.67E+13 ₩	1.57E+09	2.63E+22	1.67E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	2.40E+13 ₩	1.57E+09	3.77E+22	2.40E+13

ELECTRICAL MACHINERY N.E.C.

					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	4.49E+16 J	1	4.49E+16	2.86E+07
2	wind, kinetic	2.77E+14 J	1,496	4.15E+17	2.64E+08
3	rain, chemical	9.31E+13 J	18,199	1.69E+18	1.08E+09
4	earth cycle	1.41E+13 J	34,377	4.85E+17	3.09E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	4.68E+14 J	48459	2.27E+19	1.44E+10
6	coal	0.00E+00 J	4.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
7	natural gas	4.90E+15 J	4.80E+04	2.35E+20	1.50E+11
8	oil	1.96E+15 J	6.60E+04	1.30E+20	8.25E+10
9	electric power *	9.91E+15 J	1.65E+05	1.64E+21	1.04E+12
10	services	3.85E+12 ₩	1.57E+09	6.04E+21	3.85E+12
11	goods	1.43E+13 ₩	1.57E+09	2.24E+22	1.43E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	2.26E+13 ₩	1.57E+09	3.54E+22	2.26E+13

RADIO, TV AND COMMUNICATION EQUIP.

					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	6.42E+16 J	1	6.42E+16	4.09E+07
2	wind, kinetic	3.96E+14 J	1,496	5.93E+17	3.78E+08
3	rain, chemical	1.33E+14 J	18,199	2.42E+18	1.54E+09
4	earth cycle	2.02E+13 J	34,377	6.94E+17	4.42E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	2.42E+15 J	48459	1.17E+20	7.47E+10
6	<i>coal</i>	0.00E+00 J	4.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
7	<i>natural gas</i>	1.30E+16 J	4.80E+04	6.26E+20	3.98E+11
8	<i>oil</i>	1.41E+15 J	6.60E+04	9.34E+19	5.95E+10
9	electric power *	3.61E+16 J	1.65E+05	5.95E+21	3.79E+12
10	services	1.00E+13 ₩	1.57E+09	1.58E+22	1.00E+13
11	goods	4.41E+13 ₩	1.57E+09	6.92E+22	4.41E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	7.41E+13 ₩	1.57E+09	1.16E+23	7.41E+13

MEDICAL, PRECISION & OPTICAL INSTRUMENTS

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	9.67E+15 J	1	9.67E+15	6.16E+06
2	wind, kinetic	5.97E+13 J	1,496	8.93E+16	5.69E+07
3	rain, chemical	2.01E+13 J	18,199	3.65E+17	2.33E+08
4	earth cycle	3.04E+12 J	34,377	1.05E+17	6.66E+07
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	1.27E+14 J	48459	6.17E+18	3.93E+09
6	<i>coal</i>	0.00E+00 J	4.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
7	<i>natural gas</i>	8.06E+13 J	4.80E+04	3.87E+18	2.47E+09
8	<i>oil</i>	1.98E+14 J	6.60E+04	1.31E+19	8.33E+09
9	electric power *	3.08E+15 J	1.65E+05	5.09E+20	3.24E+11
10	services	1.08E+12 ₩	1.57E+09	1.70E+21	1.08E+12
11	goods	2.66E+12 ₩	1.57E+09	4.18E+21	2.66E+12
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	5.26E+12 ₩	1.57E+09	8.26E+21	5.26E+12

MOTOR VEHICLES & TRAILER MFG.

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	1.17E+17 J	1	1.17E+17	7.47E+07
2	wind, kinetic	7.24E+14 J	1,496	1.08E+18	6.90E+08
3	rain, chemical	2.43E+14 J	18,199	4.43E+18	2.82E+09
4	earth cycle	3.69E+13 J	34,377	1.27E+18	8.08E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	9.93E+14 J	48459	4.81E+19	3.07E+10
6	<i>coal</i>	0.00E+00 J	4.00E+04	0.00E+00	0.00E+00
7	<i>natural gas</i>	1.73E+16 J	4.80E+04	8.32E+20	5.30E+11
8	<i>oil</i>	2.76E+15 J	6.60E+04	1.82E+20	1.16E+11
9	electric power *	2.12E+16 J	1.65E+05	3.49E+21	2.22E+12
10	services	7.36E+12 ₩	1.57E+09	1.16E+22	7.36E+12
11	goods	3.79E+13 ₩	1.57E+09	5.95E+22	3.79E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	6.23E+13 ₩	1.57E+09	9.78E+22	6.23E+13

MANUFACTURE OF OTHER TRANSPORT EQUIP.

ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
1	sunlight	9.31E+16 J	1	9.31E+16	5.93E+07
2	wind, kinetic	5.75E+14 J	1,496	8.60E+17	5.48E+08
3	rain, chemical	1.93E+14 J	18,199	3.52E+18	2.24E+09
4	earth cycle	2.93E+13 J	34,377	1.01E+18	6.41E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply	1.55E+14 J	48459	7.52E+18	4.79E+09
	fuels				
6	coal	5.13E+13 J	4.00E+04	2.05E+18	1.31E+09
7	natural gas	2.55E+15 J	4.80E+04	1.23E+20	7.81E+10
8	oil	1.49E+15 J	6.60E+04	9.81E+19	6.25E+10
9	electric power *	6.16E+15 J	1.65E+05	1.02E+21	6.48E+11
10	services	4.96E+12 ₩	1.57E+09	7.78E+21	4.96E+12
11	goods	1.23E+13 ₩	1.57E+09	1.94E+22	1.23E+13
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	2.26E+13 ₩	1.57E+09	3.54E+22	2.26E+13

FURNITURE;ARTICLES N.E.C.

FORMER INPUTS (R)					Macroeconomic
No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	3.16E+16 J	1	3.16E+16	2.01E+07
2	wind, kinetic	1.95E+14 J	1,496	2.92E+17	1.86E+08
3	rain, chemical	6.56E+13 J	18,199	1.19E+18	7.60E+08
4	earth cycle	9.95E+12 J	34,377	3.42E+17	2.18E+08
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply	2.35E+14 J	48459	1.14E+19	7.26E+09
	fuels				
6	coal	3.33E+13 J	4.00E+04	1.33E+18	8.49E+08
7	natural gas	7.05E+14 J	4.80E+04	3.38E+19	2.16E+10
8	oil	8.91E+14 J	6.60E+04	5.88E+19	3.74E+10
9	electric power *	3.13E+15 J	1.65E+05	5.17E+20	3.29E+11
10	services	1.89E+12 ₩	1.57E+09	2.96E+21	1.89E+12
11	goods	4.68E+12 ₩	1.57E+09	7.35E+21	4.68E+12
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	8.75E+12 ₩	1.57E+09	1.37E+22	8.75E+12

RECYCLING

No.	Item	value	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic values (EmWon)
ENVIRONMENTAL INPUTS (R)					
1	sunlight	1.18E+16 J	1	1.18E+16	7.54E+06
2	wind, kinetic	7.31E+13 J	1,496	1.09E+17	6.96E+07
3	rain, chemical	2.46E+13 J	18,199	4.47E+17	2.85E+08
4	earth cycle	3.73E+12 J	34,377	1.28E+17	8.16E+07
PURCHASED INPUTS(F)					
5	water supply fuels	2.83E+13 J	48459	1.37E+18	8.74E+08
6	coal	1.76E+12 J	4.00E+04	7.04E+16	4.49E+07
7	natural gas	2.82E+14 J	4.80E+04	1.35E+19	8.61E+09
8	oil	4.05E+14 J	6.60E+04	2.67E+19	1.70E+10
9	electric power *	1.07E+15 J	1.65E+05	1.77E+20	1.13E+11
10	services	1.06E+11 ₩	1.57E+09	1.66E+20	1.06E+11
11	goods	6.24E+11 ₩	1.57E+09	9.80E+20	6.24E+11
ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS					
12	production	9.09E+11 ₩	1.57E+09	1.43E+21	9.09E+11

Appendix. 4.2 Footnotes and Data for appendix. 4.1

1. footnotes

ENVIRONMENTAL INPUTS

1 SOLAR ENERGY:

$$\begin{aligned}
 \text{Land Area} &= \text{m}^2 \\
 \text{Insolation} &= \text{J/m}^2/\text{yr} \\
 \text{Albedo} &= (\% \text{ given as decimal}) \\
 \text{Energy(J)} &= (\text{area incl shelf})(\text{avg. insolation})(1-\text{albedo}) \\
 &= (\text{---m}^2)(\text{---J/m}^2/\text{yr})(1-\text{albedo}) \\
 &= \text{J/yr}
 \end{aligned}$$

2 RAIN, CHEMICAL POTENTIAL ENERGY:

$$\begin{aligned}
 \text{Land Area} &= \text{m}^2 \\
 \text{Rain (land)} &= \text{m/yr} \\
 \text{Rain (shelf)} &= \text{m/yr} \quad (\text{est. as 45\% of tot. rain}) \\
 \text{Evapotrans rate} &= \text{m/yr} \\
 \text{Energy (land) (J)} &= (\text{area})(\text{Evapotrans})(\text{rainfall})(\text{Gibbs no.}) \\
 &= (\text{---m}^2)(\text{---m})(1000\text{kg/m}^3)(4.94\text{E}+03\text{J/kg}) \\
 &= \text{J/yr}
 \end{aligned}$$

3 WIND ENERGY:

$$\begin{aligned}
 \text{Area} &= \text{m}^2 \\
 \text{Density of Air} &= \text{kg/m}^3 \\
 \text{Avg. annual wind velocity} &= \text{mps} \\
 \text{Geostrophic wind} &= \text{mps (observed winds are about 0.6 of geostrophic wind)} \\
 \text{Drag Coeff.} &= \\
 \text{Energy (J)} &= (\text{area})(\text{air density})(\text{drag coefficient})(\text{velocity}^3) \\
 &= (\text{---m}^2)(1.3 \text{ kg/m}^3)(1.00\text{E}-3)(\text{---mps})(3.14 \text{ E7 s/yr}) \\
 \text{Energy(J)} &= \text{J/yr}
 \end{aligned}$$

4 EARTH CYCLE

$$\begin{aligned}
 \text{Land Area} &= \text{m}^2 \\
 \text{Heat flow} &= \text{J/m}^2 \\
 \text{Energy (J)} &= (\text{---m}^2)(\text{---J/m}^2) \\
 &= \text{J}
 \end{aligned}$$

PURCHASED INPUT

5 Water supply

$$\begin{aligned}\text{Yearly water supply} &= \text{ton/yr} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{ton/yr})(1000\text{kg/ton})(4.93\text{E}+03\text{J/kg}) \\ &= \text{J/yr}\end{aligned}$$

6 Coal

$$\begin{aligned}\text{Consumption} &= \text{TOE/yr} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{TOE/yr})(1.00\text{E}+07 \text{ kcal/TOE})(4186 \text{ J/kcal})\end{aligned}$$

7 Natural gas

$$\begin{aligned}\text{Consumption} &= \text{TOE/yr} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{TOE})(1.00\text{E}+07 \text{ kcal/TOE})(4186 \text{ J/kcal}) \\ &= \text{J/yr}\end{aligned}$$

8 Oil

$$\begin{aligned}\text{Consumption} &= \text{TOE/yr} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{TOE})(1.00\text{E}+07 \text{ kcal/TOE})(4186 \text{ J/kcal}) \\ &= \text{J/yr}\end{aligned}$$

9 Electricity

$$\begin{aligned}\text{Consumption} &= \text{TOE/yr} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{TOE})(1.00\text{E}+07 \text{ kcal/TOE})(4186\text{J/kcal})\end{aligned}$$

$$10 \text{ Services} = \text{¥/yr}$$

$$11 \text{ Goods} = \text{¥/yr}$$

ANNUAL PRODUCTION OF PROCESS

$$13 \text{ Economic production} = \text{¥/yr}$$

2. Data

		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		Manufacture of food products & bev.	Manufacture of tobacco	Textiles, Except sewn wearing apparel	Sewn wearing apparel & fur articles	Tanning & dressing of leather & cork	Wood products of wood paper	Pulp, paper & printing reproduction	Publishing, coke, refined petroleum products	Coke, refined petroleum products	Chemicals and plastic products	Rubber and plastic products
ENVIRONMENTAL SOURCES												
Land area		m ²										
Solar Energy	Insolation	J/m ² /yr	5.12E+08	3.79E+07	2.18E+06	3.31E+07	2.61E+06	2.55E+06	7.29E+06	1.50E+07	3.65E+06	1.86E+07
	Albedo		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Rain,	Rainfall(land)	m/yr	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78
	Gibbs energy	J/kg	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95
Wind	Density of air	kg/m ³	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	wind velocity	mps	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
	Drag. Coeff.		1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03
Earth cycle	Heat flow	J/m ²	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06
IMPORTS OF OUTSIDE ENERGY SOURCES :												
Water supply	Imports	ton	4.31E+09	3.77E+08	3.32E+06	5.98E+08	7.86E+07	5.83E+07	2.21E+07	1.29E+08	6.38E+07	5.59E+08
Natural gas	Imports	TOE	7.64E+06	4.24E+05	1.21E+04	4.01E+05	1.02E+04	2.39E+03	8.45E+04	6.63E+05	2.47E+04	6.75E+05
Oil derived products	Imports	TOE	3.96E+07	8.58E+05	6.95E+03	7.50E+05	1.89E+04	4.49E+04	1.15E+05	1.21E+06	1.50E+04	1.47E+07
Coal	Imports	TOE	1.63E+07	3.21E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.08E+02	8.74E+02	4.33E+04	1.76E+02	0.00E+00
Electricity	Imports	TOE	1.13E+07	5.71E+05	7.14E+03	8.05E+05	3.34E+05	5.64E+04	9.15E+04	6.35E+05	1.37E+05	2.98E+05
Services		W	9.27E+13	4.04E+12	1.16E+11	7.42E+12	4.01E+12	1.32E+12	5.96E+11	2.37E+12	3.22E+12	2.26E+12
Goods		W	3.45E+14	2.44E+13	1.24E+12	1.15E+13	4.04E+12	3.02E+12	1.98E+12	7.84E+12	3.50E+12	3.29E+13
ANNUAL PRODUCTION												
Production	Production	W	5.84E+14	3.99E+13	3.64E+12	2.51E+13	1.11E+13	5.91E+12	3.36E+12	1.34E+13	1.03E+13	3.97E+13

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
	Non-metallic mineral products	Manufacture of basic metals	Fabricated metal products	Manufacture of other machinery	Computers and office machinery	Electrical machinery and N.E.C.	Radio, TV and communication equip.	Medical, precision & optical instruments	Motor vehicles & trailer mfg.	Manufacture of other transport equip.	Furniture & articles	Recycling N.E.C.
ENVIRONMENTAL SOURCES												
Land area		m2										
Solar Energy	4.86E+07	4.97E+07	3.12E+07	4.49E+07	3.39E+06	1.41E+07	2.02E+07	3.04E+06	3.69E+07	2.93E+07	9.95E+06	3.73E+06
	4.54E+09	4.54E+09	4.54E+09	4.54E+09	4.54E+09	4.54E+09	4.54E+09	4.54E+09	4.54E+09	4.54E+09	4.54E+09	4.54E+09
Rain	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78
Gibbs energy	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95
Wind	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
Earth cycle	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03
	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06
IMPORTS OF OUTSIDE ENERGY SOURCES :												
Water supply	1.38E+08	2.48E+08	1.66E+08	2.27E+08	1.63E+07	9.45E+07	4.89E+08	2.57E+07	2.01E+08	3.14E+07	4.75E+07	5.72E+06
Natural gas	5.22E+05	1.36E+06	1.28E+05	1.17E+05	4.71E+04	1.17E+05	3.11E+05	1.93E+03	4.14E+05	6.10E+04	1.68E+04	6729.6
Oil derived products	1.10E+06	7.95E+05	1.82E+05	5.70E+04	8.41E+03	4.69E+04	3.38E+04	4.74E+03	6.59E+04	3.55E+04	2.13E+04	9.67E+03
Coal	3.56E+06	1.24E+07	1.23E+03	2.06E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.22E+03	7.97E+02	4.21E+01
Electricity	8.86E+05	2.04E+06	3.03E+05	5.10E+05	6.99E+04	2.37E+05	8.62E+05	7.37E+04	5.05E+05	1.47E+05	7.49E+04	2.57E+04
Services	3.57E+12	6.08E+12	5.90E+12	9.18E+12	1.53E+12	3.85E+12	1.00E+13	1.08E+12	7.36E+12	4.96E+12	1.89E+12	1.06E+11
Goods	8.67E+12	2.87E+13	1.01E+13	2.48E+13	1.67E+13	1.43E+13	4.41E+13	2.66E+12	3.79E+13	1.23E+13	4.68E+12	6.24E+11
ANNUAL PRODUCTION												
Production	1.88E+13	4.51E+13	2.09E+13	4.47E+13	2.40E+13	2.26E+13	7.41E+13	5.26E+12	6.23E+13	2.26E+13	8.75E+12	9.09E+11

감사의 글

인간은 저마다의 역할과 가치를 가지고 이 세상에 태어난다고 합니다. 그것을 추구하고자 내딛은 저의 첫 발걸음은 생태공학연구실입니다.

본 논문이 완성되기까지, 올바른 삶과 넓고 깊은 이 학문의 길을 걸을 수 있도록 언제 어디서든지 헌신적으로 등불이 되어주신 이석모 교수님, 진심으로 머리숙여 감사드립니다. 올바른 논문이 되도록 아낌없는 질타와 심사를 해주신 박청길 교수님, 여석준 교수님께 감사드립니다. 대학원 생활동안 실천을 통한 삶의 자세와 다양한 학문을 선사해주신 이제근 교수님, 강임석 교수님, 김일규 교수님께도 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 멀리서나마 논문에 대해 많은 관심을 가져주신 부산발전연구원 삼촌 송교욱 박사님, 낙동강환경관리청 김영진 박사님께도 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

1년차 때 학문에 대한 고민, 궁금증을 많은 대화로 풀어주신 손지호 선배님, 이러저러한 생활의 문제들을 함께 얘기했던 김진이 선배님, 자주 얼굴 내밀지 못하심을 미안해하시고 실험실행사 꼼꼼이 챙겨주시는 최영근, 김우석 선배님, 멀리있어 전화로 밖에 안부를 자주 묻지 못하는 김남국 선배님께도 감사하다는 말씀 전하고 싶습니다.

실험실에서 동고동락하면서 못난 모습 많이 보여드린 식구들, 고집 센 후배 때문에 많이 섭섭하셨을 진만이 선배! 시작하신 논문 좋은 결과 있기를 바랄게요. 조용하지만 항상 뭔가를 하시느라 바쁜 정혁 선배! 행복한 가정 꾸어나가시길. ‘실험실 투덜이’지만 마음 여린 은지! 열심히 해서 좋은 성과있길 바란다. 뭐가 그리 할 말이 많고 재밌고 궁금한 게 많은지 항상 시끄러운 용수·철만선배, 논문쓰는 동안 항상 같이 밥새워주고 든든한 힘이 되어준 동기 영륜이, 지금은 직장생활하느라 얼굴 잘 보지 못하지만 연구실 분위기를 밝게 했던 경미, 화숙이, 막내생활하면서 개성강한 선배들 속에서 강하게 크는 정숙이, 혜옥이. 모든 생태공학인에게 감사드립니다. 함께 진학하여 생활을 공유하고 힘들 때마다 힘이 되어준 대학원 동기 선배님들, 충식, 준호, 민수, 경재, 수경선배님과 지금은 자신의 삶에 누구보다 열심히 살며 응원해준 진숙언니, 또한, 3층 모든 선·후배님들 너무 고맙습니다.

또한, 대학 생활을 시작한 이후로 지금까지 마음의 고향뿐 아니라 삶의 주춧돌이 되어주는 지혜에 대한 사랑 철학연구회 동아리 선·후배님과 호년, 정임, 성수 동기들에

게 감사의 말을 전하고 싶습니다.

지금은 뿔뿔이 흩어져 멀리서 항상 걱정해주던 친구들, 지연, 정아, 현숙이, 영주언니, 지금은 각자의 생활에 정신없는 대학동기들, 같은 방에서 생활하며 누구보다 의지가 많이 된 정은이 앞으로도 변함없는 우정 간직하겠습니다.

작은 성과를 세상에 내놓기까지 20여년 동안 뒷바라지 해주시고 자식에게 모든 걸 맡기시고 끝까지 믿어주시는 엄마, 아빠 너무 고마워요. 큰오빠같이 집안 소소한 일도맡아 해주시는 큰형부, 큰언니, 듬직한 우리 오빠, 작은 형부, 작은 언니, 이제 듬직하게 커 이모가 기대도 되는 조카 태윤이, 뭐든지 솔직하고 똑부러지는 은아, 튼튼하고 영리하게 자라는 비 모두 저에겐 크나큰 힘이 되어줄을 감사하게 생각합니다. 한번도 말로 하지 못한 말 가족들에게 전하고 싶습니다. 사랑합니다.

지금은 많이 부족하지만, 진실되고 열심히 살아가는 모습으로 모든 분의 사랑에 보답하겠습니다.

참고문헌

- Bargigli S. and S. Ulgiati, Emergy and Life-Cycle Assessment of Steel Production in Europe, Proceedings.
- Bratt L. C., 1987, Systems ecology and sustainable development : Links on two levels, Maximum Power, Univ. Press of Colorado, pp164-174.
- 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, Vol. 9, pp51-69.
- Brown M. T., 2000, Emergy Synthesis: Theory and Application of the Emergy Methodology, pp15-29.
- Daly H. E., 1990, Toward some operational principles of sustainable development, J. Ecological Economics, Vol. 2, pp1-6.
- Hui Yang, Yourun Li, Jingzhu Shen, Shanying Hu, 2003, Evaluating waste treatment, recycle and reuse in industrial system: an application of the emergy approach, Ecological Modelling Vol 16, pp13-21.
- Kim N. K., J. H. Son, J. L. Kim, and S. M. Lee, 2001, Evaluation of Sustainability for Olive Flounder Production by the Systems Ecology : I . Emergy Analysis of Olive Flounder Production, J. Kor. Fish. Soc., Vol. 34(3), pp218-224 (in Korean).
- Lee S. M. and H. T. Odum, 1994, Emergy analysis overview of Korea, J. of the Korean Environmental Sciences Society, Vol 3(2), pp165-175.
- Lee S. M., J. H. Son, and D. S. Kang, 2000, Evaluation of Korea's Sustainable Development by the Systems Ecology(I) : Emergy Analysis of Korea's Natural Environmental and Economic Activity, J. of the Korean Environmental Sciences Society, Vol. 9, pp449-454.
- Lee S. M., J. H. Son, and J. L. Kim, 2001, Evaluation of Korea's sustainability

- development by the system ecology : II. Simulating the Future of Korea's natural environment and economic development, J. Korean. Env. Sci. Soc., Vol. 10(2), pp91-97 (in Korean).
- Odum H. T., 1971, An energy circuit language for ecological and social system, its physical basis. In System Analysis and Simulation in Ecology, B. Pattern, Ed. Academic Press, New York, Vol. 2, pp139-211.
- Odum H. T., 1983, Systems Ecology, John Wiley & Sons, 644pp.
- Odum H. T., E. C. Odum, and M. Blissett, 1987, Ecology and Economy: Energy analysis and public policy in Texas. L.B.J. School of Public Affairs and Texas dept. of Agriculture (Policy Research Publication 78). Univ. of Texas, Austin. 178pp.
- 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 Environmental Programme, Nairobi, Kenya, 109pp.
- Odum H. T., 1994, Ecological and general systems, The University Press of Colorado, 644pp.
- Odum H. T., 1996, Environmental Accounting, John Wiley & Sons, New York, 370pp.
- Odum H. T. and E. C. Odum, 2001, A Prosperous Way Down : Principles and Policies, The University Press of Colorado, 326pp.
- Son J. H. and S. M. Lee, 2000, A Study on the Sustainable Development of Pusan Metropolitan City by the emergy Evaluation, J. of the Korean Environmental Sciences Society, Vol. 9, pp185-191.
- Sutton P. C. and R. Costanza, 2002, Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation, J. Ecological Economics, Vol. 41, pp509-527.

- 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, Vol 10, pp335-348.
- 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, Vol. 5, p519-531.
- 권동명, 1996, ISO 14000 이론과 실제, 488pp.
- 김정희, 정승태, 안윤기, 2003, 국내기업의 환경관리체계 시범사례 연구 및 시사점 고찰, 한국환경경영학회, 2003년 춘계학술대회 초록집, pp23-p49.
- 박경미, 1998, Emergy 분석법을 이용한 기업의 환경친화성 평가, 석사학위논문.
- 부산발전연구원, 2003, 낙동강 하류지역 수질특성 연구를 통한 상수원 수질개선 방안, 67pp.
- 부산발전연구원, 2003, 부산시 환경지표의 개발 및 활용방안에 관한 연구, 106pp.
- 이병욱, 김갑철, 2002, 지속가능한 산업발전 전략, 한국환경정책학회, 10(1), pp5-32.
- 임명준, 1997, KS · ISO 및 환경경영, 360pp.
- 산업자원부, 2000, 경제성을 고려한 청정생산공정 평가기법에 대한 연구, 51pp.
- 서민석, 권동명, 서용철, 2000, 환경친화기업지정제도와 ISO 14001인증제도의 비교 연구, 한국환경정책학회, 8(1), pp179-196.
- 한승호, 윤창한, 정성기, 임보영, 전의찬, 유애리, 안병석, 조현태, 조병목, 2003, 국내 제조업종의 환경경영을 위한 청정생산지표 개발, 한국환경경영학회, 2003년 춘계학술대회 초록집, pp87-99.
- 환경부, 2000, 환경친화적 기업경영을 위한 환경정책방향, 12pp.

< 통계자료 >

기상청, 2002, 기상연보, 296pp.

통계청, 2002, 2001 광업·제조업 통계조사보고서(지역편), 803pp.

통계청, 2002, 2001 광업·제조업 통계조사보고서(전국편), 687pp.

통계청, 2002, 2001 광업·제조업 통계조사보고서(기업체편), 498pp.

환경부, 2002, 상수도통계, 727pp.

환경부, 2002, 환경통계연보, 647pp.

산업정보망, 에너지 통계 정보 시스템, 2003

<http://www.iin.co.kr/>