

## 낙동강 유역의 지속가능한 이용을 위한 EMERGY 분석

김진이·손지호·김영진·이석모  
부경대 환경공학과·'낙동강환경관리청 운영과  
(1999년 10월 9일 접수)

### EMERGY Analysis of Nakdong River Basin for Sustainable Use

Jin-Lee Kim, Ji-Ho Son, Young-Jin Kim,\* and Suk-Mo Lee

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

\*Nakdong-River Environmental Management Office

(Manuscript received 9 October, 1999)

An EMERGY analysis of the main energy flows driving the economy of humans and life support systems consists of environmental energies, fuels, and imports, all expressed as solar emjoules. Total EMERGY use(720.0 E20 sej/yr) of the Nakdong River Basin is 96 per cent from imported sources, fuels and goods and services. EMERGY flows from the environment such as rain and geological uplift flux accounted for only 4 percent of total EMERGY use. Consequently, the ratio of outside investment to attracting natural resources was large, like other industrialized areas.

EMERGY use per person in the Nakdong River Basin indicates a moderate EMERGY standard of living, even though the indigenous resources are very poor. Population of 6.66 million people in 1996 is already in excess of carrying capacity of the basin.

Carrying capacity for steady state based on its renewable sources is only 0.226 million people.

EMERGY yield ratio and environment loading ratio were 1.07 and 28.52, respectively. EMERGY sustainability index, a ratio of EMERGY yield ratio to environment loading ratio, is therefore less than one, which is indicative of highly developed consumer oriented economies.

This study suggests that the economic structure of the Nakdong River Basin should be transformed from the present industrial structure to the social-economic structure based on an ecological-recycling concept for the sustainable use of the Nakdong River.

Key words : hydraulic model test, movable bed analysis, scour and deposition, sediment budget

#### 1. 서론

낙동강 유역은 행정적으로 경상북도, 대구, 경상남도, 그리고 부산을 포함하는 거대한 분지지역으로 한국 인구의 15%가 이 곳에서 생활하고 있다.<sup>1)</sup> 특히 영남지역으로도 불리는 이 지역은 일찍이 가야문화와 신라문화를 꽃피운 오랜 역사의 현장이다.

낙동강 유역의 지역환경을 형성하는 주된 요소인 강수량은 연평균 1,137mm로서 수자원 총량은 연간 375억m<sup>3</sup>나 되지만 이 중 하천 유출량 191억m<sup>3</sup>과 증발산량 184억m<sup>3</sup>을 제외한 총 이용 가능량은 86억m<sup>3</sup>에 불과한 실정이다. 이 양은 경상남도와 경상북도에 거주하는 주민의 생활용수 및 공업용수(25.7억m<sup>3</sup>/년), 농업용수(44.68억m<sup>3</sup>/년) 및 하천유지용수(15.33억m<sup>3</sup>/년)로 이용되고 있다.<sup>2)</sup>

최근 낙동강 유역은 지방자치 단체간 또는 산업간 경쟁적인 개발정책으로 인하여 수자원 이용은 물론 수질오

염을 비롯한 민원이 끊임없이 야기되고 있어 유역의 수 자원에 대한 효율적인 관리가 절실히 요구되고 있다.

현재의 경제 시스템에서 물의 가치는 상수, 농·공 용수의 저수 및 생산공급에 소모되는 재화와 용역의 비용에 의해서만 평가되고 있다. 그러나 수자원의 진정한 가치를 평가하기 위해서는 자연 환경과 경제를 동일한 척도로 평가하는 시스템 생태학적 접근방법을 도입할 필요가 있다.

자연환경과 경제활동을 하나의 시스템으로 파악하는 시스템 접근법(System approach)은 많은 연구자들에 의해 활발히 사용되고 있는데, Odum<sup>3)</sup>은 1962년 이후 에너지 언어를 생태계 시스템의 분석, 합성 그리고 시뮬레이션에 이용하고 있으며, 자연환경과 경제활동을 하나의 시스템에서 동일한 가치 척도를 비교하는 EMERGY 개념을 이용하여 농업, 임업 그리고 수산업의 기여도, 국가

의 자연환경과 경제활동에 대한 통합 평가, 국가간 무역의 EMERGY 손익평가 등에 대한 연구 결과를 발표하였다. 많은 연구자들이 자연환경과 경제활동을 동시에 고려하여 효과적인 구조로 설계하는 생태공학(Ecological engineering or Ecotechnology)적 연구를 발전시켜오고 있다.<sup>4)</sup> 국내에서는 Lee and Odum<sup>5)</sup>이 EMERGY 분석법을 통해 한국의 자연환경과 경제활동을 하나의 시스템으로 평가하였으며, 손지호 등<sup>6)</sup>과 엄기혁 등<sup>7)</sup>이 수산업과 양식업에 대한 EMERGY 평가를 수행하였다. 또한 손지호<sup>8)</sup>는 EMERGY 분석법에 의한 도시의 지속적인 발전가능성 평가를 하였으며, 강대석과 박석문<sup>9)</sup>은 EMERGY 개념을 이용한 다목적 댐 건설의 생태경제학적인 평가방법에 관한 연구를 수행하였다. 그러나, 하천의 수자원 관리를 유역전체의 관점에서 유기적으로 평가한 국내연구는 아직 없다.

따라서, 본 연구는 낙동강 유역의 자연환경과 경제활동에 대한 지속성을 전체적인 관점에서 평가할 목적으로 EMERGY 분석법을 적용하였다.

## 2. EMERGY 개념

### 2.1. EMERGY

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.

### 2.2. Transformity

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

### 2.3. EmDollar

EMERGY를 화폐단위로 환산한 것으로 경제적 생산을 위하여 소모된 총 EMERGY와 생산된 화폐가치와의 비를 이용하여 계산한다. 이 가치는 단순화폐가치가 아니라 과학적 척도로서 실질적인 부를 평가하는 EMERGY에 기초한 거시 경제적 가치이다.

## 3. 연구방법

### 3.1. 시스템 경계의 설정

본 연구의 대상 지역인 낙동강 유역은 북쪽으로는 한

강유역, 서쪽으로는 금강 및 섬진강 유역과 접하고 있으며 동쪽으로는 태백산맥에 의하여 동해안 유역과 분수령을 형성하고 있다. 낙동강은 유역 면적 23,817km<sup>2</sup>, 유로연장 521.5km의 대하천으로 남한에서는 한강 다음으로 유로가 길뿐만 아니라 수많은 지류를 가지고 있으며 하계망의 밀도는 2.68km/km<sup>2</sup>인 8차수 하천이다.<sup>10)</sup>

낙동강의 지역 경제 시스템에 대한 기여도 평가, 하천이용에 따른 EMERGY 수치 및 지속성 평가를 위해서 유역전체를 공간적 경계로 설정하였으며 시간적인 경계로는 1996년의 통계자료를 이용하였다.



Fig. 1. Basin of Nakdong River.

### 3.2. 에너지 시스템 다이어그램 작성

Odum<sup>11)</sup>이 제안한 에너지 시스템 언어를 이용하여 시스템의 자연환경과 경제활동에 대한 생산, 소비, 재순환 등을 전체적(Top-down)으로 파악하기 위해서 다이어그램을 작성하였다.

대상 시스템의 경계를 설정하고, 시스템 외부로부터의 주요 에너지원, 그리고 대상 시스템내의 생산, 소비, 그리고 재순환 과정을 파악한 다음 이들에 대한 목록을 작성하였다. 이 목록을 토대로 외부에너지원과 내부의 각 요소를 배치하고 에너지, 물질 및 화폐의 흐름에 따라 에너지 시스템 언어의 각 기호를 연결하였다.

### 3.3. EMERGY 분석표 작성

대상 시스템의 자연환경과 경제활동에 있어 외부에너지원의 역할과 가치를 평가하기 위해서 EMERGY 분석표를 작성하였다.<sup>12)</sup>

먼저, 자연의 생산활동과 인간의 경제활동을 가능케하는 외부의 주요 에너지원을 기입하고 이러한 주요 에너지원이 가지는 실제 에너지, 물질 또는 화폐 단위의 값을 기입한다. 다음으로 주요 에너지원에 대한 Solar Transformity와 재화 및 용역에 대한 EMERGY 화폐비를 구한 후 주요 에너지원의 실제 에너지 값에 Solar Transformity 또는 EMERGY 화폐비를 곱하여 EMERGY

값을 산정한다. 마지막으로 주요 에너지원의 EMERGY 값을 EMERGY 화폐비로 나누어 거시 경제적 가치 (Macroeconomic value)를 계산한다.

Table 1. Tabular format for EMERGY analysis of the Nakdong River Basin

Energy source	Energy inflow (Jor\$/yr)	Solar Transformiy (sej/J)	Solar Energy value (sej/yr)	Macro - economic value (\$/yr)
(one line here for each source, process, or storage of interest)				

3.4. EMERGY 지표 계산

EMERGY 분석에서 구한 EMERGY 값을 기초로, 시스템의 특성을 평가하기 위해 Fig. 2와 같이 EMERGY 지표들이 계산되었다.

대상 시스템에 유입되는 EMERGY를 강우 및 지구활동에 의한 영속성 에너지원의 EMERGY(R)와 시스템 내부의 석탄과 광물질의 이용량으로부터 기여된 비영속성 보유에너지원의 EMERGY(N), 그리고 교역과 교환을 통해 유입되는 EMERGY(F)로 구분하여 EMERGY 지표들을 계산하였다.

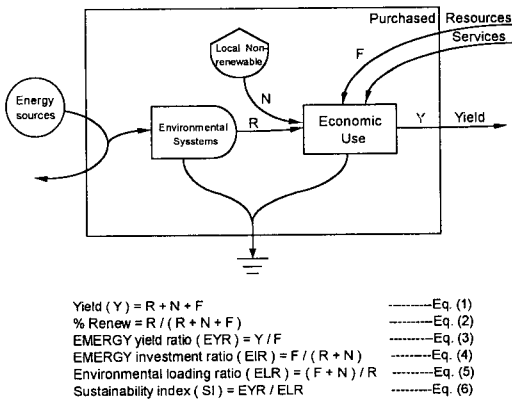


Fig. 2. EMERGY based indices, accounting for local renewable EMERGY inputs(R), local nonrenewable inputs(N), and purchased inputs from outside the system(F).

4. 결과 및 고찰

4.1. 낙동강 유역의 시스템 분석

낙동강 유역의 자연환경과 경제활동에 대한 에너지 시스템 다이어그램은 Fig. 3과 같다. 시스템 외부로부터는 자연환경활동에서 기인한 태양, 바람, 비와 지질작용과 같은 영속성 에너지원과 경제활동을 통한 석탄, 천연가스, 석유, 그리고 재화와 용역 등이 유입되고 있다.

시스템 내부에서는 자연녹지 및 농업의 생산활동에 기초하여 교역 및 교환을 통한 에너지원을 이용한 각종

산업 및 상업활동 그리고 도시의 소비활동이 이루어지고 있다. 시스템 내부의 생산자인 자연녹지 및 농경지에서는 시스템 외부의 자연활동으로부터 유입되는 태양, 바람, 비를 이용하여 생산이 이루어지고 있으며, 자연녹지 및 농경지가 차지하는 면적은 낙동강 유역 전체면적 23,817km<sup>2</sup>의 각각 70%, 20%에 해당한다. 시스템 내부의 인간의 경제활동 및 도시기능에 소요되는 전체면적은 10%에 불과하다. 유역의 경제활동은 자연녹지, 농경지에서의 생산물을 기초로 교환과 교역을 통해 유입되는 화석연료와 각종의 재화 및 용역을 이용하여 시스템 내부의 총 경제활동을 형성하며, 이를 화폐가치로 평가한 것이 지역총생산(GRDP)이다.

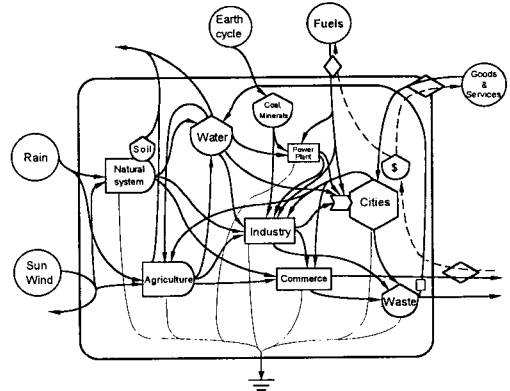


Fig. 3. Complex energy diagram of the Nakdong River Basin.

4.2. EMERGY 분석결과

낙동강 유역의 자연환경과 경제활동을 유지시켜주는 주요 에너지원을 물리·화학적 에너지 및 EMERGY 단위로 계산한 결과는 Table 2 및 Fig. 4와 같다. 에너지 단위로 계산할 때 산림지역, 농경지의 1차 생산활동을 유지시켜주는 태양에너지가 전체의 에너지 유입량의 90.0%를 차지하고 있어,<sup>13-17)</sup> 다량의 저급 에너지(low quality energy)인 태양에너지를 비롯한 자연 에너지와 소량의 고급에너지(high quality energy)인 화석연료 그리고 재화와 용역이 상호작용하는 에너지 계층(energy hierarchy) 구조를 형성하고 있다.

EMERGY 분석을 통한 각 에너지원의 실질적인 기여 측면에서 살펴보면, 자연환경 활동에서 기인한 에너지원의 경우, 태양에너지로부터 0.12 E20 sej/yr, 바람으로부터 0.42 E20 sej/yr, 비로부터 24.39 E20 sej/yr, 지질작용으로부터는 11.07 E20 sej/yr가 유입되고 있어, 비, 지질 작용, 바람, 태양 순으로 실질적인 기여도가 평가되었다. 경제활동에 필요한 에너지원의 경우는 유류사용이 276.99 E20 sej/yr, 가스사용이 22.13 E20 sej/yr, 전기 사용이 45.20 E20 sej/yr, 재화와 용역이 330.56 E20 sej/yr가 유입되고 있어, 교환과 교역을 통해 유입된 유류, 재화와 용역, 가스, 전기의 순으로 실질적인 기여를 나타내는 것으로 평가되었다.

그리고 각 에너지원을 영속성 에너지, 비영속성 에너지, 그리고 재화와 용역으로 구분할 경우, 자연환경 자원에서부터의 영속성 에너지원은 3.4%, 내부 보유자원의 비영속성 에너지원은 2.9%, 시스템 외부로부터 유입된 비영속성 에너지원인 화석연료와 전기는 47.8%, 재화와 용역<sup>18)</sup>의 경우는 45.9%의 EMERGY 기여를 나타내었다 (Fig. 5). 이러한 결과는 이 지역의 경제활동이 다량의 저급 에너지보다는 소량의 고급에너지에 의존하는 특성을 나타내고 있는 것으로 판단된다.

Table 2. EMERGY evaluation of resource basis for the Nakdong River Basin(1996)

Note	Item	Raw Units	Solar Transformity (sej/unit)	Solar Energy (E20 sej)	EmDollars (E8 1996 US\$)
<b>RENEWABLE RESOURCES:</b>					
1	Sunlight	1.24E+19 J	1	0.12	0.09
2	Wind, kinetic energy	2.82E+16 J	1496	0.42	0.31
3	Rain, chemical	1.34E+17 J	18199	24.39	18.20
4	Rain, geopotential	2.79E+16 J	27874	7.78	5.80
5	Earth Cycle	3.22E+16 J	34377	11.07	8.26
<b>NONRENEWABLE SOURCES FROM WITHIN SYSTEM:</b>					
6	Coal	1.77E+16 J	4.00E+04	7.08	5.28
7	Minerals	8.56E+11 g	1.00E+09	8.56	6.39
8	Top Soil	7.10E+15 J	7.40E+04	5.25	3.92
<b>IMPORTS AND OUTSIDE SOURCES:</b>					
9	Oil	4.20E+17 J	6.60E+04	276.99	206.71
10	Gas	4.61E+16 J	4.80E+04	22.13	16.51
11	Nuclear electricity	2.26E+16 J	2.00E+05	45.20	33.73
12	Imported G. & S.1)	4.44E+09 \$	1.32E+12	58.61	43.74
13	Inflow of G. & S.2)	1.85E+10 \$	1.47E+12	271.95	202.95
<b>EXPORTS:</b>					
14	Exported G. & S.3)	9.54E+09 \$	1.52E+12	145.01	108.21
15	Outflow of G. & S.4)	1.51E+10 \$	1.52E+12	229.52	171.28

- 1) Import Good & Service
  - Import= 5.75E+09
  - natural gas= 1124E+6\$/yr
  - oil= 1.19E+09\$/yr
  - Import G.& S.= A-B-C
  - = 4.44E+09\$/yr
- 2) Inflow of Good & Service
  - Input= 1.89ME+10
  - Nuclear electricity= 3.85E+08\$/yr
  - Inflow of G.\$ S.= Input-E
  - = 1.85E+10\$/yr
- 3) Export of Goos & Service
  - Export= 9.54E+09
- 4) Outflow of Goos & Service
  - Outflow of G.\$ S.= (GRDP-Export-Consumption in Nakdong River Basin)
  - 1.51E+10\$/yr

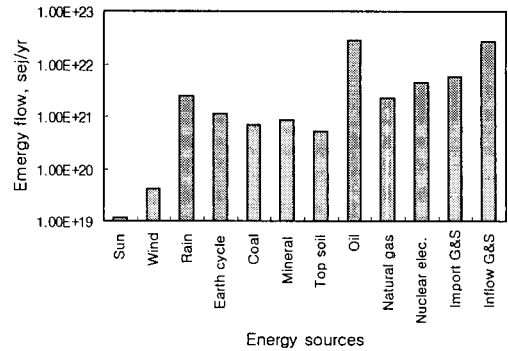


Fig. 4. EMERGY signature of the Nakdong River Basin system based on average values in 1996.

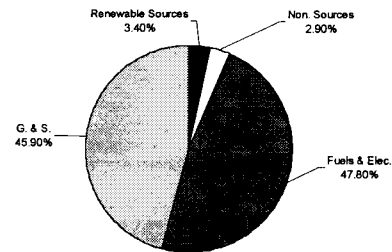


Fig. 5. Contribution of EMERGY from renewable sources, nonrenewable sources, fossil fuel & electricity, and goods & services.

Table 3. Summary of flows in the Nakdong River Basin(1996)

Item	Solar Energy Units
R Renewable resources	2.44E+21 sej/y
N Nonrenewable resources from within the Nakdong River Basin	2.09E+21 sej/y
F Imported Fuels and Minerals	3.44E+22 sej/y
P1*11 Imported Goods & Services	5.86E+21 sej/y
P2*12 Inflow of Goods & Services	2.72E+22 sej/y
U Total emergy inflow	7.20E+22 sej/y
P1 World emergy/\$ ratio, used for imports	1.32E+12 sej/\$
I1 Money paid for imports	4.44E+09 \$/y
P2 Korea emergy/\$ ratio, used for inflow	1.47E+12 sej/\$
I2 Money paid for inflow	1.85E+10 \$/y
I Total money paid for all Goods & Services	2.29E+10 \$/y
X Gross Regional Domestic Product	4.74E+10 \$/y
P Nakdong River Basin emergy/\$ ratio	1.52E+12 sej/\$
P*E1 Exported Goods & Services	1.45E+22 sej/y
E1 Money paid for exports	9.54E+09 \$/y
P*E2 Outflow of Goods & Services	2.29E+22 sej/y
E2 Money paid for outflow	1.51E+10 \$/y
E Total money paid for output <sup>1)</sup>	2.46E+10 \$/y
P*E Total output of Goods & Services	3.74E+22 sej/y

1) (E1=9.54E+09\$/yr) + (E2=1.51E+10\$/yr) = 2.46E+10\$/yr

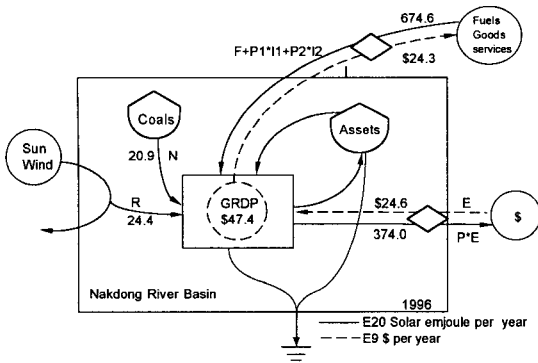


Fig. 6. An aggregated diagram of the Nakdong River Basin(1996).

영속성 에너지원의 경우 동일 에너지원에 의한 이중 산정을 배제하기 위해서, 강우에서 기인한 EMERGY 유입량으로 계산하고, 구매를 통해 유입된 EMERGY 양의 경우에는 교환과 교역을 통해 유입된 재화와 용역의 가격에 유입된 화석연료의 금액을 공제하였다.

낙동강 유역의 경우, 영속성 에너지원의 EMERGY 유입량은 24.4 E20 sej/yr이었고, 비영속성 내부자원의 EMERGY 사용량은 20.9 E20 sej/yr로서 전체 EMERGY의 6.29%로 낮은 비율을 차지하였다. 외부로부터 구매에 의한 EMERGY는 674.6 E20 sej/yr로서 낙동강 유역으로 유입되는 연간 전체 EMERGY 양은 720 E20 sej/yr이었다(Table 3, Fig. 6).

### 4.3. EMERGY 지표를 통한 지속성 평가

1996년의 EMERGY 분석표를 이용하여 낙동강 유역의 EMERGY 지표를 계산한 결과는 Table 4와 같으며, 다른 유역과의 비교 자료는 Table 5와 같다.

낙동강 유역의 영속성 에너지원의 점유율은 Table 4와 같이 3.4%의 값을 나타내었다. 낙동강 유역의 경우 에너지원에는 태양 에너지, 바람, 비, 그리고 지질작용이 있으며, 동일 에너지원에 의한 이중 산정을 배제할 경우 낙동강 유역의 영속성 에너지원은 이 대상 지역에 내린 강수량과 지질작용에 의존하고 있다. 지역시스템의 자연환경과 경제활동을 가능케 하는 전체 에너지원 중에서 영속성 에너지원의 점유율(%Renew=R/U)은 장기적으로 볼 때 시스템의 지속적인 발전가능성을 결정하는 주요인자로 EMERGY 투자비, 인구수용력, 환경부하율, 지속성 지수 등의 여러 EMERGY 지수에 영향을 미친다. 낙동강 유역의 경우에는 전체 EMERGY 사용량에 대해 영속성 에너지원의 점유율은 3.4%로서, Table 5와 같이 다른 지역에 대하여 계산한 결과와 비교해 보면, 미시시피강 유역<sup>19)</sup>의 5.4%에 비해서 다소 낮은 수치를 보였으며 자연자원이 풍부한 브라질의 아마존 유역<sup>20)</sup>의 88%에 비해서 매우 낮은 비율을 나타내고 있었다.

낙동강 유역의 EMERGY 생산비는 Table 4와 같이 1.07로서 지역의 생산이 주경제에 적게나마 기여하고 있는 것으로 평가되었다. EMERGY 생산비는 화석연료, 광

물, Top soil 등에 대하여 자원으로서의 가치를 평가하는 척도로서 각 에너지원이 생산되기까지 이용된 EMERGY 양에 대해 생산된 EMERGY의 비로서 계산된다. 석유, 석탄과 같은 1차 에너지원의 경우에는 EMERGY 생산비가 5이상이며, 철강, 시멘트와 같은 2차 에너지원의 경우에는 EMERGY 생산비가 2에서 5사이의 범위이며, EMERGY 생산비가 2보다 낮은 경우에는 자원으로서의 가치보다는 소비재의 성격을 가진다. 즉 EMERGY 생산비는 자원생산의 시스템에서 효율(eficiency)을 평가하는데 이용될 수 있다. 낙동강 유역의 경우에는 EMERGY 생산비가 1.07로써 한국 경제에 대하여 평균적인 수준으로 기여하는 것으로 평가되었다. 그리고 Table 5와 같이 다른 유역의 EMERGY 생산비와 비교해 보면, 미시시피강 유역의 생산비 2.51, 브라질의 아마존 유역의 생산비 12.04에 비해서는 매우 낮은 수준을 나타내고 있었다.

EMERGY 투자비는 지역간 생산활동의 경제적인 경쟁력과 자연환경에 의한 개발의 강도를 나타내는데 Table 5와 같이 미시시피강 유역의 EMERGY 투자비 0.49, 브라질의 아마존 유역의 EMERGY 투자비 0.09에 비해서, 낙동강 유역의 EMERGY 투자비는 14.90의 값으로서 공업화가 집중되어 환경압박이 큰 지역임을 알 수 있다.

낙동강 유역 주민들의 실질적인 풍요와 안녕에 대한 지표로서 생활수준을 나타내는 1인당 연간 EMERGY 사용량은 Table 4와 같이 1.08 E16 sej/yr/cap.로서 한국의 76% 정도인 수준으로 낙동강 유역의 주민들의 실질적인 풍요와 안녕의 정도는 열악함을 입증하고 있다. 경제적 복지수준을 의미하는 1인당 소득과 비교하여, 경제활동에서 기인한 화석연료, 재화와 용역의 사용량뿐만 아니라 자연환경으로부터 기인한 에너지원의 사용량을 포함하는 1인당 EMERGY 사용량은 보다 더 실질적인 복지수준을 의미한다.

현재의 EMERGY 소비수준을 유지하면서 자연환경 자원에만 의존할 경우 낙동강 유역의 인구수용능력은 Table 4와 같이 22.6 만명으로 현재 인구의 4% 정도밖에 수용할 수 없으며, 선진국형으로 자연환경 자원의 약 7배의 EMERGY가 유입될 경우에는 약 27%정도밖에 수용할 수 없으므로 현재의 낙동강 유역의 인구수용능력은 이미 포화상태를 넘어섰음을 알 수 있다. 따라서, 낙동강 유역의 인구수용력은 상수원수, 공업·농업용수로 이용되는 낙동강의 하천 유입량에 크게 영향을 받는 것으로 평가되었다.

단위 면적당 EMERGY 사용량은 Table 4에서와 같이 낙동강 유역 전체의 경우 3.03 E12 sej/m<sup>2</sup>/yr로 한국 전체의 약 1/2배 가량 낮은 EMERGY 사용량을 나타내고 있었다. 이는 한정된 수자원을 이용하기 위하여 경제적인 재화와 용역이 과다하게 투자되어 EMERGY 투자비는 높지만 개발되지 않은 산림 및 녹지지역은 한국 전체의 평균적인 수준에 비하여 비교적 많이 분포되어 있음을 뜻한다.

낙동강 유역의 환경 부하율은 Table 4와 같이 28.52의 값으로 다소 높은 값을 보이고 있었다. 다른 지역과 비교해 보면 Table 5와 같이 미시시피강 유역은 17.62로서

비교적 높은 환경 부하율을 나타내고 있으며 브라질의 아마존강 유역은 0.2로 매우 낮은 환경부하율을 나타내고 있다. Brown<sup>21)</sup>에 의하면, 환경 부하율이 2보다 적을 경우에는 환경적 영향이 적은 시스템으로 평가하고 있으며, 반면 10 이상의 값을 나타낼 경우에는 상대적으로 환경에 대한 영향이 큰 시스템으로 평가하고 있고, 3과 9 사이에서는 환경에 대한 영향이 온건한 것으로 파악하고 있다. 낙동강의 경우 상대적으로 자연환경 활동에 비해 화석연료를 비롯한 비영속성 EMERGY가 많이 투입되어, 환경 부하율이 높고, 자연환경에 대한 압박이 큰 시스템으로 평가되었다.

낙동강 유역의 지속성 지수는 Table 4와 같이 0.04의 값을 나타내고 있었으며, 다른 지역과 비교해 보면 Table 5와 같이 미시시피강 유역은 0.14로서 비교적 낮으며 자연환경이 풍부한 브라질의 아마존강 유역은 60.20으로 매우 높은 지속성 지수를 나타내고 있었다.

낙동강 유역은 경제 활동의 측면에서는 교역과 교환을 통한 비영속성 에너지원의 유입이 낙동강 유역의 부를 유지하고 있으나, 장기적인 측면 즉, 자연활동을 포괄하는 시스템 생태학의 관점에서 보면 지속성 지수가 0.04로 나타나 지역의 지속적인 발전 가능성이 다소 낮은 시스템으로 평가되었다.

Table 4. Indices using EMERGY for overview of Nakdong River Basin(1996)

Item	Name of Index	Expression	Quantity	Unit
1	Renewable emergy flow	R	2.44E+21	sej/yr
2	indigenous nonrenewable reserves	N	2.09E+21	sej/yr
3	Flow of imported emergy	F+P1*I1+P2*I2	6.75E+22	sej/yr
4	Total emergy inflows	R+N+F+P1*I1+P2*I2	7.20E+22	sej/yr
5	Total emergy used, U	R+N+F+P1*I1+P2*I2	7.20E+22	sej/yr
6	% renew	(R/U)*100	3.39	
7	Nonrenewable to renewable ratio	N/R	0.86	
8	Fraction emergy use derived from home sources	(N+R)/U	0.06	
9	Fraction of use purchased	(F+P1*I1+P2*I2)/U	0.94	
10	Use per unit area(2.38E10m <sup>2</sup> )	U/(area)	3.03E+12	sej/m <sup>2</sup> /yr
11	Use per capita(6.66E6 pepole)	U/(pcopole)	1.08E+16	sej/yr/ca
12	Renewable carrying capacity at present living standard	(R/U)(population)	2.26E+05	people
13	Developed carrying capacity at same living standard	8(R/U)(population)	1.81E+06	people
14	Emergy Investment Ratio(EIR)	(F+P1*I1+P2*I2)/(R+N)	14.90	
15	Emergy Yield Ratio(EYR)	Item4/Item3	1.07	
16	Environmental Loading Ratio(ELR)	F+P1*I1+P2*I2+N/R	28.52	
17	Sustainability Index(SI)	EYR/ELR	0.04	

Table 5. A comparison of Emergy indices of Nakdong River Basin with other basins

Name of Index	Nakdong River Basin	Mississippi River Basin	Amazon Basin
% renew	3.39	0.065	0.88
Nonrenewable to renewable ratio	0.86	11.49	0.10
EMERGY yield ratio(EYR)	1.07	2.51	12.04
EMERGY investment ratio(EIR)	14.90	0.49	0.10
Environmental loading ratio(ELR)	28.52	17.65	0.20
Sustainability index(SI)	0.04	0.14	60.20

### 5. 결 론

낙동강 유역의 지속적인 발전가능성을 평가하기 위하여 시스템 생태학적 접근법에 따라 자연환경과 경제활동을 동일한 척도인 EMERGY로 평가한 결과 다음과 같다.

EMERGY 분석 결과 낙동강 유역의 전체 EMERGY 투입량은 889.0 E20 sej/yr이고, 이 중 자연자원이 차지하는 점유율과 보유자원이 차지하는 점유율 그리고 화석연료를 비롯한 재화 및 용역의 점유율이 각각 3.4%, 2.9%, 93.7%로 화석연료에 기초한 인간 경제활동의 의존도가 높은 지역의 특성을 나타내고 있다. 낙동강 유역의 EMERGY 생산비는 1.07으로서 지역의 생산이 주 경제에 적게나마 기여하고 있는 것으로 평가되었다. EMERGY 투자비는 지역간 생산활동의 경제적인 경쟁력과 자연환경에 의한 개발의 강도를 나타내는데 낙동강 유역의 EMERGY 투자비는 14.90의 값으로써 비교적 공업화가 집중되어 환경 압박이 큰 지역임을 알 수 있다. 낙동강 유역의 경제활동은 단기적인 측면에서는 교역과 교환을 통한 비영속성 에너지원 유입이 낙동강 유역의 부를 유지하고 있으나, 장기적인 측면 즉, 자연활동을 포괄하는 시스템 생태학의 관점에서 보면 지속성 지수가 0.04로 나타나 지역의 지속적인 발전 가능성이 다소 낮은 시스템으로 평가되었다.

따라서, 낙동강 유역이 지속적으로 발전하기 위해서는 현재와 같은 외부의 화석연료를 비롯한 재화 및 용역에 의존하여 형성되고 있는 산업구조를 지역내의 영속성 에너지와 보유자원에 의존하여 이를 효율적으로 이용할 수 있는 시스템으로 산업구조를 재편성하여야만 가능함을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

- 1) 낙동강 환경관리청, 1996, '96 낙동강수계 오염원 분포현황, 87pp.
- 2) 건설교통부, 1996, 수자원 장기 종합 계획, 300pp.
- 3) Odum, H. T. 1988, Energy, environment and public policy: A guide to the analysis of system. UNEP regional seas reports and studies, No.95, United States Environment Programme, Nairobi, Kenya, 109pp.

- 4) Mitch, W. J. and S. E. Jørgensen, 1989, Ecological engineering, an introduction to ecotechnology. John Wiley & Sons, New York, 472pp.
- 5) Lee, S. M. and H. T. Odum, 1994, Emergy analysis overview of Korea. J. of the Korean Env. Sci. Soc. 3(2). 165~175.
- 6) 손지호·신성교·조은일·이석모, 1996, 한국 수산업의 EMERGY 분석, 한국수산학회지, 29(5), 689~700.
- 7) 엄기혁·손지호·조은일·이석모·박청길, 1996, EMERGY 분석법에 의한 득량만의 환경용량 산정, 한국수산학회지, 29(5), 629~636.
- 8) 손지호, 1999, EMERGY 분석법에 의한 도시의 지속적인 발전가능성 평가, 부경대학교 대학원 환경공학과 박사학위 논문, 141pp.
- 9) 강대석·박석순, 1999, 에머지(Emergy) 개념을 이용한 다목적 건설의 생태경제학적인 평가방법에 관한 연구, 환경영향평가학회지 8(2), 45~51.
- 10) 한국향토사연구 전국협의회, 1996, 낙동강 유역사 연구, 수서원, 725pp.
- 11) Odum, H. T., 1983, Systems Ecology, John Wiley & Sons, New York, 644pp.
- 12) Odum, H. T., 1996, Environmental Accounting, John Wiley & Sons, New York, 370pp.
- 13) 통계청, 1997, 경북통계연보, 680pp.
- 14) 통계청, 1997, 경남 통계연보, 710pp.
- 15) 통계청, 1997, 대구통계연보, 720pp.
- 16) 통계청, 1997, 부산통계연보, 658pp.
- 17) 통계청, 1998, 태백통계연보, 435pp.
- 18) 통계청, 1996, 지역내 총생산, 360pp.
- 19) Odum, H. T, Craig Diamond and Mark T. Brown, 1987, Energy systems overview of the Mississippi river basin, 107pp.
- 20) Odum, H. T, Mark T. Brown, and A. Robert, Christianson, 1996, Energy systems overview of the Amazon basin.
- 21) 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.