한국환경과학회지 제9권(제3호), 185~191, 2000
*J. of the Korean Environmental Sciences Society*

# EMERGY 평가에 의한 부산광역시의 지속적인 발전가능성 평가

손 지 호 · 이 석 모
부경대학교 환경공학과
(*1999*년 *10*월 *9*일 접수)

# A Study on the Sustainable Development of Pusan Metropolitan City by the EMERGY Evaluation

**Ji-Ho Son and Suk-Mo Lee**
*Department of Environmental Engineering, Pukyong National University*
*(Manuscript received 9 October, 1999)*

Sustainable development has been the key concept, both in economic policies and in environmental management since 1970s. In the view of systems ecology, sustainable resource use strategies are considered to be essential in achieving sustainable development. During the last three decades, the discipline of systems ecology has applied ecological energetic analysis to the evaluation of the contribution of natural environments to economic systems.

EMERGY analysis of main energy flows driving the economy of humans and life support systems of a city was made including environmental energies, fuel, and inputs, all expressed as solar emjoules. Total EMERGY use of Pusan was 3.89 E22 sej/yr, about 90 percent of it was purchased sources from outside during eleven years from 1985 to 1995. EMERGY flows from the environment were less than 10 percent. EMERGY yield ratio and environmental loading ratio were 1.10 and 10.45, respectively. EMERGY sustainability index is therefore less than one, which is indicative of highly developed consumer oriented economies. Development of a city has been achieved in the short run by the economic growth, but it can be sustained in the long run by the use of renewable resource systems.

Key words : sustainable development, EMERGY evaluation, Pusan metropolitan city

## 1. 서 론

도시는 인류의 사회, 경제, 그리고 정치 활동의 중심적인 기능을 하고 있다. 그러나 오늘날 도시에는 인구 집중 · 과밀로 인한 기반 시설의 효용성 저하, 대량 생산 · 소비 활동에서 발생된 폐기물에 의한 자연환경의 오염 현상과 같은 여러 제반 문제들이 발생하고 있다.[1] 이러한 도시 문제를 해결하기 위한 공공정책의 올바른 방향 설정은 궁극적으로 도시는 물론 지구적인 자연환경과 경제 활동의 지속가능한 발전에 관련된 문제를 푸는 열쇠를 제공할 것으로 기대되고 있다.[2]

지속가능한 발전의 개념은 1970년대 이후 지구적 차원의 환경오염과 자원 고갈 등의 문제가 심각하게 대두되면서, 선 · 후진국을 막론하고 중요한 국가 과제로 부각되기 시작하였다. 1987년 환경과 개발에 관한 세계위원회가 펴낸 우리의 공동미래(Our Common Future) 보고서 출간과 더불어 지속가능한 발전은 새로운 패러다임으로 대두되고 있다.[3] 지속가능한 발전과 관련된 다양한 견해들을 종합하면 인류의 복리는 경제적 개발에 의해서 달성되지만 그것은 자연환경에 의존할 수밖에 없으며, 또한 이것은 미래 세대의 복리를 고려하는 범위까지 확장된 사회적 평등도 포함해야 하는 것을 강조하고 있다. 따라서, 지속가능한 발전의 핵심을 이루는 공통적인 요소에는 자연환경의 가치(The Value of Environment), 미래지향성(Futurity), 세대간의 형평성(Equality) 등으로 집약되고 있다.[4]

지속가능한 발전을 구체화하기 위한 연구가 여러 학문 분야에서 이루어지고 있다. 이중 시스템 생태학의 Odum,[5] Brown *et al.*,[6] Ulgiati *et al.*[7] 등의 연구자는 지구상의 다양한 시스템에 공통으로 관여하는 에너지를 EMERGY라는 동일한 단위로 평가하여, 지구적 차원에서부터 국가, 도시 규모 시스템에 이르기까지 지속적인 발전가능성을 평가하기 위한 이론적 기초를 제공하고 있다. 국내에서는 한국의 자연환경과 경제 활동에 대한 EMERGY 평가,[8] 1차 산업인 수산업과 양식업 시스템에

대한 EMERGY 분석,[9,10] 그리고 수자원 이용에 관련된 평가[11] 등에 도입되었다. 그러나 국내의 도시 시스템에 있어 자연환경과 경제 활동에 관련된 제반 문제에 관하여, 이러한 접근법이 적용된 예는 없다. 따라서 본 연구에서는 EMERGY 평가법을 부산광역시의 자연환경과 경제 활동에 적용하여 시스템의 지속적인 발전가능성을 평가하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. EMERGY의 개념

지구상의 모든 시스템은 계층적 구조(hierarchy)를 이루고 있으며, 그리고 구성부분 또는 하부 단위는 시스템 전체의 자기조직화 과정(self - organization)에 의해 보다 더 나은 기능적 합일체를 형성하는 시스템 생태학적 특성을 나타낸다.[12] 이러한 특성들을 파악하기 위해서 시스템 생태학의 Odum[5]은 모든 시스템의 원동력인 에너지, 물질, 그리고 각종 재화와 용역 등이 가지는 실질적 가치를 동일한 가치 척도로 평가하기 위해 EMERGY를 제안하였다.

EMERGY는 종래의 물리적 에너지량에 대한 척도와는 달리, 열역학 법칙의 지배를 받는 시스템의 계층구조적인 에너지 전환 과정에서, 하나의 생산물이 만들어지기까지 사용되어진 모든 에너지량을 동일한 단위로 평가하는 척도이다. 태양에너지원으로부터 시작하여 하나의 생산물이 만들어지기까지 사용되어진 모든 에너지량을 태양에너지 당량으로 나타내어, 이를 Solar EMERGY(sej)로 표현한다. 그리고 각 에너지원의 단위 에너지량 (1J)을 만들기 위해서 직 · 간접적으로 사용되어진 모든 에너지량을 태양에너지 당량으로 나타내어, 이를 Solar Transformity(sej/J)로 표현한다.

따라서, 주요 에너지원의 실제 에너지량과 이 에너지원의 Transformity를 알게 되면, 주요 에너지원이 가지는 EMERGY를 평가할 수 있다.[12]

### 2.2. EMERGY 평가법

#### 2.2.1. 에너지 시스템 다이어그램 작성

시스템의 특성을 결정하는 자연환경과 경제 활동의 주요 에너지원, 생산 활동, 소비 활동, 저장고, 그리고 재순환 등의 상호관계를 포괄적으로(Top-down) 파악하기 위해서 에너지 시스템 다이어그램을 작성한다.

작성 절차는 첫째, 대상시스템의 경계를 설정하며, 본 연구에서는 부산광역시의 행정구역 면적과 부산연안을 시스템 경계로 설정하였다(Fig. 1).

둘째, 시스템 외부로부터 유입된 주요 에너지원, 그리고 대상시스템 내의 생산, 소비, 저장고, 그리고 재순환 항목을 파악한다. 셋째, 에너지 언어를 기초로 외부의 주요 에너지원을 Solar Transformity 순으로 시스템 경계 외부에 왼편에서 오른편으로 배열하고, 주요 에너지원으로부터 시작하여 내부의 생산, 소비, 저장고, 그리고 재순환과의 관계를 연결하여 다이어그램을 완성한다.

#### 2.2.2. EMERGY 분석표 작성

시스템의 특성을 좌우하는 주요 에너지원의 실질적인

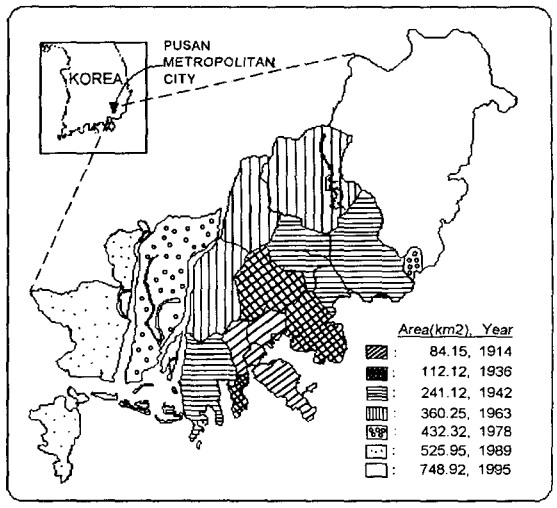


Fig. 1. Map showing study area(expansion of administrative district of Pusan Metropolitan City included).

가치와 역할을 정량화하기 위해, Table 1의 EMERGY 분석표를 작성한다.

첫 번째 열에는 에너지 시스템 도해에서 파악된 주요 에너지원에 관한 항목을 기입한다. 두 번째 열에는 각 항목의 실제 에너지(J/yr), 물질(G/yr), 또는 화폐($/yr) 단위의 값을 각종 통계 자료로부터 산정한다. 본 연구에서는 1985년에서 1995년까지 부산광역시의 자연환경[13]과 경제 활동[14~16]에 관련된 각종 자료를 기초로 하였다. 세 번째 열에는 각 항목에 알려진 Transformity 값을 기입한다. 네 번째 열에는 각 항목의 실제 값에 대한 Transformity 값을 곱하여 EMERGY 값을 산정한다.

Table 1. Tabular format of EMERGY analysis table for Pusan

| Energy source | Energy inflow unit (J, G or $/yr) | Solar Transformity (sej/unit) | Solar EMERGY (sej/yr) |
|---|---|---|---|
| (one line here for each source, process, or storage of interest) | | | |

#### 2.2.3. EMERGY 지표 계산

EMERGY 분석표를 기초로, Fig. 2와 같이 주요 에너지원을 영속성 에너지원(R), 보유된 비영속성 에너지원(N), 그리고 외부로부터 유입된 비영속성 에너지원(F)으로 구분하여, EMERGY 지표를 계산한다.

본 연구에서 시스템의 지속적인 발전가능성을 평가하기 위해 적용된 EMERGY 지표로는 전체 시스템에서 주요 에너지원의 EMERGY 유입에 대한 영속성 에너지원의 EMERGY 점유율(%Renew, Eq(1)), 국가나 지역시스

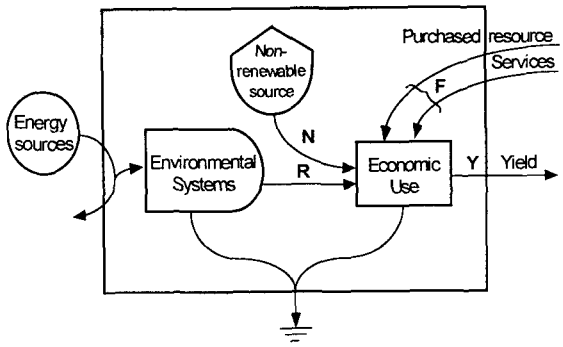


Fig. 2. EMERGY based indices, accounting for Renewable EMERGY flow(R), Flow from indigenous nonrenewable reserves(N), Purchased inputs from outside the system(F), and Yield from system(Y).

템으로 부터 생산된 전체 EMERGY를 외부로부터 유입된 비영속성 EMERGY로 나눈 EMERGY 생산비(EMERGY yield ratio, EYR, Eq(2)), 영속성 에너지원의 이용에 대한 비영속성 에너지원의 이용률을 의미하는 환경부하율(Environmental loading ratio, ELR, Eq(3)), EMERGY 생산비에 대한 환경부하율의 비를 나타내는 지속성 지수(Sustainability index, SI, Eq(4)), 현재의 1인당 EMERGY 소비 수준을 유지한 상태에서, 영속성 에너지원의 EMERGY에 의존한 인구 수용력(Renewable carrying capacity at present living standard, Eq(5)), 그리고 선진국형의 EMERGY 투자가 유지된 상태에서의 인구 수용력(Developed carrying capacity at present living standard, Eq(6))이 있으며, 각각의 수식은 다음과 같다.

$$\%\ \text{Renew} = R/(R+N+F) \quad \text{Eq.(1)}$$

$$\text{EMERGY yield ratio(EYR)} = Y/F \quad \text{Eq.(2)}$$

$$\text{Environmental loading ratio(ELR)} = (F+N)/R \quad \text{Eq.(3)}$$

$$\text{Sustainability index(SI)} = \text{EYR}/\text{ELR} \quad \text{Eq.(4)}$$

$$(R/U) * (\text{Population}) \quad \text{Eq.(5)}$$

$$8 * (R/U) * (\text{Population}) \quad \text{Eq.(6)}$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 부산광역시의 자연환경과 경제 활동에 대한 에너지 다이어그램

부산광역시의 자연환경과 경제 활동을 파악하기 위한 에너지 시스템 다이어그램은 Fig. 3과 같다.

시스템 주요 에너지원은 시스템의 특성을 결정하며, 부산광역시의 경우 자연환경 활동에서 기인한 태양, 바람, 비, 조석, 파도, 하천과 같은 영속성 에너지원과 경제 활동에서 기인한 석탄, 천연가스, 석유, 전기 등의 화석연료 그리고 각종의 재화와 용역 등이 있으며, 내부 저장고에는 토양, 지하수가 있다. 부산광역시는 해안과 접하고 있는 영향으로 다른 지역과 비교하여 기온이 여름철에는 낮고 겨울철에는 높은 편이며 연평균 14.8℃이다. 강수량은 1,386.3 ㎜이고 하계에 집중되는 특징을 보이며, 평균 풍속은 3.9m/s, 평균 유의 파고는 0.56m, 평균 조위는 0.91 m이다.[17] 하천의 경우에는 낙동강이 60년대, 70년대 부산광역시의 공업화와 도시화 과정에 있어 각종 용수의 공급원으로 역할을 해오고 있었다. 그러나 80년대 이후 낙동강 중·하류의 수질 악화 현상은 부산광역시의 사회적, 경제적 제반 문제를 야기하고 있으며, 도심내 하천의 경우도 수질 오염은 심각한 실정이다.

경제 활동의 주요 에너지원인 화석연료 에너지원은 1995년 현재 총 소비량이 6,386천 TOE로 계속적으로 증가하는 추세를 보이며, 이중 석유는 총 소비의 80.3%, 도시가스 사용량은 4.2%, 전기는 13.3%, 석탄은 1.6%를 차지하고 있다. 그러나 이러한 에너지원은 전적으로 수입에 의존하고 있는 실정이다. 각종 재화와 용역에 대한 수입은 1995년 현재 57.4억 달러로 전국의 4.2%를 차지하고 있으며, 수출은 1995년 64.6억 달러로 전국의 5.2%를 차지하고 있다.

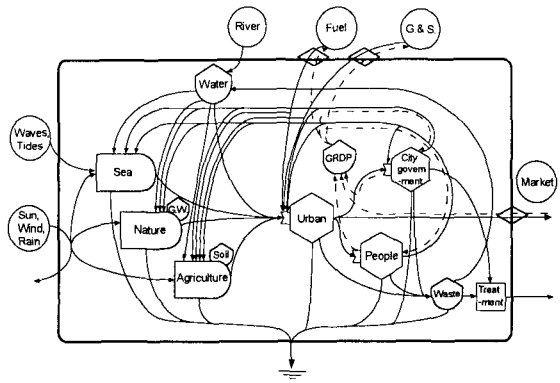


Fig. 3. Energy diagram of Pusan metropolitan city (GRDP = Gross regional domestic product, G.W. = Groundwater).

이러한 주요 에너지원은 시스템의 자연환경과 경제 활동을 유지시켜 주는데, 부산광역시의 연안지역에서는 수출입 물동량의 이동과 수산물의 집적에 필요한 항만 활동, 해양 생물의 생산 활동, 그리고 관광 활동 등이 형성되고 있다. 육지에서는 전체 면적의 59.83%을 차지하는 산림, 공원용지 등을 포함하는 자연녹지와 전체 면적의 17.74%를 차지하는 전, 답, 과수원, 목장용지 등을 포함하는 농경지에서 육상 생물 및 농산물의 생산 활동이 이루어지고 있다. 그리고 전체면적의 22.43%에 해당하는 공장용지, 대지, 도로 등의 도심지에는 경제 활동, 사회 활동, 그리고 지방 자치 행정 등이 이루어지고 있다. 이러한 시스템의 자연환경과 경제 활동으로부터 생산된 1년간의 총생산을 화폐가치로 나타내면 지역내 총생산액(GRDP)이 되며, 부산광역시의 경우 지역내 총생산액은 1995년 23조 5,639억 원으로 전국의 6.8% 수준이며 1980년 전국의 9.4%를 정점으로 지속적인 하락추세를 보이고 있다. 1인당 지역총생산액의 측면에서 살펴보면, 80년

대 초반까지는 전국 평균을 상회하였으나 90년대 들어서 전국의 80% 수준으로 하락하여 1995년 현재 6,197천 원으로 6대 도시 중 대구 다음으로 낮은 수준이다.

인구의 측면에서 살펴보면, 1914년 20,000명을 조금 넘었으나, 시역 확장과 항만의 발달로 정부직할시로 승격된 1963년 인구는 1,360,630명으로 증가하였다. 이후 급속한 경제 성장 및 도시화가 진행되어 1980년에는 3,159,766명으로 급격히 증가하였으나, 80년대 이후 산업구조 조정 미흡, 도시성장 억제 정책, 제조업체의 역외이전 등의 이유로 도시 활동이 쇠퇴함에 따라 더 이상의 급격한 인구 증가는 나타나지 않았다.[18]

전체 시스템의 생산, 소비, 재순환의 상호 관계 측면에서 보면, 경제 활동을 통해 발생된 부산물(byproduct)인 각종 쓰레기, 하 · 폐수와 같은 오염물질은 전체 시스템의 재순환 과정에 의해 자연환경 활동을 촉진시키지 못하고, 일부 매립, 소각, 그리고 하 · 폐수처리 등의 환경 비용을 유발하는 시스템 구조를 가지고 있다.

### 3.2. EMERGY 분석에 의한 시스템 특성 파악

부산광역시 시스템의 특성을 좌우하는 자연환경과 경제 활동의 주요 에너지원에 대해 1985년에서 1995년까지 매년 EMERGY 분석을 수행하고, 이를 평균한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Average values from EMERGY evaluation of resource basis of Pusan from 1985 to 1995

| Energy source | Energy inflow (J/yr) | Solar Transformity (sej/J) | Solar EMERGY (E18 sej/yr) |
|---|---|---|---|
| Sun | 2.95 E18 | 1 | 3.0 |
| Wind | 1.03 E15 | 663 | 0.7 |
| Rain | 4.93 E15 | 15,400 | 75.9 |
| Tide | 3.80 E14 | 16,800 | 6.4 |
| Wave | 4.88 E15 | 30,600 | 149.3 |
| River | 6.86 E16 | 48,459 | 3,322.0 |
| Top soil | 2.81 E14 | 63,000 | 17.1 |
| Groundwater | 3.31 E14 | 144,000 | 48.0 |
| Coal | 4.12 E16 | 40,000 | 1,647.0 |
| Natural gas | 1.31 E15 | 48,000 | 62.9 |
| Oil | 1.14 E17 | 66,000 | 7,550.7 |
| Electricity | 2.55 E16 | 200,000 | 5,580.0 |
| G & S($) | 1.18 E10 | 1.79 E12 | 21,122.0 |

기존의 물리학적 에너지 단위로 나타내면 Fig. 4와 같이 태양 에너지량은 전체 에너지 유입량의 90% 이상을 차지하며 그 외 바람, 비, 파도, 조석, 하천, 화석연료 그리고 재화와 용역 등은 10% 이내를 차지하고 있었다.

그러나 주요 에너지원의 실질적인 가치와 역할을 평가한 EMERGY 관점에서 살펴보면(Table 2), 자연환경 활동에서 기인한 주요 에너지원의 경우에 하천이 가장 큰 가치와 역할을 나타내었고 다음으로 파도, 비, 지하수, 토양, 조석, 태양, 바람의 순서였다. 경제 활동의 경우에 재화와 용역, 유류, 전기, 석탄, 도시가스의 순서로 가치와 역할을 나타내고 있었다.

이러한 에너지원을 영속성 에너지원, 비영속성 에너지원, 그리고 보유된 비영속성 에너지원으로 구분할 경우, Fig. 5와 같이 비, 하천, 조석 등의 자연환경에서 기인한 영속성 에너지원의 EMERGY는 전체의 8.7%, 지하수와 토양 등의 보유된 비영속성 에너지원의 EMERGY는 0.2%, 외부로부터 유입되는 비영속성 EMERGY원으로 화석연료와 전기 등은 36.8%, 각종 재화와 용역은 54.3%의 기여를 나타내고 있었다.

이는 부산광역시의 전체 시스템 구조가 자연환경 활동에서 기인한 영속성 에너지원 보다는 화석연료와 각종 재화와 용역의 비영속성 에너지원에 의존한 산업화된 전형적인 도시 시스템임을 나타내고 있다.

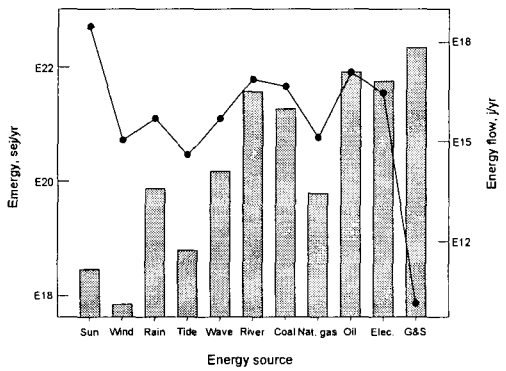


Fig. 4. EMERGY(▩) and energy(-●-) signature of each energy source in Pusan based on average values from 1985 to 1995.

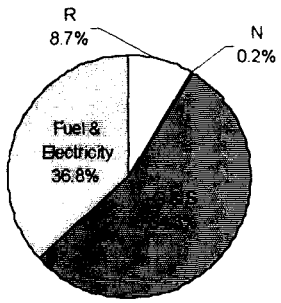


Fig. 5. Contribution of EMERGY in Pusan from renewable sources, non-renewable sources, fossil fuel & electricity, and G & S.

### 3.3. EMERGY 지표에 기초한 지속적인 발전가능성

EMERGY 분석표를 요약(Fig. 6, Table 3)하고, EMERGY 지표를 산정(Table 4)하여, 부산광역시의 자연환경과 경제 활동에 대한 지속적인 발전가능성을 평가하였다.

영속성 에너지원의 EMERGY 점유율로 살펴보면, 부산광역시의 경우 지난 11년간 영속성 에너지원의 EMERGY 점유율은 2.9%에서 13.0%까지의 변동폭을 나타내었다.

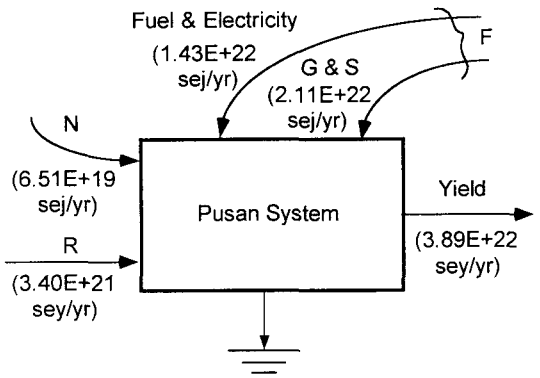


Fig. 6. Three-arm diagram of Pusan system ( R : Renewable EMERGY flow, N : Flow from indigenous nonrenewable reserves, F : Purchased EMERGY flow from fuel & electricity and goods & services, Yield : EMERGY yield ).

Table 3. Summary of EMERGY flow in Pusan from 1985 to 1995

| Year | R | N | F & E | G & S | Yield |
|---|---|---|---|---|---|
| 1985 | 4.30E+21 | 6.49E+19 | 1.20E+22 | 1.78E+22 | 3.41E+22 |
| 1986 | 3.22E+21 | 6.48E+19 | 1.28E+22 | 1.12E+22 | 2.73E+22 |
| 1987 | 4.07E+21 | 6.57E+19 | 1.36E+22 | 1.34E+22 | 3.12E+22 |
| 1988 | 2.51E+21 | 6.62E+19 | 1.22E+22 | 1.47E+22 | 2.94E+22 |
| 1989 | 2.95E+21 | 6.60E+19 | 1.27E+22 | 1.90E+22 | 3.47E+22 |
| 1990 | 4.35E+21 | 6.47E+19 | 1.38E+22 | 2.36E+22 | 4.19E+22 |
| 1991 | 4.21E+21 | 6.48E+19 | 1.50E+22 | 2.37E+22 | 4.30E+22 |
| 1992 | 2.02E+21 | 6.47E+19 | 1.54E+22 | 2.45E+22 | 4.20E+22 |
| 1993 | 4.64E+21 | 6.47E+19 | 1.55E+22 | 2.62E+22 | 4.64E+22 |
| 1994 | 1.30E+21 | 6.47E+19 | 1.69E+22 | 2.71E+22 | 4.53E+22 |
| 1995 | 3.84E+21 | 6.54E+19 | 1.78E+22 | 3.13E+22 | 5.30E+22 |
| Avg. | 3.40E+21 | 6.51E+19 | 1.43E+22 | 2.11E+22 | 3.89E+22 |

Table 4. Variation of EMERGY indices in Pusan from 1985 to 1995

| Year | %Renew | EYR | ELR | SI | Renewable carrying capacity | Developed carrying capacity |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1985 | 12.6 | 1.15 | 6.93 | 0.17 | 443,418 | 3,547,340 |
| 1986 | 11.8 | 1.14 | 7.48 | 0.15 | 421,942 | 3,375,534 |
| 1987 | 13.0 | 1.15 | 6.67 | 0.17 | 476,341 | 3,810,727 |
| 1988 | 8.5 | 1.10 | 10.73 | 0.11 | 319,890 | 2,559,122 |
| 1989 | 8.5 | 1.10 | 10.76 | 0.11 | 327,879 | 2,623,034 |
| 1990 | 10.4 | 1.12 | 8.62 | 0.13 | 394,956 | 3,159,650 |
| 1991 | 9.8 | 1.11 | 9.22 | 0.12 | 380,897 | 3,047,176 |
| 1992 | 4.8 | 1.05 | 19.83 | 0.05 | 186,640 | 1,493,119 |
| 1993 | 10.0 | 1.11 | 9.01 | 0.12 | 386,561 | 3,092,484 |
| 1994 | 2.9 | 1.03 | 33.87 | 0.03 | 110,300 | 882,397 |
| 1995 | 7.2 | 1.08 | 12.83 | 0.08 | 281,448 | 2,251,588 |
| Avg. | 8.7 | 1.10 | 10.45 | 0.11 | 339,116 | 2,712,925 |

이러한 변동폭에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로는 Fig. 7에서와 같이 낙동강 중·상류 지역의 하천 유량인 것으로 평가되었다. 특히 낙동강의 유량이 크게 줄어든 시기인 1992년과 1994년의 경우 영속성 에너지원의 EMERGY 점유율은 각각 4.8, 2.8로 11년간의 자료 중에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 따라서, 낙동강 유량은 하류 지역인 부산광역시의 자연환경의 역할에 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 평가되었다.

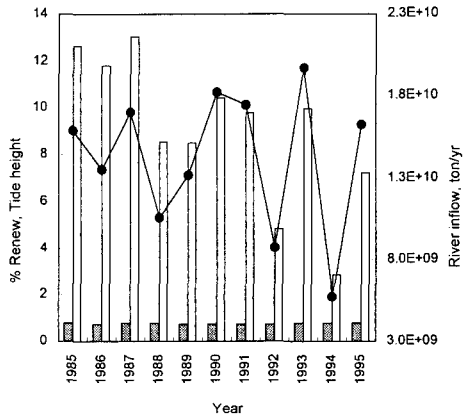


Fig. 7. Variation of % Renew(□), tide height(▩), and river inflow(-●-) in Pusan during the eleven year from 1985 to 1995.

조사 기간 동안의 영속성 에너지원의 EMERGY 점유율에 대한 평균치는 8.7%로 Lee and Odum[8]의 한국에 대한 평가치 7%에 비해서는 다소 높은 수치를 보였다. 기존의 연구와 비교하면 자연자원이 풍부한 브라질(82.2%),[5] 에콰도르(50%), 호주(28.3%)[6] 등의 국가와 매인(32.6%), 플로리다주(18.8%)[19] 등에 비해서는 낮은 비율을 나타내고 있었다. 그러나 네덜란드(5%), 서독(1%)[6] 등의 국가와 Duval(4%),[20] Taipei(1%)[5]와 같은 도시에 비해서는 높은 점유율을 보였다(Fig. 8).

인구 집중과 산업화가 진행된 국가, 도시 시스템은 자연환경의 역할이 전체 시스템에서 낮은 수준을 보이고

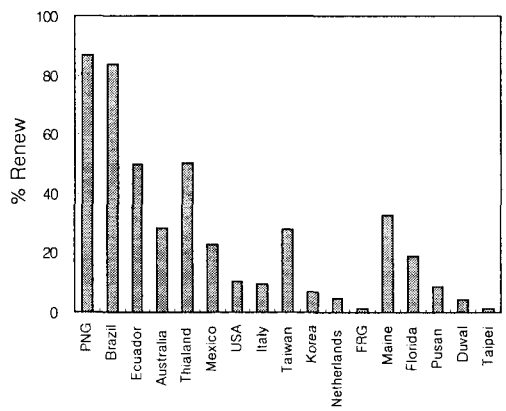


Fig. 8. A comparison of % Renew of Pusan to several other countries and cities.

있는 것으로 평가되었으며, 이러한 결과는 EMERGY 생산비, 환경부하율, 지속성 지수 등의 여러 EMERGY 지수에 영향을 미치고 있는 것으로 파악되었다.

부산광역시의 EMERGY 생산비는 평균치가 1.10으로 1991년 한국[8]의 1.12와 유사한 수준을 보이고 있어, 한국 경제에 대한 부산광역시의 기여는 평균적인 수준으로 평가되었다. 환경부하율은 Fig. 9와 같이 지난 11년간 6.67에서 33.87까지의 범위로, 심한 변화를 보이며 증가하는 것으로 나타났다. 이는 꾸준한 비영속성 에너지원의 EMERGY 유입(Nonrenewable inflow) 증가 상황에서, 1992년, 1994년과 같이 낙동강 유량에 영향을 받는 영속성 에너지원의 EMERGY 유입 감소에 기인한 것으로 평가되었다. 이러한 환경부하율은 영속성 에너지원의 EMERGY 점유율(% Renew)과는 반비례 관계를 나타내고 있었다. 환경부하율과 관련하여 Brown[6] 등에 의하면, 환경부하율이 10 이상인 시스템은 자연환경에 대한 영향이 큰 시스템으로 평가되고 있으며, 이로 인한 자연환경적 손실은 경제적 경쟁력의 상실 요인으로 작용하는 것으로 판단되고 있다. 따라서 부산광역시의 경우 환경부하율을 낮추고, 자연환경 친화적인 산업 구조로의 전환이 요구된다.

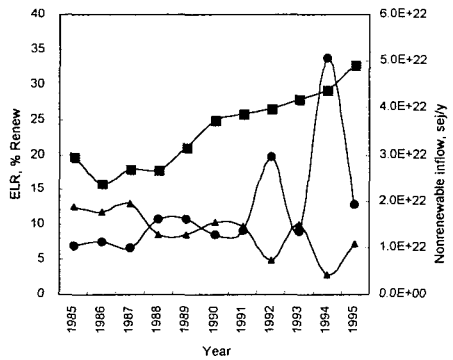


Fig. 9. Variation of ELR(-●-), % renew(-▲-) and nonrenewable inflow(-■-) in Pusan during the eleven year from 1985 to 1995.

지속성 지수는 부산광역시의 경우에 11년간 0.03에서 0.17까지의 범위로, 평균 0.11의 값을 나타내고 있어, 한국의 0.11[8]과 같은 수준을 나타내고 있었다. 지속성 지수와 관련하여 기존의 연구[6]가 이루어진 국가나 도시 시스템에서(Fig. 10), 지속성 지수와 % Renew, EYR, 그리고 ELR과의 관계를 살펴보면, 지속성 지수는 % Renew과 EYR가 증가할수록, 그리고 ELR이 낮을수록 증가하는 것으로 파악되고 있다. Brown[6] 등에 의하면, 환경부하율이 2이하일 경우에 자연환경에 대한 압박이 적은 시스템으로 평가하며, 10이상일 경우에는 자연환경에 대한 압박이 큰 시스템으로 평가되고 있다. 그리고 지속성 지수가 10이상인 경우에는 자연환경이 개발되지 않은 국가로 평가하며, 1이하인 경우에는 고도로 산업화된 국가로 평가하고 있다. 부산광역시의 경우 낮은 EMERGY 생산비, 높은 환경부하율, 그리고 낮은 지속성 지수를 가지고 있어, 화석연료의 고갈과 치열한 자유 경쟁의 무역체제 내에서, 보다 더 EMERGY 생산비를 향상시키고, 환경부하율을 낮출 수 있는 시스템 구조가 구축될 때, 부산광역시의 지속적인 발전가능성은 보다 더 개선되리라 판단되었다.

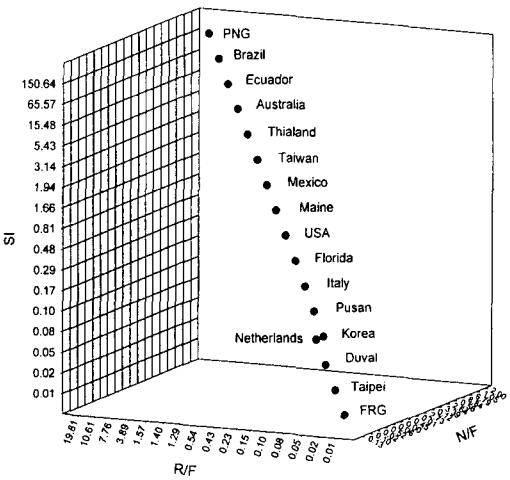


Fig. 10. EMERGY sustainability index versus amounts of renewable and nonrenewable locally exploited resources per unit investment.

오늘날 도시의 거대한 인구 규모는 시스템의 자연환경 악화, 다음 세대의 복리를 위협할 정도의 과잉 소비를 통해 시스템의 지속적인 발전가능성에 지대한 영향을 미치고 있다. 부산광역시의 경우 조사 기간 동안의 평균 인구수[14]는 3백 76만 명이었고, 1인당 EMERGY 소비 수준은 $1.03 \times 10^{16}$ sej/person이었다.

이러한 현재의 EMERGY 소비 수준을 전적으로 영속성 에너지원에만 의존할 경우 수용 가능한 인구수는 Table 4와 같이 33만 9천 명이었다. 그리고 이러한 영속성 에너지원과 함께 외부로부터 EMERGY 투자가 선진국형 수준인 7대1로 유지될 때, 수용 가능한 인구수는 2백 71만 명이었다. 국가나 지역 시스템에 관련된 기존의 EMERGY 평가[5]에서 보면, 선진국형의 시스템에서는 외부로부터의 EMERGY 투자가 7대1의 수준을 상회할 경우, 지나친 자연환경에 대한 압박과 이로 인한 경쟁력의 쇠퇴를 감안하여, 투자를 다른 지역으로 이전하는 경향을 보여왔다. 그리고 인구수용력의 측면에서도, 외부로부터의 지나친 EMERGY 투자에 의존한 인구수는 오히려 자연환경에 대한 압박을 가중시키고, 화석 연료를 비롯한 자원의 고갈이 예상되는 미래에 지속적인 부양이 힘들 것으로 평가되고 있다. 부산광역시의 경우 이미 선진국형의 인구 수용력을 초과한 상태로 평가되었으며, 향후 지속적인 발전을 위해서는 자연환경의 역할을 증대시키는 자연환경 친화적인 시스템 구축, 적절한 인구 수준 유지, 그리고 1인당 EMERGY 소비 수준

을 낮추는 노력이 요구된다.

## 4. 결 론

부산광역시의 지속적인 발전가능성에 대해 자연환경과 경제 활동의 가치와 역할을 포괄하는 EMERGY 평가에 의한 결론은 다음과 같다.

1) 부산광역시의 경우 전체 시스템에서 영속성 에너지원의 EMERGY 점유율은 8.74%, 화석연료의 EMERGY는 36.76%, 그리고 각종 재화와 용역의 EMERGY는 54.24%로 전형적인 공업화와 도시화가 진행된 도시의 특성을 나타내고 있었다. 이중 영속성 에너지원의 기여도는 낙동강의 유량에 큰 영향을 받고 있었다.
2) EMERGY 지표 중에서 EMERGY 생산비, 환경부하율, 지속성 지수를 평가할 때, 부산광역시의 경우 EMERGY 생산비는 낮고 환경부하율은 높아, 지속성 지수가 낮은 시스템 특성을 보였다. 따라서 화석연료의 고갈과 치열한 자유 경쟁의 무역체제 내에서, EMERGY 생산비의 향상, 환경부하율의 삭감, 지속성 지수의 개선을 위한 시스템의 구조 개선이 이루어질 때, 지속적인 발전이 가능할 것으로 판단되었다.
3) 부산광역시의 인구 수용 측면에서, 현재의 EMERGY 소비 수준을 전적으로 영속성 에너지원에만 의존할 경우 수용 가능한 인구수는 33만 9천 명이었고, 영속성 에너지원과 함께 외부로부터의 EMERGY 투자가 선진국형 수준인 7대1로 유지될 때, 수용 가능한 인구수는 2백 71만 명이었다. 따라서 향후 지속적인 발전을 위해서는 적절한 규모의 인구수 유지와 1인당 EMERGY 소비 수준의 조절 등이 요구된다.

## 참 고 문 헌


1) Huang, S. L., 1998, Urban ecosystems, energetic hierarchies, and ecological economics of Taipei metropolis, Journal of Environmental Management, 52, 39-51.
2) Huang, S. L., Shu-Chi Wu, and Wei-Bin Chen, 1995, Ecosystem, environmental quality and eco-technology in the Taipei metropolitan region, Ecological Engineering, 4, 233-248.
3) Braat, L. C., 1987, Systems ecology and sustainable development : Links on two levels In C.A.S. Hall (1995), Maximum Power. Univ. Press of Colorado, 164~174pp.
4) 김귀곤, 1997, 도시지속성지표 개발과 적용에 관한 연구, 대한국토·도시계획학회지, 32권 3호, 175~190.
5) Odum, H. T., 1996, Environmental accounting, EMERGY and Environmental decision-Making, Wiley, New York., 370pp.
6) Brown M. T. and S. Ulgiati, 1997, EMERGY-based indices and ratios to evaluate sustainability : monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation, Ecological Engineering, 9, 51-69.
7) Ulgiati S, and Mark T. Brown, 1998, Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems, 108, 23-36.
8) Lee, S. M. and H. T. Odum, 1994, EMERGY analysis overview of Korea, J. of the Korean Env. Sci. Soc. 3(2). 165~175.
9) 손지호, 신성교, 조은일, 이석모, 1996, 한국 수산업의 EMERGY 분석, 한국수산학회, 29권 5호, 698~700.
10) 엄기혁, 손지호, 조은일, 이석모, 박청길, 1996, EMERGY 분석법에 의한 득량만의 환경용량 산정 한국수산학회, 29권 5호, 629-636.
11) 강대석, 박석순, 1999, 에머지(EMERGY) 개념을 이용한 다목적댐 건설의 생태경제학적인 평가방법에 관한 연구, 환경영향평가학회지, 8권 2호, 45-51.
12) Odum, H. T., 1983, Systems Ecology, Wiley, New York, 644pp.
13) 환경부, 1994, 한국환경연감, 597pp.
14) 부산광역시, 1995, 부산통계연부, 548pp.
15) 통계청, 1997, 부산광역시 환경보전종합계획, 709pp.
16) 고종환, 1995, 부산지역 산업연관모형, 부산발전연구원, 15-37.
17) 부산광역시, 1998, 부산광역시 환경보전종합계획, 709pp.
18) 한국은행 부산지점, 1996, 부산지역 경제구조 분석, 76pp.
19) Campbell, D. E., 1998, EMERGY analysis of human carrying capacity and regional sustainability : an example using the state of maine, Environmental Monitoring and Assessment, 51, 531-569.
20) Whitefield, D. F., 1994, EMERGY basis for urban land use patterns in Jacksonville, Floride. Master's Thesis, Dept. of Landscape Architecture, Univ. of Florida, Gainesville, 224pp.